

УДК 620.9

DOI: 10.24160/1993-6982-2019-5-110-116

Общие подходы к формированию ценовых заявок для участия теплоэлектростанций на оптовом рынке электроэнергии

Д.А. Юпатов, Э.К. Аракелян

Рассмотрен вопрос планирования работы генерирующих компаний на оптовом рынке электроэнергии и мощности на этапе рынка на сутки вперед. Описана действующая модель оптового рынка и целевой функции модели оптимизации — минимизации стоимости производства электроэнергии по ценовым заявкам участников рынка с учетом покрытия необходимого потребления. Дано описание модели выхода генерирующей компании на рынок электроэнергии и мощности при заданном составе генерирующего оборудования и целевой функции модели — маржинальной прибыли генерирующей компании. Приведен алгоритм составления ценовой заявки. Для наглядности дан один из возможных вариантов составления ценовой заявки, основанной на характеристиках относительного прироста расхода топлива применительно к групповой точке генерации. Особое внимание уделено информатизации процесса и взаимодействию разных подразделений генерирующей компании в рамках решения задачи формирования и подачи ценовых заявок. Предложено создание централизованной информационной системы коммерческой диспетчеризации для решения задачи рынка на сутки вперед и специализированного программного обеспечения для выполнения подачи заявок.

Ключевые слова: рынок на сутки вперед, оптовый рынок электроэнергии и мощности, модель оптового рынка, генерирующая компания, коммерческая диспетчеризация, целевая функция модели оптимизации, ценовые заявки, информационная система.

Для цитирования: Юпатов Д.А., Аракелян Э.К. Общие подходы к формированию ценовых заявок для участия теплоэлектростанций на оптовом рынке электроэнергии // Вестник МЭИ. 2019. № 5. С. 110—116. DOI: 10.24160/1993-6982-2019-5-110-116.

General Approaches to Preparing Price Bids for Participation of Thermal Power Plants in the Wholesale Electricity Market

D.A. Yupatov, E.K. Arakelyan

The issue of planning the operation of generating companies in the wholesale market of electricity and power at the day ahead market stage is considered. The article describes the currently operating model of the wholesale market and the optimization model objective function aimed at minimizing the electricity production cost from the price bids of market participants with taking into account the need to cover the required consumption. The article also describes the model of a generating company's entering the market of electricity and power with the specified composition of generating equipment and the model's objective function representing the generating company's marginal profit. The algorithm of drawing up a price bid is given. For clarity, one possible version of drawing up a price bid based on the characteristics of relative fuel consumption increment as applied to a group generation point is given. Special attention is paid to providing information support for the process and to interaction of different departments of the generating company in the framework of solving the problem of drawing up and submitting price bids. It is proposed to set up a centralized information system of commercial dispatching for solving the problem of the day-ahead market and dedicated software for submission of bids.

Key words: day-ahead market, wholesale market of electricity and power, wholesale market model, generating company, commercial dispatching, optimization model objective function, price bids, information system.

For citation: Yupatov D.A., Arakelyan E.K. General Approaches to Preparing Price Bids for Participation of Thermal Power Plants in the Wholesale Electricity Market. Bulletin of MPEI. 2019;5:110—116. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2019-5-110-116.

Введение

Рынок на сутки вперед (РСВ) — одна из важнейших функций при планировании потребления и генерации в энергосистеме, а также ключевой фактор, влияющий на работу генерирующих компаний.

В настоящее время отбор ценовых заявок РСВ в России осуществляет Администратор торговой системы (АТС) — инфраструктурная организация оптового рынка, обеспечивающая организацию торговли на рынке электроэнергии.

Отбор конкурентных заявок на рынок на сутки вперед выполняется централизованно с использованием математической модели РСВ. Порядок процедуры, це-

левая функция и используемые ограничения описаны в Приложении 7 к Договору о присоединении к торговой системе оптового рынка электроэнергии и мощности (ДОП).

Целевая функция модели оптимизации — минимизация стоимости производства электроэнергии по ценовым заявкам участников с учетом покрытия необходимого потребления. Детальное описание модели РСВ показано в приложениях к ДОП, а информация по результатам РСВ на сайте АТС [1].

Основными параметрами, используемыми при решении задачи РСВ, являются объемы вырабатываемой/покупаемой электроэнергии, заявляемые ежедневно участниками рынка.

Генерирующие компании (ГК) — при отборе РСВ участники рынка формируют заявки, включающие в себя цену за выработку электроэнергии в соответствующих объемах. Потребители формируют заявки, включающие в себя цену за потребление электроэнергии в запрашиваемых объемах.

С целью покрытия планируемого уровня потребления электроэнергии, снижения цены электроэнергии и учета надежности энергоснабжения потребителей АТС отбирает ценовые заявки на РСВ, при этом заявленная при выборе состава включенного генерирующего оборудования (ВСВГО) стоимость отпуска электрической энергии является верхним ограничением на заявки, подаваемые генерирующей компанией на РСВ, т. е. ГК не может подавать в РСВ цены выше заявленных в ВСВГО.

До подачи заявок РСВ участникам рынка ГК могут актуализировать данные о составе и состоянии генерирующего оборудования (макет о состоянии и параметрах оборудования для каждой электростанции) [2].

Описание модели рынка на сутки вперед

В задаче расчета узловых цен и объемов РСВ при заданном составе оборудования использован критерий максимизации функции благосостояния, отражающей общий выигрыш от участия в РСВ и задаваемой следующим образом [3]:

$$\sum_h \left\{ \begin{aligned} & \sum_{t \in h} \sum_c \sum_l c_{ct}^l P_{ct}(l) - \\ & - \sum_{g \in l} \sum_l c_{gh}^l \sum_{t \in h} P_{gt}(l) - \sum_{g \neq l} \sum_{t \in h} c_{gt}^l P_{gt}(l) \end{aligned} \right\} \rightarrow \max_{P_g(t), Q_g(t), P_{ct}(t), V_j^t, d_j^t},$$

где первый период ($h = 1$) содержит t от 1 до 10; второй ($h = 2$) — t от 11 до 24; l — индексы генераторов, подавших на РСВ ценовую заявку с признаком интегральной (для простоты по двум периодам).

Ограничения при решении задачи оптимизации.

Балансовые ограничения.

баланс активной и реактивной мощностей в узле j :

$$\begin{aligned} \sum_i p_{ij}^t + \sum_g P_{gt} - \sum_c P_{ct} &= 0; \\ \sum_i q_{ij}^t + \sum_g Q_{gt} - \sum_c Q_{ct}^{\max} &= 0. \end{aligned}$$

Ограничения потоков активной мощности по контролируемым сечениям:

$$p_{st}^{\min} \leq \sum_{(i,j) \in S} p_{ji}^t \leq p_{st}^{\max},$$

где S — контролируемые сечения, включая сечения поставки экспортно-импортных операций; i, j — узлы начала и конца ветви, в соответствии с заданным в расчетной модели.

Ограничения на пределы по напряжениям в узлах:

$$0,8V_j^{\text{НОМ}} \leq V_j^t \leq 1,3V_j^{\text{НОМ}}$$

для всех j, t при первом расчете;

$$0,5V_j^{\text{НОМ}} \leq V_j^t \leq 1,5V_j^{\text{НОМ}}$$

для всех j, t при повторном расчете.

Ограничения на производство и потребление активной мощности, исходя из выбранного состава оборудования:

$$\begin{aligned} P_{gt}^{\min} \leq P_{gt} \leq P_{gt}^{\max}; \\ 0 \leq P_{ct} \leq P_{ct}^{\text{bid}} \leq P_{ct}^{\max}. \end{aligned}$$

Ограничения на производство и потребление активной мощности, исходя из заявок участников:

$$0 < \sum_{t \in h} P_{gt}(l) \leq P_{gh}^{\text{bid}}(l)$$

для всех g, l и h (в зависимости от заявки g) — часового ($h = t$) или соответствующего интегрального ($t = 1...10$ или $11...24$, или $1...24$) периодов (подзаявок).

Ограничения на производство активной мощности, учитывающие скорость сброса/набора нагрузки:

$$P_{g(t-1)} - n_g^{\min} \leq P_{gt} \leq P_{g(t-1)} + n_g^{\max}$$

для всех g, t (полагая $t - 1 = 24$ предыдущих суток для $t = 1$).

Принципиальная схема процедуры РСВ приведена на рис. 1.

Методика и факторы для решения задачи рынка на сутки вперед в условиях информатизации

С учетом описанных в [4] общих правил рынка (фактора надежности и целевой функции для выбора состава оборудования), целевая функция для РСВ сохраняется с рядом упрощений.

Целевая функция модели — маржинальная прибыль ГК, т. е. необходимая загрузка отобранного оборудования, которая позволяет, работая на РСВ, получить максимальную прибыль и имеет вид:

$$\text{Max} \rightarrow \text{MR},$$

где MR — маржинальная прибыль от продажи выработанного объема электроэнергии.

В упрощенном виде формулу маржинальной прибыли можно представить в виде:

$$\text{MR} = \text{Выручка} - \text{Затраты} = \text{Э} \times \text{Ц}_{\text{РСВ}} - \text{В} \times \text{Ц}_{\text{топл}},$$

где Э — выработка электростанции (сюда попадает объем электроэнергии ценовых заявок, который соответствует условию по заявленной цене); $\text{Ц}_{\text{РСВ}}$ — цена на рынке на сутки вперед; В — расход топлива; $\text{Ц}_{\text{топл}}$ — цена топлива.

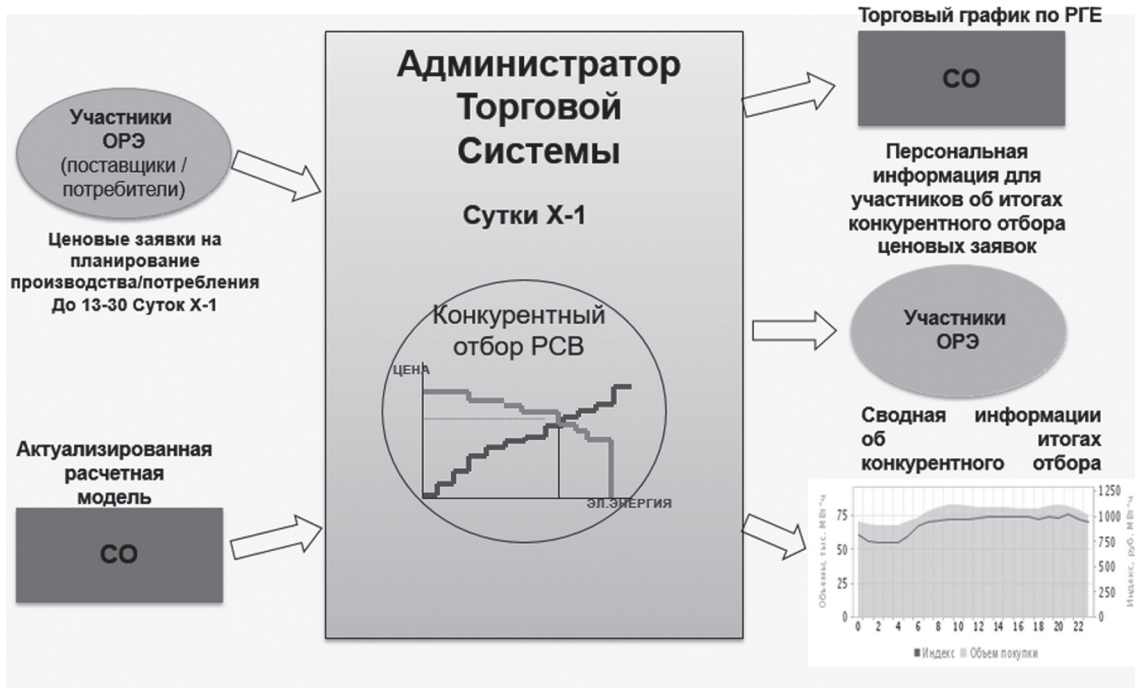


Рис. 1. Схема процедуры РСВ на ОРЭМ

Расход топлива электростанции выражается через зависимость от выработки электроэнергии и удельных расходов условного топлива:

$$B = \sum_{i=1}^{i=N} b_{\text{ЭЭ}i} \text{Э}_i,$$

где N — количество энергоблоков, находящихся в работе; $b_{\text{ЭЭ}}$ — удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии, зависящий от выработки электроэнергии, отпуска тепла и состава оборудования в работе.

Метод разнесения расхода топлива на выработку электроэнергии и отпуск тепла не имеет значения, поскольку под существующий метод разнесения для ГК защищены тарифы на отпуск тепла [5]. Таким образом, удельный расход условного топлива представляет собой зависимость, в общем виде описываемую следующим выражением:

$$b_{\text{ЭЭ}} = f(\text{Э}, Q, N, K),$$

где Q — отпуск тепла электростанции (задается прогнозно на основании диспетчерского графика теплосети в зависимости от прогноза погоды); K — прочие параметры, влияющие на удельный расход,

Выработка электроэнергии электростанции зависит, в свою очередь, от соотношения цены в заявках и цен, складывающихся на рынке под воздействием ряда факторов, влияющих на спрос и предложение:

$$\text{Э} = f(\text{Ц}_z, \text{Ц}_{\text{РСВ}}),$$

где Ц_z — цены в заявках, поданных на РСВ, в отношении ГТП электростанции (обоснованные затраты на

отпуск электроэнергии, включая рентабельность, не более 10%); $\text{Ц}_{\text{РСВ}}$ — цены, складывающиеся на рынке (показатель берется либо из статистической информации, по складывающимся ценам в узлах расчетной модели, либо из информационных систем прогнозирования цен на электроэнергию).

В материалах [6] показано, что, исходя из действующих правил оптового рынка, можно сформулировать правило загрузки электростанций: загрузка электростанции целесообразна (увеличение мощности), если цена на рынке превышает цену в заявке, в случае, если цена в заявке выше цены на рынке, станция разгружается.

По сути правило загрузки/разгрузки является одним из наиболее существенных ограничений оптимизационной задачи. Выработка электростанции будет находиться в пределах, ограниченных минимальными и максимальными нагрузками (P_{max} , P_{min}). Уровень P_{max} определяется максимальной мощностью энергоблоков, а P_{min} в отопительный период обусловлен необходимостью покрытия тепловых нагрузок, что актуально для ТЭЦ.

Следовательно, при наличии прогнозов цен рынка и ценовых заявках становится возможным просчет (с выходом на маржинальную прибыль) варианта ценовой заявки, дающего максимальную маржинальную прибыль.

Основные этапы процесса формирования ценовых заявок:

- формирование ТЭП для заданного состава оборудования;
- статистический/прогнозный учет цен РСВ;

- обработка правил формирования ценовых заявок (ХОПС, затраты или иной способ);
- расчет МП при сформированных ценовых заявках;
- автоматизированная подача в АТС;
- мониторинг статусов заявок.

Из-за многоэтапности процесса и наличия большого количества данных целесообразно наличие информационной системы [4]. Указанное программное обеспечение позволяет формировать ценовые заявки с учетом:

- значения ТЭП для разных условий;
- правил формирования и подачи ЦЗ согласно регламенту [3];
- гибкой настройки учета прогноза цен РСВ;
- возможности распределения объема РД между ГТП;
- расчета до 90 суток вперед (в соответствии с регламентами ОРЭМ);
- ограничений по оборудованию (в том числе теплу);
- пофакторного анализа разных расчетов;
- анализа план/факт.

При заданном составе генерирующего оборудования поставленную задачу определения максимума маржинальной прибыли можно решить одним из известных методов оптимального распределения тепловой и электрической нагрузок между генерирующими агрегатами [7, 8], но на данном этапе возможен и более упрощенный подход.

Возможный вариант получения ценовой заявки, основанной на характеристиках относительного прироста расхода топлива (ХОПС) [9] применительно к групповой точке генерации (ГТПГ), выглядит следующим образом.

Общая формула расчета ХОПС (по ГТПГ):

ХОПС =

$$= \frac{(P_k - CH_k) b_k^{3/3} - (P_n - CH_n) b_n^{3/3} + Q \left(\frac{\% \text{ГТПГ}}{100} \right) (b_k^T - b_n^T)}{(P_k - CH_k) - (P_n - CH_n)},$$

где P_n, P_k — значения мощностей начала и конца интервала ХОПС; CH_n, CH_k — значения мощностей на CH начала и конца интервала ХОПС; $b_n^{3/3}, b_k^{3/3}, b_n^T, b_k^T$ — удельные расходы условного топлива на э/э и т/э, соответствующие мощности начала и конца диапазона ХОПС.

Указанные параметры следует расположить по следующим точкам мощности в порядке возрастания значения (P_1, P_2 — промежуточные точки, если таковые имеются, МВт): $P_{\min \text{ техн.}}, P_{\min}, P_{\text{ср}}, P_{\max}, P_1, P_2$.

После этого параметры для последующего расчета принимают следующие условные обозначения:

- P_1 — минимальное значение;
 - ...
 - P_6 — максимальное значение.
- Таким образом,

$$P_1 \geq P_2 \geq P_3 \geq P_4 \geq P_5 \geq P_6$$

Следует обеспечить расчет всех возможных вариантов (диапазонов) ХОПС в соответствии с табл. 1.

Итоговые сведения для формирования ценовой заявки представлены в табл. 2.

На основании принятых ценовых заявок рассчитывается ожидаемая при принятых условиях максимальная прибыль станции.

Важным фактором считается взаимодействие между различными подразделениями ГК, участвующими в процедуре РСВ. Задача РСВ является как экономической, так и технической, что, в свою очередь, задействует как службу управления по работе на ОРЭМ, так и технические службы ГК или станции, участвующие в расчете ТЭП. Это также требует наличия информационной системы, посредством которой взаимодействие между службами (при решении задачи РСВ) будет прозрачным, удобным и однозначным.

Схема взаимодействий структурных подразделений ГК при решении задачи РСВ с помощью системы КД представлена на рис. 2.

Последовательность решения задачи РСВ в системе КД выглядит следующим образом.

Технический блок актуализирует при необходимости макет о состоянии и параметрах оборудования и

Таблица 1

Расчет возможных вариантов ХОПС

Номер варианта	Диапазоны ХОПС					
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
1	*	от P_1 до P_2	от P_1 до P_3	от P_1 до P_4	от P_1 до P_5	от P_1 до P_6
2	*	*	от P_2 до P_3	от P_2 до P_4	от P_2 до P_5	от P_2 до P_6
3	*	*	*	от P_3 до P_4	от P_3 до P_5	от P_3 до P_6
4	*	*	*	*	от P_4 до P_5	от P_4 до P_6
5	*	*	*	*	*	от P_5 до P_6

* — признак ценопринимающей пары (ступени) в заявке субъекта ОРЭ

Расчет возможных вариантов ХОПС

Ступени	Цена ступени, руб./МВт·ч
Первая	Признак ценопринимавшей пары (ступени) в заявке субъекта ОРЭ
Вторая	Выбирается одно единственное значение из всех рассчитанных ХОПС, соответствующее минимальному из всех рассчитанных, с учетом того, что $P_n = \text{Max}(P_{\text{min технич.}}; P_{\text{min}})$
Третья	Выбирается минимальное значение из всех рассчитанных ХОПС, соответствующее диапазону ХОПС от значения мощности, определённого в качестве объема второй ступени до P_6 (максимального значения мощности). Если при расчете параметра использован диапазон ХОПС от $\text{Max}(P_{\text{min технич.}}; P_{\text{min}})$ до P_6 , то значение не рассчитывается, и третья ступень в ценовой заявке не формируется. Алгоритм применяется только при условии, что рассчитанная цена третьей ступени больше цены второй ступени. Если же цена третьей ступени меньше либо равна цене второй ступени, то третья ступень в ценовой заявке не формируется. Необходимо формировать двухступенчатую заявку: производится перерасчет цены второй ступени на диапазон от $\text{Max}(P_{\text{min технич.}}; P_{\text{min}})$ до P_6
Ступени	Объем ступени, МВт·ч
Первая	$\text{Max}(P_{\text{min технич.}}; P_{\text{min}})$
Вторая	Соответствует значению P_k в расчёте ХОПС, на основании которого определена цена второй ступени
Третья	Соответствует P_k в расчёте ХОПС на основании которого определена цена третьей ступени. Если цена третьей ступени не была определена, то ценовая заявка не формируется

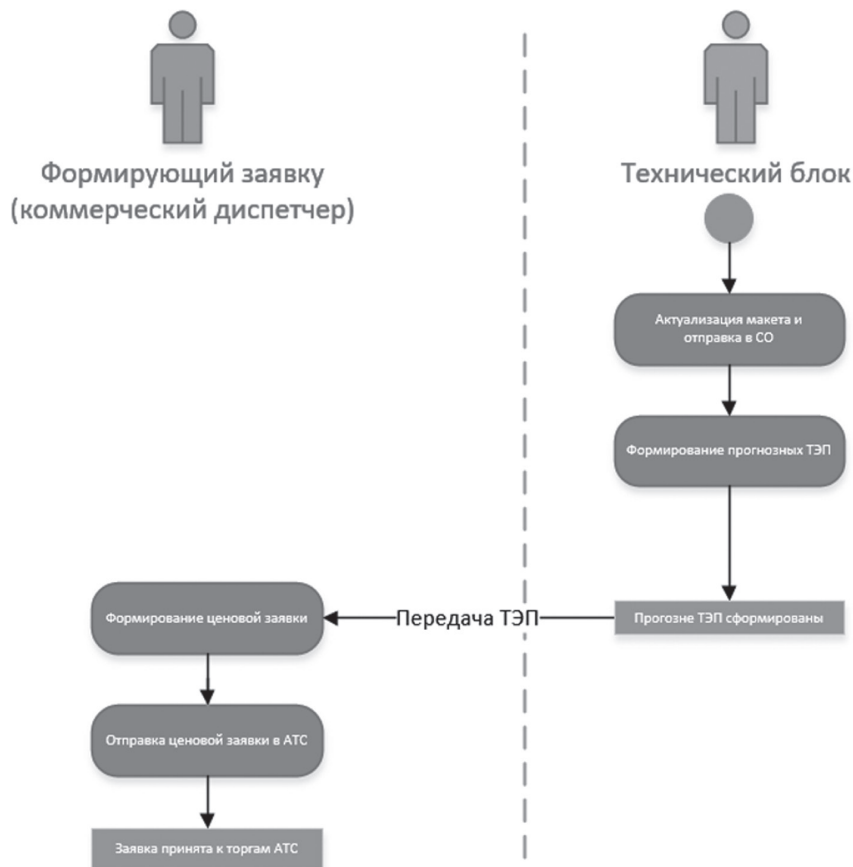


Рис. 2. Схема взаимодействия структурных подразделений ГК в рамках системы КД для решения задачи РСВ

отправляет в адрес СО [10], затем формирует ТЭП на заданный состав оборудования, тепловую нагрузку на сутки Х+1 и передает эти данные в службу по работе на ОРЭМ, которая, уже имея всю необходимую информацию, формирует ценовую заявку и отправляет ее и макеты в адрес АТС из системы КД [11].

Еще одним фактором является наличие специализированного программного обеспечения для выполнения подачи заявок РСВ, актуализации макетов о состоянии и параметрах оборудования, формирование и передачи ТЭП внутри подразделений ГК или станции. Наличие огромного количества данных и перемещение их с помощью файлов Excel, электронной почты повышает вероятность ошибок ручного ввода. Наличие единой информационной системы решает проблему перемещения данных между подразделениями, инте-

грации со специализированным ПО для выполнения регламентных процедур РСВ.

Заключение

Сложность и взаимосвязь этапов планирования на ОРЭМ, участие разных подразделений ГК, необходимость анализа большого массива данных и плотного взаимодействия между подразделениями — основные задачи, подлежащие решению в комплексной информационной системе коммерческой диспетчеризации.

Проблема РСВ — второй этап при решении задачи планирования и оперативной реакции на внешние изменения на ОРЭМ. Результат процедуры РСВ — входная информация для следующего этапа — работы на балансирующем рынке (БР) [12].

Литература

1. **Администратор** торговой системы [Офис. сайт]. <https://www.atsenergo.ru/results/rsv> (дата обращения 03.02.2019).
2. **Приложение 3 к ДОП.** Регламент актуализации расчетной модели [Офис. сайт] <https://www.np-sr.ru/regulation/joining/reglaments/1959> (дата обращения 03.02.2019).
3. **Приложение 7 к ДОП.** Регламент проведения расчетов выбора состава генерирующего оборудования [Офис. сайт] <https://www.np-sr.ru/regulation/joining/reglaments/1970> (дата обращения 03.02.2019).
4. **Юпатов Д.А., Аракелян Э.К.** Общие подходы к выбору состава включенного генерирующего оборудования тепловых электрических станций на оптовом рынке электроэнергии // Новое в российской энергетике. 2018. № 11. С. 6—14.
5. **Как производится расчет** и утверждение тарифа на тепловую энергию [Электрон. ресурс] https://www.energo-konsultant.ru/sovets/teplosnabgenie/rascheti_za_teplo/kak_proizvoditsya_raschet_i_utverzdenie_tarifov_na_teplovuyu_energiyu/ (дата обращения 03.02.2019).
6. **Таран А.С.** Краткосрочная оптимизация режимов работы электростанций // Электрические станции. 2013. № 1. С. 31—33.
7. **Аракелян Э.К. и др.** Методические подходы к оптимальному управлению режимами работы ТЭЦ со сложным составом оборудования // Теплоэнергетика. 2012. № 10. С. 12—18.
8. **Сабанин В.Р., Аракелян Э.К., Андрюшин А.В., Репин А.И.** Современная концепция оперативного управления режимами работы оборудования ТЭЦ // Новое в российской электроэнергетике. 2018. № 12. С. 6—22.
9. **Характеристика** относительных приростов [Электрон. ресурс] <http://economy-ru.info/info/56662/> (дата обращения 03.02.2019).
10. **Технологическое** обеспечение работы оптовых рынков [Офис. сайт] <https://so-ups.ru/index.php?id=markets> (дата обращения 03.02.2019).

References

1. **Administrator** Torgovoy Sistemy [Ofits. Sayt]. <https://www.atsenergo.ru/results/rsv> (Data Obrashcheniya 03.02.2019). (in Russian).
2. **Prilozhenie 3 k DOP.** Reglament Aktualizatsii Raschetnoy Modeli [Ofits. Sayt] <https://www.np-sr.ru/regulation/joining/reglaments/1959> (Data Obrashcheniya 03.02.2019). (in Russian).
3. **Prilozhenie 7 k DOP.** Reglament Provedeniya Raschetov Vyboru Sostava Generiruyushchego Oborudovaniya [Ofits. Sayt] <https://www.np-sr.ru/regulation/joining/reglaments/1970> (data obrashcheniya 03.02.2019). (in Russian).
4. **Yupatov D.A., Arakelyan E.K.** Obshchie Podkhody k Vyboru Sostava Vkluychennogo Generiruyushchego Oborudovaniya Teplovykh Elektricheskikh Stantsiy na Optovom Rynke Elektroenergii. *Novoe v Rossiyskoy Energetike*. 2018;11:6—14. (in Russian).
5. **Kak Proizvoditsya Raschet** i Utverzhenie Tarifa na Teplovuyu Energiyu [Elektron. Resurs] https://www.energo-konsultant.ru/sovets/teplosnabgenie/rascheti_za_teplo/kak_proizvoditsya_raschet_i_utverzdenie_tarifov_na_teplovuyu_energiyu/ (Data Obrashcheniya 03.02.2019). (in Russian).
6. **Taran A.S.** Kratkosrochnaya Optimizatsiya Rezhimov Raboty Elektrostantsiy. *Elektricheskie Stantsii*. 2013; 1:31—33. (in Russian).
7. **Arakelyan E.K. i dr.** Metodicheskie Podkhody k Optimal'nomu Upravleniyu Rezhimami Raboty TETS so Slozhnym Sostavom Oborudovaniya. *Teploenergetika*. 2012; 10:12—18. (in Russian).
8. **Sabanin V.R., Arakelyan E.K., Andryushin A.V., Repin A.I.** Sovremennaya Kontseptsiya Operativnogo Upravleniya Rezhimami Raboty Oborudovaniya TETS. *Novoe v Rossiyskoy Elektroenergetike*. 2018;12:6—22. (in Russian).
9. **Kharakteristika** Otnositel'nykh Prirostov [Elektron. Resurs] <http://economy-ru.info/info/56662/> (Data Obrashcheniya 03.02.2019). (in Russian).
10. **Tekhnologicheskoe** Obespechenie Raboty Optovykh Rynkov [Ofits. Sayt] <https://so-ups.ru/index.php?id=markets> (Data Obrashcheniya 03.02.2019).

11. **Приложение 5 к ДОП.** Регламент подачи ценовых заявок участниками оптового рынка [Официальный сайт] <https://www.np-sr.ru/ru/regulation/joining/reglaments/1962> (дата обращения 03.02.2019).

12. **Приложение 10 к ДОП.** Регламент проведения конкурентного отбора заявок для балансирования системы [Официальный сайт] <https://www.np-sr.ru/ru/regulation/joining/reglaments/1973> (дата обращения 03.02.2019).

11. **Prilozhenie 5 k DOP.** Reglament Podachi Tsenovyykh Zayavok Uchastnikami Optovogo Rynka [Ofits. Sayt] <https://www.np-sr.ru/ru/regulation/joining/reglaments/1962> (Data Obrashcheniya 03.02.2019). (in Russian).

12. **Prilozhenie 10 k DOP.** Reglament Provedeniya Konkurentnogo Otbora Zayavok dlya Balansirovaniya Sistemy [Ofits. Sayt] <https://www.np-sr.ru/ru/regulation/joining/reglaments/1973> (Data Obrashcheniya 03.02.2019). (in Russian).

Сведения об авторах:

Юпатов Дмитрий Антонович — аспирант кафедры автоматизированных систем управления тепловыми процессами НИУ «МЭИ»

Аракелян Эдик Койрунович — доктор технических наук, профессор кафедры автоматизированных систем управления тепловыми процессами НИУ «МЭИ», e-mail: edik_arakelyan@inbox.ru

Information about authors:

Upatov Dmitriy A. — Ph.D.-student of Automated Control Systems for Thermal Processes Dept., NRU MPEI

Arakelyan Edik K. — Dr.Sci. (Techn.), Professor of Automated Control Systems for Thermal Processes Dept., NRU MPEI, e-mail: edik_arakelyan@inbox.ru

Работа выполнена при поддержке: Российского научного фонда (грант № 19-19-00601)

The work is executed at support: Russian Science Foundation (grant № 19-19-00601)

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Статья поступила в редакцию: 04.02.2019

The article received to the editor: 04.02.2019