

*Юдин Александр Андреевич,
студент 2 курса магистратуры кафедры «Электрические станции»,
профиль «Релейная защита, автоматизация и управление режимами
электроэнергетических систем», ФГБОУ ВО «Самарский
государственный технический университет», г. Самара,
Научный руководитель: Дадонов Дмитрий Николаевич,
к.т.н., доцент кафедры «Автоматизированные
электроэнергетические системы»*

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ ТОКОВОЙ ЗАГРУЗКИ ВЛ 220 КВ САРАТОВСКАЯ ГЭС – ВОЗРОЖДЕНИЕ И МЕРЫ ПО ЕЁ РАЗГРУЗКИ С ПОМОЩЬЮ АОТП

Аннотация: В статье рассматривается анализ влияния изменения генерации Жигулевской ГЭС, Саратовской ГЭС, нагрузки крупного металлургического производства на токовую загрузку ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Возрождение и определение коэффициентов, учитывающих изменение токовой нагрузки; разработка принципов учёта режима работы данной линии при управлении электроэнергетическим режимом и построение графика разгрузки линии с помощью АОТП при её перегрузке.

Ключевые слова: генерация, токовая нагрузка, изменение нагрузки, автоматическое регулирование частоты и перетоков активной мощности, автоматический ограничитель токовой перегрузки.

Abstract: The article examines the analysis of the effect of changes in the generation of the Zhigulevskaya HPS, the Saratovskaya HPS, and the load of a large metallurgical production on the current load of the 220 kV Saratovskaya HPS – Vozrozhdenie overhead line and the determination of coefficients that take into

account changes in the current load; the development of principles for accounting the operating mode of this line when managing the electric power regime, and the construction of a schedule for unloading the line using the ACOL when it is overloaded.

Keywords: *generation, current load, load change, automatic frequency and active power flow regulation, automatic current overload limiter.*

Введение

Сегодня в ЕЭС России за поддержание нужной частоты тока и перетоков мощности отвечает система автоматического регулирования частоты и мощности (АРЧМ). АРЧМ относится к режимной автоматике, работа которой строится на классическом интегральном регуляторе, который формирует величину регулирующего воздействия пропорционально интегралу отклонения регулируемого параметра от заданного значения по времени. [1]

Такое решение давно и успешно применяется, однако современные реалии подключение новых электростанций, усложнение сетей и повышенные стандарты качества заставляют искать альтернативные подходы к работе АРЧМ. В связи с этим назрела необходимость модернизации АРЧМ и перехода к более совершенным методам регулирования [2]

Актуальность работы обусловлена необходимостью обеспечения эффективной параллельной работы энергосистем большой мощности по линиям электропередачи, имеющим относительно низкую пропускную способность. Повышение качества регулирования частоты и перетоков активной мощности за счет использования центральной координирующей системы и/или централизованной системы (ЦКС/ЦС) АРЧМ позволяет увеличить обмен мощности по межсистемным сечениям при сохранении надежности параллельной работы энергосистем.

Целью работы является анализ влияния изменения генерации Жигулевской ГЭС, Саратовской ГЭС, нагрузки крупного металлургического

производства на токовую загрузку ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Возрождение и определение коэффициентов, учитывающих изменение токовой нагрузки; разработка принципов учёта режима работы данной линии при управлении электроэнергетическим режимом и построение графика разгрузки линии с помощью АОТП при её перегрузке

Анализ влияния изменения генерации Жигулевской ГЭС на токовую загрузку ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Возрождение

Выдача мощности Жигулевской ГЭС осуществляется на напряжениях 500, 220 и 110 кВ. Упрощенная нормальная схема электрических соединений Жигулевской ГЭС представлена на рисунке 9.

Влияние изменения нагрузки Жигулевской ГЭС на токовую загрузку ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Возрождение зависит от конкретных генераторов, участвующих в сбросе/наборе нагрузки. С целью исследования влияния различных генераторов на токовую загрузку ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Возрождение гидрогенераторы Жигулевской ГЭС разделены на 6 групп влияния в зависимости от точки подключения каждого гидрогенератора:

- группа 1 - 2 гидрогенератора (1Г,2Г);
- группа 2 - 9 гидрогенераторов (3Г-8Г, 12-14);
- группа 3 - 3 гидрогенератора (9Г-11Г);
- группа 4 - 2 гидрогенератора (15Г,16Г);
- группа 5 - 2 гидрогенератора (17Г,18Г);
- группа 6 - 2 гидрогенератора (19Г,20Г).

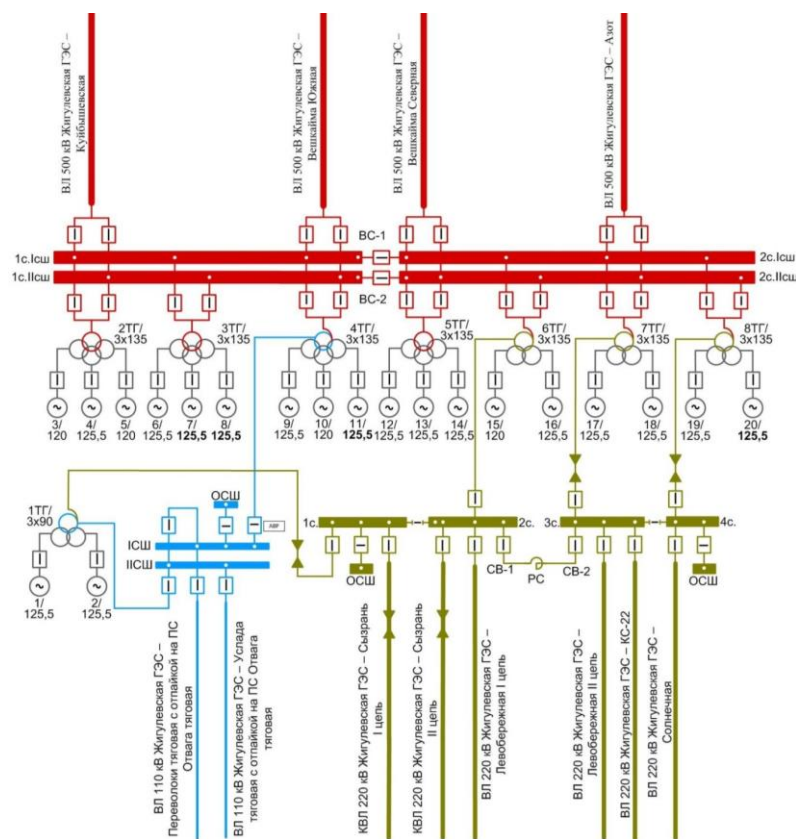


Рисунок 1. Упрощенная нормальная схема электрических соединений Жигулевской ГЭС

Значения $K_{ЖГЭС}$ (определены на основании расчетов электроэнергетических режимов в ПК RastrWin) получены без учета вариативности возможного состава ГГ Жигулевской ГЭС. С учетом данного факта предлагается принять $K_{ЖГЭС}$ при расчете уставки АОТП ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Возрождение постоянной величиной 0,1 А/МВт.

Порядок формирования уставок АОТП по ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Возрождение

Уставка АОТП ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Возрождение рассчитывается по следующей формуле:

$$I_{\text{АОТП}} = \text{МИН}(I_{\text{уст с-к}} \cdot 0,99; I_{\text{ддтн с-к}}) - K_{\text{мз}} \cdot \text{МАКС}(P_{\text{тек мз}} - P_{\text{мин мз}}; 0) - \text{НК} - K_{\text{жгэс}} \cdot \text{МИН}(P_{\text{рез раз жгэс}}; P_{\text{разг жгэс}}),$$

где $I_{уст\ c-k} = 830\ A$ – токовая уставка первой ступени с действием на разгрузку АОПО ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Возрождение А;

$I_{ддтн\ c-k} = 1030\ A$ – длительно допустимая токовая нагрузка ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Возрождение А;

$K_{мз} = 0,25$ (в схеме ремонта ВЛ 500 кВ Балаковская АЭС – Саратовская ГЭС – 0,34) – коэффициент, учитывающий изменение токовой нагрузки ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Возрождение при изменении нагрузки (Р) Метзавода;

$P_{тек\ мз} = 18 \div 130\ MВт$ – текущее значение нагрузки Метзавода (передается ОДУ Средней Волги);

$P_{мин\ мз} = 18\ MВт$ – минимальное значение нагрузки Метзавода, соответствует 18 МВт;

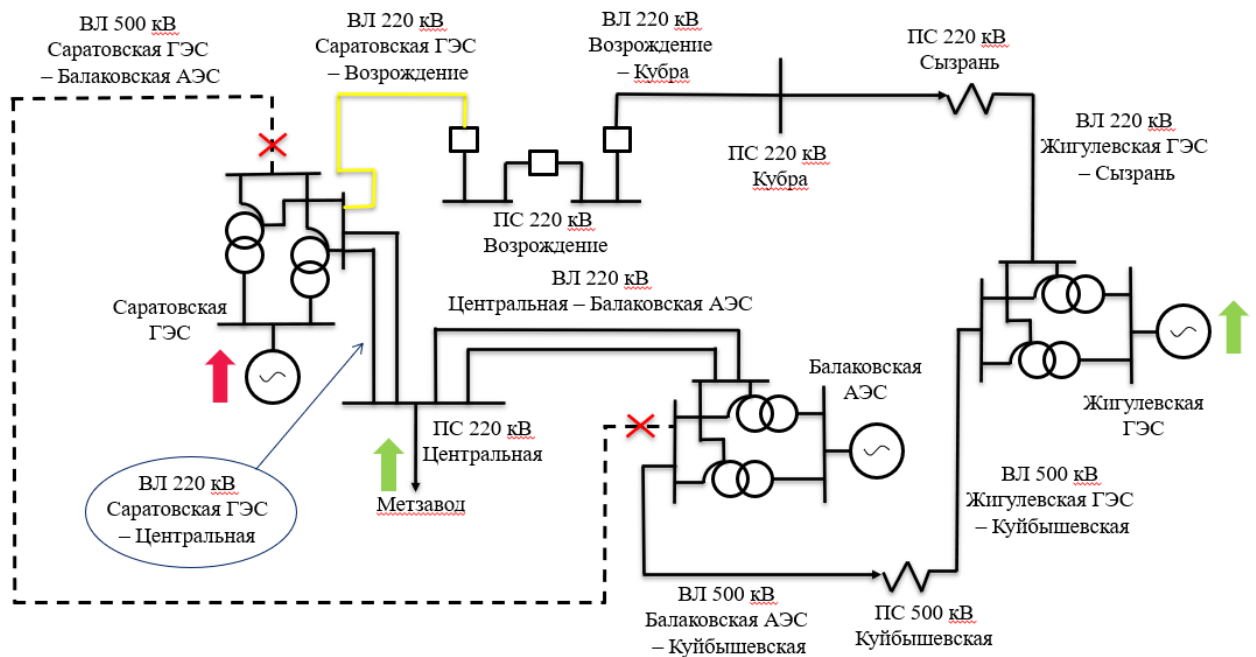
$НК = 8\ A$ – изменение токовой нагрузки ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Возрождение, обусловленные колебаниями потребления Саратовской энергосистемы, соответствует;

$K_{жгэс} = 0,1\ A/MВт$ – коэффициент, учитывающий изменение токовой нагрузки ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Возрождение при изменении нагрузки Жигулевской ГЭС действием АРЧМ;

$P_{рез\ разг\ жгэс}$ – текущий резерв на разгрузку Жигулевской ГЭС от ЦКС АРЧМ ЕЭС с учётом всех ограничений;

$P_{разг\ жгэс} = 100\ MВт/сек$ – величина возможной разгрузки Жигулевской ГЭС в период задержки реализации действия АОТП на разгрузку Саратовской ГЭС (максимальное время задержки 5 секунд, максимальная скорость снижения мощности Жигулевской ГЭС 20 МВт/сек).

На рисунке 2 показана упрощенная схема фрагмента энергосистемы с Жигулевской ГЭС, Саратовской ГЭС и Метзаводом.



**Рисунок 2. Влияющие факторы в энергосистеме на загрузку
ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Возрождение**

При анализе факторов влияния на загрузку ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Возрождение было выявлено следующее:

- При повышении генерации на Саратовской ГЭС, ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Возрождение загружается;
- При повышении нагрузки на Метзаводе (резкопеременная нагрузка), ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Возрождение разгружается;
- При повышении генерации на Жигулёвской ГЭС, ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Возрождение разгружается;
- При отключении ВЛ 500 кВ Саратовская ГЭС – Балаковская АЭС ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Возрождение загружается, влияние загрузки Саратовской ГЭС увеличивается;

Расчет и построение графика разгрузки ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Возрождение при её перегрузке

Параметры настройки АОТП на различных ЛЭП разные, для ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Возрождение параметры настройки сведены в таблицу 1.

Параметры настройки АОТП ЦКС АРЧМ ЕЭС

Наименование	Зона минимального запаса, А	Интенсивность, $c^{-1} \times 10^{-3}$	Коэффициент влияния (КДУ)
АОТП ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Возрождение	8	40	Саратовская ГЭС: +1 (100)

1. Расчетная активная мощность АОТП при токовой загрузке равной уставке и текущих U и Q [3]:

$$P_{max} = \sqrt{\left(\frac{U \cdot \sqrt{3}}{1000} \cdot I_{АОТП}\right)^2 - Q^2}$$

2. Ключ расчета коэффициента пересчета dI в dP через Q , U (опционный входной + выходной параметр):

$$K_{IP} = \frac{P_{max}}{I_{АОТП}}$$

Коэффициент служит для пересчета величины токовой перегрузки АОТП типа в ошибку регулирования в МВт. Если коэффициент равен нулю, АОТП блокируется.

3. Перегрузка, переведённая в мощность:

$$E = \begin{cases} \text{sgn}(P) \cdot \Delta I \cdot K_{IP}, & \Delta I > 0 \\ 0, & \Delta I < 0 \end{cases},$$

где $\text{sgn}(P)$ – направление перетока +1 или -1;

$$\Delta I = I_{\text{текущ}} - I_{АОТП}.$$

4. Чтобы показать, сколько МВт снимется с линии за 1 секунду, используется формула:

$$out = E \cdot И,$$

где $И = 0,04 \text{ c}^{-1}$ – интенсивность

$$T = \frac{1}{\text{И}} = \frac{1}{0,04} = 25 \text{ с,}$$

где T – цикл времени

Сведём в таблицу 9 вычисленные значения и построим график разгрузки линии при перегрузке в 100 А или на 40 МВт (рисунок 3), если перевести ток в мощность через коэффициент пересчета 0,4.

Таблица 2.

Вычисленные значения

$I_{\text{АОП}}, \text{ А}$	$Q, \text{ Мвар}$	$U, \text{ В}$	$P_{\text{max}}, \text{ МВт}$	$K_{\text{П}}$	$\Delta I, \text{ А}$
800	60	230	320	0,4	100

Построим график разгрузки линии при перегрузке в 100 А или на 40 МВт (рисунок 11), если перевести ток в мощность через коэффициент пересчета 0,4.

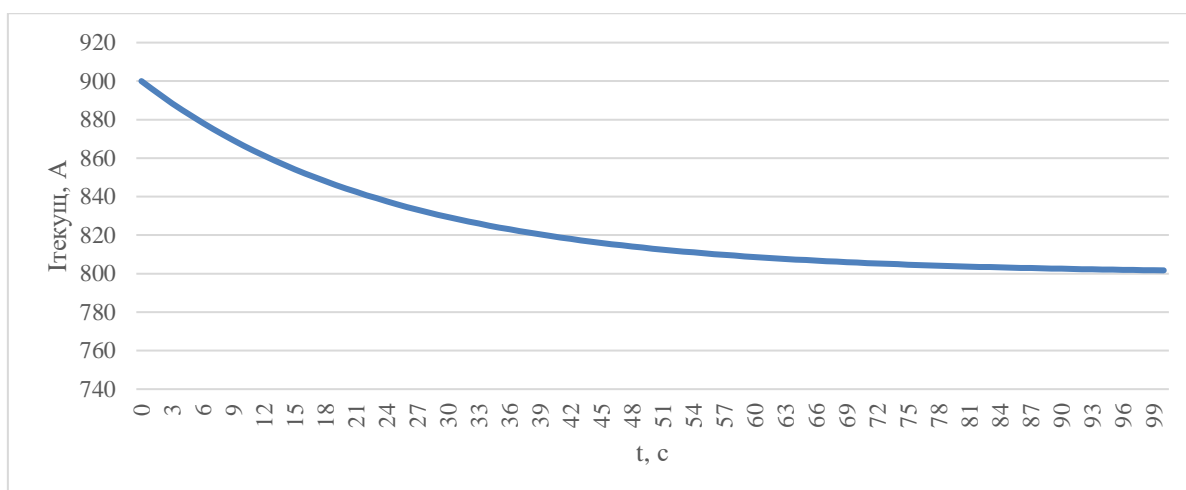


Рисунок 2. График разгрузки ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Возрождение при перегрузке 100 А

Передаточная функция регулятора АОП является аperiodическим звеном первого порядка и сигнал на выходе имеет экспоненциальную зависимость [4]. Выходной сигнал регулятора АОП при единичном ступенчатом возмущении за время $3T$ достигает 95% от исходного возмущения, при этом переходной процесс можно считать законченным.

Заключение

Централизованное регулирование, осуществляемое в Единой энергетической системе (ЕЭС) России, позволяет более эффективно поддерживать необходимое качество частоты и мощности по сравнению с зарубежными системами.[5] Однако для обеспечения стабильности работы в условиях конкурентного взаимодействия различных производителей электроэнергии, а также в рамках заявленного «зеленого энергоперехода», очевидно, необходима более четкая программа развития электроэнергетики России и активная роль государства. Оно должно связывать строительство новых генерирующих мощностей с существующей сетевой инфраструктурой и возможностями Системного оператора ЕЭС России. Эта проблема уже проявляется, например, в Объединенной энергетической системе (ОЭС) Юга, где значительная мощность введенных возобновляемых источников энергии оказывается избыточной [6].

В ходе проделанной работы был рассчитан коэффициент Жигулевской ГЭС, который рассчитывается для уставки по току АОТП ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Возрождение, также построен график разгрузки линии при её возможной перегрузке в 40 МВт.

Использованные источники:

1. Денисенко В. Статья, ПИД регуляторы: вопросы реализации, 2009
2. Жуков А.В. Журнал «Энергия объединенной сети», номер 6, 2014.
3. Приложение №2: Общие технические требования для подключения ТЭС к ЦС (ЦКС) АРЧМ, АО «СО ЕЭС»
4. Стандарт: Обеспечение согласованной работы систем автоматического регулирования частоты и перетоков мощности ЕЭС России и автоматики управления мощностью гидроэлектростанций. Условия

организации процесса. Условия создания объекта. Нормы и требования, АО «СО ЕЭС», Москва 2010

5. Жуков А.В. «Современное состояние и перспективы развития систем РЗА в ЕЭС России», 4-я Международная научно-техническая конференция, Екатеринбург, 2013.

6. Техничко-экономическое обоснование: Проект Центральных систем автоматического регулирования частоты и перетоков активной мощности ОЭС Северо –Запада, АО «СО ЕЭС», Москва 2006