

РАСЧЁТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ МЕЖДУ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ ПРИ ОПЕРАТИВНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ ПЕРЕТОКОВ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Е.С. Братчиков, А.В. Прохоров

ФГФООУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Введение

Согласно нормативной документации [1, 2] при оперативном регулировании перетоков активной мощности диспетчером должны использоваться влияющие на переток в сечении и экономически эффективные ГОУ, изменение эксплуатационного состояния и технологического режима работы которых не приводит к выходу режимных параметров за пределы допустимых значений. При этом мероприятия по регулированию перетока активной мощности в контролируемом сечении должны быть исполнены за установленное время.

На данный момент при решении задач, в которых отсутствуют требования к быстрдействию, диспетчер должен осуществлять регулирование перетоков активной мощности с помощью ГОУ согласно ранжированным таблицам (РЖТ) [3]. Однако экономически эффективные ГОУ могут оказаться не самыми эффективными с точки зрения обеспечения необходимых режимных условий, так как в документах [1, 3] не указано каким образом должно учитываться их влияние на переток в контролируемом сечении. В качестве рекомендации может выступать приложение 9 ПУР, но представленные там значения эффективности могут отличаться от рассчитанных в текущей схемно-режимной ситуации. Это может приводить к перерегулированию или недорегулированию и соответствующим последствиям. Например, перерегулирование приводит к реализации больших объемов управляющих воздействий для регулирования перетока, что сказывается на экономической эффективности регулирования в целом.

В АО «СО ЕЭС» при распределении УВ на ГОУ диспетчером применяется программный комплекс «Система регистрации диспетчерских команд» (СРДК), в котором режимная эффективность ГОУ оценивается самим диспетчером путем самостоятельного выбора наиболее влияющих ГОУ. Распределение УВ на ГОУ осуществляется в соответствии с РЖТ, что соответствует [3], в зависимости от заданного диспетчером суммарного объема распределяемого задания по активной мощности.

В результате автоматизации предлагаемых в данной работе подходов к выбору управляющих воздействий может быть обеспечено более

эффективное распределение УВ на ГОУ, за счет расчета коэффициента эффективности для текущей схемно-режимной ситуации, ранжирования ГОУ в соответствии с показателем удельной стоимости изменения перетока в КС, а также учета влияния ГОУ на перетоки в смежных сечениях. Кроме того, предусмотрена возможность реализации функции расчета УВ для изменения перетока в сечении на заданную диспетчером величину.

Описание вычислительных экспериментов

Цель вычислительных экспериментов заключается в проверке возможности повышения эффективности распределения УВ на ГОУ за счет предлагаемых авторами подходов. Рассмотрены два вычислительных эксперимента.

В первом эксперименте моделируется задача снижения перетока в сечении Камала-Красноярская (на запад) и демонстрируются возможности повышения эффективности УВ на ГОУ в зависимости от учитываемых критериев. Цель состоит в распределении УВ на ГОУ таким образом, чтобы максимально снизить переток в КС при минимальной стоимости УВ. В данном эксперименте сравниваются только подходы к распределению УВ в зависимости от учитываемых критериев эффективности решения задачи, поэтому распределяется произвольно заданный объем УВ равный 100 МВт безотносительно к необходимой величине разгрузки данного сечения.

В рамках второго примера, показано, как одинаковое решение задачи ликвидации перегрузки в сечении Камала-Красноярская (на запад) может быть обеспечено с разной эффективностью в зависимости от применяемого подхода. Сравняются между собой формализованный подход, который был применен диспетчером в конкретной схемно-режимной ситуации и предлагаемый подход.

Для получения количественного референсного результата, относительно которого оценивалась эффективность предлагаемого в работе решения, был выполнен расчет установившихся режимов, в котором согласно формализованному подходу был распределен объем УВ, заданный диспетчером для реальной схемно-режимной ситуации, где наблюдалось превышение перетока в сечении Камала-Красноярская.

Эксперименты проводились в программном комплексе RastrWin3.

В обоих экспериментах распределение УВ, согласно существующему подходу, было выполнено с учетом:

1. Перечня влияющих ГОУ согласно приложению 9 ПУР и наличия резервов.
2. Списка ГОУ согласно РЖТ для рассматриваемого часа.

Альтернативный подход к распределению УВ был реализован в трех вариантах, в каждом из которых алгоритм распределения УВ учитывал определенный набор критериев.

Алгоритм 1 демонстрирует возможность улучшения существующего подхода за счет расчета коэффициента эффективности для текущей схемно-режимной ситуации. Алгоритм распределения УВ на ГОУ, согласно рассчитанному коэффициенту эффективности регулирования перетока в КС состоит в следующем:

1. Выбор диспетчером всех ГОУ в дефицитной части энергосистемы, оказывающих влияние на переток в КС и имеющих резерв.
2. Расчет коэффициента эффективности (отличие от существующего подхода заключается в учете текущей схемно-режимной ситуации, а значит учитывается фактическое сочетание влияющих факторов).
3. Сортировка списка ГОУ по коэффициенту эффективности.

Расчет коэффициента эффективности $k_{эф КС}$ выполняется согласно формулам, приведенным в ПУР. в общем виде коэффициент эффективности отражает влияние изменения загрузки ГОУ на переток в КС, согласно формуле 1

$$k_{эф КС} = \frac{\Delta P_{КС}}{\Delta P_{ГОУ}}, \quad (1)$$

где $k_{эф КС}$ – коэффициент эффективности ГОУ в контролируемом сечении, $\Delta P_{КС}$ – величина изменения перетока в КС, $\Delta P_{ГОУ}$ – величина изменения мощности ГОУ.

Алгоритм 2 демонстрирует возможность улучшения существующего подхода за счет дополнительного учета удельной стоимости изменения перетока в сечении участвующими в регулировании ГОУ:

Шаги 1-2 аналогично алгоритму 1.

3. Расчет удельной стоимости изменения перетока в сечении каждым ГОУ по формуле (2)

$$C_{уд} = \frac{ЦЗ_{ГОУ}}{k_{эф КС}}, \quad (2)$$

где $C_{уд}$ – удельная стоимость изменения перетока в КС групповым объектом управления, по РЖТ, $ЦЗ_{ГОУ}$ – Ценовая заявка группового объекта управления на балансирующем рынке (БР), $k_{эф КС}$ – коэффициент эффективности.

4. Сортировка списка ГОУ по удельной стоимости.

Алгоритм 3 демонстрирует возможности улучшения существующего

подхода за счет учета влияния ГОУ на перетоки в смежных сечениях и включает следующие шаги:

- Шаги 1-4 согласно алгоритму 2.
5. Оценка влияния на перетоки в смежных сечениях выполняется аналогично (1).
 6. Исключение из списка, полученного на шаге 4, ГОУ, имеющих высокую степень влияния на перетоки в смежных сечениях (из списка исключается все ГОУ, у которых коэффициент эффективности для смежных сечений больше некоторой заранее определенной величины. В расчётных экспериментах, результаты которых представлены далее, пороговое значение коэффициента принято равным 0,2, в соответствии с рекомендацией в ПУР).

В рамках второго эксперимента также решалась задача расчета минимального объема УВ для изменения перетока в КС на требуемую величину (3).

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P_{ГОУ} = \sum_j^n \Delta P_{ГОУ j} \rightarrow \min \\ \sum_j^n \Delta P_{ГОУ j} \cdot k_{эф КС j} = \Delta P_{КС} \end{array} \right\}, \quad (3)$$

где $\Delta P_{ГОУ}$ – рассчитываемый объем УВ, j – конкретный ГОУ, n – всего рассматриваемых ГОУ,

Вычислительный эксперимент

В таблице I представлены результаты эксперимента по оценке возможности повышения эффективности УВ на ГОУ в зависимости от учитываемых критериев. Показателем оценки режимной эффективности является суммарный коэффициент эффективности, найденный по формуле (1). Стоимость регулирования была оценена согласно заявкам БР. В качестве смежного сечения рассматривалось сечение Кузбасс-Запад. В реальной схемно-режимной ситуации все смежные сечения имеют большой запас по пропускной способности, поэтому в рассматриваемом примере данное сечение выбрано в целях демонстрации возможности учета соответствующего критерия.

Таблица 1. Сравнение результатов распределения УВ в первом эксперименте

Показатели	Алгоритм по НТД	Алгоритм 1	Алгоритм 2	Алгоритм 3
$k_{эф КС сум}$	0,67	0,69	0,68	0,63
Стоимость	355481	830375	215000	610520

регулирования, руб.				
Изменение перетока (в КС) Камала – Красноярская на запад ($\Delta P_{КС}$), МВт	66,9	69,3	67,7	62,8
Изменение перетока в смежном сечении Кузбасс – Запад, МВт	-48,2	-52,9	-61,6	-9,4

Результаты расчетов в таблице I показывают, что распределение УВ по алгоритму 1 обеспечивает большее снижение перетока в КС, однако увеличивается стоимость регулирования. Алгоритм 2 обеспечивает выбор наиболее экономичных УВ с повышением степени разгрузки КС в сравнении с референсным результатом. По величине изменения перетока в смежном сечении видно, что алгоритм 3 обеспечивает снижение влияния на смежные сечения, однако, при этом увеличивается стоимость регулирования и снижается эффективность регулирования перетока в КС. Увеличение порогового значения коэффициента эффективности для смежных сечений приведет к уменьшению числа исключенных из списка ГОУ, что может сделать распределение УВ более экономичным и увеличить эффективность регулирования перетока в КС. Видно, что предложенные варианты алгоритма позволяют снизить переток в КС на большую величину относительного референсного расчета при одинаковом объеме распределяемых УВ. Так как в реальной ситуации диспетчеру необходимо изменить переток на заданную величину, появляется возможность уменьшить суммарный объем УВ, снижая тем самым затраты на регулирование.

В таблице II представлены результаты второго эксперимента. Объем УВ для предлагаемого (второго варианта) алгоритма был рассчитан на основании необходимого изменения перетока в сечении Камала-Красноярская, составляющего 255 МВт. Так как переток по смежным сечениям был значительно ниже МДП, то критерий учета изменения перетока в смежных сечениях не применялся.

Сравнивая результаты распределения УВ, можно отметить, что УВ в предлагаемом алгоритме были распределены на более влияющие ГОУ. Это следует из сниженного объема УВ, при одинаковой величине разгрузки КС. Помимо снижения стоимости регулирования дополнительным эффектом выбора более влияющих ГОУ является уменьшение времени реализации команд в связи с уменьшением суммарного объема УВ, которое может быть оценено на основе информации о маневренности ГОУ.

Таблица 2. Сравнение результатов распределения УВ во втором эксперименте

Критерии оценки результатов	Реализованные на практике УВ	Теоретически возможные УВ
Размер УВ $\Delta P_{\text{ГОУ}}$, МВт	372	329
Разгрузка КС $\Delta P_{\text{КС}}$, МВт	255	255
Стоимость регулирования, Руб.	2 219 647	1 866 701
Время реализации команд, мин.	90	70

Результаты исследования

Основные выводы по результатам исследования, следующие:

1. Расчет коэффициента эффективности для текущей схемно-режимной ситуации позволяет выбирать ГОУ, оказывающие больший режимный эффект.
2. Расчет показателя удельной стоимости изменения перетока в контролируемом сечении позволяет распределять УВ на ГОУ одновременно с учетом критериев режимной и экономической эффективности.
3. Учет дополнительного критерия минимизации изменений перетоков в смежных сечениях возможен, но целесообразен лишь в случае возникновения соответствующих рисков.
4. На основе предложенных критериев и алгоритмов может быть формализована задача оптимизации, решение которой позволит оценить УВ с учетом иных дополнительных критериев.

В дальнейшей работе будет выполнена автоматизация предложенного подхода.

Список литературы

1. Приказ министерства энергетики Российской Федерации "Правила предотвращения развития и ликвидации нарушений нормального режима электрической части энергосистем и объектов электроэнергетики" от 12 июля 2018 г. № 548 (в ред. приказа Минэнерго России от 13.02.2019 N 99)
2. Правила технологического функционирования электроэнергетических систем. Утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 13 августа 2018 года № 937 (ред. от 30.12.2022)
3. Порядок АО «СО ЕЭС» «Порядок отдачи и регистрации стандартных документируемых диспетчерских команд, распоряжений, разрешений и сообщений, используемых диспетчерским персоналом АО «СО ЕЭС» и его филиалов при управлении режимами работы объектов генерации участников оптового рынка и внешними перетоками» от 1 июля 2021 г.