

КОТЕЛ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОГРУЖНОГО НАГРЕВА ВОДЫ

Доктор технических наук В.И. ГУРОВ (ГНЦ РФ ЦИАМ),
кандидат физ.-мат. наук В.В. КУРНОСОВ (ООО "Комас"),
доктор технических наук А.И. ЛАНШИН (ГНЦ РФ ЦИАМ),
И.А. РЯБОВ (ГНЦ РФ ЦИАМ)

DOI: 10.7868/5023336192007006X

Проект котла погружного нагрева (КПН) принят в Агентстве "Новатор" при мэре Москвы на конкурс лучших инноваций года в номинации "Энергетика в меняющейся реальности". В проекте представлено сравнение описанного в настоящей статье КПН мощностью 1 МВт с германским конденсационным котлом. Результаты сравнения ошеломили экспертов: по стоимости, эффективности и надёжности этот котёл значительно превосходит германский. Следовательно, Москва располагает большим потенциалом в расширении импортозамещающей политики в сфере передовой энергетики.

В настоящее время стала актуальной проблема распространения распределённой энергетики, в том числе теплоэнергетики¹.

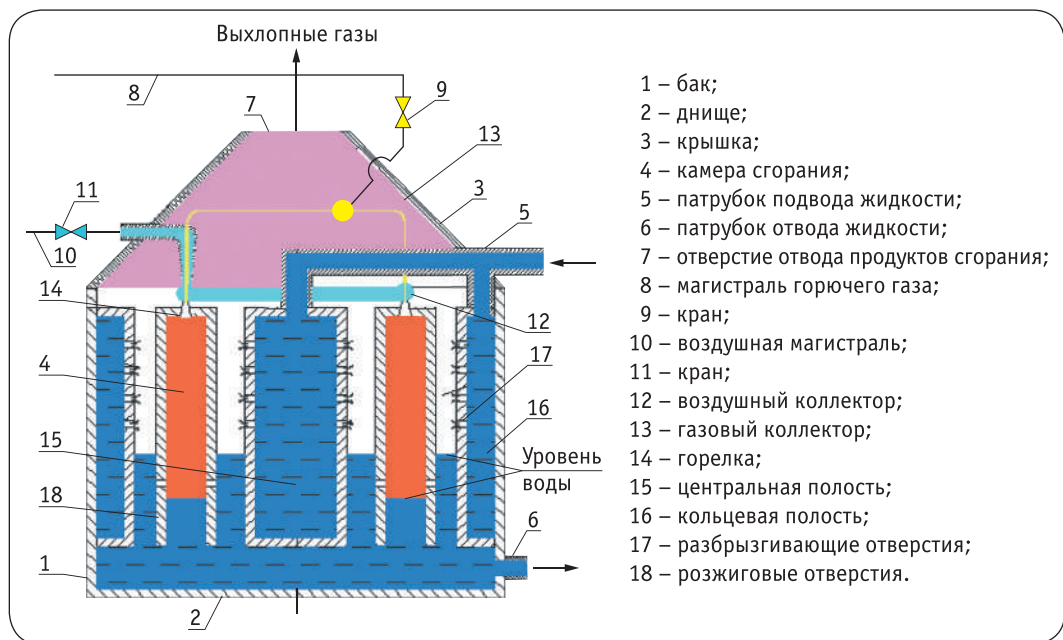
Актуальность проблемы рассредоточения теплоэнергетики городов. Во всех странах мира возрастает внимание к повышению энергетической

эффективности теплоснабжения. Россия – самая холодная страна мира. Затраты энергии на обогрев зданий и сооружений в России в 1.5–3 раза больше, чем в Западной Европе. Поэтому для нашей страны сбережение тепла особенно важно.

Широко применяемое в настоящее время снабжение теплом зданий от централизованных тепловых станций обладает рядом недостатков. Главный из них – огромные потери тепла из-за большой протяжённости теплотрасс (в Москве до 25 км) и их сильной изношенности. Потери тепла порой составляют 40% от исходного. Кроме того, система теплотрасс требует постоянного и дорогостоящего обслуживания.

Разумная альтернатива централизованной теплосети – локальное использование установок непосредственно вблизи потребителей тепла, выполненных по передовым технологиям. Но подавляющее большинство действующих локальных котельных установок имеет низкий КПД (иногда ниже 50%), что связано с высокой температурой отходящих газов ($t_{\text{вых}} \geq 130^\circ\text{C}$) и устаревшими системами горелочных устройств (см. сноску 1).

¹ Фаворский О.Н. Газотурбинные установки в энергетике – важнейший путь экономии топливно-энергетических ресурсов России // Двигатель. 2011. № 3.



- 1 – бак;
- 2 – днище;
- 3 – крышка;
- 4 – камера сгорания;
- 5 – патрубок подвода жидкости;
- 6 – патрубок отвода жидкости;
- 7 – отверстие отвода продуктов сгорания;
- 8 – магистраль горючего газа;
- 9 – кран;
- 10 – воздушная магистраль;
- 11 – кран;
- 12 – воздушный коллектор;
- 13 – газовый коллектор;
- 14 – горелка;
- 15 – центральная полость;
- 16 – кольцевая полость;
- 17 – разбрызгивающие отверстия;
- 18 – розжиговые отверстия.

Рис. 1.
Схема котла погружного нагрева воды.

В середине 90-х гг. прошлого века в АО “Теплопроект” разработан, создан и эксплуатировался водогрейный котёл погружного нагрева воды мощностью 800 кВт для обогрева помещений площадью более 5000 м². Результаты трёхгодичной успешной опытно-промышленной эксплуатации этого КПН в ООО “Комас” (г. Апрелевка, Московская обл.) подтвердили надёжность его работы с КПД 97% при температуре выхлопных газов около 50 °С² без падения параметра кислотности рН оборотной воды ниже значения 7. Вместе с тем содержание оксидов азота и углерода в выхлопных газах этого КПН находилось на уровне, не отвечающем современным требованиям. Сотрудничество специалистов ГНЦ РФ ЦИАМ

и ООО “Комас” на протяжении почти 25 лет позволило существенно улучшить экологические показатели КПН, получить и защитить, начиная с патента на изобретение³, совместные результаты интеллектуальной деятельности, реализованные в различных демонстраторах мощностью 50 кВт и опытном образце мощностью 100 кВт. Принцип работы котла⁴ (см. также сноску 3) поясняется схемой на рис. 1.

В камерах сгорания 4 сжигается топливовоздушная смесь, получающаяся от смешения в горелках 14 воздуха повышенного давления из магистрали 10 и топлива из магистрали 8. Горячие продукты сгорания под избыточным давлением пронизывают слой воды в баке 1 и разбиваются на газовые пузырьки, образующие при

²Гуров В.И., Курносов В.В., Шестаков К.Н. Эффективное теплоснабжение зданий на основе погружного горения топлива // Конверсия в машиностроении. 2001. № 5.

³Гуров В.И., Иванов П.С., Курносов В.В., Азаров Н.В. Водонагревательное устройство. Патент РФ № 2469244 с приоритетом от 08.06.2011.

⁴Гуров В.И., Иванов П.С., Курносов В.В. Теплоснабжение зданий на основе котла с погружным нагревом воды // Энергия: экономика, техника, экология. 2012. № 5.

всплывающей межфазную поверхность теплообмена. При непосредственном контакте продуктов сгорания с водой процессы теплообмена протекают с заметным уменьшением тепловых потерь по сравнению со схемами, в которых использованы обычные теплообменные аппараты. Выхлопные газы выходят в атмосферу через отверстие отвода 7 в крышке 3. Следует подчеркнуть, что оборотная вода поступает после системы обогрева в центральную 15 и кольцевую 16 полости. Из полостей 15 и 16 через разбрызгивающие отверстия 17 вода возвращается в основную ёмкость бака 1, охлаждая образовавшиеся в камерах 4 продукты сгорания, всплывающие после прохождения основной толщи воды в баке.

Итоговый анализ показывает, что локальные котельные установки с использованием КПН имеют следующие основные преимущества по сравнению с централизованными тепловыми станциями и традиционными котлами локального применения:

- в результате полного устранения потерь тепла в теплотрассах общие потери тепла на обогрев зданий сокращаются до 40%;

- из-за падения температуры выхлопных газов котла погружного нагрева на 12–17 градусов относительно температуры воды в основном объёме котла его КПД достигает 97–98%;

- благодаря существенному снижению содержания вредных веществ в выхлопных газах заметно улучшаются экологические показатели окружающей среды;

- поскольку в КПН нет теплообменника, его надёжность увеличивается, а стоимость заметно уменьшается;

- используемая в КПН вода не требует предварительной химической подготовки;

- водяные пары практически отсутствуют в выхлопных газах.

Локальные котельные установки с применением КПН могут найти применение при строительстве новых зданий и сооружений. Экономическая и экологическая эффективность предложенного технического решения – особенно при мощности КПН больше 1000 кВт – настолько велика и очевидна, что в ближайшей перспективе неизбежно встанет вопрос о модернизации действующих систем теплоснабжения в городах, имеющих централизованные тепловые станции или локальные установки с типовыми котлами со встроенными теплообменниками.

Результаты испытаний котлов погружного нагрева воды при работе на различных газах. Успешные результаты сотрудничества специалистов ООО “Комас” и ЦИАМ (см. сноску 2) были доложены и высоко оценены на совещании, организованном 29.06.2017 г. экологической комиссией Мосгордумы и руководством Префектуры ЮВАО Москвы. Совещание проводилось в рамках Совета директоров предприятий округа. Итог этого совещания дал основание генеральному директору ЦИАМ широко развернуть за счёт средств Фонда перспективных научных исследований института научно-технические разработки по совершенствованию КПН, изготовлению двух демонстраторов и опытного образца с проведением их испытаний.

За 2.5 года успешных экспериментально-теоретических исследований обоснованы рекомендации по созданию опережающего задела для решения проблемы развития рассредоточенной теплоэнергетики. Ход выполнения работ, посвящённых изучению свойств и показателей котлов погружного нагрева воды, частично отражён

в труде⁵, некоторые положения которого попробуем кратко осветить.

В частности, недостаток демонстратора КПН мощностью 50 кВт, выполненного по схеме рис. 1, как показали его пробные испытания, заключался в большом количестве горелок (90 экз.), расположенных по периметру цилиндрической ёмкости КПН. Это приводило к уменьшению надёжности работы котла КПН. Важным этапом совершенствования КПН стал переход с цилиндрической формы со множеством горелок по периферии ёмкости на прямоугольную форму с использованием одной камеры сгорания, что закреплено патентом на изобретение⁶. Техническое решение, представленное в патенте, – основополагающее решение, так как оно раскрывает в максимально полном объёме суть котла погружного нагрева через способ нагрева воды продуктами сгорания без использования теплообменника. Очевидно, что предложенный способ может быть реализован во множестве различных устройств, в частности, нацеленных на дальнейшее совершенствование КПН⁷. Вместе с тем очевидно, что патент (сноска 6) – в силу своего основополагающего значения – имеет особую коммерческую привлекательность. Отметим, что

в 2013 г. интерес к разработкам КПН проявили исследователи из Украинского государственного химико-технологического университета (кафедра энергетики)⁸.

Важным этапом совершенствования КПН стала разработка (см. сноску 7) на основе анализа 72-часовых непрерывных испытаний демонстратора котла мощностью 50 кВт на пропан-бутановом газе. При этом устранено несовершенство системы конденсации водяных паров на выходе из демонстратора котла путём создания развитой системы теплообмена струй на противотоках – выхлопного горячего газа и холодного компрессорного воздуха. Эта система с эффективной конденсацией водяных паров представлена в виде цилиндрической ёмкости, размещённой на водяной прямоугольной ёмкости опытного образца КПН мощностью 100 кВт (рис. 2). В частности, эффективность конденсации подтверждена тем, что в процессе длительной работы КПН при температуре воды в котле на уровне 65 °С объём воды в замкнутой системе отопления не менялся.

На первом этапе опытный образец КПН мощностью 100 кВт испытан с низким избыточным давлением (1.5 кПа) природного газа в подводящей магистрали. Это не позволило получить требуемую мощность и эффективность, так как давление непосредственно перед горелкой уменьшалось вдвое. Полученный результат очевиден, если понимать особенности работы КПН, напрямую связанной с процессом проникновения горячих продуктов сгорания в толщу воды. В частности, совместный анализ

⁵Гуров В.И., Курносов В.В., Ланшин А.И., Свердлов Е.Д., Скибин Д.А. Исследование погружного нагрева воды в обеспечении создания опытно-промышленных образцов водонагревательных устройств нового поколения : Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2019. Том 5. № 3.

⁶Гордін М.В., Гуров В.И., Курносов В.В. Водонагревательное устройство и способ его работы. Патент РФ № 2659711 с приоритетом от 13.10.2017.

⁷Гуров В.И., Курносов В.В. Водонагревательное устройство. Патент РФ на полезную модель № 166945 с приоритетом от 04 марта 2016; Гуров В.И., Курносов В.В. Контактный водонагреватель. Патент РФ на изобретение № 2680458 с приоритетом от 23 марта 2018.

⁸Никольский В.Е. Разработка и исследование отопительной контактно-модульной системы с применением аппаратов погружного горения // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2015. № 4.



Рис. 2.
Опытный образец КПН мощностью 100 кВт.

(см. сноску 5) результатов 72-часовых непрерывных испытаний демонстратора КПН мощностью 50 кВт при работе на пропан-бутановом газе и на природном газе количественно подтвердил зависимость эффективности и мощности КПН от давления топлива в подводящей магистрали. Так, при требуемом давлении пропан-бутанового газа, соизмеримым с высотой столба воды в котле, эффективность КПН составляла 97.1%, а при избыточном давлении природного газа в магистрали подвода – 1.5 кПа (вместо требуемого 2.5–3.0 кПа) эффективность использования природного газа в демонстраторе КПН снизилась до 45%. Это обусловлено невозможностью горячих газов “пробивать” толщу воды в центральной полости 15 котла (рис. 1).

Целью испытаний опытного образца КПН мощностью 100 кВт было научно-техническое обоснование возможностей проведения приёмо-сдаточных

испытаний котлов мощностью 100 кВт при их коммерческой реализации для различных целей, вплоть до технологий мытья железнодорожного оборудования. По сравнению с известными водогрейными котлами такие водонагреватели не нуждаются в системе химической водоочистки и могут работать на неподготовленной заранее воде без ухудшения своих технических показателей.

На основании анализа известных способов и средств повышения давления природного газа выбран газо-газовый эжектор. Выбор эжектора обусловлен его надёжностью и простотой в эксплуатации. Очевидно, что время работы системы баллон–эжектор в несколько раз превосходит время работы только от баллонной рампы (на рис. 4 не изображена), подключённой к магистрали низкого давления природного газа. Расчёт эжектора проводился с учётом получения мощности опытного образца КПН на уровне 100 кВт. Требуемый эжектор, представленный на рис. 3, изготовлен на производстве ЦИАМ.

Оснащённый системой эжектирования испытательный стенд схематично представлен на рис. 4: метановый газ подаётся в эжектор 18 из баллона 19 объёмом 40 л и давлением 15 МПа с помощью редуктора 17.

Рис. 3.
Эжектор.



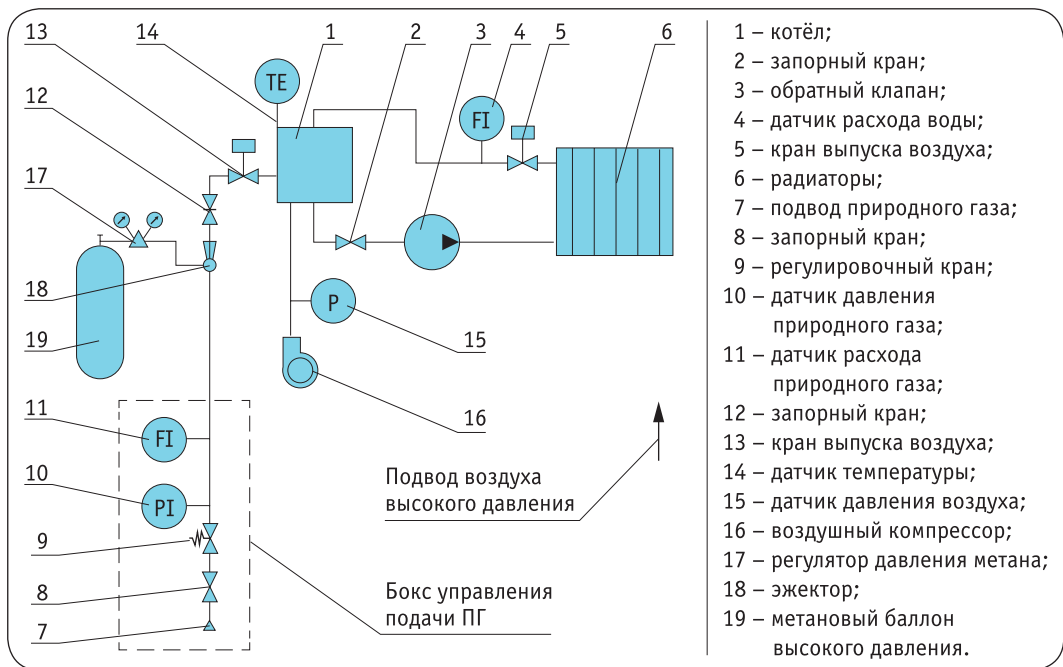


Рис. 4.
Схема стенда с системой эжектирования магистрали КПН.

Результаты экспериментально-теоретических исследований и опытно-демонстрационных испытаний котлов погружного нагрева воды позволяют утверждать следующее.

1. Установлен режим стабильной работы КПН мощностью 100 кВт при подключении к магистрали природного газа низкого избыточного давления (1,5 кПа) эжектора от метанового баллона давлением 15 МПа. Достигнута мощность 117 кВт при приемлемых значениях экологических показателей по CO и NO_x и высокой эффективности – значения CO и NO_x соответствуют 29 и 37,8 ppm при коэффициенте избытка воздуха 2,4 и КПД на уровне 98%. Температура выхлопных газов составила 64 °С при температуре воды в котле 77 °С.

2. Показано, что для поддержания мощности КПН на уровне 25 кВт в те-

чение 12 ч достаточно использовать запасы метана одного баллона объёмом 40 л с начальным давлением 15 МПа. Применение апробированного при испытаниях КПН контура утилизации тепла из 10 восьмисекционных радиаторов типа МС-140–500 допустимо в случае обеспечения определённых условий – проведения испытания котла при мощности 100 кВт в течение 15 мин.

3. Полученные результаты показали возможность проведения полноценных приёмо-сдаточных испытаний КПН мощностью 100 кВт с учётом реализации в ближайшей перспективе дополнительного оснащения стенда современной регулировочной и измерительной аппаратурой.

4. Выявлены дополнительные возможности стенда для наращивания научно-технического задела в направлении совершенствования КПН путём использования эжектора с его подключением, в частности, к апробированному водородному баллону объёмом 1 л при давлении 30 МПа.