

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования**  
**«Южно-Уральский государственный университет»**  
**(национальный исследовательский университет)**  
**Политехнический институт**  
**Факультет Энергетический**  
**Кафедра «Электрические станции, сети и системы электроснабжения»**

**РАБОТА ПРОВЕРЕНА**

Рецензент, должность

\_\_\_\_\_ / И.О. Фамилия /

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ**

Заведующий кафедрой, д.т.н., профессор

\_\_\_\_\_ / И.М. Кирпичникова /

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Развитие сетевого района 110 кВ с реконструкцией действующего оборудования

(наименование темы работы)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

**ЮУрГУ – 13.03.02.2018.122.00.00 ВКР**

(код направления, год, номер студенческого)

**Консультант, должность**

\_\_\_\_\_ / И.О. Фамилия /

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Руководитель, должность**

\_\_\_\_\_ / М.Г. Баландин /

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Консультант, должность**

\_\_\_\_\_ / И.О. Фамилия /

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Автор**

**студент группы П – 478**

\_\_\_\_\_ / М.Н. Виноградов /

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Консультант, должность**

\_\_\_\_\_ / И.О. Фамилия /

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Нормоконтролер, должность**

\_\_\_\_\_ / К.Е. Горшков /

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Челябинск 2018**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(национальный исследовательский университет)

Институт Политехнический  
Факультет Энергетический  
Кафедра Электрические станции, сети и системы электроснабжения  
Направление Электроэнергетика и электротехника

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_/И.М. Кирпичникова/  
\_\_\_\_\_ 2017 г.

ЗАДАНИЕ  
на выпускную квалификационную работу студента

Виноградов Михаил Николаевич

(Ф. И.О. полностью)

Группа П-478

1. Тема выпускной квалификационной работы Развитие сетевого района 110 кВ с реконструкцией действующего оборудования
2. Срок сдачи студентом законченной работы 15 июня 2018 г.
3. Исходные данные к работе

Существующая схема электроснабжения сетевого района  
Геометрические и физические параметры схемы электрических соединений сетевого района  
Режимные параметры существующей схемы электрических соединений  
Разработка альтернативных вариантов присоединения новой подстанции для питания электроэнергией развивающегося промышленного объекта  
Режимные параметры перспективной схемы электрических соединений сетевого района



5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей, плакатов в листах формата А1)

- |   |          |
|---|----------|
| 1. Схема электрических соединений   | – 1 л.   |
| 2. Схемы и карты характерных режимов электрической сети   | – 2-1 л. |
| 3. Схемы электрических соединений открытого распределительного устройства напряжением 110/10 кВ | –1 л.    |

Всего \_\_\_ листов

6. Консультанты по работе, с указанием относящихся к ним разделов работы

| Раздел | Консультант | Подпись, дата                  |                             |
|--------|-------------|--------------------------------|-----------------------------|
|        |             | Задание выдал<br>(консультант) | Задание принял<br>(студент) |
|        |             |                                |                             |
|        |             |                                |                             |
|        |             |                                |                             |
|        |             |                                |                             |
|        |             |                                |                             |
|        |             |                                |                             |
|        |             |                                |                             |
|        |             |                                |                             |
|        |             |                                |                             |
|        |             |                                |                             |
|        |             |                                |                             |
|        |             |                                |                             |
|        |             |                                |                             |
|        |             |                                |                             |
|        |             |                                |                             |
|        |             |                                |                             |
|        |             |                                |                             |
|        |             |                                |                             |

7. Дата выдачи задания \_\_\_\_\_

Руководитель \_\_\_\_\_ /Баландин М.Г./  
(подпись)

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_ /Виноградов М.Н./  
(подпись студента)



## Аннотация

Виноградов М.Н. Развитие сетевого района 110 кВ с реконструкцией действующего оборудования Челябинск: ЮУрГУ, Э, 2017, с128, 13 илл. Библиография литературы –17.  
Листы формат А1– 4.

В работе представлены результаты измерений и анализ показателей качества электрической энергии подстанции «ЭЧЭ-Челябинск-Главный» Южно-Уральской железной дороги. Излагаются методы анализа и технические средства обследования качества электрической энергии. Рассмотрен выбор контрольных пунктов для измерения показателей качества электрической энергии. Указаны причины ухудшения и способы улучшения показателей качества электрической энергии. Представлен расчет и анализ работы электрической сети Челябинского железнодорожного узла.

Освещены такие вопросы как безопасность жизнедеятельности при измерениях на действующем оборудовании, релейная защита и автоматика на подстанции «ЭЧЭ-Челябинск-Главный».

*13.03.02.2018.122.00 ПЗ*

| Изм.      | Лист | № докум.   | Подпись | Дата |  |                        |      |        |
|-----------|------|------------|---------|------|--|------------------------|------|--------|
| Разраб.   |      | Виноградов |         |      | Оптимизация режима работы электрической сети железнодорожного узла | Лит.                   | Лист | Листов |
| Провер.   |      | Баландин   |         |      |  |                        | 3    | 128    |
| Н. Контр. |      | Горшков    |         |      |  | ЮУрГУ<br>Кафедра ЭССиС |      |        |
| Утверд.   |      | Баландин   |         |      |  |                        |      |        |

## Содержание

|  |     |
|--|-----|
| Введение   | 5   |
| 1 Развитие схемы электрической сети  | 8   |
| 1.1 Расчетные параметры схемы сети   | 8   |
| 1.2 Баланс активных мощностей  | 14  |
| 1.3 Баланс реактивных мощностей  | 17  |
| 2 Анализ характерных режимов   | 22  |
| 3 Выбор объекта по качеству электроэнергии и электромагнитной совместимости                  | 90  |
| 4 Релейная защита и автоматика   | 111 |
| 4.1 Защита трансформаторов   | 112 |
| 4.2 Защита воздушных линий   | 113 |
| 4.3 Защита шин, защита на обходном, шиносоединительном и секционном выключателях             | 116 |
| 5 Вопросы безопасности при организации и проведении испытаний в электроустановках            | 117 |
| 5.1 Порядок и условия производства работ   | 117 |
| 5.2 Общие требования. Ответственные за безопасность проведения работ, их права и обязанности | 118 |
| 5.3 Средства измерений и приборы учета электроэнергии, вторичные цепи                        | 120 |
| Заключение   | 126 |
| Литература   | 127 |
| Приложения   |     |
| А Схема электрической сети   |     |
| Б Схема подстанции «ЭЧЭ- Челябинск- Главный»   |     |
| В Графическая часть на 4 листах ф. А1  |     |

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 4           |

## Введение

Системы электроснабжения 35-6/0,4 кВ городов, промышленных предприятий и сельского хозяйства располагают наиболее разветвленными и протяженными электрическими сетями. Они являются практически последним звеном в технологической цепи передачи и распределения электроэнергии от электрических станций к потребителям, поэтому от качества электрической энергии зависит эффективность функционирования, работы и надежность электроснабжения потребителей.

Пониженное качество электроэнергии оказывает негативное влияние как на работу отдельных электроприемников, так и на нормальное функционирование энергосистемы в целом. Использование в электрических сетях электроэнергии низкого качества приводит к следующим отрицательным последствиям:

- увеличение потерь электроэнергии во всех элементах электрической сети;

- перегрев вращающихся деталей машин, ускоренное старение изоляционных материалов, сокращение срока службы оборудования;

- рост потребления электроэнергии и требуемой мощности электрооборудования;

- нарушение, срыв производственных процессов работы и ложные срабатывания устройств релейной защиты и автоматики;

- сбой в работе электронных систем управления и вычислительной техники предприятий;

- отрицательное влияние на линии связи и устройства автоблокировки на железных дорогах;

- помехи в теле- и радиоаппаратуре, ошибочная работа рентгеновского оборудования;

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 5           |

- неправильная работа приборов учета электрической энергии

В настоящее время действующими стандартами [7] определены несколько параметров (показателей) качества электрической энергии.

Для потребителей электрической энергии наиболее значимыми являются:

- установившееся отклонение напряжения  $\delta U_y$ ;
- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения  $K_U$  ;
- коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения  $K_{U(n)}$ .

Целью работы является анализ качества электрической энергии тяговой подстанции «ЭЧЭ- Челябинск-главный» электрической сети Челябинского железнодорожного узла ОАО «РЖД-ЮУЖД».

Основное назначение тяговых подстанций- бесперебойное снабжение электроэнергией тяги поездов, поэтому на подстанции предусматривается 100%-ное резервирование основного оборудования, устанавливается не менее двух понижающих трансформаторов, преобразователей, трансформаторов собственных нужд, питающих высоковольтных вводов.

Для решения задачи измерения показателей качества электрической энергии использован специализированный, портативный прибор «AR.5M-2000». На основании существующего способа расчета, методики определения показателей качества электрической энергии произведен анализ работы электрической сети.

Следует отметить, что качество электрической энергии является составной частью проблемы электромагнитной совместимости потребителей электроэнергии. Под электромагнитной совместимостью понимается способность электронной аппаратуры нормально функционировать в определенной электромагнитной обстановке, не создавая при этом электромагнитных помех, опасных для других технических средств или человека.

Источниками энергии в рассматриваемом районе является подстанция «Восточная» (ЭЧЭ- Челябинск- Главный), которая связана с системой через тяговую подстанцию «65», а также подстанция «Челябинск-Узел»

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 6           |

(ФП-3). В качестве базисного узла принята подстанция «Восточная» с ши-нами 110/35/6 кВ и трансформаторами ТДТН-25000/110/35/6. Нагрузками электрической сети являются локомотивное депо, мастерские, народное хозяйство, транспортные, нетранспортные, а также посторонние потреби-тели. Все указанные потребители являются потребителями II и I категории, поэтому схемы подстанций и электроснабжения выполняется таким обра-зом, чтобы выход из строя любого оборудования не повлек за собой нару-шения электроснабжения. Электроснабжение указанных потребителей должно быть надежно, качественно и экономично. Все подстанции обору-дованы двумя трансформаторами. В зависимости от характера нагрузки используются трехобмоточные или двухобмоточные трансформаторы. Схемы коммутации блочные и транзитные. Надежность питания потреби-телей по сети осуществляется 2-х цепными линиями и замкнутыми конту-рами. В целом схема энергоснабжения района выполнена с требуемой сте-пенью надежности.

|             |             |                 |                |             |                                |             |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|             |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
|             |             |                 |                |             |                                | 7           |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                |             |

# 1 Развитие схемы электрической сети

## 1.1 Расчетные параметры схемы сети

Район электрической сети Челябинского железнодорожного узла 35/6 кВ питается от п/ст «Восточная» и п/ст «Челябинск-Узел» (ФП-3).

Схема электрической сети энергосистемы представлена в Приложении А.

Данные по протяженности воздушных и кабельных линий 6 кВ, параметры линий, расчетные значения параметров схемы замещения этих линий приведены в таблице 1.

Таблица 1- Параметры схемы замещения воздушных и кабельных линий 6 кВ

| №            | Марка провода | Длина, км | $r_0$ , Ом/км | $x_0$ , Ом/км | $r$ , Ом/км | $x$ , Ом/км | $b_0$ , $10^{-6}$ См/км | $Q_{с/2}$ , МВар |
|--------------|---------------|-----------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------------------------|------------------|
| Восточная-65 | АСБ 3x50      | 0,32      | 0,62          | 0,083         | 0,066       | 0,008       | 114                     | 0,0018           |
|              | АСБ 3x70      | 0,68      | 0,443         | 0,08          | 0,1         | 0,018       | 127                     | 0,0045           |
| 65-9         | ААБ 3x120     | 0,65      | 0,258         | 0,076         | 0,055       | 0,016       | 146                     | 0,0051           |
|              | ААБВ 3x150    | 0,08      | 0,206         | 0,074         | 0,005       | 0,002       | 162                     | 0,0006           |
| 65-43        | ААБ 3x70      | 0,3       | 0,443         | 0,08          | 0,044       | 0,013       | 127                     | 0,0018           |
|              | ААБ 3x120     | 0,55      | 0,258         | 0,076         | 0,047       | 0,014       | 146                     | 0,0042           |
|              | ААБ 3x120     | 0,22      | 0,258         | 0,076         | 0,018       | 0,005       | 146                     | 0,0006           |
| 43-27        | ААБ 3x70      | 0,56      | 0,443         | 0,08          | 0,08        | 0,015       | 127                     | 0,0039           |
| 9-42         | АСБ 3x95      | 0,11      | 0,326         | 0,078         | 0,011       | 0,008       | 134                     | 0,0006           |
|              | СБ 3x70       | 0,09      | 0,26          | 0,08          | 0,007       | 0,007       | 127                     | 0,0006           |
| 9-67         | 2xАСБ 3x150   | 0,25      | 0,206         | 0,074         | 0,017       | 0,006       | 162                     | 0,0021           |
|              | 2xАСБ 3x95    | 0,25      | 0,326         | 0,078         | 0,027       | 0,007       | 134                     | 0,0018           |
|              | 2xСБ 3x70     | 0,09      | 0,26          | 0,08          | 0,007       | 0,002       | 127                     | 0,0004           |

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
|            |             |                 |                |             |                                | 8           |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                |             |

Продолжение таблицы 1

| №         | Марка<br>провода | Дли-<br>на,<br>км | $r_0$ ,<br>Ом/км | $x_0$ ,<br>Ом/км | $r$ ,<br>Ом/км | $x$ ,<br>Ом/км | $b_0$ ,<br>$10^{-6}$<br>См/км | $Q_c/2$ ,<br>МВар |
|-----------|------------------|-------------------|------------------|------------------|----------------|----------------|-------------------------------|-------------------|
| 42-1      | СБ 3x70          | 0,139             | 0,26             | 0,08             | 0,012          | 0,004          | 127                           | 0,0009            |
|           | АСБ 3x95         | 0,261             | 0,326            | 0,078            | 0,028          | 0,006          | 134                           | 0,0018            |
| 25-27     | ААШВ 3x240       | 0,728             | 0,129            | 0,071            | 0,03           | 0,017          | 185                           | 0,0072            |
| 25-90     | АСБ 3x240        | 0,24              | 0,129            | 0,071            | 0,01           | 0,005          | 185                           | 0,0024            |
| 25-15     | АС-95            | 0,45              | 0,33             | 0,411            | 0,148          | 0,185          | 281                           | 0,002             |
|           | ААБЛ 3x150       | 0,069             | 0,206            | 0,074            | 0,005          | 0,002          | 162                           | 0,0006            |
| 15-ЭП-763 | АСБ 3x185        | 0,604             | 0,167            | 0,073            | 0,03           | 0,014          | 169                           | 0,005             |
|           | АСБ 3x240        | 0,15              | 0,129            | 0,071            | 0,006          | 0,003          | 185                           | 0,0015            |
|           | АС-95            | 0,56              | 0,33             | 0,411            | 0,185          | 0,103          | 281                           | 0,003             |
| 7-ЭП-763  | АСБ 3x185        | 0,604             | 0,167            | 0,073            | 0,03           | 0,014          | 169                           | 0,005             |
|           | АСБ 3x240        | 0,15              | 0,129            | 0,071            | 0,006          | 0,003          | 185                           | 0,0015            |
|           | АС-95            | 0,56              | 0,33             | 0,411            | 0,185          | 0,103          | 281                           | 0,003             |
| 15-91     | 2xААШВ<br>3x150  | 1,07              | 0,206            | 0,074            | 0,03           | 0,013          | 162                           | 0,018             |
| 9-47      | АСБ 3x70         | 0,53              | 0,443            | 0,08             | 0,078          | 0,014          | 127                           | 0,0036            |
| 47-8      | СБ 3x70          | 0,58              | 0,26             | 0,08             | 0,05           | 0,015          | 127                           | 0,004             |
| 47-2      | АСБ 3x95         | 0,25              | 0,326            | 0,078            | 0,027          | 0,007          | 134                           | 0,0018            |
| 2-3       | АСБ 3x95         | 0,2               | 0,326            | 0,078            | 0,02           | 0,005          | 134                           | 0,0014            |
|           | ААПВ 3x95        | 0,015             | 0,326            | 0,078            | 0,005          | 0,0004         | 134                           | 0,0001            |
| 47-58     | СБ 3x150         | 0,64              | 0,122            | 0,074            | 0,026          | 0,015          | 162                           | 0,005             |
| 58-39     | АСБ 3x150        | 0,46              | 0,206            | 0,074            | 0,031          | 0,011          | 162                           | 0,0004            |
| 39-4      | АСБ 3x150        | 1,4               | 0,206            | 0,074            | 0,096          | 0,034          | 162                           | 0,012             |
|           | АСБ 3x240        | 0,06              | 0,129            | 0,071            | 0,002          | 0,001          | 185                           | 0,0006            |
| 4-64      | СБ 3x25          | 0,085             | 0,74             | 0,091            | 0,02           | 0,002          | 88                            | 0,0004            |
| 4-ФП-3    | АСБ 3x240        | 0,14              | 0,129            | 0,071            | 0,006          | 0,003          | 185                           | 0,0014            |
|           | 3xАС-50          | 0,14              | 0,65             | 0,433            | 0,03           | 0,02           | 265                           | 0,002             |
|           | АСБ 3x240        | 0,388             | 0,129            | 0,071            | 0,016          | 0,009          | 185                           | 0,0038            |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

9

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |
|     |      |          |         |      |

Продолжение таблицы 1

| №               | Марка<br>провода        | Дли-<br>на,<br>км | $r_0$ ,<br>Ом/км | $x_0$ ,<br>Ом/км | $r$ ,<br>Ом/км | $x$ ,<br>Ом/км | $b_0$ ,<br>$10^{-6}$<br>См/км | $Q_c/2$ ,<br>МВар |
|-----------------|-------------------------|-------------------|------------------|------------------|----------------|----------------|-------------------------------|-------------------|
| 4-81            | ААШВ-1<br>4x95          | 0,01              | 0,326            | 0,078            | 0,0008         | 0,0002         | 134                           | 0,0001            |
| 4-85            | АСБ 3x240<br>3xАС-50    | 0,06              | 0,129            | 0,071            | 0,002          | 0,0014         | 185                           | 0,0006            |
|                 |                         | 0,575             | 0,65             | 0,433            | 0,124          | 0,08           | 265                           | 0,008             |
| 7-ТП Ры-<br>нок | АСБ 120                 | 0,2               | 0,258            | 0,076            | 0,05           | 0,015          | 146                           | 0,0005            |
| 7-63            | АСБ 3x95                | 0,465             | 0,326            | 0,078            | 0,05           | 0,012          | 134                           | 0,0036            |
| 63-16           | СБ 3x70                 | 0,6               | 0,26             | 0,08             | 0,05           | 0,015          | 127                           | 0,004             |
| 16-37           | СБ 3x70<br>АСБ 3x95     | 0,2               | 0,26             | 0,08             | 0,017          | 0,005          | 127                           | 0,0013            |
|                 |                         | 0,125             | 0,326            | 0,078            | 0,013          | 0,003          | 134                           | 0,001             |
| 37-6            | СБ 3x70<br>АСБ 3x95     | 0,22              | 0,26             | 0,08             | 0,017          | 0,005          | 127                           | 0,0013            |
|                 |                         | 0,22              | 0,326            | 0,078            | 0,023          | 0,005          | 134                           | 0,0016            |
| 6-ФП-3          | АСБ 3x240<br>СБ 3x95    | 0,747             | 0,129            | 0,071            | 0,032          | 0,017          | 185                           | 0,007             |
|                 |                         | 0,747             | 0,194            | 0,078            | 0,048          | 0,019          | 134                           | 0,005             |
| 7-ФП-3          | ААШВ 3x240<br>АСБ 3x240 | 0,805             | 0,129            | 0,071            | 0,034          | 0,057          | 185                           | 0,008             |
|                 |                         | 0,805             | 0,129            | 0,071            | 0,034          | 0,057          | 185                           | 0,008             |
| 90-ФП-3         | 3xАС-120                | 2,3               | 0,27             | 0,403            | 0,207          | 0,308          | 285                           | 0,003             |
| 90-67           | АСБ 3x240               | 0,2               | 0,129            | 0,071            | 0,008          | 0,005          | 185                           | 0,0024            |
| 15-8            | СБ 3x50                 | 0,28              | 0,37             | 0,083            | 0,034          | 0,007          | 114                           | 0,0017            |
| ФП-3-18         | ААШВ 3x240              | 0,2               | 0,129            | 0,071            | 0,008          | 0,005          | 185                           | 0,0024            |
| ФП-3-83         | АСШВО-10<br>3x50        | 0,28              | 0,62             | 0,083            | 0,057          | 0,007          | 114                           | 0,0016            |
| 67-25           | АСБ 3x150               | 0,575             | 0,206            | 0,074            | 0,039          | 0,014          | 162                           | 0,005             |
| 1-47            | СБ 3x70                 | 0,07              | 0,26             | 0,08             | 0,006          | 0,002          | 127                           | 0,0005            |
| 3-8             | СБ 3x95                 | 0,6               | 0,194            | 0,078            | 0,038          | 0,015          | 134                           | 0,004             |
| 6-63            | АСБ 3x95<br>АСБ 3x240   | 1,03              | 0,326            | 0,078            | 0,11           | 0,027          | 134                           | 0,007             |
|                 |                         | 0,95              | 0,129            | 0,071            | 0,04           | 0,022          | 185                           | 0,009             |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

10

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |
|-----|------|----------|---------|------|

Продолжение таблицы 1

| №       | Марка провода | Длина, км | $r_0$ , Ом/км | $x_0$ , Ом/км | $r$ , Ом/км | $x$ , Ом/км | $b_0$ , $10^{-6}$ См/км | $Q_c/2$ , МВар |
|---------|---------------|-----------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------------------------|----------------|
| 4-75    | 3хАС-95       | 0,405     | 0,33          | 0,411         | 0,04        | 0,05        | 281                     | 0,005          |
|         | АСБ 3х150     | 0,107     | 0,206         | 0,074         | 0,007       | 0,002       | 162                     | 0,0009         |
|         | А-70          | 0,28      | 0,46          | 0,42          | 0,128       | 0,117       | 273                     | 0,001          |
| 75-30   | 3хАС-95       | 0,405     | 0,33          | 0,411         | 0,04        | 0,05        | 281                     | 0,005          |
|         | АСБ 3х150     | 0,107     | 0,206         | 0,074         | 0,007       | 0,002       | 162                     | 0,0009         |
|         | А-70          | 0,28      | 0,46          | 0,42          | 0,128       | 0,117       | 273                     | 0,001          |
| 30-5    | АСБ 3х120     | 0,075     | 0,258         | 0,076         | 0,006       | 0,002       | 146                     | 0,0006         |
|         | АСБ 3х150     | 0,14      | 0,206         | 0,074         | 0,01        | 0,003       | 162                     | 0,0012         |
|         | А-70          | 0,35      | 0,46          | 0,42          | 0,161       | 0,147       | 273                     | 0,002          |
| 5-60    | СБ 3х70       | 0,1       | 0,26          | 0,08          | 0,008       | 0,002       | 127                     | 0,0007         |
|         | АСБ 3х95      | 0,562     | 0,326         | 0,078         | 0,06        | 0,014       | 134                     | 0,004          |
| 60-66   | АСБ 3х70      | 0,38      | 0,443         | 0,08          | 0,056       | 0,01        | 127                     | 0,0026         |
| 66-73   | АСБ 3х185     | 1,25      | 0,167         | 0,073         | 0,06        | 0,028       | 169                     | 0,01           |
| 73-ФП-3 | АСБ 3х185     | 1,35      | 0,167         | 0,073         | 0,075       | 0,03        | 169                     | 0,012          |
| 66-ФП-3 | АСБ 3х150     | 1,25      | 0,206         | 0,074         | 0,08        | 0,03        | 162                     | 0,01           |

Элементы схемы замещения определялись по формулам:

$$r_i = \frac{r_{0i} \cdot l_i}{n_i}, \quad (1)$$

$$x_i = \frac{x_{0i} \cdot l_i}{n_i}, \quad (2)$$

$$b_i = n_i \cdot b_{0i} \cdot l_i, \quad (3)$$

$$Q_{ci} = U_{ном}^2 \cdot b_i, \quad (4)$$

где  $r_i$  – активное сопротивление линии передач;

$x_i$  – индуктивное сопротивление линии передач;

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 11          |

$r_{oi}, x_{oi}, b_{oi}$  – километрические значения активного, индуктивного сопротивлений и емкостной проводимости, которые берутся из /5/;

$Q_{ci}$  – зарядная мощность линии;

$n_i$  – число параллельных линий;

$l_i$  – длина линии.

Определим активную и реактивную мощность на подстанциях при заданном  $\cos\varphi=0,85$  по следующей формуле:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (5)$$

где  $Q = \operatorname{tg}\varphi \cdot P$ ,

$$\cos \varphi = 0,85 \Rightarrow \varphi = 31,78 \text{ эл.град} \Rightarrow \operatorname{tg}\varphi = 0,6,$$

$$\text{тогда } S = \sqrt{P^2 + (P \cdot \operatorname{tg}\varphi)^2} \Rightarrow \sqrt{P^2 + (P \cdot 0,6)^2} = \sqrt{1,36 \cdot P^2} = 1,16 \cdot P.$$

Для примера определим активную и реактивную мощность на подстанции «1»:

$$S = 1,16 \cdot P \Rightarrow 0,82 = 1,16 \cdot P \Rightarrow P = 0,7 \text{ МВт},$$

$$Q = \operatorname{tg}\varphi \cdot P \Rightarrow Q = 0,6 \cdot 0,7 = 0,42 \text{ МВар}.$$

Представим нагрузки на подстанциях, относящиеся к максимуму 1993 г. в таблице 2.

Таблица 2- Мощности подстанций энергосети 6кВ

| Наименование подстанции | S, МВА | P, МВт | Q, МВар |
|-------------------------|--------|--------|---------|
| 1                       | 0,82   | 0,7    | 0,42    |
| 42                      | 0,48   | 0,41   | 0,24    |
| 43                      | 0,08   | 0,07   | 0,04    |
| 27                      | 0,75   | 0,64   | 0,38    |
| 65                      | 0,68   | 0,58   | 0,35    |
| 67                      | 0,71   | 0,61   | 0,36    |

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                |             |

Продолжение таблицы 2

| Наименование подстанции | S, МВА | P, МВт | Q, МВар |
|-------------------------|--------|--------|---------|
| 9                       | 0,58   | 0,5    | 0,3     |
| 25                      | 0,31   | 0,26   | 0,16    |
| 15                      | 0,47   | 0,405  | 0,243   |
| 8                       | 1,34   | 1,15   | 0,69    |
| 47                      | 0,97   | 0,83   | 0,5     |
| 58                      | 0,72   | 0,62   | 0,37    |
| 39                      | 1,38   | 1,18   | 0,71    |
| 85                      | 0,53   | 0,456  | 0,274   |
| 4                       | 0,67   | 0,577  | 0,346   |
| 64                      | 0,64   | 0,55   | 0,33    |
| 2                       | 1,29   | 1,11   | 0,66    |
| 3                       | 0,67   | 0,577  | 0,346   |
| 18                      | 0,56   | 0,48   | 0,28    |
| 7                       | 1,34   | 1,15   | 0,69    |
| 63                      | 0,64   | 0,55   | 0,33    |
| 16                      | 0,47   | 0,405  | 0,243   |
| 6                       | 1,2    | 1,03   | 0,62    |
| 37                      | 0,17   | 0,146  | 0,08    |
| 66                      | 0,68   | 0,58   | 0,35    |
| 73                      | 0,68   | 0,58   | 0,35    |
| 83                      | 0,17   | 0,146  | 0,08    |
| 75                      | 0,12   | 0,11   | 0,06    |
| 81                      | 0,12   | 0,11   | 0,06    |
| 30                      | 0,71   | 0,61   | 0,36    |
| 5                       | 0,4    | 0,34   | 0,2     |
| 60                      | 0,64   | 0,55   | 0,33    |

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
|     |      |          |         |      |
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

13

Продолжение таблицы 2

| Наименование подстанции | S, МВА | P, МВт | Q, МВар |
|-------------------------|--------|--------|---------|
| 90                      | 0,64   | 0,55   | 0,33    |
| 91                      | 0,64   | 0,55   | 0,33    |
| ТП Рынок                | 0,32   | 0,22   | 0,17    |
| ЭП-763                  | 0,05   | 0,04   | 0,025   |
| Итого                   | 22,64  | 19,51  | 11,68   |

Таблица 3- Мощность, выдаваемая в систему

| №         | Вырабатываемая /передаваемая мощность, МВт |        |         |
|-----------|--|--------|---------|
|           | S, МВА                                     | P, МВт | Q, МВар |
| ФП-3 (БУ) | -  | -      | -       |
| Восточная | 5,98                                       | 5,15   | 3,09    |
| Итого     | 5,98                                       | 5,15   | 3,09    |

## 1.2 Баланс активных мощностей

В каждый момент времени в систему должно поступать от генераторов электростанций столько электроэнергии, сколько в этот момент необходимо всем потребителям с учетом потерь при передаче, то есть баланс по активным мощностям при неизменной частоте записывается как:

$$\sum P_{г} = \sum P_{н} , \quad (6)$$

где  $\sum P_{г}$  - суммарная генерируемая активная мощность электростанций;  
 $\sum P_{н}$  - суммарное потребление мощности.

Заметим, что баланс активных мощностей обеспечивается за счет обменной мощности с соседними энергосистемами через балансирующий узел. Этот узел генерирует необходимое количество активной мощности

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 14          |

при дефиците ее в сетевом районе, либо потребляет ее при избытке. В данном случае таким узлом является п/ст «ФП-3».

Потребление активной мощности в системе складывается из нагрузок существующих потребителей  $\sum P_n$ ; собственных нужд электрических станций  $\sum P_{сн}$ ; потерь мощности в линиях  $\sum \Delta P_{л}$  и трансформаторах  $\sum \Delta P_{т}$ :

$$\sum P_n = \sum P_n + \sum P_{сн} + \sum \Delta P_{л} + \sum \Delta P_{т} . \quad (7)$$

Нагрузочные потери в линиях 6 кВ Челябинского железнодорожного узла составляют 1%, нагрузочные потери в трансформаторах 6/0,4 кВ- 2,6% от мощности всех нагрузок.

Потери в трансформаторах учитываются только для тех подстанций, где нагрузки заданы со стороны шин НН.

Нагрузки подстанций и потери в трансформаторах для максимального режима сети сведены в таблицу 4.

Таблица 4- Активные нагрузки на подстанциях и потери в трансформаторах

| № п/ст | Нагрузка $P_n$ , МВт | Потери $\Delta P_{т}$ , МВт |
|--------|----------------------|-----------------------------|
| 1      | 0,7                  | 0,0182                      |
| 42     | 0,41                 | 0,01                        |
| 43     | 0,07                 | 0,0018                      |
| 27     | 0,64                 | 0,016                       |
| 65     | 0,58                 | 0,015                       |
| 67     | 0,61                 | 0,016                       |
| 9      | 0,5                  | 0,013                       |
| 25     | 0,26                 | 0,006                       |
| 15     | 0,405                | 0,01                        |
| 8      | 1,15                 | 0,029                       |
| 47     | 0,83                 | 0,021                       |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

15

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |
|-----|------|----------|---------|------|

Продолжение таблицы 4

| № п/ст   | Нагрузка РН, МВт | Потери ΔРТ, МВт |
|----------|------------------|-----------------|
| 58       | 0,62             | 0,016           |
| 39       | 1,18             | 0,03            |
| 85       | 0,456            | 0,011           |
| 4        | 0,577            | 0,015           |
| 64       | 0,55             | 0,014           |
| 2        | 1,11             | 0,028           |
| 3        | 0,577            | 0,015           |
| 18       | 0,48             | 0,012           |
| 7        | 1,15             | 0,029           |
| 63       | 0,55             | 0,014           |
| 16       | 0,405            | 0,01            |
| 6        | 1,03             | 0,026           |
| 37       | 0,146            | 0,004           |
| 66       | 0,58             | 0,015           |
| 73       | 0,58             | 0,015           |
| 83       | 0,146            | 0,004           |
| 75       | 0,11             | 0,003           |
| 81       | 0,11             | 0,003           |
| 30       | 0,61             | 0,015           |
| 5        | 0,34             | 0,008           |
| 60       | 0,55             | 0,014           |
| 90       | 0,55             | 0,014           |
| 91       | 0,55             | 0,014           |
| ТП Рынок | 0,22             | 0,006           |
| ЭП-763   | 0,04             | 0,001           |
| Итого    | 19,51            | 0,503           |

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
|     |      |          |         |      |
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

16

Таблица 5- Активные нагрузки на питающих подстанциях и потери в трансформаторах

| № п/ст    | Нагрузка P <sub>н</sub> , МВт | Потери ΔP <sub>т</sub> , МВт |
|-----------|-------------------------------|------------------------------|
| ФП-3 (БУ) | -                             | -                            |
| Восточная | 5,15                          | 0,134                        |
| Итого     | 5,15                          | 0,134                        |

Суммарные потери активной мощности в линиях от мощности всех нагрузок:

$$\sum \Delta P_{л} = \frac{1}{100} \cdot 19,51 = 0,1951 \text{ МВт},$$

$$\sum P_{н} = 19,51 + 0,1951 + 0,503 = 20,2 \text{ МВт},$$

$$\sum P_{г} = 5,15 + 0,134 = 5,28 \text{ МВт}.$$

Итогом расчета баланса активной мощности является определение необходимой обменной мощности, генерируемой ( -P<sub>с</sub> ), либо потребляемой ( +P<sub>с</sub> ) балансирующим узлом:

$$P_{с} = \sum P_{г} - \sum P_{н} = 5,28 - 20,2 = -14,92 \text{ МВт}.$$

### 1.3 Баланс реактивных мощностей

Балансу реактивной мощности в системе соответствует равенство:

$$\sum Q_{г} + \sum Q_{з} \pm Q_{ку} \pm Q_{с} = \sum Q_{п}, \quad (8)$$

где  $\sum Q_{г}$  - суммарная реактивная мощность, вырабатываемая генераторами электростанции при коэффициенте мощности не ниже номинального;  $\sum Q_{з}$  - мощность, генерируемая линиями (зарядная);  $Q_{ку}$  - реактивная мощность компенсирующих устройств;  $Q_{с}$  - величина обменной реактив-

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 17          |

ной мощности, определяется договорным коэффициентом мощности соседней энергосистемы.

Потребление реактивной мощности в системе складывается из нагрузок существующих потребителей  $\sum Q_H$ ; собственных нужд электрических станций  $\sum Q_{CH}$ ; потерь мощности в линиях  $\sum \Delta Q_L$  и трансформаторах  $\sum \Delta Q_T$ .

Потери реактивной мощности в распределительных сетях Челябинского железнодорожного узла для воздушных и кабельных линий 6 кВ составляют 0,5% от реактивной передаваемой по линии мощности. Потери реактивной мощности в трансформаторах составляют 1,5% от реактивной мощности, проходящей через трансформатор /16/.

Реактивные нагрузки подстанций и потери реактивной мощности в трансформаторах сведены в таблицу 6.

Таблица 6- Нагрузки на подстанциях и потери в трансформаторах

| № п/ст | Нагрузка $Q_H$ , МВар | Потери $\Delta Q_T$ , МВар |
|--------|-----------------------|----------------------------|
| 1      | 0,42                  | 0,006                      |
| 42     | 0,24                  | 0,003                      |
| 43     | 0,04                  | 0,0006                     |
| 27     | 0,38                  | 0,005                      |
| 65     | 0,35                  | 0,005                      |
| 67     | 0,36                  | 0,005                      |
| 9      | 0,3                   | 0,004                      |
| 25     | 0,16                  | 0,002                      |
| 15     | 0,243                 | 0,003                      |
| 8      | 0,69                  | 0,01                       |
| 47     | 0,5                   | 0,007                      |
| 58     | 0,37                  | 0,005                      |

Продолжение таблицы 6

| № п/ст   | Нагрузка QH, МВар | Потери ΔQT, МВар |
|----------|-------------------|------------------|
| 39       | 0,71              | 0,01             |
| 85       | 0,274             | 0,004            |
| 4        | 0,346             | 0,005            |
| 64       | 0,33              | 0,005            |
| 2        | 0,66              | 0,01             |
| 3        | 0,346             | 0,005            |
| 18       | 0,28              | 0,004            |
| 7        | 0,69              | 0,01             |
| 63       | 0,33              | 0,005            |
| 16       | 0,243             | 0,003            |
| 6        | 0,62              | 0,009            |
| 37       | 0,08              | 0,001            |
| 66       | 0,35              | 0,005            |
| 73       | 0,35              | 0,005            |
| 83       | 0,08              | 0,001            |
| 75       | 0,06              | 0,001            |
| 81       | 0,06              | 0,001            |
| 30       | 0,36              | 0,005            |
| 5        | 0,2               | 0,003            |
| 60       | 0,33              | 0,005            |
| 90       | 0,33              | 0,005            |
| 91       | 0,33              | 0,005            |
| ТП Рынок | 0,17              | 0,002            |
| ЭП-763   | 0,025             | 0,0003           |
| Итого    | 11,68             | 0,175            |

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
|     |      |          |         |      |
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

19

Таблица 7- Реактивные нагрузки на питающих подстанциях и потери в трансформаторах

| № п/ст    | Нагрузка $Q_H$ , МВт | Потери $\Delta Q_T$ , МВт |
|-----------|----------------------|---------------------------|
| ФП-3 (БУ) | -                    | -                         |
| Восточная | 3,09                 | 0,046                     |
| Итого     | 3,09                 | 0,046                     |

Определим суммарную зарядную мощность в линиях:

$$\sum Q_3 = 0,247 \text{ МВар.}$$

Потери реактивной мощности для линий:

$$\sum \Delta Q_L = \frac{0,5}{100} \cdot 11,68 = 0,058 \text{ МВар,}$$

$$\sum Q_T = 3,09 + 0,046 = 3,136 \text{ МВар.}$$

Суммарная реактивная мощность, вырабатываемая генераторами собственных электростанций и обменная реактивная мощность, поступающая из других систем, приведены в таблице 8.

Обменная реактивная мощность, поступающая из других систем равна:

$$Q_{CM} = \sum Q_T + \sum Q_3 - (\sum Q_H + \sum \Delta Q_L + \sum \Delta Q_T) = \\ = 3,136 + 0,247 - (11,68 + 0,058 + 0,175) = -8,53 \text{ МВар.}$$

Найдем приведенные нагрузки и сведем полученные результаты в таблицу 8.

$$\underline{S}_{пр} = \underline{S}_H + \Delta \underline{S}_T. \quad (9)$$

Таблица 8- Приведенные нагрузки подстанций

| №         | $\underline{S}_{пр}$ , МВА |
|-----------|----------------------------|
| ФП-3      | -                          |
| Восточная | 5,284+j3,136               |
| 1         | 0,7182+j0,426              |
| 42        | 0,42+j0,243                |

Продолжение таблицы 8

| №  | $S_{\text{пр}}$ , МВА |
|----|-----------------------|
| 43 | 0,072+j0,041          |
| 27 | 0,65+j0,385           |
| 65 | 0,59+j0,355           |
| 67 | 0,62+j0,365           |
| 9  | 0,51+j0,3             |
| 25 | 0,27+j0,162           |
| 15 | 0,415+j0,246          |
| 8  | 1,18+j0,7             |
| 47 | 0,85+j0,507           |
| 58 | 0,63+j0,375           |
| 39 | 1,21+j0,72            |
| 85 | 0,467+j0,278          |
| 4  | 0,58+j0,351           |
| 64 | 0,56+j0,335           |
| 2  | 1,13+j0,67            |
| 3  | 0,58+j0,351           |
| 18 | 0,49+j0,284           |
| 7  | 1,17+j0,7             |
| 63 | 0,56+j0,335           |
| 16 | 0,415+j0,246          |
| 6  | 1,05+j0,629           |
| 37 | 0,15+j0,081           |
| 66 | 0,59+j0,355           |
| 73 | 0,59+j0,355           |
| 83 | 0,15+j0,081           |
| 75 | 0,113+j0,061          |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |
|     |      |          |         |      |

Продолжение таблицы 8

| №        | $S_{пр}$ , МВА |
|----------|----------------|
| 81       | 0,113+j0,061   |
| 30       | 0,62+j0,365    |
| 5        | 0,35+j0,203    |
| 60       | 0,56+j0,335    |
| 90       | 0,56+j0,335    |
| 91       | 0,56+j0,335    |
| ТП Рынок | 0,23+j0,172    |
| ЭП-763   | 0,041+j0,025   |

## 2 Анализ характерных режимов.

Состояние электрической сети в любой момент времени называется режимом сети и характеризуется параметрами: активной и реактивной мощностями, частотой, напряжением у потребителя и в узловых точках сети, величиной токов по участкам сети, потерями мощности и падениями напряжений в элементах сети.

Задача расчета режима заключается в нахождении его параметров с целью определения условий, в которых работает оборудование сети и ее потребители. Характер режима сети определяется тремя основными факторами: графиками нагрузок отдельных подстанций, режимами работы генерирующих источников, условиями обмена мощностью энергосистемы с соседними. Для ряда систем можно выделить влияние одного определяющего фактора. В рассматриваемой энергосистеме определяющим фактором будем считать нагрузки сети.

При рассмотрении режимов развития электрической сети Челябинского железнодорожного узла использовались программы PRMS и RASTR

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 22          |

Программа PRMS была разработана на кафедре «Электрические станции, сети и системы», в программе реализован метод ускоренной итерации Зейделя для решения узловых уравнений электрической сети с одной ступенью напряжения. Программа составлена для сети не превышающая 50 узлов, 70 ветвей и 20 контуров.

Программный комплекс RastrWin предназначен для решения задач по ведению режимов электрических сетей и систем:

- расчет установившегося режима;
- эквивалентирование электрической сети;
- оптимизация режима по напряжению и реактивной мощности;
- расчет режима по данным измерений;
- расчет предельных режимов.

Особенности новой версии программного комплекса:

**Совместимость и обмен данными с другими программами:**

- полная совместимость с DOC-версией при чтении файлов формата rge, sche, ut. Файлы старых форматов (reg , sre ) не поддерживаются;
- расширенный формат импорта/экспорта (текстовый файл в формате ЦДУ и текстовые файлы с разделителями (CSV)). Используется настройка состава импортируемой/экспортируемой информации с помощью макро.

**Расчеты:**

- сохранены все возможности DOC-версии по расчету установившегося режима, оптимизации, эквивалентированию, расчетам предельных режимов.
- за счет перехода к хранению чисел с удвоенной точностью увеличена надежность сходимости и точность расчетов, особенно в неоднородных сетях;
- добавлена возможность обобщенного расчета режима методом взвешенных наименьших квадратов по произвольной информации различного типа (нагрузки узлов, напряжения, косинусы углов нагрузки, потоки в линиях, суммарные величины нагрузки, генерации и перетоков в сечениях) и характера ( контрольный замер, телеметрия, базовые режимы).

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 23          |

- для проведения вариантных расчетов добавлена таблица Контролируемые параметры, позволяющая отследить изменение практически любых параметров режима при проведении вариантных расчетов.

#### **База данных:**

- хранение данных (как исходного так и расчетного характера) производится в единой встроенной базе данных;
- пользователь комплекса может создавать свои поля в базе данных и задавать связи между полями с помощью формул;
- при загрузке и сохранении файлов используются шаблоны (типы файлов), хранящие информацию о типах загружаемых/сохраняемых данных, пользователь программы может изменять и создавать свои типы данных.

#### **Табличный процессор:**

- на основе базы данных пользователь может формировать свои таблицы, содержащие как исходные данные, так и результаты расчетов, определять редактируемую и неизменяемую информацию;
- можно определять связанные таблицы, то есть несколько таблиц в одном окне;
- для каждой таблицы можно определить свою сортировку по любому параметру и выборку.

#### **Графика:**

- сохранены основные возможности графики, присутствующие в DOC-версии;
- задаваемые наборы отображаемых в графике параметров сохраняются под своими именами;
- возможна подготовка и отображение графических схем различного характера, например графически отобразить взаимодействие районов.

Для начала рассмотрим все режимы электрической сети в программе PRMS.

Рассмотрим режим максимальных нагрузок для существующей сети (рисунок 1). После этого проверим линии на нагрев, то есть по допусти-

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 24          |

мым токам. Полученные данные на загрузку линии сведем в таблицу 9/3/.  
 Максимальные потери составили  $\Delta P_{\text{нб}} = 0,546 \text{ МВт}$ , максимальное напряжение в узле «Восточная»- 6,04 кВ, минимальное напряжение в узле №2- 5,83кВ. Отклонение напряжения в узлах находится в допустимых пределах  $\pm 5\%$  от  $U_{\text{ном}}$ , поэтому регулирование напряжения не требуется.

Таблица 9- Проверка по допустимому току линий 6 кВ

| №             | Марка провода | Наибольший ток, протекающий по линии, А | Допустимый ток при +25 <sup>0</sup> С, А |
|---------------|---------------|---|--|
| Восточная- 65 | АСБ 3x50      | 591,9                                   | 438                                      |
|               | АСБ 3x70      |   | 534                                      |
| 65-9          | ААБ 3x120     | 386,86                                  | 654                                      |
|               | ААБВ 3x150    |   | 738                                      |
| 65-43         | ААБ 3x70      | 124,23                                  | 486                                      |
|               | ААБ 3x120     |   | 654                                      |
|               | ААБ 3x120     |   | 654                                      |
| 43-27         | ААБ 3x70      | 115,84                                  | 486                                      |
| 9-42          | АСБ 3x95      | 174,14                                  | 642                                      |
|               | СБ 3x70       |   | 732                                      |
| 9-67          | 2хАСБ 3x150   | 16,94                                   | 1710                                     |
|               | 2хАСБ 3x95    |   | 1284                                     |
|               | 2хСБ 3x70     |   | 1464                                     |
| 42-1          | СБ 3x70       | 127,45                                  | 732                                      |
|               | АСБ 3x95      |   | 642                                      |
| 25-27         | ААШВ 3x240    | 43                                      | 1167                                     |
| 25-90         | АСБ 3x240     | 29,67                                   | 999                                      |
| 25-15         | АС-95         | 39,48                                   | 330                                      |
|               | ААБЛ 3x150    |   | 738                                      |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

25

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
|     |      |          |         |      |
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |

Продолжение таблицы 9

| №          | Марка провода | Наибольший ток, протекающий по линии, А | Допустимый ток, А |
|------------|---------------|---|-------------------|
| 15-ЭП-763  | АСБ 3x185     | 106,53                                  | 999               |
|            | АСБ 3x240     |   | 999               |
|            | АС-95         |   | 330               |
| 7-ЭП-763   | АСБ 3x185     | 112,12                                  | 999               |
|            | АСБ 3x240     |   | 999               |
|            | АС-95         |   | 330               |
| 15-91      | 2хААШВ 3x150  | 63                                      | 1710              |
| 9-47       | АСБ 3x70      | 137,11                                  | 534               |
| 47-8       | СБ 3x70       | 110,02                                  | 732               |
| 47-2       | АСБ 3x95      | 179,46                                  | 642               |
| 2-3        | АСБ 3x95      | 52,81                                   | 642               |
|            | ААПВ 3x95     |   | 711               |
| 47-58      | СБ 3x150      | 201,28                                  | 1026              |
| 58-39      | АСБ 3x150     | 272,35                                  | 855               |
| 39-4       | АСБ 3x150     | 412,42                                  | 855               |
|            | АСБ 3x240     |   | 999               |
| 4-64       | СБ 3x25       | 63,18                                   | 480               |
| 4-ФП-3     | АСБ 3x240     | 627,72                                  | 999               |
|            | 3хАС-50       |   | 630               |
|            | АСБ 3x240     |   | 999               |
| 4-81       | ААШВ-1 4x95   | 19,9                                    | 948               |
| 4-85       | АСБ 3x240     | 52,51                                   | 999               |
|            | 3хАС-50       |   | 630               |
| 7-ТП РЫНОК | АСБ 120       | 27,71                                   | 248               |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

26

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
|     |      |          |         |      |
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |

Продолжение таблицы 9

| №       | Марка провода    | Наибольший ток,<br>протекающий по<br>линии, А | Допустимый ток,<br>А |
|---------|------------------|---|----------------------|
| 7-63    | АСБ 3x95         | 83,09   | 642                  |
| 63-16   | СБ 3x70          | 68,06   | 732                  |
| 16-37   | СБ 3x70          | 114,63  | 732                  |
|         | АСБ 3x95         |   | 642                  |
| 37-6    | СБ 3x70          | 131,63  | 732                  |
|         | АСБ 3x95         |   | 642                  |
| 6-ФП-3  | АСБ 3x240        | 329,99  | 999                  |
|         | СБ 3x95          |   | 888                  |
| 7-ФП-3  | ААШВ 3x240       | 190,17  | 1167                 |
|         | АСБ 3x240        |   | 999                  |
| 90-ФП-3 | 3xАС-120         | 146,51  | 1140                 |
| 90-67   | АСБ 3x240        | 48,66   | 999                  |
| 15-8    | СБ 3x50          | 35,18   | 600                  |
| ФП-3-18 | ААШБ 3x240       | 54,55   | 1167                 |
| ФП-3-83 | АСШВО-10<br>3x50 | 16,43   | 438                  |
| 67-25   | АСБ 3x150        | 3,87  | 855                  |
| 1-47    | СБ 3x70          | 45,88   | 732                  |
| 3-8     | СБ 3x95          | 12,71   | 888                  |
| 6-63    | АСБ 3x95         | 78,21   | 642                  |
|         | АСБ 3x240        |   | 999                  |
| 4-75    | 3xАС-95          | 17,34   | 990                  |
|         | АСБ 3x150        |   | 855                  |
|         | А-70             |   | 265                  |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

27

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
|     |      |          |         |      |
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |

Продолжение таблицы 9

| №       | Марка провода | Наибольший ток, протекающий по линии, А | Допустимый ток, А |
|---------|---------------|---|-------------------|
| 75-30   | 3хАС-95       | 5,01                                    | 990               |
|         | АСБ 3х150     |   | 855               |
|         | А-70          |   | 265               |
| 30-5    | АСБ 3х120     | 646,72                                  | 744               |
|         | АСБ 3х150     |   | 855               |
|         | А-70          |   | 265               |
| 5-60    | СБ 3х70       | 103,89                                  | 732               |
|         | АСБ 3х95      |   | 642               |
| 60-66   | АСБ 3х70      | 167,14                                  | 534               |
| 66-73   | АСБ 3х185     | 65,89                                   | 999               |
| 73-ФП-3 | АСБ 3х185     | 132,59                                  | 999               |
| 66-ФП-3 | АСБ 3х150     | 168,27                                  | 855               |

Для кабелей напряжением до 10 кВ с бумажной пропитанной изоляцией, несущих нагрузки меньше номинальных, может допускаться кратковременная перегрузка, указанная в таблице 10/2/.

На период ликвидации послеаварийного режима для кабелей с полиэтиленовой изоляцией допускается перегрузка до 10%, а для кабелей с поливинилхлоридной изоляцией до 15% номинальной на время максимумов нагрузки продолжительностью не более 6 часов в сутки, в течение 5 суток, если нагрузка в остальные периоды времени этих суток не превышает номинальной.

На период ликвидации послеаварийного режима для кабелей напряжением до 10 кВ с бумажной изоляцией допускаются перегрузки в течение 5 суток в пределах, указанных в таблице 11/2/.

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 28          |

Таблица 10- Допустимая кратковременная перегрузка для кабелей напряжением до 10 кВ с бумажной пропитанной изоляцией

| Коэффициент предварительной нагрузки | Вид прокладки      | Допустимая перегрузка по отношению к номинальной в течение, ч |      |      |
|--------------------------------------|--------------------|---|------|------|
|                                      |                    | 0,5   | 1,0  | 3,0  |
| 0,6                                  | В земле            | 1,35  | 1,3  | 1,15 |
|                                      | В воздухе          | 1,25  | 1,15 | 1,10 |
|                                      | В трубах (в земле) | 1,20  | 1,0  | 1,0  |
| 0,8                                  | В земле            | 1,20  | 1,15 | 1,10 |
|                                      | В воздухе          | 1,15  | 1,10 | 1,05 |
|                                      | В трубах (в земле) | 1,10  | 1,05 | 1,0  |

Таблица 11- Допустимая на период ликвидации послеаварийного режима перегрузка для кабелей напряжением до 10 кВ с бумажной изоляцией

| Коэффициент предварительной нагрузки | Вид прокладки      | Допустимая перегрузка по отношению к номинальной при длительности максимума, ч |      |      |
|--------------------------------------|--------------------|--|------|------|
|                                      |                    | 1  | 3    | 6    |
| 0,6                                  | В земле            | 1,5  | 1,35 | 1,25 |
|                                      | В воздухе          | 1,35   | 1,25 | 1,25 |
|                                      | В трубах (в земле) | 1,30   | 1,20 | 1,15 |
| 0,8                                  | В земле            | 1,35   | 1,25 | 1,20 |
|                                      | В воздухе          | 1,30   | 1,25 | 1,25 |
|                                      | В трубах (в земле) | 1,20   | 1,15 | 1,10 |

Для кабелей, находящихся в эксплуатации более 15 лет, перегрузки должны быть понижены на 10%.

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                |             |

При определении допустимых длительных токов для кабелей, изолированных и неизолированных проводов, положенных в среде, температура которой существенно отличается от приведенной в таблице 10, следует применять коэффициенты, приведенные в таблице 12/2/.

Таблица 12- Поправочные коэффициенты на токи для кабелей неизолированных и изолированных проводов в зависимости от температуры земли и воздуха.

| Условная температура среды, °С | Нормированная температура жил, °С | Поправочные коэффициенты на токи при расчетной температуре среды, °С |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|-----------------------------------|--|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
|                                |                                   | -5 и ниже  | 0    | +5   | +10  | +15  | +20  | +25 | +30  | +35  | +40  | +45  | +50  |
| 25                             | 80                                | 1,24   | 1,20 | 1,17 | 1,13 | 1,09 | 1,04 | 1,0 | 0,95 | 0,9  | 0,85 | 0,8  | 0,74 |
|                                | 70                                | 1,29   | 1,24 | 1,20 | 1,15 | 1,11 | 1,05 | 1,0 | 0,94 | 0,88 | 0,81 | 0,74 | 0,67 |
|                                | 65                                | 1,32   | 1,27 | 1,22 | 1,17 | 1,12 | 1,06 | 1,0 | 0,94 | 0,87 | 0,79 | 0,71 | 0,61 |
|                                | 60                                | 1,36   | 1,31 | 1,25 | 1,20 | 1,13 | 1,07 | 1,0 | 0,93 | 0,85 | 0,76 | 0,66 | 0,54 |
|                                | 55                                | 1,41   | 1,35 | 1,29 | 1,23 | 1,15 | 1,08 | 1,0 | 0,91 | 0,82 | 0,71 | 0,58 | 0,41 |
|                                | 50                                | 1,48   | 1,41 | 1,34 | 1,26 | 1,18 | 1,09 | 1,0 | 0,89 | 0,78 | 0,63 | 0,45 | -    |

В распределительных сетях низкого (менее 1000 В) и среднего напряжения (от 3 до 35 кВ) огромное значение имеет величина наибольшей потери напряжения от центра питания до самого удаленного потребителя (электроприемника). Поэтому методика выбора сечений проводников в распределительных и питающих сетях до 35 кВ основана на ограничении по допустимой потере напряжения.

Из таблицы 9 видно, что требуется реконструкция линии «Восточная- 65», так как ток протекающий по линии АСБ 3х50 и АСБ 3х70 намного больше допустимого тока. Определим по допустимой потере напряжения какой кабель необходимо установить на участке «Восточная- 65».

Так как для кабельных линий погонное индуктивное сопротивление мало (меньше 0,1 Ом) и в силу того, что кабельные линии имеют небольшую длину, её индуктивным сопротивлением можно пренебречь. Тогда потерю напряжения в линии определим по формуле 10/6/:

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 30          |

$$\Delta U = \frac{P \cdot R}{U_{\text{НОМ}}} = \frac{P \cdot \rho \cdot l}{U_{\text{НОМ}} \cdot F}, \quad (10)$$

где P- активная мощность, протекающая по линии;

R- активное сопротивление;

$\rho$ - удельное сопротивление проводника; Ом·мм<sup>2</sup>/км;

l- длина линии;

U<sub>НОМ</sub>- номинальное напряжение линии;

F- сечение проводника.

Потеря напряжения в линии не должна быть больше допустимой потери напряжения  $\Delta U \leq \Delta U_{\text{доп}}$ , тогда приравнявая действительную и допустимую потери напряжения будем иметь формулу 11 для определения ориентировочного сечения жилы кабеля:

$$F = \frac{P \cdot \rho \cdot l}{U_{\text{НОМ}} \cdot \Delta U_{\text{доп}}}. \quad (11)$$

Обычно потеря напряжения равна 6...8%. В послеаварийных режимах допускается потеря напряжения 10...12%/4/. Тогда  $\Delta U_{\text{доп}} = 6000 \cdot 0,06 = 360 \text{ В}$ .

$$F = \frac{5,28 \cdot 28,3 \cdot 1 \cdot 1000}{6 \cdot 360} = 69,17 \text{ мм}^2.$$

Полученное сечение следует использовать для подбора ближайшего большего стандартного сечения.

Стандартное сечение кабеля АСБ 3х70 и его параметры:

$$F = 67,7 \text{ мм}^2 \quad I_{\text{доп}} = 534 \text{ А}.$$

Стандартное сечение кабеля АСБ 3х95 и его параметры:

$$F = 94 \text{ мм}^2 \quad I_{\text{доп}} = 642 \text{ А}.$$

Так как узел «65» относится к I-ой категории потребителей, то в соответствии с Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) нагрузки I категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых источников питания, и перерыв в их электроснабжении допускается лишь на период автоматического включения резервного питания. В большинстве случаев двухцепная

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 31          |

линия не удовлетворяет требованиям надежности электроснабжения потребителей I категории, так как при повреждении опор, гололеде, возможен полный пере-рыв питания. Для таких потребителей необходимо предусматривать не менее двух отдельных линий. Следовательно, на участке «Восточная- 65» необходимо прокладка кабеля 2хАСБ 3х95.

Выбранное сечение провода линии подлежит обязательной проверке по нагреву в послеаварийном режиме. Для этого рассмотрим послеаварийный режим, в котором будем производить отключение линии, если линия двух или трехцепная, то отключаем одну цепь, если одноцепная то отключаем всю линию. Результаты проверки линий на загрузку сведем в таблицы 13, 14, 15, 16 17.

Таблица 13- Отключение линии «Восточная-65»

| Начало и ко-<br>нец ветви | Марка про-<br>вода                     | Мощность в<br>начале ветви |                | Мощность в<br>конце ветви |                | Потери мощ-<br>ности в ветви |    | Наибольший<br>ток, проте-<br>кающий по<br>линии, А | Допу-<br>сти-<br>мый<br>ток, А |
|---------------------------|--|----------------------------|----------------|---------------------------|----------------|------------------------------|----|--|--------------------------------|
|                           |  | P <sub>н</sub>             | Q <sub>н</sub> | P <sub>к</sub>            | Q <sub>к</sub> | ΔP                           | ΔQ |  |                                |
| Восточная- 65             | АСБ 3х95                               | 5,28                       | 3,14           | 5,02                      | 3,14           | 0,258                        | 0  | 591,67   | 642                            |
| 65-9                      | ААБ 3х120<br>ААБВ 3х150                | 3,33                       | 2,12           | 3,30                      | 2,12           | 0,03                         | 0  | 380,56   | 654<br>738                     |
| 65-43                     | ААБ 3х70<br>ААБ 3х120<br>ААБ 3х120     | 1,10                       | 0,67           | 1,09                      | 0,67           | 0,006                        | 0  | 123,82   | 486<br>654<br>654              |
| 43-27                     | ААБ 3х70                               | 1,02                       | 0,63           | 1,02                      | 0,63           | 0,003                        | 0  | 115,85   | 486                            |
| 9-42                      | АСБ 3х95<br>СБ 3х70                    | 1,53                       | 1,02           | 1,53                      | 1,02           | 0,002                        | 0  | 177,22   | 642<br>732                     |
| 9-67                      | 2хАСБ 3х150<br>2хАСБ 3х95<br>2хСБ 3х70 | 0,15                       | 0,04           | 0,15                      | 0,04           | 0                            | 0  | 15,06  | 1710<br>1284<br>1464           |
| 42-1                      | СБ 3х70<br>АСБ 3х95                    | 1,12                       | 0,78           | 1,12                      | 0,78           | 0,002                        | 0  | 131,47   | 732<br>642                     |
| 25-27                     | ААШВ 3х240                             | 0,37                       | 0,25           | 0,37                      | 0,25           | 0                            | 0  | 43,65  | 1167                           |
| 90-25                     | АСБ 3х240                              | 0,22                       | 0,15           | 0,22                      | 0,15           | 0                            | 0  | 25,7   | 999                            |
| 25-15                     | АС-95<br>ААБЛ 3х150                    | 0,32                       | 0,23           | 0,32                      | 0,23           | 0,002                        | 0  | 38,3   | 330<br>738                     |
|                           |  |                            |                |                           |                |                              |    |  |                                |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

32

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
|     |      |          |         |      |
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |

Продолжение таблицы 13

| Начало и конец ветви | Марка про- вода      | Мощность в начале ветви |                | Мощность в конце ветви |                | Потери мощ- ности в ветви |    | Наибольший ток, проте- кающий по линии, А | Допу- стимый ток, А |
|----------------------|----------------------|-------------------------|----------------|------------------------|----------------|---------------------------|----|---|---------------------|
|                      |                      | P <sub>н</sub>          | Q <sub>н</sub> | P <sub>к</sub>         | Q <sub>к</sub> | ΔP                        | ΔQ |   |                     |
| ЭП-763-15            | АСБ 3x185            | 1                       | 0,52           | 0,99                   | 0,52           | 0,01                      | 0  | 108,24                                    | 999                 |
|                      | АСБ 3x240            |                         |                |                        |                |                           |    |   | 999                 |
|                      | АС-95                |                         |                |                        |                |                           |    |   | 330                 |
| ЭП-763-7             | АСБ 3x185            | 1,05                    | 0,55           | 1,04                   | 0,55           | 0,011                     | 0  | 114,05                                    | 999                 |
|                      | АСБ 3x240            |                         |                |                        |                |                           |    |   | 999                 |
|                      | АС-95                |                         |                |                        |                |                           |    |   | 330                 |
| 15-91                | 2хААШВ<br>3x150      | 0,57                    | 0,34           | 0,57                   | 0,34           | 0                         | 0  | 64,07                                     | 1710                |
| 9-47                 | АСБ 3x70             | 1,1                     | 0,76           | 1,1                    | 0,76           | 0,004                     | 0  | 129,31                                    | 534                 |
| 47-8                 | СБ 3x70              | 1,06                    | 0,65           | 1,05                   | 0,65           | 0,002                     | 0  | 119,43                                    | 732                 |
| 47-2                 | АСБ 3x95             | 1,51                    | 0,91           | 1,51                   | 0,91           | 0,003                     | 0  | 170,25                                    | 642                 |
| 2-3                  | АСБ 3x95             | 0,38                    | 0,24           | 0,38                   | 0,24           | 0                         | 0  | 43,7                                      | 642                 |
|                      | ААПВ 3x95            |                         |                |                        |                |                           |    |   | 711                 |
| 58-47                | СБ 3x150             | 1,89                    | 0,95           | 1,89                   | 0,95           | 0,004                     | 0  | 203,87                                    | 1026                |
| 39-58                | АСБ 3x150            | 2,53                    | 1,32           | 2,52                   | 1,32           | 0,008                     | 0  | 274,81                                    | 855                 |
| 39-4                 | АСБ 3x150            | 3,79                    | 2,04           | 3,73                   | 2,04           | 0,061                     | 0  | 414,31                                    | 855                 |
|                      | АСБ 3x240            |                         |                |                        |                |                           |    |   | 999                 |
| 4-64                 | СБ 3x25              | 0,57                    | 0,34           | 0,57                   | 0,34           | 0                         | 0  | 63,86                                     | 480                 |
| 4-ФП-3               | АСБ 3x240            | 5,74                    | 3,17           | 5,66                   | 3,17           | 0,081                     | 0  | 632,2                                     | 999                 |
|                      | 3хАС-50              |                         |                |                        |                |                           |    |   | 630                 |
|                      | АСБ 3x240            |                         |                |                        |                |                           |    |   | 999                 |
| 4-81                 | ААШВ-1<br>4x95       | 0,18                    | 0,09           | 0,18                   | 0,09           | 0                         | 0  | 19,37                                     | 948                 |
| 4-85                 | АСБ 3x240<br>3хАС-50 | 0,47                    | 0,28           | 0,47                   | 0,28           | 0,002                     | 0  | 52,91                                     | 999<br>630          |
| 7-ТП Рынок           | АСБ 120              | 0,23                    | 0,17           | 0,23                   | 0,17           | 0                         | 0  | 27,66                                     | 248                 |
| 63-7                 | АСБ 3x95             | 0,68                    | 0,38           | 0,68                   | 0,38           | 0,001                     | 0  | 74,92                                     | 642                 |
| 16-63                | СБ 3x70              | 0,58                    | 0,33           | 0,57                   | 0,33           | 0,001                     | 0  | 63,93                                     | 732                 |
| 37-16                | СБ 3x70              | 0,99                    | 0,58           | 0,98                   | 0,58           | 0,001                     | 0  | 110,25                                    | 732                 |
|                      | АСБ 3x95             |                         |                |                        |                |                           |    |   | 642                 |
| 6-37                 | СБ 3x70              | 1,14                    | 0,66           | 1,14                   | 0,66           | 0,002                     | 0  | 126,83                                    | 732                 |
|                      | АСБ 3x95             |                         |                |                        |                |                           |    |   | 642                 |
| 6-ФП-3               | АСБ 3x240            | 2,89                    | 1,68           | 2,86                   | 1,68           | 0,031                     | 0  | 321,85                                    | 999                 |
|                      | СБ 3x95              |                         |                |                        |                |                           |    |   | 888                 |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

33

Изм Лист № Докум. Подпись Дата

Продолжение таблицы 13

| Начало и конец ветви | Марка про- вода                | Мощность в начале ветви |                | Мощность в конце ветви |                | Потери мощ- ности в ветви |       | Наибольший ток, проте- кающий по линии, А | Допу- стимый ток, А |
|----------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------|------------------------|----------------|---------------------------|-------|---|---------------------|
|                      |                                | P <sub>н</sub>          | Q <sub>н</sub> | P <sub>к</sub>         | Q <sub>к</sub> | ΔP                        | ΔQ    |   |                     |
| 7-ФП-3               | ААШВ 3х240<br>АСБ 3х240        | 1,8                     | 1,04           | 1,77                   | 1,04           | 0,029                     | 0     | 200,23                                    | 1167<br>999         |
| 90-ФП-3              | 3хАС-120                       | 1,29                    | 0,91           | 1,24                   | 0,91           | 0,043                     | 0,004 | 146,74                                    | 1140                |
| 90-67                | АСБ 3х240                      | 0,4                     | 0,29           | 0,4                    | 0,29           | 0                         | 0     | 47,65                                     | 999                 |
| 15-8                 | СБ 3х50                        | 0,33                    | 0,16           | 0,33                   | 0,16           | 0                         | 0     | 35,15                                     | 600                 |
| ФП-3-18              | ААШВ 3х240                     | 0,49                    | 0,28           | 0,49                   | 0,28           | 0                         | 0     | 54,35                                     | 1167                |
| ФП-3-83              | АСШВО-10<br>3х50               | 0,15                    | 0,08           | 0,15                   | 0,08           | 0                         | 0     | 16,39                                     | 438                 |
| 67-25                | АСБ 3х150                      | 0,04                    | 0,03           | 0,04                   | 0,03           | 0                         | 0     | 5,17                                      | 855                 |
| 1-47                 | СБ 3х70                        | 0,37                    | 0,34           | 0,37                   | 0,34           | 0                         | 0     | 48,6                                      | 732                 |
| 3-8                  | СБ 3х95                        | 0,20                    | 0,11           | 0,20                   | 0,11           | 0                         | 0     | 21,71                                     | 888                 |
| 6-63                 | АСБ 3х95<br>АСБ 3х240          | 0,67                    | 0,39           | 0,66                   | 0,39           | 0,003                     | 0     | 74,41                                     | 642<br>999          |
| 4-75                 | 3хАС-95<br>АСБ 3х150<br>А-70   | 0,17                    | 0,11           | 0,17                   | 0,11           | 0                         | 0     | 19,91                                     | 990<br>855<br>265   |
| 75-30                | 3хАС-95<br>АСБ 3х150<br>А-70   | 0,05                    | 0,05           | 0,06                   | 0,05           | 0                         | 0     | 7,81                                      | 990<br>855<br>265   |
| 30-5                 | АСБ 3х120<br>АСБ 3х150<br>А-70 | 0,56                    | 0,32           | 0,56                   | 0,32           | 0,004                     | 0     | 62,10                                     | 744<br>855<br>265   |
| 5-60                 | СБ 3х70<br>АСБ 3х95            | 0,91                    | 0,52           | 0,91                   | 0,52           | 0,002                     | 0     | 101,13                                    | 732<br>642          |
| 60-66                | АСБ 3х70                       | 1,47                    | 0,86           | 1,48                   | 0,86           | 0,005                     | 0     | 164,62                                    | 534                 |
| 66-73                | АСБ 3х185                      | 0,55                    | 0,32           | 0,55                   | 0,32           | 0,001                     | 0     | 61,59                                     | 999                 |
| 73-ФП-3              | АСБ 3х185                      | 1,15                    | 0,67           | 1,14                   | 0,67           | 0,004                     | 0     | 128,07                                    | 999                 |
| 66-ФП-3              | АСБ 3х150                      | 1,52                    | 0,89           | 1,51                   | 0,89           | 0,008                     | 0     | 169,81                                    | 855                 |

Максимальные потери составили  $\Delta P_{нб} = 0,628$  МВт, максимальное напряжение в узле «Восточная»- 6,11 кВ, минимальное напряжение в узле №2 5,83 кВ. Отклонение напряжения в узлах находится в допустимых пре-

|            |             |                 |                |             |                                |  |  |  |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|--|--|--|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> |  |  |  | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                |  |  |  | 34          |

делах  $\pm 10\%$  от  $U_{НОМ}$ , поэтому регулирование напряжения не требуется. Из таблицы 13 видно, что реконструкция линий не требуется.

Таблица 14- Отключение линии «9-65»

| Начало и конец ветви | Марка провода   | Мощность в начале ветви |       | Мощность в конце ветви |       | Потери мощности в ветви |            | Наибольший ток, протекающий по линии, А | Допустимый ток, А |
|----------------------|-----------------|-------------------------|-------|------------------------|-------|-------------------------|------------|---|-------------------|
|                      |                 | $P_H$                   | $Q_H$ | $P_K$                  | $Q_K$ | $\Delta P$              | $\Delta Q$ |   |                   |
| Восточная- 65        | 2хАСБ 3х95      | 5,28                    | 3,14  | 5,10                   | 3,14  | 0,18                    | 0          | 591,61                                  | 1284              |
| 65-9                 | ААБ 2х120       | 3,13                    | 1,95  | 3,09                   | 1,95  | 0,038                   | 0          | 355,35                                  | 436               |
|                      | ААБВ 2х150      |                         |       |                        |       |                         |            |   | 492               |
| 65-43                | ААБ 3х70        | 1,38                    | 0,84  | 1,37                   | 0,84  | 0,009                   | 0          | 155,57                                  | 486               |
|                      | ААБ 3х120       |                         |       |                        |       |                         |            |   | 654               |
|                      | ААБ 3х120       |                         |       |                        |       |                         |            |   | 654               |
| 43-27                | ААБ 3х70        | 1,30                    | 0,80  | 1,30                   | 0,80  | 0,006                   | 0          | 147,33                                  | 486               |
| 9-42                 | АСБ 3х95        | 1,53                    | 1,00  | 1,53                   | 1,00  | 0,002                   | 0          | 176,40                                  | 642               |
|                      | СБ 3х70         |                         |       |                        |       |                         |            |   | 732               |
| 67-9                 | 2хАСБ 3х150     | 0,06                    | 0,10  | 0,06                   | 0,10  | 0,000                   | 0          | 11,41                                   | 1710              |
|                      | 2хАСБ 3х95      |                         |       |                        |       |                         |            |   | 1284              |
|                      | 2хСБ 3х70       |                         |       |                        |       |                         |            |   | 1464              |
| 42-1                 | СБ 3х70         | 1,12                    | 0,76  | 1,12                   | 0,76  | 0,002                   | 0          | 130,59                                  | 732               |
|                      | АСБ 3х95        |                         |       |                        |       |                         |            |   | 642               |
| 25-27                | ААШВ 3х240      | 0,65                    | 0,42  | 0,65                   | 0,42  | 0,001                   | 0          | 74,89                                   | 1167              |
| 25-90                | АСБ 3х240       | 0,05                    | 0,05  | 0,05                   | 0,05  | 0,000                   | 0          | 6,94                                    | 999               |
| 25-15                | АС-95           | 0,36                    | 0,25  | 0,36                   | 0,25  | 0,002                   | 0          | 42,16                                   | 330               |
|                      | ААБЛ 3х150      |                         |       |                        |       |                         |            |   | 738               |
| 15- ЭП-763           | АСБ 3х185       | 0,98                    | 0,52  | 0,97                   | 0,52  | 0,010                   | 0          | 107,37                                  | 999               |
|                      | АСБ 3х240       |                         |       |                        |       |                         |            |   | 999               |
|                      | АС-95           |                         |       |                        |       |                         |            |   | 330               |
| 7 -ЭП-763            | АСБ 3х185       | 1,04                    | 0,55  | 1,03                   | 0,55  | 0,011                   | 0          | 113,18                                  | 999               |
|                      | АСБ 3х240       |                         |       |                        |       |                         |            |   | 999               |
|                      | АС-95           |                         |       |                        |       |                         |            |   | 330               |
| 15-91                | 2хААШВ<br>3х150 | 0,57                    | 0,34  | 0,57                   | 0,34  | 0,000                   | 0          | 64,10                                   | 1710              |
| 9-47                 | АСБ 3х70        | 1,10                    | 0,75  | 1,10                   | 0,75  | 0,004                   | 0          | 128,50                                  | 534               |
| 47-8                 | СБ 3х70         | 1,04                    | 0,64  | 1,04                   | 0,64  | 0,002                   | 0          | 117,35                                  | 732               |
| 47-2                 | АСБ 3х95        | 1,51                    | 0,90  | 1,50                   | 0,90  | 0,003                   | 0          | 169,24                                  | 642               |
| 2-3                  | АСБ 3х95        | 0,38                    | 0,23  | 0,38                   | 0,23  | 0,000                   | 0          | 42,73                                   | 642               |
|                      | ААПВ 3х95       |                         |       |                        |       |                         |            |   | 711               |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

35

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |
|-----|------|----------|---------|------|

Продолжение таблицы 14

| Начало и конец ветви | Марка про- вода                   | Мощность в начале ветви |                | Мощность в конце ветви |                | Потери мощ- ности в ветви |       | Наибольший ток, проте- кающий по линии, А | Допу- стимый ток, А |
|----------------------|-----------------------------------|-------------------------|----------------|------------------------|----------------|---------------------------|-------|---|---------------------|
|                      |                                   | P <sub>н</sub>          | Q <sub>н</sub> | P <sub>к</sub>         | Q <sub>к</sub> | ΔP                        | ΔQ    |   |                     |
| 47-58                | СБ 3x150                          | 1,87                    | 0,95           | 1,87                   | 0,95           | 0,004                     | 0     | 202,26                                    | 1026                |
| 58-39                | АСБ 3x150                         | 2,50                    | 1,33           | 2,50                   | 1,33           | 0,008                     | 0     | 273,19                                    | 855                 |
| 39-4                 | АСБ 3x150<br>АСБ 3x240            | 3,76                    | 2,05           | 3,70                   | 2,05           | 0,060                     | 0     | 412,70                                    | 855<br>999          |
| 4-64                 | СБ 3x25                           | 0,57                    | 0,34           | 0,57                   | 0,34           | 0                         | 0     | 63,80                                     | 480                 |
| 4-ФП-3               | АСБ 3x240<br>3xАС-50<br>АСБ 3x240 | 5,72                    | 3,18           | 5,64                   | 3,18           | 0,081                     | 0     | 630,80                                    | 999<br>630<br>999   |
| 4-81                 | ААШВ-1<br>4x95                    | 0,18                    | 0,09           | 0,18                   | 0,09           | 0,000                     | 0     | 18,93                                     | 948                 |
| 4-85                 | АСБ 3x240<br>3xАС-50              | 0,47                    | 0,23           | 0,47                   | 0,23           | 0,002                     | 0     | 52,91                                     | 999<br>630          |
| 7-ТП Рынок           | АСБ 120                           | 0,23                    | 0,17           | 0,23                   | 0,17           | 0                         | 0     | 27,65                                     | 248                 |
| 7-63                 | АСБ 3x95                          | 0,67                    | 0,38           | 0,67                   | 0,38           | 0,001                     | 0     | 74,47                                     | 642                 |
| 63-16                | СБ 3x70                           | 0,57                    | 0,33           | 0,57                   | 0,33           | 0,001                     | 0     | 63,66                                     | 732                 |
| 37-16                | СБ 3x70<br>АСБ 3x95               | 0,98                    | 0,58           | 0,98                   | 0,58           | 0,001                     | 0     | 109,99                                    | 732<br>642          |
| 3-76                 | СБ 3x70<br>АСБ 3x95               | 1,14                    | 0,66           | 1,13                   | 0,66           | 0,002                     | 0     | 126,57                                    | 732<br>642          |
| 6-ФП-3               | АСБ 3x240<br>СБ 3x95              | 2,88                    | 1,68           | 2,85                   | 1,68           | 0,031                     | 0     | 321,41                                    | 999<br>888          |
| 7-ФП-3               | ААШВ 3x240<br>АСБ 3x240           | 1,79                    | 1,04           | 1,76                   | 1,04           | 0,129                     | 0     | 199,80                                    | 1167<br>999         |
| 90-ФП-3              | 3xАС-120                          | 1,26                    | 0,80           | 1,22                   | 0,80           | 0,041                     | 0,004 | 143,78                                    | 1140                |
| 90-67                | АСБ 3x240                         | 0,54                    | 0,38           | 0,54                   | 0,38           | 0                         | 0     | 63,95                                     | 999                 |
| 8-15                 | СБ 3x50                           | 0,35                    | 0,18           | 0,35                   | 0,18           | 0                         | 0     | 38,11                                     | 600                 |
| ФП-3-18              | ААШВ 3x240                        | 0,49                    | 0,28           | 0,49                   | 0,28           | 0                         | 0     | 54,35                                     | 1167                |
| ФП-3-83              | АСШВО-10<br>3x50                  | 0,15                    | 0,08           | 0,15                   | 0,08           | 0                         | 0     | 16,39                                     | 438                 |
| 25-67                | АСБ 3x150                         | 0,12                    | 0,08           | 0,12                   | 0,08           | 0                         | 0     | 13,45                                     | 855                 |
| 1-47                 | СБ 3x70                           | 0,37                    | 0,33           | 0,37                   | 0,33           | 0                         | 0     | 47,7                                      | 732                 |
| 8-3                  | СБ 3x95                           | 0,21                    | 0,12           | 0,21                   | 0,12           | 0                         | 0     | 22,69                                     | 888                 |
| 6-63                 | АСБ 3x95<br>АСБ 3x240             | 0,67                    | 0,39           | 0,66                   | 0,39           | 0,003                     | 0     | 74,21                                     | 642<br>999          |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

36

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |
|-----|------|----------|---------|------|

Продолжение таблицы 14

| Начало и конец ветви | Марка про- вода                | Мощность в начале ветви |                | Мощность в конце ветви |                | Потери мощ- ности в ветви |    | Наибольший ток, проте- кающий по линии, А | Допу- стимый ток, А |
|----------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------|------------------------|----------------|---------------------------|----|---|---------------------|
|                      |                                | P <sub>н</sub>          | Q <sub>н</sub> | P <sub>к</sub>         | Q <sub>к</sub> | ΔP                        | ΔQ |   |                     |
| 4-75                 | 3хАС-95<br>АСБ 3х150<br>А-70   | 0,18                    | 0,11           | 0,18                   | 0,11           | 0                         | 0  | 19,98                                     | 990<br>855<br>265   |
| 75-30                | 3хАС-95<br>АСБ 3х150<br>А-70   | 0,06                    | 0,05           | 0,06                   | 0,05           | 0                         | 0  | 7,88                                      | 990<br>855<br>265   |
| 5-30                 | АСБ 3х120<br>АСБ 3х150<br>А-70 | 0,56                    | 0,32           | 0,56                   | 0,32           | 0,004                     | 0  | 62,02                                     | 744<br>855<br>265   |
| 60-5                 | СБ 3х70<br>АСБ 3х95            | 0,91                    | 0,52           | 0,91                   | 0,52           | 0,002                     | 0  | 101,04                                    | 732<br>642          |
| 66-60                | АСБ 3х70                       | 1,48                    | 0,86           | 1,47                   | 0,86           | 0,005                     | 0  | 164,55                                    | 534                 |
| 73-66                | АСБ 3х185                      | 0,55                    | 0,32           | 0,55                   | 0,32           | 0,001                     | 0  | 61,56                                     | 999                 |
| 73-ФП-3              | АСБ 3х185                      | 1,15                    | 0,67           | 1,15                   | 0,67           | 0,004                     | 0  | 128,02                                    | 999                 |
| 66-ФП-3              | АСБ 3х150                      | 1,52                    | 0,89           | 1,51                   | 0,89           | 0,008                     | 0  | 169,75                                    | 855                 |

Максимальные потери составили  $\Delta P_{нб} = 0,561$  МВт, максимальное напряжение в узле «Восточная» - 6,06 кВ, минимальное напряжение в узле №2 5,83 кВ. Отклонение напряжения в узлах находится в допустимых пределах  $\pm 10\%$  от  $U_{ном}$ , поэтому регулирование напряжения не требуется/6/. Из таблицы 14 видно, что реконструкция линий не требуется.

Таблица 15- Отключение линии «43-65»

| Начало и ко- нец ветви | Марка про- вода         | Мощность в начале ветви |                | Мощность в конце ветви |                | Потери мощ- ности в ветви |    | Наибольший ток, проте- кающий по линии, А | Допу- стимый ток, А |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|------------------------|----------------|---------------------------|----|---|---------------------|
|                        |                         | P <sub>н</sub>          | Q <sub>н</sub> | P <sub>к</sub>         | Q <sub>к</sub> | ΔP                        | ΔQ |   |                     |
| Восточная- 65          | 2хАСБ 3х95              | 5,28                    | 3,14           | 5,10                   | 3,14           | 0,18                      | 0  | 591,61                                    | 1284                |
| 65-9                   | ААБ 3х120<br>ААБВ 3х150 | 3,55                    | 2, 21          | 3,51                   | 2, 21          | 0,034                     | 0  | 402,62                                    | 654<br>738          |
| 43-27                  | ААБ 3х70                | 0,89                    | 0,54           | 0,88                   | 0,54           | 0,003                     | 0  | 100,02                                    | 486                 |

|            |             |                 |                |             |                                |  |  |  |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|--|--|--|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> |  |  |  | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                |  |  |  | 37          |

Продолжение таблицы 15

| Начало и конец ветви | Марка про- вода                        | Мощность в начале ветви |                | Мощность в конце ветви |                | Потери мощ- ности в ветви |    | Наибольший ток, проте- кающий по линии, А | Допу- стимый ток, А  |
|----------------------|--|-------------------------|----------------|------------------------|----------------|---------------------------|----|---|----------------------|
|                      |  | P <sub>н</sub>          | Q <sub>н</sub> | P <sub>к</sub>         | Q <sub>к</sub> | ΔP                        | ΔQ |   |                      |
| 65-43                | ААБ 2x70<br>ААБ 2x120<br>ААБ 2x120     | 0,96                    | 0,58           | 0,96                   | 0,58           | 0,006                     | 0  | 107,97                                    | 324<br>436<br>436    |
| 9-42                 | АСБ 3x95<br>СБ 3x70                    | 1,57                    | 1,02           | 1,57                   | 1,02           | 0,003                     | 0  | 180,76                                    | 642<br>732           |
| 67-9                 | 2xАСБ 3x150<br>2xАСБ 3x95<br>2xСБ 3x70 | 0,29                    | 0,11           | 0,29                   | 0,11           | 0                         | 0  | 29,60                                     | 1710<br>1284<br>1464 |
| 42-1                 | СБ 3x70<br>АСБ 3x95                    | 1,16                    | 0,79           | 1,16                   | 0,79           | 0,002                     | 0  | 134,96                                    | 732<br>642           |
| 25-27                | ААШВ 3x240                             | 0,24                    | 0,16           | 0,24                   | 0,16           | 0                         | 0  | 27,89                                     | 1167                 |
| 90-25                | АСБ 3x240                              | 0,30                    | 0,21           | 0,30                   | 0,21           | 0                         | 0  | 35,40                                     | 999                  |
| 25-15                | АС-95<br>ААБЛ 3x150                    | 0,31                    | 0,22           | 0,31                   | 0,22           | 0,002                     | 0  | 36,76                                     | 330<br>738           |
| ЭП-763-15            | АСБ 3x185<br>АСБ 3x240<br>АС-95        | 0,98                    | 0,52           | 0,97                   | 0,52           | 0,003                     | 0  | 106,95                                    | 999<br>999<br>330    |
| ЭП-763-7             | АСБ 3x185<br>АСБ 3x240<br>АС-95        | 1,03                    | 0,55           | 1,02                   | 0,55           | 0,011                     | 0  | 112,74                                    | 999<br>999<br>330    |
| 15-91                | 2xААШВ<br>3x150                        | 0,57                    | 0,34           | 0,57                   | 0,34           | 0                         | 0  | 64,04                                     | 1710                 |
| 9-47                 | АСБ 3x70                               | 1,14                    | 0,77           | 1,14                   | 0,77           | 0,004                     | 0  | 132,65                                    | 534                  |
| 47-8                 | СБ 3x70                                | 1,07                    | 0,66           | 1,07                   | 0,66           | 0,002                     | 0  | 121,29                                    | 732                  |
| 47-2                 | АСБ 3x95                               | 1,52                    | 0,91           | 1,52                   | 0,91           | 0,003                     | 0  | 171,14                                    | 642                  |
| 2-3                  | АСБ 3x95<br>ААПВ 3x95                  | 0,39                    | 0,25           | 0,39                   | 0,25           | 0                         | 0  | 44,57                                     | 642<br>711           |
| 58-47                | СБ 3x150                               | 1,84                    | 0,94           | 1,84                   | 0,94           | 0,004                     | 0  | 199,50                                    | 1026                 |
| 39-58                | АСБ 3x150                              | 2,48                    | 1,32           | 2,47                   | 1,32           | 0,008                     | 0  | 270,49                                    | 855                  |
| 39-4                 | АСБ 3x150<br>АСБ 3x240                 | 3,68                    | 2,04           | 3,68                   | 2,04           | 0,06                      | 0  | 409,92                                    | 855<br>999           |
| 4-64                 | СБ 3x25                                | 0,57                    | 0,34           | 0,57                   | 0,34           | 0                         | 0  | 63,86                                     | 480                  |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

38

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |
|-----|------|----------|---------|------|

Продолжение таблицы 15

| Начало и конец ветви | Марка про- вода                   | Мощность в начале ветви |                | Мощность в конце ветви |                | Потери мощ- ности в ветви |       | Наибольший ток, проте- кающий по линии, А | Допу- стимый ток, А |
|----------------------|-----------------------------------|-------------------------|----------------|------------------------|----------------|---------------------------|-------|---|---------------------|
|                      |                                   | P <sub>н</sub>          | Q <sub>н</sub> | P <sub>к</sub>         | Q <sub>к</sub> | ΔP                        | ΔQ    |   |                     |
| 4-ФП-3               | АСБ 3x240<br>3xАС-50<br>АСБ 3x240 | 5,70                    | 3,17           | 5,62                   | 3,17           | 0,08                      | 0     | 628,07                                    | 999<br>630<br>999   |
| 4-81                 | ААШВ-1<br>4x95                    | 0,18                    | 0,09           | 0,18                   | 0,09           | 0                         | 0     | 19,36                                     | 948                 |
| 4-85                 | АСБ 3x240<br>3xАС-50              | 0,47                    | 0,28           | 0,47                   | 0,28           | 0,002                     | 0     | 52,92                                     | 999<br>630          |
| 7-ТП Рынок           | АСБ 120                           | 0,23                    | 0,17           | 0,23                   | 0,17           | 0                         | 0     | 27,66                                     | 248                 |
| 63-7                 | АСБ 3x95                          | 0,67                    | 0,38           | 0,67                   | 0,38           | 0,001                     | 0     | 74,25                                     | 642                 |
| 16-63                | СБ 3x70                           | 0,57                    | 0,33           | 0,57                   | 0,33           | 0,001                     | 0     | 63,53                                     | 732                 |
| 16-37                | СБ 3x70<br>АСБ 3x95               | 0,98                    | 0,58           | 0,98                   | 0,58           | 0,001                     | 0     | 109,88                                    | 732<br>642          |
| 7-63                 | СБ 3x70<br>АСБ 3x95               | 1,13                    | 0,66           | 1,13                   | 0,66           | 0,002                     | 0     | 126,47                                    | 732<br>642          |
| 6-ФП-3               | АСБ 3x240<br>СБ 3x95              | 2,88                    | 1,68           | 2,85                   | 1,68           | 0,031                     | 0     | 321,18                                    | 999<br>888          |
| 7-ФП-3               | ААШВ 3x240<br>АСБ 3x240           | 1,79                    | 1,04           | 1,76                   | 1,04           | 0,029                     | 0     | 199,60                                    | 1167<br>999         |
| 90-ФП-3              | 3xАС-120                          | 1,28                    | 0,82           | 1,23                   | 0,82           | 0,042                     | 0,004 | 146,18                                    | 1140                |
| 90-67                | АСБ 3x240                         | 0,31                    | 0,24           | 0,31                   | 0,24           | 0                         | 0     | 37,57                                     | 999                 |
| 15-8                 | СБ 3x50                           | 0,3                     | 0,15           | 0,3                    | 0,15           | 0                         | 0     | 32,38                                     | 600                 |
| ФП-3-18              | ААШБ 3x240                        | 0,49                    | 0,28           | 0,49                   | 0,28           | 0                         | 0     | 54,35                                     | 1167                |
| ФП-3-83              | АСШВО-10<br>3x50                  | 0,15                    | 0,08           | 0,15                   | 0,08           | 0                         | 0     | 16,39                                     | 438                 |
| 25-67                | АСБ 3x150                         | 0                       | 0,001          | 0                      | 0,001          | 0                         | 0     | 0,68                                      | 855                 |
| 1-47                 | СБ 3x70                           | 0,41                    | 0,35           | 0,41                   | 0,35           | 0                         | 0     | 51,92                                     | 732                 |
| 3-8                  | СБ 3x95                           | 0,19                    | 0,11           | 0,19                   | 0,11           | 0                         | 0     | 20,81                                     | 888                 |
| 6-63                 | АСБ 3x95<br>АСБ 3x240             | 0,66                    | 0,39           | 0,66                   | 0,39           | 0,003                     | 0     | 74,12                                     | 642<br>999          |
| 4-75                 | 3xАС-95<br>АСБ 3x150<br>А-70      | 0,18                    | 0,11           | 0,18                   | 0,11           | 0                         | 0     | 20,14                                     | 990<br>855<br>265   |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

39

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |
|-----|------|----------|---------|------|

Продолжение таблицы 15

| Начало и конец ветви | Марка провода                  | Мощность в начале ветви |                | Мощность в конце ветви |                | Потери мощности в ветви |    | Наибольший ток, протекающий по линии, А | Допустимый ток, А |
|----------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------|------------------------|----------------|-------------------------|----|---|-------------------|
|                      |                                | P <sub>н</sub>          | Q <sub>н</sub> | P <sub>к</sub>         | Q <sub>к</sub> | ΔP                      | ΔQ |   |                   |
| 75-30                | 3хАС-95<br>АСБ 3х150<br>А-70   | 0,07                    | 0,05           | 0,07                   | 0,05           | 0                       | 0  | 8,03                                    | 990<br>855<br>265 |
| 30-5                 | АСБ 3х120<br>АСБ 3х150<br>А-70 | 0,56                    | 0,32           | 0,55                   | 0,32           | 0,004                   | 0  | 61,86                                   | 744<br>855<br>265 |
| 5-60                 | СБ 3х70<br>АСБ 3х95            | 0,91                    | 0,52           | 0,91                   | 0,52           | 0,002                   | 0  | 100,89                                  | 732<br>642        |
| 60-66                | АСБ 3х70                       | 1,47                    | 0,86           | 1,47                   | 0,86           | 0,005                   | 0  | 164,39                                  | 534               |
| 66-73                | АСБ 3х185                      | 0,55                    | 0,32           | 0,55                   | 0,32           | 0,001                   | 0  | 61,5                                    | 999               |
| 73-ФП-3              | АСБ 3х185                      | 1,15                    | 0,67           | 1,14                   | 0,67           | 0,004                   | 0  | 127,98                                  | 999               |
| 66-ФП-3              | АСБ 3х150                      | 1,52                    | 0,89           | 1,51                   | 0,89           | 0,008                   | 0  | 169,66                                  | 855               |

Максимальные потери составили  $\Delta P_{нб} = 0,55$  МВт, максимальное напряжение в узле «Восточная»- 6,05 кВ, минимальное напряжение в узле №2 5,83 кВ. Отклонение напряжения в узлах находится в допустимых пределах  $\pm 10\%$  от  $U_{ном}$ , поэтому регулирование напряжения не требуется/6/.

Из таблицы 15 видно, что реконструкция линий не требуется

Таблица 16- Отключение линии «43-27»

| Начало и конец ветви | Марка провода                      | Мощность в начале ветви |                | Мощность в конце ветви |                | Потери мощности в ветви |    | Наибольший ток, протекающий по линии, А | Допустимый ток, А |
|----------------------|------------------------------------|-------------------------|----------------|------------------------|----------------|-------------------------|----|---|-------------------|
|                      |                                    | P <sub>н</sub>          | Q <sub>н</sub> | P <sub>к</sub>         | Q <sub>к</sub> | ΔP                      | ΔQ |   |                   |
| Восточная- 65        | 2хАСБ 3х95                         | 5,28                    | 3,14           | 5,10                   | 3,14           | 0,18                    | 0  | 591,61                                  | 1284              |
| 65-9                 | ААБ 3х120<br>ААБВ 3х150            | 3,50                    | 2,18           | 3,46                   | 2,18           | 0,033                   | 0  | 397,00                                  | 654<br>738        |
| 65-43                | ААБ 3х70<br>ААБ 3х120<br>ААБ 3х120 | 1,01                    | 0,61           | 1,01                   | 0,61           | 0,005                   | 0  | 113,70                                  | 486<br>654<br>654 |
| 43-27                | ААБ 2х70                           | 0,94                    | 0,57           | 0,33                   | 0,57           | 0,004                   | 0  | 105,63                                  | 324               |

Продолжение таблицы 16

| Начало и конец ветви | Марка про- вода                        | Мощность в начале ветви |                | Мощность в конце ветви |                | Потери мощ- ности в ветви |    | Наибольший ток, проте- кающий по линии, А | Допу- стимый ток, А  |
|----------------------|--|-------------------------|----------------|------------------------|----------------|---------------------------|----|---|----------------------|
|                      |  | P <sub>н</sub>          | Q <sub>н</sub> | P <sub>к</sub>         | Q <sub>к</sub> | ΔP                        | ΔQ |   |                      |
| 9-42                 | АСБ 3x95<br>СБ 3x70                    | 1,57                    | 1,02           | 1,57                   | 1,02           | 0,003                     | 0  | 180.30                                    | 642<br>732           |
| 67-9                 | 2xАСБ 3x150<br>2xАСБ 3x95<br>2xСБ 3x70 | 0,24                    | 0,09           | 0,24                   | 0,09           | 0,000                     | 0  | 25.05                                     | 1710<br>1284<br>1464 |
| 42-1                 | СБ 3x70<br>АСБ 3x95                    | 1,15                    | 0,73           | 1,15                   | 0,73           | 0,002                     | 0  | 134.47                                    | 732<br>642           |
| 25-27                | ААШВ 3x240                             | 0,29                    | 0,19           | 0,28                   | 0,19           | 0,000                     | 0  | 33.44                                     | 1167                 |
| 25-90                | АСБ 3x240                              | 0,27                    | 0,19           | 0,27                   | 0,19           | 0,000                     | 0  | 32.11                                     | 999                  |
| 25-15                | АС-95<br>ААБЛ 3x150                    | 0,32                    | 0,23           | 0,31                   | 0,23           | 0,002                     | 0  | 37.40                                     | 330<br>738           |
| 15-ЭП-763            | АСБ 3x185<br>АСБ 3x240<br>АС-95        | 0,97                    | 0,52           | 0,98                   | 0,52           | 0,010                     | 0  | 106.98                                    | 999<br>999<br>330    |
| 7-ЭП-763             | АСБ 3x185<br>АСБ 3x240<br>АС-95        | 1,02                    | 0,55           | 1,03                   | 0,55           | 0,011                     | 0  | 112.76                                    | 999<br>999<br>330    |
| 15-91                | 2xААШВ<br>3x150                        | 0,57                    | 0,34           | 0,57                   | 0,34           | 0,000                     | 0  | 64.02                                     | 1710                 |
| 9-47                 | АСБ 3x70                               | 1,14                    | 0,77           | 1,13                   | 0,77           | 0,004                     | 0  | 132.21                                    | 534                  |
| 47-8                 | СБ 3x70                                | 1,07                    | 0,65           | 1,07                   | 0,65           | 0,002                     | 0  | 120.79                                    | 732                  |
| 47-2                 | АСБ 3x95                               | 1,52                    | 0,91           | 1,52                   | 0,91           | 0,003                     | 0  | 170.92                                    | 642                  |
| 2-3                  | АСБ 3x95<br>ААПВ 3x95                  | 0,39                    | 0,24           | 0,39                   | 0,24           | 0,000                     | 0  | 44.33                                     | 642<br>711           |
| 47-58                | СБ 3x150                               | 1,84                    | 0,94           | 1,85                   | 0,94           | 0,004                     | 0  | 199.73                                    | 1026                 |
| 39-58                | АСБ 3x150                              | 2,47                    | 1,32           | 2,48                   | 1,32           | 0,008                     | 0  | 270.70                                    | 855                  |
| 39-4                 | АСБ 3x150<br>АСБ 3x240                 | 3,74                    | 2,04           | 3,68                   | 2,04           | 0,060                     | 0  | 410.16                                    | 855<br>999           |
| 4-64                 | СБ 3x25                                | 0,57                    | 0,34           | 0,57                   | 0,34           | 0                         | 0  | 63.87                                     | 480                  |
| 4-ФП-3               | АСБ 3x240<br>3xАС-50<br>АСБ 3x240      | 5,70                    | 3,17           | 5,62                   | 3,17           | 0,080                     | 0  | 628.36                                    | 999<br>630<br>999    |
| 4-81                 | ААШВ-1<br>4x95                         | 0,18                    | 0,09           | 0,13                   | 0,09           | 0                         | 0  | 19.35                                     | 948                  |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

41

Изм Лист № Докум. Подпись Дата

Продолжение таблицы 16

| Начало и конец ветви | Марка про- вода                | Мощность в начале ветви |                | Мощность в конце ветви |                | Потери мощ- ности в ветви |      | Наибольший ток, проте- кающий по линии, А | Допу- стимый ток, А |
|----------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------|------------------------|----------------|---------------------------|------|---|---------------------|
|                      |                                | P <sub>н</sub>          | Q <sub>н</sub> | P <sub>к</sub>         | Q <sub>к</sub> | ΔP                        | ΔQ   |   |                     |
| 4-85                 | АСБ 3x240<br>3xАС-50           | 0,47                    | 0,28           | 0,47                   | 0,28           | 0,002                     | 0    | 52.91                                     | 999<br>630          |
| 7-ТП Рынок           | АСБ 120                        | 0,23                    | 0,17           | 0,23                   | 0,17           | 0,000                     | 0    | 27.66                                     | 248                 |
| 7-63                 | АСБ 3x95                       | 0,67                    | 0,38           | 0,67                   | 0,38           | 0,001                     | 0    | 74.29                                     | 642                 |
| 63-16                | СБ 3x70                        | 0,57                    | 0,33           | 0,57                   | 0,33           | 0,001                     | 0    | 63.54                                     | 732                 |
| 37-16                | СБ 3x70<br>АСБ 3x95            | 0,98                    | 0,58           | 0,98                   | 0,58           | 0,001                     | 0    | 109.89                                    | 732<br>642          |
| 63-7                 | СБ 3x70<br>АСБ 3x95            | 1,13                    | 0,66           | 1,13                   | 0,66           | 0,002                     | 0    | 126.45                                    | 732<br>642          |
| 6-ФП-3               | АСБ 3x240<br>СБ 3x95           | 2,88                    | 1,68           | 2,85                   | 1,68           | 0,031                     | 0    | 321.18                                    | 999<br>888          |
| 7-ФП-3               | ААШВ 3x240<br>АСБ 3x240        | 1,79                    | 1,04           | 1,76                   | 1,04           | 0,029                     | 0    | 199.61                                    | 1167<br>999         |
| 90-ФП-3              | 3xАС-120                       | 1,27                    | 0,81           | 1,23                   | 0,81           | 0,042                     | 0,04 | 145.82                                    | 1140                |
| 90-67                | АСБ 3x240                      | 0,34                    | 0,26           | 0,34                   | 0,26           | 0                         | 0    | 40,73                                     | 999                 |
| 8-15                 | СБ 3x50                        | 0,31                    | 0,15           | 0,31                   | 0,15           | 0                         | 0    | 33,04                                     | 600                 |
| ФП-3-18              | ААШВ 3x240                     | 0,49                    | 0,28           | 0,49                   | 0,28           | 0                         | 0    | 54,35                                     | 1167                |
| ФП-3-83              | АСШВО-10<br>3x50               | 0,15                    | 0,08           | 0,15                   | 0,08           | 0                         | 0    | 16,39                                     | 438                 |
| 67-25                | АСБ 3x150                      | 0,02                    | 0,02           | 0,02                   | 0,02           | 0                         | 0    | 2,05                                      | 855                 |
| 1-47                 | СБ 3x70                        | 0,41                    | 0,35           | 0,41                   | 0,35           | 0                         | 0    | 51,54                                     | 732                 |
| 8-3                  | СБ 3x95                        | 0,19                    | 0,11           | 0,19                   | 0,11           | 0                         | 0    | 21,07                                     | 888                 |
| 6-63                 | АСБ 3x95<br>АСБ 3x240          | 0,66                    | 0,39           | 0,66                   | 0,39           | 0,003                     | 0    | 74,12                                     | 642<br>999          |
| 4-75                 | 3xАС-95<br>АСБ 3x150<br>А-70   | 0,18                    | 0,11           | 0,18                   | 0,11           | 0                         | 0    | 20,12                                     | 990<br>855<br>265   |
| 75-30                | 3xАС-95<br>АСБ 3x150<br>А-70   | 0,07                    | 0,05           | 0,07                   | 0,05           | 0                         | 0    | 8,02                                      | 990<br>855<br>265   |
| 5-30                 | АСБ 3x120<br>АСБ 3x150<br>А-70 | 0,55                    | 0,32           | 0,56                   | 0,32           | 0,004                     | 0    | 61,88                                     | 744<br>855<br>265   |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

42

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |
|-----|------|----------|---------|------|

Продолжение таблицы 16

| Начало и конец ветви | Марка про- вода     | Мощность в начале ветви |                | Мощность в конце ветви |                | Потери мощ- ности в ветви |    | Наибольший ток, проте- кающий по линии, А | Допу- стимый ток, А |
|----------------------|---------------------|-------------------------|----------------|------------------------|----------------|---------------------------|----|---|---------------------|
|                      |                     | P <sub>н</sub>          | Q <sub>н</sub> | P <sub>к</sub>         | Q <sub>к</sub> | ΔP                        | ΔQ |   |                     |
| 60-5                 | СБ 3x70<br>АСБ 3x95 | 0,91                    | 0,52           | 0,91                   | 0,52           | 0,002                     | 0  | 100,9                                     | 732<br>642          |
| 66-60                | АСБ 3x70            | 1,47                    | 0,86           | 1,47                   | 0,86           | 0,005                     | 0  | 164,42                                    | 534                 |
| 73-66                | АСБ 3x185           | 0,55                    | 0,32           | 0,55                   | 0,32           | 0,001                     | 0  | 61,5                                      | 999                 |
| 73-ФП-3              | АСБ 3x185           | 1,15                    | 0,67           | 1,14                   | 0,67           | 0,004                     | 0  | 127,98                                    | 999                 |
| 66-ФП-3              | АСБ 3x150           | 1,52                    | 0,89           | 1,51                   | 0,89           | 0,008                     | 0  | 169,66                                    | 855                 |

Максимальные потери составили  $\Delta P_{нб} = 0,55$  МВт, максимальное напряжение в узле «Восточная» - 6,05 кВ, минимальное напряжение в узле №2 5,83 кВ. Отклонение напряжения в узлах находится в допустимых пределах  $\pm 10\%$  от  $U_{ном}$ , поэтому регулирование напряжения не требуется /6/. Из таблицы 16 видно, что реконструкция линий не требуется.

Таблица 17- Отключение линии «9-42»

| Начало и конец ветви | Марка про- вода                        | Мощность в начале ветви |                | Мощность в конце ветви |                | Потери мощ- ности в ветви |    | Наибольший ток, проте- кающий по линии, А | Допу- стимый ток, А  |
|----------------------|--|-------------------------|----------------|------------------------|----------------|---------------------------|----|---|----------------------|
|                      |  | P <sub>н</sub>          | Q <sub>н</sub> | P <sub>к</sub>         | Q <sub>к</sub> | ΔP                        | ΔQ |   |                      |
| Восточная- 65        | 2xАСБ 3x95                             | 5,28                    | 3,14           | 5,10                   | 3,14           | 0,18                      | 0  | 591,61                                    | 1284                 |
| 65-9                 | ААБ 3x120<br>ААБВ 3x150                | 3,39                    | 2,11           | 3,36                   | 2,11           | 0,031                     | 0  | 384,94                                    | 654<br>738           |
| 65-43                | ААБ 3x70<br>ААБ 3x120<br>ААБ 3x120     | 1,12                    | 0,67           | 1,11                   | 0,67           | 0,006                     | 0  | 125,77                                    | 486<br>654<br>654    |
| 43-27                | ААБ 3x70                               | 1,04                    | 0,64           | 1,04                   | 0,64           | 0,004                     | 0  | 117,82                                    | 486                  |
| 9-42                 | АСБ 2x95<br>СБ 2x70                    | 1,44                    | 0,94           | 1,44                   | 0,94           | 0,003                     | 0  | 165,43                                    | 428<br>488           |
| 67-9                 | 2xАСБ 3x150<br>2xАСБ 3x95<br>2xСБ 3x70 | 0,18                    | 0,05           | 0,18                   | 0,05           | 0,000                     | 0  | 17,75                                     | 1710<br>1284<br>1464 |
| 42-1                 | СБ 3x70<br>АСБ 3x95                    | 1,02                    | 0,70           | 1,02                   | 0,70           | 0,002                     | 0  | 119,04                                    | 732<br>642           |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

43

Продолжение таблицы 17

| Начало и конец ветви | Марка про- вода      | Мощность в начале ветви |                | Мощность в конце ветви |                | Потери мощ- ности в ветви |    | Наибольший ток, проте- кающий по линии, А | Допу- стимый ток, А |
|----------------------|----------------------|-------------------------|----------------|------------------------|----------------|---------------------------|----|---|---------------------|
|                      |                      | P <sub>н</sub>          | Q <sub>н</sub> | P <sub>к</sub>         | Q <sub>к</sub> | ΔP                        | ΔQ |   |                     |
| 25-27                | ААШВ 3x240           | 0,40                    | 0,26           | 0,40                   | 0,26           | 0,000                     | 0  | 45,57                                     | 1167                |
| 90-25                | АСБ 3x240            | 0,21                    | 0,16           | 0,21                   | 0,16           | 0,000                     | 0  | 25,45                                     | 999                 |
| 25-15                | АС-95<br>ААБЛ 3x150  | 0,34                    | 0,24           | 0,34                   | 0,24           | 0,002                     | 0  | 40,51                                     | 330<br>738          |
| ЭП-763-15            | АСБ 3x185            | 0,97                    | 0,52           | 0,98                   | 0,52           | 0,010                     | 0  | 107,10                                    | 999                 |
|                      | АСБ 3x240            |                         |                |                        |                |                           |    |   | 999                 |
|                      | АС-95                |                         |                |                        |                |                           |    |   | 330                 |
| ЭП-763-7             | АСБ 3x185            | 1,03                    | 0,55           | 1,02                   | 0,55           | 0,011                     | 0  | 112,90                                    | 999                 |
|                      | АСБ 3x240            |                         |                |                        |                |                           |    |   | 999                 |
|                      | АС-95                |                         |                |                        |                |                           |    |   | 330                 |
| 15-91                | 2xААШВ<br>3x150      | 0,57                    | 0,34           | 0,57                   | 0,34           | 0,000                     | 0  | 64,11                                     | 1710                |
| 9-47                 | АСБ 3x70             | 1,23                    | 0,83           | 1,2                    | 0,83           | 0,005                     | 0  | 143,10                                    | 534                 |
| 47-8                 | СБ 3x70              | 1,05                    | 0,64           | 1,05                   | 0,64           | 0,002                     | 0  | 118,69                                    | 732                 |
| 47-2                 | АСБ 3x95             | 1,51                    | 0,91           | 1,51                   | 0,91           | 0,000                     | 0  | 169,93                                    | 642                 |
| 2-3                  | АСБ 3x95             | 0,38                    | 0,24           | 0,38                   | 0,24           | 0,000                     | 0  | 43,29                                     | 642                 |
|                      | ААПВ 3x95            |                         |                |                        |                |                           |    |   | 711                 |
| 58-47                | СБ 3x150             | 1,86                    | 0,95           | 1,85                   | 0,95           | 0,004                     | 0  | 200,99                                    | 1026                |
| 58-39                | АСБ 3x150            | 2,49                    | 1,33           | 2,48                   | 1,33           | 0,008                     | 0  | 271,97                                    | 855                 |
| 39-4                 | АСБ 3x150            | 3,75                    | 2,04           | 3,69                   | 2,04           | 0,060                     | 0  | 411,41                                    | 855                 |
|                      | АСБ 3x240            |                         |                |                        |                |                           |    |   | 999                 |
| 4-64                 | СБ 3x25              | 0,57                    | 0,34           | 0,57                   | 0,34           | 0                         | 0  | 63,86                                     | 480                 |
| 4-ФП-3               | АСБ 3x240            | 5,71                    | 3,18           | 5,63                   | 3,18           | 0,081                     | 0  | 629,46                                    | 999                 |
|                      | 3xАС-50              |                         |                |                        |                |                           |    |   | 630                 |
|                      | АСБ 3x240            |                         |                |                        |                |                           |    |   | 999                 |
| 4-81                 | ААШВ-1<br>4x95       | 0,18                    | 0,09           | 0,18                   | 0,09           | 0                         | 0  | 19,56                                     | 948                 |
| 4-85                 | АСБ 3x240<br>3xАС-50 | 0,47                    | 0,28           | 0,47                   | 0,28           | 0,002                     | 0  | 52,92                                     | 999<br>630          |
| 7-ТП Рынок           | АСБ 120              | 0,23                    | 0,17           | 0,23                   | 0,17           | 0                         | 0  | 27,67                                     | 248                 |
| 63-7                 | АСБ 3x95             | 0,67                    | 0,38           | 0,67                   | 0,38           | 0,001                     | 0  | 74,32                                     | 642                 |
| 16-63                | СБ 3x70              | 0,57                    | 0,33           | 0,57                   | 0,33           | 0,001                     | 0  | 63,57                                     | 732                 |
| 16-37                | СБ 3x70              | 0,98                    | 0,58           | 0,98                   | 0,58           | 0,001                     | 0  | 109,92                                    | 732                 |
|                      | АСБ 3x95             |                         |                |                        |                |                           |    |   | 642                 |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

44

Изм Лист № Докум. Подпись Дата

Продолжение таблицы 17

| Начало и конец ветви | Марка про- вода                | Мощность в начале ветви |                | Мощность в конце ветви |                | Потери мощ- ности в ветви |       | Наибольший ток, проте- кающий по линии, А | Допу- стимый ток, А |
|----------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------|------------------------|----------------|---------------------------|-------|---|---------------------|
|                      |                                | P <sub>н</sub>          | Q <sub>н</sub> | P <sub>к</sub>         | Q <sub>к</sub> | ΔP                        | ΔQ    |   |                     |
| 7-63                 | СБ 3x70<br>АСБ 3x95            | 1,13                    | 0,66           | 1,13                   | 0,66           | 0,002                     | 0     | 126,49                                    | 732<br>642          |
| 6-ФП-3               | АСБ 3x240<br>СБ 3x95           | 2,88                    | 1,68           | 2,85                   | 1,68           | 0,031                     | 0     | 321,26                                    | 999<br>888          |
| 7-ФП-3               | ААШВ 3x240<br>АСБ 3x240        | 1,79                    | 1,04           | 1,76                   | 1,04           | 0,029                     | 0     | 199,67                                    | 1167<br>999         |
| 90-ФП-3              | 3xАС-120                       | 1,26                    | 0,81           | 1,22                   | 0,80           | 0,041                     | 0,004 | 144,19                                    | 1140                |
| 90-67                | АСБ 3x240                      | 0,38                    | 0,28           | 0,38                   | 0,28           | 0                         | 0     | 45,31                                     | 999                 |
| 15-8                 | СБ 3x50                        | 0,33                    | 0,17           | 0,33                   | 0,17           | 0                         | 0     | 36,2                                      | 600                 |
| ФП-3-18              | ААШВ 3x240                     | 0,49                    | 0,28           | 0,49                   | 0,28           | 0                         | 0     | 54,35                                     | 1167                |
| ФП-3-83              | АСШВО-10<br>3x50               | 0,15                    | 0,08           | 0,15                   | 0,08           | 0                         | 0     | 16,39                                     | 438                 |
| 25-67                | АСБ 3x150                      | 0,04                    | 0,03           | 0,04                   | 0,03           | 0                         | 0     | 4,67                                      | 855                 |
| 1-47                 | СБ 3x70                        | 0,27                    | 0,26           | 0,27                   | 0,26           | 0                         | 0     | 36,07                                     | 732                 |
| 3-8                  | СБ 3x95                        | 0,20                    | 0,11           | 0,20                   | 0,11           | 0                         | 0     | 22,03                                     | 888                 |
| 6-63                 | АСБ 3x95<br>АСБ 3x240          | 0,66                    | 0,39           | 0,66                   | 0,39           | 0,003                     | 0     | 74,15                                     | 642<br>999          |
| 4-75                 | 3xАС-95<br>АСБ 3x150<br>А-70   | 0,18                    | 0,11           | 0,18                   | 0,11           | 0                         | 0     | 20,06                                     | 990<br>855<br>265   |
| 75-30                | 3xАС-95<br>АСБ 3x150<br>А-70   | 0,07                    | 0,05           | 0,07                   | 0,05           | 0                         | 0     | 7,95                                      | 990<br>855<br>265   |
| 30-5                 | АСБ 3x120<br>АСБ 3x150<br>А-70 | 0,56                    | 0,32           | 0,55                   | 0,32           | 0,004                     | 0     | 61,93                                     | 744<br>855<br>265   |
| 5-60                 | СБ 3x70<br>АСБ 3x95            | 0,91                    | 0,52           | 0,91                   | 0,52           | 0,002                     | 0     | 100,97                                    | 732<br>642          |
| 66-60                | АСБ 3x70                       | 1,47                    | 0,86           | 1,47                   | 0,86           | 0,005                     | 0     | 164,47                                    | 534                 |
| 66-73                | АСБ 3x185                      | 0,55                    | 0,32           | 0,55                   | 0,32           | 0,001                     | 0     | 61,52                                     | 999                 |
| 73-ФП-3              | АСБ 3x185                      | 1,15                    | 0,67           | 1,14                   | 0,67           | 0,004                     | 0     | 128,01                                    | 999                 |
| 66-ФП-3              | АСБ 3x150                      | 1,52                    | 0,89           | 1,51                   | 0,89           | 0,008                     | 0     | 169,71                                    | 855                 |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

45

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |
|-----|------|----------|---------|------|

Максимальные потери составили  $\Delta P_{нб} = 0,549$  МВт, максимальное напряжение в узле «Восточная»- 6,05 кВ, минимальное напряжение в узле №2 5,83 кВ. Отклонение напряжения в узлах находится в допустимых пределах  $\pm 10\%$  от  $U_{ном}$ , поэтому регулирование напряжения не требуется/4/.

Из таблицы 17 видно, что реконструкция линий не требуется

Рассмотрим режим минимальных нагрузок и также проверим линии на загрузку и реконструкцию.

Таблица 18- Режим минимальных нагрузок

| Начало и конец ветви | Марка провода | Мощность в начале ветви |       | Мощность в конце ветви |       | Потери мощности в ветви |            | Наибольший ток, протекающий по линии, А | Допустимый ток, А |
|----------------------|---------------|-------------------------|-------|------------------------|-------|-------------------------|------------|---|-------------------|
|                      |               | $P_n$                   | $Q_n$ | $P_k$                  | $Q_k$ | $\Delta P$              | $\Delta Q$ |   |                   |
| Восточная- 65        | 2хАСБ 3х95    | 2,58                    | 1,53  | 2,53                   | 1,53  | 0,043                   | 0          | 288,79                                  | 1284              |
| 65-9                 | ААБ 3х120     | 1,58                    | 0,96  | 1,57                   | 0,96  | 0,006                   | 0          | 178,18                                  | 654               |
|                      | ААБВ 3х150    |                         |       |                        |       |                         |            |   | 738               |
| 65-43                | ААБ 3х70      | 0,54                    | 0,32  | 0,54                   | 0,32  | 0,001                   | 0          | 60,64                                   | 486               |
|                      | ААБ 3х120     |                         |       |                        |       |                         |            |   | 654               |
|                      | ААБ 3х120     |                         |       |                        |       |                         |            |   | 654               |
| 43-27                | ААБ 3х70      | 0,51                    | 0,3   | 0,51                   | 0,3   | 0,001                   | 0          | 57,35                                   | 486               |
| 9-42                 | АСБ 3х95      | 0,74                    | 0,43  | 0,74                   | 0,43  | 0,001                   | 0          | 82,87                                   | 428               |
|                      | СБ 3х70       |                         |       |                        |       |                         |            |   | 488               |
| 67-9                 | 2хАСБ 3х150   | 0,03                    | -0,01 | 0,03                   | -0,01 | 0                       | 0          | 2,73                                    | 1710              |
|                      | 2хАСБ 3х95    |                         |       |                        |       |                         |            |   | 1284              |
|                      | 2хСБ 3х70     |                         |       |                        |       |                         |            |   | 1464              |
| 42-1                 | СБ 3х70       | 0,63                    | 0,36  | 0,63                   | 0,36  | 0,001                   | 0          | 69,91                                   | 732               |
|                      | АСБ 3х95      |                         |       |                        |       |                         |            |   | 642               |
| 25-27                | ААШВ 3х240    | 0,06                    | 0,03  | 0,06                   | 0,03  | 0                       | 0          | 6,37                                    | 1167              |
| 25-90                | АСБ 3х240     | 0,2                     | 0,13  | 0,2                    | 0,13  | 0                       | 0          | 22,62                                   | 999               |
| 25-15                | АС-95         | 0,2                     | 0,12  | 0,19                   | 0,12  | 0,001                   | 0          | 21,96                                   | 330               |
|                      | ААБЛ 3х150    |                         |       |                        |       |                         |            |   | 738               |
| 15- ЭП-763           | АСБ 3х185     | 0,39                    | 0,19  | 0,39                   | 0,19  | 0,002                   | 0          | 41,67                                   | 999               |
|                      | АСБ 3х240     |                         |       |                        |       |                         |            |   | 999               |
|                      | АС-95         |                         |       |                        |       |                         |            |   | 330               |
| 7 -ЭП-763            | АСБ 3х185     | 0,41                    | 0,2   | 0,41                   | 0,2   | 0,002                   | 0          | 44,21                                   | 999               |
|                      | АСБ 3х240     |                         |       |                        |       |                         |            |   | 999               |
|                      | АС-95         |                         |       |                        |       |                         |            |   | 330               |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

46

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |
|-----|------|----------|---------|------|

Продолжение таблицы 18

| Начало и конец ветви | Марка про- вода                   | Мощность в начале ветви |                | Мощность в конце ветви |                | Потери мощ- ности в ветви |       | Наибольший ток, проте- кающий по линии, А | Допу- стимый ток, А |
|----------------------|-----------------------------------|-------------------------|----------------|------------------------|----------------|---------------------------|-------|---|---------------------|
|                      |                                   | P <sub>н</sub>          | Q <sub>н</sub> | P <sub>к</sub>         | Q <sub>к</sub> | ΔP                        | ΔQ    |   |                     |
| 15-91                | 2хААШВ<br>3х150                   | 0,2                     | 0,12           | 0,2                    | 0,12           | 0                         | 0     | 22,53                                     | 1710                |
| 9-47                 | АСБ 3х70                          | 0,59                    | 0,34           | 0,59                   | 0,34           | 0,001                     | 0     | 66,17                                     | 534                 |
| 47-8                 | СБ 3х70                           | 0,72                    | 0,38           | 0,72                   | 0,38           | 0,001                     | 0     | 78,41                                     | 732                 |
| 47-2                 | АСБ 3х95                          | 0,8                     | 0,38           | 0,8                    | 0,38           | 0,001                     | 0     | 84,79                                     | 642                 |
| 2-3                  | АСБ 3х95<br>ААПВ 3х95             | 0,31                    | 0,1            | 0,31                   | 0,1            | 0                         | 0     | 31,05                                     | 642<br>711          |
| 47-58                | СБ 3х150                          | 0,99                    | 0,47           | 0,99                   | 0,47           | 0,001                     | 0     | 105,13                                    | 1026                |
| 39-58                | АСБ 3х150                         | 1,19                    | 0,65           | 1,19                   | 0,65           | 0,002                     | 0     | 130,47                                    | 855                 |
| 39-4                 | АСБ 3х150<br>АСБ 3х240            | 1,68                    | 0,93           | 1,67                   | 0,93           | 0,012                     | 0     | 184,86                                    | 855<br>999          |
| 4-64                 | СБ 3х25                           | 0,2                     | 0,12           | 0,2                    | 0,12           | 0                         | 0     | 22,41                                     | 480                 |
| 4-ФП-3               | АСБ 3х240<br>3хАС-50<br>АСБ 3х240 | 2,4                     | 1,18           | 2,38                   | 1,18           | 0,013                     | 0     | 257,41                                    | 999<br>630<br>999   |
| 4-81                 | ААШВ-1<br>4х95                    | 0,12                    | 0,06           | 0,12                   | 0,06           | 0                         | 0     | 13,19                                     | 948                 |
| 4-85                 | АСБ 3х240<br>3хАС-50              | 0,15                    | 0,08           | ,015                   | ,08            | 0                         | 0     | 16,44                                     | 999<br>630          |
| 7-ТП Рынок           | АСБ 120                           | 0,11                    | 0,08           | 0,11                   | 0,08           | 0                         | 0     | 13,33                                     | 248                 |
| 7-63                 | АСБ 3х95                          | 0,5                     | 0,28           | 0,5                    | 0,28           | 0                         | 0     | 54,81                                     | 642                 |
| 63-16                | СБ 3х70                           | 0,33                    | 0,19           | 0,33                   | 0,19           | 0                         | 0     | 36,91                                     | 732                 |
| 37-16                | СБ 3х70<br>АСБ 3х95               | 0,53                    | 0,3            | 0,53                   | 0,3            | 0                         | 0     | 58,6                                      | 732<br>642          |
| 6-37                 | СБ 3х70<br>АСБ 3х95               | 0,58                    | 0,33           | 0,58                   | 0,33           | 0,001                     | 0     | 64,46                                     | 732<br>642          |
| 6-ФП-3               | АСБ 3х240<br>СБ 3х95              | 1,46                    | 0,84           | 1,45                   | 0,84           | 0,008                     | 0     | 162,58                                    | 999<br>888          |
| 7-ФП-3               | ААШВ 3х240<br>АСБ 3х240           | 0,96                    | 0,55           | 0,95                   | 0,55           | 0,008                     | 0     | 106,1                                     | 1167<br>999         |
| 90-ФП-3              | 3хАС-120                          | 0,55                    | 0,34           | 0,54                   | 0,34           | 0,008                     | 0,001 | 62,48                                     | 1140                |
| 90-67                | АСБ 3х240                         | 0,09                    | 0,08           | 0,09                   | 0,08           | 0                         | 0     | 11,26                                     | 999                 |
| 8-15                 | СБ 3х50                           | 0,19                    | 0,07           | 0,19                   | 0,07           | 0                         | 0     | 19,45                                     | 600                 |
| ФП-3-18              | ААШБ 3х240                        | 0,27                    | 0,16           | 0,27                   | 0,16           | 0                         | 0     | 30,62                                     | 1167                |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

47

Изм Лист № Докум. Подпись Дата

Продолжение таблицы 18

| Начало и конец ветви | Марка провода                  | Мощность в начале ветви |                | Мощность в конце ветви |                | Потери мощности в ветви |    | Наибольший ток, протекающий по линии, А | Допустимый ток, А |
|----------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------|------------------------|----------------|-------------------------|----|---|-------------------|
|                      |                                | P <sub>н</sub>          | Q <sub>н</sub> | P <sub>к</sub>         | Q <sub>к</sub> | ΔP                      | ΔQ |   |                   |
| ФП-3-83              | АСШВО-10<br>3x50               | 0,05                    | 0,03           | 0,05                   | 0,03           | 0                       | 0  | 5,78                                    | 438               |
| 25-67                | АСБ 3x150                      | 0,03                    | 0,01           | 0,03                   | 0,01           | 0                       | 0  | 2,72                                    | 855               |
| 1-47                 | СБ 3x70                        | 0,3                     | 0,17           | 0,3                    | 0,17           | 0                       | 0  | 33,13                                   | 732               |
| 3-8                  | СБ 3x95                        | 0,02                    | 0,09           | 0,02                   | 0,09           | 0                       | 0  | 9,18                                    | 888               |
| 6-63                 | АСБ 3x95<br>АСБ 3x240          | 0,36                    | 0,2            | 0,36                   | 0,2            | 0,001                   | 0  | 39,7                                    | 642<br>999        |
| 4-75                 | 3xАС-95<br>АСБ 3x150<br>А-70   | 0,04                    | 0,03           | 0,04                   | 0,03           | 0                       | 0  | 4,63                                    | 990<br>855<br>265 |
| 30-75                | 3xАС-95<br>АСБ 3x150<br>А-70   | 0,02                    | 0              | 0,02                   | 0              | 0                       | 0  | 1,81                                    | 990<br>855<br>265 |
| 5-30                 | АСБ 3x120<br>АСБ 3x150<br>А-70 | 0,13                    | 0,07           | 0,13                   | 0,07           | 0                       | 0  | 14,32                                   | 744<br>855<br>265 |
| 60-5                 | СБ 3x70<br>АСБ 3x95            | 0,34                    | 0,19           | 0,34                   | 0,19           | 0                       | 0  | 37,62                                   | 732<br>642        |
| 60-66                | АСБ 3x70                       | 0,54                    | 0,3            | 0,54                   | 0,3            | 0,001                   | 0  | 59,32                                   | 534               |
| 73-66                | АСБ 3x185                      | 0,2                     | 0,11           | 0,2                    | 0,11           | 0                       | 0  | 22,18                                   | 999               |
| 73-ФП-3              | АСБ 3x185                      | 0,62                    | 0,36           | 0,62                   | 0,36           | 0,001                   | 0  | 68,75                                   | 999               |
| 66-ФП-3              | АСБ 3x150                      | 0,75                    | 0,43           | 0,75                   | 0,43           | 0,002                   | 0  | 83,76                                   | 855               |

Максимальные потери составили  $\Delta P_{нб} = 0,119$  МВт, максимальное напряжение в узле «Восточная» 6,03 кВ, минимальное напряжение в узле №2 5,92кВ. Отклонение напряжения в узлах находится в допустимых пределах  $\pm 6\%$  от  $U_{ном}$ , поэтому регулирование напряжения не требуется/4/.

Из таблицы 18 видно, что в режиме минимальных нагрузок реконструкция линий не требуется.

Произведем аналогичный расчет в программе RASTR.

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
|            |             |                 |                |             |                                |             |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                |             |

Рассмотрим режим максимальных нагрузок для существующей сети (рисунок 2). После этого проверим линии на нагрев, т.е по допустимым токам. На рисунке 2 видно, что на участке «Восточная- 65» необходима реконструкция линии на 2хАСБ 3х95.

Аналогично как и ранее рассмотрим послеаварийный режим т.е. отключение линий «Восточная- 65»- рисунок 3; «9-65»- рисунок 4; «43-65»- рисунок 5; «43-27»- рисунок 6; «9-42»- рисунок 7. Рассмотрев послеаварийные режимы видно, что реконструкций линий и их усиление более не требуется.

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 49          |

$$U_{1(1)i} = \sqrt{\frac{1}{12} \left[ \left( \sqrt{3}U_{AB(1)i} + \sqrt{4U_{BC(1)i}^2 - \left( \frac{U_{BC(1)i}^2 - U_{CA(1)i}^2}{U_{AB(1)i}} + U_{AB(1)i} \right)^2} \right)^2 + \left( \frac{U_{BC(1)i}^2 - U_{CA(1)i}^2}{U_{AB(1)i}} \right)^2 \right]}, \quad (12)$$

где  $U_{AB(1)i}$ ,  $U_{BC(1)i}$ ,  $U_{CA(1)i}$  – действующие значения междуфазных напряжений основной частоты в  $i$ -ом наблюдении, В, Кв.

При определении напряжения  $U_{1(1)i}$  допускается:

1) определять в электрических сетях трехфазного тока значение напряжения прямой последовательности основной частоты по приближенной формуле 13:

$$U_{1(1)i} = \frac{1}{3} (U + U_{BC(1)i} + U_{BC(1)i} + U_{CA(1)i}). \quad (13)$$

2) измерять в электрических сетях однофазного и трехфазного тока вместо действующих значений фазных и междуфазных напряжений основной частоты действующие значения соответствующих напряжений с учетом гармонических составляющих этих напряжений при коэффициенте искажения синусоидальности напряжения не превышающем 5%.

2. Вычисляют значение усредненного напряжения  $U_y$ , в вольтах, киловольтах, как результат усреднения  $N$  наблюдений напряжений  $U_{(1)i}$  или  $U_{1(1)i}$  за интервал времени 1 мин по формуле 14:

$$U_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N U_i^2}{N}}, \quad (14)$$

где  $U_i$  - значение напряжения  $U_{(1)i}$  или  $U_{1(1)i}$  в  $i$ -ом наблюдении в вольтах, киловольтах;

Число наблюдений за 1 мин должно быть не менее 18 /ГОСТ 13109-97/.

3. Вычисляют значение установившегося отклонения напряжения  $\delta U_y$  в процентах по формуле 15:

$$\delta U_y = \frac{U_y - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100 \quad (15)$$

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 50          |

где  $U_{\text{ном}}$  - номинальное междуфазное (фазное) напряжение, в вольтах, киловольтах.

4. Качество электрической энергии по установившемуся отклонению напряжения в точке общего присоединения к электрической сети считают соответствующим требованиям настоящего стандарта, если все измеренные за каждую минуту в течение установленного периода времени (24 ч) значения установившегося отклонения напряжения находятся в интервале, ограниченном предельно допустимыми значениями, а не менее 95% измеренных за тот же период времени значений установившегося отклонения напряжения находится в интервале, ограниченном нормально допустимыми значениями.

Допускается определять соответствие нормам стандарта по суммарной продолжительности времени выхода за нормально и предельно допустимые пределы. Качество электрической энергии по установившемуся отклонению напряжения считают соответствующим требованиям настоящего стандарта, если суммарная продолжительность времени выхода за нормально допустимые значения составляет не более 5% от установленного периода времени, т.е. 1 ч 12 мин, а за предельно допустимые значения - 0% от этого периода времени.

### **Колебания напряжения**

1. Размах изменения напряжения  $\delta U_t$  в процентах (в соответствии с рисунком 8) вычисляют по формуле 16:

$$\delta U_t = \frac{|U_i - U_{i+1}|}{U_{\text{ном}}} \cdot 100, \quad (16)$$

где  $U_i, U_{i+1}$  - значения следующих один за другим экстремумов или экстремума и горизонтального участка огибающей среднеквадратичных значений напряжения основной частоты, определенных на каждом полупериоде основной частоты, в вольтах, киловольтах.

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 51          |

Допускается при коэффициенте искажения синусоидальности напряжения, не превышающем 5%, определять размах изменения напряжения  $\delta U_t$  в процентах по формуле 17:

$$\delta U_t = \frac{|U_i - U_{a\ i+1}|}{\sqrt{2} U_{ном}} \cdot 100, \quad (17)$$

где  $U_{a\ i}$ ,  $U_{a\ i+1}$  - значения следующих один за другим экстремумов или экстремума и горизонтального участка огибающей амплитудных значений напряжения на каждом полупериоде основной частоты.

1) Частоту повторения изменений напряжения  $F_{\delta U_t}$ ,  $c^{-1}$ ,  $мин^{-1}$ , при периодических колебаниях напряжения вычисляют по формуле 18:

$$F_{\delta U_t} = \frac{m}{T}, \quad (18)$$

где  $m$  - число изменений напряжения за время  $T$ ;

$T$  - интервал времени измерения, принимаемый равным 10 мин.

Примечание - Значение частоты повторения изменений напряжения, равное двум изменениям напряжения в секунду, соответствует 1 Гц.

2) Интервал времени между изменениями напряжения  $\Delta t_{i,i+1}$  в секундах или минутах (в соответствии с рисунком Б.1) вычисляют по формуле

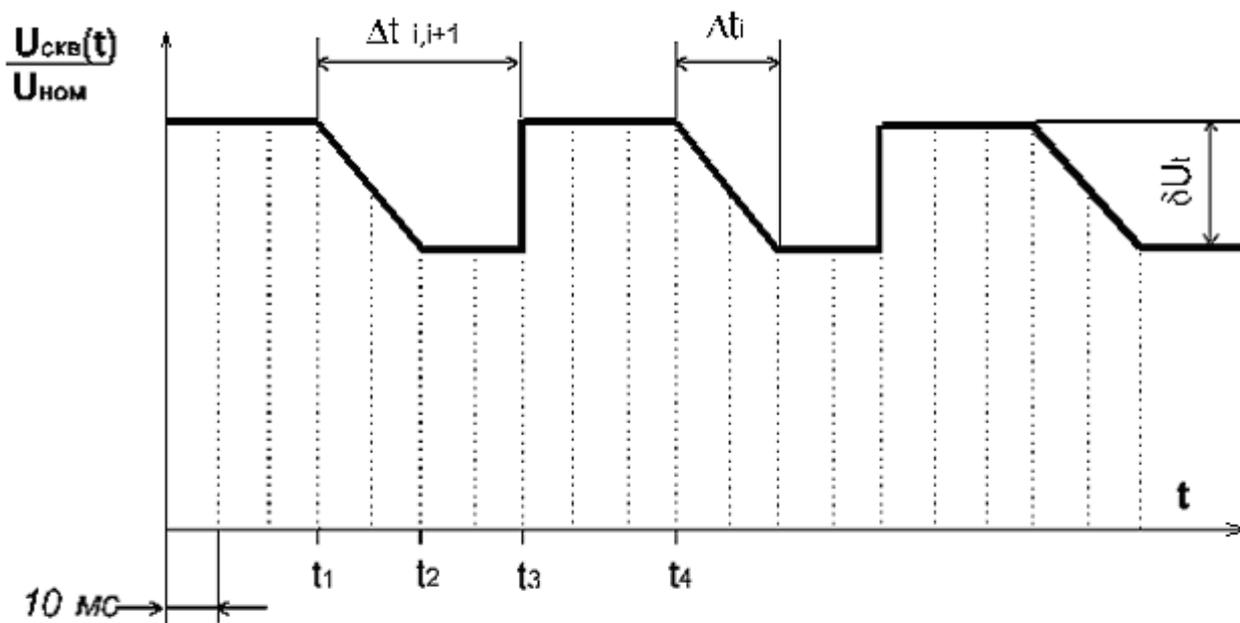
$$\Delta t_{i,i+1} = t_{i+1} - t_i, \quad (19)$$

где  $t_i$ ,  $t_{i+1}$  - начальные моменты следующих один за другим изменений напряжения, с, мин.

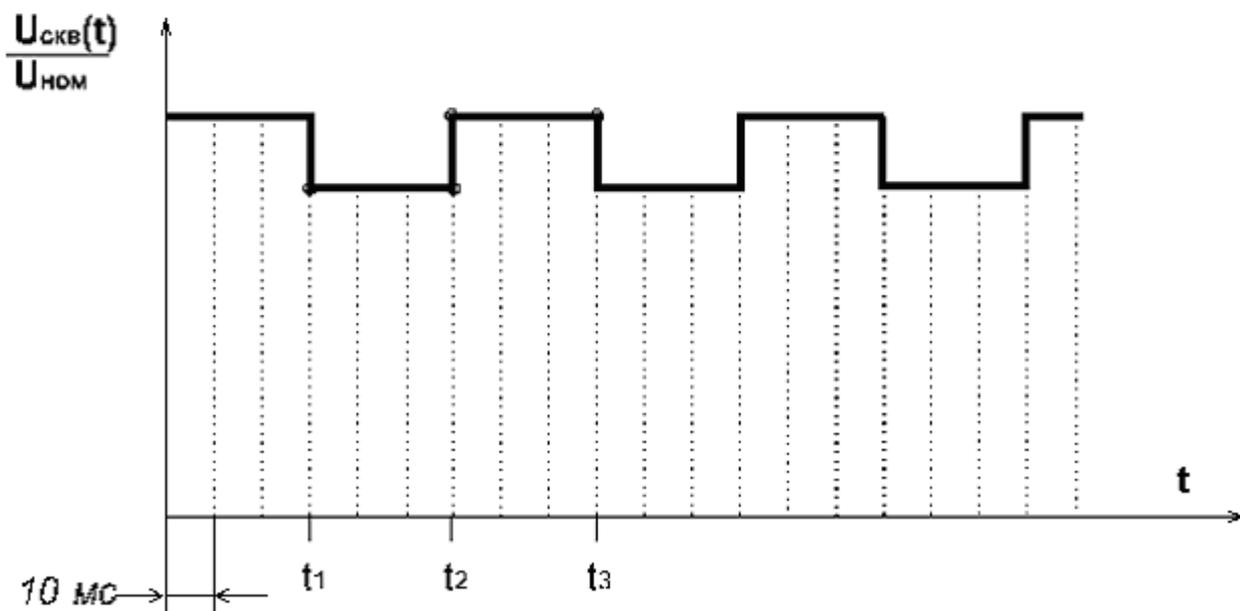
Если интервал времени между окончанием одного изменения и началом следующего, происходящего в том же направлении, менее 30 мс, то эти изменения рассматривают как одно.

2. Качество электрической энергии в точке общего присоединения при периодических колебаниях напряжения, имеющих форму меандра, считают соответствующим требованиям настоящего стандарта, если измеренное значение размаха изменений напряжения не превышает значений, определяемых по кривым

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 52          |



а



б

Рисунок 8– Колебания напряжения произвольной формы (а) и имеющие форму меандра (б).

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
|     |      |          |         |      |
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

рисунка 8 для соответствующей частоты повторения изменений напряжения  $F_{\delta U_t}$  или интервала между изменениями напряжения  $\Delta t_{i,i+1}$ .

Определение соответствия качества электрической энергии требованиям настоящего стандарта для периодических и непериодических колебаний напряжения, имеющих форму, отличную от меандра, осуществляют в соответствии с ГОСТ 13109-97.

3. Дозу фликера (кратковременную и длительную) при колебаниях напряжения любой формы определяют следующим образом.

1) Измеряют с помощью фликерметра за интервал времени  $T_{sh}$ , равный 10 мин, уровни фликера  $P, (\%)^2$ , соответствующие интегральной вероятности, равной: 0,1; 0,7; 1,0; 1,5; 2,2; 3,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 17,0; 30,0; 50,0; 80,0%

2) Определяют с помощью фликерметра или вычисляют сглаженные уровни фликера  $P_s, (\%)^2$ , по формулам:

$$\left. \begin{aligned} P_{1s} &= \frac{P_{0,7} + P_{1,0} + P_{1,5}}{3} \\ P_{3s} &= \frac{P_{2,2} + P_{3,0} + P_{4,0}}{3} \\ P_{10s} &= \frac{P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17}}{5} \\ P_{50s} &= \frac{P_{30} + P_{50} + P_{80}}{3} \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

где  $P_{1s}, P_{3s}, P_{10s}, P_{50s}$  - сглаженные уровни фликера при интегральной вероятности, равной 1,0; 3,0; 10,0; 50,0 соответственно.

3) Определяют с помощью фликерметра или вычисляют кратковременную дозу фликера  $P_{St}$ , отн.ед., на интервале времени  $T_{sh}$  по формуле

$$P_{St} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_{1s} + 0.0657P_{3s} + 0.28P_{10s} + 0.08P_{50s}} \quad (21)$$

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 54          |

Кратковременная доза фликера при периодических колебаниях напряжения с формой, отличающейся от меандра, может быть определена путем расчета в соответствии с приложением В.

4) Определяют с помощью фликерметра или вычисляют длительную дозу фликера  $P_{Lt}$ , н.ед., на интервале времени  $T_L$ , равном 2 ч, по формуле 22:

$$P_{Lt} = 3 \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{k=1}^{12} (P_{stk})^3}, \quad (22)$$

где  $P_{stk}$  - кратковременная доза фликера на  $k$ -ом интервале времени  $T_{sh}$  в течение длительного периода наблюдения  $T_L$ ;

4. Качество электрической энергии по дозе фликера считают соответствующим требованиям ГОСТ-13109-97, если каждая кратковременная и длительная дозы фликера, определенные путем измерения в течение 24 ч не превышают предельно допустимых значений.

При любой форме периодических и непериодических колебаний напряжения оценка соответствия этих колебаний нормам стандарта /ГОСТ-13109-97/ может быть проведена с помощью специализированных средств измерений. При наличии среднеквадратичных значений напряжения на интервале времени измерений равного 24 ч., оценка может быть проведена аналитическими методами.

### Метод 1

Метод применяют для периодических колебаний, формы которых приведены на рисунках 9, 10 и 11, с частотой повторения изменений напряжения менее 2 изменений в секунду ( $120 \text{ мин}^{-1}$ ). Оценку соответствия указанных колебаний нормам проводят следующим образом:

1. Определяют форму колебаний, выделяя огибающую среднеквадратичных значений напряжения, полученных на каждом полупериоде основной частоты.
2. Определяют размах  $\delta U_t$  и частоту повторения  $F_{\delta U_t}$  изменений напряжения.
3. Для периодических колебаний двухступенчатой и пилообразной (рисунок 9), прямоугольной и треугольной (рисунок 10) формы определяют интервал между

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
|            |             |                 |                |             |                                | 55          |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                |             |

изменениями напряжения  $\Delta t_{i,i+1}$ . Для периодических колебаний, вызванных пуском двигателей (рисунок 10) определяют длительности переднего и заднего фронта изменений напряжения ( $\Delta t_{\phi 1}, \Delta t_{\phi 2}$ ).

4. По рисункам 9, 10 и 11 определяют коэффициент  $F_{пр}$  приведения колебаний напряжения с формой, полученной по п.1, к колебаниям ступенчатой формы.

5. Определяют приведенный размах изменения напряжения  $\delta U_{тпр}$  по формуле 23:

$$\delta U_{тпр} = F_{пр} * \delta U_t. \quad (23)$$

6. По кривым рисунка 9 для измеренной частоты повторения изменений напряжения  $F_{\delta U_t}$  сравнивают приведенный размах изменения напряжения  $\delta U_{тпр}$  с нормированным значением  $\delta U_{тнорм}$ .

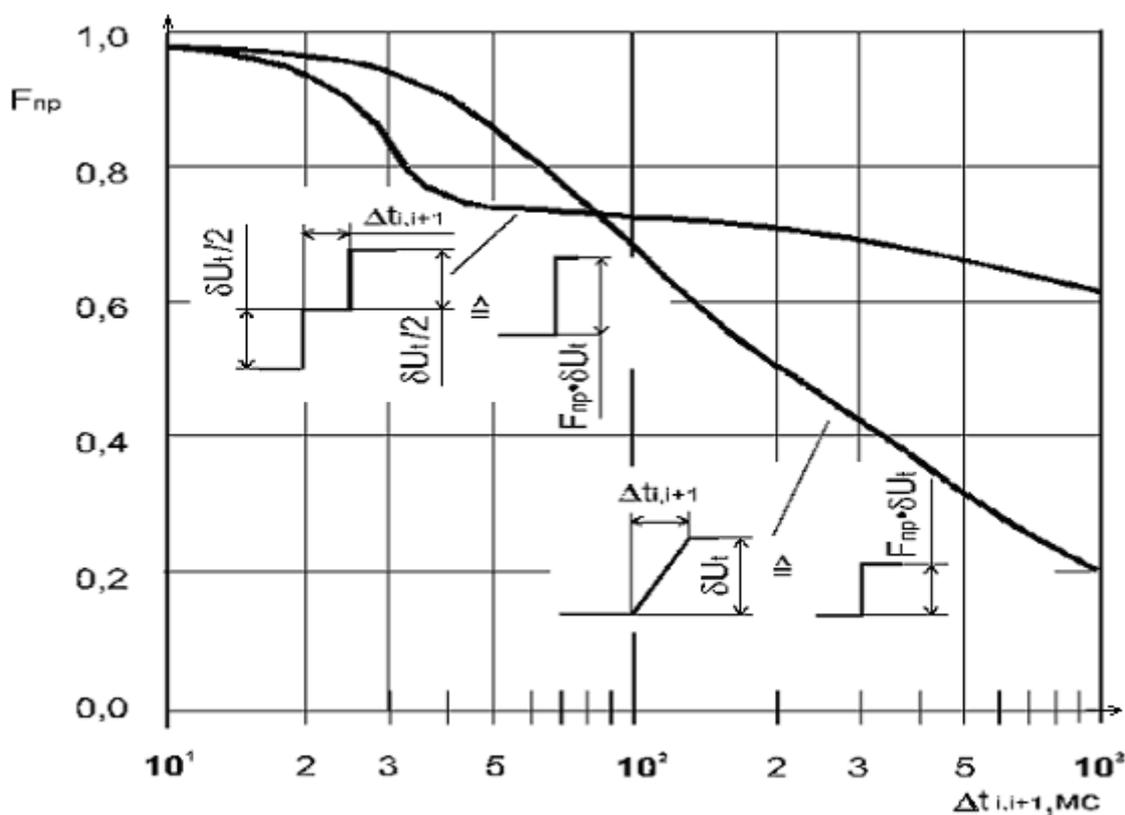


Рисунок 9– Коэффициент приведения  $F_{пр}$  для периодических колебаний напряжения, имеющих двухступенчатую и пилообразную форму

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
|     |      |          |         |      |
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

56

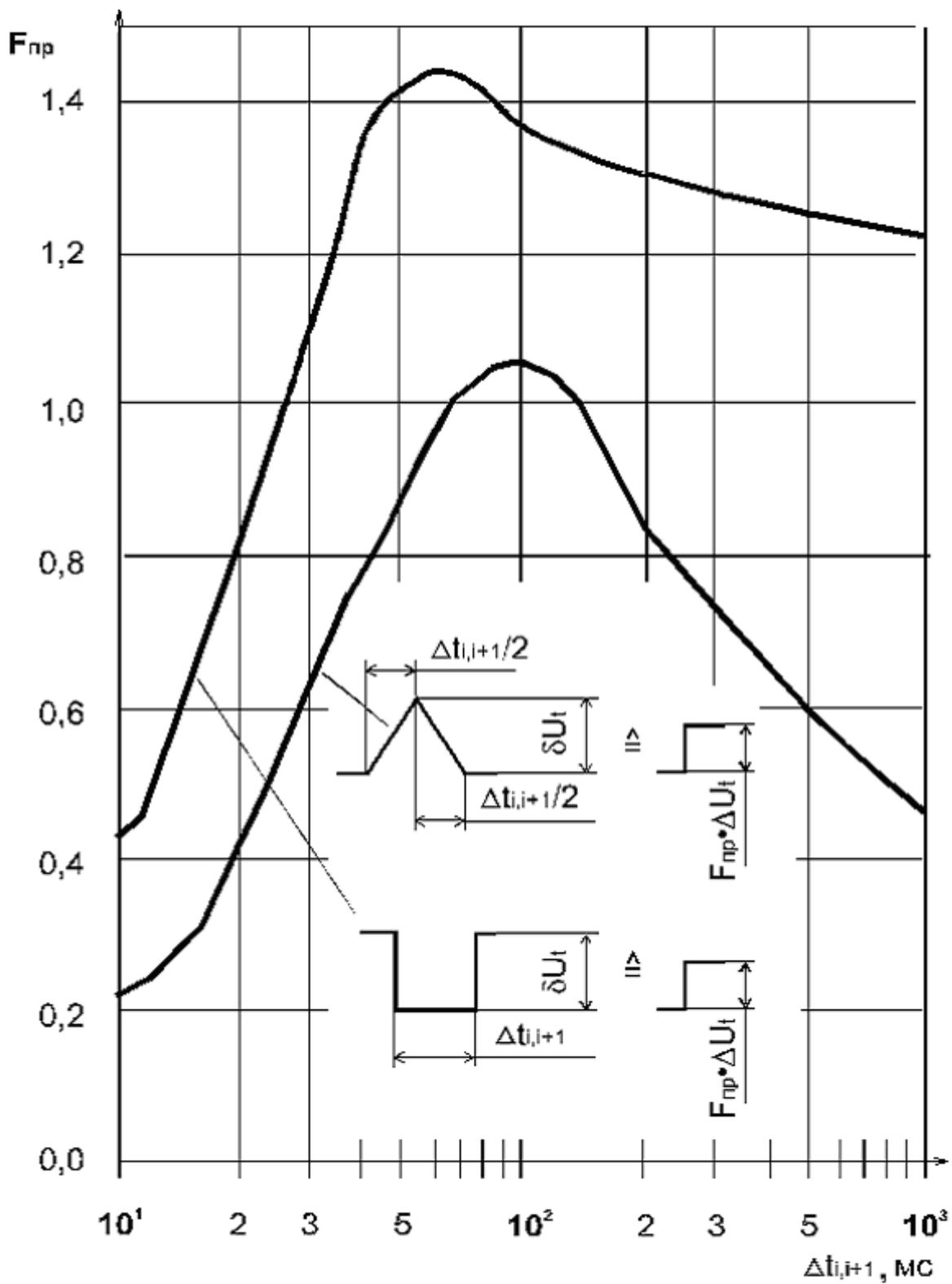


Рисунок 10– Коэффициент приведения  $F_{пр}$  для прямоугольных и треугольных периодических колебаний напряжения

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
|     |      |          |         |      |
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

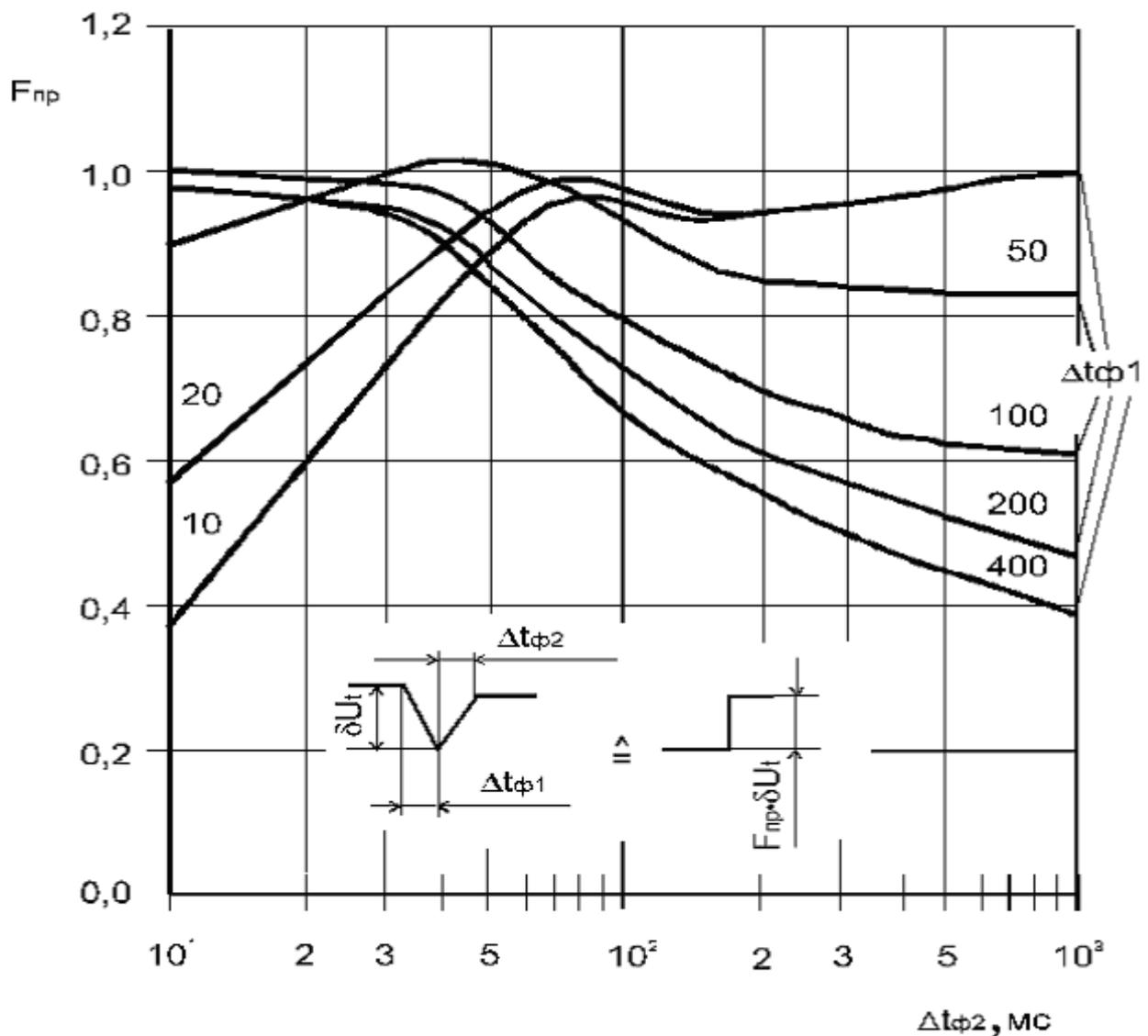


Рисунок 11– Коэффициент приведения  $F_{пр}$  для периодических колебаний напряжения, вызванных пуском двигателя

Если  $\delta U_{тпр}$  не превышает  $\delta U_{тнорм}$ , то колебания напряжения соответствуют требованиям стандарта /ГОСТ-13109-97/.

## Метод 2

Метод применяют при неперiodических колебаниях, формы которых приведены на рисунках 9, 10 и 11, в тех случаях, когда интервал времени между окончанием одного колебания напряжения и началом следующего не менее 1 с. Оценку соответствия колебаний нормам проводят следующим образом.

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |
|     |      |          |         |      |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

58

1. На интервале времени измерений выделяют длительные интервалы времени наблюдения колебаний  $T_1$ , равные 2 ч, соответствующие периодам наибольших проявлений этих колебаний по размаху и числу изменений напряжений. Внутри этих длительных интервалов выделяют кратковременные интервалы времени наблюдения  $T_{sh}$ , равные 10 мин, соответствующие периодам наибольших проявлений этих колебаний по размаху и числу изменений напряжения.

2. На каждом из выделенных кратковременных интервалов  $T_{sh}$  определяют форму колебаний напряжения в соответствии с п.1.

3. Определяют размах изменения напряжения  $\delta U_{ti}$  для каждого  $i$ -го колебания напряжения установленной формы.

4. На выделенном кратковременном интервале  $T_{sh}$  для колебаний двухступенчатой и пилообразной (рисунок 9), прямоугольной и треугольной (рисунок 10) форм определяют интервалы между смежными изменениями напряжения  $\Delta t_{i,i+1}$  или длительности переднего и заднего фронтов изменений напряжения ( $\Delta t_{\phi 1}$ ,  $\Delta t_{\phi 2}$ ) для колебаний, вызванных пуском двигателей (рисунок 11).

5. Определяют коэффициент приведения  $F_{пр}$  для каждого  $i$ -го колебания напряжения в соответствии с п.4.

6. Определяют приведенный размах  $\delta U_{ti пр}$  для каждого  $i$ -го колебания напряжения в соответствии с п.5.

7. Для каждого  $i$ -го приведенного размаха изменения напряжения  $\delta U_{ti пр}$  определяют минимальный интервал времени между изменениями напряжения  $\Delta t_{i,i+1 мин}$  по таблице 19 или по соответствующим кривым рисунка 8 при условии, что  $\delta U_{ti пр} = \delta U_{ti норм}$ .

8. На рассматриваемом кратковременном интервале  $T_{sh}$  вычисляют сумму всех минимальных интервалов времени  $\Delta t_{i,i+1 мин}$ , полученных по п.7, и сопоставляют эту сумму с длительностью  $T_{sh}$ .

Если  $\sum \Delta t_{i,i+1 мин} \leq T_{sh}$ , то колебания напряжения соответствуют требованиям стандарта на данном кратковременном интервале  $T_{sh}$ .

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
|            |             |                 |                |             |                                | 59          |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                |             |

9. Операции по п.2 – п.8 повторяют для каждого выделенного кратковременного интервала  $T_{sh}$ .

Если  $\sum \Delta t_{i,i+1\text{мин}} \leq T_{sh}$  выполняется для каждого  $T_{sh}$ , то колебания напряжения соответствуют требованиям стандарта.

### Метод 3

Метод применяют для определения кратковременной и длительной доз фликера при непериодических колебаниях, форма которых приведена на рисунках 9, 10 и 11.

Метод не применяют, если интервал времени между окончанием одного колебания напряжения и началом следующего меньше 1 с.

Оценку соответствия колебаний нормам проводят следующим образом.

1. На интервале времени измерений выделяют длительные интервалы времени наблюдения  $T_L$  в соответствии с п.1. Длительные интервалы  $T_L$  разбивают на кратковременные, равные 10 мин, интервалы времени наблюдения  $T_{sh}$ .

2. На каждом кратковременном интервале  $T_{sh}$  выполняют операции из второго метода по п.2 - п.7.

3. На каждом кратковременном интервале  $T_{sh}$  для каждого  $i$ -го колебания напряжения вычисляют время восприятия фликера  $t_{\phi i}$  по формуле 24:

$$t_{\phi i} = 2,3 (\delta U_{\text{тип}})^{3,2}. \quad (24)$$

4. На каждом кратковременном интервале  $T_{sh}$  вычисляют кратковременную дозу фликера по формуле 25:

$$P_{st} = \left( \frac{\sum t_{\phi i}}{m T_{sh}} \right)^{3,2}, \quad (25)$$

где  $m$  - число колебаний напряжения на интервале  $T_{sh}$ .

5. На каждом выделенном длительном интервале времени  $T_L$  вычисляют длительную дозу фликера по формуле 26:

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 60          |

$$P_{Lt} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{k=1}^{12} (P_{stk})^3}{12}}, \quad (26)$$

где  $P_{stk}$  - кратковременная доза фликера на  $k$ -ом интервале  $T_{sh}$  внутри длительного интервала  $T_L$ .

6. Если длительная доза фликера  $P_{Lt}$  на каждом выделенном интервале времени наблюдения  $T_L$  не превышает нормированного значения и кратковременная доза фликера  $T_{sh}$  на каждом интервале времени наблюдения  $T_{sh}$  не превышает нормированного значения, то колебания напряжения соответствуют требованиям стандарта.

Таблица 19- Интервалы времени между изменениями напряжения

| $\delta U_{t \text{ норм}}, \%$ |          | $F_{\delta U_t}, \text{ мин}^{-1}$ | $\Delta t_{i,i+1}, \text{ с}$ |
|---------------------------------|----------|------------------------------------|-------------------------------|
| кривая 1                        | кривая 2 |                                    |                               |
| 4,14                            | 3,00     | 0,76                               | 78,95                         |
| 4,00                            | 2,90     | 0,84                               | 71,43                         |
| 3,86                            | 2,80     | 0,95                               | 63,16                         |
| 3,73                            | 2,70     | 1,06                               | 56,605                        |
| 3,59                            | 2,60     | 1,20                               | 50,00                         |
| 3,45                            | 2,50     | 1,36                               | 44,12                         |
| 3,30                            | 2,40     | 1,55                               | 38,71                         |
| 3,17                            | 2,30     | 1,78                               | 33,71                         |
| 3,04                            | 2,20     | 2,05                               | 29,27                         |
| 2,90                            | 2,10     | 2,39                               | 25,10                         |
| 2,76                            | 2,00     | 2,79                               | 21,50                         |
| 2,60                            | 1,90     | 3,29                               | 18,24                         |
| 2,48                            | 1,80     | 3,92                               | 15,31                         |
| 2,35                            | 1,70     | 4,71                               | 12,74                         |
| 2,21                            | 1,60     | 5,72                               | 10,49                         |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

61

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |
|-----|------|----------|---------|------|

Продолжение таблицы 19

| $\delta U_{t \text{ норм.}} \%$ |          | $F_{\delta U_t}, \text{ мин}^{-1}$ | $\Delta t_{i,i+1}, \text{ с}$ |
|---------------------------------|----------|------------------------------------|-------------------------------|
| кривая 1                        | кривая 2 |                                    |                               |
| 2,07                            | 1,50     | 7,04                               | 8,52                          |
| 1,93                            | 1,40     | 8,79                               | 6,82                          |
| 1,79                            | 1,30     | 11,16                              | 5,38                          |
| 1,66                            | 1,20     | 14,44                              | 4,16                          |
| 1,52                            | 1,10     | 19,10                              | 3,14                          |
| 1,38                            | 1,00     | 26,60                              | 2,26                          |
| 1,31                            | 0,95     | 32,00                              | 1,88                          |
| 1,24                            | 0,90     | 39,00                              | 1,54                          |
| 1,17                            | 0,85     | 48,70                              | 1,23                          |
| 1,10                            | 0,80     | 61,80                              | 0,97                          |
| 1,04                            | 0,75     | 80,50                              | 0,74                          |
| 0,97                            | 0,70     | 110,00                             | 0,54                          |
| 0,90                            | 0,65     | 175,00                             | 0,34                          |
| 0,83                            | 0,60     | 275,00                             | 0,22                          |
| 0,76                            | 0,55     | 380,00                             | 0,16                          |
| 0,69                            | 0,50     | 475,00                             | 0,13                          |
| 0,62                            | 0,45     | 580,00                             | 0,10                          |
| 0,55                            | 0,40     | 690,00                             | 0,09                          |
| 0,48                            | 0,35     | 795,00                             | 0,08                          |
| 0,40                            | 0,29     | 1052,00                            | 0,06                          |
| 0,41                            | 0,30     | 1180,00                            | -                             |
| 0,48                            | 0,35     | 1400,00                            | -                             |
| 0,55                            | 0,40     | 1620,00                            | -                             |

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
|     |      |          |         |      |
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

62

## Несинусоидальность напряжения

1. Измерение коэффициента  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения  $K_{(n)i}$  осуществляют для междуфазных (фазных) напряжений.

1) Для каждого  $i$ -го наблюдения за период времени, равный 24 ч, определяют действующее значение напряжения  $n$ -ой гармоники  $U_{(n)i}$ , в вольтах, киловольтах.

2) Вычисляют значение коэффициента  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения  $K_{U(n)i}$  в процентах как результат  $i$ -го наблюдения, по формуле 27:

$$K_{U(n)i} = \frac{U_{(n)i}}{U_{1(i)}} \cdot 100, \quad (27)$$

где  $U_{1(i)}$  – действующее значение напряжения основной частоты на  $i$ -ом наблюдении в вольтах, киловольтах.

Допускается вычислять данный показатель КЭ по формуле 28:

$$K_{U(n)i} = \frac{U_{(n)i}}{U_{\text{нмм}}} \cdot 100. \quad (28)$$

3) Вычисляют значение коэффициента  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения  $K_{U(n)}$  в процентах как результат усреднения  $N$  наблюдений  $K_{U(n)i}$  на интервале времени  $T_{\text{vs}}$ , равном 3 с, по формуле

Число наблюдений  $N$  должно быть не менее 9 /ГОСТ-13109-97/

2. Качество электрической энергии по коэффициенту  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения в точке общего присоединения считают соответствующим требованиям настоящего стандарта, если наибольшее из всех измеренных в течение 24 ч значений коэффициентов  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения не превышает предельно допустимого значения, а значение коэффициента  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения, соответствующее вероятности 95% за установленный период времени, не превышает нормально допустимого значения.

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 63          |

Допускается определять соответствие нормам стандарта по суммарной продолжительности времени выхода за нормально и предельно допустимые значения.

Качество электрической энергии по коэффициенту  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения считают соответствующим требованиям настоящего стандарта, если суммарная продолжительность времени выхода за нормально допустимые значения составляет не более 5% от установленного периода времени, т.е. 1 ч 12 мин, а за предельно допустимые значения – 0 % от этого периода времени.

3. Измерение коэффициента искажения синусоидальности напряжения  $K_{Ui}$  осуществляют для междуфазных (фазных) напряжений.

1) Для каждого  $i$ -ого наблюдения за установленный период времени определяют действующие значения гармонических составляющих напряжения в диапазоне гармоник от 2-й до 40-й в вольтах, киловольтах.

2) Вычисляют значение коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения  $K_{Ui}$  в процентах как результат  $i$ -го наблюдения, по формуле 29:

$$K_{Ui} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_{(n)i}^2}}{U_{(1)i}} \cdot 100, \quad (29)$$

где  $U_{(1)i}$  – действующее значение междуфазного (фазного) напряжения основной частоты для  $i$ -го наблюдения, В вольтах, киловольтах.

При определении данного показателя КЭ допускается:

1) не учитывать гармонические составляющие, значения которых менее 0,1в процентах;

2) вычислять данный показатель КЭ по формуле 30:

$$K_{Ui} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_{(n)i}^2}}{U_{ном}} \cdot 100. \quad (30)$$

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 64          |

3) Вычисляют значение коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения  $K_U$  в процентах как результат усреднения  $N$  наблюдений  $K_{U_i}$  на интервале времени  $T_{vs}$ , равном 3 с, по формуле 31:

$$K_U = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N K_{U_i}^2}{N}}. \quad (31)$$

Число наблюдений  $N$  должно быть не менее 9

4 Качество электрической энергии по коэффициенту искажения синусоидальности напряжения в точке общего присоединения считают соответствующим требованиям настоящего стандарта, если наибольшее из всех измеренных в течение 24 ч значений коэффициентов искажения синусоидальности напряжения не превышает предельно допустимого значения, а значение коэффициента искажения синусоидальности напряжения, соответствующее вероятности 95% за установленный период времени, не превышает нормально допустимого значения.

Допускается определять соответствие нормам настоящего стандарта по суммарной продолжительности времени выхода за нормально и предельно допустимые значения.

Качество электрической энергии по коэффициенту искажения синусоидальности напряжения считают соответствующим требованиям настоящего стандарта, если суммарная продолжительность времени выхода за нормально допустимые значения составляет не более 5% от установленного периода времени, т.е. 1 ч 12 мин, а за предельно допустимые значения - 0 % от этого периода времени.

### **Несимметрия напряжений**

1. Измерение коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$  для междуфазных напряжений осуществляют следующим образом:

|             |             |                 |                |             |                                |             |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|             |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 65          |

1) Для каждого  $i$ -го наблюдения за период времени, равный 24 ч, измеряют одновременно действующие значения междуфазных напряжений по основной частоте  $U_{AB(1)i}$ ,  $U_{BC(1)i}$ ,  $U_{CA(1)i}$  в вольтах, киловольтах.

2) Вычисляют действующее значение напряжения обратной последовательности основной частоты  $U_{2(1)i}$  по формуле 32:

$$U_{2(1)i} = \sqrt{\frac{1}{12} \left[ \left( \sqrt{3}U_{AB(1)i} - \sqrt{4U_{BC(1)i}^2 - \left( \frac{U_{BC(1)i}^2 - U_{CA(1)i}^2}{U_{AB(1)i}} + U_{AB(1)i} \right)^2} \right)^2 + \left( \frac{U_{BC(1)i}^2 - U_{CA(1)i}^2}{U_{AB(1)i}} \right)^2 \right]}. \quad (32)$$

3) Вычисляют коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U_i}$  в процентах как результат  $i$ -го наблюдения по формуле 33:

$$K_{2U_i} = \frac{U_{2(1)i}}{U_{1(1)i}} \cdot 100 \quad (33)$$

где  $U_{2(1)i}$  - действующее значение напряжения обратной последовательности основной частоты трехфазной системы напряжений в  $i$ -ом наблюдении, В вольтах, киловольтах;

$U_{1(1)i}$  - действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты в  $i$ -ом наблюдении, в вольтах, киловольтах.

При определении  $K_{2U_i}$  допускается:

1) вычислять  $U_{2(1)i}$  по приближенной формуле 34:

$$U_{2(1)i} = 0,62 \cdot (U_{нб(1)i} - U_{нм(1)i}), \quad (34)$$

где  $U_{нб(1)i}$ ,  $U_{нм(1)i}$  - наибольшее и наименьшее действующие значения из трех междуфазных напряжений основной частоты в  $i$ -ом наблюдении, В вольтах, киловольтах.

2) применять при вычислении  $U_{2(1)i}$  вместо действующих значений междуфазных напряжений основной частоты действующие значения соответствующих напряжений с учетом гармонических составляющих этих напряжений при коэффи-

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 66          |

циенте искажения синусоидальности напряжения (в соответствии с требованиями ГОСТ-13109-97), не превышающем 5%;

3) вычислять  $K_{2U_i}$  по формуле 35:

$$K_{2U_i} = \frac{U_{2(1)i}}{U_{НОМ.МФ}} \cdot 100, \quad (35)$$

где  $U_{НОМ.МФ}$  - номинальное значение междуфазного напряжения, В вольтах, киловольтах.

4) Вычисляют значение коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$  в процентах как результат усреднения  $N$  наблюдений  $K_{2U_i}$  на интервале времени  $T_{VS}$ , равном 3 с, по формуле 36:

$$K_{2U} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N K_{2U_i}^2}{N}}. \quad (36)$$

Число наблюдений  $N$  должно быть не менее 9

2. Качество электрической энергии по коэффициенту обратной последовательности в точке общего присоединения считают соответствующим требованиям настоящего стандарта, если наибольшее из всех измеренных в течение 24 ч значений коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности не превышает предельно допустимого значения, а значение коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности, соответствующее вероятности 95%, за установленный период времени не превышает нормально допустимого значения.

Допускается определять соответствие нормам стандарта по суммарной продолжительности времени выхода за нормально и предельно допустимые значения.

Качество электрической энергии по коэффициенту обратной последовательности считают соответствующим требованиям настоящего стандарта, если суммарная продолжительность времени выхода за нормально допустимые значения составляет не более 5% от установленного периода времени, т.е. 1 ч 12 мин, а за предельно допустимые значения - 0 % от этого периода времени.

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 67          |

3. Измерение коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U_i}$  проводят в четырехпроводных сетях следующим образом.

1) Для каждого  $i$ -го наблюдения за период времени, равный 24 ч, измеряют одновременно действующие значения трех междуфазных и двух фазных напряжений основной частоты  $U_{AB(1)i}, U_{BC(1)i}, U_{CA(1)i}, U_{A(1)i}, U_{B(1)i}, U_{C(1)i}$  в вольтах, киловольтах.

2) Определяют действующее значение напряжения нулевой последовательности основной частоты  $U_{0(1)i}$  в  $i$ -ом наблюдении по формуле 37:

$$U_{0(1)i} = \frac{1}{6} \sqrt{\left[ \frac{U_{BC(1)i}^2 - U_{CA(1)i}^2}{U_{AB(1)i}} - 3 \cdot \frac{(U_{B(1)i}^2 - U_{A(1)i}^2)}{U_{AB(1)i}} \right]^2 + \left[ \sqrt{4U_{BC(1)i}^2 - \left( U_{AB(1)i} + \frac{U_{BC(1)i}^2 - U_{CA(1)i}^2}{U_{AB(1)i}} \right)^2} - \sqrt{4U_{B(1)i}^2 - \left( U_{AB(1)i} + \frac{U_{B(1)i}^2 - U_{A(1)i}^2}{U_{AB(1)i}} \right)^2} \right]^2}. \quad (37)$$

3) Вычисляют коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U_i}$  в процентах как результат  $i$ -го наблюдения по формуле 38:

$$K_{0U_i} = \frac{\sqrt{3} U_{0(1)i}}{U_{1(1)i}} \cdot 100, \quad (38)$$

где  $U_{0(1)i}$  - действующее значение напряжения нулевой последовательности основной частоты трехфазной системы напряжений в  $i$ -ом наблюдении в вольтах, киловольтах;

$U_{1(1)i}$  - действующее значение междуфазного напряжения прямой последовательности основной частоты в вольтах, киловольтах.

При определении данного показателя качества электроэнергии допускается:

1) вычислять  $U_{0(1)i}$  при симметрии междуфазных напряжений по приближенной формуле 39:

$$U_{0(1)i} = 0,62 \cdot (U_{нб \phi(1)i} - U_{нм \phi(1)i}), \quad (39)$$

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 68          |

где  $U_{\text{нб } \phi(1)i}$ ,  $U_{\text{нм } \phi(1)i}$  - наибольшее и наименьшее из трех действующих значений фазных напряжений основной частоты в  $i$ -ом наблюдении в вольтах, киловольтах.

2) применять вместо действующих значений междуфазных и фазных напряжений основной частоты действующие значения соответствующих напряжений с учетом всех гармонических составляющих этих напряжений при коэффициенте искажения синусоидальности кривых напряжений, не превышающем 5%;

3) вычислять  $K_{0U_i}$  по формуле 40:

$$K_{0U_i} = \frac{U_{0(1)i}}{U_{\text{нм.}\phi}} \cdot 100, \quad (40)$$

где  $U_{\text{ном } \phi}$  - номинальное значение фазного напряжения, В, кВ.

4) Вычисляют значение коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$  в процентах как результат усреднения  $N$  наблюдений  $K_{0U_i}$  на интервале времени  $T_{\text{VS}}$ , равном 3 с, по формуле 41:

$$K_{0U} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N K_{0U_i}^2}{N}}. \quad (41)$$

Число наблюдений  $N$  должно быть не менее 9

5) Качество электрической энергии по коэффициенту несимметрии напряжений по нулевой последовательности в точке общего присоединения считают соответствующим требованиям настоящего стандарта, если наибольшее из всех измеренных в течение 24 ч значений коэффициентов несимметрии напряжений по нулевой последовательности не превышает предельно допустимого значения, а значение коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности, соответствующее вероятности 95% за установленный период времени, не превышает нормально допустимого значения.

Допускается определять соответствие нормам стандарта по суммарной продолжительности времени выхода за нормально и предельно допустимые значения.

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 69          |

Качество электрической энергии по коэффициенту несимметрии напряжений по нулевой последовательности считают соответствующим требованиям настоящего стандарта, если суммарная продолжительность времени выхода за нормально допустимые значения составляет не более 5% от установленного периода времени, т.е. 1 ч 12 мин, а за предельно допустимые значения - 0 % от этого периода времени.

### Отклонение частоты

Измерение отклонения частоты  $\Delta f$  осуществляют следующим образом.

1. Для каждого  $i$ -го наблюдения за установленный период времени измеряют действительное значение частоты  $f_i$  в герцах.

2. Вычисляют усредненное значение частоты  $f_y$  в герцах как результат усреднения  $N$  наблюдений  $f_i$  на интервале времени, равном 20 с, по формуле 42:

$$f_y = \frac{\sum_{i=1}^N f_i}{N} \quad (42)$$

Число наблюдений  $N$  должно быть не менее 15.

3. Вычисляют значение отклонения частоты  $\Delta f$  в герцах по формуле 43:

$$\Delta f = f_y - f_{\text{ном}}, \quad (43)$$

где  $f_{\text{ном}}$  - номинальное значение частоты, Гц.

4. Качество электрической энергии по отклонению частоты считают соответствующим требованиям настоящего стандарта, если все измеренные в течение 24 ч значения отклонений частоты находятся в интервале, ограниченном предельно допустимыми значениями, а не менее 95% всех измеренных значений отклонения частоты находятся в интервале, ограниченном нормально допустимыми значениями.

Допускается определять соответствие нормам стандарта по суммарной продолжительности времени выхода за нормально и предельно допустимые значения.

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 70          |

Качество электрической энергии по отклонению частоты считают соответствующим требованиям настоящего стандарта, если суммарная продолжительность времени выхода за нормально допустимые значения составляет не более 5% от установленного периода времени, т.е. 1 ч 12 мин, а за предельно допускаемые значения - 0%.

### Провал напряжения

Измерение длительности провала напряжения  $\Delta t_{\text{п}}$  в секундах (рисунок 12) осуществляют следующим образом:

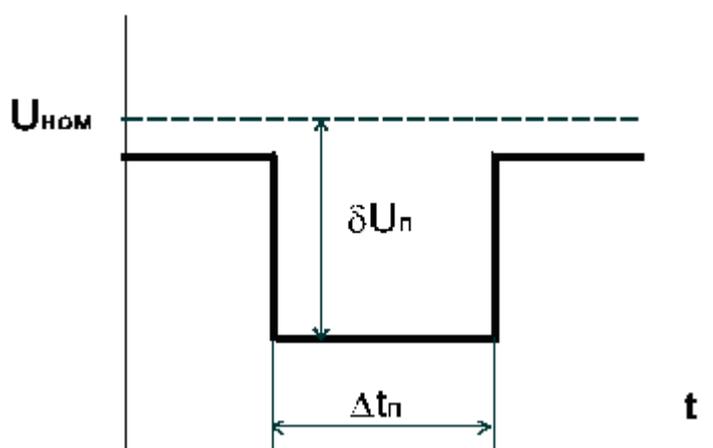


Рисунок 12- Провал напряжения.

1. Фиксируют начальный момент времени  $t_{\text{н}}$  резкого спада (с длительностью менее 10 мс) огибающей среднеквадратических значений напряжения, определенных на каждом полупериоде основной частоты, ниже уровня  $0,9 U_{\text{ном}}$ .

2. Фиксируют конечный момент времени  $t_{\text{к}}$  восстановления среднеквадратичного значения напряжения до  $0,9 U_{\text{ном}}$ .

3. Вычисляют длительность провала напряжения  $\Delta t_{\text{п}}$  в секундах по формуле:

$$\Delta t_{\text{п}} = t_{\text{к}} - t_{\text{н}}, \quad (44)$$

где  $t_{\text{н}}$ ,  $t_{\text{к}}$  - начальный и конечный моменты времени провала напряжения.

4. Качество электрической энергии по длительности провалов напряжения в точке общего присоединения считают соответствующим требованиям настоящего стандарта, если наибольшее из всех измеренных в течение продолжительного пери-

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 71          |

ода наблюдения (как правило, в течение года) длительностей провалов напряжения не превышает предельно допустимого значения.

Допускается определять максимально возможную длительность провала в точке присоединения к электрической сети путем расчета суммарной выдержки времени устройств релейной защиты, автоматики и коммутационных аппаратов, установленных в соответствующих электрических сетях энергоснабжающей организации. Если найденная таким способом длительность провала напряжения не превышает предельно допустимого значения, то качество электрической энергии по длительности провалов напряжения считают соответствующим требованиям настоящего стандарта./ГОСТ-13109-97/

5. Глубину провала напряжения  $\delta U_{\text{п}}$  в процентах (рисунок 12) определяют следующим образом.

1) Измеряют среднеквадратичные значения напряжения  $U$  за каждый полупериод основной частоты во время провала напряжения, в вольтах, киловольтах.

2) Определяют минимальное из всех измеренных в соответствии с п.п.1 среднеквадратичных значений напряжения  $U_{\text{min}}$ , в вольтах, киловольтах.

3) Вычисляют глубину провала напряжения  $\delta U_{\text{п}}$  в процентах по формуле 45:

$$\delta U_{\text{п}} = \frac{U_{\text{ном}} - U_{\text{min}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100. \quad (45)$$

6. Частоту появления провалов напряжения  $F_{\text{п}}$  в процентах вычисляют по формуле 46:

$$F_{\text{п}} = \frac{m(\delta U_{\text{п}} \cdot \Delta t_{\text{п}})}{M}, \quad (46)$$

где  $m(\delta U_{\text{п}}, \Delta t_{\text{п}})$  - число провалов напряжения глубиной  $\delta U_{\text{п}}$  и длительностью  $\Delta t_{\text{п}}$  за период времени наблюдения  $T$  ;

$M$  - суммарное число провалов напряжения за период времени наблюдений  $T$ .

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 72          |

## Импульс напряжения

1. Импульсное напряжение  $U_{\text{имп}}$  в вольтах, киловольтах, (рисунок 10) измеряют как максимальное значение напряжения при резком его изменении (длительность фронта импульса не более 5 мс).

2. Длительность импульса напряжения по уровню 0,5 его амплитуды  $t_{\text{имп } 0,5}$  в микросекундах, миллисекундах (рисунок 13) измеряют следующим образом.

1) Выделяют из общей кривой напряжения импульс напряжения и определяют амплитуду этого импульса  $U_{\text{имп } a}$  в вольтах, киловольтах как максимальное значение импульса напряжения (рисунок 13).

2) Определяют моменты времени  $t_{\text{н } 0,5}$ ,  $t_{\text{к } 0,5}$  в микросекундах, миллисекундах (рисунок 10), соответствующие пересечению кривой импульса напряжения горизонтальной линией, проведенной на половине амплитуды импульса, в микросекундах, миллисекундах.

3) Вычисляют  $\Delta t_{\text{имп } 0,5}$  по формуле 47:

$$\Delta t_{\text{имп } 0,5} = t_{\text{к } 0,5} - t_{\text{н } 0,5}. \quad (47)$$

## Временное перенапряжение

1 Измерение коэффициента временного перенапряжения  $K_{\text{пер } U}$  в относительных единицах (рисунок 14) осуществляют следующим образом

1) Измеряют амплитудные значения напряжения  $U_a$  в вольтах, киловольтах на каждом полупериоде основной частоты при резком (длительность фронта до 5 мс) превышении уровня напряжения, равного  $1,1 \sqrt{2} U_{\text{ном}}$ .

2) Определяют максимальное из измеренных в соответствии с п.п.1 амплитудных значений напряжения  $U_{a \text{ max}}$ .

С целью исключения влияния коммутационного импульса на значение коэффициента временного перенапряжения определение  $U_{a \text{ max}}$  осуществляют через 0,04 с от момента превышения напряжением уровня, равного  $1,1 U_{\text{ном}}$ .

3) Вычисляют коэффициент временного перенапряжения по формуле 48:

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 73          |

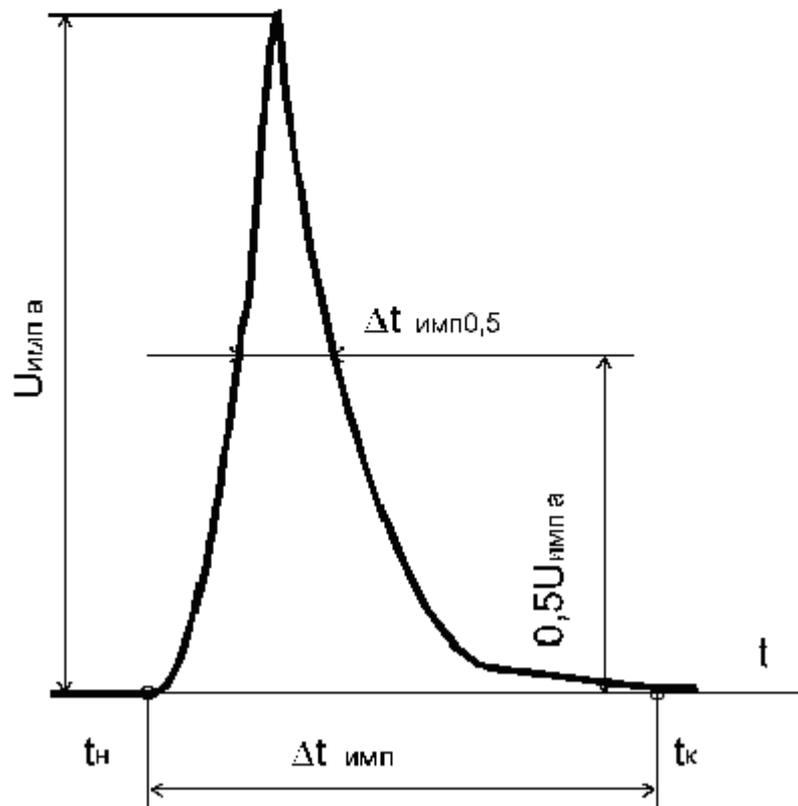
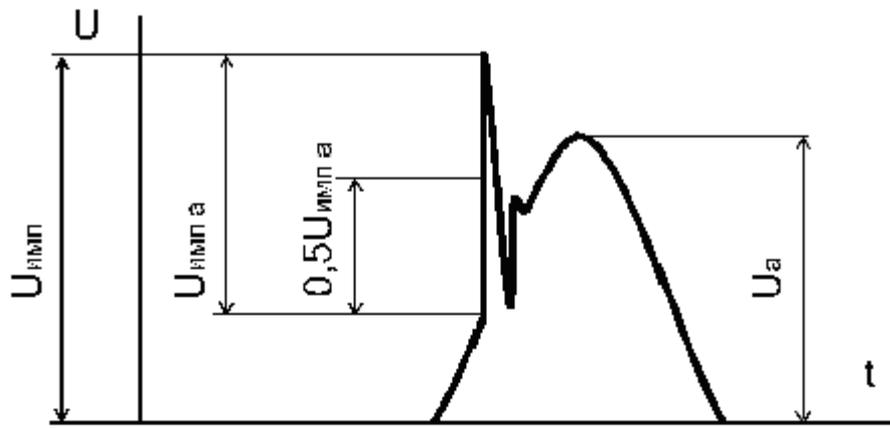


Рисунок 13– Параметры импульсного напряжения

:

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
|     |      |          |         |      |
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

74

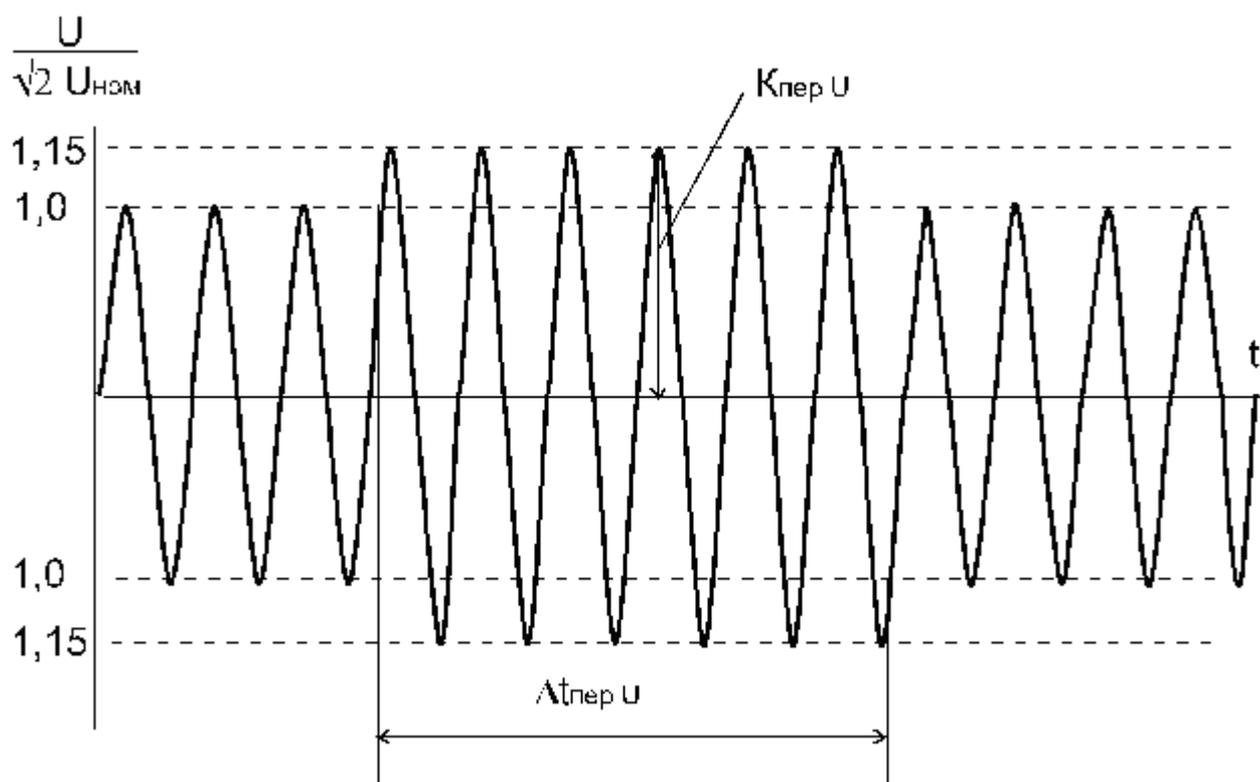


Рисунок 14– Временное перенапряжение

$$K_{перU} = \frac{U_{a \max}}{\sqrt{2} U_{ном}}. \quad (48)$$

2. Длительность временного перенапряжения  $\Delta t_{пер}$  в секундах, определяют следующим образом.

1) Фиксируют момент времени  $t_{н пер}$  превышения действующим значением напряжения уровня, равного  $1,1U_{ном}$ , и момент времени  $t_{к пер}$  спада напряжения до уровня  $1,1U_{ном}$ .

2) Вычисляют  $\Delta t_{пер U}$  в секундах по формуле:

$$\Delta t_{пер U} = t_{к пер} - t_{н пер}. \quad (49)$$

### 3.2 Средства обследования качества электроэнергии

Контроль за соблюдением энергоснабжающими организациями и потребителями электрической энергии требований стандарта осуществляют органы надзо-

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 75          |

ра и аккредитованные в установленном порядке испытательные лаборатории по качеству электрической энергии.

Контроль качества электрической энергии в точках общего присоединения потребителей электрической энергии к системам электроснабжения общего назначения проводят энергоснабжающие организации. Указанные организации выбирают точки контроля в соответствии с нормативными документами, утвержденными в установленном порядке, и устанавливают периодичность контроля.

Периодичность измерений показателей КЭ устанавливают :

- для установившегося отклонения напряжения - не реже двух раз в год в зависимости от сезонного изменения нагрузок в распределительной сети центра питания, а при наличии автоматического встречного регулирования напряжения в центре питания - не реже одного раза в год. При незначительном изменении суммарной нагрузки центра питания и неизменности схемы сети и параметров ее элементов допускается увеличивать интервал между контрольными измерениями для установившегося отклонения напряжения;

- для остальных показателей - не реже одного раза в 2 года при неизменности схемы сети и ее элементов и незначительном изменении нагрузки потребителя, ухудшающего качество электроэнергии.

Конкретные сроки проведения периодического контроля качества электроэнергии в точках присоединения потребителей к системе электроснабжения общего назначения устанавливаются электроснабжающей организацией в эксплуатационных режимах, соответствующих нормальным схемам или длительным ремонтным схемам сетей общего назначения.

Потребители, ухудшающие качество электрической энергии, должны проводить контроль в точках собственных сетей, ближайших к точкам общего присоединения указанных сетей к электрической сети общего назначения, а также на выводах приемников электрической энергии, являющихся источниками кондуктивных электромагнитных помех.

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 76          |

Контроль качества электрической энергии, отпускаемый тяговыми подстанциями переменного тока в электрические сети напряжением 6-35 кВ, следует проводить:

- для электрических сетей 6-35 кВ, находящихся в ведении энергосистем, - в точках присоединения этих сетей к тяговым подстанциям;

- для электрических сетей 6-35 кВ, не находящихся в ведении энергосистем, - в точках, выбранных по согласованию между тяговыми подстанциями и потребителями электрической энергии, а для вновь строящихся и реконструируемых (с заменой трансформаторов) тяговых подстанций - в точках присоединения потребителей электрической энергии к этим сетям.

Погрешность измерений должна соответствовать требованиям ГОСТ 13109-97.

При всех видах испытаний, контроля и измерений КЭ, за исключением технологического контроля должны использоваться средства измерений, реализующие алгоритмы обработки измерительной информации в соответствии с требованиями ГОСТ 13109-97 и имеющие метрологические характеристики не хуже указанных в таблице 20.

Таблица 20- Метрологические характеристики средств измерений

| Наименование измеряемой величины, единица измерений         | Метрологические характеристики                    |  |   |                        |
|---|---|--|---|------------------------|
|   | Диапазон измерений в единицах измеряемой величины | Предел абсолютной допускаемой погрешности в единицах измеряемой величины | Предел относительной допускаемой погрешности, % | Интервал усреднения, с |
| 1. Установившееся отклонение напряжения, %                  | от минус 20 до плюс 20                            | $\pm 0,2^*$<br>$\pm 0,5^{**}$  |   | 60 с                   |
| 2. Коэффициент n-й гармонической составляющей напряжения, % | от 0 до 15  | $\pm 0,05$<br>при $K_{U(n)} < 1$   | $\pm 5$<br>при $K_{U(n)} > 1$                   | 3                      |

Продолжение таблицы 20

| Наименование измеряемой величины, единица измерений                     | Метрологические характеристики                    |  |   |                        |
|---|---|--|---|------------------------|
|   | Диапазон измерений в единицах измеряемой величины | Предел абсолютной допускаемой погрешности в единицах измеряемой величины | Предел относительной допускаемой погрешности, % | Интервал усреднения, с |
| 3. Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения, %          | от 0 до 15  | $\pm 0,1$<br>при $K_U < 1$   | $\pm 10$<br>при $K_U > 1$                       | 3                      |
| 4. Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности, % | от 0 до 5   | $\pm 0,2$ *<br>$\pm 0,3^{**}$  | -   | 3                      |
| 5. Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности, %  | от 0 до 5   | $\pm 0,2$ *<br>$\pm 0,5^{**}$  | -   | 3                      |
| 6. Отклонение частоты, Гц   | от 49 до 51                                       | $\pm 0,03$   | -   | 20                     |
| 7. Длительность провала напряжения, с                                   | от 0,01 до 60                                     | 0,01   | -   | -                      |

\* – для средств измерений, подключаемых к выходам измерительных трансформаторов напряжения

\*\* – для средств измерений, подключаемых непосредственно к электрическим сетям 380, 220 В.

$K_U$  ,  $K_{U(n)}$  – соответственно коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения и коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения.

При технологическом контроле КЭ допускается использовать средства измерений, динамические характеристики и погрешность которых отличаются от установленных в таблице 21. Однако погрешность используемых средств измерений не

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 78          |

должна превышать установленную в таблице 20 для средств измерений, подключаемых непосредственно к электрическим сетям 380, 220 В.

В сферах, подлежащих обязательному государственному контролю и надзору (сертификационные, арбитражные испытания, инспекционный контроль КЭ, государственный надзор за соблюдением обязательных требований государственных стандартов, измерения, используемые для установления скидок и надбавок при расчетах за электрическую энергию, штрафных санкций и т.п.), при проведении работ в электрических сетях с номинальным напряжением выше 1000 В должны использоваться трансформаторы напряжения класса точности не хуже 0,5, поверенные в установленном порядке с не истекшими сроками поверки. При этом нагрузка вторичных цепей трансформаторов с учетом входных сопротивлений используемых средств измерений КЭ, должна находиться в пределах 25-100 % номинальной нагрузки, установленной для указанного класса точности. Неравномерность амплитудно-частотной характеристики трансформатора в полосе частот до 2 кГц не должна превышать 2 %. Коэффициенты n-ых гармонических составляющих напряжения до 40-ой включительно на выходе трансформатора при подаче на его вход синусоидального напряжения частотой 50 Гц должны быть не более 0,02 %.

При остальных видах испытаний и контроля могут использоваться установленные в электрических сетях и не подвергавшиеся периодической поверке трансформаторы напряжения класса точности 0,5, нагрузка вторичных измерительных цепей которых находится в пределах от 0,4 до 0,8 номинальной нагрузки, установленной для указанного класса точности.

Приборы должны обеспечивать измерения при следующих номинальных значениях напряжения на их входах:

- фазные напряжения  $100/\sqrt{3}$  и 220 В;
- междуфазные напряжения 100 и 380 В.

Средства измерений должны усреднять измеряемые ПКЭ в интервалах усреднения, указанных в таблице 20, с использованием следующих весовых функций (измерительных окон):

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
|            |             |                 |                |             |                                | 79          |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                |             |

- прямоугольное измерительное окно с шириной  $T_w$  равной 0,32 с, без пробелов между окнами или измерительное окно Хеннинга с шириной  $T_w$ , равной 0,4-0,5 с, с перекрытием смежных окон на 50%.

Средства измерений должны обеспечивать выявление кратковременных перенапряжений, провалов и отключений измеряемых напряжений длительностью более 0,01 с.

Средства измерений должны обеспечивать нормальную работу при характеристиках напряжения питания, изменяющихся в пределах  $\pm 20\%$  от номинального напряжения, в том числе при снижении напряжения питания до 80 % от номинального напряжения. При большем снижении или исчезновении напряжения питания средства измерений должны обеспечивать сохранение установочных параметров, оперативных уставок, накопленной в памяти информации, а также отсчет текущего времени. При восстановлении напряжения питания до 80 % от номинального значения, средства измерений должны обеспечивать автоматическое восстановление нормальной работы.

Средства измерений должны обеспечивать накопление измерительной информации за время не менее 7 суток и хранение этой информации при отключенном питании не менее 15 суток.

Средства измерений должны обеспечивать регистрацию и отображение суммарной длительности событий, в течение каждых календарных суток. При этом должно учитываться время выхода прибора на нормальный режим работы после восстановления питания.

Средства измерений должны обеспечивать представление протоколов измерений в форме, обеспечивающей проверку условий соответствия качества электроэнергии.

По устойчивости к климатическим воздействиям в рабочих условиях применения приборы должны соответствовать группе исполнения не ниже 3-й по ГОСТ 22261-94.

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
|            |             |                 |                |             |                                | 80          |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                |             |

По устойчивости к воздействию внешних электромагнитных помех средства измерений должны удовлетворять требованиям следующих стандартов: ГОСТ Р 50317.4.2-99 (МЭК 61000-4-2-95), ГОСТ Р 50317.4.3-99 (МЭК 61000-4-3-95), ГОСТ Р 50317.4.4-99 (МЭК 61000-4-4-95), ГОСТ Р 50317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95), ГОСТ Р 50317.4.11-99 (МЭК 61000-4-11-94), ГОСТ Р 50628- 2000, ГОСТ Р 50648-94 (МЭК 1000-4-8-93).

Средства измерений должны выдерживать на зажимах входных цепей и цепей сетевого питания длительное (не менее 24 ч) воздействие напряжения не менее удвоенного номинального значения.

Средства измерений должны выдерживать на зажимах входных цепей и цепей сетевого питания воздействие грозových импульсов напряжения до 6 кВ.

Средства измерений должны обеспечивать защиту измерительной информации путем ограничения доступа к входным зажимам и органам управления, применением паролей, фиксацией в памяти моментов времени ввода команд, изменяющих режимы работы прибора.

При выполнении измерений используют метод непосредственной оценки показателей качества электроэнергии:

- установившееся отклонение напряжения;
- коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения;
- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения;
- коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности;
- коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности;
- отклонение частоты;
- длительность провала напряжения.

При контроле КЭ в трехфазных и однофазных электрических сетях следует измерять фазные напряжения.

При отсутствии в электрических сетях с изолированной нейтралью однофазных заземляемых или трехфазных заземляемых трансформаторов напряжения допускается измерять междуфазные напряжения.

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
|            |             |                 |                |             |                                | 81          |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                |             |

Для примера приведем характеристику некоторых приборов, которые удовлетворяют описанным ранее требованиям.

### **Анализатор параметров электрического тока AR.5M-2000**



Портативный прибор для регистрации параметров трехфазных и однофазных сетей 220/380 В или высоковольтных сетей (при наличии измерительных трансформаторов)

Предназначен для оценки качества электросетей, оптимизации графиков энергопотребления, выбора компенсаторов реактивной мощности, проверки счетчиков электроэнергии и др.

Рисунок 15

С периодичностью от 1 секунды до 4 часов измеряются и записываются в память следующие параметры:

- напряжения каждой фазы и среднее напряжение;
- токи каждой фазы и средний ток;
- частота сети;
- $\cos\varphi$  в каждой фазе;
- 3-фазный коэффициент мощности;
- активная, индуктивная и емкостная мощности по фазам и суммарно;
- активная, индуктивная и емкостная (потребленная и выданная) энергии.

Имеется выход для связи с компьютером. Прибор оборудован встроенным дисплеем. Питание автономное. В комплекте имеется набор измерительных клещей до 2000А.

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 82          |

Объем памяти - 256 Кб или 1 Мб, что достаточно для запоминания 1250 или 5000 полных измерений. Это количество значительно увеличивается, если ограничить выбор регистрируемых параметров.

Дополнительные картриджи-программаторы позволяют регистрировать параметры качества сети:

- до 49 гармоник напряжения и тока;
- импульсы, пики, провалы напряжения;
- коэффициент фликера.

Выпускаются также картриджи для проведения специальных тестов:

- для анализа быстрых процессов, например, разгона асинхронных двигателей;
- для проверки электросчетчиков на месте.

Полученные данные переносятся на компьютер и анализируются с помощью специализированного программного обеспечения

Таблица 21- Технические характеристики

| Характеристика                       | Значение                              |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Число фаз                            | 3                                     |
| Максимальное напряжение              | 500 В (фазное)                        |
| Максимальный ток                     | от 5 до 2000 А (определяется клещами) |
| Класс точности по току и напряжению  | 0,5                                   |
| Класс точности по мощности и энергии | 1,0                                   |
| Устройство отображения               | графический ж/к дисплей               |
| Связь с компьютером                  | порт RS232                            |
| Программное обеспечение              | под Windows                           |
| Питание                              | 220 В или встроенный аккумулятор      |

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                |             |

Продолжение таблицы 21

| Характеристика          | Значение |
|-------------------------|----------|
| Вес процессорного блока | 0,6 кг   |

Особенности прибора «AR.5»

Одной из важнейших особенностей является реализация большинства функций на программном уровне. Это дает возможность пользователям наращивать функции своих приборов путем приобретения дополнительных картриджей-программаторов.

AR.5 не имеет регулировочных элементов в своей электронной схеме. Заводская калибровка происходит на цифровом уровне, путем "прошивки" калибровочных коэффициентов в специальных регистрах. Цифровая калибровка обусловила высокую стабильность метрологических характеристик прибора - он никогда не требует перекалибровки.

Электроанализатор AR.5 является сложным прибором, с гибкой системой настроек. Вместе с тем, он весьма прост в обслуживании и управляется клавиатурой, состоящей только из 9 кнопок. Этого удалось добиться с помощью экранного многоуровневого меню, значительно облегчающего управление прибором.

Важной особенностью прибора является многофункциональный графический дисплей. Он позволяет просматривать формы синусоид токов и напряжений, одновременно отображать до 30 параметров в реальном времени, программировать прибор с помощью экранных меню и выполняет другие функции.

Анализатор AR5 оснащается гибкими датчиками тока. Датчик представляет собой эластичный стержень, который замыкается в кольцо вокруг токопровода. Датчики весят значительно меньше обычных клещей и могут устанавливаться даже в тех местах, где обычные клещи не проходят по своим габаритам.

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 84          |

### Комплектация

- процессорный блок AR.5. Память 256 Кб;
- процессорный блок AR.5M. Память 1 Мб;
- датчики 10000/1000 А гибкие (3 штуки);
- датчики 2000/200 А гибкие (3 штуки);
- клещи 2000/200 А (3 штуки);
- клещи 1000 А (3 штуки);
- клещи 500 А (3 штуки);
- клещи 100 А (3 штуки);
- клещи 5 А (3 штуки);
- шунт для измерений по высокой стороне;
- картридж-программатор для анализа гармоник;
- картридж-программатор для анализа фликера;
- картридж-программатор для импульсов и провалов;
- картридж-программатор для записи быстрых процессов;
- картридж-программатор для проверки счетчиков.

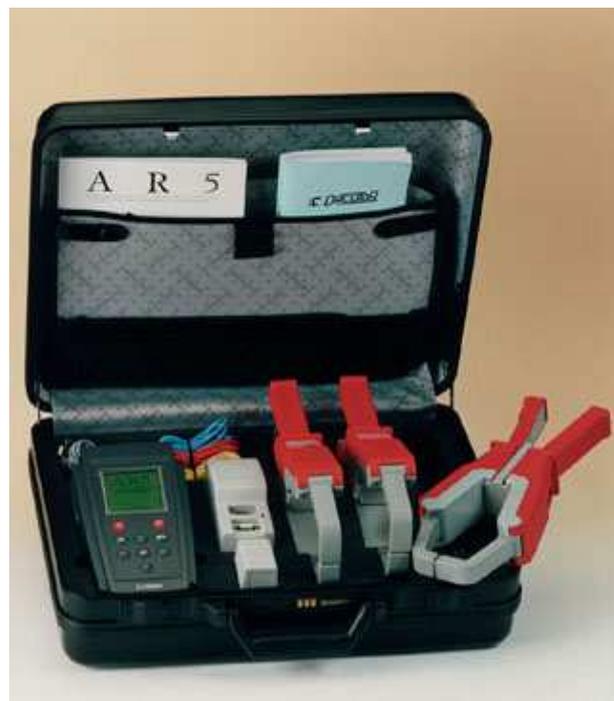


Рисунок 16

### Электроанализатор С80

Электроанализатор С80 предназначен для регистрации параметров одно- или симметричной трехфазной сети 220/380В, а также высоковольтных сетей при наличии штатных измерительных трансформаторов. Электроанализатор С80 подключается к сети с помощью датчика тока и потенциальных проводов с зажимами

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
|            |             |                 |                |             |                                |             |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 85          |

типа «крокодил». Сменными датчиками тока являются токоизмерительные клещи или гибкие кольца.

В стандартный комплект поставки С80 входят: электронный блок, три фазных провода с зажимами типа «крокодил», токоизмерительные клещи (по выбору), рассчитанные на следующие диапазоны измерения: 0,05...5А, 1...100А, 5...500А, 10...1000А, 2...2000А (двухдиапазонные), инструкция по эксплуатации, сумка.



Рисунок 17



Дополнительно комплектуется: **CAVA253** – компактный модуль с объемом памяти 1МБ. Позволяет записывать в память и передавать на ПК параметры одно- или симметричной трехфазной сети 220/380В для составления отчетов в виде таблиц и графиков

Рисунок 18

Таблица 22- Технические характеристики

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Переменный ток                    | 0,05 ... 20000 А (в зависимости от типа подключаемых к прибору токоизмерительных клещей)         |
| Ток утечки                        | 10 мА ... 5 А  |
| Напряжение                        | 70 ... 550 В   |
| Точность по току/напряжению       | 0,5%   |
| Активная мощность                 | 0 W ... 9999 kW (в зависимости от типа подключаемых к прибору токоизмерительных клещей)          |
| Реактивная мощность               | -9999 kvar ... +9999 kvar  |
| Cosφ (в каждой фазе и трехфазный) | 0 ... 1,0  |
| Активная энергия                  | 0 Wh ... 9999999 kWh (в зависимости от типа подключаемых к прибору токоизмерительных клещей)     |
| Реактивная энергия                | 0 varh ... 9999999 kvarh (в зависимости от типа подключаемых к прибору токоизмерительных клещей) |
| Точность по мощности/энергии      | 1%   |
| Частота                           | 45 ... 65Гц  |
| Точность по частоте               | 1%   |

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |
|-----|------|----------|---------|------|

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

86

Продолжение таблицы 22

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| Коэффициент гармонических искажений | С80/CAVA253   |
| Доза фликера                        | только для CAVA253  |
| Запись и вывод информации           | внутренняя память и дисплей для С80, внутренняя память и вывод информации на ПК для CAVA253 |
| Объем памяти С80/CAVA253            | 35 измерений/1 Мб   |

**ИВК Омск-М**

Шестнадцатиканальный измерительно-вычислительный комплекс ИВК “ОМСК-М” предназначен для измерения параметров электрической энергии в однофазных и трехфазных сетях, включая показатели качества электроэнергии по ГОСТ 13109-97 и оценки их соответствия нормально и предельно допускаемым значениям.

ИВК “ОМСК-М” представляет собой переносное устройство, обеспечивающее регистрацию, оцифровывание, и запоминание мгновенных значений сигналов напряжения и тока электрической сети одновременно по всем каналам. Работает автономно, либо в локальной компьютерной сети под управлением внешнего компьютера. Накопленная информация обрабатывается программами, входящим в комплект ИВК “ОМСК-М”.

Первый канал предназначен только для подключения напряжения, а каналы со 2 по 9 являются универсальными (можно подавать или напряжение, или ток), каналы с 10 по 16 предназначены для подключения только тока.

ИВК “ОМСК-М” допускает непрерывную работу в рабочих условиях не менее 7 суток.

Габаритные размеры ИВК “ОМСК-М” 480 х 490 х 130 мм. Масса измерительного блока не превышает 11 кг. Нормальные условия применения – по ГОСТ 22261, группа 2; температура от 15 до 25,° С.

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                |             |

Рабочие условия применения и предельные условия транспортирования – по ГОСТ 22261, группа 2.

Измеряемые показатели качества электрической энергии (ПКЭ) по ГОСТ 13109-97:

- отклонение напряжения основной частоты сети;
- отклонение частоты;
- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения;
- коэффициент  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения;
- коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности;
- коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности;
- глубина провала напряжения;
- длительность провала напряжения.

Прочие измеряемые параметры напряжения и тока:

- действующее значение междуфазного (фазного) напряжения прямой последовательности основной частоты;
- действующее значение тока основной частоты;
- активная, реактивная и полная мощности трехфазной (однофазной) системы напряжений и токов основной частоты;
- угол сдвига фаз между фазными (междуфазными) напряжениями основной частоты;
- фазовый угол между фазным (междуфазным) напряжением и фазным током основной частоты;

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 88          |

- фазовый угол между фазным напряжением и током n-ой гармонической составляющей.

Таблица 23- Технические характеристики

| Измеряемая величина   | Диапазон                   | Погрешность                        |
|---|----------------------------|------------------------------------|
| Установившееся напряжение, В  | $(0,7-1,3) \times U_{ном}$ | 0,2(отн.)                          |
| Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения основной частоты, %    | 0 – 50                     | 0,2(абс.)                          |
| Угол сдвига фаз между фазными напряжениями основной частоты                     | $0^\circ - 360^\circ$      | $\pm 0,5^\circ$ (абс.)             |
| Частота, Гц   | 49 – 51                    | $\pm 0,03$ (абс.)                  |
| Коэффициенты несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности, % | 0 – 100                    | $\pm 0,2$ (абс.)                   |
| Коэффициенты n-ой гармонической составляющей напряжения, %                      | 0 , 50                     | $\pm 0,05$ (абс.) $\pm 5,0$ (отн.) |
| Длительность провала, с   | 0,01 –300                  | $\pm 0,01$ (абс.)                  |
| Глубина провала, %  | 10 – 90                    | $\pm 0,2$ (абс.)                   |
| Действующее значение тока основной частоты сети, В                              | 0-5                        | $\pm 2,0$ (отн.)                   |

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 89          |

Продолжение таблицы 23

| Измеряемая величина  | Диапазон | Погрешность      |
|--|----------|------------------|
| Активная и полная мощности основной частоты сети, Вт         | 0 – 5700 | $\pm 2,0$ (отн.) |
| Начальные фазы высших гармоник (со 2 по 40) напряжений, град | 0-360    | 5° (абс.)        |
| Начальные фазы высших гармоник (со 2 по 40)                  | 0-360    | 10° (абс.)       |

### 3 Выбор объекта для аудита по качеству электроэнергии и электромагнитной совместимости

В качестве пунктов контроля качества электроэнергии закупаемой энерго-снабжающей организацией выбирают границы раздела балансовой принадлежности двух энергоснабжающих организаций или иные пункты, связывающие электрические сети этих организаций и позволяющие проводить измерения качества электроэнергии. Выбранные пункты контроля указывают в договоре энергоснабжения между этими энергоснабжающими организациями.

Пунктами контроля качества электроэнергии, поставляемой потребителям, являются: центр питания, если он принадлежит энергоснабжающей организации, в чьем ведении находится распределительная электрическая сеть (далее – распределительная сеть), и характерные точки в распределительной сети.

**Выбор контрольных пунктов в распределительной сети для измерения установившегося отклонения напряжения следует производить в следующем порядке:**

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 90          |

1. Сгруппировать распределительные линии, отходящие от центра питания, если это возможно, по доминирующему характеру графиков нагрузки (линии с промышленной нагрузкой и линии с нагрузкой общественных, научных, коммерческих учреждений, жилых зданий и др.).

2. Выбрать в каждой из групп распределительных линий следующие контрольные пункты:

- точка коммерческого контроля качества электроэнергии с потребителями, соответствующие точкам электрической сети, потери напряжения от центра питания до которых являются минимальными и максимальными в рассматриваемой группе распределительных линий в режимах наименьших и наибольших нагрузок центра питания;

- точка коммерческого контроля качества электроэнергии с потребителями, график нагрузки которых резко отличен от графика нагрузки центра питания;

- шины 0,4 кВ трансформаторных подстанций (ТП) 6-35/0,4 кВ, от которых осуществляется электроснабжение бытовых потребителей, потери напряжения от центра питания до которых являются минимальными и максимальными в рассматриваемой группе распределительных линий в режимах наибольших и наименьших нагрузок центра питания или вводно-распределительное устройство к этим бытовым потребителям.

3. Если на подстанции энергоснабжающей организации установлен трансформатор, осуществляющий один и тот же закон регулирования напряжения для нескольких секций шин (трехобмоточный трансформатор, трансформатор с расщепленными обмотками), то пункты контроля выбирают в объединенной распределительной сети, присоединенной ко всем секциям (системам) шин вторичного напряжения данного трансформатора.

В качестве пункта контроля в центре питания рекомендуется выбрать секцию (систему) шин, в соответствии с нагрузкой которой осуществляют централизованное регулирование напряжения в объединенной распределительной сети.

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 91          |

4. При выборе пунктов контроля для измерения установившегося отклонения напряжения следует использовать:

- расчеты с учетом прогнозируемого роста нагрузок или измерения потерь напряжения в электрических сетях напряжением 6-35 и 0,4 кВ в режимах наибольших и наименьших нагрузок центра питания;
- сведения о загрузке распределительных трансформаторов 6-35/0,4 кВ и данные о регулировочных ответвлениях, установленных на этих трансформаторах;
- результаты измерений токов в распределительных линиях и напряжений на шинах 0,4 кВ трансформаторов 6-35/0,4 кВ и др.

В качестве пунктов контроля в распределительной электрической сети для измерения показателей несинусоидальности и несимметрии напряжений по обратной последовательности следует выбирать точку общего присоединения (точка коммерческого контроля качества электроэнергии) с потребителями, являющимися источниками ухудшения качества электрической энергии (далее искажающие потребители).

Дополнительно следует рассмотреть целесообразность контроля качества электроэнергии в точке общего присоединения с восприимчивыми потребителями, ближайшими к искажающим потребителям, и точки электрической сети с установленными статическими компенсирующими устройствами.

**Пункты контроля коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности.**

В качестве пунктов контроля коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности следует выбирать шины 0,4 кВ трансформаторов 6-35/0,4 кВ, питающих коммунально-бытовую нагрузку.

В качестве пунктов контроля могут быть также выбраны шины трехфазного вводно-распределительного устройства жилого дома.

Выбор конкретных пунктов контроля осуществляют с учетом результатов измерений токов в линиях 0,4 кВ и напряжений на шинах 0,4 кВ трансформаторов 6-35/0,4 кВ, проводимых энергоснабжающей организацией два раза в год в период

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 92          |

наибольших и наименьших годовых нагрузок. При этом в первую очередь выбирают точки распределительной сети, в которых была зарегистрирована наибольшая несимметрия фазных токов и напряжений.

**Пункты контроля отклонения частоты и длительности провала напряжения.**

В качестве пунктов контроля выбирают любой пункт электрических сетей, в том числе любые точки коммерческого контроля качества электроэнергии.

**Пункты контроля качества электроэнергии при рассмотрении претензий и арбитражных испытаниях качества электроэнергии.**

В качестве пунктов контроля качества электроэнергии выбирают коммерческого контроля качества электроэнергии с потребителем, являющимся одной из сторон заявленной претензии.

При необходимости дополнительно могут быть выбраны другие пункты контроля, результаты измерений в которых позволяют установить обоснованность претензий, предъявляемых к качеству электроэнергии участвующими в споре сторонами, например, ближайшая к рассматриваемому потребителю точка общего присоединения, если последняя не является точкой коммерческого контроля качества электроэнергии с этим потребителем, точка в системе электроснабжения потребителя, приближенная к источнику ухудшения качества электроэнергии, точка электрической сети более высокого класса напряжения, электрически ближайшая к точке общего присоединения с рассматриваемым потребителем.

Пункты контроля качества электроэнергии при определении технических условий на присоединения и договорных условий с потребителем, электроустановки которого ухудшают качество электроэнергии, а также при допуске в эксплуатацию электроустановок, ухудшающих качество электроэнергии.

**Пункты контроля качества закупаемой электроэнергии.**

В качестве пунктов контроля качества электрической энергии закупаемой электроэнергии выбирают точку коммерческого контроля, если она располагается

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 93          |

в сети потребителя, или границу раздела балансовой принадлежности или иной пункт, ближайший к границе раздела, в котором может быть осуществлен контроль качества электроэнергии.

#### **Пункты контроля установившегося отклонения напряжения.**

В качестве пунктов контроля установившегося отклонения напряжения (дополнительно к пункту контроля закупаемой электроэнергии) рекомендуется выбирать выводы характерных электроприемников: ближайшего и наиболее удаленного к границе раздела, а также выводы электроприемников, характер нагрузки которых резко отличен от графиков нагрузки центра питания в интервалах времени наибольших и наименьших нагрузок, сообщаемых потребителю энергоснабжающей организацией.

#### **Пункты контроля показателей несинусоидальности и коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности.**

В качестве пунктов контроля показателей несинусоидальности и коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности (дополнительно к пункту контроля закупаемой электроэнергией) рекомендуется выбирать точку общего присоединения, к которым присоединены нелинейные и несимметричные электроприемники.

#### **Пункты контроля коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности.**

В качестве пунктов контроля коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности следует выбирать шины 0,4 кВ трансформаторов 6-35/0,4 кВ, питающих одновременно трехфазную и однофазную нагрузки.

#### **Пункты контроля при сертификационных испытаниях.**

В качестве пунктов контроля установившегося отклонения напряжения выбирают пункт(ы) контроля качества закупаемой электроэнергии и выводы приемников электрической энергии бытовых потребителей, потери напряжения до которых являются минимальными и максимальными в режимах наибольших и наименьших нагрузок центра питания, или вводно-распределительные устройства к этим быто-

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 94          |

вым потребителям, или, при наличии обоснований (расчетов, данных измерений и др.), шины 0,4 кВ трансформаторных подстанций (ТП) 6-35/0,4 кВ, от которых осуществляется электроснабжение указанных бытовых потребителей.

Органы государственного надзора за соблюдением обязательных требований государственных стандартов и органы государственного энергетического надзора выбирают пункты контроля качества электроэнергии по своему усмотрению.

В нашем случае пунктом контроля качества электроэнергии была тяговая подстанция «ЭЧЭ-Челябинск-Главный», находящаяся на Южно-Уральской железной дороге.

Электрическая схема подстанции «ЭЧЭ-Челябинск-главный» представлена в Приложении Б.

Замеры производились на сторонах 35 и 6 кВ, на выводах, где нагрузка максимальная и постоянная. Точки, где производились замеры показаны в приложении Б. Для анализа качества электроэнергии использовался анализатор параметров электрического тока AR.5M-2000. На каждой стороне замеры длились трое суток. После окончания были получены и проанализированы следующие показатели качества электроэнергии

На стороне 6 кВ:

- действующий ток (рисунок 19)
- действующее напряжение (рисунок 20)
- гармоники (рисунок 21)
- коэффициент несинусоидальности (рисунок 22)

На стороне 35 кВ:

- действующий ток (рисунок 23)
- действующее напряжение (рисунок 24)
- гармоники (рисунок 25)
- коэффициент несинусоидальности (рисунок 26)

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 95          |



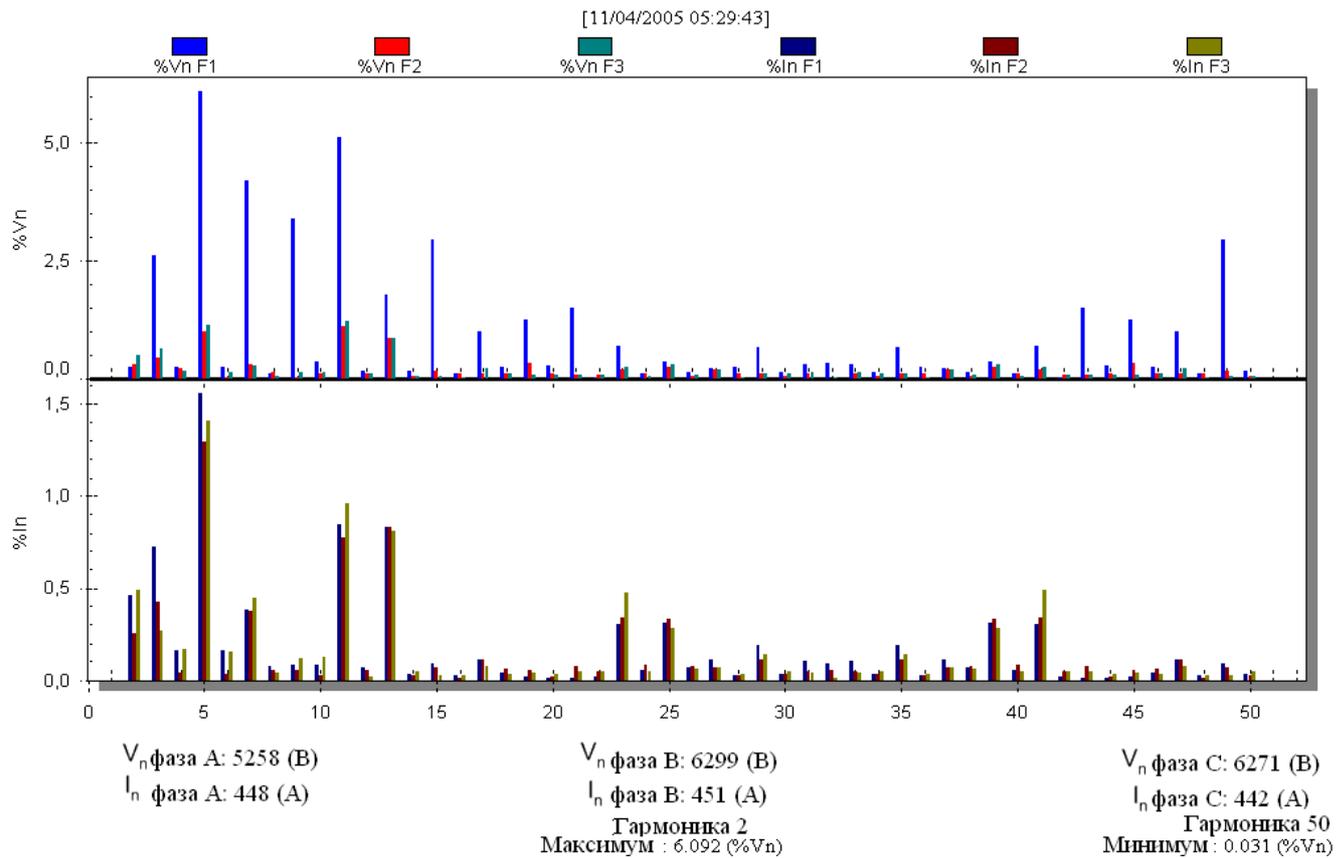


Рисунок 21- Гармоники на стороне 6 кВ

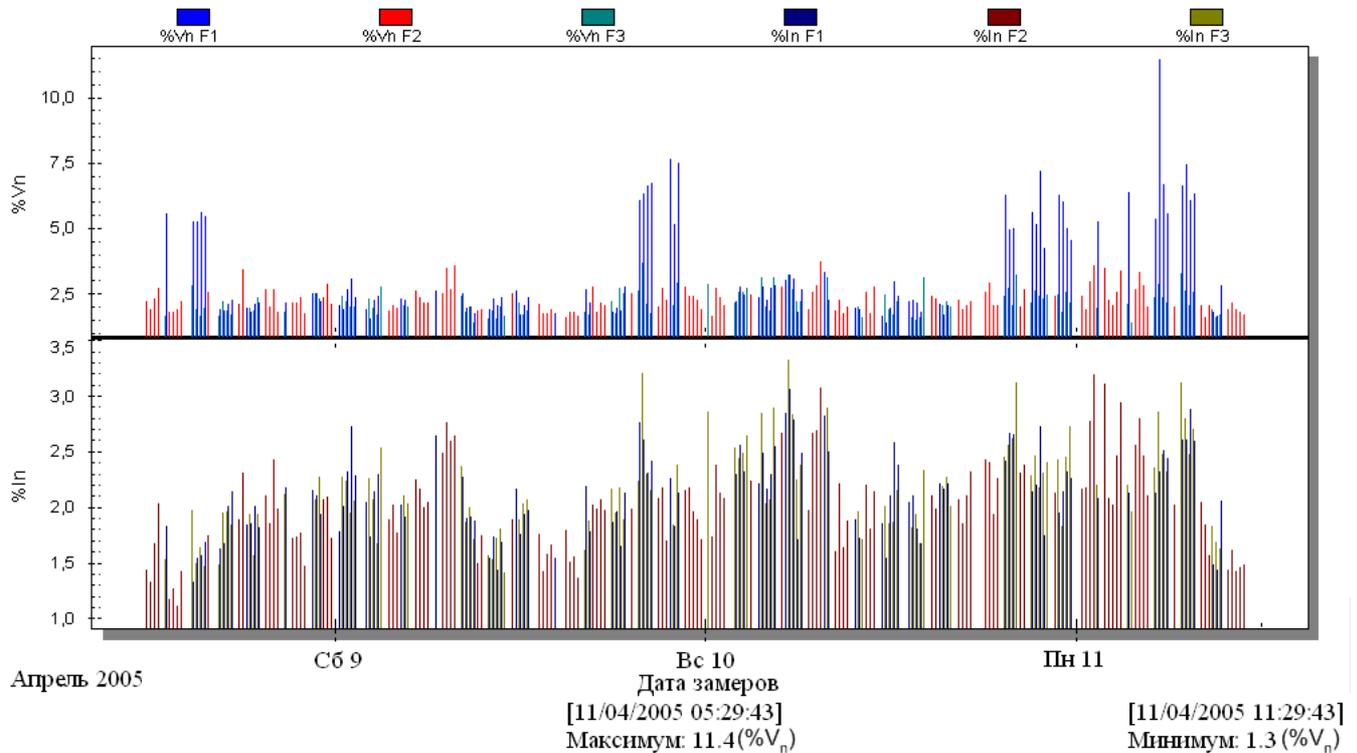


Рисунок 22- Коэффициент несинусоидальности на стороне 6 кВ

|     |      |          |         |      |
|-----|------|----------|---------|------|
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |
|     |      |          |         |      |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

97



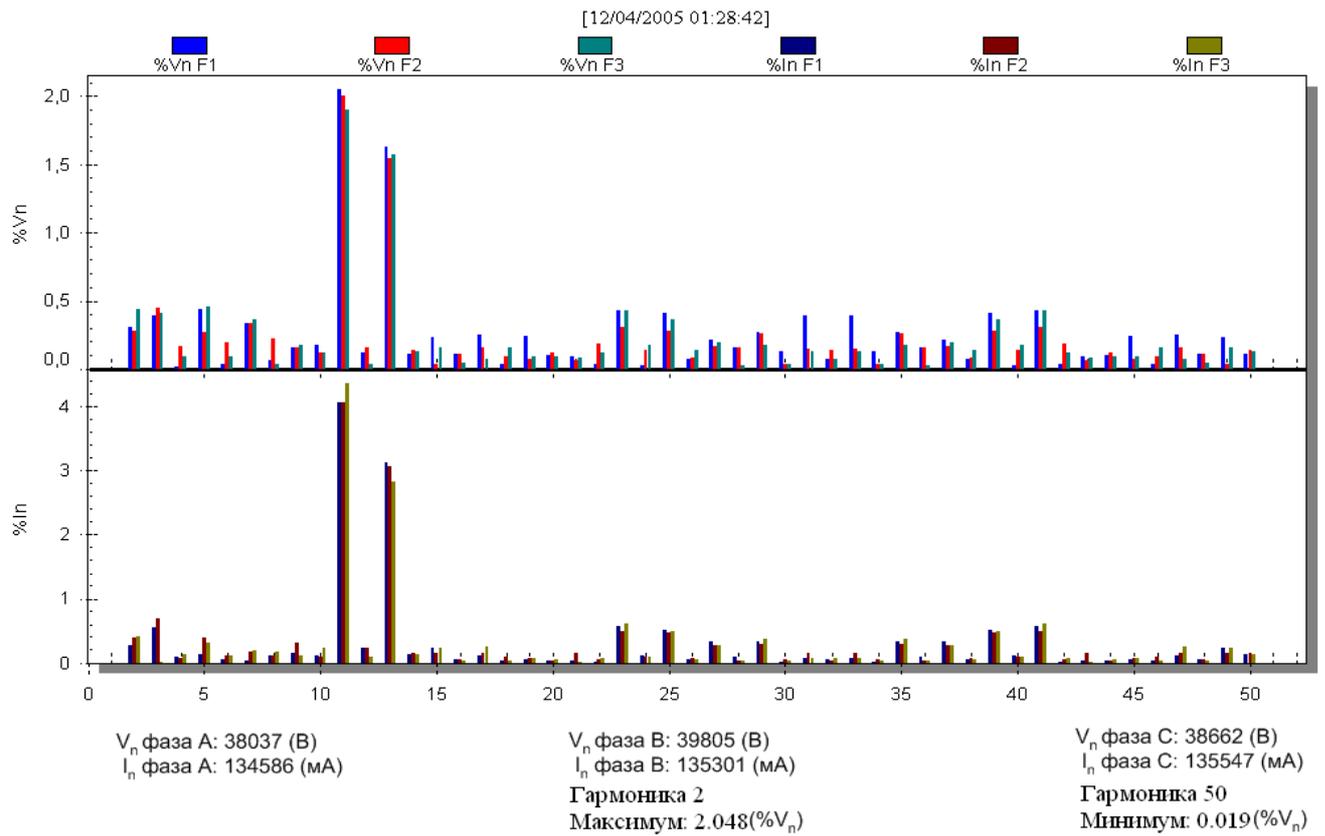


Рисунок 25- Гармоники на стороне 35 кВ

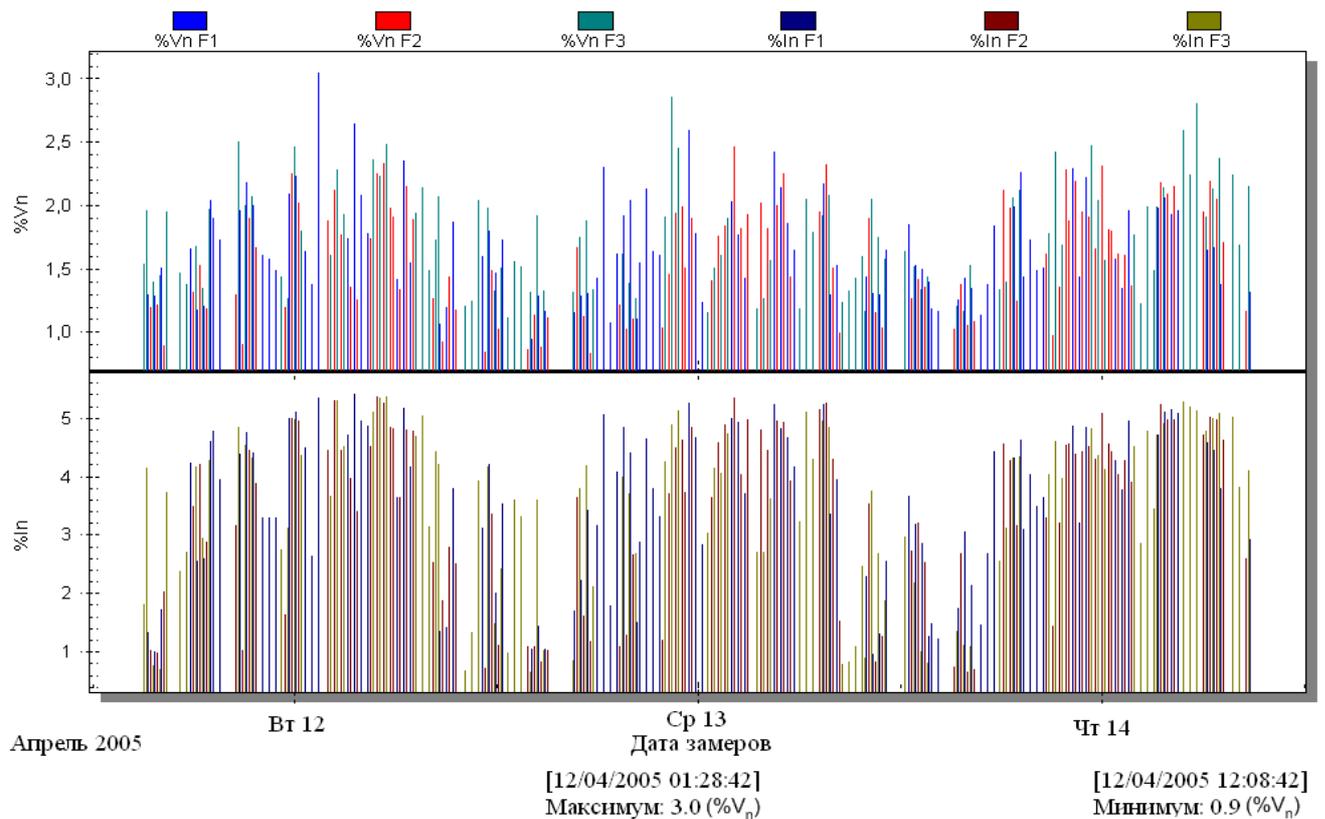


Рисунок 26- Коэффициент несинусоидальности на стороне 35 кВ

|     |      |          |         |      |                                |             |
|-----|------|----------|---------|------|--------------------------------|-------------|
|     |      |          |         |      | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| Изм | Лист | № Докум. | Подпись | Дата |                                | 99          |

Посмотрев на рисунок 20 можно вычислить значение установившегося отклонения напряжения  $\delta U_y$  в процентах по формуле

$$\delta U_y = \frac{U_y - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100,$$

где  $U_{\text{ном}}$  - номинальное междуфазное (фазное) напряжение, в вольтах, киловольтах.

Верхний предел: 
$$\delta U_y = \frac{6380 - 6000}{6000} \cdot 100 = 6,3\%$$

Нижний предел: 
$$\delta U_y = \frac{57200 - 6000}{6000} \cdot 100 = 4,6\%$$

Аналогично для стороны 35 кВ (рисунок 24) определим значение установившегося отклонения напряжения  $\delta U_y$ .

Верхний предел: 
$$\delta U_y = \frac{39019 - 35000}{35000} \cdot 100 = 11,4\%$$

Нижний предел: 
$$\delta U_y = \frac{37216 - 35000}{35000} \cdot 100 = 6,3\%$$

Нормально допустимые и предельно допустимые значения установившегося отклонения напряжения  $\delta U_y$  на выводах приемников электрической энергии равны соответственно  $\pm 5$  и  $\pm 10\%$  от номинального напряжения электрической сети по ГОСТ 721 и ГОСТ 21128 (номинальное напряжение).

Качество электрической энергии по установившемуся отклонению напряжения считают соответствующим требованиям ГОСТа 13109-97, если суммарная продолжительность времени выхода за нормально допустимые значения составляет не более 5% от установленного периода времени, т.е. 1 ч 12 мин, а за предельно допустимые значения - 0% от этого периода времени.

Из рисунков 20 и 24 видно, что качество электрической энергии не соответствует нормам установленным ГОСТом 13109-97.

Причинами несоответствий по установившемуся отклонению напряжения  $\delta U_y$  могут:

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
|            |             |                 |                |             |                                | 100         |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                |             |

- неверно выбранный коэффициент трансформации трансформатора 6–10/0,4 кВ или не проведенное своевременно сезонное переключение отпаяк этих трансформаторов;
- разнородность нагрузок линий 0,38 кВ и несовместимость требований потребителей к  $\delta U_y$  на шинах 0,4 кВ трансформаторов 6–10/0,4 кВ;
- значительная несимметрия фазных нагрузок в сетях 0,4 кВ;
- значительные потери напряжения в распределительной сети, превышающие предельные значения;
- отсутствие трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой (РПН) в центре питания (ЦП) распределительной сети;
- отсутствие автоматического регулятора напряжения (АРН) в ЦП или его неиспользование;
- некорректная работа АРН или неправильно выбранный закон регулирования напряжения в
- разнородность нагрузок распределительных линий 6–10 кВ и несовместимость требований потребителей всей распределительной сети к  $\delta U_y$  на шинах ЦП;
- ошибки в планировании диспетчерских графиков спроса и предложения в реактивной мощности;
- отсутствие договорных отношений или некорректно определенные договорные условия по допустимому диапазону  $\delta U_y$  в точке коммерческого контроля качества электроэнергии;
- неверно заданные уставки регулирующих устройств на генераторах, повышающих трансформаторах и автотрансформаторах связи, отсутствие или недостаточное использование специальных устройств в межсистемных линиях и питающих сетях энергосистем, регулирующих реактивную мощность (синхронных компенсаторов, батарей статических компенсаторов и шунтирующих реакторов), пониженная пропускная способность питающих сетей и др.;

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 101         |

- превышение потребителем разрешенной ему мощности или нарушение договорных условий с энергоснабжающей организацией по использованию специальных средств, регулирующих реактивную мощность (батарей статических конденсаторов, синхронных двигателей).

Произведем анализ несинусоидальности напряжения на подстанции «ЭЧЭ-Челябинск-Главная». Несинусоидальность напряжения характеризуется следующими показателями:

- коэффициентом искажения синусоидальности напряжения;
- коэффициентом n-ой гармонической составляющей напряжения

Проанализируем коэффициенты n-ой гармонической составляющей напряжения для этого сведем в таблицы 24, 25 коэффициенты гармоник изображенных на рисунках 21, 25 сравним их с допустимыми и предельнодопустимыми значениями, используя при этом ГОСТ 13109-97.

Таблица 24– Результаты испытаний электрической энергии по коэффициенту n-й гармонической составляющей напряжения на стороне 6 кВ

| n  | Результат измерений |                |                | Нормативные значения           |                                |
|----|---------------------|----------------|----------------|--------------------------------|--------------------------------|
|    | Фаза "А"            | Фаза "В"       | Фаза "С"       | Нормально допускаемые значения | Предельно допускаемые значения |
|    | $K_{U(n)}, \%$      | $K_{U(n)}, \%$ | $K_{U(n)}, \%$ | $K_{U(n) НД}, \%$              | $K_{U(n) ПД}, \%$              |
| 2  | 0,24                | 0,3            | 0,51           | 1,5                            | 2,25                           |
| 3  | 2,61                | 0,44           | 0,64           | 3                              | 4,5                            |
| 4  | 0,26                | 0,23           | 0,17           | 0,7                            | 1,05                           |
| 5  | 6,09                | 1,01           | 1,13           | 4                              | 6                              |
| 6  | 0,24                | 0,01           | 0,15           | 0,3                            | 0,45                           |
| 7  | 4,19                | 0,3            | 0,27           | 3                              | 4,5                            |
| 8  | 0,11                | 0,14           | 0,06           | 0,3                            | 0,45                           |
| 9  | 3,38                | 0,02           | 0,13           | 1                              | 1,5                            |
| 10 | 0,35                | 0,1            | 0,13           | 0,3                            | 0,45                           |
| 11 | 5,13                | 1,1            | 1,21           | 2                              | 3                              |
| 12 | 0,16                | 0,1            | 0,11           | 0,2                            | 0,3                            |
| 13 | 1,77                | 0,86           | 0,86           | 2                              | 3                              |
| 14 | 0,18                | 0,06           | 0,06           | 0,2                            | 0,3                            |
| 15 | 2,94                | 0,16           | 0,06           | 0,3                            | 4,5                            |

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                |             |

Продолжение таблицы 24

| n  | Результат измерений |                |                | Нормативные значения          |                               |
|----|---------------------|----------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|
|    | Фаза "А"            | Фаза "В"       | Фаза "С"       | Нормально допусаемые значения | Предельно допусаемые значения |
|    | $K_{U(n)}, \%$      | $K_{U(n)}, \%$ | $K_{U(n)}, \%$ | $K_{U(n)HD}, \%$              | $K_{U(n)PD}, \%$              |
| 16 | 0,11                | 0,1            | 0,04           | 0,2                           | 0,3                           |
| 17 | 0,99                | 0,12           | 0,21           | 1,5                           | 2,25                          |
| 18 | 0,25                | 0,12           | 0,1            | 0,2                           | 0,3                           |
| 19 | 1,25                | 0,34           | 0,09           | 1                             | 1,5                           |
| 20 | 0,27                | 0,1            | 0,09           | 0,2                           | 0,3                           |
| 21 | 1,51                | 0,08           | 0,08           | 0,2                           | 0,3                           |
| 22 | 0,03                | 0,08           | 0,09           | 0,2                           | 0,3                           |
| 23 | 0,69                | 0,2            | 0,24           | 1                             | 1,5                           |
| 24 | 0,11                | 0,11           | 0,06           | 0,2                           | 0,3                           |
| 25 | 0,35                | 0,25           | 0,31           | 1                             | 1,5                           |
| 26 | 0,13                | 0,04           | 0,08           | 0,2                           | 0,3                           |
| 27 | 0,23                | 0,19           | 0,18           | 0,2                           | 0,3                           |
| 28 | 0,24                | 0,11           | 0,02           | 0,2                           | 0,3                           |
| 29 | 0,67                | 0,12           | 0,11           | 0,9                           | 1,35                          |
| 30 | 0,13                | 0,05           | 0,11           | 0,2                           | 0,3                           |
| 31 | 0,31                | 0,12           | 0,14           | 0,85                          | 1,275                         |
| 32 | 0,34                | 0              | 0,04           | 0,2                           | 0,3                           |
| 33 | 0,31                | 0,12           | 0,14           | 0,2                           | 0,3                           |
| 34 | 0,13                | 0,05           | 0,11           | 0,2                           | 0,3                           |
| 35 | 0,67                | 0,12           | 0,11           | 0,8                           | 1,2                           |
| 36 | 0,24                | 0,11           | 0,02           | 0,2                           | 0,3                           |
| 37 | 0,23                | 0,11           | 0,18           | 0,75                          | 1,125                         |
| 38 | 0,13                | 0,19           | 0,08           | 0,2                           | 0,3                           |
| 39 | 0,35                | 0,04           | 0,31           | 0,2                           | 0,3                           |
| 40 | 0,11                | 0,25           | 0,06           | 0,2                           | 0,3                           |
| 41 | 0,69                | 0,11           | 0,24           | 0,7                           | 1,05                          |
| 42 | 0,03                | 0,2            | 0,09           | 0,2                           | 0,3                           |
| 43 | 1,51                | 0,08           | 0,08           | 0,65                          | 0,975                         |
| 44 | 0,27                | 0,1            | 0,09           | 0,2                           | 0,3                           |
| 45 | 1,25                | 0,34           | 0,09           | 0,2                           | 0,3                           |
| 46 | 0,25                | 0,12           | 0,1            | 0,2                           | 0,3                           |
| 47 | 0,99                | 0,12           | 0,21           | 0,6                           | 0,9                           |
| 48 | 0,11                | 0,1            | 0,04           | 0,2                           | 0,3                           |
| 49 | 2,94                | 0,16           | 0,06           | 0,2                           | 0,3                           |
| 50 | 0,18                | 0,06           | 0,06           | 0,2                           | 0,3                           |

13.03.02.2018.122.00.ПЗ

Лист

103

Изм Лист № Докум. Подпись Дата

Таблица 25– Результаты испытаний электрической энергии по коэффициенту n-й гармонической составляющей напряжения на стороне 35 кВ

| n  | Результат измерений |                |                | Нормативные значения            |                                |
|----|---------------------|----------------|----------------|---------------------------------|--------------------------------|
|    | Фаза "А"            | Фаза "В"       | Фаза "С"       | Нормально допускаяемые значения | Предельно допускаемые значения |
|    | $K_{U(n)}, \%$      | $K_{U(n)}, \%$ | $K_{U(n)}, \%$ | $K_{U(n) НД}, \%$               | $K_{U(n) ПД}, \%$              |
| 2  | 0,31                | 0,28           | 0,44           | 1,5                             | 2,25                           |
| 3  | 0,39                | 0,45           | 0,41           | 3                               | 4,5                            |
| 4  | 0,02                | 0,16           | 0,09           | 0,7                             | 1,05                           |
| 5  | 0,44                | 0,27           | 0,46           | 4                               | 6                              |
| 6  | 0,04                | 0,19           | 0,09           | 0,3                             | 0,45                           |
| 7  | 0,34                | 0,34           | 0,36           | 3                               | 4,5                            |
| 8  | 0,07                | 0,22           | 0,04           | 0,3                             | 0,45                           |
| 9  | 0,15                | 0,16           | 0,18           | 1                               | 1,5                            |
| 10 | 0,17                | 0,13           | 0,12           | 0,3                             | 0,45                           |
| 11 | 2,05                | 2,00           | 1,90           | 2                               | 3                              |
| 12 | 0,13                | 0,16           | 0,04           | 0,2                             | 0,3                            |
| 13 | 1,63                | 1,54           | 1,57           | 2                               | 3                              |
| 14 | 0,11                | 0,14           | 0,13           | 0,2                             | 0,3                            |
| 15 | 0,23                | 0,04           | 0,16           | 0,3                             | 4,5                            |
| 16 | 0,11                | 0,11           | 0,05           | 0,2                             | 0,3                            |
| 17 | 0,26                | 0,16           | 0,07           | 1,5                             | 2,25                           |
| 18 | 0,03                | 0,09           | 0,16           | 0,2                             | 0,3                            |
| 19 | 0,25                | 0,07           | 0,09           | 1                               | 1,5                            |
| 20 | 0,10                | 0,12           | 0,09           | 0,2                             | 0,3                            |
| 21 | 0,09                | 0,07           | 0,09           | 0,2                             | 0,3                            |
| 22 | 0,04                | 0,19           | 0,12           | 0,2                             | 0,3                            |
| 23 | 0,43                | 0,31           | 0,43           | 1                               | 1,5                            |
| 24 | 0,03                | 0,14           | 0,18           | 0,2                             | 0,3                            |
| 25 | 0,41                | 0,28           | 0,36           | 1                               | 1,5                            |
| 26 | 0,07                | 0,08           | 0,14           | 0,2                             | 0,3                            |
| 27 | 0,22                | 0,16           | 0,20           | 0,2                             | 0,3                            |
| 28 | 0,16                | 0,16           | 0,03           | 0,2                             | 0,3                            |
| 29 | 0,27                | 0,26           | 0,18           | 0,9                             | 1,35                           |
| 30 | 0,13                | 0,03           | 0,04           | 0,2                             | 0,3                            |
| 31 | 0,39                | 0,15           | 0,13           | 0,85                            | 1,275                          |
| 32 | 0,07                | 0,14           | 0,07           | 0,2                             | 0,3                            |
| 33 | 0,39                | 0,15           | 0,13           | 0,2                             | 0,3                            |
| 34 | 0,13                | 0,03           | 0,04           | 0,2                             | 0,3                            |
| 35 | 0,27                | 0,26           | 0,18           | 0,8                             | 1,2                            |

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                |             |

Продолжение таблицы 25

| n  | Результат измерений |                |                | Нормативные значения          |                               |
|----|---------------------|----------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|
|    | Фаза "А"            | Фаза "В"       | Фаза "С"       | Нормально допусаемые значения | Предельно допусаемые значения |
|    | $K_{U(n)}, \%$      | $K_{U(n)}, \%$ | $K_{U(n)}, \%$ | $K_{U(n)HD}, \%$              | $K_{U(n)PD}, \%$              |
| 36 | 0,16                | 0,16           | 0,03           | 0,2                           | 0,3                           |
| 37 | 0,22                | 0,16           | 0,20           | 0,75                          | 1,125                         |
| 38 | 0,07                | 0,08           | 0,14           | 0,2                           | 0,3                           |
| 39 | 0,41                | 0,28           | 0,36           | 0,2                           | 0,3                           |
| 40 | 0,03                | 0,14           | 0,18           | 0,2                           | 0,3                           |
| 41 | 0,43                | 0,31           | 0,43           | 0,7                           | 1,05                          |
| 42 | 0,04                | 0,19           | 0,12           | 0,2                           | 0,3                           |
| 43 | 0,09                | 0,07           | 0,09           | 0,65                          | 0,975                         |
| 44 | 0,10                | 0,12           | 0,09           | 0,2                           | 0,3                           |
| 45 | 0,25                | 0,07           | 0,09           | 0,2                           | 0,3                           |
| 46 | 0,03                | 0,09           | 0,16           | 0,2                           | 0,3                           |
| 47 | 0,26                | 0,16           | 0,07           | 0,6                           | 0,9                           |
| 48 | 0,11                | 0,11           | 0,05           | 0,2                           | 0,3                           |
| 49 | 0,23                | 0,04           | 0,16           | 0,2                           | 0,3                           |
| 50 | 0,11                | 0,14           | 0,13           | 0,2                           | 0,3                           |

Анализ качества электроэнергии показывает, что в таблице 24: 9, 11, 15, 21, 43, 45, 47, 49 гармоники и соответственно в таблице 25: 39, 33 не соответствуют требованиям ГОСТ-13109-97.

Произведем анализ коэффициента искажения синусоидальности напряжения. Нормально допустимые и предельно допустимые значения коэффициента искажения синусоидальности напряжения в точках общего присоединения к электрическим сетям с разным номинальным напряжением приведены в таблице 26.

Таблица 26– Значения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения, в процентах

| Нормально допустимое значение при $U_{НОМ}, \text{кВ}$ |      |    |           | Предельно допустимое значение при $U_{НОМ}, \text{кВ}$ |      |    |           |
|--|------|----|-----------|--|------|----|-----------|
| 0,38   | 6-20 | 35 | 110 - 330 | 0,38   | 6-20 | 35 | 110 – 330 |

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                |             |

|     |     |     |     |      |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| 8,0 | 5,0 | 4,0 | 2,0 | 12,0 | 8,0 | 6,0 | 3,0 |
|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|

Рисунок 22 показывает, что максимальный коэффициент несинусоидальности составляет 11,4%, что не соответствует требованиям ГОСТ 13109-97. На рисунке 26 максимальный коэффициент несинусоидальности составляет 3%, что удовлетворяет нормам качества электроэнергии.

Источником несинусоидальности напряжения в электрических сетях является электрооборудование и электроприемники с нелинейной вольт(вебер)-амперной характеристикой, к которым относят:

- преобразовательные установки различных видов (выпрямители, инверторы, частотные преобразователи, регуляторы напряжения, электроподвижной состав переменного и постоянного тока и т.д.);
- аппараты с электрической дугой или аппараты, использующие электрический разряд (дуговые печи, сварочные установки, люминесцентное освещение и т.д.);
- установки с магнитными цепями, работающими в режиме насыщения (трансформаторы, дроссели с сердечником и т.д.);
- вращающиеся машины (генераторы, двигатели).

В нашем случае одним из источников несинусоидальности напряжения является диодный выпрямитель типа ТПЕД-3150-3,3К-У1.

### **Трансформаторы**

Гармоники тока и напряжения приводят к повышению температуры трансформатора по сравнению с чисто синусоидальным током и напряжением. Дополнительные потери из-за гармоник повышаются пропорционально квадрату тока и частоты, приводя к уменьшению полезной нагрузки трансформатора.

### **Провода**

Несинусоидальные токи в проводниках приводят к большему его нагреванию, чем ожидаемое из расчета его среднеквадратичного значения. Это дополнительное нагревание вызвано двумя явлениями известных как скин-эффект и эффект сближения, они оба зависят от частоты, формы проводника, а также расстояния

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 106         |

между ними. Эти два эффекта приводят к увеличению активного сопротивления и в конечном итоге к увеличению активных потерь.

### **Двигатели и генераторы**

Гармонические токи и напряжения приводят к повышенному нагреву асинхронных и синхронных машин, повышенным потерям в меди и стали на частотах гармоник. Эти дополнительные потери уменьшают производительность механизма и могут также отразиться на величине вращающего момента. Пульсация вращающего момента может повлиять на качество изделия в тех случаях, когда приводимые механизмы чувствительны к подобным колебаниям.

Также в случае вращающихся машин, гармоники могут увеличить слышимый шум по сравнению с синусоидальным намагничиванием.

### **Электронное оборудование**

Силовое электронное оборудование чувствительно к гармоническому искажению питающего напряжения.

Компьютеры и некоторый другой вид электронного оборудования, подобно программируемым контроллерам, требуют обычно, чтобы полное гармоническое искажение питающего напряжения (THD) было меньше чем 5 %, и один индивидуальный гармонический компонент - меньше чем 3 % от основного напряжения. Более высокие значения искажения могут привести к неправильной работе системы управления.

### **Коммутационное оборудование и релейная защита**

Повышенное содержание в токе гармоник увеличивают дополнительные потери в коммутационном оборудовании, что, в свою очередь приводит к увеличенному нагреву и снижению полезной пропускной способности. Увеличенная температура некоторых изоляционных компонентов приводит к сокращению их срока службы.

### **Силовые конденсаторы для компенсации реактивной мощности**

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
|            |             |                 |                |             |                                | 107         |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                |             |

Главной проблемой при использовании конденсаторов в силовых сетях, содержащих гармоники, является возможность резонанса схемы, что приводит к возникновению гармоник тока и напряжения, значительно превышающих те, которые имели бы место при отсутствии резонанса

Для снижения и удаления из сети высших гармоник используется следующее оборудование:

### **Блокирующие реакторы**

Блокирующие реакторы разработаны для коррекции коэффициента мощности в системах, где генерируются гармоники.

В состав каждой из ступеней блокирующего реактора входит конденсатор и дроссель, соединенные последовательно. Оба эти элемента образуют последовательный резонансный контур, настроенный на частоту более низкую, чем самая низкая частота гармоник, присутствующей в системе. Обычно - это 5-я гармоника (250 Гц).

Ниже частоты настройки резонансного контура, например, на основной частоте (50 Гц), блокирующий реактор является емкостным, генерирующим реактивную мощность. Выше частоты настройки блокирующий реактор является индуктивным, и это означает, что он не может усиливать ни одну из общих гармоник, в том числе 5-ю, 7-ю и 11-ю. Блокирующий реактор, кроме того, до некоторой степени удаляет из системы гармоники более низкого порядка.

Как и в обычных конденсаторных установках ступени включаются и выключаются регулятором коэффициента мощности в соответствии с требованиями по реактивной мощности.

### **Реакторы-фильтры подавления гармоник**

Реакторы фильтра совместно с конденсаторными батареями образуют последовательно настроенные фильтры гармоник; или, совместно с конденсаторными батареями и резисторами, образуют широкополосные фильтры гармоник. В специ-

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 108         |

фикации реакторов фильтра необходимо указывать основную частоту и частоту гармоники. Если для точной настройки требуется регулировка индуктивности, нужно также указать диапазон регулирования ответвлений трансформатора и допуски.

### Силовые фильтры высших гармоник

Предназначены для снижения искажений кривой питающего напряжения и тока частотой 50 Гц, а также для компенсации реактивной мощности сети.

Таблица 27

| Типономинал                 | Габаритные размеры,<br>мм<br>max/min, L x B x H | Масса,<br>кг<br>max/min | Цена<br>мелк.опт.,<br>руб. |
|-----------------------------|---|-------------------------|----------------------------|
| Ф3 (5, 7, 11, 13)-6-1200 У3 | 7900 x 2400 x 2300                              | 2150                    | 1210680                    |
|                             | 6500 x 1500 x 2320                              | 1350                    |                            |
| Ф3 (5, 7, 11, 13)-6-2400 У3 | 7900 x 2400 x 2300                              | 2350                    | 1546980                    |
|                             | 6600 x 2000 x 2300                              | 1700                    |                            |
| Ф5 (7, 11, 13)-6-3600 У3    | 8000 x 2400 x 2500                              | 2400                    | 1846290                    |
|                             | 6600 x 2000 x 2500                              | 2000                    |                            |
| Ф5 (7, 11, 13)-6-4800 У3    | 7900 x 2400 x 2800                              | 2850                    | 2145590                    |
|                             | 6600 x 2000 x 2500                              | 2350                    |                            |

В обозначении фильтра:

первая цифра - номер гармоники,

вторая цифра - номинальное напряжение в киловольтах,

третья - номинальная мощность в кВАрах.

### Фильтры высших гармоник

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 109         |



## Назначение

НПП "Промэлектроавтоматика" выполняет работы по проектированию разработке и изготовлению фильтров высших гармоник предназначенных для снижения коэффициента несинусоидальности и компенсации реактивной мощности на промышленных предприятиях и в электрических сетях.

Рисунок 30

## Характеристики

Фильтры гармоник состоят из конденсаторов, включенных последовательно с индуктивностью. Индуктивность выбирается такой величины, чтобы фильтр представлял собой низкоимпедансный последовательный резонансный контур на частоте N-ой-гармоники. Таким образом обеспечивается прохождение основной части N-ой-гармонической составляющей тока через фильтр. Дополнительно фильтр генерирует реактивную мощность на основной частоте (50 Гц).

## Эффективность

Фильтры гармоник проектируются индивидуально для каждого отдельного случая J4X -применения. Это гарантирует возможность достижения наивысших параметров по коррекции коэффициента мощности и фильтрации высших гармоник.

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 110         |

#### 4 Релейная защита и автоматика подстанции

Согласно ПУЭ /п.3.2.2/ электроустановки должны быть оборудованы устройствами релейной защиты, предназначенными для:

- автоматического отключения поврежденного элемента от остальной, неповрежденной части электрической системы с помощью выключателей; если повреждение непосредственно не нарушает работу электрической системы, допускается действие релейной защиты только на сигнал;

- реагирования на опасные, ненормальные режимы работы элементов электрической системы ( например, перегрузку, повышение напряжения в обмотке статора гидрогенератора); в зависимости от режима работы и условий эксплуатации электроустановки релейная защита должна быть выполнена с действием на сигнал или на отключение тех элементов, оставление которых в работе может привести к возникновению повреждения.

Устройства релейной защиты /ПУЭ, п. 3.2.4/ должны обеспечить наименьшее возможное время отключения КЗ в целях сохранения бесперебойной работы неповрежденной части системы (устойчивая работа электрической системы и электроустановок потребителей, обеспечение возможности восстановления нормальной работы путем успешного действия АПВ и АВР, самозапуска электродвигателей втягивание в синхронизм и пр.) и ограничения области и степени повреждения элемента.

Надежность функционирования релейной защиты /ПУЭ, п.3.2.7/ (срабатывание при появлении условий на срабатывание и несрабатывание при их отсутствии) должна быть обеспечена применением устройств, которые по своим параметрам и исполнению соответствуют назначению, а также надлежащим обслуживанием этих устройств. При необходимости следует использовать специальные меры повышения надежности функционирования, в частности схемное резервирование, непрерывный или периодический контроль состояния и др. Должна также учитываться

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 111         |

вероятность ошибочных действий обслуживающего персонала при выполнении необходимых операций с релейной защитой.

#### 4.1 Защита трансформаторов

Для трансформаторов с обмоткой высшего напряжения 110 кВ предусмотрены устройства релейной защиты от следующих видов повреждений и ненормальных режимов работы:

- 1) многофазных замыканий в обмотках и на выводах;
- 2) однофазных замыканий на землю в обмотке и на выводах, присоединенных к сети с глухозаземленной нейтралью;
- 3) витковых замыканий в обмотках;
- 4) токов в обмотках, обусловленных внешними КЗ;
- 5) токов в обмотках, обусловленных перегрузкой;
- 6) понижения уровня масла;
- 7) однофазных замыканий на землю в сетях 10 кВ с изолированной нейтралью, если трансформатор питает сеть, в которой отключение однофазных замыканий на землю необходимо по требованиям безопасности.

Защита от повреждений внутри кожуха трансформатора, сопровождающихся выделением газа, может быть выполнена с использованием реле давления.

Защита от понижения уровня масла может быть выполнена также в виде отдельного реле уровня в расширителе трансформатора.

Для защиты от повреждений на выводах, а также от внутренних повреждений предусмотрены:

1. Продольная дифференциальная токовая защита без выдержки времени.
2. Токовая отсечка без выдержки времени, устанавливаемая со стороны питания и охватывающая часть обмотки трансформатора, если не предусмотрена дифференциальная защита.

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 112         |

На дифференциальную и газовую защиты трансформаторов не должны возлагаться функции датчиков пуска установки пожаротушения. Пуск схемы пожаротушения указанных элементов должен осуществляться от специального устройства обнаружения пожара.

На трансформаторах мощностью 1 МВА и более в качестве защиты от токов в обмотках, обусловленных внешними многофазными КЗ, предусмотрена максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения или без него. При выборе тока срабатывания максимальной токовой защиты необходимо учитывать возможные токи перегрузки при отключении параллельно работающих трансформаторов и ток самозапуска электродвигателей, питающихся от трансформаторов.

Защиту от токов, обусловленных внешними многофазными КЗ, следует устанавливать:

- на понижающем двухобмоточном трансформаторе, питающем отдельно работающие секции, - со стороны питания и со стороны каждой секции.

#### 4.2 Защита воздушных линий

Согласно ПУЭ /п.3.2.106/ для линий в сетях 110-500 кВ с эффективно заземленной нейтралью предусмотрены устройства релейной защиты от многофазных замыканий и от замыканий на землю.

Защиты /ПУЭ п.3.2.107/ должны быть оборудованы устройствами, блокирующими их действие при качании, если в сети возможны качания или асинхронный ход, при которых вероятны излишние срабатывания защиты. Допускается выполнение защиты без блокирующих устройств, если она отстроена от качаний по времени (около 1,5-2 с).

Для линий напряжением 110-220 кВ /ПУЭ п.3.2.108/ при выборе типа защит, кроме требования сохранения устойчивости работы энергосистемы должно быть учтено, что повреждения, отключение которых с выдержкой времени может приве-

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 113         |

сти к нарушению работы ответственных потребителей, должны отключиться без выдержки времени (например, повреждения, при которых остаточное напряжение на шинах электростанции и подстанций будет ниже  $0,6U_{ном}$ , если отключение их с выдержкой времени может привести к саморазгрузке вследствие лавины напряжения, или повреждения с остаточным напряжением  $0,6U_{ном}$  и более, если отключение их с выдержкой времени может привести к нарушению технологии).

При необходимости осуществления быстродействующего АПВ на линии должна быть установлена быстродействующая защита, обеспечивающая отключение поврежденной линии без выдержки времени с обеих сторон.

На одиночных линиях с односторонним питанием от многофазных замыканий следует устанавливать ступенчатые токовые защиты или ступенчатые защиты тока и напряжения /ПУЭ п.3.2.110/. Если такие защиты не удовлетворяют требованиям чувствительности или скорости отключения повреждения, например, на головных участках или если это целесообразно по условию согласования защит смежных участков с защитой рассматриваемого участка, должна быть предусмотрена ступенчатая дистанционная защита. В последнем случае в качестве дополнительной защиты рекомендуется использовать токовую отсечку без выдержки времени.

От замыканий на землю должна быть предусмотрена как правило, ступенчатая токовая направленная или ненаправленная защита нулевой последовательности. Защита должна быть установлена, как правило, только с тех сторон, откуда может быть подано питание.

Согласно ПУЭ /п.3.2.111/ на одиночных линиях, имеющих питание с двух или более сторон (последнее на линиях с ответвлениями), как при наличии, так и при отсутствии обходных связей, а также на линиях, входящих в кольцевую сеть с одной точки питания, от многофазных замыканий должна быть применена дистанционная защита (преимущественно трехступенчатая), используемая в качестве резервной или основной (последнее только на линиях 110-220 кВ).

|             |             |                 |                |             |                                |             |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|             |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
|             |             |                 |                |             |                                | 114         |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                |             |

В качестве дополнительной защиты рекомендуется использовать токовую отсечку без выдержки времени.

От замыканий на землю должна быть предусмотрена, как правило, ступенчатая токовая направленная или ненаправленная защита нулевой последовательности.

Согласно ПУЭ /п.3.2.113/ на параллельных линиях, имеющих питание с двух или более сторон, а также на питающем конце параллельных линий с односторонним питанием могут быть использованы те же защиты, что и на соответствующих одиночных линиях.

Если защита по 3.2.111-3.2.113 не удовлетворяет требованию быстродействия, в качестве основных защит одиночных и параллельных линий с двусторонним питанием следует предусматривать высокочастотные и продольные и продольные дифференциальные защиты /ПУЭ, п.3.2.115/. Для линий 110-220 кВ рекомендуется осуществлять основную защиту с использованием высокочастотной блокировки дистанционной или токовой направленной последовательности защит, когда это целесообразно по условиям чувствительности (например, на линиях с ответвлениями) образно по условиям чувствительности (например, на линиях с ответвлениями) или упрощения защиты.

Согласно ПУЭ /п.3.2.116/ при выполнении основной защиты по 3.2.115 в качестве резервных защит следует применять:

- от многофазных КЗ, как правило, дистанционные защиты, преимущественно трехступенчатые;
- от замыканий на землю ступенчатые токовые направленные или ненаправленные защиты нулевой последовательности.

На случай длительного выведения из действия основной защиты, указанной в 3.2.115, когда эта защита установлена по требованию быстроты отключения повреждения, допускается предусматривать неселективное ускорение резервной защиты от замыканий между фазами (например, с контролем значения напряжения прямой последовательности).

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 115         |

#### 4.3 Защита шин, защита на обходном, шиносоединительном и секционном выключателях

Согласно ПУЭ /п.3.2.119/ для сборных шин 110 кВ и выше электростанций и подстанций отдельные устройства релейной защиты должны быть предусмотрены:

- 1) для двух систем шин (двойная система шин, полуторная схема и др.) и одиночной секционированной системы шин;
- 2) для одиночной не секционированной системы шин, если отключение повреждений на шинах действием защит присоединенных элементов недопустимо по условиям, которые аналогичны приведенным в 3.2.108, или если на линиях, питающих рассматриваемые шины, имеются ответвления.

В качестве защиты сборных шин электростанций и подстанций 35 кВ и выше /ПУЭ, п.3.2.121/ следует предусматривать, как правило, дифференциальную токовую защиту без выдержки времени, охватывающую все элементы, которые присоединены к системе или секции шин. Защита должна осуществляться с применением специальных реле тока, отстроенных от переходных и установившихся токов небаланса (например, реле, включенных через насыщающиеся трансформаторы тока, реле с торможением).

Согласно ПУЭ /п.3.2.123/ дифференциальная защита, указанная в 3.2.121, должна быть выполнена с устройством контроля исправности вторичных цепей задействованных трансформаторов тока, действующим с выдержкой времени на вывод защиты из работы и на сигнал.

Защиту шин следует выполнять так, чтобы при опробовании поврежденной системы или секции шин обеспечивалось селективное отключение системы (секции) без выдержки времени.

Согласно ПУЭ /п.3.2.129/ на обходном выключателе 110 кВ и выше при наличии шиносоединительного (секционного) выключателя должны быть преду-

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 116         |

смотрены защиты (используемые при проверке и ремонте защиты, выключателя и трансформаторов тока любого из элементов, присоединенных к шинам):

- трехступенчатая дистанционная защита и токовая отсечка от многофазных КЗ;
- четырехступенчатая токовая направленная защита нулевой последовательности от замыкания на землю.

Допускается установка более сложных защит на шиносоединительном (секционном) выключателе, если требуется для повышения эффективности дальнего резервирования.

Рекомендуется предусматривать переход основных быстродействующих защит линий 110 кВ и выше на обходной выключатель.

## 5 Безопасность жизнедеятельности

### 5.1 Порядок и условия производства работ

Работы в действующих электроустановках должны проводиться по наряду-допуску (далее - наряду), форма которого и указания по его заполнению приведены в п. 6.7./13/

Не допускается самовольное проведение работ, а также расширение рабочих мест и объема задания, определенных нарядом или распоряжением./13/

Выполнение работ в зоне действия другого наряда должно согласовываться с работником, ведущим работы по ранее выданному наряду (ответственным руководителем работ) или выдавшим наряд на работы в зоне действия другого наряда.

Согласование оформляется до начала выполнения работ записью «Согласовано» на лицевой стороне наряда и подписью работника, согласующего документ.

Не допускается работать в одежде с короткими или засученными рукавами, а также использовать ножовки, напильники, металлические метры и т.п.

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 117         |

Не допускается при работе около неогражденных токоведущих частей располагаться так, чтобы эти части находились сзади работника или с двух боковых сторон.

Не допускаются работы в неосвещенных местах. Освещенность участков работ, рабочих мест, проездов и подходов к ним должна быть равномерной, без слепящего действия осветительных устройств на работающих./13/

## 5.2 Общие требования. Ответственные за безопасность проведения работ, их права и обязанности

Организационными мероприятиями, обеспечивающими безопасность работ в электроустановках, являются /13/:

- оформление работ нарядом, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- допуск к работе;
- оформление перерыва в работе, перевода на другое место, окончания работы.

Ответственными за безопасное ведение работ являются /13/:

- выдающий наряд, отдающий распоряжение, утверждающий перечень работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- ответственный руководитель работ;
- выдающий разрешение на подготовку рабочего места ;
- допускающий;
- производитель работ;
- наблюдающий;
- член бригады.

Выдающий наряд, отдающий распоряжение определяет необходимость и возможность безопасного выполнения работы. Он отвечает за достаточность и пра-

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 118         |

тельность указанных в наряде (распоряжении) мер безопасности, за качественный и количественный состав бригады и назначение ответственных за безопасность, а также за соответствие выполняемой работе групп перечисленных в наряде работников.

Право выдачи нарядов и распоряжений предоставляется работникам из числа административно-технического персонала организации, имеющим группу V - в электроустановках напряжением выше 1000 В /13/.

В случае отсутствия работников, имеющих право выдачи нарядов и распоряжений, при работах по предотвращению аварий или ликвидации их последствий допускается выдача нарядов и распоряжений работниками из числа оперативного персонала, имеющими группу IV. Предоставление оперативному персоналу права выдачи нарядов должно быть оформлено письменным указанием руководителя организации.

Ответственный руководитель работ назначается, как правило, при работах в электроустановках напряжением выше 1000 В /13/.

Ответственный руководитель работ отвечает за выполнение всех указанных в наряде мер безопасности и их достаточность, за принимаемые им дополнительные меры безопасности, за полноту и качество целевого инструктажа бригады, в том числе проводимого допускающим и производителем работ, а также за организацию безопасного ведения работ.

Ответственными руководителями работ назначаются работники из числа административно-технического персонала, имеющие группу V. В тех случаях, когда отдельные работы (этапы работы) необходимо выполнять под надзором и управлением ответственного руководителя работ, выдающий наряд должен сделать запись об этом в строке «Отдельные указания» наряда (п. 6.7) /13/.

Необходимость назначения ответственного руководителя работ определяет выдающий наряд, которому разрешается назначать ответственного руководителя работ и при других работах помимо перечисленных.

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 119         |

Допускающий отвечает за правильность и достаточность принятых мер безопасности и соответствие их мерам, указанным в наряде, характеру и месту работы, за правильный допуск к работе, а также за полноту и качество проводимого им инструктажа членов бригады.

Допускающим может быть работник, допущенный к оперативным переключениям распоряжением руководителя организации.

Производитель работ отвечает /13/:

- за соответствие подготовленного рабочего места указаниям наряда, дополнительные меры безопасности, необходимые по условиям выполнения работ;
  - за четкость и полноту инструктажа членов бригады;
  - за наличие, исправность и правильное применение необходимых средств защиты, инструмента, инвентаря и приспособлений;
  - за сохранность на рабочем месте ограждений, плакатов, заземлений, запирающих устройств;
  - за безопасное проведение работы и соблюдение настоящих Правил им самим и членами бригады;
- за осуществление постоянного контроля за членами бригады.

### 5.3 Средства измерений и приборы учета электроэнергии, вторичные цепи

Все средства измерений и учета электрической энергии, а также информационно-измерительные системы должны быть в исправном состоянии и готовыми к работе. На время ремонта средств измерений или учета при работающем технологическом энергооборудовании вместо них должны быть установлены резервные средства. До ввода в промышленную эксплуатацию основного оборудования потребителя информационно-измерительные системы должны

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 120         |

быть метрологически аттестованы, а в процессе эксплуатации они должны подвергаться периодической поверке. На средства измерений и учета электрической энергии составляются паспорта (или журналы), в которых делаются отметки обо всех ремонтах, калибровках и поверках.

Периодичность и объем поверки расчетных счетчиков должны соответствовать требованиям действующих нормативно-технических документов /14/.

Положительные результаты поверки счетчика удостоверяются поверительным клеймом или свидетельством о поверке.

Периодичность и объем калибровки расчетных счетчиков устанавливаются местной инструкцией.

Наблюдение за работой средств измерений и учета электрической энергии, в том числе регистрирующих приборов и приборов с автоматическим ускорением записи в аварийных режимах, на электрических подстанциях (в распределительных устройствах) должен вести оперативный или оперативно-ремонтный персонал подразделений, определенный решением ответственного за электрохозяйство потребителя /14/.

Ответственность за сохранность и чистоту внешних элементов средств измерений и учета электрической энергии несет персонал, обслуживающий оборудование, на котором они установлены. Обо всех нарушениях в работе средств измерений и учета электрической энергии персонал должен незамедлительно сообщать подразделению, выполняющему функции метрологической службы потребителя. Вскрытие средств электрических измерений, не связанное с работами по обеспечению нормальной записи регистрирующими приборами, разрешается только персоналу подразделения, выполняющего функции метрологической службы потребителя, а средств измерений для расчета с поставщиками или потребителями - персоналу подразделения совместно с их представителями.

Замену и поверку расчетных счетчиков, по которым производится расчет между энергоснабжающими организациями и Потребителями, осуществляет

|             |             |                 |                |             |                                |             |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|             |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
|             |             |                 |                |             |                                | 121         |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                |             |

собственник приборов учета по согласованию с энергоснабжающей организацией. При этом время безучетного потребления электроэнергии и средняя потребляемая мощность должны фиксироваться двусторонним актом.

Обо всех дефектах или случаях отказов в работе расчетных счетчиков электрической энергии потребитель обязан немедленно поставить в известность энергоснабжающую организацию.

Персонал энергообъекта несет ответственность за сохранность расчетного счетчика, его пломб и за соответствие цепей учета электроэнергии установленным требованиям.

Нарушение пломбы на расчетном счетчике, если это не вызвано действием непреодолимой силы, лишает законной силы учет электроэнергии, осуществляемый данным расчетным счетчиком /14/.

Энергоснабжающая организация должна пломбировать /14/:

- клеммники трансформаторов тока;
- крышки переходных коробок, где имеются цепи к электросчетчикам;
- токовые цепи расчетных счетчиков в случаях, когда к трансформаторам тока совместно со счетчиками присоединены электроизмерительные приборы и устройства защиты;
- испытательные коробки с зажимами для шунтирования вторичных обмоток трансформаторов тока и места соединения цепей напряжения при отключении расчетных счетчиков для их замены или поверки;
- решетки и дверцы камер, где установлены трансформаторы тока;
- решетки или дверцы камер, где установлены предохранители на стороне высокого и низкого напряжения трансформаторов напряжения, к которым присоединены расчетные счетчики;
- приспособления на рукоятках приводов разъединителей трансформаторов напряжения, к которым присоединены расчетные счетчики.

Во вторичных цепях трансформаторов напряжения, к которым подсоединены расчетные счетчики, установка предохранителей без контроля

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 122         |

за их целостностью с действием на сигнал не допускается.

Поверенные расчетные счетчики должны иметь на креплении кожухов пломбы организации, производившей поверку, а на крышке колодки зажимов счетчика пломбу энергоснабжающей организации.

Для защиты от несанкционированного доступа электроизмерительных приборов, коммутационных аппаратов и разъемных соединений электрических цепей в цепях учета должно производиться их маркирование специальными знаками визуального контроля в соответствии с установленными требованиями

Переносные и передвижные электроприемники, вспомогательное оборудование к ним, в том числе иностранного производства, подлежащие обязательной сертификации, должны иметь российские сертификаты соответствия /14/.

Применять переносные и передвижные электроприемники допускается только в соответствии с их назначением, указанным в паспорте. Каждый переносной, передвижной электроприемник, элементы вспомогательного оборудования к ним должны иметь инвентарные номера. К работе с использованием переносного или передвижного электроприемника, требующего наличия у персонала групп по электробезопасности, допускаются работники, прошедшие инструктаж по охране труда и имеющие группу по электробезопасности.

Подключение (отключение) к (от) электрической сети переносных и передвижных электроприемников при помощи втычных соединителей или штепсельных соединений, удовлетворяющих требованиям электробезопасности, разрешается выполнять персоналу, допущенному к работе с ними.

Присоединение переносных, передвижных электроприемников, вспомогательного оборудования к ним к электрической сети с помощью разборных контактных соединений и отсоединение его от сети должен выполнять электротехнический персонал, имеющий группу III, эксплуатирующий эту электрическую сеть.

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 123         |

Для поддержания исправного состояния, проведения периодических проверок переносных и передвижных электроприемников, вспомогательного оборудования к ним распоряжением руководителя потребителя должен быть назначен ответственный работник или работники, имеющие группу III. Данные работники обязаны вести журнал регистрации инвентарного учета, периодической проверки и ремонта переносных и передвижных электроприемников, вспомогательного оборудования к ним /14/.

Для обеспечения безопасности работ, проводимых в цепях измерительных приборов, устройств релейной защиты и электроавтоматики, вторичные цепи (обмотки) измерительных трансформаторов тока и напряжения должны иметь постоянные заземления. В сложных схемах релейной защиты для группы электрически соединенных вторичных обмоток измерительных трансформаторов допускается выполнять заземление только в одной точке.

При необходимости разрыва токовой цепи измерительных приборов, устройств релейной защиты, электроавтоматики цепь вторичной обмотки трансформатора тока предварительно закорачивается на специально предназначенных для этого зажимах или с помощью испытательных блоков.

Во вторичной цепи между трансформаторами тока и установленной закороткой запрещается производить работы, которые могут привести к размыканию цепи.

При работах во вторичных устройствах и цепях трансформаторов напряжения с подачей напряжения от постороннего источника должны быть приняты меры, исключающие возможность обратной трансформации.

Производителю работ, имеющему группу IV, из числа персонала, обслуживающего устройства релейной защиты, электроавтоматики и т.д., разрешается совмещать обязанности допускающего. При этом он определяет меры безопасности, необходимые для подготовки рабочего места. Подобное совмещение разрешается, если для подготовки рабочего места не требуется выполнения отключений, зазем-

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
|            |             |                 |                |             |                                | 124         |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                |             |

ления, установки временных ограждений в части электроустановки напряжением выше 1000 В.

Производителю работ, имеющему группу IV, а также членам бригады, имеющим группу III, разрешается работать отдельно от других членов бригады во вторичных цепях и устройствах релейной защиты, электроавтоматики и т.п., если эти цепи и устройства расположены в РУ и помещениях, где токоведущие части напряжением выше 1000 В отсутствуют, полностью ограждены или расположены на высоте не требующей ограждения.

Персонал энергоснабжающих организаций работы с приборами учета потребителя проводит на правах командированного персонала. Эти работы проводятся бригадой в составе не менее двух работников.

В помещениях РУ записывать показания электросчетчиков допускается работнику энергоснабжающей организации, имеющему группу III, в присутствии представителя потребителя.

Работы с приборами учета электроэнергии должны проводиться со снятием напряжения. В цепях электросчетчиков, подключенных к измерительным трансформаторам, при наличии испытательных коробок следует снимать напряжение со схемы электросчетчика в указанных коробках.

Работу с однофазными электросчетчиками оперативный персонал энергоснабжающих организаций, имеющий группу III, может проводить единолично при снятом напряжении по утвержденному перечню работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации. При отсутствии коммутационного аппарата до электросчетчика в деревянных домах, в помещениях без повышенной опасности эту работу допускается проводить без снятия напряжения при снятой нагрузке.

При выполнении работ, за работниками должен быть закреплен приказом или распоряжением руководства энергоснабжающей организации территориальный участок (район, квартал, округ и т.п.). В бланках заданий оперативный персонал должен отмечать выполнение технических мероприятий, обеспечивающих безопасность работ в электроустановках.

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 125         |

В энергоснабжающих организациях для проведения работ с приборами учета должны быть составлены инструкции или технологические карты по каждому виду работ.

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 126         |

## Заключение

Предварительные экспериментальные исследования на тяговой подстанции «Челябинск-Главная» показали, что показатели качества электрической энергии в сетях 35 и 6 кВ выходят за пределы, установленные ГОСТ-13109-97.

По результатам комплексного исследования на тяговых подстанциях можно сделать заключение о необходимости установки фильтро-компенсирующих устройств на шинах 35 и 6 кВ, а также определить их параметры и типы. Установка этих устройств должны нормализовать показатели качества электрической энергии и снизить поток реактивной мощности, что дает существенный экономический эффект.

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 127         |

## Литература

1. Идельчик В. И. Электрические системы и сети. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
2. Правила устройства электроустановок – М.: Энергоатомиздат, 2004. –727 с.
3. Справочник по проектированию электроэнергетических систем. /Под ред. С. С. Рокотяна – М.: Энергоатомиздат, 1985.–352 с.
4. Рожкова Л. Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат., 1987. – 648 с.
5. Неклепаев Б. Н., Крючков И. П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. Пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.: ил.
6. Лыкин А.В.Электрические системы и сети: Учебное пособие для вузов. – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2003. – 248 с.
7. ГОСТ 13109-97 /Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения/. – Минск: 1998.
8. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: Контроль качества электрической энергии: РД 153-34.0-15.501-00. - М.:2000- Ч.1.– 38 с.
9. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: Анализ качества электрической энергии: РД 153-34.0-15.502-00. - М.:2002-Ч.2. – 33 с.
10. Курбацкий В.Г. Качество электроэнергии и электромагнитная совместимость технических средств в электрических сетях: Учебное пособие. – Братск: БрГТУ, 1999. – 220с.

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                | 128         |

11. Руководящие указания по релейной защите. Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110 – 500 кВ. Сост. Файзулова Б. Г. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 134 с.

12. Садовников А.Н. Релейная защита: Конспект лекций.- Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2000 - Ч.1.–102 с.

13. Межотраслевые правила по охране труда (Правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. – М.: Госэнергонадзор, 2001.- 93 с.

14. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – Екатеринбург: Уралюриздат, 2003. – 304 с.

15. Загородский Я. Т., Курбангалиев У. К. Сборник нормативных и методических документов по измерениям, техническому и коммерческому учету электрической энергии и мощности. – М.: Издательство НЦ ЭНАС. 1999. – 344 с.

16. Техническая информация по научно- исследовательской работе №305 «Повышения достоверности учета и снижения потерь электроэнергии в распределительных сетях Челябинского железнодорожного узла». – Омск: 20002. – 85 с.

17. Стандарт предприятия. Курсовые и дипломные проекты. Общие требования к оформлению. – Челябинск: ЮУрГУ, 2001.

|            |             |                 |                |             |                                |             |
|------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|            |             |                 |                |             | <i>13.03.02.2018.122.00.ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
|            |             |                 |                |             |                                | 129         |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                |             |