

УДК 621.181

## **РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КС-НТВ СЖИГАНИЯ УГЛЯ ДЛЯ КОТЛОВ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ**

*Обухов И.В., Целяк Д.Е., Коломеец И.В.*

*ООО Инжиниринговая компания «ДВ-Энерго», г. Владивосток*

На угольных котельных промышленной и коммунальной энергетики России широко применяется слоевой способ сжигания. Парк установленных слоевых котлов характеризуется моральным и физическим старением, технико-экономические и экологические показатели котлов не соответствуют современным требованиям по экономичности и экологической безопасности. Разработка нового котельно-топочного оборудования для переоснащения котельных представляет важную научно-техническую задачу. Новые технологии сжигания востребованы рынком, а производители оборудования заинтересованы в создании унифицированной линейки современных паровых и водогрейных котлов для сжигания каменных и бурых углей, в том числе и низкого качества.

Современные подходы к сжиганию топлива в котлах малой мощности основаны на использовании многократной циркуляции частиц в топке и организации активной аэродинамики топочной камеры. К таким технологиям относится сжигание топлива в кипящем слое (КС), факельные топки с низкотемпературным вихрем (НТВ).

Освоение новых технологий сжигания, ориентированных на промышленную и коммунальную энергетику производилось на котле ТП-20М с низкотемпературным вихрем и котлах КЕ-25-14, переведенных на сжигание угля в высокотемпературном кипящем слое.

Исследования вихревого сжигания, проведенные для широкой гаммы углей, при варьировании гранулометрического состава топлива от грубомолотой пыли до дробленки с размерами частиц 30...40 мм, показали, что НТВ-технология сжигания позволяет сжигать Ирша-Бородинский уголь в дробленом виде, а Березовский, Павловский, Ретиховский и Райчихинский – с существенным, по сравнению с пылеугольным способом, угрублением помола. Технические решения по организации вихревой аэродинамики факела позволили обеспечить высокую полноту выгорания молотого и дробленого топлива [1]. Однако, необходимость пусть грубого, но размола угля в мельницах, не позволяет рекомендовать НТВ-сжигание для большинства промышленных и коммунальных котельных.

Широкое распространение в последние годы получает технология ВТКС-сжигания дробленого угля. Котел КЕ-25-14 ст.№1 котельной г. Большой Камень модернизирован на ВТКС-сжигание угля в 1997 году (рис.1) по техническим предложениям А.П. Демешкина. Реконструкция заключалась в установке в нижней части топки дополнительных экранов (сетевого контура) включенных в систему циркуляции сетевой воды, замене чешуйчатой колосниковой решетки ТЧЗМ 2,7/5,6 на ленточную ТЛЗ 0,75/5,8, замене пневмомеханического

забрасывателя с пластинчатым питателем на пневматический со скребковым питателем. Для обеспечения надежного охлаждения решетки демонтирован штатный воздухоподогреватель.

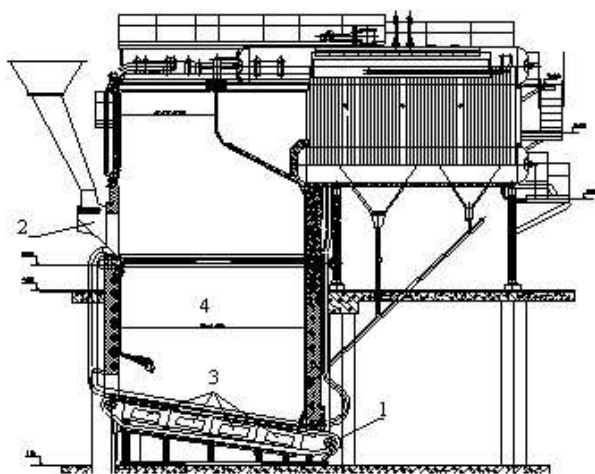


Рис. 1. Котел КЕ-25-14 с топкой ВТКС.

1-колосниковая решетка, 2- пневматический забрасыватель, 3- зоны дутья, 4- сетевой контур

Испытания котла показали принципиальную возможность работы котла с топкой ВТКС на дальневосточных углях. Реконструкция привела к повышению устойчивости процесса горения низкокачественных бурых углей, сокращению аварийных остановов котла по причине отказа ПМЗ и решетки. Снизилась напряженность в обслуживании котла.

Вместе с тем, отмечены недостатки конструкции, приводящие к абразивному и коррозионному износу экранов и коллекторов сетевого контура, заземлению колосниковой решетки, забиванию зон дутья просыпью. Экономические показатели

котла оказались низкими, КПД в эксплуатационном диапазоне нагрузок составлял всего 75...80%. При нагрузках свыше 15 МВт (теплонапряжение топочного объема  $q_v = 219 \text{ кВт/м}^3$ ) отмечалось шлакование нижней части топочной камеры и колосниковой решетки.

В период с 1999 по 2002 г. нами отработана конструкция колосниковой ленточной решетки, узла подачи топлива, сетевого водогрейного контура. Обеспечена устойчивая, бесшлаковочная работа котла на низкокачественных местных бурых углях, повышена теплопроизводительности котла до  $1,6 Q_{\text{ном}}$ . За счет установки дополнительной конвективной поверхности (автономного пароперегревателя) и дополнительного ввода вторичного воздуха удалось повысить КПД котла до 83...80% [2].

С целью выяснения причин низкой эффективности сжигания углей и разработки мероприятий по повышению экономичности котельного агрегата, проведены комплексные исследования топочного процесса с измерением температуры газов по высоте и ширине топочной камеры, анализом газового состава факела, отборами твердой фазы факела в нижней и верхней части топочной камеры, а также проб золы за топкой, в системе возврата уноса и в уходящих газах. Изучалась натурная аэродинамика топки при «холодных» продувках [3, 4].

Некоторые результаты исследования приведены на рисунке 2. На рис. 2а, показано поле скоростей газов, полученное при холодных продувках топки, на рис. 2б – характерное температурное поле топки, на рис. 2в, – поле распределения кислорода.

Как видно из рис. 2а, при подаче воздуха под колосниковую решетку и на пневматический забрасыватель наблюдается практически прямолинейная аэродинамика топки. В нижней части топки вблизи фронтального экрана располагается застойная зона, а в верхней части топки, над забрасывателем топлива – зона вя-

лой циркуляция газов. При рассмотренной аэродинамике топочной камеры, как видно из рис. 2б, факел смещен к заднему экрану, с расположением области интенсивного горения на уровне 0,2...0,3 относительной высоты топки ( $h/H_T$ ), над первой и второй зонами дутья, куда подается основная часть топлива и воздуха. В этой области максимальная температура газов достигает 1473 К. По мере приближения к фронту котла температура газов снижается до 600 К.

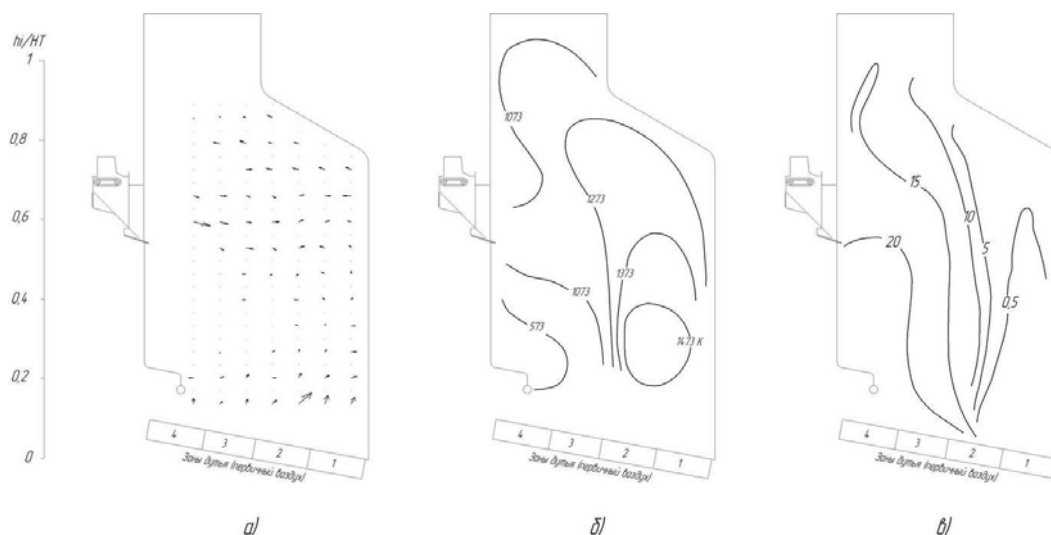


Рис. 2. а) Поле скоростей газов (холодные продувки топки). б) Температурное поле топочной камеры котла ( $Q_{ка} = 17$  МВт). в) Поле распределение кислорода (%) в объеме топочной камеры ( $Q_{ка} = 14$  МВт,  $\alpha_T = 1,36$ ,  $CO = 0,2\%$ ,  $q_4 = 5,08\%$ ).

Интенсивное потребление кислорода осуществляется непосредственно над 1-й и 2-й зонами дутья, где концентрация  $O_2$  резко уменьшается и составляет всего 0,5...0,2 %, при этом догорание топлива на основном участке факела происходит при недостатке кислорода, в условиях понижающейся температуры газов. В тоже время концентрация  $O_2$  над 3-й и 4-й зонами дутья очень высока (10...15 %) и сохраняется неизменной вплоть до выходного окна топочной камеры (рис. 2в).

Таким образом, несовершенство аэродинамики топки обуславливает неравномерное распределению топлива и воздуха по глубине топочной камеры, приводит к неблагоприятным условиям горения частиц, и, как следствие, к повышенному механическому и химическому недожогу, вызывает необходимость неоправданного увеличения избытка воздуха, что ведет к росту потери тепла с уходящими газами.

С целью улучшения технико-экономических показателей котла предложена схема топочного процесса, сочетающая кипящий слой в нижней части топочной камеры, вихревой факел с горизонтальной осью вращения в надслоевом пространстве топки и дожигание крупных частиц топлива в слоевом режиме на узкой, подвижной наклонной воздухораспределительной решетке [5].

Предложенная аэродинамическая схема реализована при модернизации котлов КЕ-25-14-225 и КЕ-25-14 (г. Большой Камень, г. Корсаков). Создание требуемой аэродинамики топки достигается вводом вторичного воздуха через

сопла расположенные на задней стене топочной камеры, размещением сопел вторичного дутья над забрасывателем топлива. Для удлинения траектории факела в верхней части топки и организации дожигания газообразных продуктов не полного сгорания установлены сопла подачи третичного воздуха.

На рис. 3 приведены некоторые результаты экспериментальных исследований топочного процесса при сжигании Павловского бурого угля в котле КЕ-25-14-225 с аэродинамической схемой сочетающей кипящий слой с вихревым факелом (КС-НТВ).

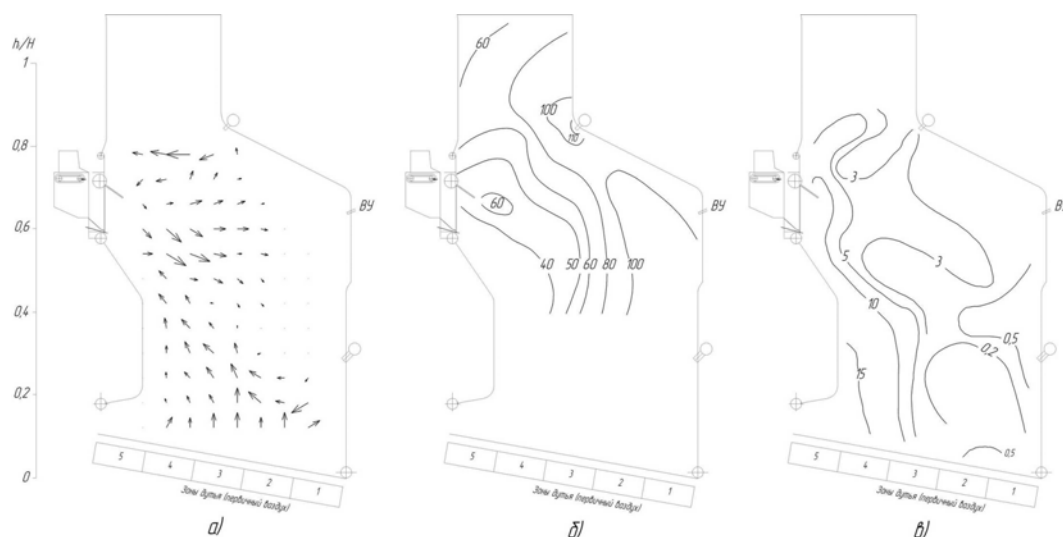


Рис. 3. а) Поле скоростей газов (холодные продувки топки). б) Распределение падающих тепловых потоков,  $\text{kВт/м}^2$  ( $Q_{\text{ка}} = 17 \text{ МВт}$ ). в) Поле распределения кислорода (%) в объеме топочной камеры ( $Q_{\text{ка}} = 15,1 \text{ МВт}$ ,  $\alpha_{\text{т}} = 1,16$ ,  $\text{CO} = 0,018\%$ ,  $q_4 = 3,05\%$ ).

Холодные продувки показали изменение аэродинамики топки. Вследствие взаимодействия струй в топке образовано две зоны циркуляции газов – в нижней части топки, над вводом заднего дутья и в верхней, над забрасывателем топлива (рис. 3а). Изменение аэродинамики топочной камеры обусловило перераспределение кислорода по объёму топки. Над 1-й и 2-й зонами дутья ( $0,2 \dots 0,5 \text{ h/H}_{\text{т}}$ ) сохранилась область газификации с низким содержанием кислорода. В тоже время, снизилось содержание  $\text{O}_2$  над 3...5-й зонами дутья, произошло выравнивание поля концентрации кислорода верхней части топки (рис. 3в). Судя по полю падающих тепловых потоков, измеренному в верхней половине топочной камеры (рис. 3б), область максимального тепловыделения расположена вдоль заднего экрана, при этом отмечается появление двух локальных максимумов тепловыделения: напротив установки фронтальных сопел и сопел подачи третичного дутья.

Изменение характера топочного процесса привело к снижению потерь тепла с химическим и механическим недожогом при одновременном уменьшении избытка воздуха на выходе из топки.

На рис.4–7 приведены технико-экономические показатели котлов КЕ-25 с КС-НТВ сжиганием. При сжигании низкокалорийного Павловского угля КПД котла в диапазоне нагрузок ( $0,7 \dots 1,1$ )  $Q_{\text{ном}}$  составляет 86 %, при сжигании более

калорийного Никольского угля КПД – 88...89 % (рис. 4). Приемлемые значения потери тепла с механическим недожогом (2...5 %) при сжигании Павловского угля обеспечиваются при теплонапряжении топочного объема до 350 кВт/м<sup>3</sup>, при сжигании Никольского угля – до 420 кВт/м<sup>3</sup> (рис.5). Концентрация оксидов азота (C<sub>NOx</sub>) при сжигании Павловского угля составляет 100...150 мг/м<sup>3</sup>, при сжигании Никольского угля C<sub>NOx</sub> возрастает, но находится в допустимых пределах (рис.6).

Технология КС-НТВ характеризуется достаточно низким потреблением электроэнергии на собственные нужды (тягу, дутье, привод решетки и питателя) – 4...6 кВт\*ч/Гкал (рис. 7).

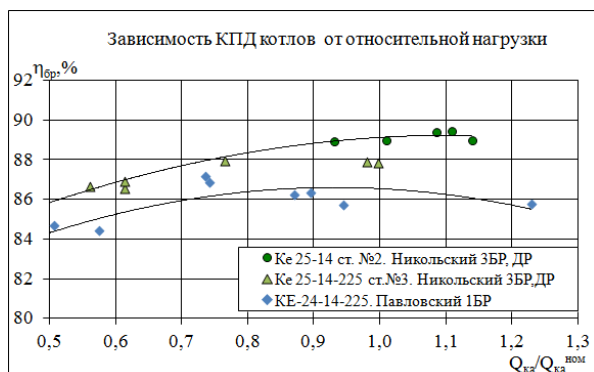


Рис. 4.

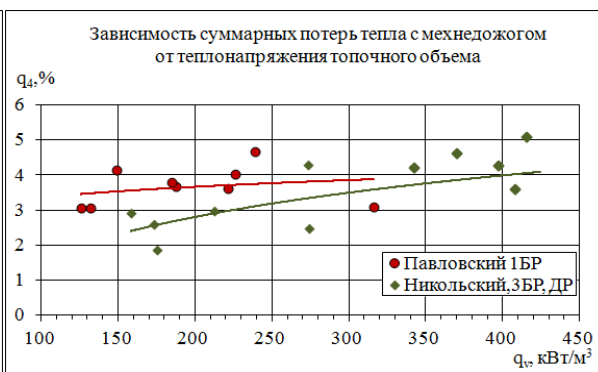


Рис. 5.

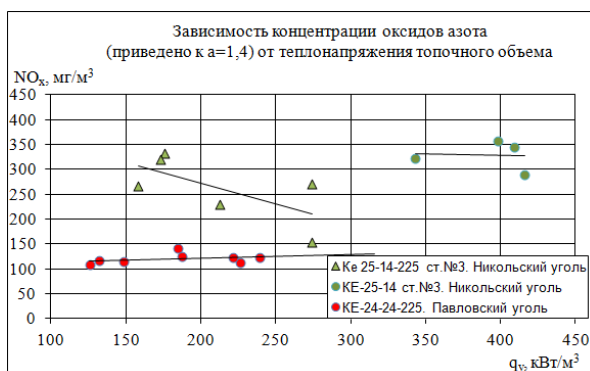


Рис. 6.

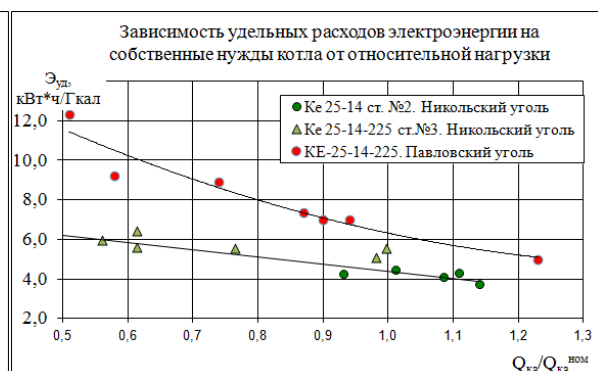


Рис. 7.

Длительный опыт эксплуатации котлов с КС-НТВ схемой сжигания показывает, что в диапазоне тепловых напряжений топочного объема 250...500 кВт/м<sup>3</sup> шлакование в топке отсутствует даже при сжигании шлакующих углей канско-ачинского бассейна (бородинского, назаровского, переясловского).

Положительный опыт эксплуатации модернизированных котельных агрегатов с технологией КС-НТВ сжигания, отработанные конструктивные решения отдельных узлов позволили перейти к серийному изготовлению котлов. По заявке Бийского котельного завода нами разработана линейка водогрейных и паровых котлов (табл. 1). Топочные камеры для всех котлов выполняются газоплотными, экраны топочной камеры изготавливаются из цельносварных мембранных панелей по отработанной на Бийском котельном заводе технологии. Конвективная часть котельных агрегатов унифицирована с выпускаемым стандартным оборудованием.

Таблица 1.

Наименование показателей	КВФ-4,65-115	КВФ-7,56-150	КВФ-11,63-115	КВФ-29-150	ДКВР-10-39-440БФ	КЕ-25-14-225 БФ	КЕ-25-24-350БФ
Вид топлива	Бурый уголь						
Рабочее давление воды (пара) на выходе из котла, МПа	0,6	0,7	1,6	1,6	3,9	1,4	2,4
Номинальная теплопроизводительность, МВт	4,65	7,56	11,63	29	7,56	18	19
Температура воды (пара): на входе, не менее °С	70	70	70	70	102	102	102
на выходе, не более °С	115	150	115	150	440	225	350
Номинальный расход воды через котел, м <sup>3</sup> /ч	89	144	222	327			
КПД проектный/фактический, %	85/86	85	87	84/87	85/87	85/87	84/89

По условиям компоновки котлов в котельных ячейках разработаны котельные агрегаты с решеткой как обратного, так и прямого хода. Для примера на рис. 8 приведен общий вид котла КЕ-25-24-350 с решеткой прямого хода. Экономические показатели котла при сжигании канско-ачинских углей представлены на рис. 9, 10. КПД котла при сжигании переясловского и бородинского углей составляет 88...89 % (рис. 9). Суммарная потеря тепла с механическим недожогом при росте теплового напряжения топочной камеры от 240 до 370 кВт/м<sup>3</sup> возрастает от 2 до 5 % (рис. 10). Концентрация оксидов азота в уходящих газах, в том же диапазоне тепловых напряжений топки, составляет 220...320 мг/м<sup>3</sup>.

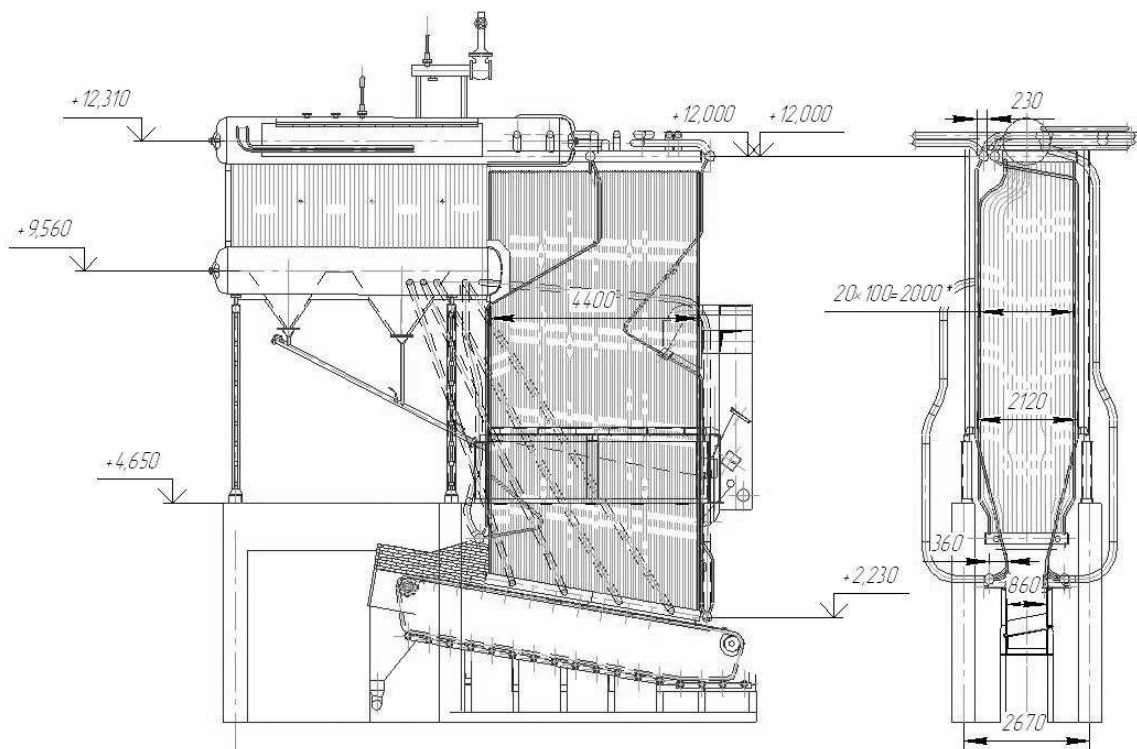


Рис. 8. Котел КЕ-25-24-350 с топкой КС-НТВ.

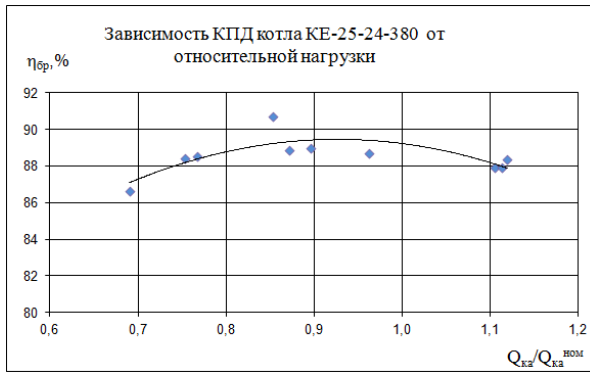


Рис. 9.

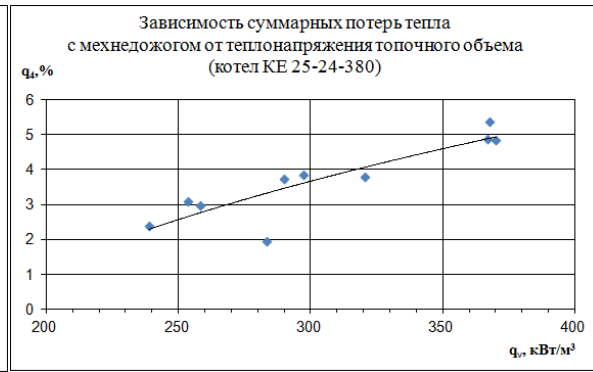


Рис. 10.

В настоящее время в эксплуатации находится более 30 котлов с КС-НТВ сжиганием. В котлах сжигаются разноразличные бурые и каменные угли Казахстана, Дальнего Востока и Красноярского края (табл. 2) влажностью 18...42 %, зольностью 5...32% и теплотворной способностью 7,08...23,97 МДж/кг (1690...5720 ккал/кг).

Таблица 2. Характеристики углей сжигаемых в «КС-НТВ» топках

Марка угля	Характеристики топлива		
	$W^r$ , %	$A^r$ , %	$Q_i^r$ , ккал/кг
Новошахтинский (Павловский), 1БР	36,6...44,9	8,88...27,5	2579...3064
Раковский, 1БР	31,22...44,2	20,3...27,4	1690...2674
Ургальский, ГР	9...14	27...33	4122...4734
Бородинский, 2БР	25,23...32,3	4,14...12	3841...4419
Канский, 2БР	25,27...31,7	8,33-15,92	3840...4318
Переясловский, 2БР	26,05...31,77	5,78-8,12	3858...4018
Назаровский, 2БР	23,32...40,9	8,33	2580...4920
Никольский, 3БР, ДР	19,6...21,3	14,33...14,81	4315...5722
Новиковский, 2БР	25,3...28,09	23,32...24,49	2988...3220
Горнозаводский, 3БР	17,25...19,82	8,9...10,01	4620...4777
Майкубенский, 3БР	22	24,6	3730
Шубаркульский, ДР	16,5	14,95	4900
Экибастузский, СС	7	39,6	4150

### Выводы

1. На основании проведенных исследований топочного процесса разработана новая технология сжигания угля, сочетающая кипящий слой в нижней части топочной камеры, вихревой факел с горизонтальной осью вращения в надслоевом пространстве топки и дожигание крупных частиц топлива в слоевом режиме на узкой, подвижной наклонной воздухораспределительной решетке (КС-НТВ).

2. Разработана линейка паровых и водогрейных котлов с КС-НТВ сжиганием. Котлы выпускаются Бийским котельным заводом.

3. Технология реализована на 30 котлах мощностью 4,65...29 МВт и опробована для углей Казахстана, Дальнего Востока и Красноярского края. Котлоагрегаты работают с КПД 84...89 %, потеря тепла с механическим недожогом составляет 2...5 %, содержание оксидов азота в уходящих газах – 250...320 мг/м<sup>3</sup> (приведено к α=1,4). Удельный расход электроэнергии на собственные нужды составляет 4...6 кВт\*ч/Гкал.

## Литература

1. Опыт освоения НТВ-сжигания бурых углей в топке котла малой мощности. Распутин О.В., Обухов И.В., Сухинин В.И., Маняхин Ю.И. Вестник ГОУ ВПО УГТУ-УПИ. 80 лет Уральской теплоэнергетике. Образование. Наука: Сб. тр. Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2003. с.73-78.
2. Освоение и исследование работы котла КЕ-25-14 с топкой высокотемпературного кипящего слоя. Обухов И.В., Залевский Н.В., Маняхин Ю.И., Целяк Д.Е., Тениховский В.В. Вестник ГОУ УГТУ-УПИ. Актуальные проблемы современной энергетики: Труды всероссийской научно-технической конференции. Екатеринбург: ГОУ УГТУ-УПИ, 2002. с.184-190.
3. Комплексное исследование топочного процесса котла с топкой высокотемпературного кипящего слоя. Обухов И.В., Залевский Н.В., Маняхин Ю.И., Целяк Д.Е. Вестник ГОУ ВПО УГТУ-УПИ. 80 лет Уральской теплоэнергетике. Образование. Наука: Сб. тр. Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2003. с.46-52.
4. Исследование аэродинамики ВТКС-топки Залевский Н.В., Шаталов А.В., Обухов И.В. XXXI неделя науки в СПбГПУ. Ч.II: Материалы межвузовской научной конференции. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003 с.107-108.
5. Совершенствование процесса сжигания топлива в топке котла высокотемпературного кипящего слоя. Обухов И.В., Залевский Н.В., Маняхин Ю.И., Целяк Д.Е. Вестник УГТУ-УПИ: Теплоэнергетика. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. с.90-95.