

УДК 621.311.22

## Перевод парового котла ДКВр-20-13 в водогрейный режим работы

Шельгин Б.Л., Панков С.А., кандидаты техн. наук

Предложен вариант перевода парового котла ДКВр-20-13 в водогрейный режим его работы. Расчетным путем определена оптимальная схема распределения воды через поверхности нагрева при умеренных скоростях циркуляции теплоносителя в трубах и гидравлическом сопротивлении водяного тракта котла  $1,0 \text{ кг/см}^2$ .

*Ключевые слова:* паровой котел, водогрейный режим, расчетная схема, компоновка поверхностей нагрева, топочные экраны, конвективный пучок труб, скорость циркуляции, гидравлическое сопротивление, температура воды, КПД котла.

## DKVr-20-13 Steam Boiler Shift in Water-Heating Operation Mode

B.L. Shelygin, Candidate of Engineering, S.A. Pankov, Candidate of Engineering

The authors describe the DKVr-20-13 steam boiler shift into water-heating operation mode. The optimal scheme of water distribution throughout the heat surfaces with moderate speeds of heat carrier circulations in pipes and flow resistance of boiler water dust ( $1,0 \text{ kgf/cm}^2$ ) is calculated.

*Key words:* steam boiler, water-heating mode, calculation scheme, heat surfaces layout, furnace water-wall, pipes convection beams, circulation speed, flow resistance, temperature of water, boiler efficiency.

Теплоснабжение в России обеспечивают наряду с ТЭС примерно 190 тыс. промышленно-отопительных котельных, около 30 % которых находятся в муниципальной собственности. Согласно программе развития энергетики РФ, водогрейные котлы, сжигающие газовое топливо, останутся на длительную перспективу основным оборудованием для теплоснабжения потребителей [1, 2].

Техническое перевооружение теплоснабжения городских районов стало насущной задачей отечественной энергетики [3]. Крупным и быстрорастущим потребителем тепловой энергии является сектор жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ). Водогрейные котельные – основной источник теплоснабжения ЖКХ [4, 5].

Конечной целью энергосберегающей политики в ЖКХ является снижение издержек производства, себестоимости коммунальных услуг и соответствующих оплат для населения.

Дефицит теплообменного оборудования [6] и необходимость продления службы выработавших ресурс паровых котлов создают предпосылки для перевода их в водогрейный режим работы.

Преимущества реконструкции паровых котлов малой мощности сводятся к следующему:

- исключаются из эксплуатации сетевые подогреватели;
- снижается гидравлическое сопротивление тепловой сети в пределах отопительной котельной;
- снижается температура уходящих газов при снижении температуры воды на входе в котел (с 102 до 70 °С), что повышает КПД агрегата.

Техническое решение предложено для котельной №4 г. Костромы. В работе рассматрива-

ется вариант перевода парового котла марки ДКВр-20-13 в водогрейный режим работы.

Тепловая мощность котлоагрегата, в зависимости от исходных данных, находится в пределах 11–12 Гкал/ч.

Требования к технической продукции:

- максимальная тепловая мощность агрегата – 11 Гкал/ч;
- температурный график работы котла – 70–95 °С;
- максимальный расход сетевой воды – 440 м<sup>3</sup>/ч.

Конструктивно котел ДКВр-20-13 состоит из двух элементов [7, 8]:

1) собственно котел с радиационными (топочные экраны (ТЭ)) и конвективными (фестон, котельный пучок (КП) труб) поверхностями нагрева;

2) одноколونковый водяной экономайзер (ЭКО).

В свою очередь, трубная система поверхностей нагрева котла состоит из пяти блоков:

- 1) фронтальной экран, сообщенный с верхним барабаном котла;
- 2) первые секции боковых экранов, сообщенные с выносными циклонами;
- 3) вторые секции боковых экранов, сообщенные с верхним и нижним барабанами;
- 4) задний экран, сообщенный с верхним и нижним барабанами;
- 5) конвективный котельный пучок труб, расположенный между барабанами.

При выполнении работы по переводу котла ДКВр-20-13 в водогрейный режим предельно необходимо было определить:

- принципиальную возможность использования существующей конструкции агрегата для обеспечения его требуемой теплопроизводи-

тельности при минимальных изменениях в компоновке;

- схему циркуляции воды через отдельные поверхности нагрева при неизменных значениях площадей для обеспечения гидравлического сопротивления котлоагрегата менее  $1,5 \text{ кгс/см}^2$  [4, 6, 7].

Для оценки возможностей режимов работы парового котла ДКВр-20-13 перед переводом его в водогрейный режим в основании чертежей, описания и конструктивных характеристик специально, с использованием программы «ТРАКТ» [9], разработана расчетная модель котлоагрегата при работе в паровом режиме.

Расчетная схема энергоустановки (рис. 1) содержит три рабочих тракта: газовый, водопаровой и воздушный.

Газовый тракт содержит одиннадцать элементов (01–11), водопаровой – 9 элементов (101–109), а воздушный – 4 элемента (201–204).

Расчет котла ДКВр-20-13 выполнялся на давление пара за котлом 10 ата и паропроизводительность 20 т/ч. Температура наружного воздуха принята  $t_{нар} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$  как среднегодовая для г. Костромы. В качестве топлива принят природный газ с теплотой сгорания  $Q_H^c = 8480 \text{ ккал/м}^3$  [10].

Конструктивные характеристики поверхностей нагрева котла ДКВр-20-13 получены с использованием данных, предоставленных заказчиком. При активном топочном объеме  $39 \text{ м}^3$  суммарная поверхность ограждающих стен принята  $83,5 \text{ м}^2$ .

Для КП при наружном диаметре труб 51 мм и поверхности нагрева  $243 \text{ м}^2$  площадь поперечного сечения газохода для прохода газов принята  $2,4 \text{ м}^2$ , а площадь живого сечения для прохода воды –  $1,4 \text{ м}^2$ .

Для ЭКО применительно к одной орбренной трубе длиной 3 м площадь живого сечения

для прохода газов  $0,184 \text{ м}^2$ , а поверхность нагрева  $4,49 \text{ м}^2$  [7, 8, 11, 12].

При поверхности нагрева ЭКО  $808 \text{ м}^2$  площадь живого сечения для прохода газов  $1,6 \text{ м}^2$ , а для прохода воды применительно к одной трубе с внутренним диаметром 60 мм –  $0,0028 \text{ м}^2$ .

В результате теплогидравлического расчета котла при температуре питательной воды  $102 \text{ }^\circ\text{C}$  температура уходящих газов составляла  $160 \text{ }^\circ\text{C}$ , а КПД котла брутто –  $90,86 \text{ \%}$ .

При теплоте сгорания топлива  $Q_H^c = 8480 \text{ ккал/м}^3$  и тепловой мощности котла  $Q_{пк} = 11,51 \text{ Гкал/ч}$  расход топлива равен  $B_e = 1487 \text{ м}^3/\text{ч}$ , а тепловое напряжение топочного объема составляет  $q_v = 323 \text{ Мкал/(м}^3 \cdot \text{ч)}$ . При потере теплоты от химической неполноты сгорания топлива  $q_3 = 0,1 \text{ \%}$  величина  $q_v$  соответствует предельным значениям [10]. Поэтому увеличение расхода топлива выше  $1487 \text{ м}^3/\text{ч}$  в целях повышения тепловой мощности агрегата невозможно. Максимальная тепловая мощность котла в случае его работы в водогрейном режиме ограничивается величиной  $11,51 \text{ Гкал/ч}$ .

Согласно техническому заданию на реконструкцию, при расходе воды через котел  $G_{вк} = 440 \text{ т/ч}$ , температурах на входе  $t_e' = 70 \text{ }^\circ\text{C}$  и выходе  $t_e'' = 95 \text{ }^\circ\text{C}$  теплопроизводительность котла в случае водогрейного режима составит  $Q_{вк} = G_{вк} \cdot c_e (t_e'' - t_e') = 11 \text{ Гкал/ч}$ , что вполне может быть обеспечено существующей конструкцией агрегата.

По результатам теплового расчета котлоагрегата на паровой режим работы, при расходе топлива  $1487 \text{ м}^3/\text{ч}$  тепловосприятия рабочих поверхностей нагрева составили значения, представленные в табл. 1.

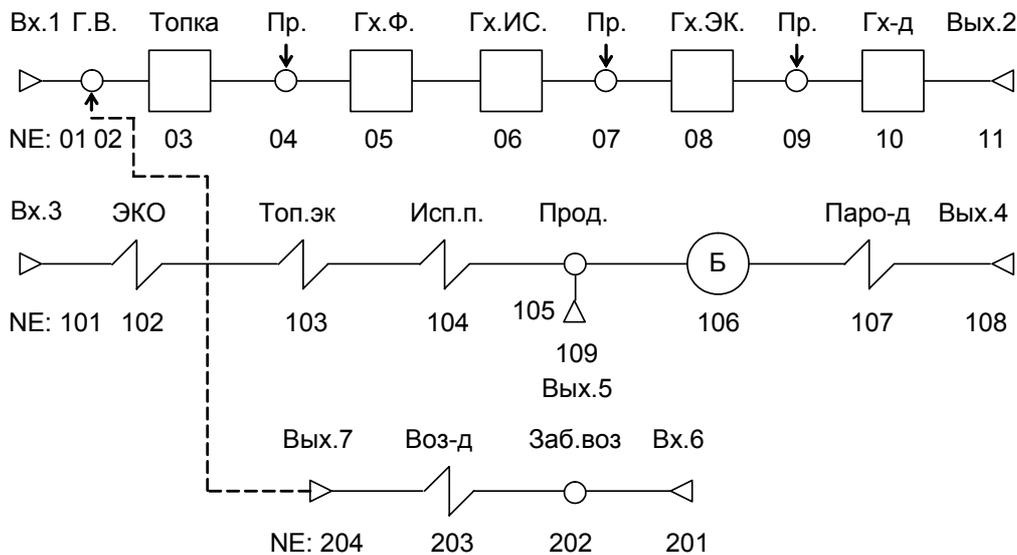


Рис. 1. Расчетная схема котла ДКВр-20-13 (исходный вариант) в условиях парового режима его работы

Таблица 1. Значения тепловосприятий поверхностей нагрева котла ДКВр-20-13 при паровом режиме работы

Поверхности нагрева	Значение
Топочные экраны (ТЭ), Гкал/ч	5,73
Конвективный пучок (КП), Гкал/ч	3,83
Водяной экономайзер (ЭКО), Гкал/ч	1,89

Водогрейный режим котла ДКВр-20-13 при расходе воды 440 т/ч и существующей схеме водопарового тракта невозможен. В этом случае гидравлическое сопротивление водяного тракта, начиная с ЭКО, с учетом прямооточного движения потока через все поверхности стало бы во много раз превышать нормируемое значение 0,6–1,5 кгс/см<sup>2</sup> [6, 7].

Для снижения гидравлического сопротивления котла с сохранением его заводской компоновки расход воды через трубную систему должен быть разделен на три потока: через нижний ряд труб ЭКО; нижний барабан котла; нижние коллекторы топочных экранов.

Известно предложение схемы принудительной циркуляции воды в ТЭ и КП при параллельно-прямоточном движении воды через ЭКО [13]. Данная схема, проверенная на котлах марки ДКВр-20-13, замечаний не имела.

В случаях температурного графика теплосети 70–115 °С подаваемая в котел сетевая вода проходит через сопла струйных насосов, установленных на входе в необогреваемые опускные трубы ТЭ и подъемные трубы КП. При этом расход циркулирующей в трубах воды возрастает в 2–4 раза.

Отмечено, что при расходах воды через котел 225–325 т/ч достигаются скорости воды в трубах, обеспечивающие надежное расхолаживание металла поверхностей нагрева [14]: в ТЭ – 0,1–0,78 м/с; в КП – 0,03–0,1 м/с.

Для рассматриваемой котельной при максимальной температуре воды за котлом 95 °С и расходе 440 м<sup>3</sup>/ч, против условий известного технического предложения (низкий расход воды 320 т/ч и высокая температура 115 °С), возможен вариант прямооточно-параллельного нагрева сетевой воды при распределении ее через ТЭ и КП.

По значениям расчетных тепловосприятий отдельных участков поверхностей нагрева котла для температурного графика 70–95 °С определены значения максимальных расходов воды через поверхности нагрева (табл. 2).

Таблица 2. Значения максимальных расходов воды через поверхности нагрева при трехпоточной схеме циркуляции

Поверхности нагрева	Значение
Топочные экраны (ТЭ), т/ч	227
Конвективный пучок (КП), т/ч	151,7
Водяной экономайзер (ЭКО), т/ч	74,9

Данный вариант при расходе через ЭКО 79,4 т/ч неприемлем, так как скорость воды составит 7,45 м/с и гидравлическое сопротив-

ление ЭКО будет в 3–5 раз превышать сопротивление параллельных участков ТЭ и КП.

Расчеты показали, что более приемлемой является двухпоточная схема циркуляции воды, когда один поток идет через ЭКО с расходом, обеспечивающим подогрев воды до температуры 90–100 °С, а второй поток проходит топочные экраны, нагреваясь до 80–85 °С, затем конвективный подогреватель, где температура поднимается еще на 10–15 °С. Оба потока смешиваются в верхнем барабане котла и направляются в тепловую сеть (рис. 2).

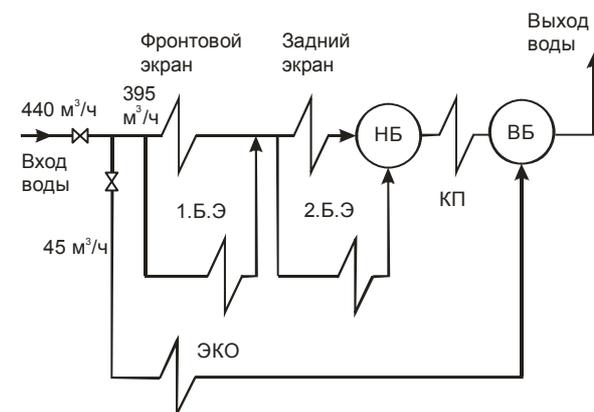


Рис. 2. Схема распределения потоков воды по поверхностям нагрева котла ДКВр-20-13 при его работе в водогрейном режиме (предполагаемый вариант)

Для определения оптимального расхода воды через ЭКО, обеспечивающего требуемое значение температуры на выходе и требуемое значение гидравлического сопротивления, была разработана расчетная схема: газовый и воздушный тракты аналогичны существующему варианту, водяной тракт разделен на 14 элементов (рис. 2).

Расчеты показали, что при расходе воды через ЭКО 45 т/ч и теплопроизводительности котла 11 Гкал/ч ожидаемые показатели, в сравнении с существующим (паровым) режимом, будут следующими: температура уходящих газов снизится на 52 градуса и составит 108 °С; КПД котла брутто возрастет на 3,67 %; расход топлива снизится на 82 м<sup>3</sup>/ч; годовая экономия природного газа при числе часов использования максимума тепловой нагрузки 2000 ч составит 164 тыс. м<sup>3</sup>/год.

Для снижения скорости воды в трубах ЭКО перед ним предлагается установить раздающий коллектор, в котором вода распределяется на три потока и по трем патрубкам, соединенным с фланцами нижнего ряда труб, поступает в ЭКО.

При такой трехпоточной схеме движения скорость воды в трубах ЭКО составит 1,47 м/с, а гидравлическое сопротивление ЭКО будет одного порядка с сопротивлением параллельных участков ТЭ и КП (менее 1 кгс/см<sup>2</sup>).

Значения средних скоростей воды по поверхностям нагрева котлоагрегата после

предлагаемой реконструкции представлены в табл. 3.

Полученные значения скоростей несколько выше, чем скорости воды в трубах котла в рассматриваемом варианте [13], проверенном в условиях эксплуатации.

Таблица 3. Значения средних скоростей воды в трубах поверхностей нагрева котла после предлагаемой реконструкции

Поверхности нагрева	Значение
Водяной экономайзер (ЭКО), м/с	1,47
Фронтной и первые боковые топочные экраны, м/с	0,83
Задний и вторые боковые топочные экраны, м/с	0,85
Конвективный пучок (КП), м/с	0,078

Реализация технического решения по переводу котла ДКВр-20-13 в водогрейный режим работы представлена на рис. 3.

Конструктивные характеристики применяемых труб выбраны с учетом нормируемых значений скоростей воды [7] для обеспечения минимального гидравлического сопротивления коммуникаций, связывающих отдельные поверхности нагрева.

Из подводящего водовода часть воды через раздающий коллектор поступает в нижний ряд труб ЭКО. Перед раздающим коллектором предусматривается задвижка, позволяющая изменять расходы воды через ЭКО и остальные поверхности нагрева в целях достижения равенства гидравлического сопротивления участков и обеспечения одинаковых температур потоков.

Отвод воды из ЭКО в верхний барабан обеспечивается с использованием существующего трубопровода. После отбора части воды в ЭКО оставшийся поток поступает к блокам ТЭ и КП.

Между котлом и ЭКО водовод через тройник делится на два трубопровода одинаковой длины, которые охватывают агрегат по его боковым стенам до фронтальной стены.

К концам каждого из разветвлений приваривается по одной трубе, которые сообщаются с опускными трубами фронтального экрана. Выносные циклоны и пароводящие трубы, сообщающие их с верхним барабаном, удаляются. По две опускные трубы каждого циклона сообщаются с раздающим коллектором. Слева и справа от котла размещаются два коллектора, с которыми сообщаются существующие трубы, отводящие рабочую среду из верхнего коллектора фронтального экрана в верхний барабан.

Трубы, отводящие рабочие потоки из верхних коллекторов первых боковых экранов, сообщаются с раздающим коллектором, откуда вода поступает в верхние коллекторы заднего и вторых боковых экранов.

Во вторых боковых экранах вода движется сверху вниз. Отвод воды из коллекторов заднего и нижних боковых экранов в нижний барабан котла осуществляется слева и справа по существующим трубопроводам. Из нижнего барабана вода движется вверх. Отвод воды в теплосеть производится из верхнего барабана.

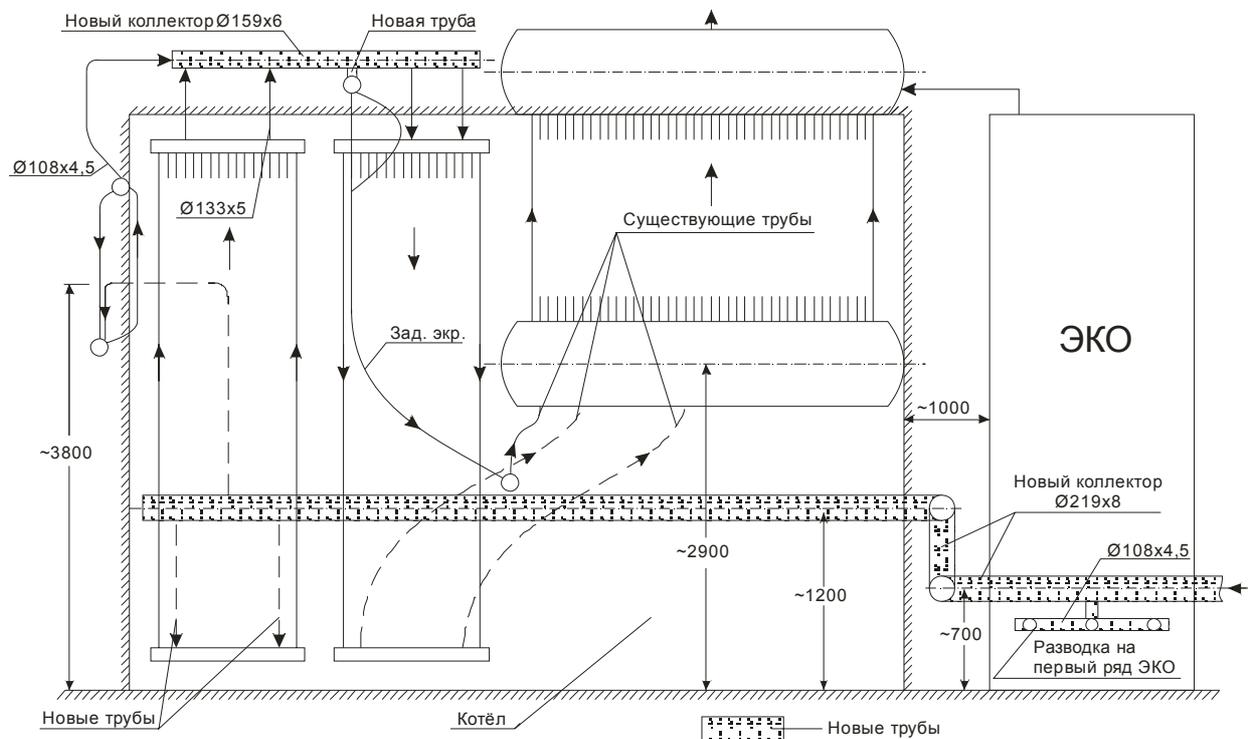


Рис. 3. Компонка трубопроводов подвода воды к поверхностям нагрева (продольный разрез)

При проведении реконструкции все продувочные элементы котла ДКВр-20-13 должны быть сохранены. Сепарационные устройства верхнего барабана должны быть демонтированы.

### Заключение

На основании вариантных расчетов котла ДКВр-20-13 выбрана наиболее оптимальная схема по переводу его в водогрейный режим работы, в которой 7–13 % общего расхода сетевой воды подается в ЭКО, где она нагревается до расчетной температуры, а остальная часть последовательно проходит ТЭ и КП.

В предложенном варианте за счет увеличения скорости циркуляции теплоносителя в трубах ТЭ и КП котла улучшается теплоотвод от металла поверхностей нагрева к рабочей среде. Температура уходящих газов на расчетный режим ожидается 105 °С (против 160 °С), что дает приращение КПД котла брутто на 2,7 %.

В предложенной схеме гидравлические сопротивления параллельных потоков воды приблизительно одинаковые и по расчетам не должны превысить 1,0 кгс/см<sup>2</sup>. Это обеспечивает надежность работы системы циркуляции котла в целом, и, кроме того, это ниже значений для подобных котлов теплопроизводительностью 6,5–20 Гкал/ч, выпускаемых отечественными заводами.

*Шельгин Борис Леонидович,*

ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
кандидат технических наук, профессор кафедры тепловых электрических станций,  
телефон (4932) 41-60-56,  
e-mail: admin@tes.ispu.ru

*Панков Сергей Алексеевич,*

ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
кандидат технических наук, начальник учебно-методического управления,  
телефон (4932) 41-60-56,  
e-mail: admin@tes.ispu.ru

### Список литературы

1. **Анализ** перспектив развития отечественной теплоэнергетики / А.В. Мошкарин, М.А. Девочкин, Б.Л. Шельгин и др.; под ред. А.В. Мошкарин; Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2002.
2. **Федеральная** целевая программа «Энергосбережение России» – основа энергосберегающей политики государства в регионах и отраслях экономики на 1998–2005 г. Министерство топлива и энергетики Российской Федерации. Российское Агентство Энергоэффективности. – М., 1998.
3. **Основные** положения энергетической стратегии России на период до 2020 года. – М., 1999.
4. **Бузников Е.Ф., Роддатис К.Ф., Берзиньш Э.Я.** Производственные и отопительные котельные. – М.: Энергия, 1974.
5. **Энергетическая** стратегия России на период до 2020 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации №1234-р от 28 августа 2003 г.
6. **Роддатис К.Ф., Соколовский Я.Б.** Справочник по котельным установкам малой производительности / под ред. К.Ф. Роддатиса. Изд. 2-е, перераб. – М.: Энергия, 1975.
7. **Котлы** малой и средней мощности и топочные устройства / Отраслевой каталог 15-83. НИИЭИНФОРМ-ЭНЕРГОМАШ. – М., 1983.
8. **Александров В.Г.** Паровые котлы средней и малой мощности. – Л.: Энергия, 1972.
9. **Тепловой** поверочный расчет котлов на ЭВМ ЕС: метод. указ. / Иван. энерг. ин-т; сост. В.Л. Гудзюк, А.С. Ривкин, Б.Л. Шельгин. – Иваново, 1989.
10. **Тепловой** расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / под ред. Н.В. Кузнецова, В.В. Митора, И.Е. Дубовского, Э.С. Карасиной. – М.: Энергия, 1973.
11. **Частухин В.И.** Тепловой расчет промышленных парогенераторов / под ред. Частухина В.И. – Киев: Вища школа, 1980.
12. **Теплопередача** / А.А. Шукин, И.Н. Сушкин, Р.Г. Зах и др. / под общ. ред. И.Н. Сушкина. – 2-е изд., перераб. – М.: Металлургия, 1973.
13. **Отчет ВТИ** по переводу котла ДКВр-20-13 в водогрейный режим с использованием сопел струйных насосов.