

О. М. ГОРБЕНКО, М. В. ДЕМ'ЯНЕНКО

АНАЛІЗ ПРИЧИН ВИНИКНЕННЯ КРУТИЛЬНИХ КОЛИВАНЬ У ТУРБОКОМПРЕСОРИ СУДНОВОГО ДВИГУНА

У роботі показано, що за певних умов у турбокомпресорі суднового двигуна внутрішнього згоряння можуть збуджуватися небезпечні крутильні коливання ротора. Визначено умови, при яких можливе виникнення резонансних крутильних коливань турбокомпресора. Виконана оцінка зниження вимушених коливань після установки демпфера.

Ключові слова: турбокомпресор, судновий двигун внутрішнього згоряння, крутильні коливання, резонанс, вищі гармоніки, вібрація.

A. N. GORBENKO, M. V. DEMYANENKO

ANALYSIS OF THE CAUSES OF TORSIONAL VIBRATIONS IN THE MARINE ENGINE TURBOCHARGER

It is shown that the dangerous torsional vibrations of the rotor can be excited in the turbocharger of marine internal combustion engine under certain conditions. The conditions of appearance of resonance torsional vibrations of turbocharger were defined. The approximate calculation of the reduction of forced vibrations after installing the damper was made.

Keywords: turbocharger, marine internal combustion engine, torsional oscillations, resonance, higher harmonics, vibration.



В. С. КОРНИЕНКО - аспірантка

Херсонський філіал Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова (ХФ НУК), г. Херсон, Україна

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ КОРРОЗИИ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА УТИЛИЗАЦИОННЫХ КОТЛОВ

Представлены результаты исследований низкотемпературной коррозии (НТК) и загрязнения при сжигании стандартных топлив и водотопливных эмульсий в области «кислотного пика». Получены аппроксимационные зависимости динамики НТК и загрязнения низкотемпературных поверхностей нагрева утилизационных котлов. Подтверждена достоверность этих уравнений результатами длительных экспериментов. При сжигании водотопливных эмульсий с водосодержанием 30 % интенсивность НТК снижается в 5 раз, загрязнения – в 1,5 раза.

Ключевые слова: утилизационный котел, водотопливные эмульсии, низкотемпературная коррозия, загрязнения, динамика, «кислотный пик», аппроксимационные зависимости.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Постоянный рост стоимости жидкого топлива привел к необходимости сжигания в ДВС тяжелых сернистых топлив, что влияет на экономические и эксплуатационные показатели судовых утилизационных котлов (УК) и стационарных когенерационных установок. При сжигании этих топлив усиливается скорость низкотемпературной коррозии (НТК), значение которой достигает до 1,5 мм/год при температуре стенки ниже 130 °С, что ограничивает возможность снижения температуры выхлопных газов на выходе из УК и глубины утилизации теплоты газов. При этом одновременно растет и интенсивность загрязнения, вследствие чего снижается интенсивность теплопередачи в поверхностях нагрева, растет аэродинамическое сопротивление УК. Опыт эксплуатации котельных установок свидетельствует о том, что борьба с низкотемпературными связанными загрязнениями является задачей не менее актуальной, чем защита поверхностей нагрева от НТК.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Значения скорости НТК, полученные в ре-

зультате исследований при сжигании обычных стандартных мазутов с W^r 2,0 % и разных содержаниях серы и коэффициентах избытка воздуха α , представлены в многочисленных литературных источниках [1 - 3]. Эти значения получены при различной продолжительности воздействия потока дымовых газов: от 2-х до 100 ч [1, 2] и до 1 тыс. ч [1 - 3]. Причем, в основном исследования НТК проводились на действующих котлах, при эксплуатации которых невозможно обеспечить постоянство параметров и, следовательно, стабильность состава и коррозионных свойств дымовых газов и их температуры даже в течение нескольких часов. Опубликовано большое количество данных о развитии процессов коррозии и загрязнения поверхностей нагрева при сжигании сернистых топлив в промышленных (вспомогательных судовых котлах) и энергетических котлах [1, 3]. Практически нет данных об интенсивности этих процессов в утилизационных котлах, устанавливаемых после ДВС.

Сжигание водотопливных эмульсий (ВТЭ) в ДВС позволяет улучшить процессы сжигания тяжелых топлив, обеспечить их экономии, снизить эмиссию сажистых частиц,

улучшить экологические показатели (снижается выброс NO_x , ПАУ, СО).

В литературе отсутствуют конкретные данные по скорости коррозионных процессов при сжигании ВТЭ: имеются только косвенные свидетельства снижения интенсивности процессов загрязнения и коррозии по таким качественным показателям, как изменение характера коррозии (язвенная коррозия перешла в равномерную), увеличение периода между чистками и ремонтами поверхностей нагрева котлов [4]. Опубликованы количественные результаты исследований НТК [5] и загрязнений [6] при сжигании ВТЭ в котлах при избытках воздуха α до 1,5. Сжигание ВТЭ в котлах при их водосодержании около 30 % приводит к снижению скорости НТК до 0,15 мм/год в области «кислотного пика» (температура поверхности нагрева около 110 °С), что дает возможность снизить температуру стенки в последних рядах труб до 80 °С и значительно увеличить глубину утилизации теплоты газов. Снижение скорости НТК при увеличении водосодержания объясняется пассивацией поверхности металла оксидами азота [7].

ЦЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование динамики НТК и загрязнения низкотемпературных поверхностей нагрева УК, что позволит сократить продолжительность экспериментов, построить достоверные зависимости развития этих процессов при сжигании стандартного топлива с водосодержанием $W^r = 2,0$ % и ВТЭ с W^r до 30 %, изменении коэффициента избытка воздуха до 3,0 при различном содержании серы в исходном топливе.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

При создании модели развития процесса загрязнения для определения периодичности очистки поверхностей нагрева, связанной с величиной аэродинамического сопротивления и снижением интенсивности теплопередачи, приводящей к уменьшению тепловой мощности УК (его паропроизводительности), необходимо знать динамику развития процессов коррозии и загрязнения низкотемпературных поверхностей

нагрева УК. Закономерности их развития возможно получить только на основании экспериментальных исследований, которые целесообразнее проводить на экспериментальной установке, где легче обеспечить постоянство процесса горения, температур газов и поверхности образцов труб. Проведение исследований коррозионных процессов длительностью около 1 тыс. часов на экспериментальной установке вызывает большие трудности.

По данным [1 - 3, 5, 6, 8, 9] развитие коррозионных процессов и загрязнения подчиняются степенным (или близких к ним) зависимостям, для построения которых достаточно нахождение экспериментальных данных только на начальных участках этих зависимостей. Поэтому при условии поддержания постоянных параметров всех процессов при эксперименте обеспечивается достоверность получения данных при проведении кратковременных исследований динамики развития процессов коррозии и загрязнения (длительность экспериментов 2, 4, 8, 12 часов). На основании этих данных получаем регрессионные уравнения, которые дают возможность прогнозировать развитие рассматриваемых процессов на любое время действия потока выхлопных газов.

Оценка достоверности полученных регрессионных уравнений осуществлялась путем сравнения полученных расчетных значений интенсивности рассматриваемых процессов с опубликованными эксплуатационными данными длительных экспериментов и опытов до 100 часов на этой же экспериментальной установке.

Исследования были проведены на экспериментальной установке в ХФ НУК и во время ходовых испытаний судна-снабжения с ГД 8ДКРН 60/195-10 мощностью 13 200 кВт и УК типа КУП1000Р. Во время ходовых испытаний в камере сгорания ДВС сжигалась смесь топлив (ДТ+ДС) при $S^r = 1,5$ %; $\alpha = 2,9$; $W^r = 2,0$ %, содержании золы на уровне 0,01 %.

Для исследования процессов динамики развития процессов коррозии на экспериментальной установке было проведено 25 серий опытов при сжигании различных стандартных топлив (ДС, М40, М100) при τ от 2

до 12 часов; при содержании серы S^r в топливах от 0,7 % до 2,0 %; при α от 1,01 до 1,5; при содержании воды 2 %, а также ВТЭ на основе М40 с содержанием воды от 4 до 30 % при α от 1,15 до 1,5. Для изучения динамики развития процессов загрязнения было проведено 12 серий опытов при сжигании стандартных мазутов (М40, М100) при содержании S^r от 0,98 % до 2,0 %; при α от 1,01 до 1,5; при содержании воды 2 %, а также ВТЭ на основе М40 с водосодержанием от 2 до 30 % при α от 1,2 до 1,5.

По результатам исследований были найдены аппроксимационные уравнения динамики развития процессов коррозии и загрязнения в виде степенных зависимостей $\Delta G = A \cdot \tau^n$, где A, n – постоянные коэффициенты для каждого режима, которые определяют характер кривой. Для поиска значений коэффициентов были использованы математические средства программы Advanced Grapher. Были построены зависимости убыли металла вследствие коррозии $\Delta G_k = f(\tau)$ и увеличения массы загрязнений $\Delta G_3 = \varphi(\tau)$, скорости коррозии $K_k = f(\tau) = (\Delta G_k)'$ и загрязнения $K_3 = \varphi(\tau) = (\Delta G_3)'$, ускорения коррозии $K'_k = f(\tau) = (\Delta G_k)''$ и загрязнения $K'_3 = \varphi(\tau) = (\Delta G_3)''$.

Графики и уравнения регрессии, полученные в результате обработки результатов экспериментов, а также значения коэффициентов детерминации R^2 для зависимостей ΔG_k и ΔG_3 от времени воздействия потока газов τ при их температуре на уровне 250 °С и температуре стенки, соответствующей кислотному пику 100 °С, представлены на рис. 1 и рис. 2.

На рис. 1,а и 2,а представлены результаты исследований динамики коррозии и загрязнения при τ до 12 часов, по которым получены регрессионные уравнения (см. подписанные подписи).

Как показали результаты исследований динамики развития коррозии и загрязнения для трех режимов (рис. 1,а и 2,а) в течение 5...8 часов воздействия потока газов наступает динамическое равновесие. Поэтому сравнение коррозионных режимов при сжигании стандартных топлив и ВМЭ и оценка влияния на них α, S^r и W^r может быть досто-

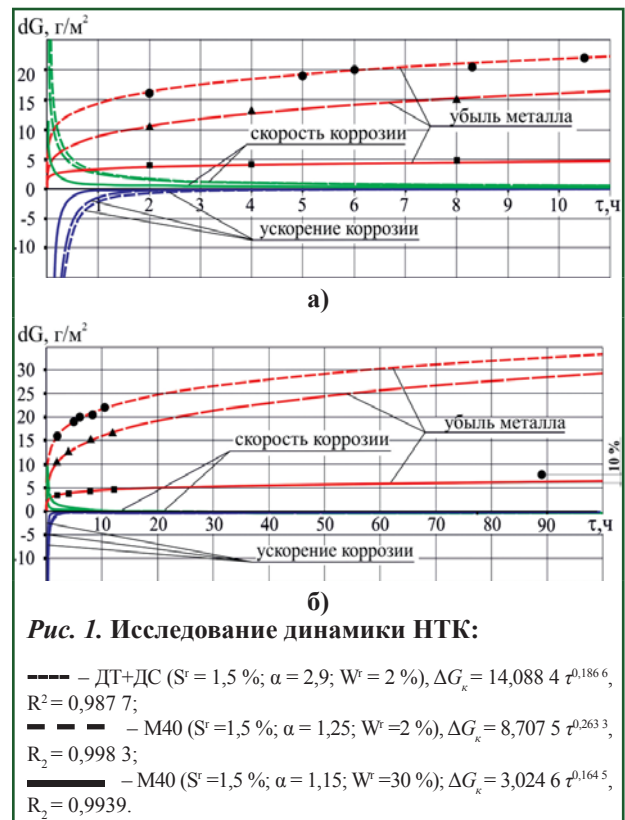
верно установлена по результатам 8-часовых исследования динамики.

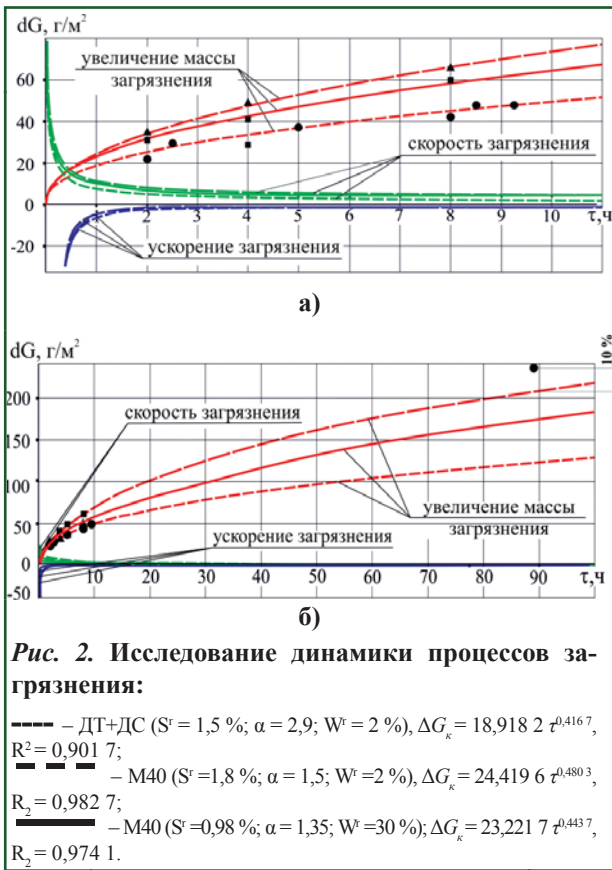
Сравнение зависимостей показывает, что при одинаковом содержании серы, при повышенных избытках воздуха $\alpha = 2,9$ интенсивность коррозии выше. Сжигание эмульсии с $W^r = 30$ % приводит к снижению интенсивности НТК в 5 раз.

Чтобы доказать корректность полученных аппроксимационных уравнений, необходимо получить зависимости НТК и загрязнений при длительных экспериментах (рис. 1,б и 2,б). Для этого были проведены контрольные опыты длительностью 100 часов для стандартных топлив и 88 часов для ВТЭ. Расхождение экспериментальных данных для ВТЭ за 88 часов составляет 10 %, что допустимо при коррозионных исследованиях.

ВЫВОДЫ

1. Получены аппроксимационные зависимости динамики НТК и загрязнения низкотемпературных поверхностей нагрева.
2. Достоверность этих уравнений подтверждаются результатами при коррозионных исследованиях длительных экспериментов.





3. При переходе на сжигание ВТЭ с водосодержанием до 30 % интенсивность НТК уменьшается в 5 раз.

4. Интенсивность загрязнения при сжигании ВТЭ (с $W^r = 30\%$) снижается в 1,5 раза.

По результатам представленных исследований планируется определение зависимостей скорости НТК (по убыли металла) и загрязнения (по приросту массы продуктов коррозии и отложений) от влияния основных параметров, характеризующих эти процессы (α , S^r и W^r).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Внуков А. К. Теплохимические процессы в газовом тракте паровых котлов [Текст] / А. К. Внуков. – М.: Энергоиздат, 1981. – 296 с.
2. Гаврилов А. Ф. Загрязнение и очистка поверхностей нагрева котельных установок [Текст] / А. Ф. Гаврилов, Б. М. Малкин. – М.: Энергия, 1980. – 328 с. с ил.
3. Магадеев В. Ш. Коррозия газового тракта котельных установок [Текст] / В. Ш. Магадеев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 272 с.
4. Якубовский Ю. В. Эксплуатация производственных котлов КВГ-34К на водотопливной эмульсии [Текст] / Ю. В. Якубовский, В. М. Суменков, Ю. С. Селезнев и др. // Рыбное хозяйство. – 1991. №3. – С. 57-60.
5. Горбов В. М. Исследование интенсивности коррозионных процессов при сжигании водомазутных

эмульсий [Текст] / В. М. Горбов, А. В. Горячкин / 36. научных праць УДМТУ. – №5 (391). – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – С. 87-95. – Библиогр.: с.95.

6. Акимов А. В. Загрязнение поверхностей нагрева котлов и экологические показатели при сжигании водотопливной эмульсии [Текст] / А. В. Акимов / Наукові праці: Науково-методичний журнал. Т.73. Вип. 60. Техногенна безпека. – Миколаїв: Вид-во МДТУ ім. П.Могили, 2007. – С. 116–125. – Библиогр.: с.124-125. – ISSN 1609-7742.

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

8. Отс А. А. Коррозия и износ поверхностей нагрева котлов [Текст] / А. А. Отс. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 272 с.

9. Stein S., Taylor B. G. S., Wage G. R. Techniques employed in study of the properties of the gases from large oil-fizzed boilers. – "J. of the Inst. Fuel", 1961. – 34 v. p.17-21.

СТАТЬЯ ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 26.02.2013 г.

В. С. КОРНІЄНКО

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ КОРОЗІЇ І ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХОНЬ НАГРІВУ УТИЛІЗАЦІЙНИХ КОТЛІВ

Представлені результати досліджень низькотемпературної корозії і забруднення при спалюванні стандартних палив і водопаливних емульсій в області «кислотного піку». Отримані апроксимуючі залежності динаміки НТК і забруднення низькотемпературних поверхонь нагріву утилізаційних котлів. Підтверджена вірогідність цих рівнянь результатами тривалих експериментів. При спалюванні водопаливних емульсій з вмістом 30 % інтенсивність НТК знижується в 5 разів, забруднення – в 1,5 рази.

Ключові слова: утилізаційний котел, водопаливні емульсії, низькотемпературна корозія, забруднення, динаміка, «кислотний пік», апроксимаційні залежності.

V. S. KORNIENKO

RESEARCH OF LOW TEMPERATURE CORROSION AND POLLUTION DYNAMICS LOW-TEMPERATURE HEATING SURFACES OF EXHAUST GAS BOILERS

Results of low temperature corrosion (LTC) and pollution at burning standard fuel and water fuel emulsion of the «acid peak» area research are presented. Approximation dependences of LTC dynamics and pollution low-temperature heating surfaces of exhaust gas boilers are received. Reliability of these equations is confirmed by the results of the durable experiments. At burning water fuel emulsion with 30 % water content intensity of LTC is 5 times decreased, as for pollution it's 1,5 times.

Keywords: exhaust gas boiler, water fuel emulsion, low-temperature corrosion, pollution, dynamics, «acid peak», approximation dependences.