

## АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМИЗАЦИИ ТОПЛИВНЫХ ЗАТРАТ

Гаврилова Екатерина Сергеевна

студент

Новосибирский государственный технический университет  
Новосибирск

**Аннотация.** В статье рассматривается оптимизация режимов работы комбинированной энергосистемы по критерию минимизации топливных издержек на примере Новосибирских ТЭЦ-2 и ГЭС. Выполняется подбор коэффициента эффективности  $\lambda$ .

**Ключевые слова:** оптимизация, энергосистема, энергетические характеристики, ТЭЦ, ГЭС.

На сегодняшний день тепловые электростанции (ТЭС) являются основой электроснабжения страны. На долю ТЭС приходится около 64 % всей вырабатываемой электроэнергии России [1]. Из-за климатических особенностей большинства регионов РФ большую часть времени оборудование ТЭЦ работает на максимуме, что приводит к увеличению расхода топлива.

Для того, чтобы минимизировать топливные издержки на ТЭЦ и улучшить экологическую обстановку, применяется совместная работа с гидроэлектростанцией (ГЭС). Это позволяет покрыть пиковые нагрузки в

энергосистеме за счет маневренности ГЭС, снизить затраты на топливо и уменьшить выбросы в окружающую среду.

В работе показана практическая реализация модели для определения оптимальных режимов работы смешанной энергосистемы, на примере Новосибирской ГЭС и ТЭЦ-2.

Критерием оптимальности совместной работы ТЭС и ГЭС служит минимальный расход первичного энергоресурса, при заданной выработке энергии.

Рассмотренный в работе алгоритм можно применить в рамках такой структуры как виртуальная электростанция, которая объединяет в себе распределенные генераторы, активных потребителей и системы аккумуляции энергии, которые находятся в разных точках страны.

Рассмотрим алгоритм оптимизации режимов работы смешанной энергосистемы.

При распределении суммарной нагрузки в системе, состоящей из ТЭС и ГЭС, необходимо знать характеристики относительных приростов расхода условного топлива. Влияние гидростанции на это распределение учитывается с помощью коэффициента энергетической эффективности воды  $\lambda$  для ГЭС, который устанавливает взаимосвязь между относительными приростами расхода условного топлива на ТЭС и относительными приростами расхода воды на ГЭС. Поскольку для любой ГЭС суточный расход гидроресурса определяется однозначно, то задача выбора оптимального режима совместной работы ТЭС и ГЭС решается таким же образом, как и на ТЭС при заданном расходе топлива на одной из них.

Произведение коэффициента энергетической эффективности ГЭС ( $\lambda$ ) на ее относительный прирост расхода топлива представляет собой приведенный относительный прирост гидроэлектростанции по условному топливу, формула (1.11).

Таким образом, условием экономичности совместной работы ТЭС и ГЭС в системе является то, что они должны в каждый момент времени работать с нагрузками, соответствующими одинаковым значениям относительных приростов расхода топлива на ТЭС и приведенных к условному относительных приростов на ГЭС. При решении задачи оптимизации смешанной энергосистемы необходимо учесть ограничения по заданному расходу воды из водохранилища на ГЭС. Для этого выполняется водноэнергетический расчет (ВЭР), а также необходимо подобрать оптимальное значение коэффициента энергетической эффективности  $\lambda$ .

Значение коэффициента  $\lambda$  определяется подбором, для данной ГЭС принимается постоянным в течении суток, зависящим от заданного суточного расхода воды.

Составим математическую модель.

$$U = \sum_t P_{ТЭС t} \cdot U_{ТЭС t} \Rightarrow \min \quad (1.1)$$

1. Уравнение цели

$$U' = \sum_t P_{ГЭС t} \cdot U_{ГЭС t} \Rightarrow \min \quad (1.2)$$

$$U = U + U' \Rightarrow \min \quad (1.3)$$

2. Уравнение связи

$$B_{ТЭС}(P_{ТЭС}) \text{ при } Q_{ТЭС \min} \leq Q_{ТЭС} \leq Q_{ТЭС \max} \quad (1.4)$$

$$Q_{ГЭС}(P_{ГЭС}) \text{ при } Q_{ГЭС \min} \leq Q_{ГЭС} \leq Q_{ГЭС \max} \quad (1.5)$$

$$P_{ТЭС \min} < P_{ТЭС} < P_{ТЭС \max} \quad (1.6)$$

3. Уравнение ограничений

$$P_{ГЭС \min} < P_{ГЭС} < P_{ГЭС \max} \quad (1.7)$$

$$P_{ГЭС} + P_{ТЭС} - P_H = 0 \quad (1.8)$$

$$\bar{Q}_{\text{ср.сут. ГЭС}} = \bar{Q}_{\text{ср.зад. ГЭС}} \quad (1.9)$$

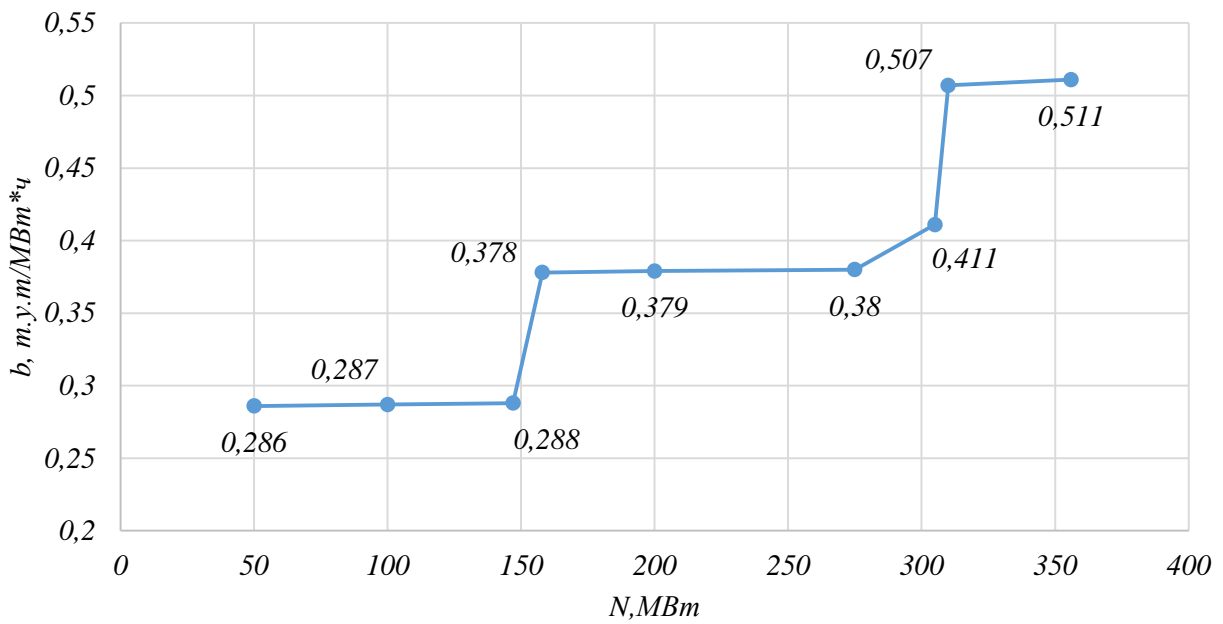
4. Уравнение оптимизации

$$U_{ТЭС} = idem \quad (1.10)$$

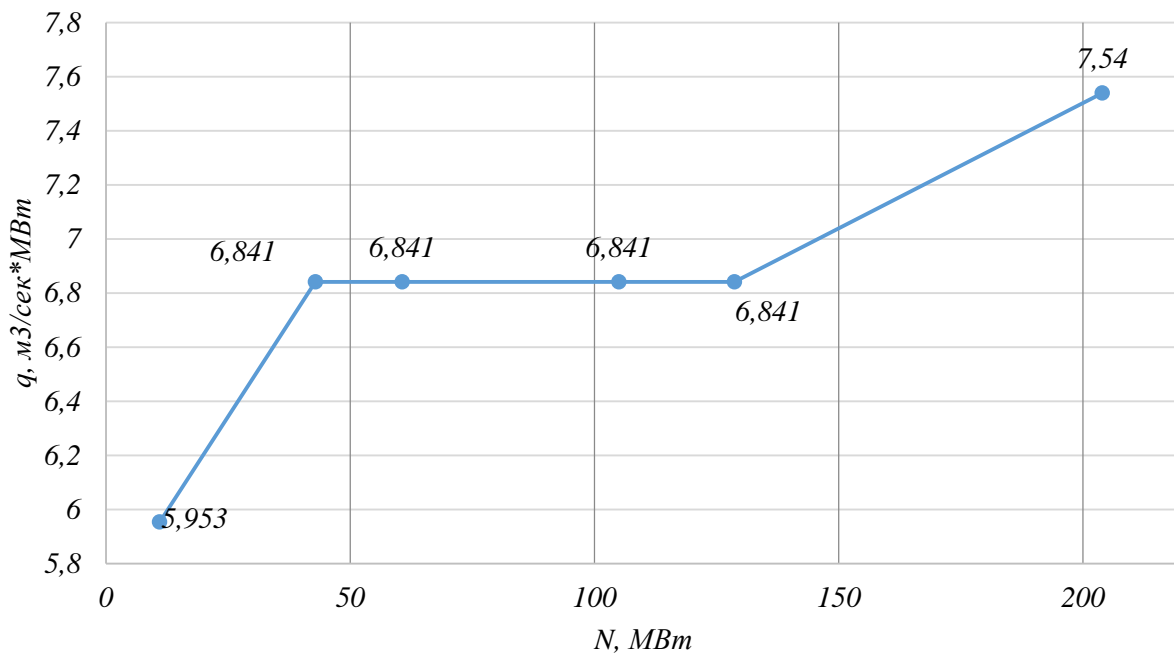
$$U_{ГЭС} = idem, \quad \lambda \cdot q = b \quad (1.11)$$

Для того, чтобы определить оптимальный объем выработки электроэнергии при совместном производстве энергии на ТЭС и ГЭС необ-

ходимо определить характеристики относительного прироста расхода топлива объединенной энергосистемы [2].



**Рис. 1. ХОП НТЭЦ-2 для зимнего периода**



**Рис. 2. ХОП НГЭС для зимнего периода**

Все расчеты осуществляются для заданных составов работающего оборудования [3]. Руководствуясь заданным составом работающего оборудования для зимнего периода, так как зимний период является наиболее утяжеленным для энергосистемы, были получены характеристики относительного прироста (ХОП) расхода топлива на ТЭЦ (рис. 1), а также расхода воды на ГЭС (рис. 2).

Руководствуясь заданным расходом воды из водохранилища, полученным на основе ВЭР определили, что  $\lambda$  в течение суток неизменна и равна 0,0558.

Для подобранного значения  $\lambda = 0,0558$  на основе ХОП ТЭЦ и ГЭС определим объем вырабатываемой мощности. Проведен расчет для первого часа.

Значение мощности, вырабатываемой ГЭС составляет –  $N_{ГЭС} = 186,5$  МВт, из них 5 % (8,88 МВт) это базовые попуски ГЭС. По расходной характеристике определим требуемый расход воды, для обеспечения полученной мощности. Расход воды,  $Q_{ГЭС}$  составляет 1230 м<sup>3</sup>/сек.

Значение мощности, вырабатываемой ТЭЦ составляет –  $N_{ТЭЦ} = 203,3$  МВт.

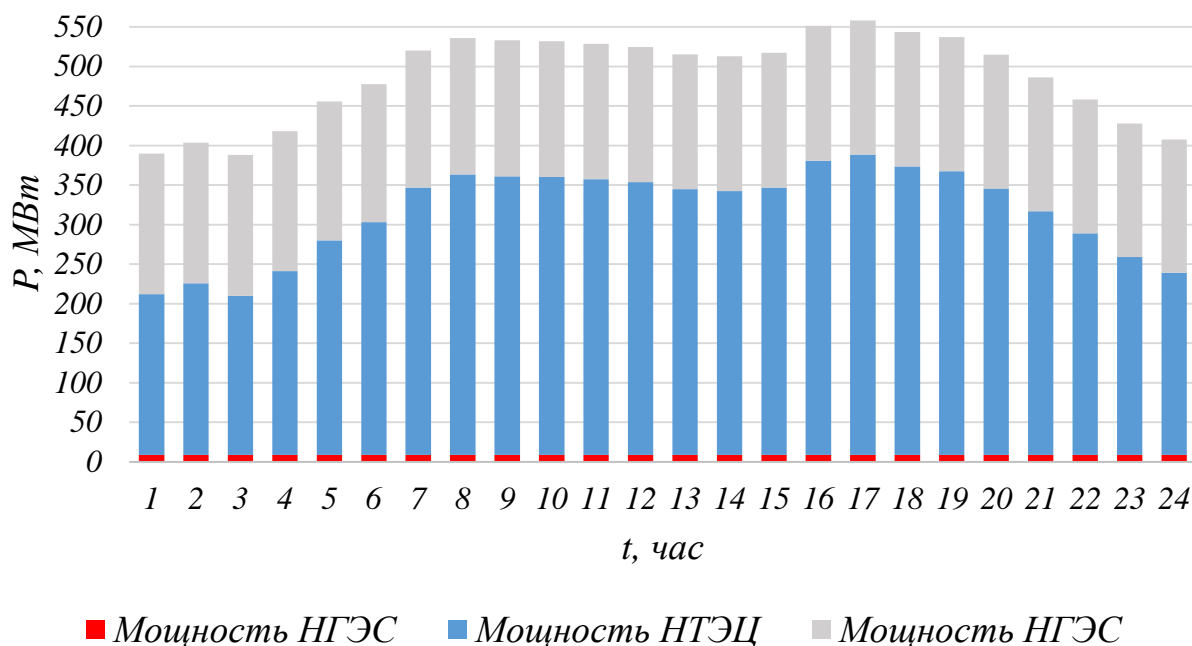
Сравним полученное среднее значение расхода  $\bar{Q}_{ср.сут..ГЭС}$  с  $\bar{Q}_{ср.зад.ГЭС}$ , полученным при водноэнергитическом расчете, с учетом отклонения 5 %,  $\bar{Q}_{ср.зад.ГЭС} = 1174,25$  м<sup>3</sup>/сек.

Условие выполняется, следовательно значение коэффициента  $\lambda$  подобрано верно, а значит такое распределение нагрузки в энергосистеме является наивыгоднейшим. Полученные значения сведем в табл. 1.

## Результаты расчетов

13 дек., час	$P_{\text{НГЭС+НГЭЦ-2}}$ , МВт	Базовые попуски ГЭС	$N_{\text{ТЭЦ}}$ , МВт	$N_{\text{ГЭС}}$ , МВт	$\lambda$
1	389,785	8,882	203,257	177,646	0,0558
2	403,704	8,882	217,023	177,791	0,0558
3	388,109	8,882	201,276	177,936	0,0558
4	417,965	8,882	232,198	176,921	0,0558
5	455,602	8,882	271,357	175,471	0,0558
6	477,510	8,882	294,331	174,456	0,0558
7	519,733	8,882	337,772	173,296	0,0558
8	535,712	8,882	354,512	172,571	0,0558
9	532,588	8,882	352,150	171,846	0,0558
10	531,692	8,882	351,405	171,701	0,0558
11	528,294	8,882	348,616	171,121	0,0558
12	524,246	8,882	344,873	170,831	0,0558
13	515,015	8,882	335,946	170,541	0,0558
14	512,596	8,882	333,680	170,396	0,0558
15	516,815	8,882	338,051	170,251	0,0558
16	550,772	8,882	372,161	170,106	0,0558
17	557,968	8,882	379,509	169,961	0,0558
18	543,065	8,882	364,757	169,816	0,0558
19	536,687	8,882	358,532	169,671	0,0558
20	514,466	8,882	336,615	169,381	0,0558
21	485,487	8,882	307,941	169,091	0,0558
22	457,540	8,882	280,146	168,946	0,0558
23	427,165	8,882	250,076	168,656	0,0558
24	406,957	8,882	230,325	168,221	0,0558

По результатам расчета построен суточный график нагрузки энергообъединения (рис. 3).



**Рис. 3. Суточный график нагрузки энергообъединения**

Проанализируем полученное распределение нагрузки между ГЭС и ТЭС. Базисная мощность ГЭС составляет 8,9 МВт – 1,8 % от суточного графика нагрузки. На долю ТЭС приходится 63 % в полупиковой зоне.

Совместная работа ГЭС и ТЭС позволяет вытеснить ТЭС из пиковой зоны и частично из поупиковой, тем самым, обеспечить более равномерную работу ТЭС, минимизировать расход топлива и уменьшить выбросы в окружающую среду.

## **Список использованных источников**

1. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2017 году [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2018/ups\\_rep2017.pdf](https://so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2018/ups_rep2017.pdf)
2. Никитин С.Н. Основы гидроэнергитических расчётов. М., Л.: Госэнергоиздат, 1959.
3. Горнштейн В.М. О выборе наивыгоднейшего режима параллельной работы гидростанций с тепловыми электростанциями // Гидротехническое строительство. 1951. № 2.
4. Оптимизация режимов энергетических систем / под ред. В.М. Синькова. Киев: Изд-во «Вища школа», 1973. 274 с.

**Дата публикации: 05.06.2018**

**© Гаврилова Екатерина Сергеевна**