

О становлении отечественного прямоточного котлостроения.

Б.И. Шмуклер

Всероссийский теплотехнический институт

Советские прямоточные котлы начали создаваться в одной из «шарашек»¹, где профессору Леониду Константиновичу Рамзину, обвинённому в организации «Промпартии» с целью свержения советского строя, удалось собрать из различных мест заключения инженеров и научных работников теплотехнического профиля. Там был спроектирован первый опытный прямоточный котёл Рамзина, производительностью 3,6 т/ч при 14,0 МПа/500°C. Он был изготовлен и смонтирован на экспериментальной ТЭЦ Всесоюзного Теплотехнического Института (ВТИ). Проф. Рамзин сумел продемонстрировать этот котелок тогдашнему народному комиссару тяжёлой промышленности Серго Орджоникидзе. По-видимому, нарком обладал большой интуицией – он обеспечил разработку и финансирование строительства первого промышленного прямоточного котла на ТЭЦ высокого давления ВТИ, нынешней ТЭЦ-9 Мосэнерго. Проектирование этого котла велось в той же «шарашке» с участием «вольнонаёмных» специалистов. Л.К.Рамзин в то время находился под домашним арестом, но при необходимости, в сопровождении конвоира, ездил в командировки в Ленинград, где на Невском заводе изготавливался котёл.

Сегодня можно только поражаться принятым при проектировании котла (тип СППВ 200/140) в 1930 г. (!) техническим характеристикам: производительность 200 т/ч, параметры свежего пара 14,0 Мпа, 500°C и промежуточный прогрев пара до 410°C. В то время это был крупнейший в мире прямоточный котёл и многие технические решения не имели аналогов. Принципиальной особенностью котлов Рамзина являлось экранирование топочной камеры горизонтальными и слабонаклонными лентами труб². Котёл СППВ

¹ см. А.И. Солженицын «В круге первом»

² параллельно за рубежом создавались котлы Бенсона, с экранированием топки вертикальными панелями соединёнными необогреваемыми опускными трубами,

200/140 выполнялся в инвертной компоновке, с разделением топки двухсветными экранами на 4 шахты и расположением горелок на потолке топки. Впервые была применена разработанная Рамзиным методика позонного расчёта котла и решались многие новые технические вопросы: устойчивости гидродинамики, крепления поверхностей нагрева, облегченной обмуровки, регулирования, воднохимического режима, сжигания различных видов топлива и т.д.

Пуск и наладка этого котла проводились под руководством Л.К. Рамзина разработчиками проекта совместно с персоналом ТЭЦ-9. Большой вклад в его освоение внесли директор ТЭЦ-9 В.В. Поляков и главный инженер Б.В. Автономов. Котёл был сдан в промышленную эксплуатацию в декабре 1933 г. Он работал сначала на мазуте, затем на тощем угле, в период Отечественной Войны – на подмосковном угле, после неё – снова на тощем угле и затем весь дальнейший период эксплуатации – на природном газе.

Правительство высоко оценило это достижение – весь коллектив разработчиков был освобождён из заключения, а Л.К. Рамзин награждён Орденом Ленина и Сталинской премией. Наркоматом тяжёлой промышленности было выпущено постановление о строительстве серии прямоточных котлов. Для реализации этого постановления было создано «Бюро Прямоточного Котлостроения» (БПК), с центром в Москве и филиалами в Ленинграде и Харькове. Директором и главным инженером БПК был назначен проф. Рамзин. Эта организация обеспечивала весь комплекс работ: проектирование, экспериментальные исследования (на базе ТЭЦ-9), шеф-надзор за изготовлением, шеф-монтаж, обучение персонала электростанций, наладку и промышленные испытания.

В довоенный период были разработаны, изготовлены и введены в эксплуатацию котлы:

СППН 200/35, производительностью 200 т/ч, с параметрами пара 35 Мпа, 410°C, введён на Грозненской ТЭЦ в августе 1939 г., топливо мазут, (в период войны котёл был эвакуирован, но затем восстановлен);

СПП 200/140, производительностью 200 т/ч, с расчётными параметрами свежего пара 14,0 МПа, 500°C, и промежуточным перегревом пара до 400°C, , введён в апреле 1940 г. на ТЭЦ ГАЗ, топливо мазут (По условиям поставки труб пароперегревателя и паропроводов, котёл первоначально эксплуатировался с параметрами пара 3,5 Мпа, 410°C и лишь после реконструкции, переведен на расчётные параметры);

и котлы Зульцера, с горизонтальным экранированием холодной воронки и подъёмно опускными трубами в призматической части топки.

24СП-200/140 с такими же расчётными параметрами, введен в июле 1941 г., на Красногорской ТЭЦ, топливо Челябинский уголь, (Эксплуатировался при параметрах 3,5 Мпа, 410°С и не переводился на расчётные параметры).

Все эти котлы были выполнены с компоновкой поверхностей нагрева в П-образном газовом тракте; стены топочной камеры опоясаны горизонтальными трубными лентами; впервые применён трубчатый воздухоподогреватель, облегчённая обмуровка и каркас; применена синхронизация подачи воды и топлива при сжигании мазута (с использованием спаренного клапана) и другие новые технические решения.

Общий вес котла производительностью 200 т/ч составлял ~375 т, против 750 - 850 т для барабанных котлов того времени.

Тем не менее, в довоенный период прямоточные котлы Рамзина широкого распространения не получили. В известной мере это определялось, как и во многих других случаях, трудностями внедрения новых технических решений. Были и объективные причины, к числу которых в первую очередь относятся высокие требования к качеству питательной воды и более трудоёмкий, сравнительно с барабанными котлами, процесс регулирования параметров пара.

После начала Великой Отечественной Войны, в связи с эвакуацией из Москвы и призывом в армию многих сотрудников, БПК практически прекратило своё существование. Однако, в конце 1942 г. Л.К. Рамзин вернулся в Москву и сумел добиться постановления Государственного Комитета Обороны о восстановлении БПК, с правом отзыва бывших сотрудников из действующих армий (частично это удалось осуществить). Весной 1943 г. группа выпускников-теплотехников Московского Энергетического Института (в том числе и автор) была распределена в БПК и активно включилась в его работу. В это время БПК состояло из проектного отдела, экспериментальной лаборатории, отдела металлов и сварки, монтажно-пускового отдела и ряда мелких подразделений. В нём продолжали работать ведущие сотрудники, участвовавшие в разработке первых котлов: В.А. Сбродов, В.А. Ларичев, Н.М. Иваницкий, В.М. Биман, П.А. Петров, И.И. Кошелев, С.А. Гаврилов, А.А. Давидов, Н.Г. Працуков, Ю.О. Нови, В.О. Нови и др.

В связи с дефицитом электроэнергии на Урале, где работало много оборонных заводов, перед БПК была поставлена задача спроектировать и изготовить на монтажной площадке Красногорской ТЭЦ серию прямоточных котлов типа 200/35-2 со сжиганием в топке Челябинского угля, без использования жидкого или газообразного топлив. Основная сложность заключалась в необходимости использования имевшихся на Урале

английских центробежных питательных насосов с крайне низким напором – 4,3 Мпа, при давлении за котлом не ниже 3,0 Мпа (т.е. с гидравлическим сопротивлением всего тракта ~1,3 Мпа). Кроме того, необходимо было обеспечить изготовление котла на монтажной площадке параллельно с его проектированием. Группа конструкторов БПК под руководством С.А. Гаврилова с этой задачей справилась.

Графическая часть проекта была сведена к минимуму – в основном выпускались таблицы размеров отдельных позиций труб, приведённых на общих видах, и необходимые отдельные узлы. Чертежи забирались с кульманов в производство и калькировались уже после их возвращения. Работали по 12 - 14 часов. Благодаря такой организации работы, весь цикл от начала проектирования до окончания изготовления первого котла составил менее 4-х месяцев! Для обеспечения заданного гидравлического сопротивления котла, топочная камера экранировалась двумя параллельными лентами горизонтально-наклонных труб, а в конвективных поверхностях нагрева принимались предельно низкие скорости среды. Всего было изготовлено 7 котлов этого типа (часть из них на Подольском машиностроительном заводе - ЗиО). В 1944-1945 гг. они были введены в эксплуатацию на Красногорской ТЭЦ, Челябинской ТЭЦ, Сталиногорской ГРЭС и Средне-Уральской ГРЭС. Каждый котёл монтировался всего за 2 - 2,5 месяца. Их пуск и наладка проводились силами монтажно-пускового отдела БПК, под руководством Н.А. Фёдорова. Наибольшие трудности возникли на Челябинской ТЭЦ, где эксплуатационный персонал состоял в основном из девушек-выпускниц фабрично-заводских училищ, не имевших опыта работы не только на прямоточных, но и на барабанных котлах. Кроме того, почти все органы управления не имели дистанционных электроприводов. Наконец, в связи с отсутствием на станции мазута, при растопке котла, а также для поддержания устойчивого горения топлива при работе на низких нагрузках использовались муфельные горелки.

На котлах этого типа часто происходили повреждения поверхностей нагрева, однако, несмотря на это они внесли большой вклад в обеспечение электроэнергией оборонных заводов. Вместе с тем, низкая надежность этих котлов воспринималась в энергетических кругах как неотъемлемое свойство прямоточных котлов вообще и это существенно затормозило дальнейшее развитие прямоточного котлостроения.

Наибольшее количество повреждений труб (трещины, разрывы) происходило в нижней радиационной части котла (НРЧ). Вследствие низких скоростей пароводяной смеси здесь создавались условия для ненормального протекания практически всех внутрикотловых процессов (наблюдались расслоение пароводяной смеси, межвитковая

пульсация потока, неустойчивость гидродинамических характеристик). Часто повреждались также трубы переходной зоны (ПЗ), вынесенной в конвективный газоход для улавливания солевых отложений. С целью уменьшения скоростей среды входной и выходной коллекторы ПЗ располагались по ширине задней стенки конвективной части котла. При этом пароводяная смесь (с сухостью $x \cong 25\%$) крайне неравномерно распределялась по змеевикам и большая группа труб, наиболее удаленная от ввода среды в коллектор, выходила на недопустимо высокий перегрев.

В послевоенный период котлы этого типа постепенно были реконструированы с существенным улучшением эксплуатационных качеств.

Установка центробежных питательных насосов с напором 6,5 МПа позволила повысить скорости среды в поверхностях нагрева;

Установка на входе в витки НРЧ дроссельных шайб с минимально допустимым по условиям забивания диаметром (5 мм) исключила межвитковую пульсацию потока в НРЧ;

Замена труб в НРЧ в области расслоения пароводяной смеси с уменьшением диаметра с 40 мм до 30 мм стабилизировала течение

Установка «разгонной» трубы на входе в коллектор ПЗ и шунта для отвода влаги из входного коллектора в трубопровод за ПЗ существенно снизили разверку температур на выходе из змеевиков.

Наиболее важные оперативные органы оснащены дистанционным управлением.

Следующим шагом в развитии прямоточных котлов, сделанным еще при жизни Л.К.Рамзина, была разработка и внедрение серии котлов типа 51СП220/100, производительностью 220 т/ч, с параметрами пара 10,0 МПа, 510°C (2 котла на одну турбину 100 МВт). Проект котла разрабатывался в БПК, а изготовление - на Подольском машиностроительном заводе.

В этот период Л.К.Рамзин, помимо БПК, работал главным инженером ВТИ, заведовал лабораторией в Энергетическом институте Академии Наук (ЭНИН), читал лекции в Московском энергетическом институте (МЭИ) и др. В БПК он бывал 1–2 раза в неделю, однако все принципиальные вопросы с ним обсуждались и согласовывались.

Интересно, что в этот период в той или иной технической аудитории часто при полном «аншлаге» проводились дискуссии о перспективах прямоточного котлостроения. Как правило, проф. Л.К.Рамзину оппонировал проф. М.А.Стырикович. Однако, основным фактором, сдерживающим внедрение прямоточных котлов, были их сравнительно невысокие эксплуатационные показатели. Большие ожидания были связаны с вводом в

эксплуатацию головного котла высокого давления 51СП220/100 на ТЭЦ-11 Мосэнерго в 1947 г. Котел работал на углях Подмосковского бассейна с разломом в шаровых барабанных мельницах и подачей в топку питателями пыли. На нём впервые были использованы арматура высокого давления, поставки Венюковского арматурного завода и подогреватели высокого давления. Эти устройства, а также обеспечение бесшлаковочного режима работы топки при фронтальном расположении горелок «перчаточного» типа потребовали длительной наладки. Проявлялись также дефекты монтажной и заводской сварки труб. В результате, длительность безотказной работы котла была относительно небольшой, хотя дефектов, связанных с принципом прямоточности было немного. Котлы этого типа были установлены еще на ТЭЦ ГАЗ и на Казанской ТЭЦ.

Уже после смерти проф. Рамзина, в БПК был разработан проект более совершенного котла высокого давления типа 67СП-230/100 (главный инженер И.И.Кошелев, руководитель проекта Н.М.Иваницкий). Головной образец котла был введен в эксплуатацию в конце 1951 г. на Щекинской ГРЭС. Котел оснащен 4 шахтными мельницами, работающими на подмосковном угле, расположенными с фронта топочной камеры. Тепловая схема котла существенно улучшена. В частности, водяной экономайзер выполнен в двух ступенях с недогревом до кипения во второй ~ 45 ккал/кг, что практически исключало явление «выброса», аналогичное «набуханию» уровня в барабанных котлах. Нижняя радиационная часть образована двухзаходной навивкой с наклонным расположением труб на всех стенах топки, улучшившей их дренирование. Витки выполнены из труб трех диаметров: 32 x 4 мм - в холодной воронке, 40 x 5 мм - в первой ленте топки и 51 x 5 мм - в последующих лентах. Это обеспечивало надежность работы НРЧ при минимальной потере давления в дроссельных шайбах на входе в витки. Был применен центробежно-пленочный сепаратор, смеситель и рассредоточенный подвод среды во входной коллектор ПЗ, что существенно снизило гидравлическую разверку змеевиков. Применен двухступенчатый воздухоподогреватель с нагревом воздуха до 380 - 400°C. Котел этого типа был установлен на нескольких электростанциях, и его показатели надежности и экономичности не уступали показателям барабанных котлов.

В начале 50-х годов БПК слилось с московским отделением ЦКТИ (МОЦКТИ). В стране были проведены разработки прямоточных котлов с параметрами свежего пара 14,0 Мпа, 570°C и промежуточным перегревом до 570°C, предназначенные для установки в блоках с турбинами мощностью 150 и 200 МВт. Начиная с этих котлов функции главного конструктора перешли к ЗиО. МОЦКТИ привлекался для выполнения отдельных частей

проектов, а научно-исследовательские институты (ВТИ, ЦКТИ) - в качестве консультантов.

Головной моноблок мощностью 200 МВт с котлом ПК-33-83СП 640/140 (руководитель проекта З.Г.Модель) в 1961 г. был введен в эксплуатацию на Южно-Уральской ГРЭС (пуско-наладочные работы проводились бригадой ЗиО, а промышленные исследования – ВТИ). Для дубль-блоков той же мощности ЗиО разработаны котлы ПК-40 и ПК-47, для дубль-блоков 150 МВт – котлы ПК-24 и ПК-38. Все эти котлы выполнены с экранированием топочной камеры горизонтально-подъемными трубами, характерными для разработок проф. Л.К.Рамзина. В общей сложности, без учета зарубежных поставок, было изготовлено более 115 котлов этих типов. Все они надежно работают до настоящего времени. Таганрогский котельный завод «Красный котельщик» (ТКЗ) прямоточных котлов для блоков 150 – 200 МВт не разрабатывал.

В порядке задела на будущее, ЗиО с привлечением МОЦКТИ был разработан котел типа 68СП-300/215, производительностью 300 т/ч с параметрами свежего пара 21,5 МПа, 575°С и промежуточным перегревом до 415°С. В блоке с предвключенной турбиной он был введен в эксплуатацию на Челябинской ТЭЦ. Этот котел остался опытным, и дальнейшего распространения он не получил.

Совместно с ВТИ (К.А.Раков) был разработан опытный котел 60 ОП-12/300, с параметрами пара 300 МПа, 600°С, который с 1949г. и до настоящего времени эксплуатируется на экспериментальной ТЭЦ ВТИ. В сотрудничестве с ВТИ был разработан также котел типа ПК-37 на параметры пара 30,0 МПа, 650°С с промежуточным перегревом до 410°С, введенный в эксплуатацию на Каширской ГРЭС в блоке с предвключенной турбиной³.

Опыт эксплуатации этих котлов, а также промышленные и стендовые исследования ВТИ, внесли большой вклад в создание и освоение энергоблоков сверхкритического давления (СКД).

К проектированию и поставке прямоточных котлов СКД, помимо ЗиО, подключился и Таганрогский котельный завод «Красный котельщик» (ТКЗ). Всего обоими заводами изготовлено более 300 котлов для блоков 300, 500 и 800 МВт. Главные конструкторы заводов (ЗиО – В.М.Биман, ТКЗ – Л.М.Христич), стремясь увеличить

³ К сожалению, после исчерпания ресурса турбин, потреблявших пар предвключенной турбины, котел ПК-37 был выведен из эксплуатации.

блочность поставки котлов, по требованию строительно-монтажных организаций, отказались от экранирования топки по системе проф. Л.К.Рамзина. Постепенно термин "котел Рамзина" вышел из употребления. Тем не менее очевидно, что новаторские работы, начатые проф. Л.К.Рамзиным и продолженные заводами, научно-исследовательскими и наладочными организациями, обеспечили в нашей стране переход к сверхкритическим параметрам пара, при которых единственно возможным типом является прямоточный котел, и создали основу для освоения в дальнейшем суперкритических параметров.

Литература

Прямоточные котлы Рамзина. Сб. п/ред. проф. Л.К.Рамзина, Госэнергоиздат, 1948

Советские прямоточные котлы. Сб. Госэнергоиздат, 1958

Директор Б.Я., Лунеев В.В., Шмуклер Б.И. Эксплуатация прямоточных котлов. Госэнергоиздат, 1959

Опыт освоения и исследования моноблока 200 МВт с прямоточным котлом. Сб. Госэнергоиздат, 1963

Освоение энергоблоков (пусковые режимы, металл, водоподготовка и автоматика). Сб. п/ред. В.Е.Дорошука, П.Е.Болобана, Н.И.Давыдова, В.Ф.Злепко, Ю.М.Кострикина, Б.И.Шмуклера. Энергия, 1971

Освоение блоков мощностью 300 МВт на экибастузском угле. Сб. п/ред. Лужнова М.И., Дегтева О.Н., Казаринова С.И. Южно-Уральское книжное издательство, Челябинск, 1972

Котельные и турбинные установки энергоблоков мощностью 500 и 800 МВт. Создание и освоение. Сб. п/ред. В.Е.Дорошука и В.Б.Рубина, составители Н.Ф.Комаров, Г.И.Мосеев, Р.А.Петросян, К.Я.Полферов, Я.М.Рубинштейн, Б.И.Шмуклер. Энергия, 1979