

The article discusses some issues about the evaluation of the effectiveness of navigation-servicing, the solution of which is important in the design phase of complex technical systems issues. This research provided an opportunity to propose a new approach to evaluating the effectiveness of which is to describe the characteristics of precision navigation service based on the features of reliability.

УДК 629.12.662.67

Горячкин А.В., Дикий Н.А., Трубин В.В., Михайленко В.Н., Свиначенко М.А., Соколенко А.В., Мандровский В.В.

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СЖИГАНИИ ВОДОМАЗУТНЫХ ЭМУЛЬСИЙ В СУДОВЫХ КОТЛАХ

Исследования, проведенные на основе предложенной математической модели показывают, что сжигание ВМЭ с содержанием W^r около 30% дает возможность одновременно решать задачи защиты окружающей среды, повышения надежности работы, обеспечения энергосбережения при сжигании тяжелых остаточных топлив, что подтверждено результатами экспериментальных и аналитических исследований.

В последнее время много внимания уделяется снижению выбросов оксидов азота с продуктами сгорания топлив путем введения в зону горения водяных паров или воды, а также сжигания специально подготовленных водомазутных эмульсий (ВМЭ). Для снижения выбросов оксидов азота на 30% рекомендуется осуществлять сжигание ВМЭ с содержанием воды до 15% [3,5,6,7,8,10,11]. Увеличение содержания водяных паров в зоне горения оказывает влияние на процесс горения, на состав дымовых газов и, повидимому, на их коррозионные свойства. Поэтому было принято решение о проведении исследований скорости коррозионных процессов при сжигании ВМЭ с содержанием воды 15%.

В литературе приведено недостаточное количество экспериментальных данных по коррозионным процессам, имеющим место при сжигании обводненных мазутов [2,3,5,11]. Все приведенные данные носят качественный характер: заносы поверхностей нагрева оказались меньшими, зола становилась рыхлой и легко удаляемой, увеличился период между капитальными ремонтами котла. Причем, эти сведения относятся к поверхностям нагрева с температурой выше температуры точки росы паров серной кислоты. Однако, имеются данные, указывающие на интенсификацию коррозионных процессов [2,5]. Поэтому целесообразно проведение эксперимента и получение количественных данных по коррозии и загрязнению поверхности труб при сжигании обводненных мазутов при температурах стенки выше и ниже температуры точки росы.

Скорость низкотемпературной коррозии (НТК) зависит от многих факторов, среди которых в первую очередь следует отметить: содержание серы в топливе; коэффициент избытка воздуха при горении; состав металла и состояние поверхности нагрева; состав, количество и температура электролита (конденсата кислот); количество и состояние слоя отложений на поверхности металла и др. Во многих работах указывается, что скорость коррозионного процесса низкотемпературной поверхности нагрева во многом определяется количеством конденсирующейся на поверхности нагрева серной кислоты [1,2,6].

Работа с низкими избытками воздуха при сжигании сернистого мазута практически устраняет проблемы, связанные с коррозией. Но сжигание мазута с малыми избытками воздуха вызывает большие трудности при организации этого процесса, обеспечении работы системы

автоматического регулирования процесса горения, равномерного распределения концентрации O_2 , а значит и SO_3 , по сечению газохода, что приводит к неравномерной коррозии поверхностей нагрева. В промышленных котлах, а также вспомогательных судовых котлах невозможна организация процесса горения с малыми избытками воздуха. При эксплуатации котлов коэффициент избытка воздуха находится на уровне $\alpha = 1,3 \dots 1,6$. С увеличением избытка воздуха, при котором сжигается жидкое топливо, растет содержание SO_3 и паров H_2SO_4 в дымовых газах. При достижении $\alpha = 1,5$ содержание серного ангидрида SO_3 и паров серной кислоты в дымовых газах стабилизируется. Это дает возможность более четко определить влияние содержания воды в эмульсии на скорость коррозионных процессов. Поэтому было принято решение о проведении исследований интенсивности коррозионных процессов при сжигании ВМЭ с повышенными избытками воздуха, имеющими место в реальных условиях эксплуатации котлов, чтобы затем сравнить полученные результаты с интенсивностью процессов при сжигании мазута с малыми избытками воздуха.

Исследования для сравнения интенсивности коррозионных процессов при сжигании ВМЭ проводились на экспериментальной установке. Проведение исследований на огневом стенде позволяет обеспечить стабильность процессов горения и тепломассообмена в газоходах, а значит более четко выделить влияние отдельных факторов на скорость процессов, определяющих уровень НТК. Исследования были проведены при сжигании ВМЭ, подготовленной на основе мазута М40 с содержанием серы 1,8 %, воды 15% при коэффициенте избытка воздуха $\alpha=1,5$. Проводились аналогичные опыты при сжигании того же мазута при содержании воды $W^p=2\%$ и коэффициенте избытка воздуха, равном 1,5.

Оценка интенсивности низкотемпературных коррозионных процессов при сжигании ВМЭ осуществлялась по интенсивности загрязнения поверхности нагрева и массопотока кислоты, скорости коррозии в зависимости от температуры стенки, так как величина этой температуры определяет значение температуры уходящих газов и КПД котла. Интенсивность загрязнения и коррозии поверхностей нагрева, величина массопотока кислоты определялись гравитационным методом, который широко применяется при проведении коррозионных исследований. Температура стенки поддерживалась постоянной с помощью термостатирования охлаждающей жидкости. Температура газов перед образцами труб также поддерживалась постоянной и составляла $250^{\circ}C$. Температура поверхности образцов находилась в пределах от 60 до $220^{\circ}C$.

При исследовании коррозионных процессов на экспериментальной установке время проведения опытов составляло 6 часов, что согласно литературным данным [1,4] и данным наших исследований позволяет с достаточной точностью выявить влияние различных факторов на скорость коррозионных процессов. Систематическая погрешность при определении скорости коррозии определяется по формуле

$$\Delta K = \sqrt{\left(\frac{\Delta(\Delta m)}{\tau \cdot F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{\tau^2 \cdot F} \cdot \Delta \tau\right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{\tau \cdot F^2} \cdot \Delta F\right)^2}.$$

Убыль массы металла образца Δm вследствие коррозии определялась взвешиванием образца до и после опыта на аналитических весах АДВ-200 с точностью 0,0001 г. Так как для определения Δm необходимо образец взвешивать дважды (до и после опыта), абсолютная погрешность определения $\Delta(\Delta m)$ составит 0,0002 г. При принятых геометрических размерах образца (наружный диаметр $d_{нар}=25$ мм, длина $\ell=23$ мм) и точности измерений диаметра образца 0,01 мм, длины образца – 0,05 мм значение $\Delta F=4,05 \cdot 10^{-6} m^2$. Площадь поверхности образца составляла $F=0,001805 m^2$.

Точность продолжительности коррозионных испытаний $\Delta \tau$ принята 10 мин (0,167 ч), так как в течение этого времени стабилизируются процессы в экспериментальной установке при ее разогреве после размещения сборок образцов в газоходе. В этом случае, при продолжительности испытаний 6 часов систематическая погрешность определения скорости коррозии

ΔK составит 0,0196 г/(м²·ч). При проведении коррозионных испытаний предельное значение систематической погрешности допускается до 10%.

k_3 , г/(м²·ч)

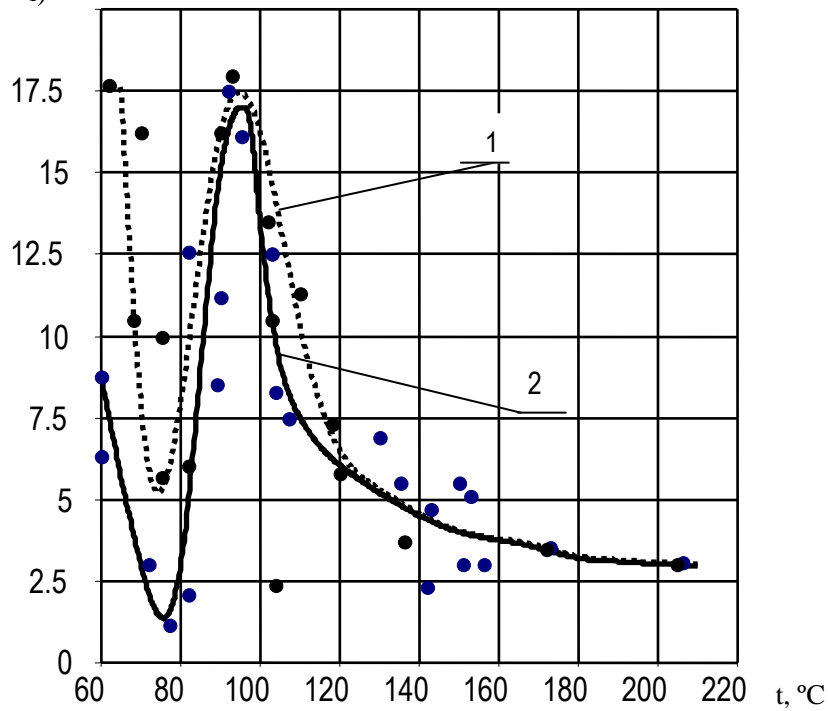


Рис.1. Зависимости интенсивности загрязнения поверхности нагрева от температуры стенки:

1 - при сжигании М40 ($S^r=1,8\%$; $W^r=2,0\%$; $\alpha=1,5$); 2 - при сжигании ВМЭ на основе этого мазута ($W^r=15\%$; $\alpha=1,5$).

$k_{кор}$, г/(м²·ч)

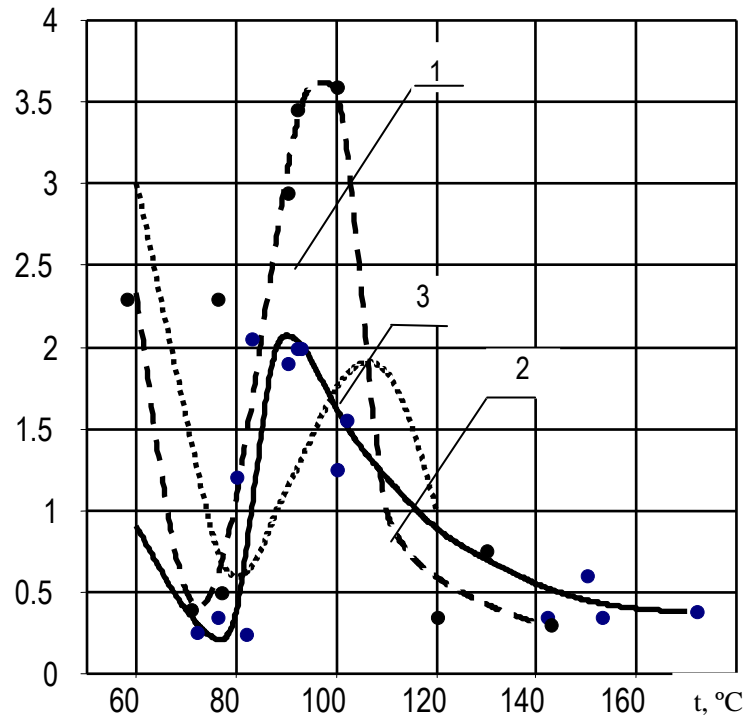


Рис. 2. Зависимости низкотемпературной коррозии от температуры стенки:
1 - при сжигании М40 ($S^r=1,8\%$; $W^r=2,0\%$; $\alpha=1,5$); 2 - при сжигании ВМЭ на основе этого мазута ($W^r=15\%$; $\alpha=1,5$); 3 - данные при сжигании мазута [6] ($S^r=2,5\%$; $\alpha=1,03...1,04$)

В этом случае минимальное значение скорости коррозии, соответствующее такой точности, должно составлять $K = 10 \cdot \Delta K \approx 0,2 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. При проведении наших исследований минимальное значение скорости коррозии зафиксировано на уровне $0,25 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Кроме того, имеется возможность сравнить полученные за это время значения скорости НТК с литературными данными. В [4] приводятся значения скорости коррозии за 6 часов испытаний при сжигании мазута с содержанием серы 2,5...3% при $\alpha = 1,03 \dots 1,04$, что дает возможность сравнить интенсивности коррозионных процессов при сжигании ВМЭ с большим содержанием воды при повышенных коэффициентах избытка воздуха и обычного мазута, сжигаемого при низких коэффициентах избытка воздуха. Зависимости интенсивности загрязнения поверхности нагрева при сжигании ВМЭ с содержанием воды 15% и мазута М40 с содержанием воды 2% приведены на рис. 1.

Результаты исследований показывают, что загрязнение поверхности нагрева при сжигании ВМЭ происходит более интенсивно, чем при сжигании обычного мазута [4]. Так, при сжигании обычного мазута интенсивность загрязнения поверхности с температурой стенки $70 \dots 80^\circ\text{C}$ составила $2,5 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, а при сжигании ВМЭ $7,5 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Интенсивность загрязнения поверхности в области «кислотного пика» (температура стенки $95 \dots 100^\circ\text{C}$) при сжигании обычного мазута составила $16,5 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, а при сжигании ВМЭ $18,0 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, т.е. загрязнение поверхности нагрева при сжигании ВМЭ увеличивается.

Объясняется это, скорее всего тем, что отложения на поверхности нагрева при сжигании эмульсии более влажные, чем при сжигании необводненного мазута, что способствует налипанию золовых и сажистых частиц на этой поверхности.

Необходимо отметить различия во внешнем виде отложений, что обусловлено, по видимому, их составом. При сжигании необводненного мазута отложения в районе «кислотного пика» черного цвета и влажные. При сжигании эмульсии отложения более влажные и многослойные: верхний слой серого цвета, под ним слой отложений черного цвета, а непосредственно на поверхности металла плотный слой продуктов коррозии. С дальнейшим повышением температуры стенки загрязнение поверхности нагрева уменьшается. Интенсивность этого процесса при сжигании эмульсии и обычного мазута при температуре стенки выше 130°C становится практически одинаковой. Зависимости низкотемпературной коррозии от температуры стенки представлены на рис.2.

В отличие от загрязнения поверхности нагрева при сжигании эмульсии скорость коррозии меньше, чем при сжигании обычного мазута. Минимум коррозии наблюдается при температуре стенки около $70 \dots 80^\circ\text{C}$: при сжигании обычного мазута она составляет $0,35 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, а при сжигании ВМЭ - $0,25 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, т.е. в 1,5 раза ниже.

Скорость коррозионного процесса практически стабилизируется после 4...12 часов воздействия потока дымовых газов на поверхность нагрева, при продолжительности опытов 6 часов четко проявляется наличие «кислотного пика» как при сжигании обычного мазута, так и при сжигании ВМЭ с $W^p = 15\%$. В области «кислотного пика» при температуре стенки $95 \dots 100^\circ\text{C}$ наблюдается более существенная разница в скорости коррозии. При сжигании мазута М40 скорость коррозии составила $3,6 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, а при сжигании ВМЭ - $2,0 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, т.е. в 1,8 раза меньше. Следовательно, с увеличением содержания воды в топливе скорость коррозии снижается. Поэтому, с дальнейшим увеличением воды в эмульсии, например, до 30% скорость коррозии должна снижаться. Сравнение скорости коррозии, полученной при сжигании эмульсии, с данными [4] при сжигании обычного мазута с низкими избытками воздуха $\alpha = 1,03 \dots 1,04$ (правда, при несколько большем содержании серы при одинаковом времени воздействия потока дымовых газов показывает, что скорости коррозии в области «кислотного пика» находятся практически на одинаковом уровне. Следовательно, оказались соизмеримыми скорости коррозии при сжигании ВМЭ ($W^p = 15\%$) с большим коэффициентом избытка воздуха ($\alpha = 1,5$) и скорости коррозии при сжигании обычного мазута с малыми избытками воздуха ($\alpha = 1,03 \dots 1,04$).

Для оценки массопотока серной кислоты на поверхность нагрева вначале оценивалось количество остаточной кислоты, находящейся в отложениях. Для этого продукты загрязнения

смывались 25 мл дистиллированной воды. Полученный раствор фильтровался, а затем проводилось его титрование. Таким образом оценивалось количество оставшейся в отложениях серной кислоты в пересчете на 100% концентрацию. Зависимости массопотоков серной кислоты на поверхность нагрева от температуры стенки при сжигании эмульсии и обычного мазута представлены на рис.3. Сравнение массопотоков серной кислоты (в пересчете на 100% концентрацию) при сжигании обычного мазута и при сжигании ВМЭ показывает, что массопотоки близки по своим значениям. Если учесть, что концентрация серной кислоты при сжигании обычного мазута в районе «кислотного пика» находится на уровне 70%, а при сжигании ВМЭ на уровне 60%, то массопотоки кислот действительной концентрации при сжигании эмульсии и обычного мазута оказываются практически одинаковые.

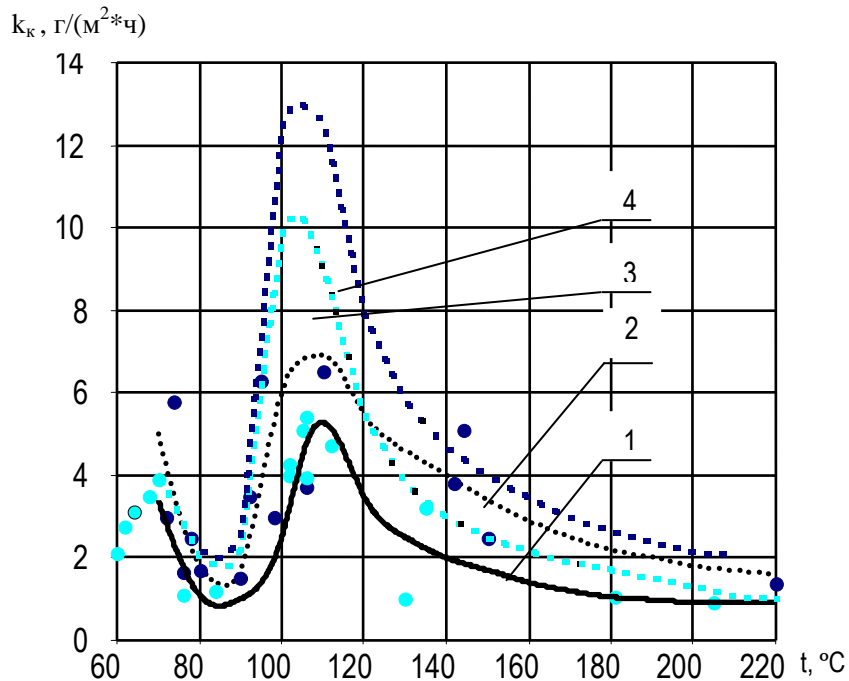


Рисунок 3. Зависимости массопотоков серной кислоты на поверхность нагрева от температуры стенки (в пересчёте на кислоту 100% концентрации):

- 1 - массопоток оставшейся в отложениях кислоты при сжигании М40;
- 2 - массопоток оставшейся кислоты при сжигании ВМЭ;
- 3 - массопоток кислоты к поверхности нагрева при сжигании М40;
- 4 - массопоток кислоты к поверхности нагрева при сжигании ВМЭ.

Таким образом, несмотря на то, что при исследованных режимах сжигания ВМЭ и обычного мазута массопотоки кислот практически одинаковые, скорость коррозии при сжигании ВМЭ почти в 2 раза меньше. При этом еще необходимо учесть, что при сжигании ВМЭ серная кислота в отложениях имеет меньшую концентрацию и, следовательно, более агрессивна. Повидимому, значительное снижение скорости низкотемпературной коррозии (особенно в области «кислотного пика») при сжигании ВМЭ происходит благодаря появлению на поверхности нагрева более плотного слоя сульфатов, который препятствует доступу кислоты к поверхности металла. При этом может наблюдаться процесс солевой пассивации поверхности металла, что требует проведения специальных исследований состава отложений на поверхности нагрева.

Выводы: 1. При сжигании водомазутной эмульсии с содержанием воды 15% на основе мазута М40 с $S^P=1,8\%$ при $\alpha=1,5$ массопоток серной кислоты на низкотемпературную поверхность практически равен массопотоку кислоты при сжигании обычного мазута.

1. Скорость низкотемпературной коррозии при сжигании водомазутной эмульсии значительно ниже, чем при сжигании обычного мазута. При сжигании ВМЭ с содержанием воды 15% при $\alpha=1,5$ скорость коррозии находится на уровне скорости коррозии обычного мазута с $\alpha=1,03-1,04$.

2. С увеличением содержания воды в мазуте с 2 до 15% скорость коррозии снижается почти в 2 раза. Можно предположить, что с увеличением содержания воды в эмульсии выше 15% скорость коррозии также должна снижаться.

3. Снижение скорости коррозии при сжигании водомазутной эмульсии при практически одинаковом массопотоке кислоты может быть объяснено несмотря на большую агрессивность серной кислоты лучшими защитными свойствами пленки сульфатов, пассивирующей поверхность металла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Внуков А.К. Теплохимические процессы в газовом тракте паровых котлов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 296 с.
2. Геллер З.И. Мазут как топливо. – М.: Недра, 1965. – 495 с.
3. Закиров К.З., Айрих Р.А. Эффективность совместного влияния ввода воды и рециркуляции дымовых газов на образование оксидов азота при сжигании сероводородсодержащего газа в топке котла ТГМП – 114 // Оксиды азота в продуктах сгорания и их образование в атмосфере: Тезисы конференции – Киев, 1987.
4. Магадеев В.Ш. Коррозия газового тракта котельных установок. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 272 с.
5. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. – Л.: Недра, 1977. – 294 с.
6. Стриха И.И. Эколого-экономические показатели работы котла ТГМЕ-206 при сжигании обводненных мазутов // Изв. вузов. Сер. "Энергетика". – 1997.- №7-8.- С.45 –53.
7. Эффективность применения водотопливных эмульсий в судовых котлах./В.Н.Стаценко, В.М.Суменков, Ю.С.Селезнев – Судостроение. – 2. – 1999. – 120 с.
8. Авдеевский В.С., Пирулов У.Г. Снижение выбросов окислов азота от энергетических установок путем ввода воды в зону горения факела. Труды МЭИ. – 1984. – 250 с.
9. Тув И.А. Сжигание обводненных мазутов в судовых котлах. – Л.: Судостроение, 1968. – 216 с.
10. В.И. Кормилицын, М.Г.Мысков, И.Г.Збраилов и др. Подавление оксидов азота впрысками воды в зону горения на паровом котле ТГМП-314Ц – М.: Труды МЭИ, 1987. – 165 с.
11. Гаврилов А.Ф., Горбаненко А.Д., Туркестанова Е.Л. Влияние влаги, вводимой в горячий воздух, на содержание окислов азота в продуктах сгорания и мазута// Теплоэнергетика. – 1983. – №6.– С.130.

Горячкин А.В., Дикий Н.А., Трубин В.В., Михайленко В.Н., Свиноренко М.А., Соколенко А.В.

ОЦІНКА ІНТЕНСИВНОСТІ КОРРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ЗГОРАННІ ВОДОМАЗУТНИХ ЕМУЛЬСІЙ В СУДНОВИХ КОТЛАХ

Дослідження, проведені на основі запропонованої математичної моделі показують, що спалювання ВМЕ з вмістом W^r близько 30% дає можливість одночасно вирішувати завдання захисту навколишнього середовища, підвищення надійності роботи, забезпечення енергозбереження при спалюванні важких залишкових палив, що підтверджено результатами експериментальних і аналітичних досліджень.

A.V. Gorjachkin, N.A. Dikij, V.V. Trubin, V.N. Mihajlenko, M.A. Svinarenko, A.V. Sokolenko

EVALUATION OF THE INTENSITY OF CORROSION PROCESSES IN BURNING VODOMAZUTNYH EMULSIONS IN MARINE BOILERS

The researches conducted on the basis of the offered mathematical model show that incineration of WFE with W^r about 30 % gives possibility simultaneously to decide the tasks of defence of

environment, increase of reliability of work, providing of energy-savings at incineration of heavy remaining fuels, that is confirmed by the results of experimental and analytical researches.

УДК 629.12.06.628.84

Бойко П.А.

ПРОБЛЕМЫ ЭФФЕКТИВНОЙ И БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТАНКЕРОВ-ГАЗОВОЗОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ СПГ - ТЕРМИНАЛА В УКРАИНЕ

В настоящей статье рассматриваются вопросы безопасной и безаварийной эксплуатации танкеров-газовозов, где основные действия должны быть направлены в область обеспечения безопасности окружающей среды, а энергонасыщенный комплекс танкера-газовоза, не должен выходить из-под контроля экипажа судна, администрации порта, портовых служб и хозяйств.

Ключевые слова: танкер - газовоз, природные и нефтяные газы, безопасность бункеровки, окружающая среда, портовые хозяйства, купольная система, газоопасные зоны, подготовка экипажей.

Актуальной проблемой украинской экономики и взаимоотношений Украины и Российской Федерацией в вопросах стоимости, объемов потребления и транспортировки природного российского газа, является не адекватная цена 1,0 тыс. м. куб. газа и объемов поставки на основании договора подписанного украинским правительством в 2008 году. Альтернативным решением проблемы независимыми аналитиками и экспертами предложен проект по строительству терминала с функциями регазификации при приеме и обработке танкеров – газовозов в одном из морских портов Украины [7]. В Кабинет министров Украины обратились 44 международные компании за получением технической документации для участия в тендере на разработку технико-экономического обоснования строительства в Украине регазификационного терминала по приему сжиженного природного газа (СПГ-терминала). Такие данные сообщили в Государственном агентстве по инвестициям и управлению национальными проектами. «Высокая заинтересованность обусловлена особым стратегическим значением национального проекта для будущего Украины», - приводятся в пресс-релизе слова председателя Государственного агентства по инвестициям и управлению национальными проектами Владислава Каськива [7].

Предварительный проект строительства предусматривает до 2014 года поставку первых партий сжиженного газа в объеме 2 млрд. куб. м. газа в год, до 2015 года - доведение этих объемов до 5 млрд. куб. м. газа, и до 2017 года - до 10 млрд. куб. м. газа в год [3,7]. Окончательная стоимость проекта СПГ-терминала будет известна только после разработки ТЭО. Вместе с тем, по предварительным оценкам, строительство самого терминала обойдется государству \approx \$0,75-1 млрд., обустройство инфраструктуры \approx \$170-360 млн., врезка в газотранспортную систему (ГТС) \approx \$100-460 млн. Стоимость обустройства инфраструктуры и врезки в ГТС будет зависеть от выбора места положения конкретной площадки [3,7].

В настоящее время рассматривается пять наземных площадок для строительства терминала: площадка возле Одесского припортового завода, площадка возле нефтяного терминала ОАО «Укртранснафта» (обе площадки находятся в районе порта «Южный»), площадка в районе г. Очаков (Николаевская обл.), площадка в прибрежной зоне Березанского лимана (Николаевская обл.), а также создание оффшорного СПГ-терминала в районе г. Одессы [7].