



М. А. Меленцов



А. А. Меленцов

DOI: 10.34831/EP.2024.78.80.004  
УДК 621.311

## Характеристика относительных приростов затрат — ключевой инструмент эффективной работы на рынке электроэнергии и мощности

МЕЛЕНЦОВ М. А.; [m.melentsov@servicemodel.ru](mailto:m.melentsov@servicemodel.ru)  
МЕЛЕНЦОВ А. А.; [a.melentsov@servicemodel.ru](mailto:a.melentsov@servicemodel.ru)  
ООО «Сервис-модель»  
620144, г. Екатеринбург, ул. Фрунзе, 96, оф. 201

Статья посвящена вопросам, связанным с построением и практическим использованием характеристики относительных приростов затрат для тепловых электростанций. Приведены необходимые определения и описание математического аппарата для построения и использования характеристики относительных приростов затрат. Описаны ключевые задачи, наилучшее решение которых обеспечивается при использовании характеристики относительных приростов затрат. Приведён анализ существующих практик решения задач (без использования характеристик относительных приростов затрат), проанализирован размер убытков (недополученной прибыли), возникающих при неиспользовании характеристики относительных приростов затрат. Приведена методика проверки качества характеристики относительных приростов затрат.

**Ключевые слова:** экономический эффект, оптимальный, характеристика, относительный прирост, характеристика относительных приростов, график, заявка.

Проекты по цифровизации ТЭС, реализуемые в генерирующих компаниях, призваны комплексно повысить эффективность управления режимами работы оборудования. Важным фактором, обеспечивающим экономический эффект, является экономическая оптимизация. Под экономической оптимизацией здесь понимается отыскание наилучшей стратегии работы ТЭС с точки зрения заключения договоров на продажу энергии, подачи заявок на рынок на сутки вперёд (РСВ) и балансирующем рынке (БР).

В статье рассмотрены ключевые инструменты, необходимые для экономической оптимизации, — характеристика относительных приростов (ХОП) и характеристика относительных приростов затрат (ХОПЗ).

Авторы ставят следующие задачи.

- Дать определение ХОП и ХОПЗ, пояснить физический смысл данных характеристик, привести примеры их ис-

пользования для решения различных задач.

- Описать причины, приводящие к тому, что механизмы ХОПЗ не используются в энергетике для решения практических задач, представить рекомендации для изменения ситуации.

- Привести методику, позволяющую оценить качество построения ХОПЗ в программном обеспечении (ПО), предназначенном для решения задач экономической оптимизации.

### Термины и определения

Энергетический режим — любое допустимое сочетание параметров оборудования ТЭС.

Расчётная модель ТЭС — набор теплотехнических алгоритмов для расчёта нормативных затрат на расходуемые энергоресурсы. Расчётная модель ТЭС формируется на основе НТД по топливоиспользованию и энергетических характеристик оборудования.

### ХОП агрегата и относительный прирост

Понятие ХОП может быть определено для любого агрегата или группы агрегатов, потребляющих энергоресурсы и производящих полезную продукцию.

Рассмотрим функцию, отображающую зависимость объёма потребляемых энергоресурсов от объёма производимой полезной продукции. График производной данной функции называется ХОП. Физический смысл ХОП — количество расходуемых энергоресурсов на производство следующей единицы продукции.

Расчётная модель ТЭС описывает режимы работы основного оборудования, обеспечивает расчёт расходуемых энергоресурсов для любых допустимых объёмов производимой продукции, по-

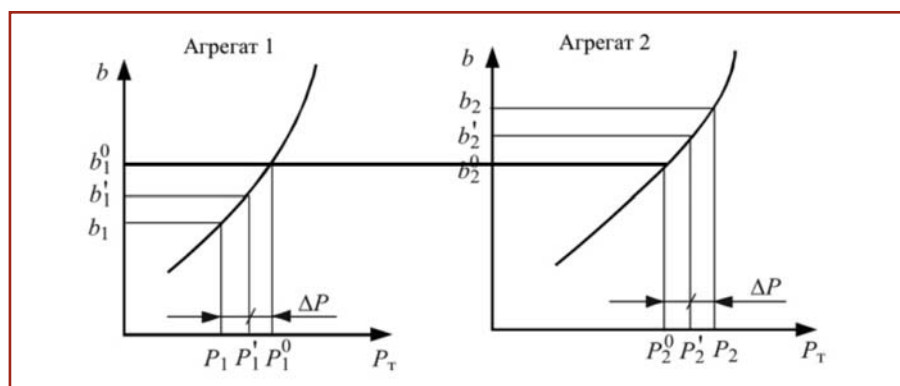


Рис. 1. Оптимальная загрузка двух агрегатов

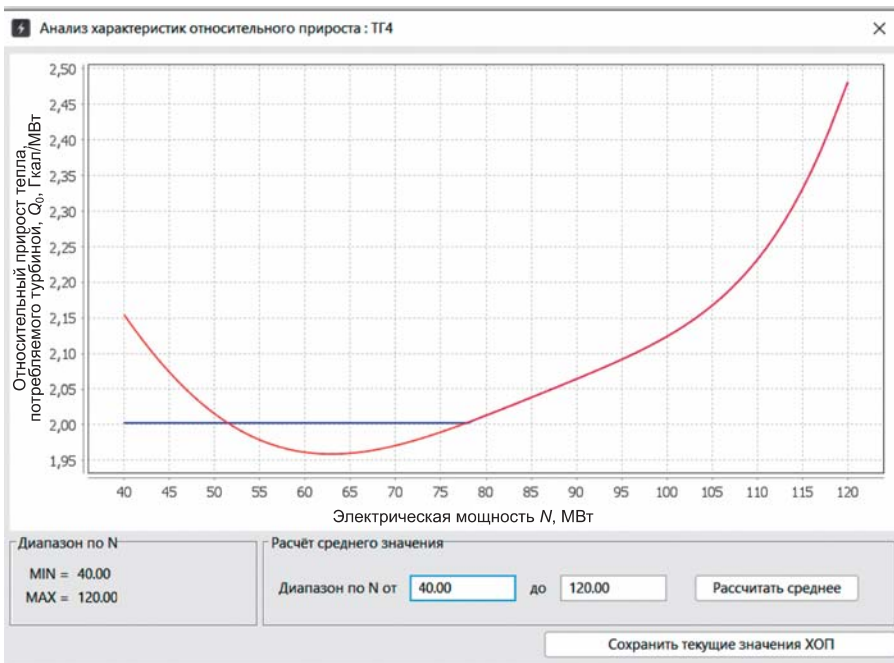


Рис. 2. ХОП агрегата с участком немонотонности

этому на основе расчётной модели ТЭС могут быть построены ХОП всех агрегатов, входящих в состав ТЭС.

Затраты энергоресурсов при минимальной нагрузке агрегата и ХОП агрегата полностью описывают экономичность агрегата в его рабочем диапазоне: затраты энергоресурсов при заданной нагрузке могут быть рассчитаны как сумма затрат при минимальной нагрузке и интеграла ХОП в пределах от минимальной до заданной нагрузки.

Относительный прирост (ОП) — значение функции ХОП, соответствующее конкретному объёму произведённой продукции (выработке).

### ХОП группы агрегатов, принцип равенства относительных приростов

ХОП группы агрегатов, потребляющих и производящих одинаковые виды энергии, строится по принципу равенства относительных приростов [1, стр. 36]: при монотонном неубывании ХОП всех агрегатов минимум потребления для группы агрегатов при производстве заданного объёма энергии достигается при условии равенства ОП всех агрегатов, не достигших ограничений по минимальной или максимальной нагрузке.

Проиллюстрируем принцип равенства ОП на примере двух агрегатов (рис. 1).

Пусть агрегаты несут суммарную нагрузку  $P_1^0 + P_2^0$ . Покажем, что затраты минимальны, когда агрегаты несут нагрузки  $P_1^0$  и  $P_2^0$ , соответствующие одинаковому значению ОП  $b_1^0 = b_2^0$ . Если из-

менить разнонаправленно нагрузки агрегатов на одинаковую величину  $\Delta P$ , то суммарная нагрузка при этом не изменится. Очевидно, что уменьшение нагрузки первого агрегата приведёт к снижению затрат на величину  $\Delta P b_1'$ , где  $b_1'$  — средний ОП на отрезке  $[P_1, P_1^0]$ ,  $b_1' < b_1^0$ , а увеличение нагрузки второго агрегата приведёт к увеличению затрат на величину  $\Delta P b_2'$ , где  $b_2'$  — средний ОП на отрезке  $[P_2^0, P_2]$ ,  $b_2' > b_1^0$ . Получается, что суммарные затраты увеличатся на величину  $\Delta P(b_2' - b_1') > 0$ , чем доказывается исходное утверждение.

Рассмотрим процесс построения ХОП группы агрегатов.

Рабочий диапазон группы агрегатов равен сумме рабочих диапазонов агрегатов.

Допустим, что ХОП всех агрегатов имеют монотонно неубывающий вид. Тогда для построения ХОП группы агрегатов можно воспользоваться следующим алгоритмом. Начиная от минимальных нагрузок агрегатов, будем догружать на единицу мощности агрегат, имеющий минимальный ОП для текущей суммарной нагрузки группы агрегатов, т. е. при построении ХОП группы агрегатов нагрузки агрегатов формируются, исходя из условия равенства относительных приростов агрегатов, не достигших пределов рабочего диапазона. Соблюдение принципа равенства относительных приростов обеспечивает оптимальную загрузку группы агрегатов.

На практике ХОП агрегатов могут иметь участки немонотонности. В этом случае при использовании принципа

равенства относительных приростов на участках немонотонности значения ОП следует заменить постоянным значением, равным среднему значению ОП на участке немонотонности (рис. 2). Исходная ХОП агрегата — это график красного цвета, синий график — эквивалентная ХОП, у которой участки немонотонности заменены участками с постоянным значением характеристики. Использование эквивалентных ХОП позволяет определить агрегат, который следует загружать на единицу мощности. При построении ХОП группы агрегатов после выбора агрегата для загрузки на единицу мощности в качестве текущего ОП группы агрегатов нужно брать текущее значение ОП с исходной ХОП агрегата (значение с красного графика).

Если энергия, производимая одной группой агрегатов, потребляется другой группой агрегатов, то для этих групп агрегатов ХОП строится как сложная функция (композиция) ХОП этих групп агрегатов. Рассмотрим ТЭС с поперечными связями, где имеется группа энергетических котлов, которая обеспечивает пар для группы турбин. Для построения ХОП группы всех агрегатов станции должны быть построены ХОП для группы котлов, ХОП для группы турбин и итоговая ХОП, которая представляет собой композицию (сложную функцию) «котельной» и «турбинной» ХОП.

### ХОПЗ

ХОПЗ — понятие, применимое для ТЭС и генераторной группы (ГГ). ХОПЗ — это частный случай ХОП, в котором затраты используемых ресурсов оцениваются в денежном эквиваленте. ХОПЗ формируется как ХОП всех групп агрегатов, входящих в состав ТЭС или ГГ. При построении ХОПЗ в роли расходного энергоресурса рассматриваются денежные затраты на сжигаемое топливо или расходующие станцией энергоресурсы. В затраты может быть включена не только стоимость потребляемого топлива, но и плата за воду, энергию на собственные нужды, штрафы за выбросы и т. п.

Если ТЭС производит несколько видов энергии (электроэнергия, производственная и теплофикационная тепловая энергия), то ХОПЗ является функцией нескольких переменных.

Физический смысл ХОПЗ — график затрат на производство следующего 1 МВт электроэнергии или 1 Гкал тепла.

ХОПЗ — наиболее точный инструмент, описывающий экономичность ТЭС. Интеграл от графика ХОПЗ равен

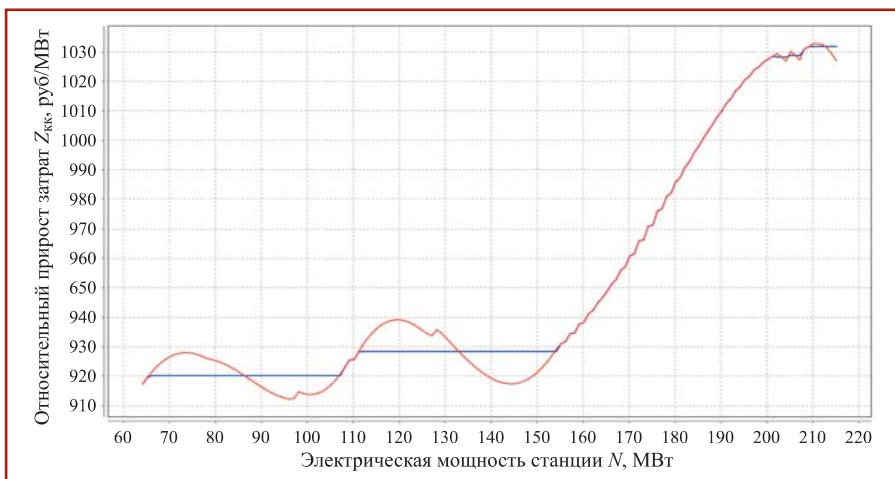


Рис. 3. Пример ХОПЗ

значению затрат на производство дополнительного объёма энергии в рабочем диапазоне. Термин «дополнительный объём» использован, чтобы подчеркнуть, что в него не входит объём энергии, производимый при минимальной нагрузке. Из физического смысла ХОПЗ следует, что затраты на минимальной нагрузке не могут быть рассчитаны с использованием ХОПЗ. Эти затраты — дополнительная информация, характеризующая энергетический режим, она рассчитывается с использова-

нием энергетических характеристик оборудования.

Для тепловых электростанций ХОПЗ имеет кусочно-непрерывный, кусочно-гладкий глобально возрастающий вид (рис. 3).

Непрерывность и гладкость графика ХОПЗ могут нарушаться при тех нагрузках, при которых происходит изменение состава включённого оборудования или качественно меняется режим работы оборудования. Глобально возрастающий вид ХОПЗ означает, что в целом при работе в конденсационном диапа-

зоне происходит удорожание производства электроэнергии ближе к концу конденсационного диапазона.

Для выполнения экономических расчётов любая ТЭС может быть представлена как чёрный ящик, на вход которого подаются расходуемые энергоресурсы, а на выходе получаем производимую тепловую и электрическую энергию. Для заданного энергетического режима экономические характеристики такого «ящика» полностью описываются удельными расходами при минимальной нагрузке и ХОПЗ.

### Способы построения ХОПЗ для решения различных задач

Можно говорить, что ХОПЗ строится (и зависит) от заданного энергетического режима, в котором фиксируются параметры, не зависящие от нагрузок. При построении ХОПЗ нагрузки агрегатов изменяются в пределах рабочих диапазонов, при этом технико-экономические параметры, зависящие от нагрузок, и, в конечном счёте, затраты на расходуемые энергоресурсы пересчитываются. Очевидно, что соответствие между режимами и ХОПЗ не взаимно однозначное. Одному режиму для выбранного способа построения (о способах построения рассказывается далее)



Рис. 4. Пример ХОПЗ

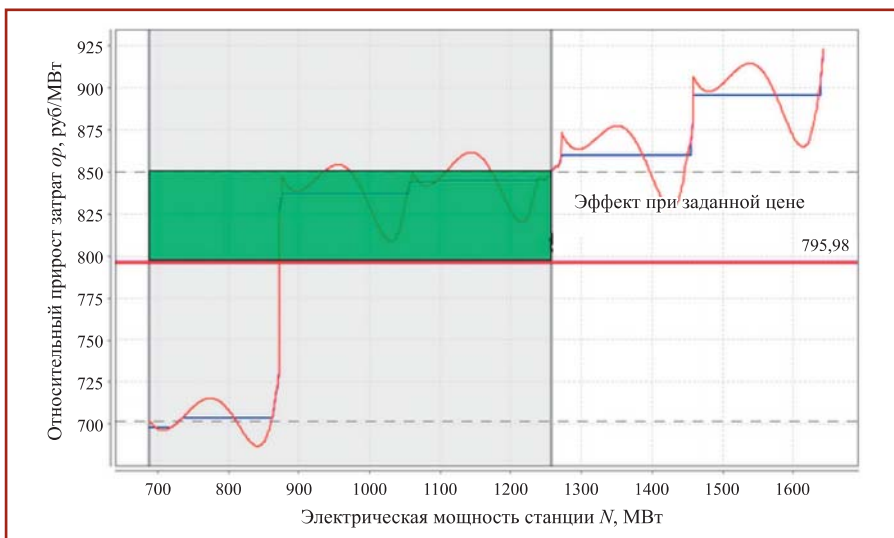


Рис. 5. Эффект от продажи электроэнергии

соответствует одна ХОПЗ, при этом одна и та же ХОПЗ строится для всех режимов, которые могут быть получены из исходного режима при изменении нагрузок и состояний агрегатов, которые варьируются при построении ХОПЗ.

Вид ХОПЗ зависит от набора варьируемых параметров при её построении. Под варьируемыми параметрами понимаем те параметры, значения которых можно независимо выбирать при изменении мощности в пределах рабочего диапазона. При решении различных оптимизационных задач формируются различные ХОПЗ за счёт использования различных наборов варьируемых параметров. На рис. 4 представлены графики ХОПЗ для одного режима, построенные за счёт варьирования различных наборов параметров.

Если решаются задачи среднесрочного планирования, то варьировать можно состав оборудования, тепловые и электрические нагрузки агрегатов. ХОПЗ строится при условии достижения суммарной электрической нагрузки ТЭС оптимальным образом (с наименьшими затратами) за счёт варьирования состава оборудования и нагрузок агрегатов. Это зелёный график (окончание совпадает с синим) — рис. 4.

Для формирования заявки на РСВ следует использовать ХОПЗ, рассчитанные для каждого из режимов, запланированных на следующие сутки. Здесь под режимом понимается состав оборудования и нагрузки для ТЭС (ГТ). При построении ХОПЗ должны учитываться интегральные ограничения в пределах суток. ХОПЗ строится при условии достижения суммарной электрической нагрузки ТЭС оптимальным образом за счёт варьирования нагрузок агрегатов. Это синий график (см. рис. 4).

Для оперативных расчётов следует использовать ХОПЗ, построенную при условии достижения суммарной электрической нагрузки ТЭС (ГТ) оптимальным образом за счёт варьирования только электрических нагрузок турбин, так как тепловые нагрузки турбин не меняются часто в процессе ведения режима. Это красный график (см. рис. 4).

#### Оценка эффекта от продажи объёмов электроэнергии

Эффект от продажи дополнительного конденсационного объёма электроэнергии (рис. 5) вычисляется следующим образом:

$$\Delta \mathcal{E} = C_{\text{пр}} V - Z_{\text{т}},$$

где  $C_{\text{пр}}$  — цена продажи;  $V$  — проданный объём электроэнергии;  $Z_{\text{т}}$  — себестоимость проданного объёма по топливной составляющей, рассчитанная как интеграл от ХОПЗ по объёму  $V$ .

Предположим, что ХОПЗ имеет монотонно возрастающий вид. В этом случае очевидно, что пересечение  $C_{\text{пр}}$  с графиком ХОПЗ определяет объём электроэнергии, при котором достигается максимальный эффект от продажи. Увеличение найденного объёма на 1 МВт будет убыточным, так как себестоимость производства этого дополнительного мегаватта превысит цену его продажи, а уменьшение объёма — приведёт к недополученной прибыли.

Чтобы решать задачу максимизации прибыли на практике, локальные интервалы немонотонности ХОПЗ следует заменять интервалами с постоянными значениями характеристики, равными среднему на интервале (синий график на рис. 5). При таком подходе объём энергии, соответствующий участку немонотонности, будет продаваться целиком, так как каждый его мегаватт имеет

одинаковую цену. Решение о продаже только части объёма, соответствующего участку немонотонности, заведомо не оптимальное, так как мощность в начале участка имеет себестоимость больше, чем в конце. Очевидно, что при продаже объёма целиком для расчётов имеет значение только средняя себестоимость, и замена правомочна.

#### Расчёт заявки для рынка на сутки вперёд (РСВ)

При построении оптимальной заявки на РСВ возникает характерная ситуация, когда есть набор различных энергетических режимов, описывающих предстоящие сутки, которым соответствуют различные ХОПЗ. При этом цены продажи для каждого режима разные, но необходимо определить единый наиболее оптимальный объём продажи для всех режимов. В соответствии с регламентом подачи ценовых заявок участниками оптового рынка (ОРЭМ) [2, п. 3.2.2, пп. 14] число различных значений цены во всех парах цена — количество не должно превышать трёх во всей ценовой заявке, и в результате подаётся одна заявка на РСВ, включающая три ценовых «ступени» (одинаковые для всех часов).

В такой ситуации, если принимается решение о производстве и продаже дополнительного объёма электроэнергии  $\Delta V$ , этот объём будет произведён для всех режимов из суточного набора. Затраты на производство дополнительного объёма электроэнергии для суточного набора режимов могут быть рассчитаны как сумма затрат на производство  $\Delta V$  в каждом режиме, т. е. для набора режимов можно рассмотреть график ХОПЗ, который является суммой графиков ХОПЗ всех режимов.

Общая выручка от продажи дополнительного объёма для набора режимов, очевидно, равна сумме цен продаж, умноженной на  $\Delta V$ . Из этих рассуждений следует утверждение:

**наиболее выгодный объём для заявки на РСВ определяется как точка пересечения суммарной по всем часам суток ХОПЗ с суммой часовых цен продажи.**

Из данного утверждения вытекает важное следствие. Оптимальная заявка на РСВ не зависит от распределения цен покупки электроэнергии по часам, а зависит только от среднесуточной цены. Действующий рыночный механизм не позволяет производителям электроэнергии оптимально отрабатывать суточные колебания графика нагрузок.

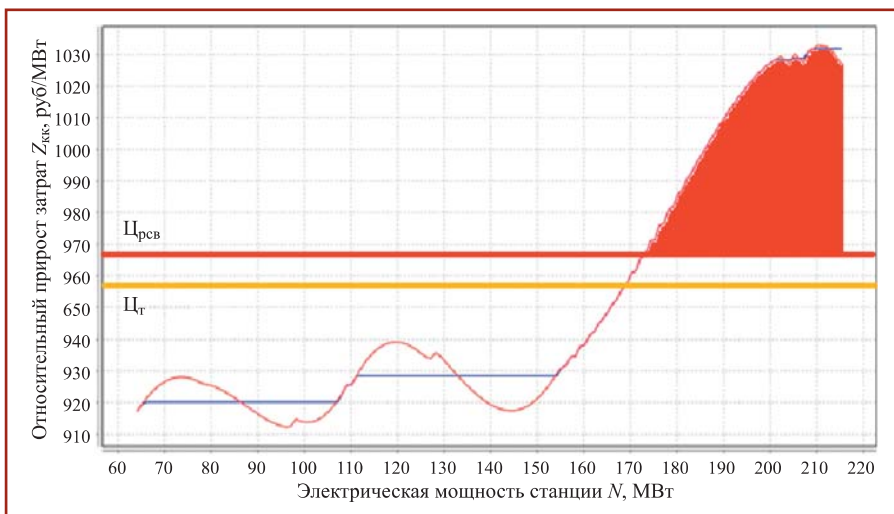


Рис. 6. Ущерб от использования средней себестоимости вместо ХОПЗ

### О практическом применении ХОПЗ. Общее положение дел

Несмотря на то, что теория использования ХОПЗ проработана детально в [1], на сегодняшний день ХОПЗ практически не применяются при выполнении экономических расчётов. Это объясняется следующими обстоятельствами:

- отсутствие ПО, позволяющего рассчитывать ХОПЗ для заданного энергетического режима;
- непригодность для использования на практике ХОПЗ, построенной на основании нормативных расчётов (расчётов, выполненных на основании нормативной документации по топливоиспользованию)<sup>1</sup>.

Отсутствие актуальных ХОПЗ приводит к необходимости решать экономические задачи, используя среднюю топливную составляющую себестоимости в конденсационном диапазоне (далее «средняя себестоимость»), рассчитываемую из фактических удельных затрат на производство электрической энергии.

### О наличии ПО, обеспечивающего достоверную ХОПЗ

На рынке отечественного ПО имеется информационная система, позволяющая оперировать ХОПЗ, в противовес использованию приближённых оценок. Она обеспечивает построение ХОПЗ для любого заданного энергетического режима на основании расчётной модели ТЭС. Качество ХОПЗ обес-

<sup>1</sup> Непригодность для использования на практике ХОПЗ, построенной на основании нормативных расчётов, объясняется тем обстоятельством, что фактическое состояние оборудования, как правило, значительно отличается от его нормативных характеристик, зафиксированных в НТД.

печено за счёт соответствия расчётной модели ТЭС фактическому состоянию оборудования, что приводит к точному расчёту затрат на расходующиеся энергоресурсы для произвольного энергетического режима. Данный результат достигается путём автоматизированного расчёта уточняющих поправок к нормативным характеристикам оборудования на основании данных о фактических энергетических режимах его работы. Расчёт поправок выполняется по запросу технолога. Такой подход позволяет технологу своими силами проводить периодическое уточнение расчётной модели ТЭС по фактическим данным.

### Анализ недополученного эффекта при использовании средней себестоимости

Проанализируем степень отрицательного влияния использования средней себестоимости вместо ХОПЗ.

На рис. 6 приведена иллюстрация использования средней себестоимости вместо ХОПЗ.

Если цена РСВ находится за пределами ценового диапазона ХОПЗ, то использование средней себестоимости не влияет на результат.

Для электростанций, себестоимость производства электроэнергии которых близка к цене РСВ (станции, себестоимость которых близка к точке пересечения кривых спроса и предложения), характерной является ситуация, когда цена РСВ находится в ценовом диапазоне ХОПЗ (на рис. 6 это ценовой диапазон от 912 до 1033 руб./МВтч). В этом случае неизбежен отрицательный эффект от использования средней себестоимости при формировании заявки. На рисунке приведён пример, когда средняя себестоимость  $C_r$  ниже цены РСВ ( $C_{рсв}$ ), поэтому имеет место прода-

жа электроэнергии, и загрузка ТЭС максимальна. В результате возникает ущерб (область, закрашенная красным цветом).

В случае, когда цена РСВ меньше средней себестоимости, ущерб возникает вследствие работы на минимуме: не обеспечивается производство прибыльного объёма электроэнергии от минимума до точки пересечения графиков ХОПЗ и  $C_{рсв}$ .

Размер ущерба зависит от уровня цен РСВ и вида ХОПЗ. Для случаев, аналогичных примеру, приведённому на рис. 6, ущерб может составлять несколько десятков процентов прибыли от продажи электроэнергии на РСВ, что более чем существенно.

### Методика проверки ХОПЗ

Предположим, что имеется ПО, декларирующее расчёт ХОПЗ. Перед компанией — потенциальным пользователем данного ПО стоит задача проверки корректности его работы и достоверности ХОПЗ, рассчитываемой данным ПО.

Для проверки ХОПЗ можно применить два подхода:

- проверка по данным за прошедшие периоды;
- проверка в ходе натурных испытаний.

Для проверки по данным за прошедшие периоды необходимо выбрать набор качественно различных тестовых режимов. Для каждого режима строится ХОПЗ. Для проверки правильности ХОПЗ следует воспользоваться тем, что интеграл от графика ХОПЗ по произвольному объёму производимой электроэнергии в рабочем диапазоне должен быть равен затратам на производство этого объёма энергии.

Для проверки ХОПЗ тестового режима выбирается несколько объёмов производимой электроэнергии из конденсационного диапазона. В соответствии со способом построения ХОПЗ (см. «Способы построения ХОПЗ») проводится расчёт оптимальных режимов для суммарных электрических нагрузок ТЭС или ГГ, соответствующих границам выбранных объёмов производства электроэнергии. Далее вычисляется разница модельных затрат<sup>2</sup> в оптимальных режимах для правой и левой границы диапазона. Разница модельных затрат должна совпадать с интегралом от ХОПЗ по выбранному объёму производимой электроэнергии.

<sup>2</sup> Расчётная модель ТЭС должна обеспечивать расчёт модельных затрат для любого энергетического режима.

Для случая натуральных испытаний изложу методику пошагово:

Должны быть выполнены определённые *начальные условия*.

• Исследуемое ПО развёрнуто на ТЭС и находится в промышленной эксплуатации.

• Имеется инструментарий для оптимального ведения фактического режима. При ведении оптимального режима используется тот же модельный расход топлива, что и при построении ХОПЗ.

Испытания должны проводиться в следующей последовательности.

1. Определяется контрольный период, в течение которого будут выполняться испытания. Готовится нормативный документ, который:

а) фиксирует сроки проведения испытаний;

б) на время проведения испытаний вменяет в обязанности персоналу ТЭС обеспечить ведение режима на основании оптимальной рекомендации, формируемой ПО.

2. В течение контрольного периода работа ведётся в соответствии с требованиями нормативного документа.

3. На сформированном наборе оптимально-фактических режимов<sup>3</sup> проводится проверка ХОПЗ:

а) фиксируются случаи изменения суммарной электрической нагрузки

<sup>3</sup> Оптимально-фактический режим — фактический режим работы оборудования, получившийся в результате выполнения персоналом рекомендаций по оптимальному ведению

ТЭС или ГК в оптимально-фактическом режиме;

б) для случаев изменения суммарной электрической нагрузки после стабилизации режима рассчитывается разница фактических и модельных затрат;

в) для оптимально-фактических режимов рассчитываются ХОПЗ;

г) проверяется совпадение разницы модельных затрат с интегралом ХОПЗ по интервалу изменения нагрузки;

д) фиксируется значение отклонения разницы фактических затрат от интеграла ХОПЗ по интервалу изменения нагрузки.

4. Формируется отчёт о проведении испытаний, который включает следующую информацию:

а) о выполненных персоналом ТЭС оптимально-фактических режимах (включая модельный и фактический расход топлива);

б) о ХОПЗ, рассчитанных для случаев изменения суммарной электрической нагрузки;

в) обо всех отклонениях, выявленных в ходе проверок совпадения изменения модельного расхода с интегралом ХОПЗ (наличие существенных отклонений говорит о непригодности алгоритма построения ХОПЗ);

г) о средних значениях абсолютных отклонений разницы фактических затрат от интеграла ХОПЗ (уровень отклонений говорит о пригодности ХОПЗ для решения практических задач и необходимости уточнения расчётной модели, которая используется для построения ХОПЗ).

Методика натуральных испытаний для проверки ХОПЗ позволяет проводить

данные испытания одновременно с испытаниями по проверке оптимизационной модели и оптимизационного алгоритма (см. [3]).

### Выводы

1. Использование ХОПЗ при решении задач экономической оптимизации обеспечивает дополнительный экономический эффект.

2. Построение актуального ХОПЗ, соответствующего фактическому состоянию оборудования, возможно при условии уточнения нормативных энергетических характеристик оборудования на основе фактических ТЭП. На сегодняшний день на рынке представлено ПО, обеспечивающее построение ХОПЗ.

3. Качество ХОПЗ, формируемой конкретным ПО, может быть проверено с использованием приведённой методики.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горнштейн В. М. Методы оптимизации режимов энергосистем // В. М. Горнштейн, Б. П. Мирошниченко, А. В. Пономарев и др. — М.: Энергоиздат, 1981. — 336 с.

2. Регламент подачи ценовых заявок участниками оптового рынка (Приложение № 5 к Договору о присоединении к торговой системе оптового рынка). — М.: АО «СО ЕЭС», 2022. — 136 с.

3. Меленцов М. А., Меленцов А. А. О методиках подтверждения экономического эффекта оптимизации энергетических режимов тепловых электростанций // Энергетик. 2023. № 8. С. 25 – 28.

## Вышли в свет в 2023 году следующие выпуски «Библиотечки электротехника» — приложения к журналу «Энергетик»

№ 1. Шульга Р. Н., Хренников А. Ю. **Расчетные режимы, разработка и испытания высоковольтных выключателей для генераторов, трансформаторов, конденсаторных батарей.** Часть 2. Разработка выключателей

№ 2. Рабинович М. А., Моржин Ю. И., Потапенко С. П., Каковский, С. К., Девяткин М. В. **Модели реального времени в задачах оперативного управления ЭЭС.** Часть 1

№ 3. Рабинович М. А., Моржин Ю. И., Потапенко С. П., Каковский, С. К., Девяткин М. В. **Модели реального времени в задачах оперативного управления ЭЭС.** Часть 2

№ 4. Шульга Р. Н. **Специальные вопросы электрооборудования. Контроллеры и преобразователи.** Часть 1

№ 5. Захаров О. Г. **Блоки питания цифровых устройств релейной защиты. Испытания**

№ 6. Шульга Р. Н., Хренников А. Ю. **Расчетные режимы, разработка и испытания выключателей.** Часть 3. Испытания выключателей

№ 7. Перминов Э. М. **Российская ветроэнергетика. История. Состояние. Перспективы**

№ 8. Львов М. Ю., Лесив А. В. **Термоиндикаторный контроль контактов и контактных соединений электрооборудования и линий электропередачи**

№ 9. Кувшинов А. А., Вахнина В. В., Хренников А. Ю. **Передача в искусственном режиме натуральной мощности по ВЛ 6 – 110 кВ распределительных сетей.** Часть 1

№ 10–11. Беляев А. В., Юрганов А. А. **Электростанции малой энергетики. Релейная защита и автоматика.** Часть 1

№ 12. Гариевский М. В., Лазарев Г. Б., Хрусталев В. А. **Маневренность энергоблоков АЭС с частотно-регулируемыми электроприводами главных циркуляционных насосов. Проблемы и перспективы.** Часть 1