

## **Разработка алгоритмов управления ВПТ от централизованной системы автоматического регулирования частоты и перетоков активной мощности**

---

В целях оптимизации и повышения эффективности автоматического управления частотой и перетоками активной мощности в ЕЭС России в 2012 году было проведено обоснование возможности и необходимости управления вставкой постоянного тока (ВПТ) от централизованной системы автоматического регулирования частоты и перетоков активной мощности (ЦС АРЧМ) ОЭС Востока. В рамках этого обоснования было установлено, что привлечение ВПТ как объекта управления ЦС АРЧМ позволяет повысить эффективность регулирования частоты и перетоков активной мощности за счет большего влияния изменения мощности ВПТ на перетоки по ряду контролируемых сечений по сравнению с изменением активной мощности на регулирующих ГЭС ОЭС Сибири и ОЭС Востока.

Целью разработки алгоритмов управления ВПТ от ЦС АРЧМ являлась реализация возможности регулирования частоты и перетоков активной мощности в ОЭС Востока за счет использования изменения перетока активной мощности между ОЭС Востока и ОЭС Сибири через несинхронную связь по ВПТ на подстанции (ПС) 220 кВ Могоча.

*Ключевые слова:* вставка постоянного тока, автоматическое регулирование частоты и перетоков активной мощности, автоматическое управление генерацией.

### **Введение**

ПС 220 кВ Могоча, на которой расположена ВПТ, находится в Забайкальском крае на протяженной связи 220 кВ между ОЭС Сибири и ОЭС Востока, которая нормально разомкнута из-за невозможности осуществления по ней устойчивой синхронной работы. ВПТ состоит из двух частей, каждая из которых рассчитана на передачу активной мощности до 100 МВт и имеет возможность регулирования реактивной мощности с каждой из сторон в объеме 66 Мвар.

При рассмотрении управления ВПТ ПС 220 кВ Могоча от ЦС АРЧМ ОЭС Востока учитывались следующие режимные ограничения в прилегающей к ВПТ сети: сечение Чита – Чита 1 (Чита – Читинская ТЭЦ-1 (Л-293) и Чита – Читинская ТЭЦ-1 (Л-296)) в ОЭС Сибири и сечение ОЭС–Запад Амурэнерго в ОЭС Востока (ВЛ 220 кВ Призейская – Тутаул, ВЛ 220 кВ Магдагачи – Ульручы/т с отпайкой на ПС Талдан/т; ВЛ 220 кВ Магдагачи – Гонжа/т). Также учитывались и режимные ограничения по другим контролируемым сечениям при помощи механизмов, описанных в разделе 1.

### **1. Алгоритм формирования регулировочного диапазона ВПТ**

Текущий регулировочный диапазон ВПТ должен ограничиваться не только величиной, приходящей с объекта управления, но и ограничениями в транзитных сетях прилегающих энергосистем (ЭС). Поэтому для ВПТ в качестве текущего регулировочного

диапазона выбирается минимальное значение из ограничений, приходящих с энергообъекта (ЭО) и от ЦС АРЧМ ОЭС смежной с управляющей.

Для каждого контролируемого сечения, на которое изменение передаваемой через ВПТ мощности оказывает значительное влияние, выполняется расчет величины резерва пропускной способности как абсолютного значения разницы между величиной максимально допустимого перетока (МДП) и текущим значением перетока.

Контролируемые сечения разделены на две группы по признаку направления изменения мощности ВПТ на ПС 220 кВ Могоча, которое определяется ограничением сечения.

После формирования текущих резервов контролируемых сечений РДУ определяются обобщенные диапазоны РДУ на загрузку и разгрузку ВПТ. Если среди рассматриваемых контролируемых сечений есть сечения с превышением МДП, возможный диапазон загрузки ВПТ принимается равным нулю.

Сформированные в РДУ обобщенные диапазоны на загрузку и разгрузку передаются в вышестоящее ОДУ.

В ОДУ смежной ОЭС организован расчет резервов пропускной способности контролируемых сечений на загрузку  $R_{КС\text{ загр.}i}^{\text{ОДУ}}$  и разгрузку  $R_{КС\text{ разгр.}i}^{\text{ОДУ}}$  ВПТ в соответствии с принципами, изложенными для РДУ.

Сформированные в ОДУ смежной ОЭС обобщенные диапазоны на загрузку и разгрузку передаются в ОДУ управляющей ОЭС. Для РДУ управляющей ОЭС также организован расчет обобщенных регулировочных диапазонов ВПТ на основе резервов пропускной способности контролируемых сечений на загрузку и разгрузку аналогичным образом, как для РДУ смежной ОЭС. В управляющей ОЭС при расчете регулировочного диапазона ВПТ учитываются ограничения от смежной ОЭС, ограничение регулировочного диапазона непосредственно приходящие с ВПТ и ограничения на уровне РДУ управляющей ОЭС.

## 2. Алгоритм блокирования ВПТ

В смежных с ВПТ ЭС могут возникать следующие события, которые являются причинами для блокирования централизованного управления (ЦУ) ВПТ или для запрета ее загрузки/разгрузки:

- срабатывание противоаварийной автоматики (ПА);
- блокирование ЦУ оперативным персоналом смежных с ВПТ ЭС;
- блокирование ЦУ оперативным персоналом ОДУ смежной ОЭС;
- перегрузка контролируемого сечения в прилегающей к ВПТ сети;
- неисправность в контуре управления или координации управления ВПТ.

Порядок формирования внешних сигналов запрета загрузки/разгрузки и блокирования ВПТ совпадает с порядком формирования ограничений регулировочного диапазона в разделе 1. Сначала запрет загрузки/разгрузки и блокирование ВПТ формируют все РДУ смежной ОЭС, на сечения которых ВПТ оказывает влияние.

После того как для каждого сечения рассчитан сигнал блокирования, формируется обобщенный сигнал блокирования от РДУ по всем сечениям.

Далее на основе рассчитанных в разделе 1 регулировочных диапазонов ВПТ от РДУ смежной ОЭС формируются обобщенные сигналы запрета загрузки/разгрузки.

После того как для всех РДУ, на сечения которых влияет ВПТ, сформированы обобщенные сигналы запрета загрузки/разгрузки и блокирования, данные сигналы передаются в ОДУ смежной ОЭС, где также формируются свои сигналы запрета загрузки/разгрузки и блокирования ЦУ с учетом сигналов от РДУ и собственных ограничений.

В управляющей ОЭС при расчете регулировочного диапазона ВПТ учитываются ограничения от смежной ОЭС –  $D^{\text{смеж. ОЭС}}$ , ограничения регулировочного диапазона, непосредственно приходящие с ВПТ –  $D^{\text{ВПТ}}$ , и ограничения на уровне РДУ управляющей ОЭС.

После того как сигналы запрета загрузки/разгрузки и блокирования сформированы в смежной ОЭС, они передаются в управляющую ОЭС. В управляющей ОЭС также формируются сигналы запрета загрузки/разгрузки и блокирования по сигналам от собственных РДУ.

## 2.1 Контроль синхронной работы ВПТ и управляющей ОЭС

При разрыве транзита 220 кВ с любой стороны от ВПТ, который фиксируется комплексом ПА на ПС 220 кВ Могоча, централизованное управление ВПТ от ЦС АРЧМ ОЭС Востока блокируется.

Для контроля синхронной работы смежной с ВПТ сети и ЦС АРЧМ управляющей ОЭС использован существующий алгоритм контроля синхронной работы ЭО с управляющим вычислительным комплексом (УВК) ЦС АРЧМ. Указанный алгоритм реализован в унифицированном программном обеспечении (УПО) ЦКС/ЦС АРЧМ. В этом случае алгоритм резервирует действие ПА и технологических блокировок ВПТ, а также дополняет схему контроля контура управления и контроля измерительных устройств на ПС 220 кВ Могоча.

Контроль синхронной работы ЭО с УВК ЦС АРЧМ в УПО ЦКС/ЦС АРЧМ осуществляется на основе контроля разности значений частоты ЭО и регулятора ЦС АРЧМ. В случае устойчивого расхождения указанных частот сверх заданной допустимой разницы происходит отключение ЭО с выдержкой времени и формируется признак о несинхронной работе такого ЭО. При включенной функции контроля синхронной работы осуществляется достоверизация частоты ЭО, и в случае недостоверности телеизмерения происходит блокирование ЭО с формированием соответствующего признака.

Для контроля синхронной работы ВПТ ПС 220 кВ Могоча и ЦС АРЧМ ОЭС Востока выставляются следующие настройки:

- допустимая разница частоты ЭО и регулятора – 0,05 Гц;
- допустимое время расхождения частот ЭО и регулятора – 1 с.

## 3. Алгоритм расчета максимального и минимального регулировочного диапазона ВПТ

В УПО ЦКС/ЦС АРЧМ предусмотрена возможность ограничения величины вторичного задания на ЭО путем установки ограничений ( $P_{\text{макс. задания}}$  или  $P_{\text{мин. задания}}$ ), которые задаются технологическим персоналом ЦС АРЧМ управляющей ОЭС.

Оперативный персонал смежной ОЭС также имеет возможность ограничить диапазон регулирования ВПТ, например с целью зарезервировать часть суммарного вторичного регулировочного диапазона собственной ОЭС. Для этого в смежной ОЭС определяется резерв регулировочного диапазона автоматического регулятора перетоков с коррекцией по частоте (АРПЧ) ЦС АРЧМ смежной ОЭС, на загрузку и разгрузку ВПТ:

$$R_{\text{АРПЧ\_ВПТ загр}} = D_{\text{АРПЧ загр}} - D_{\text{мин. загр}}; \quad (1)$$

$$R_{\text{АРПЧ\_ВПТ разгр}} = D_{\text{АРПЧ разгр}} - D_{\text{мин. разгр}}; \quad (2)$$

где  $R_{\text{АРПЧ загр}}$ ,  $R_{\text{АРПЧ разгр}}$  – резерв суммарного регулировочного диапазона АРПЧ смежной ОЭС в пределах которого допускается управление ВПТ на загрузку и разгрузку соответственно;  $D_{\text{АРПЧ загр}} = \sum_{i=1}^n D_{i \text{ загр}}$  – суммарный диапазон на загрузку электростанций, подключенных к АРПЧ ЦС АРЧМ смежной ОЭС;  $D_{\text{АРПЧ разгр}} = \sum_{i=1}^n D_{i \text{ разгр}}$  – суммарный диапазон на разгрузку электростанций, подключенных к АРПЧ ЦС АРЧМ смежной ОЭС;  $D_{\text{мин. загр}}$ ,  $D_{\text{мин. разгр}}$  – минимально допустимые величины диапазонов на загрузку и разгрузку электростанций, подключенных к АРПЧ ЦС АРЧМ смежной ОЭС. Величины определяются и задаются персоналом диспетчерского центра.

При снижении какого-либо резерва (на загрузку или на разгрузку) АРПЧ до нуля формируется соответствующий сигнал запрета на загрузку/разгрузку ВПТ, который передается в ЦС АРЧМ управляющей ОЭС.

$$TC_{\text{АРПЧ запрет загр}} = \begin{cases} 0, & R_{\text{АРПЧ загр}} > 0 \\ 1, & R_{\text{АРПЧ загр}} \leq 0 \end{cases}, \quad (3)$$

$$TC_{\text{АРПЧ запрет разгр}} = \begin{cases} 0, & R_{\text{АРПЧ разгр}} > 0 \\ 1, & R_{\text{АРПЧ разгр}} \leq 0 \end{cases}. \quad (4)$$

Поскольку скорость исчерпания суммарного вторичного резерва смежной ОЭС зависит от постоянной времени ее АРПЧ и динамики протекания переходных процессов в регулирующих объектах и ЭС, то при управлении ВПТ от другой ЭС для учета этого типа ограничения целесообразно ограничивать максимальное задание на ВПТ, а не регулировочный диапазон ВПТ. Формулы для расчета ограничения максимального задания приведены ниже.

Для максимального/минимального задания от автоматического регулятора частоты (АРЧ) управляющей ОЭС на ВПТ:

$$P_{\text{макс. ВПТ загр. итог}} = \min (P_{\text{макс. ВПТ загр}}, R_{\text{АРПЧ загр}}); \quad (5)$$

$$P_{\text{мин. ВПТ разгр. итог}} = \max (P_{\text{мин. ВПТ разгр}}, -R_{\text{АРПЧ разгр}}), \quad (6)$$

где  $P_{\text{макс. ВПТ загр. итог}}$  – итоговое максимальное вторичное задание от АРЧ управляющей ОЭС на загрузку ВПТ;  $P_{\text{мин. ВПТ разгр. итог}}$  – итоговое минимальное вторичное задание от АРЧ управляющей ОЭС на разгрузку ВПТ;  $P_{\text{макс. ВПТ загр}}$  – максимальное вторичное задание от АРЧ управляющей ОЭС на загрузку ВПТ, вызванное собственными ограничениями изменение мощности ВПТ;  $P_{\text{мин. ВПТ разгр}}$  – минимальное вторичное задание от АРЧ управляющей ОЭС на разгрузку ВПТ, вызванное собственными ограничениями изменения мощности ВПТ.

При использовании данных параметров максимальное вторичное задание на ВПТ не может превышать величины  $P_{\text{макс}}$ , а минимальное вторичное задание на ВПТ не может быть меньше  $P_{\text{мин}}$ . Использование алгоритма ограничения диапазона регулирования ВПТ исключает интегральное насыщение, создает возможность оперативного ограничения диапазона регулирования, а также позволяет смежной ОЭС гарантировать установленный запас суммарного регулировочного диапазона.

## 4. Алгоритм включения ВПТ на централизованное управление

Для того чтобы ВПТ имела возможность обработать сформированное управляющее воздействие (УВ), она должна быть подключена на централизованное управление от ЦС АРЧМ управляющей ОЭС. Процедура включения ВПТ отличается от процедуры включения ЭО другого типа (ГЭС, энергоблоков ТЭС), так как вопрос управления ВПТ затрагивает как минимум две ЭС: смежную и управляющую.

### 4.1 Описание изменений в существующем алгоритме включения энергообъекта на централизованное управление от ЦС АРЧМ для ВПТ

При включении ВПТ на централизованное управление от ЦС АРЧМ управляющей ОЭС реализовано получение разрешения такого управления от диспетчерского центра (ДЦ) смежной ОЭС и от ВПТ непосредственно. Поскольку предполагается наличие каналов связи между ДЦ смежной и управляющей ОЭС выдача команд и получение разрешений организованы на уровне ЦС АРЧМ смежной ОЭС с помощью организации дополнительного программного ключа разрешения управления ВПТ. Этот ключ также может быть использован для оперативной блокировки управления ВПТ. Соответственно в ЦС АРЧМ управляющей ОЭС существует три сигнала, характеризующих состояние режима готовности к централизованному управлению ВПТ:

- «Предварительно централизованный режим ВПТ».
- «Разрешение ЦС АРЧМ смежной ОЭС».
- «Централизованный режим ВПТ».

Отсутствие одного из сигналов приводит к блокированию управления ВПТ в ЦС АРЧМ управляющей ОЭС.

## 5. Алгоритм формирования управляющего воздействия на ВПТ от АРПЧ

Для подключения ВПТ к АРЧ ЦС АРЧМ ОЭС Востока для нее задается коэффициент долевого участия (КДУ), в соответствии с которым осуществляется распределение УВ на регулирующие объекты. При задании нулевого КДУ для регулирующего объекта УВ от АРЧ на данный объект не формируется.

КДУ для объектов управления задается пропорционально регулировочным диапазонам данных объектов управления. Это позволяет обеспечить одновременный выход объектов управления на ограничение по регулировочным диапазонам.

В ЦС АРЧМ ОЭС Востока помимо задания общей мертвой полосы АРЧ для каждого ЭО имеется возможность задания индивидуальной мертвой полосы по частоте, при нахождении частоты внутри которой соответствующий ЭО исключается из распределения УВ АРЧ.

На основании общих групп загрузки/разгрузки и ограничений, вызванных нахождением в зоне минимального запаса или работой АОП/АОТП, формируются группы воздействия для АРПЧ. Затем в зависимости от знака и величины небаланса определяются:

- обычный или ускоренный режим регулятора;
- вычисляются фактические КДУ объектов управления;
- вычисляются управляющие воздействия на объекты;
- формируются признаки: «АРПЧ загружает» или «АРПЧ разгружает».

Алгоритм формирования воздействия от АРПЧ на объекты управления представлен на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема алгоритма работы АРПЧ

## 6. Алгоритм формирования управляющего воздействия на ВПТ от РКМ

Функция ручного корректора мощности (РКМ) предоставляет оперативному персоналу возможность изменить величину вторичного задания на регулирующий объект. При этом для исключения срабатывания защиты от «скачка» на входе задатчика вторичной мощности (ЗВМ) регулирующего объекта изменение вторичного задания в ЦС АРЧМ реализуется плавно, с заданным шагом. При этом выдача управляющих воздействий от РКМ ограничивается, если это может привести к перегрузке контролируемых АОП/АОТП сечений.



## 7. Алгоритм формирования управляющего воздействия на ВПТ от АОП/АОТП

Для того чтобы ВПТ на ПС 220 кВ Могоча участвовала в снятии перегрузки АОП/АОТП как объект управления ЦС АРЧМ, необходимо:

- определить коэффициент влияния ВПТ (на ПС 220 кВ Могоча) на соответствующий АОП/АОТП, определяющий требуемое направление выдачи задания на изменение мощности ВПТ;
- определить КДУ ВПТ (на ПС 220 кВ Могоча) для соответствующего АОП/АОТП.

Далее происходит формирование вторичного задания на ВПТ. Если АОП/АОТП включен и не заблокирован, то ЦС АРЧМ определяет состояние данного АОП/АОТП: в зоне минимального запаса или перегружен. В зависимости от состояния для АОП/АОТП формируется соответствующий признак: минимальный запас или перегрузка. Если АОП/АОТП находится в состоянии перегрузки, то для него на основе обобщенных групп загрузки/разгрузки формируются группы загрузки/разгрузки для АОП/АОТП. Далее согласно группам загрузки/разгрузки для АОП/АОТП на объекты выработывается управляющее воздействие на основе их КДУ. Блок-схема алгоритма формирования управляющего воздействия от ЦС АРЧМ для функции АОП/АОТП приведена на рис. 2.



Рис. 2. Структурная схема алгоритма работы АОП/АОТП

## 8. Алгоритм формирования управляющего воздействия на ВПТ при возврате

Алгоритм возврата объекта управления определяет снятие накопленного внепланового воздействия на этот объект управления, обусловленного действием АОП/АОТП, после ликвидации перегрузок всех АОП/АОТП и возникновения условий для возврата:

- включен ключ возврата для объекта;
- объект, в соответствии со знаком накопленного приращения от АОП/АОТП, есть в группе загрузки или разгрузки;
- возврат не усугубляет состояние всех других контролируемых сечений, находящихся в зоне минимального запаса;
- задан шаг возврата.

Для работы алгоритма возврата при действии АОП/АОТП в процессе снятия перегрузок производится накопление приращений задания для каждого объекта, которое снимется в процессе возврата в каждом цикле заданными приращениями (шагом возврата). В случае одновременного действия возврата и АРПЧ уменьшение накопленного значения производится за счет регулятора. В каждом цикле расчета производится уменьшение накопленных воздействий от АОП/АОТП на шаг возврата. Шаг возврата задается отдельно для каждого объекта.

## 9. Алгоритм формирования суммарного управляющего воздействия на ВПТ от всех функций ЦС АРЧМ

После того как УВ было сформировано всеми функциями ЦС АРЧМ, данные УВ суммируются. Суммарное УВ (приращение вторичного задания) ограничивается по следующим параметрам:

- сумма приращения задания и уже выданное вторичное задание не должны быть больше/меньше  $P_{\max}/P_{\min}$ . В случае если сумма приращения задания и уже выданное вторичное задание больше/меньше  $P_{\max}/P_{\min}$ , происходит обрезание приращения задания, выдаваемого на текущем шаге;
- приращение задания на текущем шаге по модулю не должно быть больше заданной максимальной скорости вторичного задания для данного объекта управления. Если приращение задания на текущем шаге по модулю больше заданной максимальной скорости вторичного задания для данного объекта управления, то приращение задания на текущем шаге ограничивается величиной заданной максимальной скорости.

## 10. Алгоритм вычисления максимальной скорости вторичного задания от ЦС АРЧМ на ВПТ

ВПТ обладает высокой маневренностью (быстродействием) и малой инерционностью, поэтому в отличие от остальных видов объектов ее нужно ограничивать в меньшей степени: если для ЭБ ТЭС ограничения по скорости определяются необходимостью соблюдения допустимых параметров работы оборудования, для ГЭС – исключением эффекта гидроудара, то для ВПТ таких ограничений нет. Тем не менее, при управлении ВПТ необходимо учитывать наличие транспортных задержек, которые



складываются из задержек в контуре управления ВПТ и задержек в контуре формирования ограничений на управление ВПТ. Другое отличие ВПТ заключается в том, что помимо ограничений, связанных с характеристиками самого объекта управления, необходимо учитывать запасы пропускной способности связанных с ВПТ сечений. Это обусловлено тем, что ВПТ имеет сильное влияние на примыкающие сечения, и изменение перетока мощности через ПС 220 кВ Могоча полностью ложится на них.

Отсутствие учета транспортных задержек при управлении ВПТ, как и при управлении ГЭС и ЭБ ГЭС, может вызвать насыщение интегратора при возникновении ограничений на управление, что приведет к снижению качества регулирования. Отсутствие же учета сетевых ограничений может привести к перегрузке сечений и срабатыванию противоаварийной автоматики. Соответственно для ВПТ можно выделить два типа зон ограничений на управление, которые необходимо учитывать: первый – определяется исходя из границ допустимого режима работы ВПТ, второй – определяется в диспетчерских центрах на основе запаса пропускной способности связанных с ВПТ сечений.

Указанные выше факты обуславливают необходимость ограничивать скорость управления ВПТ, особенно вблизи границ зон ограничения на управление, когда увеличивается влияние задержек. Это влияние тем больше, чем больше допустимая скорость управления ВПТ.

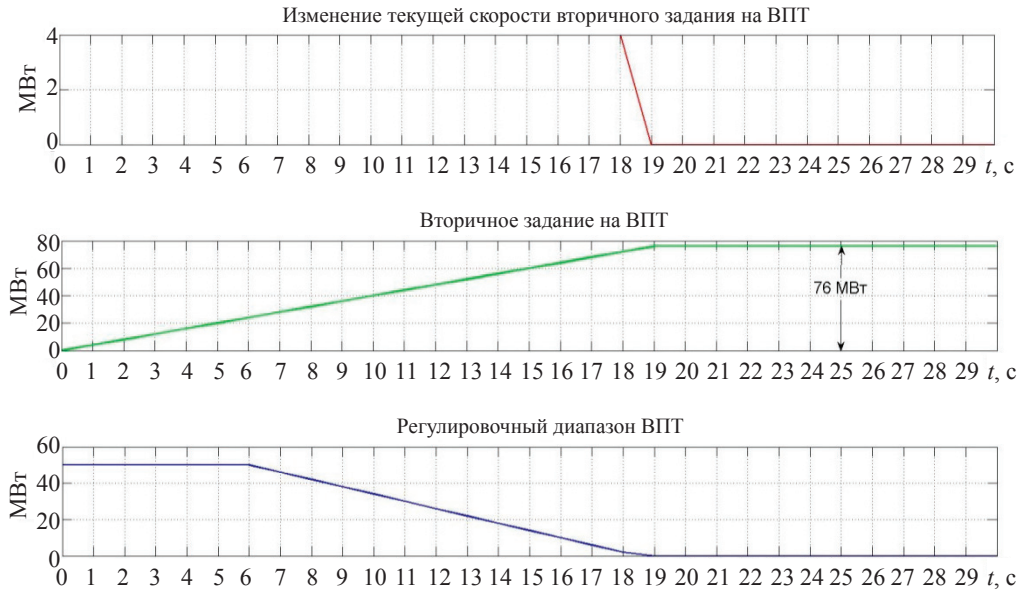
Во избежание перерегулирования и дополнительной загрузки проблемных участков сети необходимо ввести коррекцию расчета максимальной скорости вторичного задания ЦС АРЧМ на ВПТ. При расчете текущей скорости вторичного задания ЦС АРЧМ на ВПТ должна учитываться максимальная из задержек времени в тракте передачи информации об ограничениях или в тракте управления ВПТ и величина регулировочного диапазона для ближайшей границы ограничения на управления. Расчет максимальной скорости вторичного задания должен производиться по формуле:

$$V_{\text{макс. итог}}(t) = \min \left\{ \frac{\text{ControlRange}(t)}{2 \cdot t_3(t)}, V_{\text{макс}} \right\}, \quad (7)$$

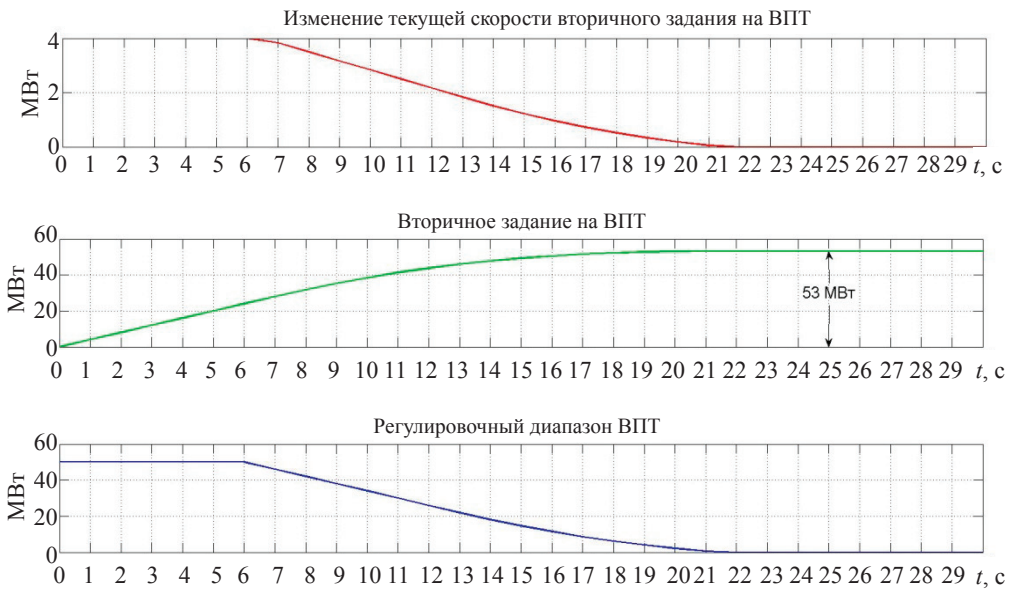
где  $V_{\text{макс. итог}}(t)$  – итоговая максимальная скорость вторичного задания ЦС АРЧМ на ВПТ;  $V_{\text{макс}}$  – заданная максимальная скорость вторичного задания ЦС АРЧМ на ВПТ;  $\text{ControlRange}(t)$  – текущий регулировочный диапазон ВПТ в соответствующем направлении (загрузка/разгрузка) после учета ограничений в сетях смежной и управляющей ОЭС;  $t_3(t)$  – текущее значение задержки в контуре передачи информации об ограничениях или в контуре управления ВПТ.

На примере рассмотрена эффективность измененного алгоритма расчета текущей скорости вторичного задания ЦС АРЧМ на ВПТ, определяемого формулой (7). Предположим, что обобщенный диапазон смежной ОЭС на загрузку ВПТ составляет 50 МВт. Задержка в тракте передачи этого ограничения составляет 6 с (от момента выдачи ЦС АРЧМ управляющей ОЭС УВ на ВПТ до получения в УВК ЦС АРЧМ управляющей ОЭС изменения обобщенного диапазона смежной ОЭС, вызванного этим УВ). В управляющей ОЭС возник небаланс 300 МВт. Вторичный резерв для АРПЧ есть только на ВПТ. ЦС АРЧМ будет стремиться загружать ВПТ с максимальной скоростью, которая принята равной 4 МВт/с. Без учета случайного процесса изменения нагрузки в управляющей и смежной ОЭС изменение скорости вторичного задания, суммарного вторичного задания, итогового регулировочного диапазона ВПТ

при компенсации небаланса приведены на рис. 3 и 4. На рис. 3 приведены графики для случая расчета текущей скорости вторичного задания ЦС АРЧМ на ВПТ по стандартным для объектов регулирования алгоритмам, а на рис. 4 по измененному алгоритму расчета текущей скорости вторичного задания ЦС АРЧМ на ВПТ.



**Рис. 3.** Изменение скорости вторичного задания, суммарного вторичного задания, итогового регулировочного диапазона ВПТ при использовании существующего алгоритма расчета текущей скорости вторичного задания ЦС АРЧМ на регулирующие объекты



**Рис. 4.** Изменение скорости вторичного задания, суммарного вторичного задания, итогового регулировочного диапазона ВПТ при использовании измененного алгоритма расчета текущей скорости вторичного задания ЦС АРЧМ на ВПТ

На графике вторичного задания (рис. 3) показано его изменение при возникшем небалансе 300 МВт. На 13-й секунде вторичное задание достигает исходного значения регулировочного диапазона – 50 МВт, в то время как поступающее телеизмерение регулировочного диапазона из-за задержки в контуре координации управления ВПТ составляет 20 МВт. Вторичное задание на ВПТ продолжает накапливаться в течение последующих 6 с до 19-й секунде, когда достигается нулевое значение диапазона. При этом суммарное выданное задание равно 76 МВт, что на 26 МВт превышает исходный обобщенный диапазон смежной ОЭС на загрузку ВПТ.

В случае использования предложенного алгоритма ограничения скорости управления ВПТ на графике вторичного задания (рис. 4) видно, что снижение скорости выдачи вторичного задания начинается на 7-й секунде. Достижение величиной вторичного задания исходного диапазона, равного 50 МВт, происходит на 16-й секунде. Процесс регулирования завершается по факту исчерпания регулировочного диапазона на 22-й секунде. К этому моменту значение вторичного задания на ВПТ достигает 53 МВт, таким образом, перерегулирование составляет 3 МВт.

Из приведенных рисунков видно, что предложенный алгоритм позволяет избежать значительного перерегулирования, при этом текущая скорость вторичного задания на ВПТ снижается плавно.

## 11. Алгоритм обработки ВПТ вторичного задания от ЦС АРЧМ

ВПТ по сравнению с остальными типами объектов управления (ГЭС, энергоблоки ТЭС) обладает малой инерционностью. Это обусловлено тем, что ГЭС и ЭБ ТЭС для изменения своей мощности требуется время на прохождение технологических процессов, связанных с производством электроэнергии. Скорость изменения перетока ВПТ складывается из постоянной времени системы регулирования ВПТ и времени работы преобразователей напряжения, что составляет доли секунды. Например, время реверса перетока мощности через ВПТ – менее 0,15 с.

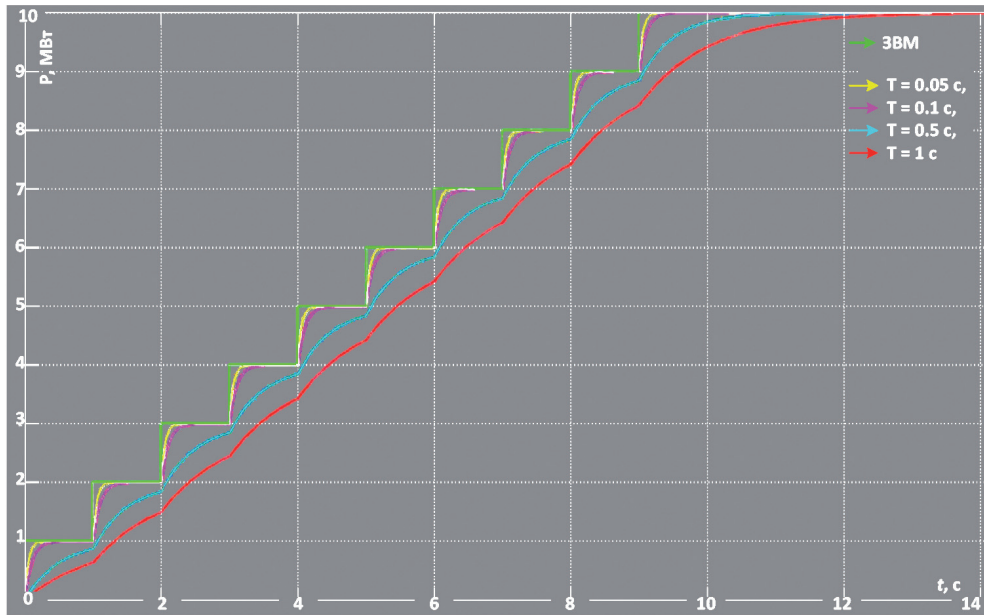
Управляющие воздействия на ЭО в УВК ЦС АРЧМ рассчитываются с циклом 1 с, что превосходит динамические характеристики регулятора мощности ВПТ. Поэтому отработка вторичного задания ВПТ, имеющего ступенчатый вид, будет также иметь скачкообразный характер. На рис. 5 представлен процесс выдачи УВ от ЦС АРЧМ (ЗВМ) с шагом 1 МВт/с (ЗВМ, зеленая линия) и процесс изменения перетока мощности через ВПТ с разными значениями постоянной времени регулятора мощности ВПТ.

При текущей настройке регулятора мощности (желтая кривая) изменения перетока имеют также скачкообразный характер, что будет вызывать колебания мощности в прилегающей сети.

Для того чтобы изменение мощности на ВПТ имело плавный характер, необходимо, чтобы постоянная времени переходного процесса изменения мощности ВПТ была согласованна с дискретностью вычисления управляющих воздействий ЦС АРЧМ (1 с). Оптимальным является график изменения мощности ВПТ при постоянной времени переходного процесса 1 с (красная кривая).

Если для системы вычисления уставок ВПТ есть возможность опроса входа для УВ от УВК ЦС АРЧМ чаще, чем раз в секунду (например, каждую 0,1 с), то перед

входом для УВ от УВК ЦС АРЧМ, например в алгоритм работы ЗВМ, имеет смысл ввести инерционное звено с постоянной времени 1 с, что позволит получить переходную характеристику изменения мощности, соответствующей красной линии на рис. 5.



**Рис. 5.** Изменение мощности ВПТ при управлении от ЦС АРЧМ в зависимости от постоянной времени  $T$  переходного процесса изменения мощности ВПТ

## Выводы

Разработаны алгоритмы, в основу которых заложено безопасное и эффективное использование ВПТ как объекта регулирования ЦС АРЧМ ОЭС Востока в координации со смежной ЦС АРЧМ ОЭС Сибири.

Разработанные алгоритмы позволяют привлекать ВПТ в качестве объекта управления ЦС АРЧМ, что позволяет расширить диапазон автоматического вторичного регулирования частоты и перетоков активной мощности и повысить эффективность его регулирования. Разработанные алгоритмы управления ВПТ от ЦС АРЧМ полностью соответствуют поставленным целям. ВПТ вводится как новый тип объекта управления, сохраняя при этом базовые алгоритмы по управлению объектами от ЦС АРЧМ.

Разработан алгоритм ограничения скорости выдачи управляющих воздействий на ВПТ при приближении к границам ограничений управления, что позволяет избежать перерегулирования в условиях наличия транспортных задержек в контуре управления ВПТ и контуре координации управления.

Предложенные дополнения к алгоритмам управления объектами для управления ВПТ не изменяют действующих алгоритмов работы АРПЧ, АОП/АОТП, РКМ и возврата ЦС АРЧМ.

Режимные ограничения в прилегающей к ВПТ сети для смежной ОЭС учитываются в виде внешних сигналов на запрет загрузки/разгрузки ВПТ, блокировки ВПТ, а также в виде обобщенных телеизмерений, характеризующих резерв пропускной способности контролируемых сечений в прилегающих к ВПТ ЭС, используемых для ограничения регулировочного диапазона ВПТ.

Разработан алгоритм ограничения максимального/минимального вторичного задания на ВПТ, который позволяет зарезервировать часть суммарного вторичного диапазона АРПЧ для нужд смежной ОЭС.

## Список литературы

1. Противоаварийная автоматика ПС 220 кВ Могоча и прилегающей сети. Книга 3. – М., 2011. Инв. № П2200300-30.0011-ИОС1.3
2. СТО 59012820.27.100.003-2012. Регулирование частоты и перетоков активной мощности в ЕЭС России. Нормы и требования. Введ. 05.12.2012 / ОАО «СО ЕЭС». – М., 2012.
3. Общие технические требования для подключения ТЭС к ЦС (ЦКС) АРЧМ / ОАО «СО ЕЭС». – М., 2010.
4. Общие технические требования для подключения ГЭС к ЦС (ЦКС) АРЧМ / ОАО «СО ЕЭС». – М., 2010.
5. Методика определения минимально необходимых объемов резервов активной мощности ЕЭС России / ОАО «СО ЕЭС». – М., 2005.

*Волошин Максим Владимирович*, начальник отдела систем АРЧМ филиала Научно-технического центра Единой энергетической системы «Технологии автоматического управления» (Филиал ОАО «НТЦ ЕЭС» «ТАУ»).

E-mail: voloshin-mv@so-ups.ru

*Демидов Александр Александрович*, заместитель начальника отдела систем АРЧМ филиала Научно-технического центра Единой энергетической системы «Технологии автоматического управления» (Филиал ОАО «НТЦ ЕЭС» «ТАУ»).

E-mail: demidov-aa@so-ups.ru

*Никишин Константин Александрович*, заместитель директора филиала Научно-технического центра Единой энергетической системы «Технологии автоматического управления» (Филиал ОАО «НТЦ ЕЭС» «ТАУ») по науке и технологиям.

E-mail: nikishin-ka@so-ups.ru

*Титаевская Наталья Анатольевна*, специалист отдела систем АРЧМ филиала Научно-технического центра Единой энергетической системы «Технологии автоматического управления» (Филиал ОАО «НТЦ ЕЭС» «ТАУ»).

E-mail: titaevskaya-na@so-ups.ru

*Voloshin M. V., Demidov A. A., Nikishin K. A., Titaevskaya N. A.*

**Algorithms development for HVDC back-to-back link control from centralized load frequency control system.**

In order to optimize and improve an efficiency of load frequency control (LFC) in the Unified power system (UPS) of Russia the feasibility study for a possibility and necessity of HVDC back-to-back link use was carried out in 2012 in relation to the centralized LFC system of Interconnected power system (IPS) of East. In a framework of this study it was found that the use of HVDC back-to-back link as LFC system regulating object improves an efficiency of LFC due to the greater influence of a power change of the HVDC back-to-back link on power flows in a number of controlled transmission lines than a corresponding change in the active power of regulating hydroelectric stations is IPS of Siberia and IPS of East.

The purpose of developing the algorithms for HVDC back-to-back link control from centralized LFC system was to use the non-synchronous HVDC back-to-back link at 220 kV Mogochoa substation as a control object for LFC in the IPS of East.

*Key words: HVDC back-to-back link, load frequency control, automatic generation control.*