

# ОПЫТ ОСВОЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОТЛА С КИПЯЩИМ СЛОЕМ БКЗ-420-140КС НА БАРНАУЛЬСКОЙ ТЭЦ-3

Ю.Н. Втюрин, Г.П. Пронь

Согласно стратегии развития электроэнергетики России к 2015 году выработка электроэнергии увеличится от 860 до 1300 млрд. кВт.ч. Это требует технического перевооружения действующих угольных электростанций и строительства новых экологически чистых ТЭС с использованием современных технологий сжигания угля. В России сосредоточено около 23% мировых запасов углей, но в основном высоко-влажных, с большим содержанием золы и серы. Решение проблемы подготовки и сжигания углей с повышенной зольностью, высоким содержанием серы и влаги должно осуществляться с обеспечением жестких экологических требований по выбросам в атмосферу оксидов азота и серы.

В настоящее время за рубежом эксплуатируется более 700 котлов со стационарным кипящим слоем. Наиболее мощные котлы паропроизводительностью 500 т/ч и 1000 т/ч работают на ТЭС Shawnee (США), Takehara (Япония) и др. Несмотря на то, что отечественная технология сжигания топлива в стационарном кипящем слое стала развиваться одновременно с работами, производимыми в США и Германии, в России пока не освоено ни одного мощного энергетического котла с этой технологией.

Поэтому особое место в разработке и освоении экологически чистой технологии сжигания угля (включая низкосортные угли) занимает первый отечественный котел БКЗ 420-140 КС со стационарным кипящим слоем ( $D = 420\text{ т/ч}$ ;  $p = 13,8\text{ МПа}$ ;  $t = 540\text{ град.}$ ). Котел в 1992 году установлен на Барнаульской ТЭЦ-3 (рис.1).

Котел БКЗ 420-140 КС однобарабанный, с комбинированной циркуляцией, газоплотный с цельносварными экранами, включает четыре автономные секции мощностью 25 % каждая. Секция содержит: воздухораспределительную решетку, воздушные короба под решеткой, поверхности нагрева (испарительные и пароперегревательные) в слое, а также сепарационный объем и часть испарительных поверхностей над слоем. Сепарационные объемы соединены конвективными газоходами, в которых размещены пакеты экономайзеров первой и второй ступеней. На котле предусмотрена система улова недожога, ма-

териала слоя и возврата их пневмотранспортом под кипящий слой растопочной секции.

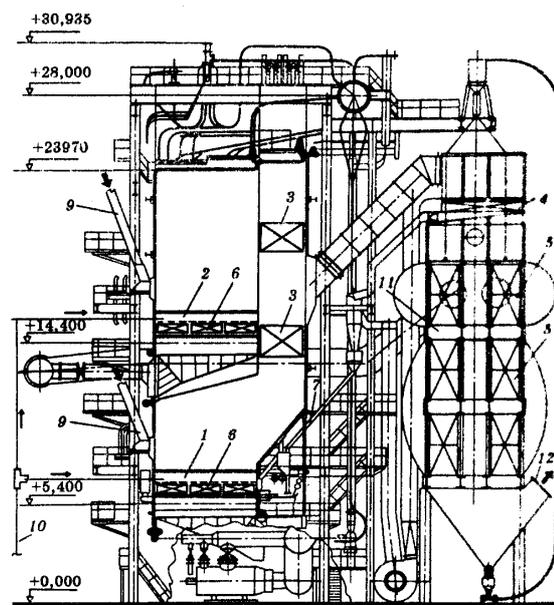


Рис. 1. Котел паропроизводительностью 420 т/ч со стационарным кипящим слоем: 1-нижняя секция с кипящим слоем; 2-верхняя секция с кипящим слоем; 3-экономайзер; 4-жалюзийные золоуловители; 5-воздухоподогреватель; 6-испарительные и пароперегревательные пакеты труб, погруженные в кипящий слой; 7-пневмотранспортная линия возврата; 8-пневно-транспортная линия с делителями мелкой фракции топлива (0-1 мм); 9-точка подачи дробленого топлива (1-25 мм); 10-пневмотранспортная линия подачи наполнителя слоя; 11-отбор газов на подсушку угля; 12-газоход к электрофильтру

На рис. 2 и 3 представлены схемы подготовки и подачи топлива и наполнителя слоя для котла БКЗ 420-140 КС. Схемы и нестандартное технологическое оборудование разработаны Всероссийским теплотехническим институтом совместно с заводами изготовителями [8].

По сравнению с серийными котлами БКЗ 420-140-ПТ-2, установленными на Барнаульской ТЭЦ-3, котел с кипящим слоем имеет следующие преимущества:

- уменьшение металлоемкости и габаритов по высоте (12 м);
- сокращение на 20-30 % выбросов оксидов азота;

## ОПЫТ ОСВОЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОТЛА С КИПЯЩИМ СЛОЕМ БКЗ-420-140КС НА БАРНАУЛЬСКОЙ ТЭЦ-3

- снижение на 70-80 % выбросов оксидов серы в результате связывания СаО, содержащейся в золе канско-ачинских углей.

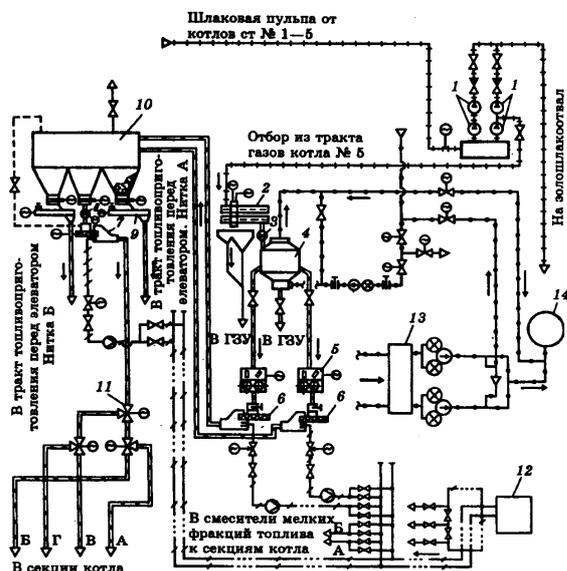


Рис. 2. Схема подготовки и подачи наполнителя слоя котла БКЗ 420-140 КСР: 1-багерная насосная; 2-грохот ГИСЛ-72; 3-шлюзовой затвор; 4-сушилка кипящего слоя; 5-дробилка двухступенчатая; 6-насос пневмовинтовой; 7-насос пневмовинтовой с регулируемой частотой вращения; 8-питатель предвключенный; 9-питатель; 10-бункер наполнителя слоя; 11-клапан двухходовой; 12-нагнетательная установка; 13-электрофильтр; 14-дымовая труба

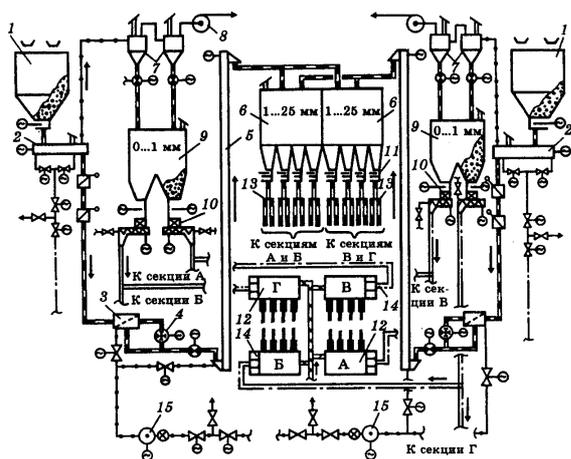


Рис. 3. Схема подготовки и подачи топлива в секции котла с кипящим слоем: 1-бункер сырого угля; 2-сушилка газовая; 3-грохот; 4-дробилка; 5-элеватор; 6-бункер подсушенного угля; 7-аппараты очистки запыленного агента; 8-вентилятор; 9-бункер мелкой фракции угля; 10-пневмовинтовой насос с предвключенным питателем; 11-питатель; 12-секции котла; 13-делитель крупной фракции топлива; 14-делитель мелкой фракции топлива; 15-вентилятор подачи инертных газов

Учитывая, что угли Канско-Ачинского бассейна малозольные, выбор материала для наполнителя слоя секций котла с кипящим слоем явился одним из основных вопросов при разработке системы подготовки и подачи наполнителя. В качестве наполнителя слоя предполагалось использовать следующие материалы: шамот, цементный клинкер, кварцевый песок и золу слоя с последующей ее грануляцией.

В отличие от дробленого угля инертный материал в процессе транспортирования сжатым воздухом по трубопроводу практически не самоизмельчался, что видно из данных, приведенных на рис. 5.

Опыты по дозированию и транспортированию сжатым воздухом песка не проводились ввиду отсутствия в Алтайском крае песка требуемого фракционного состава. В этом случае, при наличии песка с хорошими сыпучими свойствами не следует ожидать каких-то дополнительных трудностей.

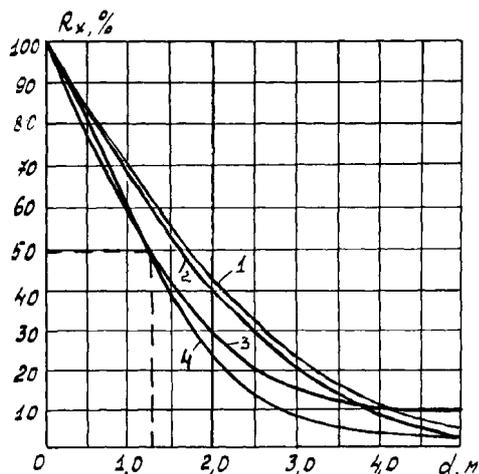


Рис. 4. Зерновые характеристики наполнителя слоя: 1-исходная крупность цементного клинкера; 2-то же после транспортирования; 3-крупность шлака на выходе из транспортного трубопровода; 4-крупность шлака из секции котла после транспортирования сжатым воздухом

Однако из-за высоких стоимостных показателей цементного клинкера и шамота, было принято решение использовать в качестве наполнителя слоя шлак от пяти работающих котлов БКЗ 420-140-ПТ-2 Барнаульской ТЭЦ-3. Устройство шлакоудаления котлов включает шлакоприемник с технической водой и тихоходным шнеком, подающим шлак на дробление.

Пусконаладочные работы под нагрузкой системы подготовки и подачи дробленого шлака осуществлялись в следующей последовательности. Шлак от работающих котлов



## ОПЫТ ОСВОЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОТЛА С КИПАЮЩИМ СЛОЕМ БКЗ-420-140КС НА БАРНАУЛЬСКОЙ ТЭЦ-3

вуют газораспределительные колпачки, кипение не наблюдалось и здесь отмечены застойные зоны.

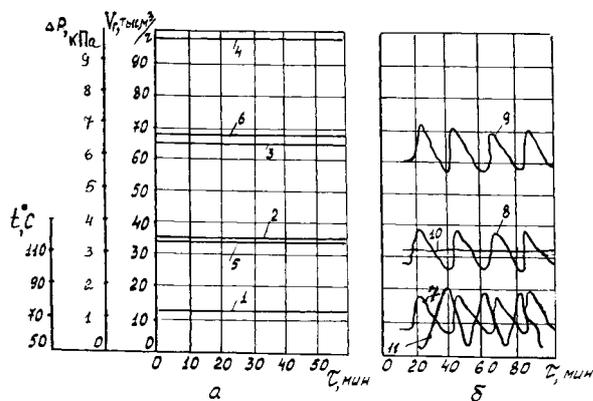


Рис. 6. Изменение во времени основных параметров сушилки кипящего слоя: а- гидравлическое сопротивление слоя наполнителя ( $h = \text{const}$ ;  $V_r = \text{const}$ ); б- изменение температуры и сопротивления мерных участков слоя в процессе загрузки и выгрузки шлака; 1-сопротивление слоя между контрольными точками 5-8; 2- то же между 4-8; 3- то же между 3-8; 4-давление среды на входе в сушилку; 5-сопротивление решетки; 6-расход сушильного агента; 7-сопротивление слоя между контрольными точками 5-8; 8-то же между 4-8; 9-то же между 3-8; 10-температура сушильного агента на входе в сушилку; 11-температура в слое материала во времени

В процессе работы сушилки (режимы загрузки и выгрузки шлака из сушилки) регистрация сопротивления кипящего слоя на разных отметках показала, что их сопротивление изменяется во времени синхронно, но как и в рассматриваемом выше режиме, сопротивление слоя, прилегающего к решетке по абсолютной величине больше.

Слив подсушенного шлака из полости сушилки осуществлялся путем открытия отсечного шибера на выпускном патрубке. С увеличением вентиляции сушилки интенсивность кипения слоя возрастала и, как следствие, возрастает количество сливаемого из слоя шлака. Это обстоятельство может быть использовано для регулирования процессов сушки и изменения ее пропускной способности.

При порционной загрузке шлака из контейнеров в сушилку температура отработанного сушильного агента резко снижается (с 90 до 55 °С), но по мере прогрева и подсушки шлака она восстанавливается (рис. 6). Гидравлическое сопротивление кипящего слоя остается стабильным и находится в пределах 5-6 кПа. В процессе подсушки влажность шлака снижалась до  $W^a=1,0-1,5\%$ , произво-

дительность сушилки составила порядка 5 т/ч. При обеспечении бесперебойной подачи шлака пропускная способность сушилки возрастет до 15 т/ч при  $W^a=3-5\%$ . Как показали опытные данные, шлак влажностью  $W^a=5\%$  имеет хорошие сыпучие свойства, что обеспечивает стабильность его истечения из бункеров.

Для дозирования и подачи наполнителя слоя и мелкофракционного топлива в секции котла БКЗ 420-140 КС были разработаны Красногорским заводом и ВТИ специальные пневмовинтовые насосы с предвключенными питателями и регулируемой частотой вращения (рис. 7).

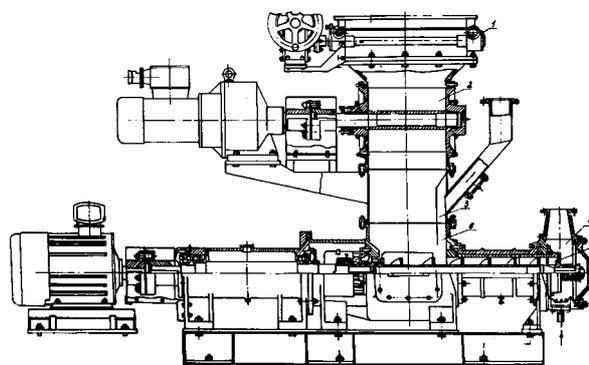


Рис. 7. Пневмовинтовой насос с предвключенным дозатором: 1-шибер с электроприводом; 2-дозатор с регулируемой частотой вращения; 3-патрубок с отсосным трубопроводом; 4-камера смешения материала с воздухом; 5-шnek с клапаном; 6-камера заборная

В настоящий момент по пневмотранспортным трубопроводам ( $L_{\text{пр}} = 110 \text{ м}$ ) с помощью сжатого воздуха в расходный бункер котла подано свыше 300 т подсушенного шлака.

Из расходного бункера наполнитель слоя также с помощью питателя дозировался в пневмовинтовой насос и далее по трубопроводу сжатым воздухом подавался в секцию А и Б котла с кипящим слоем. Для переключения потока аэроземеси в ту или иную секцию котла на трубопроводе установлены двухходовые переключающие клапаны. Для повышения надежности работы клапанов, пневмоприводы были заменены на электроприводы типа МЭО.

При включении в работу четырех секций котла, пневмотранспортная система подачи наполнителя слоя будет работать в автоматическом режиме включения пневмовинтового насоса, с избирательным переключением клапанов в ту или иную секцию котла.

В процессе испытаний пневмотранспортных систем выявлен абразивный износ трубопроводов в местах поворотов.

Лабораторные исследования шлака показали, что он имеет высокие абразивные свойства, намного превышающие этот показатель для углей Канско-Ачинского бассейна, экибастузских углей и др. Опытные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

Исследуемый материал	Индекс абразивности	Коэффициент размолоспособности
Шлак	2170	0,94
Березовский уголь	5-8	1,35
АШ ухудшенного качества	100-150	0,9-0,95
Экибастузский уголь	42	1,38

При проведении повторных опытов с той же исходной пробой установлено, что частички шлака и стеклофаза разрушаются, форма частичек приобретает более ровную, округлую конфигурацию, при этом абразивные качества шлака резко снижаются. Лабораторные исследования подтвердили, что износ поворотов трубопроводов пневмотранспортных систем подачи шлака, является следствием его высоких абразивных показателей. В этом случае транспортный трубопровод и пневмовинтовой насос принимают на себя главный "удар" со стороны шлака.

В соответствии с целевой комплексной программой по освоению котла БКЗ 420-140 КС в течение 1995-1999 г.г. осуществлен комплекс пусконаладочных работ основного и вспомогательного оборудования с участием всех заинтересованных организаций.

С 1995 года котел работал шесть раз на одной или двух нижних секциях с использованием несущего топлива. Были исследованы: газораспределительная решетка, растопка различными способами, устройства подачи топлива, система возврата уноса, сепарация и слив слоя, изотермичность кипящего слоя, система подготовки наполнителя, равномерность псевдооживления слоя, циркуляционные насосы и другое оборудование.

В процессе подачи сырого угля (0-25 мм) и наполнителя слоя в две нижние секции котла отработаны режимы растопки, пуска и останова котла в горячий резерв, получены параметры пара близкие проектным ( $P = 11$  МПа,  $t = 450$  °С). Пар подавался на выносные сетевые подогреватели воды и тепло поступало на отопление г. Барнаула.

При исследовании пусковых и остановочных режимов на котле необходимо провести ряд подготовительных операций, т.к. во время растопки нужно тонкое регулирование расхода воздуха и расхода топлива во избежание возможного шлакования слоя или чрезмерного его охлаждения. Также во время растопки работает дополнительное оборудование, для которого необходимо соблюдать требуемые режимы работы.

На основании проводимых операций на котле при пуске и останове его опробован один из способов растопки котла с учётом его конструктивных особенностей, вида оборудования предусмотренного для растопки заводом-изготовителем, а также с учётом разработанной для данного котла программы растопки.

На основании данных, полученных в результате проведенных экспериментов при растопке котельной установки БКЗ 420-140 КС, проведении серии опытов по изучению новых способов прогрева слоя, а также изучении предлагаемых в литературе способов прогрева и растопке установок с кипящим слоем, вышеуказанная программа растопки была изменена кардинальным образом.

В процессе эксплуатации микрокамер сгорания был выявлен недостаток - большое сечение мазутопровода форсунки не позволяет плавно регулировать расход мазута, поступающего в неё и лишает возможности добиться необходимой температуры на выходе из МКС. На форсунки секции "А" были установлены специальные устройства - дроссели, при этом возникла необходимость тарировки форсунок.

Во время растопки котельного агрегата БКЗ-420-140КС был снят ряд характерных зависимостей прогрева слоя. Ниже приводятся температуры в наиболее важных областях топки - это температура слоя в районе пароперегревателя, температура слоя в районе козырьков и температура над слоем. Значения температур приведены в таблицах 2 и 3.

В перспективе, использование шлака от пяти работающих котлов позволит исключить его гидротранспортирование на золоотвалы поймы р.Оби и тем самым улучшить экологическую обстановку в г.Барнауле. Кроме того, использовать шлак и продукты его переработки в дорожном строительстве и строительной индустрии.

Таким образом, проведение пусконаладочных работ и испытаний технологического оборудования систем подготовки и подачи наполнителя слоя в секции котла БКЗ420-140КС показали, что принятые основные тех-

**ОПЫТ ОСВОЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОТЛА С КИПАЩИМ СЛОЕМ БКЗ-420-140КС  
НА БАРНАУЛЬСКОЙ ТЭЦ-3**

нические решения правильные. Это позволит эффективно решать вопросы по освоению экологически чистого котла с кипящим слоем на Барнаульской ТЭЦ-3.

Таблица 2. Зависимость темпа прогрева слоя от времени: секция "А"

Время τ, час	Температура слоя в рай- оне паропе- регревателя , °С	Температура слоя в рай- оне козырь- ков, °С	Темпера- тура над слоем, °С
21.45	120	120	120
22.45	120	150	120
23.45	300	300	190
0.45	550	700	300
1.45	400	720	650
2.45	350	650	690
3.45	670	700	720
4.45	610	800	700
5.45	700	800	750
6.45	650	730	690
7.45	660	730	700
8.45	670	710	700
9.45	280	450	280
10.45	180	290	180
11.45	170	230	170
12.45	160	200	160
13.45	150	190	150
14.45	140	170	140
15.45	130	150	130
16.45	120	130	120
17.45	110	110	110
18.45	100	100	100
19.45	90	90	90
20.45	80	80	80
21.45	70	70	70

Таблица 3. Зависимость темпа прогрева слоя от времени: секция "Б"

Вре- мя τ, час	Температу- ра слоя в районе па- роперегре- вателя, °С	Температу- ра слоя в районе ко- зырьков, °С	Темпера- тура над слоем, °С
1	2	3	4
21.45	110	110	110
22.45	110	110	110
23.45	120	110	110
0.45	120	110	140
1.45	130	110	190
2.45	130	110	210
3.45	130	110	260
4.45	130	110	260
5.45	220	200	265
6.45	230	220	270
7.45	260	250	290

8.45	440	490	520
9.45	290	400	290
10.45	220	280	205
11.45	200	220	195
12.45	190	200	190
13.45	180	185	180
14.45	170	175	170
15.45	160	160	160
16.45	150	150	150
17.45	140	140	140
18.45	130	130	130
19.45	120	120	120
20.45	110	110	110
21.45	100	100	100

### ВЫВОДЫ

1. Перспективы развития тепловой энергетики в России показывают, что будет возрастать роль твердого топлива. В этом случае необходимо решать проблемы по подготовке и использованию углей с повышенной зольностью, высоким содержанием влаги и серы. Комплексным решением сложных экологических проблем в энергетике является разработка и внедрение экологически чистых технологий сжигания углей в топках котлов с кипящим слоем.

2. На Барнаульской ТЭЦ-3 смонтирован и находится в стадии наладки и опробования под нагрузкой первый отечественный котел БКЗ 420-140 КС со стационарным кипящим слоем и паропроизводительностью 420 т/ч. Системы и нестандартное технологическое оборудование по подготовке, подаче топлива и наполнителя слоя разработаны в энергетике впервые.

3. Опытная проверка сушилки с кипящим слоем под нагрузкой показала высокую эффективность использования в качестве сушильного агента уходящих газов котла с температурой до 130<sup>0</sup>С. В сушилке с колпачковой решеткой обеспечивается интенсивное кипение шлака крупностью до 35 мм, подсушка до 1-1,5 % и выгрузка готового продукта.

4. Двухступенчатое дробление подсушенного шлака обеспечивает получение наполнителя слоя с медианным размером частиц равным 1,3 мм, частиц крупностью более 5 мм в общей массе шлака не превышает 5 %.

5. В процессе пусконаладочных работ и испытаний впервые в отечественной энергетике осуществлено дозирование и подача дробленого шлака пневмовинтовыми насосами, оснащенными предвключенными питателями с регулируемой частотой вращения, с последующим транспортированием аэросмеси по трубопроводу в секции котла с кипящим слоем.

6. Исследования шлака показали, что он имеет высокие абразивные свойства и это приводит к абразивному износу поворотов трубопроводов и незначительному самоизмельчению шлака в процессе его транспортирования сжатым воздухом.

В процессе измельчения частиц и разрушения стеклофазы, абразивные свойства шлака резко снижаются. Перетрассировка трубопроводов с сокращением числа поворотов и оптимизация скорости транспортирования дают хорошие предпосылки по успешному решению этой проблемы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяков А.Ф., Берсенев А.П., Еремин Л.М. О новейших технологиях сжигания твердого топлива на электростанциях // Энергетик. 1997. № 7.-С. 8-11.
2. Втюрин Ю.Н., Кузнецов П.Я. Технико-экономические проблемы использования углей Канско-Ачинского бассейна на ТЭС в Европейской части России // Теплоэнергетика. 1997. № 2.-С. 23-28.
3. Втюрин Ю.Н., Кузнецов П.Я. Исследование и перспективы развития новых систем подготовки и подачи топлива на ТЭС // Теплоэнергетика. 1995. №7. - С. 46-52.
4. Рябов Г.А., Надыров И.И. Сжигание угля в кипящем слое \ Развитие технологий подготовки и сжигания топлива на электростанциях // Сб. научных статей. М.: ВТИ, 1996.
5. T.Stingfellow. Startur and Jnitral Operation of Rivesville 30 MW Fluid Bed Boiler // Доклад на 4-й Международной конференции по сжиганию угля в кипящем слое. Вашингтон, 1977.
6. Brien W.B., Hill M.K. TVA”S. 160 MW Shawnee Atmospheric Fluidized Bed Combustion (AFBC) Demonstration Unit 20000 Hr of Operation - Fluidized Bed Combustion- Volum 2. ASME, 1993.
7. Втюрин Ю.Н. Изучение факторов, влияющих на устойчивость движения и дозирования угольной пыли из бункеров // Теплоэнергетика. 1990. № 4.-С. 34-38.
8. Втюрин Ю.Н., Муравкин Б.Н., Качалин Е.А. Система подготовки топлива и подачи его в котел с кипящим слоем // Подготовка и сжигание топлива в топках мощных паровых котлов ТЭС. (Сборник научных трудов ВТИ). М.: Энергоатомиздат, 1984.
9. Виноградов В.Н., Сорокин Г.М., Колокольников М.Г. Абразивное изнашивание. М.: Машиностроение, 1990.
10. Втюрин Ю.Н. Исследование пневмотранспортных систем // Теплоэнергетика. 1983. № 3. - С. 41-44.