

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ ПАРОВОГО КОТЛА ПК-41 ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКА ДО 330 МВт

Б.Л. ШЕЛЫГИН, канд. техн. наук, С.А. ПАНКОВ, канд. техн. наук

Предложен вариант модернизации парового котла ПК-41 на основании созданной расчетной модели агрегата в целях устранения выявленных конструктивных и эксплуатационных недостатков. Техническое решение позволяет повысить КПД котла на 2,5 % и увеличить электрическую мощность энергоблока до 330 МВт.

Ключевые слова: паровой котел, расчетная схема, компоновка поверхностей нагрева, топочные экраны, конвективный пучок труб, скорость циркуляции, гидравлическое сопротивление, температура воды, КПД котла.

CALCULATION RESEARCH OF RECONSTRUCTION FACILITIES OF STEAM BOILER SB-41 WHEN INCREASING POWER UNIT ELECTRICAL POWER TILL 330 MW

B.L. SHELYGIN, Candidate of Engineering, S.A. PANKOV, Candidate of Engineering

The authors describe the modernization method of steam boiler SB-41 on the basis of the developed calculation boiler model aiming at rectifying the constructive and operational defects. The technical solution allows us to raise the coefficient of the boiler efficiency by 2.5 % and increase electrical power of power unit till 330 MW.

Key words: steam boiler, calculation model, heat surface composition, furnace waterwalls, convection tube bank, circulation velocity, hydraulic resistance, water temperature, coefficient of the boiler efficiency.

Производство электроэнергии – один из главных показателей экономического развития страны. Энергетика, являющаяся важнейшей отраслью экономики России, в последнее время переживает сложный период в своем развитии [1]. Большая часть энергетического оборудования выработала установленный парк-ресурс. В настоящих рыночных отношениях решение проблемы возможно за счет модернизации устаревшего существующего оборудования электростанций [2].

Первая очередь Конаковской ГРЭС с блоками 300 МВт укомплектована турбоустановками К-300-23,5 ЛМЗ [3] и газомазутными, двухкорпусными котлоагрегатами марки ПК-41 паропроизводительностью 950 т/ч производства Подольского котельного завода «ЗиО г. Подольск» [4] (рис. 1).

Котлоагрегат ПК-41 был первым из котлов нового поколения, ввод в эксплуатацию которых осуществлялся в начале 70-х годов прошлого столетия. В настоящее время эти котлы работают с чрезмерно высоким расходом условного топлива на производство электроэнергии. По современным требованиям [5], эти котлы считаются морально и физически устаревшими и подлежат замене, либо серьезной модернизации. Данные котлы проработали более 250 тыс. часов, имеют значительный износ поверхностей и низкую, по современным меркам, экономичность. Они не соответствуют современным требованиям по маневренности и нормативным показателям выбросов вредных веществ в атмосферу.

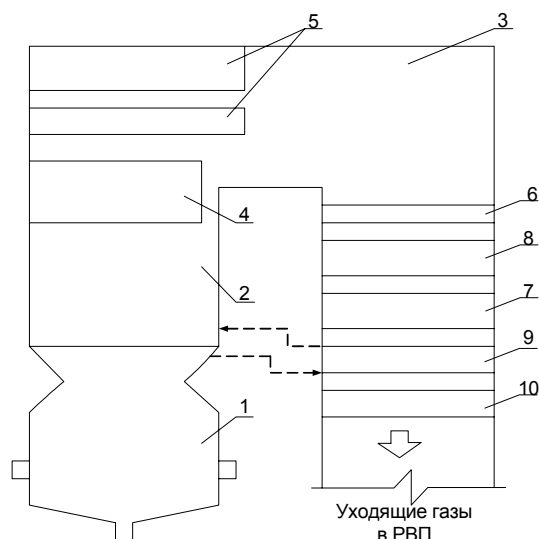


Рис. 1. Компоновка поверхностей нагрева проектного варианта котла ПК-41: 1, 2, 3 – нижняя, средняя и верхняя радиационные части (НРЧ, СРЧ, ВРЧ); 4, 5 – первая и вторая ступени ширмового пароперегревателя (ШП1, ШП2); 6 – ступени конвективного пароперегревателя высокого давления (КПВД1, КПВД2); 7, 8 – первая и вторая ступени конвективного пароперегревателя низкого давления (КПНД1, КПНД2); 9 – переходная зона (ПЗ); 10 – водяной экономайзер (ВЭ)

Для анализа эксплуатационных показателей действующего котлоагрегата ПК-41 Конаковской ГРЭС была разработана с использованием расчетной программы «ТРАКТ» расчетная модель котла, включающая четыре рабочих тракта:

– газовый тракт (рис. 2);

- тракт пара высокого давления (ВД) (рис. 3);
- тракт пара низкого давления (НД) (рис. 4);
- воздушный тракт (рис. 4).

При выполнении расчета в качестве топлива был принят природный газ с теплотой сгорания 8200 ккал/м³ [7]. Коэффициент избытка воздуха на выходе из топочной камеры при максимальной нагрузке котла $\alpha_T = 1,04$. Средняя температура наружного воздуха принята 10 °С, температура воздуха перед РВП (за калориферами) – 30 °С.

Расчетный анализ выполнен для одного корпуса котлоагрегата. Исходные данные для выполнения теплового расчета представлены в табл. 1.

Значения температур перегретого пара за КПВД2 и КПНД2 поддерживались на уровне 544–546 °С за счет изменения расхода топлива и доли байпасирования пара применительно к паропаровому теплообменнику (ППТО) в пределах 0,01–0,4.

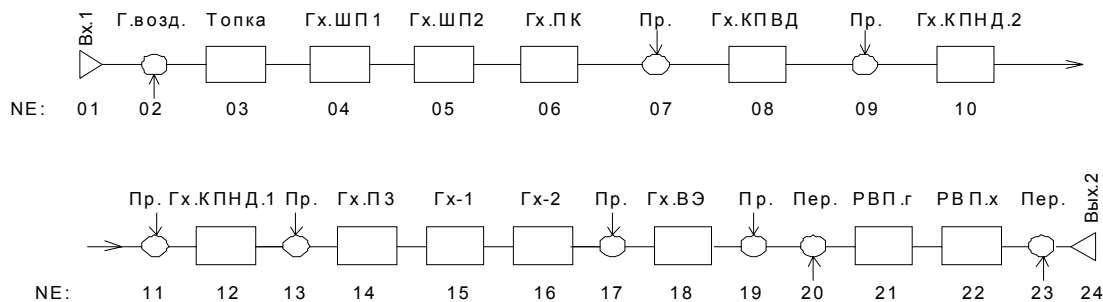


Рис. 2. Расчетная схема газового тракта котла ПК-41

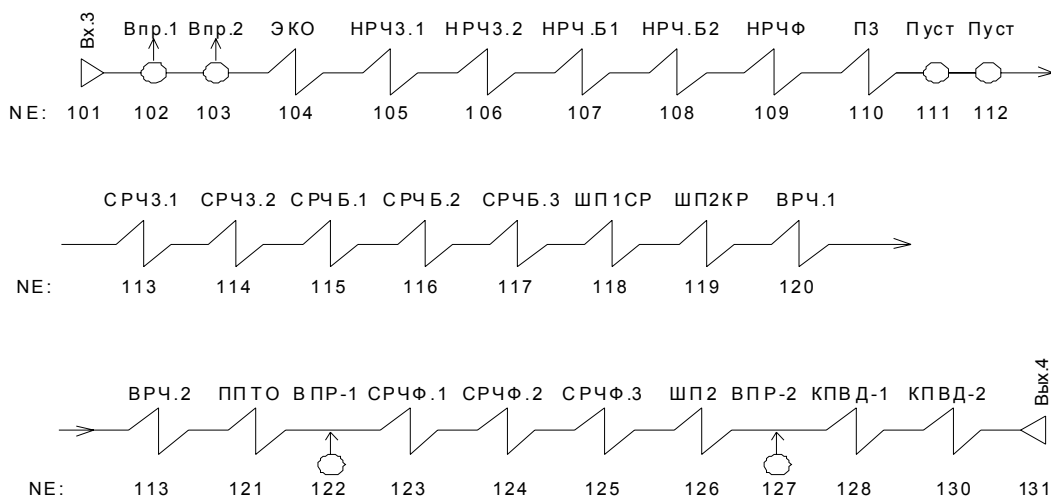


Рис. 3. Расчетная схема водопарового тракта ВД котла ПК-41

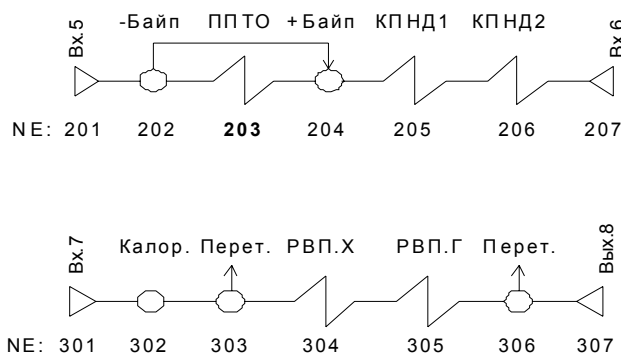


Рис. 4. Расчетная схема трактов промежуточного перегрева пара и нагрева воздуха котла ПК-41

Результаты теплового расчета проектного варианта котла ПК-41 представлены в табл. 2.

Таблица 1. Исходные данные для расчета проектного варианта котла ПК-41

Наименование характеристик	Электрическая мощность блока, МВт		
	150	200	300
Поверхность нагрева НРЧ и СРЧ, м ²	696		
Поверхность нагрева ШП1 и ШП2, м ²	820		
Поверхность нагрева ПЗ, м ²	2250		
Поверхность нагрева ВЭ, м ²	2250		
Объем топочной камеры, м ³	950		
Расход питательной воды, т/ч	238	300	475
Температура питательной воды, °С	230	249	265
Давление питательной воды, кгс/см ²	260	300	320
Давление пара ВД, кгс/см ²	190	230	250
Давление пара на входе в КПНД1, кгс/см ²	25	29	39
Давление пара на выходе из КПНД2, кгс/см ²	23	27	37
Температура пара на входе в КПНД1, °С	255	273	295
Расход пара на входе в КПНД1, т/ч	180	250	370
Присос воздуха в топочную камеру, Δα _т	0,16	0,14	0,1
Потери теплоты от наружного охлаждения q _б , %	0,4	0,33	0,2

Таблица 2. Результаты теплового расчета проектного варианта котла ПК-41

Наименование характеристик	Электрическая мощность блока, МВт		
	150	200	300
Тепловосприятие корпуса котла, Гкал/ч	164,3	197,4	296
Расход топлива, тыс. м ³ /ч	21,88	22,21	39,44
Температура уходящих газов, °С	139	143	150
Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах	1,6	1,54	1,46
КПД котла брутто, %	90,73	90,92	90,59
Температура горячего воздуха, °С	245	259	267
Температура газов на выходе из топочной камеры, °С	1147	1215	1348
Тепловое напряжение топочного объема q _v , Мкал/(м ³ /ч)	189	226	340

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы. КПД брутто корпуса котла ПК-41 при номинальной нагрузке 90,59 % оказывается существенно ниже значений КПД современных газомазутных котлов, и обусловлено это, в первую очередь, высокими значениями температуры уходящих газов и коэффициента избытка воздуха в них.

Котел работает с максимальным значением теплового напряжения топочного объема q_v, что существенно повышает концентрацию окислов азота в уходящих газах NO_x [8]. Вероятность повышения концентрации NO_x дополнительно возрастает вследствие повышения температуры в ядре факела из-за высокой температуры горячего воздуха. Таким образом, повышение паропроизводительности котла в целях увеличения электрической мощности энергоблока при существующей конструкции оказывается невозможным.

Для улучшения основных показателей котла ПК-41 и возможности увеличения его паропроизводительности, при неизменных габаритах, предлагается следующее решение:

1) увеличить топочный объем за счет реконструкции топочной камеры, ликвидации пережима между нижней (НРЧ) и средней (СРЧ) радиационными частями топочной камеры, удаления горизонтальных пакетов нижних и верхних ступеней ширмового пароперегревателя (ШП1 и ШП2);

2) установить вместо ширм в горизонтальном газоходе котла последовательно два одинаковых пакета конвективного пароперегревателя высокого давления (КПВД3) в качестве выходной ступени парового тракта;

3) исключить из газового тракта переходную зону (ПЗ) – зону максимальной теплоемкости рабочей среды, соединить ПЗ с водяным экономайзером в качестве второй ступени (ВЭ2).

Предлагается новая компоновка поверхностей нагрева котла (рис. 5), для которой разработана расчетная модель с соответствующими изменениями в структурах рабочих трактов (рис. 2–4). Исходные данные для выполнения теплового расчета нового (модернизированного) варианта котла ПК-41 представлены в табл. 3.

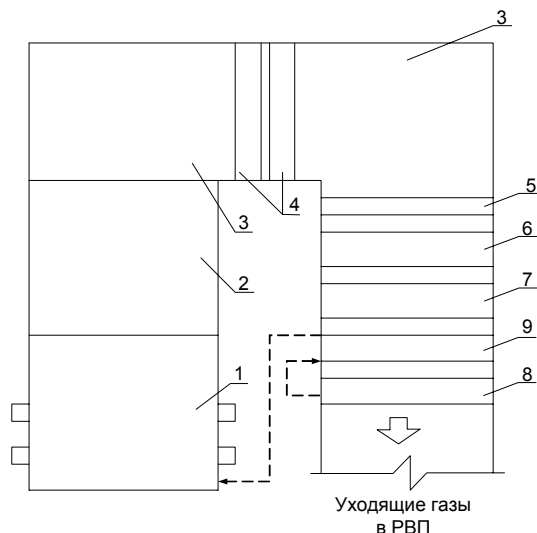


Рис. 5. Компоновка поверхностей нагрева модернизированного варианта котла ПК-41: 1, 2, 3 – нижняя, средняя и верхняя радиационные части (НРЧ, СРЧ, ВРЧ); 4 – третья ступень конвективного пароперегревателя высокого давления (КПВД3); 5 – ступени конвективного пароперегревателя высокого давления (КПВД1, КПВД2); 6, 7 – первая и вторая ступени пароперегревателя низкого давления (КПНД1, КПНД2); 8, 9 – первая и вторая ступени водяного экономайзера (ВЭ1, ВЭ2)

Результаты теплового расчета модернизированного варианта котла представлены в табл. 4.

Таблица 3. Исходные данные для расчета модернизированного варианта котла ПК-41

Наименование характеристик	Электрическая мощность блока, МВт		
	150	200	330
Поверхность нагрева НРЧ и СРЧ, м ²	624		
Поверхность нагрева КПВДЗ, м ²	550		
Поверхность нагрева водяного экономайзера (ВЭ1 и ВЭ2), м ²	4500		
Объем топочной камеры, м ³	1480		
Радиационная поверхность нагрева с учетом части ВРЧ (до первой ступени КПВДЗ), м ²	724		
Расход питательной воды, т/ч	240	320	525
Температура питательной воды, °С	235	254	270
Давление питательной воды, кгс/см ²	265	305	330
Давление пара ВД, кгс/см ²	200	235	255
Давление пара на входе в КПНД1, кгс/см ²	23,5	29,5	40
Давление пара на выходе из КПНД2, кгс/см ²	21,5	27,5	37,6
Температура пара на входе в КПНД1, °С	265	280	300
Расход пара на входе в КПНД1, т/ч	198	275	420
Потери теплоты от наружного охлаждения q _б , %	0,4	0,35	0,19

Таблица 4. Результаты теплового расчета модернизированного варианта котла ПК-41

Наименование характеристик	Электрическая мощность блока, МВт		
	150	200	330
Тепловосприятие корпуса котла, Гкал/ч	164,6	211,1	326,7
Расход топлива, тыс. м ³ /ч	21,3	27,3	42,41
Температура уходящих газов, °С	110	119	134
Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах	1,46	1,35	1,29
КПД котла брутто, %	93,23	93,4	93,03
Температура горячего воздуха, °С	215	229	247
Температура газов на выходе из топочной камеры, °С	1099	1191	1351
Тепловое напряжение топочного объема q _v , Мкал/(м ³ ·ч)	118	151,3	235

Сравнительный анализ результатов расчетов для существующего и модернизированного вариантов компоновок поверхностей нагрева котла (табл. 2, 4) представлен на графиках (рис. 6–9).

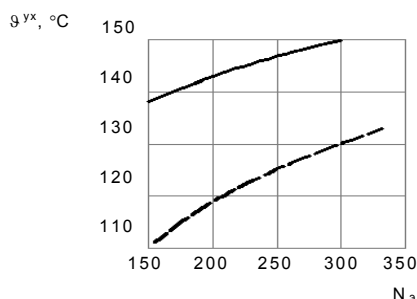


Рис. 6. Изменение температуры уходящих газов в зависимости от электрической мощности блока: — — проектный вариант; - - - - модернизированный вариант

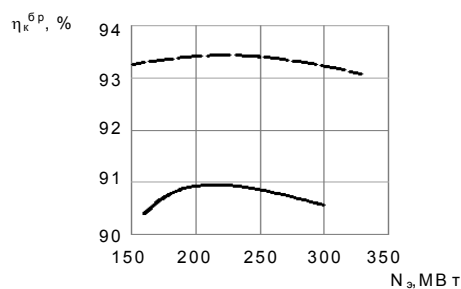


Рис. 7. Изменение КПД котла брутто в зависимости от электрической мощности блока: — — проектный вариант; - - - - модернизированный вариант

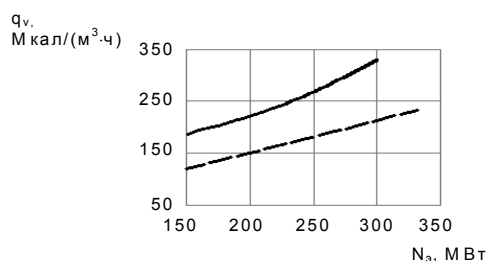


Рис. 8. Изменение теплового напряжения топочного объема в зависимости от электрической мощности блока: — — проектный вариант; - - - - модернизированный вариант

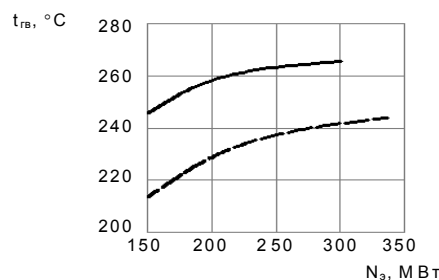


Рис. 9. Изменение температуры горячего воздуха в зависимости от электрической мощности блока: — — проектный вариант; - - - - модернизированный вариант

Расчеты показали, что при существующей конструкции котла увеличение электрической мощности энергоблока от 150 до 300 МВт сопровождается увеличением расхода природного газа на один корпус от 21,88 до 39,44 тыс. м³/ч. Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах снижается с 1,6 до 1,46, а температура уходящих газов возрастает до 150 °С (рис. 6). Коэффициент полезного действия котла вследствие высоких тепловых потерь с уходящими газами не превышает 91 % на всех расчетных нагрузках.

Модернизированный вариант компоновки предполагает отказ от ШП1 и ШП2, увеличение роли ВРЧ в тепловосприятии радиационных поверхностей нагрева топочной камеры, дополнительной конвективной поверхности нагрева (КПВДЗ), увеличение доли участия в теплообмене последующих поверхностей нагрева по ходу газового тракта. В результате температура уходящих газов в диапазоне из-

менения электрической мощности энергоблока от 150 до 330 МВт составит 110–134 °С, что на 26–29 °С ниже по сравнению с существующим вариантом. Этот фактор, а также снижение коэффициента избытка воздуха в уходящих газах дают прирост КПД котла на 2,5 % (рис. 7). Более эффективное тепловосприятие хвостовыми поверхностями нагрева котла при пониженных температурах уходящих газов делает возможным снижение температуры горячего воздуха на 20–30 °С в сравнении с существующим вариантом (рис. 9).

Модернизированный вариант предполагает увеличение объема топочной камеры до 1480 м³, при этом тепловые напряжения топочного объема q_v даже при максимальных значениях паропроизводительности котла не превышают 230–250 Мкал/(м³/ч), что в 1,3–1,4 раза ниже в сравнении с существующим вариантом (рис. 8).

Концентрация окислов азота NO_x в уходящих газах не превысит существующих значений даже при увеличении паропроизводительности котла на 8–10 % (до 510–525 т/ч на корпус) и при соответствующем увеличенном расходе топлива за счет снижения значений тепловых напряжений топочного объема и температуры горячего воздуха [8].

Заключение

С использованием расчетной модели котла ПК-41 выявлены его конструктивные недостатки, следствием которых являются низкие экономические показатели и невозможность существенного повышения его паропроизводительности.

В пределах существующих габаритов котла предложен вариант его модернизации с

новым компоновочным решением поверхностей нагрева.

Расчетом установлена возможность эффективной эксплуатации модернизированного котла при увеличении его паропроизводительности от 475 до 525 т/ч на один корпус.

Модернизация позволит увеличить КПД котла на 2,5 % в сравнении с существующим вариантом, доведя его до 93–93,5 % при электрических нагрузках энергоблока 250–330 МВт.

Снижение теплового напряжения топочного объема с 280–340 Мкал/(м³/ч) до 200–235 Мкал/(м³/ч), т.е. на 35–40 % ниже существующего, а также снижение температуры горячего воздуха (на 19–21 °С) снижают вероятность образования окислов азота в топочной камере котла.

Список литературы

1. **Мошкарин А.В., Смирнов А.М., Ананьин В.И.** Состояние и перспективы развития энергетики Центра России / под ред. А.В. Мошкарин. – Иваново: Центрэнерго – Иван. гос. энерг. ун-т, 2000.
2. **Анализ перспектив развития отечественной теплоэнергетики** / А.В. Мошкарин, М.А. Девочкин, Б.Л. Шельгин и др.; под ред. А.В. Мошкарин / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2002.
3. **Тепловые и атомные электрические станции:** справочник / под общ. ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
4. **Котлы большой мощности.** Каталог 13-80. НИИЭИНФОРМЭНЕРГОМАШ. – М., 1980.
5. **Правила** технической эксплуатации электрических станций и сетей. – М.: Энергия, 2003.
6. **Носков А.Л.** Руководство для пользователей «Справочные материалы по программе ТРАКТ» / ЗиО – Подольск. – Подольск, 1984. – 40 с.
7. **Тепловой** расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / под ред. Н.В. Кузнецова, В.В. Митора, И.Е. Дубовского, Э.С. Карасиной. – М.: Энергия, 1973.
8. **Сигал И.Я.** Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. – Л.: Недра, 1977.

Шельгин Борис Леонидович,
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, профессор кафедры тепловых электрических станций,
телефон (4932) 41-60-56,
e-mail: admin@tes.ispu.ru

Панков Сергей Алексеевич,
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук,
телефон (4932) 41-60-56,
e-mail: admin@tes.ispu.ru