

УДК 697.34

Высоцкий С.П., д.т.н.¹, Лукьянов А.В., д.т.н.², Кондрыкинская А.В.²

1 – АДИ ГВУЗ «ДонНТУ», г. Горловка, 2 – ДонНАСА, г. Макеевка

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА И УМЕНЬШЕНИЕ НАСЫЩЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ УГЛЕКИСЛЫМ ГАЗОМ В ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ УСТАНОВКАХ

Обосновано повышение КПД генерации тепловой энергии за счет использования водогрейных котлов с прямым контактом продуктов сгорания топлива с циркуляционной водой на массо- и теплообменной насадке. Определена степень насыщения орошающей насадку воды углекислым газом в зависимости от степени подогрева воды. Определены технические показатели работы конденсационных котлов при сжигании различных видов высокорреакционных топлив. Найдены экспериментальные зависимости степени термической диссоциации гидрокарбонатных ионов от температуры и длительности нагрева воды.

Введение

Интенсивный рост потребления энергоносителей, особенно высокорреакционных: природного газа и нефтепродуктов, а также прогрессирующее истощение природных месторождений вызывает увеличение стоимости указанного сырья. Это побуждает специалистов к поиску технических решений, направленных на повышение эффективности использования энергетического сырья и к выбору альтернативных источников энергии.

Для повышения КПД генерации тепловой энергии в мировой практике начали широко использовать конденсационные котлы, позволяющие утилизировать скрытую теплоту парообразования воды в дымовых газах. При сжигании природного газа по реакции



Образуется два моля воды на каждый моль сжигаемого метана – основного компонента природного газа. При полной конденсации паров воды можно получить дополнительно 12-16% тепла при сжигании природного газа. Для более полного использования теплоты сгорания пары воды в дымовых газах должны быть сконденсированы путем охлаждения газом ниже температуры точки росы.

Сложность проблемы утилизации тепла состоит в том, что при использовании поверхностных конденсаторов конденсат насыщается коррозионно-активными продуктами: углекислым газом и кислородом. На рис. 1 показана зависимость коэффициента поглощения указанных газов от температуры [1]. Повышение температуры до величины близкой к 100 °С значительно снижает коэффициент поглощения указанных газов, однако, при этом уменьшается также степень утилизации скрытой теплоты парообразования.

В странах Европейского союза в котлах сравнительно небольших мощностей теплообменные поверхности изготавливают из нержавеющей стали. Учитывая малый коэффициент теплопроводности нержавеющей стали, приходится увеличивать площадь теплообменных поверхностей, что существенно повышает стоимость котельного оборудования.

Устранения указанных недостатков достигается путем выполнения непосредственного контакта продуктов сгорания природного газа с подогреваемой водой. Однако, при этом подогреваемая вода также приобретает высокую коррозионную агрессивность в результате её насыщения углекислым газом. Для снижения агрессивности в циркулирующих контурах нагрева воды некоторые разработчики [2, 3] рекомендуют осуществлять дозировку в воду нейтрализующих щелочных агентов. Однако, это приводит к постепенному накоплению в контуре циркуляции продуктов нейтрализации углекислого газа и повышению щелочности воды, что

сопряжено также с увеличением коррозионной агрессивности воды и интенсивности накипеобразования. Последняя обусловлена повышением концентрации карбонатных ионов.

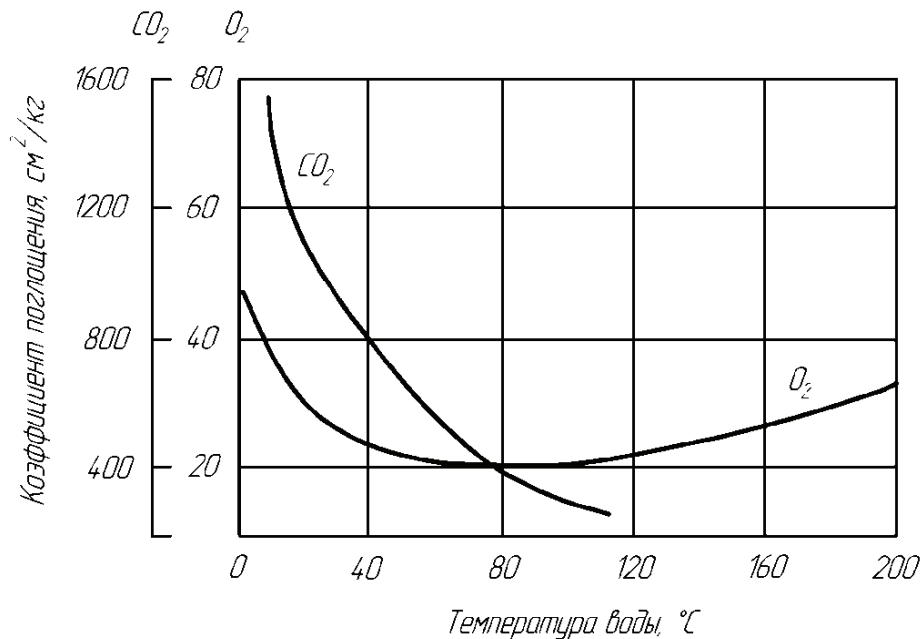


Рис. 1. Значение коэффициента поглощения (абсорбции) водой O₂ и CO₂ в зависимости от температуры воды

Целью настоящего исследования является определение влияния типа энергоносителя на технические показатели работы котлов в конденсационном режиме, определение влияния температуры подогрева воды при прямом контакте с продуктами сгорания на степень поглощения углекислого газа, а также температуры и величины температурной экспозиции на степень разложения гидрокарбонатов.

Основная часть работы

При использовании природного газа в качестве топлива в теплофикационных установках после применения технологических решений, обеспечивающих прямой контакт продуктов сгорания газа с циркуляционной водой на массо- и теплообменной насадке [4, 5], создается возможность увеличить степень использования теплоты сгорания топлива с одновременным улучшением экологических показателей работы котла. Применение теплообменной насадки из колец Рашига, насадки «Иннталокс» или седел Берли обеспечивает поверхность теплообмена до 220 м² на 1 м³ насадки, что позволяет не только эффективно сконденсировать влагу из продуктов сгорания природного газа, но и интенсифицировать отбор тепла от указанных продуктов. Это позволяет существенно уменьшить габариты котла и упростить его обслуживание.

Достоинством передачи тепла за счет прямого контакта продуктов сгорания природного газа с циркуляционной водой является также то, что при этом исключается влияние на теплоперенос качества теплопередающих поверхностей, наличие на них отложений и, соответственно, необходимость умягчения подогреваемой воды. Это, в свою очередь, устраняет сброс засоленных стоков в поверхностные водоемы.

Степень конденсации паров воды и, соответственно, КПД котла, зависит от температуры воды, орошающей насадку и нагрузки котельной установки. На рис. 2 показана зависимость КПД котла от указанных показателей его работы. Как видно из представленных данных, основное влияние на КПД оказывает температура циркуляционной воды. Однако, даже

при повышенной температуре циркуляционной воды КПД котла значительно повышается за счет увеличения поверхности контакта дымовых газов с водой.

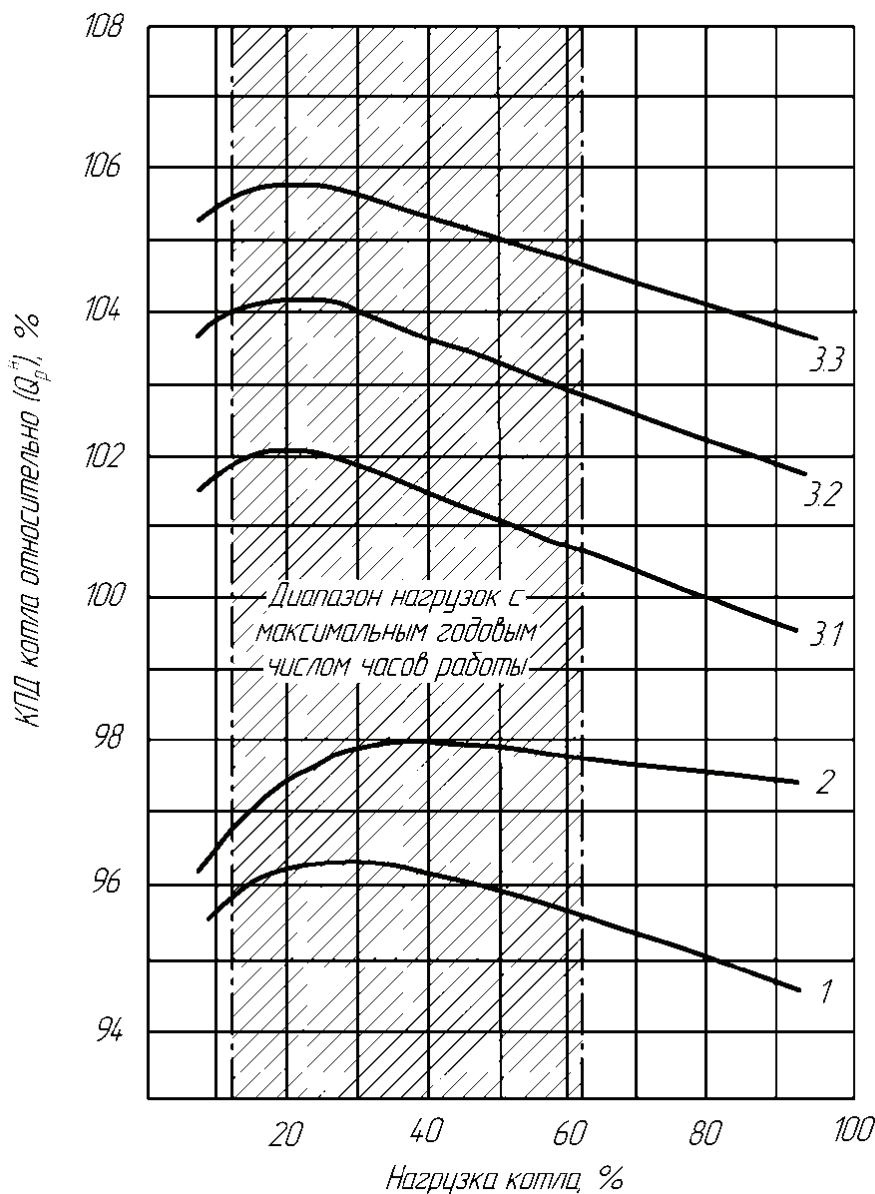


Рис. 2. Кривые изменения КПД для полного использования теплоты сгорания в водогрейном котле:

- 1 – котел без экономайзера 70/50 °С; 2 – котел с экономайзером для неконденсационного режима; 3 – котел с экономайзером для полного использования теплоты сгорания:
 3.1 – температура воды на входе 50 °С; 3.2 – температура воды на входе 40 °С;
 3.3 – температура воды на входе 30 °С

В табл. 1 представлены основные показатели работы конденсационных котлов при сжигании различных видов высокорекреационных топлив. Из приведенных данных видно, что показатель рН продуктов конденсации имеет достаточно низкое значение, что вынуждает использовать эксплуатационные и конструктивные мероприятия для защиты оборудования от коррозии.

Характеристики различных видов топлива

Вид топлива	Параметры процесса							
	Низшая теплота сгорания, $Q_{н}^p$		Полная теплота сгорания, $Q_{в}^p$		Соотношение $Q_{н}^p/Q_{в}^p$	Точка росы продуктов сгорания, °С	Конденсат, г/кДж	Значение рН
	МДж/м ³ (кг)	Мкал/м ³ (кг)	МДж/м ³ (кг)	Мкал/м ³ (кг)				
Природный газ	35,58	8,5	39,49	9,43	1,11	55,6	44,4	2,8-4,9
Природный газ «L»	31,79	7,59	35,2	8,41	1,11	55,1	44,4	2,8-4,9
Пропан	93,2	22,26	101,23	24,13	1,09	51,4	36,1	1,8-3,7
Бутан	123,8	29,57	134,06	32,02	1,08	50,7	33,3	1,8-3,7
Дизтопливо (с содержанием серы ≤ 50 мг/кг)	42,84	10,23	45,79	10,94	1,07	47,0	27,8	1,8-3,7

Влияние температуры циркуляционной воды на КПД котла и степень конденсации паров воды показано на рис. 3. Определение влияния температуры воды на остаточное содержание углекислого газа выполнено на конденсационном котле мощностью 300 кВт в городе Буча Киевской области. На рис. 4 представлены данные, показывающие, что с ростом температуры подогрева воды содержание углекислого газа значительно снижается. Представленные данные с высокой степенью надежности могут быть аппроксимированы экспоненциальной зависимостью (рис. 5):

$$CO_2 = 5,88 \cdot 10^2 \cdot \exp(-4,44 \cdot 10^{-2}t),$$

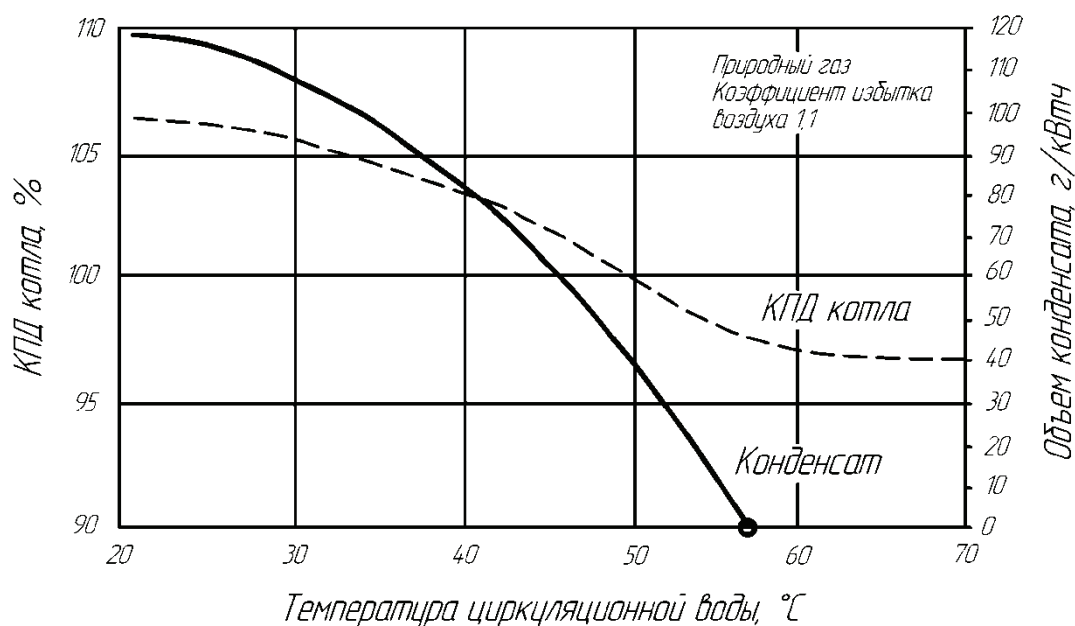


Рис. 3. Влияние температуры циркуляционной воды на КПД котла и объем конденсата природного газа

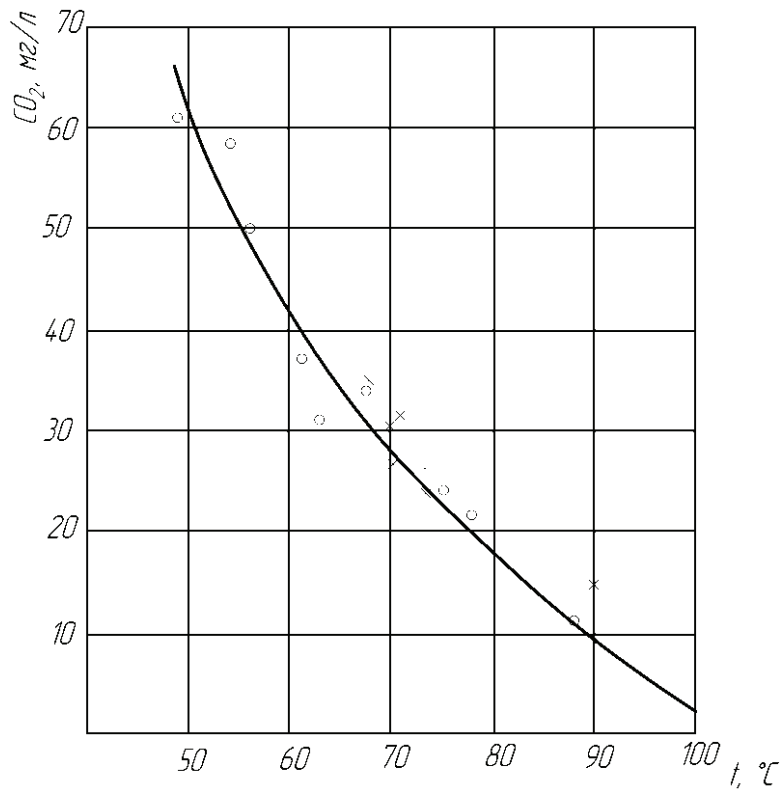


Рис. 4. Зависимость остаточного содержания углекислого газа от температуры воды при непосредственном контакте воды с продуктами сгорания природного газа

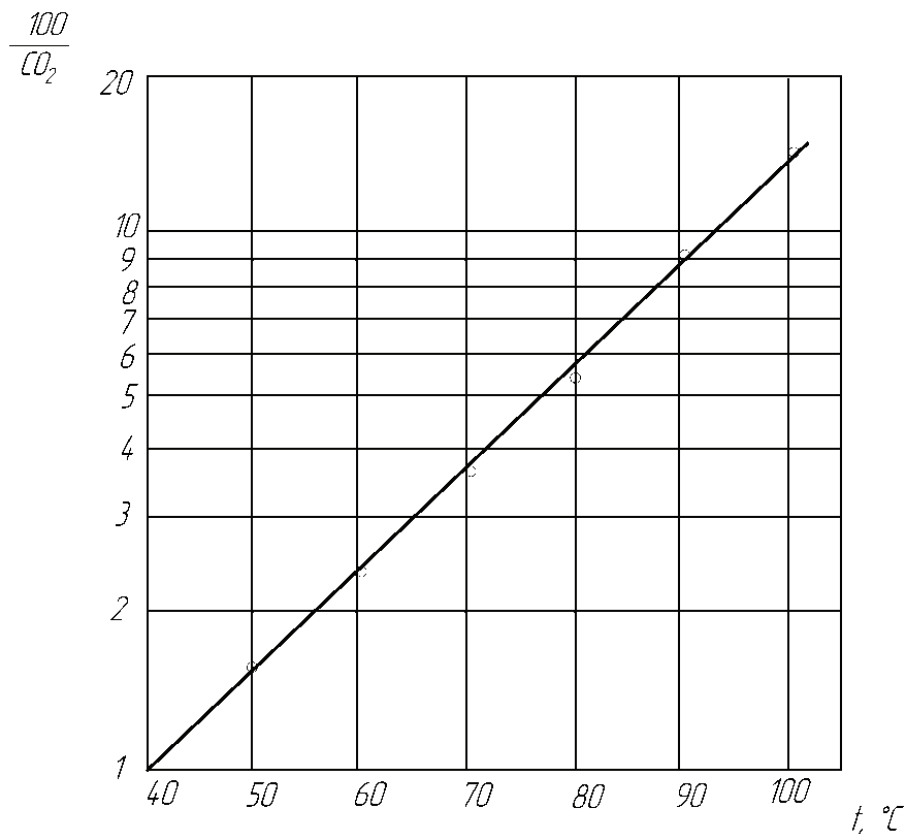
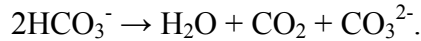


Рис. 5. Зависимость остаточного содержания углекислого газа в теплоносителе от его температуры

Циркуляционная вода обогащается углекислым газом даже при отсутствии прямого контакта воды с продуктами сгорания. Это происходит в результате термической диссоциации гидрокарбонатных ионов, присутствующих в природных водах, по схеме:



Образующиеся при этом карбонатные ионы являются основной причиной накипеобразования на поверхностях нагрева. Это увеличивает термическое сопротивление переносу тепла, температуру греющих стенок поверхностей нагрева и вызывает повышение расхода природного газа на подогрев воды. Как показано в [6], изменение температуры греющей стенки от 60 до 90 °С увеличивает интенсивность отложения солей примерно в 13 раз.

Интенсивность образования отложений зависит также от так называемого карбонатного индекса – произведения концентраций кальция на щелочность воды и времени контакта воды с нагреваемыми поверхностями. При щелочности (карбонатной жесткости) нагреваемой воды 1,3-1,4 мг-экв/л и продолжительности нагрева 40-60 с (характерна для водогрейных котлов) интенсивность накипеобразования при температуре подогрева до 130-150 °С столь значительна, что в течение отопительного периода на каждом квадратном метре поверхности нагрева откладывается около 2 кг отложений. При тех же значениях температур и качестве воды для сетевых подогревателей, в которых продолжительность нагрева не превышает 5 с, указанное выше количество отложений образуется после 6-7 лет эксплуатации оборудования.

Как показал опыт эксплуатации указанного выше конденсационного котла, при прямом контакте циркуляционной воды с продуктами сгорания газа, отложения на теплообменной насадке вообще не образуются. Однако, при этом кроме поглощения углекислого газа из продуктов сгорания топлива возможно его образование за счет термической диссоциации гидрокарбонатных ионов. Очевидно, что этот процесс особенно важен в случае нагрева воды в поверхностных подогревателях.

Для определения интенсивности и количественного описания указанного процесса нами проведено несколько серий опытов при различной температуре и длительности подогрева. Подогрев осуществлялся при фиксированной длительности нагрева 10, 20 и 30 минут.

Температура нагрева регулировалась за счет периодического включения нагревателя. После определенного времени нагрева состояние равновесия в системе «замораживалось» за счет охлаждения пробы воды до комнатной температуры (примерно 25-30 °С). Степень термической диссоциации гидрокарбонатных ионов определялась по величине остаточной щелочности воды.

Изменения концентрации гидрокарбонатных ионов во времени, очевидно, пропорционально их текущей концентрации $dc/dt = -\alpha \cdot c$. Таким образом, после интегрирования в пределах от C_0 до C и от 0 до τ получаем $C/C_0 = -\exp(\alpha \cdot \tau)$. Представленные на рис. 6 данные подтверждают характер указанной зависимости. Значение коэффициента α является экспоненциальной функцией температуры, что видно из рис. 7. После обработки экспериментальных данных получена следующая зависимость показателя C_0/C , характеризующего степень термической диссоциации гидрокарбонатных ионов от абсолютной температуры (T) и длительности воздействия определенного уровня температур

$$C_0/C = \exp[\tau \cdot 2,157 \cdot 10^{-13} \cdot \exp(0,075 \cdot T)].$$

Как видно из представленных данных, в области температур, примерно до 80 °С процесс термической диссоциации гидрокарбонатных ионов является относительно медленным и существенно ускоряется при дальнейшем повышении температуры воды. При прямом контакте воды с продуктами сгорания вклад термической диссоциации гидрокарбонатных ионов на повышение содержания углекислого газа в воде не существенен.

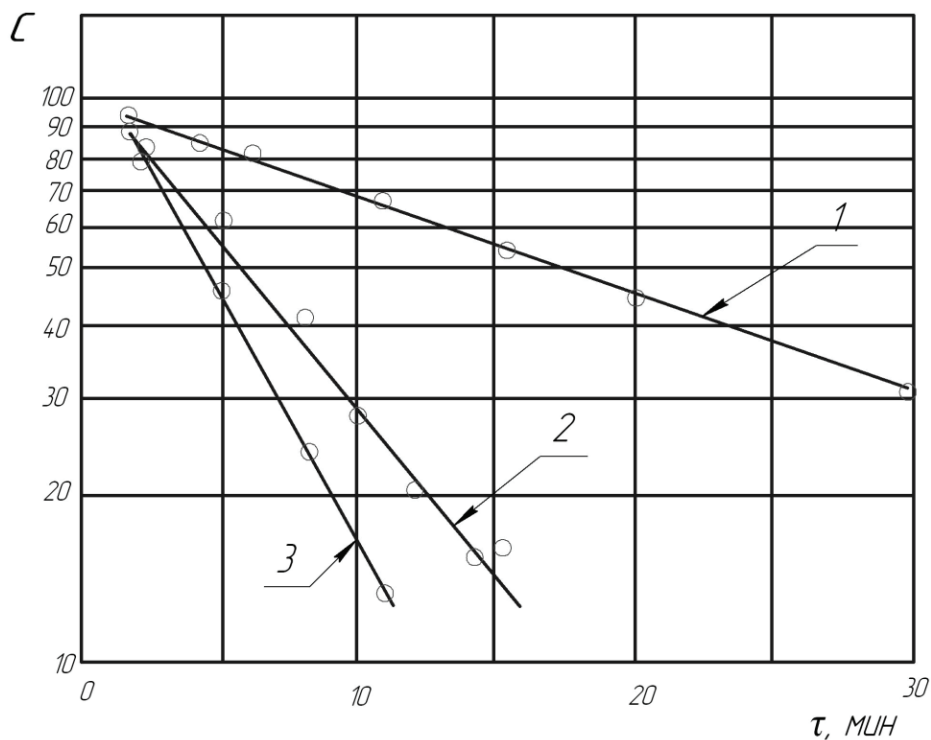


Рис. 6. Зависимость остаточной концентрации гидрокарбонатных ионов от времени и температуры:
 1 – температура $t = 73$ °C; 2 – температура $t = 88$ °C; 3 – температура $t = 93$ °C

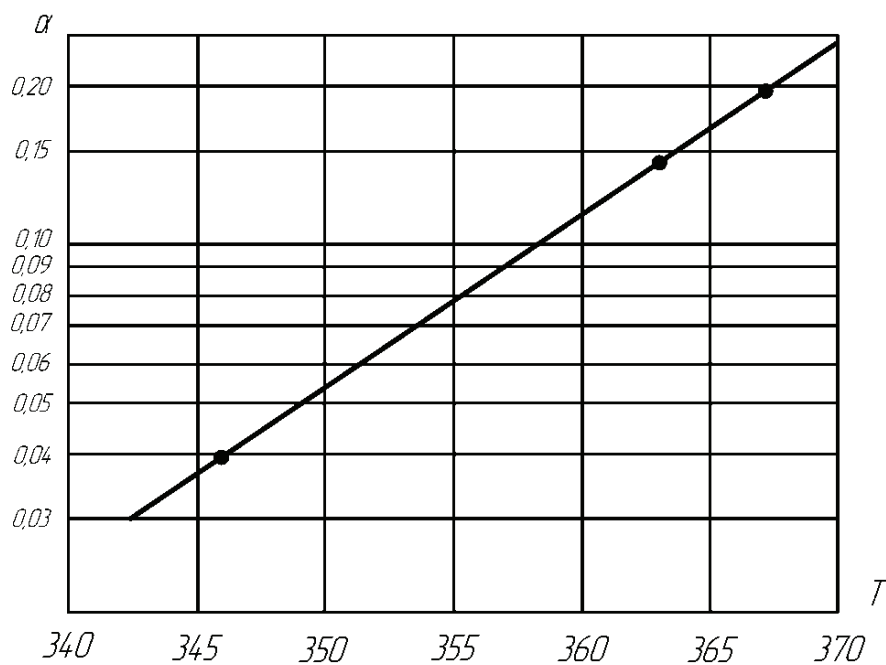


Рис. 7. Зависимость коэффициента α от абсолютной температуры

Выводы

1. Обоснованы преимущества использования подогрева воды за счет прямого контакта продуктов сгорания природного газа с циркуляционной водой.
2. Определены характеристики конденсационных котлов при использовании различных видов высокорреакционных топлив.
3. Для уменьшения степени насыщения воды углекислым газом необходимо обеспечить подогрев воды на массо- и теплообменной насадке до температуры близкой к 100 °С.
4. Определены экспериментальные зависимости остаточного содержания углекислого газа от температуры циркуляционной воды и остаточного содержания гидрокарбонат-ионов от температуры подогрева воды и длительности воздействия повышенной температуры на теплоноситель (циркуляционную воду).

Список литературы

5. Акользин А.П. Коррозия и защита металла теплоэнергетического оборудования / А.П.Акользин. – М.: Энергоиздат, 1982. – 304 с.
6. Комунальна теплоенергетика України. Стан. Проблеми. Шляхи модернізації (у 2-х томах) / А.А. Долінський, Б.І. Басок, Є.Т. Базєєв, І.А. Піроженко. – К., 2007. – 828 с.
7. Модуль водонагрівальний контактний МВК-0,5. Технічний опис. – К., 1999. – 10 с.
8. Пат. UA № 86084, 25.03.2009. Бюл. № 6, 2009 р.
9. Пат. UA № 23268, 10.05.2007. Бюл. № 6, 2007 р.
10. Высоцкий С.П. Надежность работы систем теплофикации и технология обработки подпиточной воды / С.П. Высоцкий, Д.Н. Бут // Сантехніка, опалення, кондиціонування (СОК). Щомісячний спеціалізований журнал. – К.: ООО «Медиа Технолоджи». – 2007. – № 7. – С. 12–15.

Рецензент: к.т.н., проф. Є.О. Вороб'єв, АДІ ДВНЗ «ДонНТУ».

Стаття надійшла до редакції 20.04.11

© Висоцький С.П., Лук'янов О.В., Кондрикінська А.В., 2011