

УДК 621.181. 62:620.193.519.8

В. С. КОРНИЕНКО*Херсонский филиал Национального университета кораблестроения
имени адмирала Макарова, Украина***ИНТЕНСИВНОСТЬ ПРОЦЕССОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ
НАГРЕВА УТИЛИЗАЦИОННЫХ КОТЛОВ ПРИ СЖИГАНИИ
ВОДОМАЗУТНЫХ ЭМУЛЬСИЙ**

Представлены аппроксимационные зависимости удельных показателей интенсивности загрязнений при влиянии основных параметров, характеризующих эти процессы. Проведена статистическая обработка результатов исследований, показавшая преимущественное влияние на увеличение массы загрязнения содержания серы и воды в водомазутной эмульсии. Получены зависимости скорости загрязнения от температуры стенки за 8 и 1000 часов при сжигании топлив и водомазутных эмульсий. Оценена корректность переноса данных, полученных на экспериментальной установке, на рассмотрение развития этих процессов в реальных утилизационных котлах.

Ключевые слова: утилизационный котел, поверхность нагрева, загрязнения, водомазутная эмульсия.

Введение

При сжигании сернистых топлив с содержанием серы S^r выше 1 % при температуре стенки t_{ct} ниже точки росы паров кислоты $t_p H_2SO_4$ низкотемпературная сернистая коррозия (НТК) ограничивает глубину утилизации теплоты выхлопных газов двигателей из-за высокой скорости коррозии на выходе из утилизационного котла (УК), что не позволяет обеспечить высокий КПД теплоутилизационного контура (ТУК). Так как при этом низкотемпературная поверхность нагрева (НТПН) покрыта конденсатом H_2SO_4 , наблюдается значительное загрязнение НТПН (НТЗ), что снижает интенсивность теплопередачи, увеличивает аэродинамическое сопротивление УК, значение которого не может превышать определенное значение.

При сжигании водомазутных эмульсий (ВМЭ) появляется возможность повысить экономические и экологические показатели энергетических установок с ДВС. Но в публикациях мало сведений о последствиях сжигания ВМЭ в виде коррозии и загрязнений НТПН, практически отсутствуют количественные данные об интенсивности НТК и НТЗ при увеличении коэффициента избытка воздуха α до 2,5...3,0, имеющих место в ДВС, как при сжигании стандартных мазутов (с W^r до 2 %) и тем более при сжигании ВМЭ. Представлено только несколько публикаций с качественными показателями снижения интенсивности НТК и НТЗ (меняется вид коррозии, отложения при сжигании ВМЭ становятся сыпучими и при t_{ct} выше $t_p H_2SO_4$ вообще отсутству-

ют). Но все эти данные получены при значениях α до 1,4.

Возможность снижения интенсивности НТК при t_{ct} ниже $t_p H_2SO_4$ и тем самым увеличения глубины утилизации выхлопных газов ДВС путем снижения их температуры с 160 °С до 100 °С рассмотрена в [1], где представлены результаты исследований интенсивности НТК при увеличении коэффициента избытка воздуха α до ~3,0.

Постановка задачи

Учитывая изложенное, были поставлены следующие цели исследований.

1. Получение зависимостей удельных показателей интенсивности загрязнения ΔG_3 (по приросту их массы) при влиянии: коэффициента избытка воздуха α (до 2,5...2,9), содержания серы S^r (до 2 %) и водосодержания W^r (2...30 %).

2. Получение зависимостей скорости загрязнения K_3 от t_{ct} , которые необходимы для проектирования поверхностей нагрева УК.

3. Оценка корректности переноса данных, полученных на экспериментальной установке, на рассмотрение развития этих процессов в реальных УК, установленных после ДВС.

Результаты исследований

Загрязнения на НТПН представляют собой смесь отложений твердых частиц золы и сажи, осевших на поверхность из потока газов, конденсата

остаточной кислоты и продуктов коррозии. Так как нет публикаций о конкретных значениях скорости загрязнения поверхностей при повышенных α , то следует рассмотреть механизм влияния α на количественные показатели указанных трех компонентов, определяющих интенсивность НТЗ.

При $W^r = 2\%$ с увеличением α до 1,4...1,6 скорость НТК существенно возрастает (в 2...3 раза по сравнению с режимом $\alpha = 1,01$), а затем при дальнейшем росте α до 3,0 наблюдается незначительное увеличение интенсивности НТК (в ~1,2 раза) [1, 5]. Соответственно изменению скорости коррозии в загрязнениях увеличивается содержание сульфатов. Это объясняется ростом массопотока H_2SO_4 с увеличением значения α , интенсивность которого в свою очередь определяется содержанием SO_3 в выхлопных газах (на уровне 0,5...0,8 Па), так как содержание водяных паров существенно выше (около 10 кПа). При горении сернистых топлив сначала образуется SO_2 , а затем в зависимости от условий имеет место доокисление SO_2 в SO_3 избыточным кислородом. Причем, зависимость конверсии SO_2 в SO_3 от избытка воздуха имеет такой же вид, как и скорости НТК от α . По многочисленным данным существенный рост содержания SO_3 наблюдается при увеличении α до ~1,5, а затем рост концентрации SO_3 прекращается (содержание SO_3 практически не меняется при увеличении α выше 1,5). В связи с изложенным и с учетом того факта, что на коррозионный процесс расходуется не весь массопоток кислоты, содержание остаточной кислоты в составе загрязнений при увеличении α от 1,5 до 3,0 остается постоянным или даже уменьшается из-за небольшого роста скорости НТК (учитывая, что скорость НТК несколько отстает от значения массопотока кислоты).

Количество отложений на поверхностях нагрева УК определяется содержанием твердых частиц в потоке газов, зависящим от эффективности сжигания в них топлива. Процессам горения топлива в ДВС и котлах и их экологическим последствиям уделяется большое внимание. По многочисленным опубликованным данным, например, в ДВС и котлах [1, 2, 3, 6] с увеличением α до ~1,5...2,0 концентрация твердых частиц резко снижается (в 2...3 раза), а затем при дальнейшем росте α до 3,0 концентрация твердых частиц снижается только в 1,25 раза. Количество осевших и закрепившихся на НТПН частиц (отложений) зависит от многих факторов (размеры и форма частиц, аэродинамические условия, адгезионные свойства пленки кислоты на поверхности осаждения), но можно утверждать, что количество отложений этих частиц пропорционально их концентрации в потоке газов.

Как показали проведенные экспериментальные исследования при увеличении водосодержания W^r ВМЭ до 30 % прежде всего резко снижается скорость НТК (по данным [1, 5] в 5 раз). В связи с пассивацией поверхности металла оксидами азота соответственно значительно уменьшается содержание сульфатов и соответственно увеличивается содержание остаточной кислоты в составе загрязнений [1, 4, 5]. Благодаря микровзрывам капель ВМЭ и более качественному процессу горения в потоке газов концентрация сажистых и коксовых частиц уменьшается (при том же содержании золы). Вследствие значительного уменьшения размеров твердых частиц и воздействия звукового поля, генерируемого микровзрывами (что ухудшает условия закрепления частиц на НТПН), количество отложений твердых частиц уменьшается в 4...5 раз по сравнению с режимом сжигания топлив с $W^r = 2,0\%$ (в котлах подтверждается данными [4, 5] и снижением дымности потока выхлопных газов ДВС в ~2 раза [6]). Поэтому с учетом данных [6] при сжигании легких топлив и ВМЭ на их основе с увеличением W^r до 30 % принят прирост ΔG_3 пропорционально ниже данных при $W^r = 2,0\%$.

Так как основная масса загрязнений (до 80...90 %) образуется при увеличении α до 1,5, важно иметь надежные данные о росте количества загрязнений ΔG_3 при увеличении α именно до 1,5, так как затем с ростом α от 1,5 до 3,0 ΔG_3 увеличивается в 1,2...1,3 раза.

Учитывая зависимость процесса загрязнений от многих факторов, зависимость ΔG_3 лучше находить экспериментальным путем.

Полученные по экспериментальным данным регрессионные уравнения удельного прироста массы загрязнений ΔG_3 , а после их дифференцирования скорости загрязнений K_3 , позволят на основании представленной физико-химической и математической моделей прогнозировать развитие процесса загрязнения при увеличении α от 1,5 до 3,0.

Полученные экспериментальные данные по скорости НТК и НТЗ при значениях $t_{ст}$ ниже $t_{pH_2SO_4}$ на экспериментальной установке (при значениях α до 1,5) и на УК типа КУП 1000Р, установленного после ГД марки 8ДКРН 60/195-10, при $\alpha = 2,9$ при сжигании топлив типа ДТ, ДС, с учетом данных [1, 2, 3, 4, 6] позволили построить зависимость $\Delta G_3 = f(\alpha)$, получить ее регрессионное уравнение (рис. 1, кривая 1), определяющее характер развития НТЗ и подтверждающее адекватность принятой модели развития НТЗ с ростом α . При сжигании сернистого мазута М40 с $S^r = 1,5\%$ и $W^r = 2,0\%$ и ВМЭ с $W^r = 30\%$ получены экспериментальные значения НТК и НТЗ при росте α до 1,5, а затем с

учетом развития НТЗ при сжигании легкого топлива (кривая 1) по полученным регрессионным уравнениям осуществлен прогноз развития этих процессов до $\alpha = 3,0$ (рис. 1, штриховые линии). Полученные данные при значениях α до 1,5 совпадают с данными [4], в которых, к сожалению, отсутствуют сведения о НТК и НТЗ при увеличении α до 3,0.

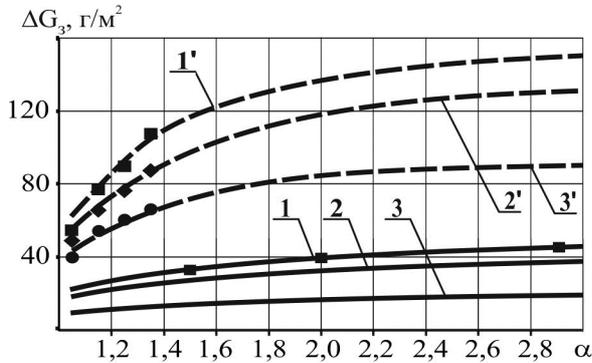


Рис. 1. Зависимость ΔG_3 в области кислотного пика ($t_{ст} = 110^\circ\text{C}$) от α при разном водосодержании W^T ВТЭ при $S^T = 1,5\%$ ($\tau = 8$ ч):

- а) при сжигании легких топлив:
 1 – $W^T = 2\%$; 2 – $W^T = 17\%$; 3 – $W^T = 30\%$;
 б) при сжигании мазута:
 1' – $W^T = 2\%$; 2' – $W^T = 17\%$; 3' – $W^T = 30\%$.

Таким образом, полученные зависимости интенсивности $\Delta G_3 = f(\alpha)$ показывают, что характер развития НТЗ при сжигании легких и тяжелых сернистых жидких топлив с одинаковым содержанием серы с увеличением α совпадает, хотя абсолютные значения роста загрязнений при сжигании тяжелых мазутов существенно выше в связи с большим содержанием золы и трудностей, связанных с процессом сжигания тяжелых сернистых топлив.

Представленные на рис. 1 зависимости $\Delta G_3 = f(\alpha)$ при $S^T = 1,5\%$ показали увеличение ΔG_3 при возрастании коэффициента избытка воздуха α . При сжигании топлива с $W^T = 2\%$ при увеличении α от 1,05 до 2,9 значение ΔG_3 возросло в 2,7 раза, при сжигании ВМЭ с $W^T = 17\%$ – в 2,6 раза, с $W^T = 30\%$ – в 2,3 раза. При $\alpha = 2,9$ увеличение содержания воды в топливе с 2 до 30% приводит к уменьшению ΔG_3 в 1,7 раза. При сжигании ВМЭ с $W^T = 30\%$ на основе легкого топлива при том же значении α интенсивность загрязнений ΔG_3 уменьшилась в 2,3 раза.

На основании экспериментальных данных (рис. 1) получены регрессионные уравнения (полиномы четвертой степени). На основании принятой модели развития НТК и НТЗ осуществлен прогноз их развития при увеличении α от 1,5 до 3,0.

На основании полученных экспериментальных данных и регрессионных уравнений с учетом зави-

симостей $\Delta G_3 = f(\alpha)$ (рис. 1) получены зависимости удельного роста загрязнений ΔG_3 от содержания серы S^T и воды W^T (рис. 2 и 3).

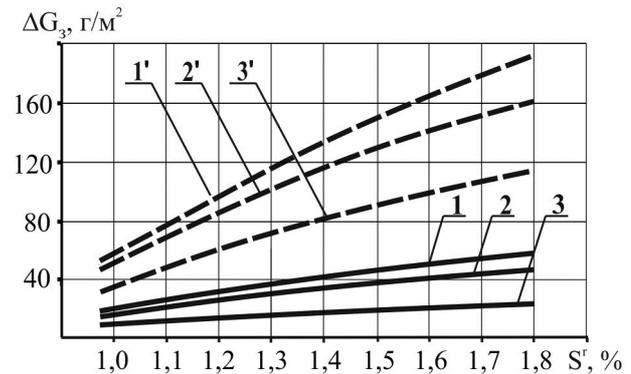


Рис. 2. Зависимость ΔG_3 в области кислотного пика ($t_{ст} = 110^\circ\text{C}$) от содержания серы S^T при разном водосодержании W^T ВТЭ при $\alpha = 2,9$ ($\tau = 8$ ч):
 а) при сжигании легких топлив:

$$1 - W^T = 2\%, \Delta G_3 = 62,249 \cdot \ln(S) + 20,143;$$

$$2 - W^T = 17\%, \Delta G_3 = 47,572 \cdot \ln(S) + 17,904;$$

$$3 - W^T = 30\%, \Delta G_3 = 22,693 \cdot \ln(S) + 10,306;$$

б) при сжигании мазута:

$$1' - W^T = 2\%, \Delta G_3 = 211,209 \cdot \ln(S) + 65,827;$$

$$2' - W^T = 17\%, \Delta G_3 = 172,903 \cdot \ln(S) + 60,586;$$

$$3' - W^T = 30\%, \Delta G_3 = 132,617 \cdot \ln(S) + 36,652$$

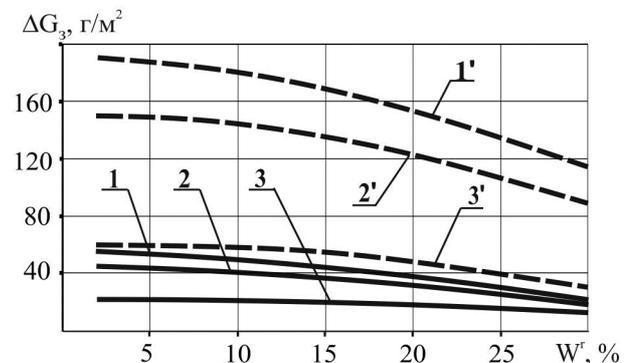


Рис. 3. Зависимость ΔG_3 в области кислотного пика ($t_{ст} = 110^\circ\text{C}$) от водосодержания W^T ВТЭ при разном содержании серы S^T при $\alpha = 2,9$ ($\tau = 8$ ч):
 а) при сжигании легких топлив:

$$1 - S^T = 1,8\%, \Delta G_3 = -0,022 W^2 - 0,469 W + 58,027;$$

$$2 - S^T = 1,5\%, \Delta G_3 = -0,021 W^2 - 0,261 W + 45,604;$$

$$3 - S^T = 0,98\%, \Delta G_3 = -0,011 W^2 - 0,036 W + 18,973;$$

б) при сжигании мазута:

$$1' - S^T = 1,8\%, \Delta G_3 = -0,055 W^2 - 0,896 W + 193,011;$$

$$2' - S^T = 1,5\%, \Delta G_3 = -0,076 W^2 - 0,171 W + 149,962;$$

$$3' - S^T = 0,98\%, \Delta G_3 = -0,049 W^2 - 0,589 W + 61,016$$

Чтобы оценить совместное влияние рассмотренных 3-х факторов (α , S^r , W^r) на скорость загрязнения в виде ΔG_3 , определить значение констант и весовых коэффициентов в уравнении многофакторной регрессии, определиться с факторами существенного влияния на ΔG_3 при статистической обработке экспериментальных данных, была использована система STATGRAPHICS Plus for Windows, которая обеспечивает доступ к полному набору статистических методов и предоставляет возможность провести расширенный регрессионный анализ. Модуль системы STATGRAPHICS Plus for Windows, посвященный планированию экспериментов, дает возможность учесть взаимодействие анализируемых факторов на величину ΔG_3 .

Так как был выбран полный факторный ротатбельный план (необходимо 16 наблюдений), тогда для расчета доступно получение всех главных эффектов и двухфакторных взаимодействий. Статистическая обработка данных позволила получить уравнение, учитывающее влияние на величину ΔG_3 коэффициента избытка воздуха α , содержание серы S^r в топливе и воды W^r в ВМЭ в виде:

$$\Delta G_3 = 119,896 + 2,0218 W^r - 168,875 \alpha + 198,06 S^r - 0,0687 (W^r)^2 + 0,2881 W^r \alpha - 1,7212 W^r S^r + 26,313 \alpha^2 + 14,3069 \alpha S^r - 29,7926 (S^r)^2.$$

Таким образом, подводя итог анализу результатов проведенных экспериментов и их статистической обработке, можно утверждать, что на величину ΔG_3 прежде всего влияет содержание серы S^r и воды W^r в ВМЭ, а затем избыток воздуха α .

Для оценки степени загрязнения НТПН при $t_{ст}$ ниже $t_{pH_2SO_4}$ при расчетах конвективного теплообмена необходимы данные о развитии НТЗ (рис. 4) в течение определенного времени воздействия потока газов. Поэтому были проведены экспериментальные исследования кинетики развития НТЗ. Стабилизация увеличения массы ΔG_3 и скорости загрязнений K_3 наблюдается при τ выше 8 часов. Важно, что стабилизация содержания SO_3 , определяющей скорость НТК и НТЗ, также имеет место около 8 часов. На основании этих данных получены регрессионные уравнения, позволяющие прогнозировать скорость загрязнений на любое время воздействия потока газов и предоставляющие возможность сравнивать полученные результаты с данными других авторов.

На основании проведенных исследований, данных кинетики развития НТЗ, дифференцирования полученных регрессионных уравнений на рис. 5 представлены зависимости скорости НТЗ при $\tau = 8$ часов и $\tau = 1000$ часов.

Полученные зависимости показывают, что при увеличении водосодержания ВМЭ скорость загрязнения K_3 уменьшается с 18,8 г/(м²·ч) при $W^r = 2\%$ до 10,9 г/(м²·ч) при $W^r = 30\%$. При сжигании ВМЭ с $W^r = 30\%$ при $t_{ст} = 110$ °С «кислотный пик» загрязнения отсутствует.

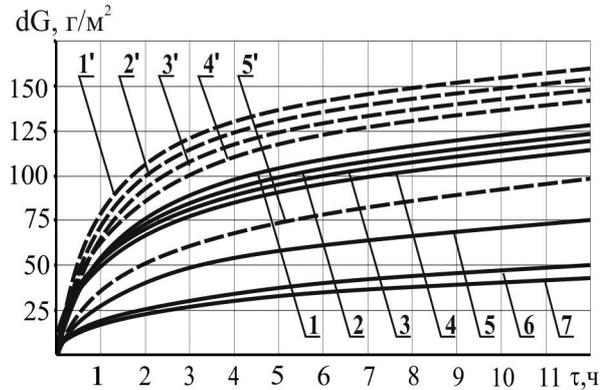


Рис. 4. Зависимость удельного увеличения массы загрязнений ΔG_3 от τ при $S^r = 1,5\%$:
 1 – М40 ($W^r = 2,0\%$); 2 – М40 ($W^r = 10,0\%$);
 3 – М40 ($W^r = 15\%$); 4 – М40 ($W^r = 17\%$);
 5 – ВМЭ М40 ($W^r = 30,0\%$); 6 – (ДС+ДТ) ($W^r = 2,0\%$) $\alpha = 2,9$; 7 – Ф-5 ($W^r = 2,0\%$) $\alpha = 2,0$;
 (поз. 1...5 – режимы при $\alpha = 1,5$;
 поз. 1'...5' – при $\alpha = 2,9$)

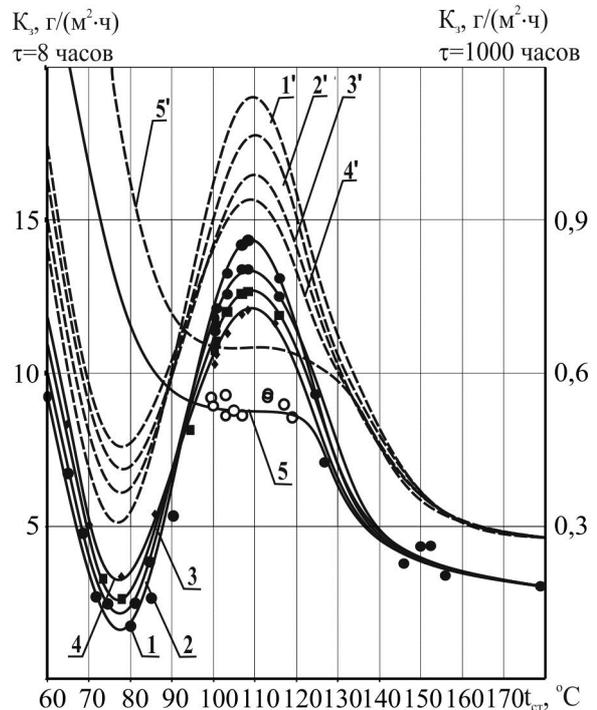


Рис. 5. Зависимость $K_3 = f(t_{ст})$ при $\tau = 8$ ч и $\tau = 1000$ ч (характеристики режимов 1...5, 1'...5' – см. рис 4)

Коэффициенты детерминации представленных всех зависимостей находятся на уровне 0,96...0,99.

Выводы

1. Увеличение водосодержания ВМЭ от 2 до 30 % при температурах стенки в области «кислотного пика» ($t_{ст} = 100...110$ °С) приводит к снижению интенсивности загрязнения в 1,7...1,6 раза при содержании серы в топливе 0,98...1,8 % при $\alpha = 2,9$.

2. При сжигании мазута М40 рост массы загрязнений ΔG_3 в 3,8 раза выше, чем при сжигании (ДТ+ДС).

3. При сжигании ВМЭ на основе мазута с $W^r = 30$ % скорость загрязнения в 1,7 раза ниже, чем при сжигании стандартного топлива с $W^r = 2$ %.

4. Статистическая обработка результатов исследований подтверждает достоверность полученных данных. На интенсивность НТЗ прежде всего влияет содержание серы и воды в ВМЭ, а затем α .

5. Принятая методика определения зависимостей увеличения массы загрязнений ΔG_3 путем построения аппроксимационных уравнений, полученных при значениях α до 1,5, корректна и обеспечивает получение достоверных данных и при больших α (до 3,0), которые следует использовать при проектировании УК.

Литература

1. Горячкин, В. Ю. Интенсивность коррозионных процессов в утилизационных котлах при сжигании водотопливных эмульсий [Текст] / В. Ю. Горячкин, В. С. Корниенко // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Морская техника и технология. – 2013. – № 2. – С. 101–110.

2. Канило, П. М. Минимизация канцерогенной опасности энергоустановок [Текст] / П. М. Канило, А. Л. Шубенко // Проблемы машиностроения. – 2011. – Т. 14, № 4. – С. 73–80.

3. Канило, П. М. Анализ энергоэкологических показателей тепловых электростанций [Текст] / П. М. Канило, М. В. Сарापина // Проблемы машиностроения. – 2013. – Т. 16, № 1. – С. 68–73.

4. Акимов, А. В. Загрязнение поверхностей нагрева котлов и экологические показатели при сжигании водотопливной эмульсии [Текст] / А. В. Акимов // Наукові праці: Науково-методичний журнал. Техногенна безпека. – Миколаїв: Вид-во МДТУ ім. П. Могили, 2007. – Т. 73, вип. 60. – С. 116–125.

5. Пат. 99408 Україна, МПК C23F 11/10, F22B 37/00, F23J 15/00. Спосіб захисту металу низькотемпературних поверхонь нагріву котла від сірчаноокислової корозії [Текст] / В. Ю. Горячкин, А. В. Горячкин, О. В. Акімов, В. О. Іутінський, В. С. Корнієнко; заявник Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. – заявл. 23.08.11; опубл. 10.08.12, Бюл. № 15.

6. Парсаданов, И. В. Применение водотопливной эмульсии в автотракторном дизеле. Экологическая эффективность (часть 1) [Текст] / И. В. Парсаданов, И. В. Теплицкий, В. В. Солодовников // Двигатели внутреннего сгорания. – 2011. – № 2. – С. 118–120.

References

1. Goryachkin, V. Yu., Kornienko, V. S. Intensity of corrosion processes in exhaust gas boilers at burning water fuel emulsion [Intensity of corrosion processes in exhaust gas boilers at burning water fuel emulsion]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. Seriya: Morskaja tehnika i tehnologija*, 2013, no. 2, pp. 101–110.

2. Kanilo, P. M., Shubenko, A. L. Minimizatsiya kantserogennoi opasnosti energoustanovok [Minimizing of carcinogenic risks of power plants]. *Problemy mashinostroeniya*, 2011, vol. 14, no. 4, pp. 73–80.

3. Kanilo, P. M., Sarapina, M. V. Analiz jenergojekoologicheskikh pokazatelej teplovykh jelektrostantsij [Analysis of energy and ecological indicators of heat power plants]. *Problemy mashinostroeniya*, 2013, vol. 16, no. 1, pp. 68–73.

4. Akimov, A. V. Zagryaznenie poverkhnostei nagreva kotlov i ekologicheskie pokazateli pri szhiganiі vodotoplivnoi emul'sii [Pollution of boilers heating surfaces and ecological indicators at combustion water-fuel emulsion]. *Naukovi pratsi: Naukovo-metodichnii zhurnal. Tekhnogenna bezpeka*, Nikolaev, MDTU Publ., 2007, vol. 73, iss. 60, pp. 116–125.

5. Goryachkin, V. Yu., Goryachkin, A. V., Akimov, O. V., Iutins'kii, V. O., Kornienko, V. S. Sposib zakhistu metalu niz'kotemperaturnikh poverkhon' nagrивu kotla vid sirchanokislotoi korozii [Method of protection low-temperature heating surfaces of boiler of sulfuric acid corrosion]. Patent of Ukraine, № 99408, 2012.

6. Parsadanov, I. V., Teplitskii, I. V., Solodovnikov, V. V. Primenenie vodotoplivnoi emul'sii v avto-traktornom dizele. Ekologicheskaya effektivnost' (chast' 1) [Application of water fuel emulsion in autotractor diesel. Ecological efficiency (part 1)]. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya*, 2011, no. 2, pp. 118–120.

**ІНТЕНСИВНІСТЬ ПРОЦЕСІВ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХОНЬ НАГРІВУ
УТИЛІЗАЦІЙНИХ КОТЛІВ ПРИ СПАЛЮВАННІ ВОДОМАЗУТНИХ ЕМУЛЬСІЙ*****В. С. Корнієнко***

Представлено апроксимаційні залежності питомих показників інтенсивності забруднень при впливі основних параметрів, що характеризують ці процеси. Проведено статистичну обробку результатів досліджень, яка показала переважний вплив на збільшення маси забруднення вмісту сірки і води в водомазутній емульсії. Отримано залежності швидкості забруднення від температури стінки за 8 та 1000 годин при спалюванні палив і водомазутних емульсій. Оцінено коректність перенесення даних, отриманих на експериментальній установці, на розгляд розвитку цих процесів в реальних утилізаційних котлах.

Ключові слова: утилізаційний котел, поверхня нагріву, забруднення, водомазутна емульсія.

**INTENSITY OF POLLUTION PROCESSES IN EXHAUST GAS BOILERS
AT BURNING WATER-FUEL EMULSION*****V. S. Kornienko***

Approximation dependences of specific rates of pollution intensity at the main parameters influence characterizing these processes are presented. Statistical processing of research results, that displayed primary influence on metal decrease sulfur and water content of water fuel emulsion is conducted. Dependences of pollution rate from the wall temperature for 8 and 1000 hours at burning fuels and water-fuel emulsions are received. Reliability of data transfer from experimental facility on consideration of these processes in real exhaust gas boilers is estimated.

Key words: exhaust gas boilers, heating surface, pollution, water-fuel emulsion.

Корнієнко Вікторія Сергеевна – преп. каф. теплотехники, Херсонський філіал Національного університета кораблебудування імені адмірала Макарова, Херсон, Україна, e-mail: Viki-4127@yandex.ru.

Kornienko Victoriya Sergeevna – teacher of Department of heat engineering, Kherson branch of National University of Shipbuilding named after admiral S.Y. Makarov, Kherson, Ukraine, e-mail: Viki-4127@yandex.ru.