

Оценка влияния состояния системы регенерации на показатели эффективности работы ТЭЦ

Н. В. Татарина¹, А. А. Якимова²

¹кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники и гидравлики,

Вятский государственный университет. Россия, г. Киров. E-mail: usr02103@vyatsu.ru

²магистрант кафедры теплотехники и гидравлики, Вятский государственный университет.

Россия, г. Киров. E-mail: yakimova.aa@mail.ru

Аннотация. Энергетическая стратегия России предполагает обеспечение региональной энергетической безопасности с учетом оптимизации потребления топливно-энергетических ресурсов. Возникает необходимость поиска путей роста показателей энергетической эффективности производства при незначительных капитальных затратах преимущественно за счет наладки режимов работы, улучшения характеристик действующего оборудования, отдельных его систем. Экономичная работа ТЭЦ во многом зависит от состояния их системы регенерации, что определяет актуальность исследования. Цель работы – проведение расчетного исследования с использованием математических моделей турбоустановок, которое позволит выявить ресурсы для выработки дополнительной мощности на ТЭЦ при изменении состояния системы регенерации. Используются методы численного моделирования режимов работы ТЭЦ в условиях переменных графиков нагрузки. Представлена оценка изменения основных энергетических показателей оборудования при отключении подогревателей высокого давления и при других возможных изменениях состояния системы регенерации.

Ключевые слова: математическое моделирование, повышение эффективности, система регенерации, теплофикационные паровые турбины, ТЭЦ.

Введение

В существующих условиях постоянного дефицита финансовых ресурсов на ТЭЦ (в основном из-за существующих подходов к регулированию тарифов), не позволяющего обновлять производственные фонды при стремительном старении основного и вспомогательного оборудования, возникает необходимость искать пути увеличения эффективности производства при малых капитальных вложениях в основном за счет режимных мероприятий, улучшения характеристик действующего оборудования, отдельных его систем, в частности, за счет повышения эффективности работы системы регенеративного подогрева питательной воды [1, с. 333; 5, р. 86].

Эффективность работы ТЭЦ, помимо прочих факторов, во многом зависит от способа организации использования отборов пара теплофикационных турбин (не только отопительных, но и регенеративных) для нужд теплового потребления [3, с. 45; 6, р. 50]. Их влияние на основные показатели работы турбин обусловлено тем, что давление в камерах отборов может существенно изменяться (так, в камере нижнего теплофикационного отбора оно может изменяться в несколько раз, а величины отпуска теплоты из отборов и расхода пара в ЦНД изменяются от номинального до практически нулевого значения). Соответственно, КПД, мощности и другие параметры, особенно у турбин, не имеющих промперегрева и работающих на влажном паре в последних ступенях ЧСД и ЧНД, имеют существенно переменные значения, которые не в полной мере могут быть учтены в нормативных характеристиках. А отключение части регенеративных подогревателей или обвод части питательной или сетевой воды традиционными методиками учесть таким способом не представляется возможным [2, с. 7; 4, р. 3].

Целью исследования является поиск путей проведения расчетных исследований на базе математических моделей турбоустановок такого оптимального состояния системы регенеративного подогрева питательной воды, которое бы обеспечило наилучшие показатели технико-энергетических показателей теплофикационных турбоустановок при работе в переменных режимах в широком диапазоне исходных данных.

В задачи исследования входило: 1) оценить, в каких пределах могут изменяться основные технико-экономические показатели при изменении состояния системы регенерации (в частности, отключение части регенеративных подогревателей) в реальных условиях эксплуатации на примере турбин Т-50-130 Кировской ТЭЦ-4 в условиях переменных графиков тепловых и электрических нагрузок; 2) при переменных режимах работы выяснить относительные изменения этих показателей и сравнить их с точностью всего расчета.

Методы исследования

В данной работе в качестве инструмента исследования использовались математические модели турбоустановок различных типов (объекты исследования), разработанные в ВятГУ, в основу которых положены фактические характеристики действующего оборудования, полученные в результате опытно-промышленных испытаний. Они позволяют осуществлять полный тепловой расчет практически во всем возможном диапазоне режимов работы (предмет исследования) с учетом реальной тепловой схемы, фактического состава оборудования, давать количественную оценку различных способов эксплуатации турбоустановок, а также проводить оптимизацию режимных параметров.

Программа исследований предусматривала следующее:

– анализ влияния изменения состояния системы регенерации на показатели работы турбоустановок при выработке дополнительной электроэнергии в пиковый период в условиях эксплуатации по тепловому графику;

– анализ влияния изменения состояния системы регенерации на показатели работы турбоустановок при выработке дополнительной электроэнергии в пиковый период в условиях эксплуатации по электрическому графику.

При проведении анализа переменных режимов работы систем регенерации по тепловому графику для турбины Т-50-130 был исследован ряд режимов работы. Для этого в качестве начального режима было принято: степень открытия регулирующей диафрагмы части низкого давления (РД ЧНД) равна нулю, все подогреватели высокого давления (ПВД) находятся в работе. Расходы обратной сетевой воды и свежего пара оставались постоянными. В сравниваемом режиме условия остаются теми же, но степень открытия задвижек на ПВД равна нулю (подогреватели отключены). Расчеты проводились для целой серии параметров сетевой воды, в качестве примера покажем в табл. 1 результаты расчетов для расходов сетевой воды 694 и 500 кг/с и свежего пара 72 и 53 кг/с.

Таблица 1

Результаты расчета изменения прироста электрической мощности и удельного расхода теплоты при работе по тепловому графику для турбины Т-50-130

Расход свежего пара G_0 , кг/с	Расход сетевой воды $W_{св}$, кг/с	Температура обратной сетевой воды τ_2 , °С	Прирост электрической мощности $\Delta N_э$, МВт	Удельный расход теплоты $q_{доп'}$, МВт/МВт
72	694	40	5,14	1,16
		50	4,76	1,23
		60	4,22	1,37
		70	3,74	1,57
	500	40	3,83	1,48
		50	3,18	1,83
		60	2,75	2,27
		70	2,57	2,61
53	694	40	3,00	1,13
		50	2,88	1,17
		60	2,66	1,25
		70	2,41	1,37
	500	40	2,74	1,22
		50	2,38	1,38
		60	2,08	1,61
		70	1,84	1,92

Пиковая мощность посредством отключения ПВД может быть получена также при работе по электрическому графику с заданной тепловой нагрузкой. В этом случае возрастает расход пара в конденсатор и потери в холодном источнике из-за увеличения степени открытия РД ЧНД. Исходные данные принимаются теми же самыми, но величина открытия диафрагмы выбирается программно, исходя из заданной теплофикационной нагрузки, которая при расходе свежего пара 72 кг/с равняется 110 МВт, а при 53 кг/с – 80 МВт. Результаты расчетов показаны в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты расчета изменения прироста электрической мощности и удельного расхода
теплоты при работе по электрическому графику для турбины Т-50-130**

Расход свежего пара G_o , кг/с	Расход сетевой воды $W_{св}$, кг/с	Температура обратной сетевой воды τ_2 , °С	Прирост электрической мощности $\Delta N_э$, МВт	Удельный расход теплоты $q_{доп}$, МВт/МВт
72	694	40	7,36	3,49
		50	7,77	3,30
		60	8,11	3,17
		70	8,08	3,18
	500,00	40	7,99	3,21
		50	8,37	3,07
		60	8,24	3,12
		70	7,94	3,25
53	694	40	3,98	3,63
		50	4,16	3,48
		60	4,32	3,35
		70	4,30	3,37
	500,00	40	4,19	3,45
		50	4,42	3,27
		60	4,42	3,28
		70	4,31	3,37

Результаты исследований, их обсуждение

На основании полученных данных можно отметить, что при работе по тепловому графику при закрытии задвижек на ПВД увеличивается прирост электрической мощности, потому что увеличивается расход пара, проходящий через проточную часть турбины. При постоянном расходе свежего пара с увеличением температуры обратной сетевой воды происходит уменьшение дополнительной электрической мощности, потому что давление в отборах увеличивается, как следствие, расширение пара происходит до большего давления, общий теплоперепад уменьшается, а значит, уменьшается и прирост электрической мощности. При снижении расхода свежего пара удельный расход теплоты на выработку дополнительной электроэнергии тоже уменьшается, но прирост ее тоже существенно ниже. Как видно из табл. 1, с увеличением расхода сетевой воды увеличивается прирост электрической мощности и улучшаются энергетические показатели $q_{доп}$, что обусловлено возрастанием теплоперепада из-за уменьшения давления в теплофикационных отборах.

При оценке экономической эффективности при работе турбины по тепловому графику было получено, что при увеличении температуры обратной сетевой воды экономическая эффективность работы снижается. Это происходит потому, что прирост электрической мощности становится меньше, а расход топлива при этом возрастает (температура питательной воды снижается при отключении подогревателей). Учитывая цены на топливо, электроэнергию и тепло в 2018 году, для пикового периода значение экономической эффективности, учитывающей экономию при получении дополнительной электрической мощности и тепловой нагрузки, получилось равным 8535 руб./ч, для полупикового периода – 8078 руб./ч, а для ночного – 4993 руб./ч. Наибольший экономический эффект применения закрытия задвижек на ПВД при получении дополнительной электрической мощности достигается в пиковые периоды работы. Учитывая, что в зимнее время ночной период может длиться около 6 часов, полупиковый – 11 и пиковый – 7 часов, экономия может составить до 160 тыс. руб. в сутки (расчет выполнен в один из дней при температуре обратной сетевой воды на ТЭЦ около 60°С).

Расчет экономической эффективности при закрытии ПВД по электрическому графику показал, что данный способ увеличения электрической мощности является экономически целесообразным не во всех случаях. Это объясняется тем, что значительно возрастают потери в холодном источнике за счет открытия РД ЧНД.

Относительные изменения энергетических показателей варьируются в достаточно широких пределах от 5,5 до 10%, что свидетельствует о том, что такие изменения не могут быть обусловлены неточностью расчета (она составляет около 1–2%), а вызваны физическими процессами, которые происходят в оборудовании при изменении состояния системы регенерации.

Выводы

Таким образом, полученные результаты исследования позволяют сделать вывод о том, что:

1) математические программы расчета дают возможность оценить диапазон изменения основных

технико-экономических показателей при любых изменениях в состоянии регенеративной системы подогрева воды с учетом фактической тепловой схемы и действующего оборудования в наиболее характерных режимах (в частности, при отключении ПВД при работе по тепловому графику величина удельного расхода теплоты на выработку электрической мощности согласно расчетным данным изменяется в пределах от 1,16 до 2,61 МВт/МВт, при работе по электрическому графику – от 3,12 до 3,49 МВт/МВт); 2) эти изменения нельзя отнести к погрешности вычислений, поскольку они в несколько раз превосходят расчетную погрешность, а значит, детерминированы физическими процессами, протекающими в турбоустановках при переменных режимах.

Список литературы

1. Татаринова Н. В., Суворов Д. М., Суцких В. М. Математические модели теплофикационных паротурбинных установок на основе экспериментальных характеристик турбинных ступеней и отсеков // Надежность и безопасность энергетики. 2017. № 4. С. 330–339.
2. Теплофикационные паровые турбины: повышение экономичности и надежности / Л. Л. Симою и др. СПб. : Энерготех, 2001. 208 с.
3. Шемпелев А. Г., Суворов Д. М., Гуторов В. Ф., Иглин П. В. Возможности, условия и эффективность подогрева подпиточной воды во встроенных пучках при одновременном пропуске охлаждающей воды через основные пучки конденсатора // Теплоэнергетика. 2019. № 2. С. 41–50.
4. Tatarinova N. V., Suvorov D. M., Shempelev A. G. Approaches to building computational mathematical models based on the flow and power characteristics of cogeneration steam turbine stages and compartments // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM 2017), 16–19 May 2017. P. 1–6. URL: <https://doi.org/10.1109/icieam.2017.8076463> (date of the application 18.01.2019).
5. Tatarinova N. V., Suvorov D. M., Sushchikh V. M. Efficiency of the cogeneration steam turbine plants at the variable heat and electric load schedules // Problemele energeticii regionale. 2018. Vol. 2(37). P. 85–99. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1343404> (date of the application 18.01.2019).
6. Shempelev A. G., Suvorov D. M., Iglin P. V. Efficiency of using built-in bundles of cogeneration steam turbine condensers for make-up water heating // Problemele energeticii regionale. 2018. Vol. 3(38). P. 36–51. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.2222335> (date of the application 18.01.2019).

Assessment of the impact of the regeneration system on TPS performance indicators

N. V. Tatarinova¹, A. A. Yakimova²

¹PhD of technical sciences, associate professor of the Department of heat engineering and hydraulics, Vyatka State University, Russia, Kirov. E-mail: usr02103@vyatsu.ru

²master student of the Department of heat engineering and hydraulics, Vyatka State University, Russia, Kirov. E-mail: yakimova.aa@mail.ru

Abstract. Russia's energy strategy involves ensuring regional energy security, taking into account the optimization of fuel and energy resources consumption. There is a need to find ways to increase the energy efficiency of production at low capital costs mainly due to the adjustment of operating modes, improve the characteristics of existing equipment, its individual systems. Economical operation of TPS depends on the state of their regeneration system, which determines the relevance of the study. The purpose of the work is to conduct a computational study using mathematical models of turbine units, which will identify resources for generating additional power at the TPS plant when the state of the regeneration system changes. Methods of numerical modeling of operation modes of TPS in the conditions of variable schedules are used. The estimation of changes in the main energy parameters of the equipment when switching off high-pressure heaters and other possible changes in the state of the regeneration system is presented.

Keywords: mathematical modeling, efficiency improvement, regeneration system, heating steam turbines, TPS.

References

1. Tatarinova N. V., Suvorov D. M., Sushchikh V. M. *Matematicheskie modeli teplofikatsionnykh paroturbinnyykh ustanovok na osnove eksperimental'nykh harakteristik turbinnyykh stupeney i otsekov* [Mathematical models of cogeneration steam turbines on the basis of experimental characteristics of turbine stages and compartments] // *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki* – Reliability and security of energy. 2017, No. 4, pp. 330–339.
2. *Teplofikatsionnye parovye turbiny: povyshenie ekonomichnosti i nadezhnosti* – Cogeneration steam turbines: improving efficiency and reliability / L. L. Simoyu et al. SPb. Energotech. 2001. 208 p.
3. *SHempelev A. G., Suvorov D. M., Gutorov V. F., Iglin P. V. Vozmozhnosti, usloviya i effektivnost' podogreva podpitochnoy vody vo vstroennykh puchkakh pri odnovremennom propuske ohlazhdayushchej vody cherez osnovnyye puchki kondensatora* [Possibilities, conditions and efficiency of make-up water heating in built-in beams with simultaneous transmission of cooling water through the main condenser beams]. // *Teploenergetika* – Heat power engineering. 2019, No. 2, pp. 41–50.

4. *Tatarinova N. V., Suvorov D. M., Shempelev A. G.* Approaches to building computational mathematical models based on the flow and power characteristics of cogeneration steam turbine stages and compartments // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM 2017), 16–19 May 2017. P. 1–6. Available at :<https://doi.org/10.1109/icieam.2017.8076463> (date of the application 18.01.2019).

5. *Tatarinova N. V., Suvorov D. M., Sushchikh V. M.* Efficiency of the operation of the cogeneration steam turbine plants at the variable heat and electric load schedules // Problemele energeticii regionale. 2018. Vol. 2(37). P. 85–99. Available at: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1343404> (date of the application 18.01.2019).

6. *Shempelev A. G., Suvorov D. M., Iglin P. V.* Efficiency of using built-in bundles of cogeneration steam turbine condensers for make-up water heating // Problemele energeticii regionale. 2018. Vol. 3(38). P. 36–51. Available at: <https://doi.org/10.5281/zenodo.2222335>(date of the application 18.01.2019).