

УДК 621.181

## **ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТАЛЬНОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА МОЩНОСТЬЮ 1,16 МВт (КСГН-1,16)**

**Орумбаев Р.К., Кибарин А.А., Коробков М.С., Кумаргазина М.Б.,  
Искаков Д.О., Жекенов Е.Л.**

*Некоммерческое АО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева»,  
Алматы, e-mail: a.kybaryn@auies.kz*

Для стран СНГ и Казахстана в настоящее время отмечается рост децентрализованных систем теплоснабжения, оснащенных малыми водогрейными котлами мощностью до 7,56 МВт. Для города Алматы отмечается большое количество малых котельных на газообразном топливе, эксплуатирующих водогрейные котлы мощностью от 0,63 до 7,56 МВт, для которых должны выполняться требования экономичности и экологической привлекательности при эксплуатации существующих агрегатов, их замене и модернизации и при вводе новых котельных. В статье представлены особенности конструкций котельных агрегатов серии КСГН-1,16 и показан опыт их эксплуатации с оценкой эффективности их работы. Отмечена новая конструкция новых U-образных топочных экранов, образованных из цельносварных мембранных трубных панелей. Используются внутренние и внешние U-образные экраны, при этом последний выступает в качестве двухцветного экрана. Мониторинг работы котельных с котлами серии КСГН-1,16 и проведенные теплотехнические испытания позволили получить подтвержденные сведения, показывающие, что котлы этой серии имеют высокую надежность, ремонтпригодность и эффективность эксплуатации. Представлены обработанные результаты исследований эксплуатации котлов, показано, что котел имеет высокие удельные характеристики тепловой эффективности.

**Ключевые слова:** водогрейный котел, конструкция топочных экранов, энергоэффективность котельных, теплотехнические испытания

## **EXPERIENCE IN OPERATING OF 1,16 MW STEEL HORIZONTAL HOT-WATER BOILER (KSGN-1,16)**

**Orumbayev R.K., Kibarin A.A., Korobkov M.S., Kumargazina M.B.,  
Iskakov D.O., Zhekenov E.L.**

*Non-profit JSC «Almaty university of power engineering and telecommunications  
named after Gumarbek Daukeev, Almaty, e-mail: kibarin@rambler.ru*

For the CIS countries and Kazakhstan, there is currently an increase in decentralized heat supply systems equipped with small hot water boilers with a capacity of up to 7,56 MW. For the Almaty city there is a large number of small gas-fired boiler plants operating hot water boilers with a capacity of 0,63 to 7,56 MW for which the requirements of efficiency and environmental attractiveness must be met when operating existing units, replacing and upgrading them, and when commissioning new boilers. The article describes the design features of the KSGN-1,16 series boiler units and shows the experience of their operation with an assessment of their efficiency. A new design of new U-shaped furnace screens formed from all-welded membrane tube panels was noted. Internal and external U-shaped screens are used, and the last is acting as a bi-radiated screen. Monitoring the operation of boiler plants with the KSGN-1,16 series boilers and conducted heat engineering tests allowed to obtain confirmed information showing that the boilers of this series have high reliability, maintainability and operational efficiency. The processed results of research on the operation of boilers are presented. It is shown that the boiler has high specific characteristics of thermal efficiency.

**Keywords:** hot-water boiler, furnace walls construction, boiler plant energy efficiency, thermal tests

На сегодняшний день в Казахстане, и в городе Алматы в частности, находится в эксплуатации большое количество децентрализованных источников теплоснабжения, находящихся как в частной собственности, так и в ведении ТОО «Алматытеплокоммунэнерго» [1], обеспечивающих теплоснабжение районов города. Как правило, по последним имеющимся у авторов данным исследований, в городе Алматы практически отсутствуют котельные, работающие на твердом и жидком топливе, и подавляющее большинство котельных уже газифицированы. С учетом современных мировых трендов [2] развиваются схемы малых централизованных и децентра-

лизованных систем теплоснабжения, в том числе и в городе Алматы с присоединением новых пригородных районов появляется необходимость их энергообеспечения, что можно решить несколькими способами, к примеру, подключить к существующим районным котельным или организовать малые децентрализованные котельные. Имеет место и обратная ситуация, при которой часть потребителей отключается от системы, и котельные вынуждены переходить на новый режим работы с пониженной нагрузкой. В том и другом случае для котельных ключевым вопросом будет определение наиболее экономичного плана работы [3] при существующей нагрузке потребителей.

Эксплуатация и новых, и существующих котельных должна выполняться с учетом требований государственных программ повышения энергоэффективности [4], с принятием политики «зеленой экономики» [5] и защитой окружающей среды. В малых котельных АО «Алматытеплокоммунэнерго» уже находятся в эксплуатации малые водогрейные котлы КСГн-1,16 с современной конструкцией топочных экранов [6], которые имеют возможность работать с высокой экономичностью и экологичностью в широких пределах регулировочного диапазона нагрузки.

Целью исследования в настоящей статье является опытная проверка эффективности конструкций водогрейных котлов КСГн-1,16 на основе данных по итогам теплотехнических испытаний и мониторинга работы котлов малых котельных ТОО «Алматытеплокоммунэнерго».

### Материалы и методы исследования

Проведенный анализ существующих казахстанских, российских и зарубежных технологий показывает, что в целом для существующих систем теплоснабжения в настоящее время растет уровень использования отечественных технологий (как для Казахстана, так и для России), при этом современный рынок котельного оборудования при эксплуатации не уступает зарубежным аналогам [7; 8].

Для оценки эффективности современной конструкции водогрейного котла КСГн-1,16 были использованы методы статистического анализа, сравнения и эксперимента, которые отражены в выполненной работе по мониторингу за основными эксплуатационными показателями работы водогрейных котлов (температуры теплоносителя на входе и выходе из котла, расход теплоносителя энергетического топлива, мониторинг состава уходящих газов). В качестве основного аналитического материала выступали данные мониторинга по работе котла по значениям штатных приборов, с выводением среднего фиксированного значения.

Обследуемые котельные полностью оборудованы необходимым минимумом контрольно-измерительных приборов. В том числе термометрами и манометрами на входе и выходе из котла, на прямой и обратной линиях теплоносителя; расходомерами с тепловычислителями также на обеих линиях теплоносителя; газовым счетчиком для контроля расхода топлива – природного газа. Для оценки состава уходящих газов были использованы данные производственного экологического контроля (средние показательные значения). Все второстепенные

значения и данные были приняты по имеющимся журналам учета показателей работы котельной. При проведении теплотехнических испытаний вся основная информация, собранная по данным штатных приборов, была дополнительно подтверждена с дублированием информации с помощью портативных измерительных комплексов, в том числе пирометрами, газоанализатором, ультразвуковыми расходомерами. При проведении испытаний была использована упрощенная методика М.Б. Равича [9] теплотехнических испытаний для котельных агрегатов на газовом топливе. При этом обработка результатов расчетов была выполнена с учетом допустимых погрешностей при определении КПД котла по обратному балансу [9; 10].

При проведении теплотехнических испытаний поддерживались общие условия, соответствующие требованиям эксплуатации. Уровень присосов сохранялся на допустимом минимальном уровне, а доля теряемой тепловой энергии с поверхностей котла контролировалась с помощью тепловизионной камеры, с её помощью также определялся уровень изношенности изоляционных поверхностей котла [11; 12].

В качестве опытных образцов были выбраны уже находящиеся в эксплуатации котельные агрегаты для получения данных, выбранных статистически из большого массива фиксируемых данных на протяжении последнего отопительного сезона (котельная «Ботагоз», котельная «Станкевича», котельная «на Глазунова»).

Исследуемые котельные агрегаты отличаются новой конструкцией топочных экранов [6]. Внутренние топочные U-образные экраны выполнены цельносварной трубной панелью с мембранами. При этом мембраны приваривались к трубам с попеременным смещением в противоположные стороны от диаметральной плоскости для существенного увеличения прочности [13]. Трубы фронтального и потолочного экранов выполнялись также единой цельносварной Г-образной панелью с выполнением в потолочном экране с тыльной стороны котла взрывного клапана. Снизу внутренний топочный U-образный цельносварной экран опирается на внутренние стенки газохода котла. Наружный двусветный U-образный экран размещается над серединой газохода, а наружный U-образный теплоизолированный кожух котла опирается на наружные стенки U-образного газохода котла, который одновременно с внутренней стороны кожуха имеет турбулизаторы, а с наружной стороны является декоративным кожухом. Функции фестонного экрана выполняют

верхние два ряда труб внутренних топочных U-образных экранов, которые по периметру обтекают топочные газы из объема топки и попадают в заэкраный газоход котла, после которого уже нисходящий поток газов обтекает поперечные ряды труб наружного двусветного экрана. При этом заэкраный газоход вместе с трубами наружного двусветного экрана и наружной стороны цельносварного внутреннего топочного U-образного экрана, учитывая поперечные пластины-турбулизаторы декоративного кожуха, выполняется в виде элемента поперечного шахматного пучка труб.

При этом для достижения оптимальной геометрии топочной части котла КСГн-1,16 конструкция выполнялась с более зауженным с тыльной стороны заэкраным газоходом, что обуславливается размещением сборного коллектора короба газохода с тыльной нижней стороны котла. А также с целью обеспечения равномерного обтекания продуктами сгорания боковых конвективных поверхностей с размещенным по всей длине топки поперечным одним рядом труб [6; 14].

#### Результаты исследования и их обсуждение

На основе выполненного анализа данных мониторинга и проведенных теплотехнических испытаний котельных агрегатов был собран массив данных, по которым были выполнены необходимые расчеты с требуемым уровнем статистической обработки (с ис-

ключением случайных величин, установкой доверительного интервала данных в пределах установленной погрешности измерений, приборов, расчетов). Полученные итоговые данные для трёх режимов работы котла были обобщены и сведены в таблицу.

Полученные результаты свидетельствуют об эффективности конструкций топочных экранов. Смещенные поочередно в разные стороны мембраны внутреннего топочного U-образного цельносварного экрана обеспечивают более равномерный прогрев по периметру всех экранных труб. Цельносварная трубная экранная панель с поочередно смещенными в разные стороны от диаметральной плоскости мембранами образует жесткую конструкцию, составленную из двух пар таврового сечения по всей высоте и ширине внутреннего топочного U-образного экрана [6; 13].

Собранные таким образом экраны вместе с цельносварным Г-образным экраном обеспечивают достаточную герметичность в топке, а конструкция водогрейного котла становится более прочной и практически невосприимчивой к возможным хлопкам (и даже к взрывам) и переменным тепловым нагрузкам, как это показала достаточно длительная эксплуатация. Конструкция котлов этой серии КСГн с наиболее теплонапряженными топочными экранами, в которых выполняется подъемное движение воды, является наиболее надежной с точки зрения эксплуатации котла в реальных условиях работы [6; 13].

Обобщенные и обработанные результаты по обследованию котла КСГн-1,16

Характерный параметр	Значения в режимах работы		
	1	2	3
Тепловая мощность котла КСГн-1,16, МВт	0,464	1,11	1,16
Давление газа перед горелкой, кПа	0,18	0,67	0,67
Расход воды через котел в испытаниях, т/ч	40	40	40
Давление воздуха перед горелкой, кПа	0,21	1,15	1,17
Температура воды на входе в котел, °С	44	44	44
Температура воды на выходе из котла, °С	54	68	69
Расход газа по расходомеру, м³/час	51,8	122,5	127,9
Гидравлическое сопротивление котла, МПа (кгс/см²)	0,01 (0,1)	0,01 (0,1)	0,01 (0,1)
КПД, на природном газе, %	92,61	93,5	93,57
Температура уличного воздуха, °С	20	20	20
Оксид углерода	след	след	след
Коэффициент избытка воздуха за котлом, %	1,36	1,21	1,2
Температура уходящих газов, °С	122	148	151
Потери тепла с уходящими, %	3,89	5,02	5,16
Потери тепла с хим. недожогом, %	0	0	0
Потери тепла в окружающую среду, %	3,5	1,46	1,27
Теплота сгорания газа, Q <sub>н</sub> , ккал/м³	8360	8360	8360

Предложенный порядок соединения экранов по произведенным расчетам позволяет котлу эффективно работать как в номинальном режиме, так и в режимах с пониженной вплоть до 20 % тепловой нагрузкой. Устойчивость работы котла на пониженной нагрузке была проверена экспериментально. Надежность конструкции позволяет предусмотреть работу котла на пониженных давлениях воды, это существенно позволяет сдвинуть нижние границы по условиям недопущения закипания воды и опрокидывания циркуляции воды в контуре котла [6; 15].

В конвективной части котла, конструктивно функцию которой выполняет наружный U-образный экран с двусветными трубами, топочные газы опускаются вниз. Скорость потока воды по шести каждым трубам составляет до 1,48 м/с, и гидравлическая схема движения воды может работать по более эффективной противоточной схеме.

В исследованных конструкциях котлов удалось увеличить общий расход воды: до 40 м<sup>3</sup>/час в котле КСГн-1,16 котельной «Ботагоз» (испытания проводились с расходом 22 м<sup>3</sup>/ч). Расход воды равномерно распределялся по симметричным экранам котла. Скорость воды во внутренних цельносварных топочных экранах варьировалась от 2,24 до 2,45 м/с, а в конвективном экране с двусветными трубами от 1,5 до 1,8 м/с.

Расчеты, выполненные при проведении аналогичных теплотехнических испытаний [13–15], также подтверждают эффективность оптимизации конструкций новых водогрейных котлов. Отличие всей серии водогрейных котлов КСГн от аналогов состоит в том, что радиационная поверхность нагрева  $H_r$  может быть увеличена в 1,5 раза, а объем топки может быть увеличен в 1,65 раза практически без значительных изменений прежних габаритов котла в плане [6; 13; 14].

Для оценки возможности эффективной эксплуатации водогрейных котлов КСГн-1,16 были проведены дополнительно экспресс-испытания по режимам работы, в частности с переключением режима горения для форсировки и снижения интенсивности процесса горения. По результатам было показано, что преднамеренный выход с оптимального режима горения (отмечается изменением избытка воздуха по данным непрерывного контроля состава уходящих газов) не вызывает дестабилизации работы котла и за счет конструкции котла позволяет эксплуатировать его в таких режимах с значительным запасом по надежности. При этом было отмечено минимальное снижение КПД до значений 88–89 % при 50 %-ной нагрузке котла.

За счет применения новой конструкции цельносварных экранов котлов появляется возможность использования дополнительной тепловоспринимающей поверхности, которая образуется за счет организации движения газов сначала с внутренней стороны U-образных экранов, а далее с внешней их стороны, что образует так называемые двусветные экраны. Таким образом, новые котлы серии КСГн-1,16 имеют объем топки  $V = 7,4 \text{ м}^3$ , и соответственно площади конвективной и радиационной поверхностей  $H_k = 44 \text{ м}^2$  и  $H_r = 20 \text{ м}^2$ . Соотношение конвективной поверхности к радиационной составляет 2,2, а отношение суммарной величины площадей поверхности нагрева к величине тепловой мощности котла составляет порядка 55,17 м<sup>2</sup>/МВт. При этом для сравнения с серийными котлами, ближайший котел КВГМ-1,16-95 («Смоленск-1», производства ОАО «ДКМ» [16]) имеет значения площадей конвективной поверхности  $H_k = 29,2 \text{ м}^2$  и радиационной поверхности  $H_r = 11,2 \text{ м}^2$ , соответственно отношение поверхностей  $H_k/H_r$  составляет 2,6, а отношение суммарной величины площадей поверхности нагрева к величине тепловой мощности находится на уровне 34,83 м<sup>2</sup>/МВт.

При этом конструкция водогрейного котла серии КСГн позволяет варьировать отношением длины топки к поперечному сечению топки, а также отношением радиационной поверхности к конвективной. Новая конструкция позволяет конструкторам изменять и реализовывать оптимальный профиль эффективного котла в зависимости от конкретного вида сжигаемого топлива, что сложно выполнять на классических водогрейных котлах призматической или цилиндрической формы с достаточно жесткими привязками к габаритным размерам [14; 15].

### Выводы

Существующие водогрейные котлы, по данным исследований длительной эксплуатации конструкций с цельносварными панелями без использования обратной стороны экранов, показали достигнутые пределы радиационного и конвективного теплообмена с учетом всех возможных вариантов интенсификации. Рассматриваемые в данной работе конструкции с двусветными экранами котлов типа КСГн позволяют расширить эти пределы.

Находящиеся в эксплуатации малые стальные горизонтальные водогрейные котлы серии КСГн (в котельных ТОО «Алматы-теплокоммунэнерго») по результатам мониторинга показателей работы и проведенных



теплотехнических испытаний подтвердили надежность, ремонтпригодность и простоту обслуживания в условиях работы в режиме горячего водоснабжения по открытой схеме на пониженных давлениях воды.

Конструкция водогрейных котлов КСГН-1,16 с U-образными цельносварными мембранными экранами показала высокую надежность в длительной эксплуатации, а использование двусветного экрана позволяет развить тепловую мощность котла. По итогам исследований показан потенциал увеличения конвективной поверхности до 35 % путем увеличения только одного геометрического параметра – высоты внутреннего топочного U-образного цельносварного экрана, с увеличением числа труб внутреннего и наружного U-образных экранов. Использование двусветных экранов позволяет в конструкции котлов получить высокие удельные показатели тепловой эффективности топочного пространства, а на практике может оказать положительный экономический эффект на снижении металлоемкости изготовления котельных агрегатов при сохранении мощностных характеристик.

*Данная работа была подготовлена в рамках выполнения научно-исследовательских работ, финансируемых Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (по проекту AP05133388).*

### Список литературы

1. Районные котельные // Официальная интернет страница ТОО «Алматытеплокоммунэнерго». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.atke.kz/o-kompanii/rajonnye-kotelnye> (дата обращения: 20.08.2020).
2. Advanced District Heating and Cooling (DHC) Systems. Woodhead Publishing Series in Energy, edited by Robin Wiltshire. 2016. DOI: 10.1016/C2014-0-01422-0.
3. Об утверждении Концепции развития топливно-энергетического комплекса Республики Казахстан до 2030 года. Постановление Правительства Республики Казахстан от 28 июня 2014 года № 724. [Электронный ресурс]. URL: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/P1400000724> (дата обращения: 20.08.2020).
4. Об энергосбережении и повышении энергоэффективности. Закон Республики Казахстан от 13 января 2012 года № 541-IV. [Электронный ресурс]. URL: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/Z1200000541> (дата обращения: 20.08.2020).
5. Об утверждении Плана мероприятий по реализации Концепции по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике» на 2013–2020 годы. Постановление Правительства Республики Казахстан от 31 июля 2013 года № 750. [Электронный ресурс]. URL: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/P1300000750> (дата обращения: 20.08.2020).
6. Орумбаев Р.К., Орумбаева Ш.П., Кибарин А.А., Касимов А.С., Ходанова Т.В., Коробков М.С. Патент на изобретение Республики Казахстан № 33376 «Водогрейный котел». Патентообладатель Некоммерческое АО «АУЭС имени Гумарбека Даукеева». 2019. Бюлл. № 2, опубликовано 11.01.2019 г.
7. Низамутдинов М.И., Низамова А.Ш. Современные водогрейные котлы российских и зарубежных производителей // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности (г. Казань, 28–29 февраля 2020 г.). Казань: Изд-во ООО «Конверт», 2020. С. 135–136.
8. Водогрейные котлы. Серия KB (ДЕВ) – 1,6 МВт // Официальная интернет страница ООО «ЭСД-БиКЗ». [Электронный ресурс]. URL: [http://www.bikz.ru/production/kotly\\_vodogreynie/gaz\\_zhidkoe\\_toplivo/serii\\_kv\\_dev\\_1\\_6\\_mvvt/](http://www.bikz.ru/production/kotly_vodogreynie/gaz_zhidkoe_toplivo/serii_kv_dev_1_6_mvvt/) (дата обращения: 20.08.2020).
9. Равич М.Б. Упрощенная Методика Теплотехнических Расчетов. М.: Изд-во АН СССР, 1966. 407 с.
10. Стариков А.Н., Карцева Е.В., Брыль И.Б., Иринин А.А. Методы оценки эффективности функционирования газового водогрейного котла // Образование и наука в современных условиях. 2015. № 4(5). С. 221–228.
11. Петухов Ю.В., Сергеев В.Ю., Спиридонов А.А., Бодров А.В., Дорофеев Б.А. Тепловизионное обследование металлургических печей и котельного оборудования // Наука и безопасность. 2015. № 4(17). С. 69–73.
12. Методические указания по инфракрасной диагностике тепломеханического оборудования тепловых электростанций. Приложение 16 к приказу Министра энергетики Республики Казахстан от 30 декабря 2016 года № 580 «Об утверждении нормативных технических документов в области электроэнергетики». [Электронный ресурс]. URL: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=34953539#pos=0;3](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=34953539#pos=0;3) (дата обращения: 20.08.2020).
13. Орумбаев Р.К., Кибарин А.А., Коробков М.С., Ходанова Т.В., Сейдалиева А.Б., Отынчиева М.Т. Опыт длительной эксплуатации водогрейного котла KB-ГМ-7,56-95 // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 10. С. 169–174.
14. Орумбаев Р.К., Коробков М.С., Ханасилова Г.А., Ходанова Т.В. Опыт эксплуатации водогрейных котлов малой мощности новой серии КСГН на природном газе // Вестник Алматинского университета энергетики и связи. 2018. № 4(2) (43). С. 5–12. [Электронный ресурс]. URL: [https://vestnik-aues.kz/frontend/web/uploads/magazine/pdf/1592469588\\_hdCtLH.pdf](https://vestnik-aues.kz/frontend/web/uploads/magazine/pdf/1592469588_hdCtLH.pdf) (дата обращения: 20.08.2020).
15. Сейдалиева А.Б., Отынчиева М.Т., Жекенов Е.Л., Исаков Д.О. Теплотехнические испытания водогрейных котлов КСГН-1,16 И КСГН-3,15 // Вестник науки и образования. 2019. № 14-1 (68). С. 29–33. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39130518> (дата обращения: 20.08.2020).
16. Водогрейные котлы серии Смоленск // Официальная интернет страница ОАО «Дорогобужкотломаш». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dkm.ru/upload/iblock/197/1979b29c210b69c5dfe988d6851bc44b.pdf> (дата обращения: 20.08.2020).