

Варганова А.В.¹, Орёл Д.А.¹, Коринченко Г.М.¹, Гончарова И.Н.², Байрамгулова Ю.М.³

¹Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

²АО «Магнитогорский Гипромез»

³АО «Магнитогорский Граждан Проект»

ВНУТРИСТАНЦИОННАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ РЕМОНТНЫХ РЕЖИМОВ

В научной работе приводится подход к определению экономически целесообразных ремонтных режимов основного оборудования (энергетических котлов и турбогенераторов) промышленных тепловых электростанций, отличительной чертой которых является использование в качестве энергоносителя покупные (природный газ, уголь) и вторичные ресурсы (кокосовый, доменный, конвертерный газы), имеющие неблочные тепловые схемы, с генераторами мощностью от единиц до десятков мегаватт.

Разработанная методика оптимизации позволяет составлять оптимальные графики вывода в ремонт генераторов и котлоагрегатов по критерию минимума затрат на выработку свежего пара, необходимого для покрытия тепловой и электрической нагрузки в летний и зимний период работы электростанции. С целью повышения точности в расчетах использовались технико-экономические модели котлоагрегатов и турбогенераторов, представляющие собой зависимости паропроизводительности (для котлов) и мощности (для турбогенераторов) от себестоимости одного кубометра пара. Модели позволяют учитывать разнородность используемого топлива, сезон работы тепловой электростанции, эксплуатационные характеристики оборудования (режимные карты котлов и диаграммы режимов турбогенераторов), что накладывает ограничения на режимы и исключает возможность получения в расчетах аварийных и/или заведомого нереализуемых режимов.

В настоящее время в работе выполнено определение сезона (зима/лето), в котором более экономично отключать оборудование на планово-предупредительный ремонт. Созданный алгоритм реализован в оригинальном программном продукте «КАТРАН», позволяющем осуществлять расчет нормальных, аварийных режимов и проводить оптимизацию установившихся режимов. Внедрение результатов работы в условиях действующего объекта позволит без дополнительных капитальных вложений в оборудование повысить эффективность работы установленных агрегатов и снизить затраты на энергоресурсы

Ключевые слова: тепловая электростанция, система электроснабжения, турбогенератор, энергетический котел, оптимальный режим, ремонтный режим, планово-предупредительный ремонт.

ВВЕДЕНИЕ

Существующая ситуация на рынке товаров и услуг ставит перед производителями задачу снизить себестоимость продукции и тем самым повысить свою конкурентоспособность. Крупные предприятия с собственными источниками электрической и тепловой энергии при этом имеют значительное преимущество, ввиду постоянного роста на тарифы электроэнергии от внешнего поставщика.

Источники распределенной генерации на промышленном предприятии решают ряд задач – снижают затраты на передачу электроэнергии, обеспечивая при этом необходимыми мощностями по теплу технологический процесс, продают тепло, следовательно, имеют дополнительную прибыль, используют вторичные энергоресурсы, являющиеся побочным продуктом производства, что в свою очередь снижает себестоимость тепла и электроэнергии и решает экологические проблемы. Рациональное управление режимами работы электростанций может повысить эффективность их работы.

Уже в середине прошлого столетия появляются работы, посвященные оптимальному распределению нагрузок между турбогенераторами [1] и котлоагрегатами [2] тепловых электростанций, с учетом их остаточного ресурса [3]. После распада Советского Союза

появляется ряд статей, ориентированных на оценку экономичности режимов электростанций в условиях оптового рынка [4].

В работе [5] В.А. Игуменцева и А.В. Малафеева приводится подход по оптимизации режимов работы промышленных систем электроснабжения с собственными тепловыми электростанциями методом динамического программирования. Однако сложность работы электростанций обуславливает исследования в области статической и динамической работы генераторов совместно и раздельно с системой [6-9]. Улучшение работы турбогенераторов электростанций осуществляется также за счет внедрения систем управления и оценки их надежности [10]. Проблемами распределенной генерации занимаются и в наши дни [11-12].

Использование методов математической оптимизации для решения задач в условиях объектов электроэнергетики получило широкое распространение. Методы оптимизации применяются при решении задач управления потоками мощности крупных электроэнергетических систем [13-17], при этом используются различные методы. Так, например, в [18] авторами предлагается применять метод Ньютона-Рафсона, в [19] – метод Ньютона. Распределение активных мощностей между генераторами электростанций в [20] решается путем применения метода гарантированного прироста, а в [21] с использованием модифицированного метода последовательного эквивалентирования и динамического программирования.

Исследования в области повышения показателей экономической и технологической эффективности работы промышленных систем электроснабжения являются актуальной задачей, а современные технические средства позволяют упростить использование сложного математического аппарата для решения указанных выше задач.

В данной работе предлагается использовать алгоритм оптимизации распределения нагрузки между котлоагрегатами и турбогенераторами тепловых промышленных предприятий, основанный на методе динамического программирования [21], с целью улучшения показателей работы электростанции в целом в условиях планово-предупредительных ремонтов.

Кроме того, основное оборудование промышленных тепловых электростанций в основном введено в эксплуатацию в середине прошлого столетия, таким образом, оно характеризуется повышенным износом, и вопрос о своевременном выводе в ремонт является актуальным.

МЕТОДИКА ОПТИЗАЦИИ РЕМОНТНЫХ РЕЖИМОВ ОСНОВНОГО ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

На основании методики расчета себестоимости свежего пара [22] и методики построения технико-экономических моделей источников электрической и тепловой энергии [23-25] и с использованием описанного в [21] алгоритма оптимизации разработана методика, позволяющая прогнозировать экономически целесообразные режимы планово-предупредительных ремонтов, блок-схема которой приведена на **рис. 1**.

Основными исходными данными для расчета являются:

- режимные карты котлов, позволяющие осуществлять построение технико-экономических моделей котлоагрегатов $D(B;S)$ с учетом их эксплуатационных возможностей;
- диаграммы режимов турбогенераторов, позволяющие осуществлять построение технико-экономических моделей генераторов $P(D;S)$, учитывая при этом температурный режим и нагрузку на теплофикационный и производственный отборы;
- стоимость покупной электроэнергии ($C_{э/э}$) и стоимость используемых энергоресурсов (C_p), учет данных величин позволяет осуществлять анализ влияния тарифов на энергоресурсы на оптимальное управление режимами работы электростанций;
- электрическая ($P_{эс}$) и тепловая ($D_{эс}$) нагрузка электростанций, позволяющие осуществить расчет баланса мощности и тепла для заданных режимов.

Методика заключается в определении суммарных затрат на свежий пар, необходимый для выработки электроэнергии и тепла, идущего на производственные и теплофикационные отборы, и вырабатываемого электростанцией в летний и зимний период, при поочередном отключении котлоагрегатов и турбогенераторов.

Полученные затраты сравниваются с эталонным значением, рассчитанным для нормального режима работы и соответствующего сезона (включено все оборудование) - d_3 и $d_л$. На основании величин d_3 и $d_л$ делается вывод о сезоне вывода в ремонт оборудования - меньший из показателей считается экономически целесообразным.

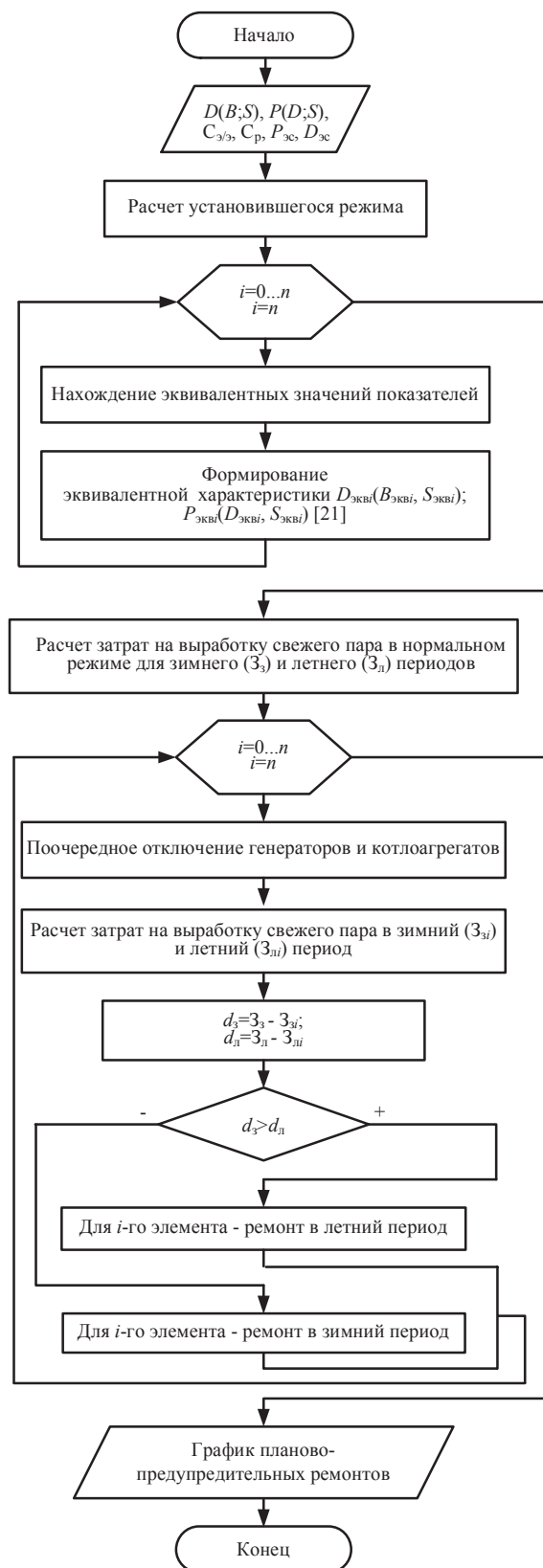


Рис. 1. Методика составления оптимального графика планово-предупредительных ремонтов основного оборудования электростанций

В результате расчета формируется график планово-предупредительных ремонтов котлов и турбогенераторов промышленных тепловых электростанций с отметкой об оптимальном сезоне вывода.

Использование разработанной методики позволяет спрогнозировать оптимальные режимы работы

электростанции и рассчитать при этом ее основные показатели – затраты на свежий пар суммарно по электростанции и по отдельному котлоагрегату, себестоимость свежего пара и электроэнергии, тем самым позволяя оценить прибыль электроустановки.

СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНОВО-ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНЫХ
ГРАФИКОВ РЕМОНТОВ КОТЛОАГРЕГАТОВ И
ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ ТЕПЛОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Экспериментальные расчеты проводились в условиях промышленной системы электроснабжения с собственными тепловыми электростанциями. Структурная схема тепловой схемы промышленной электростанции приведена на **рис. 2**.

На электростанции установлено 6 турбогенераторов и 8 котлоагрегатов, номинальные параметры которых приведены в **табл. 1**.

В качестве первичного энергоносителя на электростанции используется смесь доменного, коксового и природного газа. Для каждого из приведенного оборудования построены технико-экономические модели согласно методике, приведенной в [24-25].

С использованием описанной выше методики оптимизации и алгоритма, реализованного в программно-вычислительном комплексе «КАТРАН», осуществлен расчет затрат на свежий пар (руб./ч), необходимый для покрытия электрической и тепловой нагрузки электростанции.

Результаты расчета для нормального и ремонтных режимов при поочередном выводе в ремонт котлоагрегатов и турбогенераторов электростанции, при ее рабо-

те по летнему и зимнему тепловым графикам, приведен соответственно в **табл. 2** и **3**.

Осуществив оценку суммарных затрат на пар по критерию их минимума, составляется план вывода в ремонт котлоагрегатов и турбогенераторов электростанции, результаты приведены в **табл. 4**.

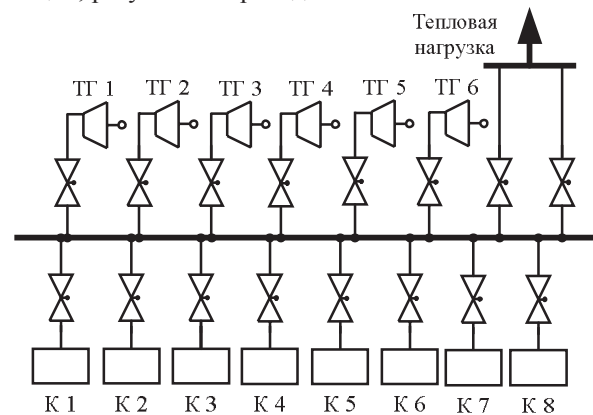


Рис. 2. Структурная схема тепловой электростанции

Таблица 1

Основные номинальные параметры
теплоэнергетического оборудования электростанции

Станционный номер ТГ	Тип турбины	$P_{ном}$, МВт	Станционный номер котла	Тип	$D_{ном}$, т/ч
ТГ - 1, 2, 3	БК-50-2	50	1, 2, 3	ТП-170	170
ТГ - 4	ПТ-50-90/13	50	5, 6	ТП-10	220
ТГ - 5, 6	Т-50-130	50	7, 8	ТП-85	450

Таблица 2

Расчет затрат на выработку пара при поочередном выводе в ремонт станционных котлоагрегатов

Период	Затраты на выработку пара, руб./ч								3, руб./ч
	К-1	К-2	К-3	К-4	К-5	К-6	К-7	К-8	
Существующий режим									
зима	28317,6	48438	49183,2	44153,1	59802,3	59802,3	101421,7	107681,4	498799,6
лето	28887,6	45612	50173,2	45041,85	61006,05	61006,05	103463,2	99966,3	495156,3
Вывод в ремонт К-1									
зима	ППР	48438	49183,2	44153,1	59802,3	59802,3	101421,7	107681,4	470482
лето	ППР	49413	50173,2	45041,85	61006,05	61006,05	103463,2	99966,3	470069,7
Вывод в ремонт К-2									
зима	40240,8	ППР	49183,2	44153,1	59802,3	59802,3	101421,7	107681,4	462284,8
лето	41050,8	ППР	50173,2	45041,85	61006,05	61006,05	103463,2	99966,3	461707,5
Вывод в ремонт К-3									
зима	40240,8	48438	ППР	44153,1	59802,3	59802,3	101421,7	107681,4	461539,6
лето	41050,8	49413	ППР	45041,85	61006,05	61006,05	103463,2	99966,3	460947,3
Вывод в ремонт К-4									
зима	40240,8	48438	49183,2	ППР	59802,3	59802,3	101421,7	107681,4	466569,7
лето	41050,8	49413	50173,2	ППР	61006,05	61006,05	103463,2	99966,3	466078,6
Вывод в ремонт К-5									
зима	40240,8	48438	49183,2	44153,1	ППР	59802,3	101421,7	107681,4	450920,5
лето	41050,8	49413	50173,2	45041,85	ППР	61006,05	103463,2	99966,3	450114,4
Вывод в ремонт К-6									
зима	40240,8	48438	49183,2	44153,1	59802,3	ППР	101421,7	107681,4	450920,5
лето	41050,8	49413	50173,2	45041,85	61006,05	ППР	103463,2	99966,3	450114,4
Вывод в ремонт К-7									
зима	28317,6	48438	49183,2	44153,1	59802,3	59802,3	ППР	107681,4	397377,9
лето	28887,6	45612	50173,2	45041,85	61006,05	61006,05	ППР	99966,3	391693,1
Вывод в ремонт К-8									
зима	28317,6	48438	49183,2	44153,1	59802,3	59802,3	101421,7	ППР	391118,2
лето	28887,6	45612	50173,2	45041,85	61006,05	61006,05	103463,2	ППР	395190

Таблица 3

Расчет затрат на выработку пара при поочередном выводе в ремонт станционных турбогенераторов

Выведен в ремонт	Период	Затраты на прием	Затраты на генерацию	Затраты на передачу	Суммарные затраты
		руб./ч			
ТГ-1	зима	1212780,7	832940,74	21681,42	2067402,86
	лето	1341853,2	836834,37	21121,79	2199809,36
ТГ-2	зима	1203269,64	827710,35	22032,6	2053012,59
	лето	1290375,16	837491,87	21436,88	2149303,92
ТГ-3	зима	1204211,85	827608,01	22016,48	2053836,35
	лето	1302972	842354,04	21443,97	2166770,01
ТГ-4	зима	1230123,56	820298,86	21827,13	2072249,55
	лето	1348900,87	830181,62	21481,7	2200564,18
ТГ-5	зима	1228049,03	820255,22	21492,17	2069796,42
	лето	1361764,59	827545,07	21098,93	2210408,59
Г-6	зима	1227405,03	820333,01	21825,31	2069563,35
	лето	1363099,38	827368,7	21487,48	2211955,57

Таблица 4

График плановых остановов основного оборудования электростанции

Станционный номер	Период	
	зима	лето
К-1	ППР	-
К-2	ППР	-
К-3	ППР	-
К-4	ППР	-
К-5	ППР	-
К-6	ППР	-
К-7	-	ППР
К-8	ППР	-
ТГ-1	ППР	-
ТГ-2	-	ППР
ТГ-3	-	ППР
ТГ-4	-	ППР
ТГ-5	ППР	-
ТГ-6	ППР	-

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методика оптимизации ремонтных режимов промышленных тепловых электростанций позволяет выбрать период останова основного оборудования, учитывая при этом электрическую и тепловую нагрузку электростанции, разнородность используемого топлива, структуру тепловой схемы, ограничения по работе оборудования (техничко-экономические модели, построенные на основе режимных карт котлов и диаграмм режимов турбогенераторов).

Данный подход позволяет не только составлять графики ремонтов, но и осуществлять прогнозирование изменения затрат на выработку свежего пара в связи с изменением стоимости покупных и вторичных энергоресурсов.

Применение данной методики позволит повысить эффективность работы источников распределенной генерации. Экономический эффект от внедрения результатов работы составит 35 тыс. руб. в год на 1 МВт установленной мощности электростанции без дополнительных капитальных вложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оптимальное распределение нагрузок между турбогенераторами тепловых электростанций с помощью ЭВМ / Фошко Л.С., Зусманович Л.Б., Флос С.Л., Пальчик В.А., Коневский Б.И. // Электрические станции. 1977. №1. С. 58-60.
2. Шапин Н.М., Юстус В.П. Оптимизация распределения паровых нагрузок между котельной завода и ТЭЦ энергосистемы // Промышленная теплоэнергетика. 1977. №54. С. 43-44.
3. Оперативное распределение нагрузок между котлоагрегатами ТЭЦ с учетом их эксплуатационного состояния / Аминов Р.З., Доронин М.С., Лубков В.И., Голина Р.М. // Электрические станции. 1982. №9. С. 34-35.
4. Летун В.М., Глуз И.С. Оптимальное управление режимом работы электростанций в условиях оптового рынка // Электрические станции. 2003. № 3. С. 8-12.
5. Игуменцев В.А., Малафеев А.В. Оптимизация эксплуатационных режимов систем электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. 126 с.
6. Анализ переходных процессов в системах электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями в режимах выхода на раздельную работу после короткого замыкания / Заславец Б.И., Игуменцев В.А., Николаев Н.А., Малафеев А.В., Буланова О.В., Ротанова Ю.Н. // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2009. № 1. С. 60-65.
7. Kondrashova Y.N., Gazizova O.V., Malapheev A.V. Increasing The Efficiency Of Power Resource Management As A Solution Of Issues Of The Power Supply System Stability // Procedia Engineering, 2015, no. 129, pp. 759-763.
8. Буланова О.В. Расчет показателей статической устойчивости систем электроснабжения крупных промышленных предприятий, имеющих в своем составе собственные электростанции // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2006. № 2 (14). С. 37-40.
9. Samoylenko V.O., Korkunova O.L., Pazderin A.V., Novikov N.N. Overcurrent Protection Adjustment When Connecting Synchronous Generation To Power Supply Systems // Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology Cep. "2015 IEEE International Conference on Industrial Technology, ICIT 2015", 2015, pp. 2368-2373.
10. Анализ надежности оборудования тепловой электро-

- станции при внедрении преобразователей частоты / Карандаев А.С., Корнилов Г.П., Карандаева О.И., Ротанова Ю.Н., Ровнейко В.В., Галлямов Р.Р. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2009. № 34 (167). С. 16-22.
11. Научные проблемы распределенной генерации / Ерошенко С.А., Карпенко А.А., Кокин С.Е., Паздерин А.В. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2010. № 11-12. С. 126-133.
 12. Eroshenko S.A., Khalyasmaa A.I., Dmitriev S.A., Pazderin A.V., Karpenko A.A. Distributed Generation Siting And Sizing With Implementation Feasibility Analysis // Proceedings of 2013 International Conference on Power, Energy and Control, ICPEC 2013, 2013, pp. 717-721.
 13. Оптимизация режима большой электроэнергетической системы методом декомпозиции по активным мощностям электрических станций / Хачатрян В.С., Мнацаканян М.А., Хачатрян К.В., Григорян С.Э. // Электричество. 2008. №2. С.10-22.
 14. Safonov, G.P. The Optimization of the Production Process for Electrical Insulation Systems / G.P. Safonov, A.M. Sorokin, A.V. Buldakov, P.V. Vorob'ev // Russian Electrical Engineering, 2007, no. 3, pp. 167-169.
 15. Hilber P. Maintenance optimization for power distribution systems. Sweden: Royal Institute of Technology Stockholm, 2008. 125 p.
 16. Frangopoulos C.A., von Spakovsky M.R., Sciubba E. A Brief review of Methods for the Design and Synthesis Optimization of Energy Systems // Applied Thermodynamics, 2002, no. 4, pp. 151-160.
 17. Варганова А.В. О методах оптимизации режимов работы электроэнергетических систем и сетей // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2017. Т. 17. № 3. С. 76-85.
 18. Pazderin A., Yuferev S. Power Flow Calculation By Combination Of Newton-Raphson Method And Newton's Method In Optimization // IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference) 35th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IECON 2009. Sep. "Proceedings - IECON 2009, 35th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society" sponsors: The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), IEEE Industrial Electronics Society (IES), Society of Instrument and Control Engineers (SICE-Japan), University of Porto, Universidade Nova de Lisboa. Porto, 2009, pp. 1693-1696.
 19. Pazderin A.V., Yuferev S.V. Steady-State Calculation Of Electrical Power System By The Newton's Method In Optimization // 2009 IEEE Bucharest PowerTech: Innovative Ideas Toward the Electrical Grid of the Future Bucharest, 2009, pp. 5281830.
 20. Гурский С.К., Домников С.В. Распределение активной мощности методом гарантированного относительного уровня // Электричество. 1982. №9. С. 10-16.
 21. Варганова А.В. Алгоритм внутростанционной оптимизации режимов работы котлоагрегатов и турбогенераторов промышленных электростанций // Промышленная энергетика. 2018. № 1. С. 17-22.
 22. Варганов Д.Е., Варганова А.В. Расчет себестоимости свежего пара на крупных тепловых промышленных электростанциях // Электротехнические системы и комплексы. 2016. № 1 (30). С. 24-28.
 23. Варганов Д.Е., Варганова А.В., Баранкова И.И. Применение экономико-математических моделей газопоршневых установок с целью повышения эффективности работы энергоузлов с источниками распределенной генерации // Электротехнические системы и комплексы. 2016. №4 (33). С. 29-34.
 24. Построение технико-экономических моделей турбогенераторов и котлоагрегатов собственных электростанций промышленных предприятий / Кочкина А.В., Малафеев А.В., Курилова Н.А., Нетупский Р.П. // Электротехнические системы и комплексы. 2013. № 21. С. 247-252.
 25. Малафеев А.В., Игуменцев В.А., Хламова А.В. Получение экономико-математических моделей турбогенераторов промышленных электростанций с целью оптимизации режима системы электроснабжения // Электротехнические комплексы и системы управления. 2009. № 4. С. 34-38.

Поступила в редакцию 23 мая 2018 г.

INFORMATION IN ENGLISH

INDUSTRIAL HEAT POWER PLANTS REPAIR CONDITION OPTIMIZATION

Aleksandra V. Varganova

Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Industrial Electric Power Supply Department, Power Engineering and Automated Systems Institute, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: aleksandra-khlamova@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4675-7511>.

Darya A. Oryol

Student of Industrial Power Supply Systems Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University E-mail: dashunya17@mail.ru.

Gulnara M. Korinchenko

Assistant Professor, Department of Computer Science and Cyber Security, Power Engineering and Automated Systems Institute, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Irina N. Goncharova

Engineer, JSC «Magnitogorskij Giprometz», Magnitogorsk, Russia. E-mail: irina_goncharova_2018@mail.ru.

Yuliya M. Bajramgulova

Engineer, JSC «Magnitogorskij Grazhdan Proekt», Magnitogorsk, Russia. E-mail: Luiza-marsova@ya.ru.

The article considers the questions of defining economically viable conditions of repair of the main equipment (power boilers and turbo-generators) of industrial heat power plants, the hallmark of which is its use for the purchase of energy (natural gas, coal) and secondary resources (coke oven, blast furnace, converter gases) with non thermal circuit, with the generators from units to tens of megawatts.

The developed optimization technique makes it possible to make optimal schedules for the output in the repair of generators and boilers according to the criterion of the minimum cost for the production of live steam necessary to cover the thermal and electrical load in the summer and winter of the power plant. In order to improve the accuracy of the calculations, the research group used technical and economic models of boilers and turbogenerators representing the dependence of steam production (for boilers) and power (for turbogenerators) on the cost of one cubic meter of steam. The models allow us to take into account the heterogeneity of the fuel used, the season of the thermal power plant, the operating characteristics of the equipment (mode maps of boilers and mode diagrams of turbine generators), which imposes restrictions on the conditions and excludes the possibility of obtaining emergency and/or deliberately unrealized conditions in the calculations. At present, the work performed the definition of the season (winter/summer), in which it is more economical to turn off the equipment for preventive maintenance.

The created algorithm is implemented in the original software product "KATRAN", which allows the calculation of normal, emergency modes and optimization of steady-state conditions. The implementation of the results of work in the conditions of the existing facility will make it possible to increase the efficiency of the installed units and reduce energy costs without additional capital investments in the equipment.

Keywords: heat power plant, electrical power supply system, turbogenerating set, boiler, optimum condition, repair condition, scheduled preventive repair.

REFERENCES

- Foshko L.S., Zusmanovich L.B., Flos S.L., Pal'chik V.A., Konevskij B.I. Optimal Load Distribution Between Generators of Thermal Power Station Using ECM. *Elektricheskie stancii* [Power Technology and Engineering], 1977, no. 1, pp. 58-60. (In Russian)
- Shhapin N.M., Justus V.P. Optimal Heat Load Distribution Between Plant Boilers and Power System TPP. *Promyshlennaya teploenergetika* [Industrial Power Engineering], 1977, no. 54, pp. 43-44. (In Russian)
- Aminov R.Z., Doronin M.S., Lubkov V.I., Golina R.M. On Line Load Distribution Between Boilers of TPP Taking Into Account Theirs State of Repair. *Elektricheskie stancii* [Power Technology and Engineering], 1982, no. 9, pp. 34-35. (In Russian)
- Letun V.M., Gluz I.S. Optimal Control of Power Station Conditions under Wholesale Electricity Market. *Elektricheskie stancii* [Power Technology and Engineering], 2003, no 3, pp. 8-12. (In Russian)
- Igumenshhev V.A., Malafeev A.V. *Optimizatsiya ekspluatatsionnykh rezhimov sistem elektrosnabzheniya promyshlennykh predpriyatij s sobstvennymi elektrostanciyami* [Optimization of Industrial Power Station Operation Conditions]. Magnitogorsk, Nosov Magnitogorsk St. Technical Univ. Publ., 2011. 126 p. (In Russian)
- Zaslavec B.I., Igumenshchev V.A., Nikolaev N.A., Malafeev A.V., Bulanov O.V., Rotanova Yu.N. Analysis of Transient Processes in Power Supply Systems Of Industrial Enterprises with their Own Power Plants in the Modes of Separate Operation after a Short Circuit. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Elektromekhanika* [Proceedings of universities. Russian Electromechanics], 2009, no. 1, pp. 60-65. (In Russian)
- Kondrashova Y.N., Gazizova O.V., Malapheev A.V. Increasing the Efficiency of Power Resource Management As a Solution of Issues of the Power Supply System Stability. *Procedia Engineering*, 2015, no. 129, pp. 759-763.
- Bulanova O.V. Calculation of Indicators of Static Stability of Power Supply Systems of Large Industrial Enterprises with their Own Power Plants. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2006, no. 2 (14), pp. 37-40. (In Russian)
- Samoylenko V.O., Korkunova O.L., Pazderin A.V., Novikov N.N. Overcurrent Protection Adjustment when Connecting Synchronous Generation to Power Supply Systems. *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology Cep. "2015 IEEE International Conference on Industrial Technology, ICIT 2015"*, 2015, pp. 2368-2373.
- Karandaev A.S., Kornilov G.P., Karandaeva O.I., Rotanova Yu.N., Rovnejko V.V., Gallyamov R.R. Analysis of the Reliability of Thermal Power Plant Equipment in the Implementation of Frequency Converters. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of South Ural State University]. Series: Energy. 2009, vol. 34, no. 167, pp. 16-22. (In Russian)
- Eroshenko S.A., Karpenko A.A., Kokin S.E., Pazderin A.V. Scientific Problems of Distributed Generation. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Problemy energetiki* [Proceedings of the higher educational institutions. ENERGY SECTOR PROBLEMS], 2010, no. 11-12, pp. 126-133. (In Russian)
- Eroshenko S.A., Khalyasmaa A.I., Dmitriev S.A., Pazderin A.V., Karpenko A.A. Distributed Generation Siting And Sizing With Implementation Feasibility Analysis. *Proceedings of 2013 International Conference on Power, Energy and Control, ICPEC 2013*, 2013, pp. 717-721.
- Hachatrjan V.S., Mnacakanjan M.A., Hachatrjan K.V., Grigorjan S.Je. Optimizing the Operating Conditions of a Large Electric Power System in Terms of the Active Powers at Power Station Nodes that Employs the Decomposition Approach is Proposed. *Elektrichestvo* [Electrical Technology], 2008, no. 2, pp. 10-22. (In Russian)
- Safonov, G.P. The Optimization of the Production Process for Electrical Insulation Systems / G.P. Safonov, A.M. Sorokin, A.V. Buldakov, P.V. Vorobyev. *Russian Electrical Engineering*, 2007, no. 3, pp. 167-169.
- Hilber P. Maintenance Optimization for Power Distribution Systems. Sweden: Royal Institute of Technology Stockholm, 2008. 125 p.
- Frangopoulos C.A., von Spakovsky M.R., Sciubba E. A Brief Review of Methods for the Design and Synthesis Optimization of Energy Systems. *Applied Thermodynamics*, 2002, no. 4, pp. 151-160.
- Varganova A.V. Methods of Optimization of Operating Modes of Electric Power Systems and Networks. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of South Ural State University]. Series: Energy, 2017, vol. 17, no. 3, pp. 76-85. (In Russian)
- Pazderin A., Yuferev S. Power Flow Calculation by Combination of Newton-Raphson Method and Newton's Method in Optimization. *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference) 35th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IECON 2009. Ser. "Proceedings - IECON 2009, 35th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society"* sponsors: The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), IEEE Industrial Electronics Society (IES), Society of Instrument and Control Engineers (SICE-Japan), University of Porto, Universidade Nova de Lisboa. Porto, 2009, pp. 1693-1696.
- Pazderin A.V., Yuferev S.V. Steady-State Calculation of Electrical Power System by The Newton's Method in Optimization. *2009 IEEE Bucharest PowerTech: Innovative Ideas Toward the Electrical Grid of the Future Bucharest*, 2009, pp. 5281830.

20. Gurskij S.K., Domnikov S.V. Active Power Distribution Using Guaranty Comparable Level Method. *Elektrichestvo* [Electrical Technology], 1982, no. 9, pp. 10-16. (In Russian)
21. Varganova A.V. The Algorithm of the Intra-Station Unit Optimization of Operating Modes of Boiler Units and Turbo Generators for Industrial Power Plants. *Promyshlennaya teploenergetika* [Industrial Power Engineering], 2018, no. 1, pp. 17-22. (In Russian)
22. Varganov D.E., Varganova A.V. Cost Calculation of Working Steam in Terms of Industrial Thermal Power Stations. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical systems and complexes], 2016, no. 1 (30), pp. 24-28. (In Russian)
23. Varganov D.E., Varganova A.V., Barankova I.I. Application of Econometric Models of Gas Piston Plants in Order to Increase the Efficiency of Power Unit with Distributed Generation Sources. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical systems and complexes], 2016, no. 4 (33), pp. 29-34. (In Russian)
24. Kochkina A.V., Malafeev A.V., Kurilova N.A., Netupsky R.P. Construction of the Technical and Economic Models of Auxiliary Turbine Generators and Boilers of a Power Plant. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical systems and complexes], 2013, no. 21, pp. 247-252. (In Russian)
25. Malafeev A.V., Igumenshchev V.A., Khlamova A.V. Obtaining Economic and Mathematical Models of Turbogenerators of Industrial Power Plants in Order to Optimize the Mode of the Power Supply System. *Elektrotekhnicheskie komplekсы i sistemy upravleniya* [Electrotechnical complexes and control systems]. 2009, no. 4, pp. 34-38. (In Russian)

Варганова А.В., Орёл Д.А., Коринченко Г.М., Гончарова И.Н., Байрамгулова Ю.М. Внутростанционная оптимизация промышленных тепловых электростанций в условиях ремонтных режимов // Электротехнические системы и комплексы. 2018. № 3(40). С. 27-33. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2018-3\(40\)-27-33](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2018-3(40)-27-33)

Varganova A.V., Oryol D.A., Korinchenko G.M., Goncharova I.N., Bajramgulova Yu.M. Industrial Heat Power Plants Repair Condition Optimization. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2018, no. 3(40), pp. 27-33. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2018-3\(40\)-27-33](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2018-3(40)-27-33)