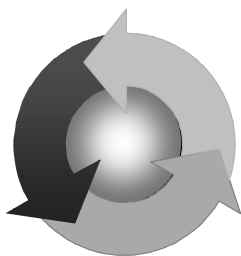


ISSN 1815-6770

Министерство образования и науки Украины
ОДЕССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ МОРСКАЯ АКАДЕМИЯ

Судовые энергетические установки



Научно-технический сборник

Выпуск 31

Одесса
2013

ББК 39.46
С 220
УДК 629.123.066

Судовые энергетические установки: научно-технический сборник. Вып. 31. – Одесса: ОНМА, 2013. –220 с.

Сборник посвящен проблемам судовой энергетики, проектирования, модернизации и эксплуатации судовых энергетических установок, методам повышения эффективности и надёжности использования судовых технических средств. Сборник входит в перечень изданий, одобренных ВАК Украины по разделу технические науки.

Для научных работников и специалистов.

Редакционная коллегия: д.т.н., проф. А.М. Берестовой, АМИ; д.т.н., проф. Л.В. Вишневский, ОНМА; д.т.н., проф. В.А. Голиков, д.т.н., проф. С.И. Горб, ОНМА; д.т.н., проф. Н.Ф. Гречко, ОНМА; д.т.н., проф. В.Н. Захарченко, ОНМА; д.т.н., проф. В.Г. Ивановский, ОНМУ; д.т.н., проф. В.В. Капустин, СНТУ; к.т.н., проф. ОНМА М.А. Колегаев, (редактор); д.т.н., проф. М.В. Миюсов, ОНМА; д.т.н., проф. Н.С. Молодцов, ОНМА; к.т.н., проф. А.Н. Пипченко, ОНМА; д.т.н., проф. Г.Ф. Романовский, НУК; д.т.н., проф. С.С. Рыжков, НУК; д.т.н., проф. П.С. Суворов, Дунайская комиссия по развитию судоходства; д.т.н., проф. В.В. Тарапата, ОНМА; ст.преп. Ю.И. Журавлев, ОНМА.

Адрес редакционной коллегии: 65029, Одесса, ул. Дидрихсона, 8, Одесская национальная морская академия (ОНМА), кафедра ТМС.
Контактные телефоны редакции (048) 733-49-24, 733-23-52.
e-mail: zhuravlov.y@ya.ru

Компьютерная вёрстка Журавлев Ю.И.

Утверждено учёным советом ОНМА, протокол №3 от 29.10.13.

© Одесская национальная морская академия

Содержание

| | |
|---|-----|
| <i>Абрамов В.А.</i> Накипеобразование в судовых теплообменниках, методы их очистки и растворимость CaCO_3 в растворах сульфаминовой кислоты при повышенных давлениях CO_2 | 5 |
| <i>Ерыганов А. В.</i> Проблемы диагностирования текущего состояния подшипников скольжения по вибрациям масляного клина | 25 |
| <i>Гарагуля Б.А.</i> Приближенный метод построения критической линии в решетках профилей последних ступеней паровых турбин низкого давления.30 | |
| <i>Зуев С.В., Маслов И.З., Калусев А.Г.</i> Основные расчетные соотношения для импульсной системы размыва грунта на судах дноуглубительного флота. 35 | |
| <i>Голубев М.В.</i> Экспериментальное изучение процесса очистки судовых дымовых газов от токсичных составляющих | 44 |
| <i>Бондарь С.А.</i> Корректировка технического обслуживания судовых дизельных установок с остаточным ресурсом методом анализа риска | 59 |
| <i>Лебедев Б. В., Байковский Д.В.</i> Уточнение теоретического значения необходимой тепловой мощности экзотермического стержня при наплавке.... | 69 |
| <i>Молодцов Н.С., Журавлёв Ю. И.</i> Прогнозирование долговечности коленчатого вала поршневого двигателя с использованием математических моделей, разработанных в Mathcad..... | 76 |
| <i>Донской В.Г., Ханмамедов С.А.</i> Методика рациональной минимизации объёма оперативного контроля судовых дизельных установок..... | 89 |
| <i>Тертычный А.А.</i> Использование химических добавок и суперпластификаторов нового поколения при бетонировании мест повреждения судов...99 | |
| <i>Дрозд Е.В., Сандлер А.К.</i> Повышение безопасности эксплуатации роллеров..... | 111 |
| <i>Бойко П.А., Голиков В.А.</i> Организация морской транспортировки СПГ при реализации национального проекта «СПГ – терминал» – морской терминал по приему сжиженного природного газа..... | 114 |
| <i>Шебанов А.Н., Богач В.М.</i> Исследование процесса маслоподачи двухрядной лубрикаторной системой с аккумулярованием давления масла | 122 |
| <i>Половинка Э.М., Карпилов Ю.А.</i> Развитие систем топливоподачи современных дизелей | 133 |
| <i>Шевченко О.И.</i> Влияние культуры безопасности на производственную безопасность | 145 |
| <i>Парменова Д.Г.</i> Анализ аварийных ситуаций с судами морского флота .. | 149 |
| <i>Парменова Д.Г.</i> Современные методы оценки риска применительно к судовым работам | 156 |
| <i>Приходько Е.А.</i> Управление рисками производственной среды | 163 |
| <i>Приходько Е.А.</i> Анализ тенденций развития менеджмента риска | 168 |
| <i>Слободянюк Д.И.</i> Совершенствование системы виброакустического диагностирования технического состояния поршневых колец судовых дизелей..... | 173 |

| | |
|--|-----|
| <i>Бондаренко А. В.</i> Моделирование образования продуктов сгорания газообразного углеводородного топлива..... | 178 |
| <i>Лысый А. А.</i> Управление деятельностью государственных портов в условиях ледовой обстановки | 187 |
| <i>Репетей В.Д., Белобров Е.П.</i> Эколого-гигиенические аспекты ликвидации последствий гибели судов с опасными грузами на борту в керченском проливе..... | 200 |
| Рефераты..... | 211 |
| Правила оформления и представления рукописей для сборника «Судовые энергетические установки»..... | 219 |

УДК 620.191.8: 621.187.32 (088.8): 621.182.44

Абрамов В.А.
ОНМА

НАКИПЕОБРАЗОВАНИЕ В СУДОВЫХ ТЕПЛООБМЕННИКАХ, МЕТОДЫ ИХ ОЧИСТКИ И РАСТВОРИМОСТЬ CaSO_3 В РАСТВОРАХ СУЛЬФАМИНОВОЙ КИСЛОТЫ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ДАВЛЕНИЯХ CO_2

Технико-экономические показатели и надёжность работы судовой энергетической установки (СЭУ) в значительной степени зависят от стабильности поддержания спецификационных параметров теплообменных аппаратов, эффективность работы которых в конечном итоге определяет экономию топливно-энергетических ресурсов.

Одним из основных факторов, снижающих эксплуатационные характеристики судовых теплообменников, является кристаллизация на теплообменных поверхностях накипных отложений, обладающих высоким термическим сопротивлением, что в итоге приводит к снижению производительности аппарата, перерасходу топлива, перегреву поверхности трубок и т.д.

Работы по устранению накипеобразования целесообразны, актуальны и прежде всего должны опираться на знание его механизма.

Для выяснения механизма процесса накипеобразования на кафедре СТЭиХТ ОНМА в течение ряда лет проводились исследования закономерностей накипеобразования и методов борьбы с ним в теплообменных аппаратах, работающих на морской воде, к которым относятся испарительные опреснители морской воды, водоводяные холодильники главных двигателей, главные и вспомогательные судовые конденсаторы [1-4].

Накипь образуется в теплообменных аппаратах в результате физико-химических процессов, из которых основным является процесс кристаллизации, характеризующийся выделением твердой фазы из многокомпонентных пересыщенных растворов в процессе их нагрева, испарения или кипения. В накипь выпадают соли из пересыщенных растворов при протекании одного или нескольких процессов одновременно вследствие уменьшения растворимости компонентов при нагреве (CaSO_4), повышения концентрации компонентов при испарении (NaCl), образования новых компонентов с малой растворимостью (CaCO_3). Накипеобразование имеет место, если присутствие в воде концентраций ионов растворенного

вещества превышает частное от деления произведения растворимости на произведение активности компонентов.

Различают накипь трех видов: первичную, шлам и вторичную. Первичную накипь образуют отложения на поверхности нагрева непосредственно из раствора, шлам - вещества, выпадающие в объеме раствора на поверхности взвеси, вторичную - отложения взвеси (шламовых частиц) на поверхности нагрева.

Процесс накипеобразования, как и любой процесс кристаллизации, возможен только при наличии пересыщения. Если пересыщение достигнуто во всем объеме раствора, образуется шлам. В случае незначительного пересыщения объема (шламообразование несущественно) при интенсивном подводе теплоты через поверхность нагрева на стенке достигается наибольший градиент температур. В зоне максимального градиента температур располагается зона наибольшего пересыщения, что приводит к образованию первичной накипи на поверхности нагрева. Вторичное накипеобразование - это результирующий процесс цементирования (скрепления) осевших кристалликов шлама первичной накипью на поверхности нагрева. Образование вторичной накипи происходит в основном в застойных зонах теплообменников, где конвективные потоки не препятствуют оседанию шлама.

Для начала кристаллизации солей кроме пересыщения необходимо наличие центров кристаллизации. Такими центрами могут быть частицы взвеси в объеме раствора или различные углубления на поверхности нагрева. Эти углубления являются также активными центрами парообразования, поэтому на поверхности нагрева создаются идеальные условия для отложения накипеобразующих солей. Выбор методики очистки теплообменников от накипи находится в прямой зависимости от условий их эксплуатации. Это связано с тем, что интенсивность образования накипи, ее фазовый состав и структура определяются теплофизическими характеристиками процесса теплообмена и составом нагреваемого теплоносителя, что позволяет разделить теплообменные аппараты по механизму образования отложений на два типа:

1. Теплообменные аппараты, в которых кристаллизация отложений происходит в изогидрических условиях, т. е. кристаллизация определяется наличием в воде солей с отрицательным коэффициентом растворимости и соединений, подверженных метаморфизму в гидротермальных условиях с образованием труднорастворимых

продуктов. Особенность теплообменников данного типа заключается в том, что в них отсутствует отвод растворителя и суммарная концентрация минеральной составляющей во всем технологическом цикле остается неизменной.

2. Теплообменные аппараты с изотермической кристаллизацией отложений, где температура процессов сохраняется за счет фазового перехода растворителя. Кристаллизация накипи в теплообменниках этого типа определяется теми же факторами, что и в первом случае, только она осложнена повышением суммарной концентрации минеральных солей и наличием значительной межфазовой поверхности раздела пар—жидкость, образующейся при кипении. Повышение концентрации минеральных солей, в зависимости от степени концентрирования, может привести к образованию отложений из относительно легко растворимых соединений, а образование межфазовой поверхности в объеме нагреваемой жидкости - способствует интенсификации гидротермальных процессов, в результате которых образуется газообразный продукт распада.

Таким образом, к первому типу теплообменников относятся водоводяные холодильники, конденсаторы, подогреватели испарительных опреснителей мгновенного вскипания и любые другие теплообменники, в которых не происходит удаление воды; ко второму типу следует отнести испарительные опреснители и другие выпарные аппараты с отводом растворителя.

В соответствии с теоретическими положениями, опирающимися на законы кристаллизации из пересыщенных растворов, был проведен анализ имеющихся литературных данных по закономерностям кристаллизации в теплообменных аппаратах, и экспериментальные исследования процессов накипеобразования применительно к судовым теплообменным аппаратам, работающим на морской воде, которые включают оба типа теплообменников из приведенной выше классификации [1-3].

Фазовый состав накипных отложений, образовавшихся в различных теплофизических условиях приведен на рис. 1. Соотношение фазовых составляющих накипи в зависимости от температуры характерно для образцов, полученных в испарителях морской воды при концентрации рассола 50 ‰.

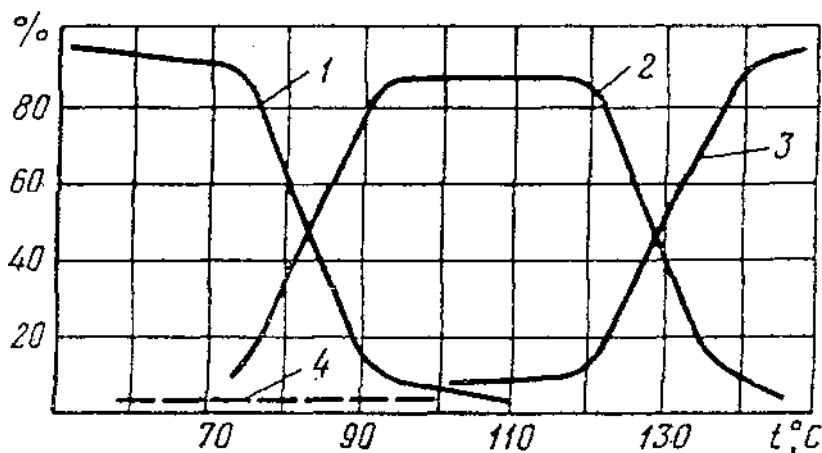
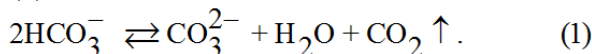


Рис. 1. Зависимость фазового состава накипи от температуры кристаллизации:

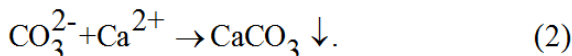
1 — CaCO_3 ; 2 — Mg(OH)_2 ; 3 — CaSO_4 ; 4 — примеси

Результаты изучения фазового состава накипи и условий ее кристаллизации позволяют рассматривать три основных температурных режима накипеобразования.

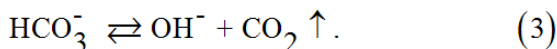
1. Образование карбонатных отложений, состоящих из CaCO_3 -арагонита. Примеси кальцита появляются при концентрации выпариваемого рассола 110%. Основным фактором образования карбонатной накипи является гидротермальное разрушение иона которое HCO_3^- при температуре до 80°C протекает по уравнению (1)



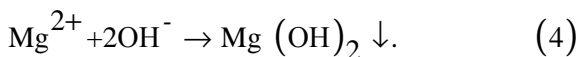
Этот процесс обуславливает рост концентрации карбонат-иона в растворе до концентрации, достаточной для создания пересыщения по карбонату кальция (2)



2. Образование магниальных отложений— Mg(OH)_2 -брусита, происходит при $80\text{—}130^\circ\text{C}$. В этом диапазоне температур форма гидротермального распада иона HCO_3^- меняется (3)



При этой температуре прекращается образование иона CO_3^{2-} , содержание которого в морской воде незначительно, а в ряде случаев отсутствует полностью и, следовательно, кристаллизация карбоната кальция также прекращается. В то же время, образовавшийся ион OH^- в присутствии Mg^{2+} способствует кристаллизации гидроксида магния, обладающего крайне низкой растворимостью (4)



Переходный процесс между карбонатным и магниальным накипеобразованием находится в диапазоне 75—85°C.

Таким образом, дальнейшее повышение температуры образования накипи характеризуется кристаллизацией основной фазы $\text{Mg}(\text{OH})_2$ -брусита.

3. Образование сульфатных отложений происходит в основном при температуре выше 130°C. Рентгенофазовый анализ во всем исследованном диапазоне параметров показал наличие только ангидрита (CaSO_4). Его осаждение является прямым следствием понижения растворимости сульфата кальция с увеличением температуры. Образование сульфата кальция объясняется также тем, что повышение температуры кипения выше 100°C возможно только при увеличении давления. В то же время оно способствует увеличению растворимости CO_2 , что смещает равновесие в реакциях распада иона HCO_3^- (1,3) влево. Следовательно, снижение и в дальнейшем полное прекращение распада иона HCO_3^- предотвращает образование магниальной накипи, что подтверждается диаграммой (рис. 1).

Таким образом, основными компонентами, входящими в состав накипи, образующейся в судовых теплообменниках, работающих на морской воде, являются CaCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и CaSO_4 . Учитывая, что в большинстве судовых теплообменников температура поверхности, на которой образуется накипь, не превышает 70-80°C, при отсутствии концентрирования раствора, основной фазой в накипи является CaCO_3 в форме арагонит.

В то же время, проведенные исследования [2,4] показали, что минимальной растворимостью в воде, насыщенной CO_2 обладает наиболее распространенная в судовых теплообменниках карбонатная накипь. Поэтому, решив проблему очистки теплообменников от

CaCO₃, можно исключить ее и для остальных щелочноземельных накипей.

В качестве основных методов очистки судовых теплообменников от накипных отложений в настоящее время применяются механическая, гидромеханическая, химическая и углекислотная очистки.

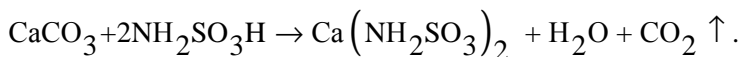
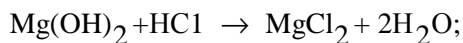
Механический способ удаления накипи связан с разборкой теплообменника. Такая очистка производится при помощи сверл, ершей, шарошек, цепочек, фасонных отбойников и скребков. Очистку желательно проводить при мокрой накипи. После очистки теплообменные поверхности обдувают паром, сжатым воздухом или промывают водой. Недостатками этого метода является большая трудоемкость, неполное удаление накипи, повреждение защитного слоя металла, сложность или невозможность очистки труднодоступных поверхностей теплообмена.

Гидромеханический способ заключается в очистке наружных и внутренних поверхностей теплообменников, покрытых накипью, высоконапорной струей пара, горячей или холодной воды. Этот способ применим для разрушения и удаления рыхлой накипи и неэффективен в случае плотных стекловидных накипей.

Значительными преимуществами перед механическим и гидромеханическим способами обладает широко используемая на практике химическая очистка поверхности нагрева от накипи, при которой достигается более полное ее удаление.

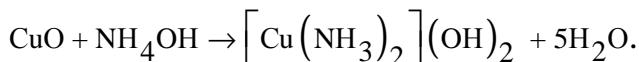
Существующие в настоящее время методы химических очисток основаны на шести, следующих принципах [5-7].

3 Превращение нерастворимого отложения в соль, хорошо растворимую в воде, путем замещения анионной части отложения анионом растворителя. Этот принцип лежит в основе химических очисток соляной или сульфаминовой кислотой от некоторых видов щелочноземельных накипей:

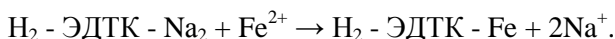


Образующиеся соли CaCl₂, MgCl₂, Ca(NH₂SO₃)₂ хорошо растворяются в воде и моющем растворе.

2. Превращение нерастворимого отложения в соль, хорошо растворимую в воде, путем перевода катиона нерастворимого отложения в прочный комплексный ион вещества растворителя. На этом принципе основаны химические очистки некоторых окисных отложений. Например, при растворении окислов меди аммиаком с образованием аммиакатов меди

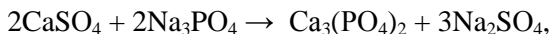


При растворении окислов железа раствором трилона Б (двузамещенная натриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты-ЭДТК) двухвалентное железо из окисных отложений переходит в прочный комплексный анион растворителя.



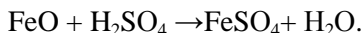
На этом принципе основаны также все отмытки комплексобразующими органическими кислотами, например лимонной или малеиновой.

3. Превращение вещества отложения в другое вещество, которое хотя и не растворяется в воде, но способно растворяться в других химических реагентах. Например, сульфатные отложения вначале можно обработать тринатрийфосфатом (щелочная выварка) для перевода сульфата кальция в фосфат кальция



который можно растворить на следующем этапе очистки в соляной или сульфаминовой кислоте (первый принцип).

4. Разрушение подслоя отложений, прочно связанного с поверхностью металла, с последующим удалением отслоившихся и отставших отложений потоком промывочной воды. Например, обработка смешанных железоокисных отложений, нерастворимых в кислотах, путем растворения подслоя вюстита FeO серной или соляной кислотой



Сульфаты железа хорошо растворимы в воде, что способствует отслаиванию отложений от подслоя и выпадению в шлам слоев магнетита Fe₃O₄ и гематита Fe₂O₃.

5. Растворение основной части смешанных отложений по первому принципу, после чего оставшиеся размягченные отложения могут

выпадать в шлам и удаляться потоком воды. На этом принципе основаны очистки от смешанных щелочноземельных и окисных отложений композициями на основе комплексонов в сильно щелочной среде. При высоких значениях показателя рН щелочноземельные ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} комплексоуются очень интенсивно, в то время как окислы железа и меди переводятся в шлам, который может быть удален с промывочной водой (или с продувочной водой при очистках на ходу). По этому же принципу можно отмывать минеральными кислотами смешанные щелочноземельные отложения с высоким содержанием нерастворимых компонентов CaSO_4 или SiO_2 .

6. Эмульгирование и диспергирование отложений или их части с последующим удалением эмульсии потоком моющего раствора и удалением шлама потоком промывочного раствора. На этом принципе основаны очистки аппаратов от органических отложений. Например, при очистках нагаров на поршнях дизелей соляром происходит эмульгирование, или растворение, органических составляющих отложений, в то время как нерастворившийся углерод переходит в шлам и удаляется потоком движущегося соляра.

При выборе способа очистки аппаратов необходимо учесть состав отложений, продумать способ организации надежной циркуляции моющего раствора и способ защиты конструкционных материалов от коррозии в среде моющего раствора.

Использование специально разработанных химических средств для очистки теплообменников повышает эффективность таких работ, ускоряет их, способствует удешевлению процесса и сокращению затрат ручного труда. Ниже приводятся некоторые из химических средств, применяемые на судах морского флота для очисток теплообменников от накипи [8].

♦ Кислота соляная ингибированная НСІ (ТУ 6-01-714-77) - предназначена для очистки поверхности нагрева от отложений карбонатной накипи, фосфатного шлама и продуктов коррозии металлов. Содержит 20 - 24% НСІ; входящий в состав препарата сложный ингибитор тормозит коррозионное воздействие кислоты на металл в процессе хранения и использования. Концентрация в рабочем растворе составляет 5% НСІ. Очистку производят методом циркуляции моющего раствора по замкнутому контуру через очищаемый агрегат при температуре 55 - 60°C.

Благодаря высокой эффективности соляная кислота получила широкое распространение в качестве реагента для очисток судового

оборудования от щелочноземельных накипей. Однако у нее есть недостатки, мешающие ее применению в судовых условиях: высокая агрессивность к конструкционным материалам, требует обязательного дополнительного ввода в моющий раствор эффективных ингибиторов; невозможность применения для очисток оборудования, где используются высоколегированные стали, т.к. она вызывает "хлоридную хрупкость" нержавеющей сталей; сложность технологической схемы, кроме непосредственно очистки, включающей предварительное щелочение и нейтрализацию остатков моющего раствора; сложность в обращении с точки зрения безопасности труда; неудобство хранения и транспортировки.

Вследствие указанных недостатков соляная кислота в последние годы стала вытесняться сульфаминовой кислотой. Ее моющие свойства близки к свойствам соляной кислоты, в то же время она обладает существенными преимуществами: хранится и транспортируется в виде порошка, безопасного в обращении; практически не взаимодействует с конструкционными материалами; не требует специальных мероприятий по нейтрализации остатков моющего раствора. Учитывая ее широкое применение и в то же время ограниченность и разрозненность информации о сульфаминовой кислоте, как реагенте для удаления накипных отложений, приведем ее краткую физико-химическую характеристику.

♦ Сульфаминовая кислота $\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$ амидосерная или моноамид серной кислоты (ТУ 6-03-381-80 и ТУ 6-14-1030-30) - кристаллический белый порошок, негигроскопичный, при хранении устойчивый. Температура плавления 205°C . Хорошо растворима в воде с явно выраженной температурной зависимостью. Растворимость $\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$ в г на 100 г H_2O составляет: 14,68 - при 0°C ; 21,3 - при 20°C ; 29,49 - при 40°C ; 47,08 - при 80°C . Кристаллы и растворы сульфаминовой кислоты не горят, не взрывоопасны и сравнительно безопасны при попадании на тело и спецодежду.

Предназначена для очистки от накипных отложений. Концентрация рабочего раствора, как правило, не превышает 5-7% при температуре $75 - 80^\circ\text{C}$. Поставляют на суда в полиэтиленовых мешках повышенной прочности, массой 50 кг.

Стехиометрические подсчеты показывают, что на растворение 1 кг CaCO_3 требуется 1,94 кг сульфаминовой кислоты.

♦ Трилон Б, комплексон III (ГОСТ 10652-73) - кристаллический порошок, слабо гигроскопичный. Предназначен для очистки тепло-

обменников от накипи и продуктов коррозии, железа и меди. Действие препарата основано на образовании с удаляемыми отложениями растворимых комплексных соединений. Препарат негорючий и нетоксичный. Трилоном Б в основном производят очистку котлов. Поставляется в бумажных мешках, упакованных в фанерные барабаны, массой 50 кг.

♦ Ангидрид малеиновый технический $C_4H_2O_3$ (ГОСТ 11153-75) - гигроскопичный продукт белого цвета с резким запахом. Предназначен для очистки от накипи и продуктов коррозии различных теплообменных аппаратов. Служит заменителем сульфаминовой кислоты. Применяют в виде 1-3%-го водного раствора при температуре 60 - 70°C. Горючее, токсичное вещество. Поставляется в виде гранул чечевицеобразной формы белого цвета. Упаковка - полиэтиленовые мешки по 50 кг, вложенные в бумажные мешки. Скорость растворения отложений несколько ниже, чем у сульфаминовой кислоты, а скорость коррозии сталей выше.

Иностранные фирмы выпускают препараты аналогичного назначения.

♦ Фирма "Дрю Амеоид", США

"Кислота SAF" - представляет собой сульфаминовую кислоту с добавленным к ней ингибитором коррозии и цветным индикатором реакции среды. Выпускается в виде гранулированного порошка зеленого цвета. Применяют в виде 10%-го водного раствора при температуре 65 - 70°C. В процессе очистки осуществляют непрерывную циркуляцию раствора. Изменение окраски раствора с золотистой на зеленую свидетельствует о его выработке. Поставляется в фибровых барабанах массой 50 кг.

♦ Фирма "Перолин", США

"Перо-Клин 809 М" - сухой кристаллический препарат, содержащий сульфаминовую кислоту, ингибитор коррозии и цветной индикатор среды. Применяют в виде 2,5 -10%-го водного раствора, используя метод циркуляции с подогревом до 70°C. Сильная кислота.

♦ Фирма "Роухем", Англия

"Роухем DPS" - порошок для удаления накипи. Применяют в виде 5%-го водного раствора, используя метод заполнения очищаемой ёмкости с последующей циркуляцией и подогревом раствора до 60°C. Сильная кислота.

♦ Фирма "Веком", США

"Веком ВА-30" - жидкая ингибированная кислота. Содержит

усиливающие ее действие поверхностно-активные вещества. При наличии деталей из алюминия, цинка и оцинкованной стали применение кислоты недопустимо. Расход составляет 3 кг на 1 кг накипи. Применяют в виде раствора, содержащего 1л препарата на 3-10 л воды, используя метод циркуляции. Сильная кислота. Поставляется в пластмассовых бидонах вместимостью 25 л.

"Веком ВА- S" - ингибированная кислота в виде порошка. Назначение и свойства те же, что и у жидкого препарата "Веком ВА-30", но более удобна и легка в обращении. Применяют в виде 3 - 10%-го водного раствора при температуре 60 - 80°С, теми же методами. Порошок нелетуч, негигроскопичен, не воспламеняется, без запаха. Безопасен при хранении. Поставка в барабанах по 25 и 50 кг.

"Веком ВА- S Экстра " порошкообразная ингибированная кислота того же назначения, что и "Веком-ВА- S", но безопасная для деталей из алюминия и цинка. При наличии оцинкованных поверхностей использование кислоты противопоказано. Способ применения тот же.

"Веком В-2" - порошкообразный или жидкий препарат, содержащий в своем составе щелочи. Применяют в процессе очистки паровых котлов и других теплообменников от накипи, в случае наличия в ее составе масла, сульфатов или силикатов. Обрабатывают поверхности в виде 5%-го водного раствора.

♦ Фирма "Гамлен", Англия

"Гамлен X" - препарат для растворения накипи и ржавчины, выпускается в виде жидкого препарата и сухого порошка. Водные растворы препаратов применяют методом циркуляции по замкнутому циклу. Сильная кислота.

Существующие в стационарной энергетике другие химические способы и средства отмывок щелочноземельных отложений (серной, плавиковой кислотой, органическими кислотами и пр.) на морских судах распространения не получили.

Анализ известных методов и средств очистки от накипи [5-8] показывает, что все они не лишены недостатков и требуют, в лучшем случае, использования дефицитных химических препаратов [8], отсутствие которых на судне обуславливает проведение механической очистки, характеризующейся значительными затратами ручного труда или демонтажа теплообменников для их очистки в стационарных условиях - на судоремонтных предприятиях.

Альтернативным способом можно считать, разработанный в

ОНМА углекислотный метод очистки от накипи и предотвращения её образования [4, 9, 10], основанный на переходе карбоната кальция в более растворимые гидрокарбонаты в присутствии угольной кислоты, образующейся при насыщении воды двуокисью углерода (баллонной CO_2 или отработавшими газами СЭУ). Метод отработан в лабораторных условиях и внедрён на судах.

Отработанная в лабораторных условиях углекислотная методика борьбы с накипеобразованием при её проверке на судах потребовала принятия некоторых технических решений по способам насыщения воды газом. Более удачным с практической точки зрения оказался водогазовый эжектор. На основании проведённых экспериментов были предложены переносные очистные установки производительностью по воде 3 и 10 м^3 /ч (ПОУ-3 и ПОУ-10). При реализации этого способа, очистка теплообменников от накипи производилась насыщением воды, заполняющей теплообменник углекислым газом и организацией циркуляции водогазовой смеси по замкнутому контуру. Периодически осуществлялась смена воды с помощью штатного циркуляционного насоса, что позволяло вымывать потоком воды нерастворившиеся частицы шлама. Илистый налёт, возникающий на поверхностях теплообменника при недостаточной скорости циркуляции, легко удалялся промывкой струёй воды под давлением.

Положительные результаты, полученные при использовании на судах углекислотной технологии очистки теплообменников от накипи, указывали на то, что данная технология обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами очистки, но, как оказалось, также не лишена недостатков, ограничивающих её широкое использование. Основным, и по сути главным недостатком углекислотного метода является то, что процесс химического растворения плотных накипных отложений слабой угольной кислотой растянут во времени, что приводит к длительному простоя выведенного из действия очищаемого оборудования (что в судовых условиях не всегда возможно) и, в итоге, ограничивает применимость этого метода до толщины накипи на теплопередающих поверхностях не более 1,0 - 1,5 мм.

Это объясняется тем, что даже несмотря на максимальное насыщение воды CO_2 , из общего количества двуокиси углерода, растворенной в воде, лишь 0,2% ее находится в виде угольной кислоты - H_2CO_3 [11], собственно определяющей кислотные свойства раствора, т.е. его способность к растворению накипных отложений. Кроме то-

го, процесс полного растворения накипи зависит также от ее фазового состава и не всегда протекает до конца, т.к. не все компоненты накипи смешанного состава одинаково хорошо растворимы в растворах угольной кислоты.

Таким образом, как видно, интенсификация углекислотного метода, т.е. сокращение времени на очистку, повышение ее эффективности и экономичности целесообразна и позволит более широко использовать данный метод в практике технической эксплуатации флота, особенно в условиях дефицита и дороговизны сильнодействующих моющих препаратов и повышенных требований по охране окружающей среды при сбросе отработавших растворов за борт.

В связи с этим, изучение растворимости карбоната кальция, как одного из основных компонентов накипных отложений в судовых теплообменных аппаратах, в слабых растворах сульфаминовой кислоты при повышенных давлениях CO_2 представляет научный и практический интерес, так как проблема борьбы с накипеобразованием и поиск альтернативных путей её решения до сих пор актуальны. При проведении исследований в качестве накипного компонента использовался мелкокристаллический карбонат кальция (CaCO_3) модификации кальцит. Выбор этого компонента для изучения растворимости при соответствующих условиях объясняется следующим.

Щелочноземельные отложения в элементах судового энергетического оборудования, как правило, носят смешанный характер, причём в состав накипи обычно входят как растворимые, так и нерастворимые или плохо растворимые в моющих растворах компоненты. Известно [2, 4, 10], что в воде, насыщенной CO_2 , среди накипи различного фазового состава минимальную растворимость имеет карбонат кальция — наиболее распространенный вид накипи в судовых теплообменниках. Поэтому, получив данные по растворимости CaCO_3 , можно с достаточной вероятностью рекомендовать предлагаемые решения для внедрения их в практику эксплуатационных очисток от накипи смешанного состава.

Опыты проводились на растворах сульфаминовой кислоты $\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$ различной концентрации (C_k) — 0,1... 5,0 г/100 мл H_2O при избыточном давлении в сосуде-реакторе, создаваемом баллонной двуокисью углерода (p_{CO_2}) — 0...0,5 МПа. Сульфаминовая кислота была выбрана как реагент, наиболее широко употребляемый при

проведении эксплуатационных химических очисток оборудования в стационарной и морской энергетике, который к тому же имеет ряд преимуществ перед с другими аналогичными препаратами [8].

Экспериментальные исследования растворимости CaCO_3 проводились следующим образом. Заранее готовился раствор сульфаминовой кислоты соответствующей концентрации, который заливался в сосуд-реактор. Концентрацию кислоты определяли по методике [5], основанной на нейтрализации кислоты эквивалентным количеством щелочи в присутствии индикатора метилоранжа. Затем в сосуд-реактор в избытке засыпалась навеска мелкокристаллического карбоната кальция. Сосуд герметизировался, в нем с помощью редуктора на баллоне со сжатым газом поднималось давление CO_2 до необходимого значения и поддерживалось на этом уровне в течение всего эксперимента. Постоянно велся контроль величины рН моющего раствора с помощью универсального иономера типа ЭВ-74. Каждый режим продолжался не менее 20 часов до стабилизации величины рН на постоянном уровне, что свидетельствовало о выработке моющего раствора и наступлении равновесия между ним и засыпкой CaCO_3 . Затем отработавший раствор сливался из сосуда-реактора и подвергался анализу на содержание ионов кальция (Ca^{2+}) по соответствующей методике [12]. Расчет концентрации растворенного карбоната кальция (S_{CaCO_3} , г/л) проводился по разности содержания ионов кальция в исследуемом растворе и их концентрации в исходном. Растворимость CaCO_3 дополнительно контролировалась также по увеличению общей жесткости моющего раствора [12].

Надежность полученных данных подтверждалась повторными опытами в каждом режиме. Осредненные результаты эксперимента в пересчете на величины растворимости карбоната кальция (S_{CaCO_3} , г/л) для всех режимов представлены данными в таблице и графиками на рис. 2 и 3.

Таблица 1. Растворимость карбоната кальция в растворах сульфаминовой кислоты различной концентрации и при различных избыточных давлениях CO_2

| $\text{pH}_{\text{нач}}$ | Концентрация сульфаминовой кислоты, г/100 мл H_2O | Растворимость CaCO_3 (г/л) при различном избыточном давлении CO_2 | | | | | |
|--------------------------|---|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | 0 | 0,1 МПа | 0,2 МПа | 0,3 МПа | 0,4 МПа | 0,5 МПа |
| 0,71 | 5,0 | 20,52 | 24,52 | 32,91 | 30,22 | 27,51 | 27,48 |
| 0,73 | 4,5 | 19,31 | 23,05 | 30,52 | 28,01 | 25,70 | 25,65 |
| 0,76 | 4,0 | 17,93 | 21,32 | 27,83 | 25,63 | 23,53 | 23,65 |
| 0,80 | 3,5 | 16,24 | 19,25 | 24,93 | 22,90 | 21,22 | 21,19 |
| 0,85 | 3,0 | 14,41 | 17,00 | 21,94 | 20,14 | 18,64 | 18,70 |
| 0,90 | 2,5 | 12,33 | 14,62 | 18,62 | 17,12 | 15,91 | 16,00 |
| 0,97 | 2,0 | 10,11 | 12,00 | 15,31 | 14,03 | 13,09 | 13,12 |
| 1,06 | 1,5 | 7,72 | 9,25 | 11,92 | 10,91 | 10,00 | 10,00 |
| 1,22 | 1,0 | 5,34 | 6,32 | 8,43 | 7,60 | 7,12 | 7,05 |
| 1,50 | 0,5 | 2,72 | 3,54 | 4,95 | 4,35 | 3,93 | 4,00 |
| 1,72 | 0,3 | 1,61 | 2,31 | 3,44 | 3,00 | 2,74 | 2,72 |
| 1,89 | 0,2 | 1,10 | 1,70 | 2,73 | 2,31 | 2,12 | 2,14 |
| 2,20 | 0,1 | 0,50 | 1,12 | 2,00 | 1,72 | 1,41 | 1,39 |

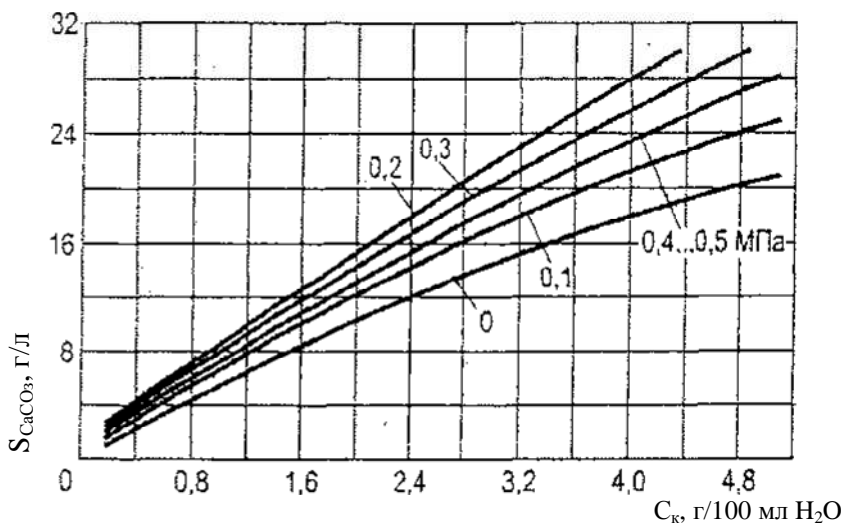


Рис. 2 Зависимость растворимости CaCO_3 (S_{CaCO_3} , г/л) от концентрации растворов сульфаминовой кислоты (C_K , г/100 мл H_2O) при различных давлениях CO_2 в сосуде-реакторе (p_{CO_2} , МПа)

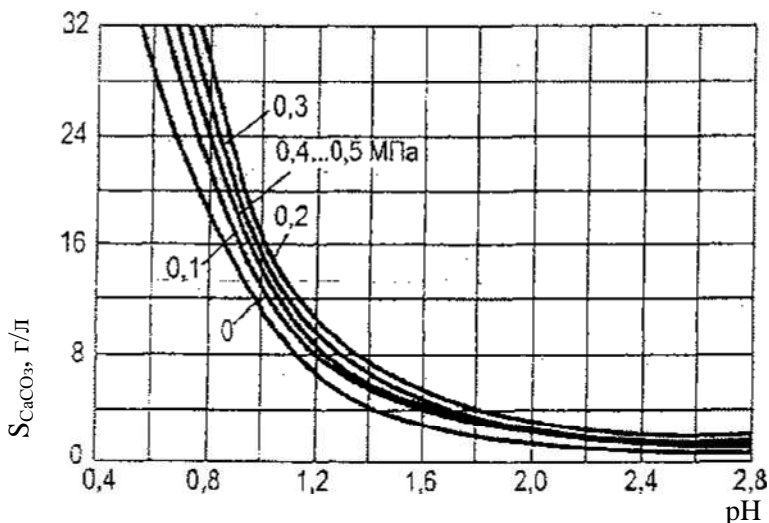
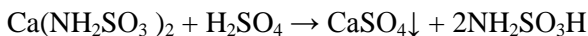


Рис. 3. Зависимость растворимости $CaCO_3$ (S_{CaCO_3} , г/л) в растворах сульфаминовой кислоты от начальной величины pH при различных давлениях CO_2 в сосуде-реакторе (p_{CO_2} , МПа)

Как видно, растворимость карбоната кальция при насыщении растворов сульфаминовой кислоты двуокисью углерода, во всем диапазоне избыточных давлений CO_2 , выше, чем в таких же растворах, но при атмосферном давлении. Наблюдаемый эффект гипотетически можно объяснить следующим образом.

В литературе [13] имеются данные по регенерации отработанных растворов сульфаминовой кислоты, используемой для очистки от накипных отложений. На первой стадии путем известкования отработанного раствора получали чистый сульфат кальция - $Ca(NH_2SO_3)_2$, с низким содержанием посторонних металлов. Для улучшения реакции и достижения более глубокой очистки раствора от посторонних ионов процесс известкования проводился параллельно с насыщением раствора CO_2 . Далее чистый раствор сульфата кальция подкисляли серной кислотой до $pH=1,0$. При введении серной кислоты в раствор сульфата кальция в ходе реакции



образовывался осадок сульфата кальция, легко отделяемый от раствора, и чистая сульфаминовая кислота, пригодная для повторного использования.

В нашем же случае в конце каждого эксперимента присутствовал отработанный раствор сульфаминовой кислоты под избыточным давлением CO_2 . По всей видимости, одновременно с процессом растворения карбоната кальция происходил процесс регенерации с превращением сульфамата кальция под действием образовавшейся угольной кислоты (H_2CO_3) в сульфаминовую кислоту по следующей схеме

$\text{CaCO}_3 + 2\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H} \rightarrow \text{Ca}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ — процесс растворения карбоната кальция,

$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$ — образование угольной кислоты,

$\text{Ca}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2 + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$ — процесс регенерации сульфаминовой кислоты.

В связи с тем, что для перехода карбоната кальция из растворенного состояния в осадок требуются определенные условия и время, вполне вероятно, что в этом случае отработавший раствор был несколько пересыщен по CaCO_3 . Этим и можно объяснить его более высокую растворимость в режимах с повышенным давлением CO_2 .

Полученные данные свидетельствуют о том, что с увеличением концентрации растворов сульфаминовой кислоты влияние давления CO_2 на растворимость CaCO_3 увеличивается, что также можно объяснить частичной регенерацией отработавшего раствора в присутствии угольной кислоты. При низких концентрациях сульфаминовой кислоты (ниже 1,0 г/100 мл H_2O) влияние давления CO_2 на растворимость карбоната кальция несущественно.

Необходимо также отметить, что наблюдаемое в опытах влияние давления CO_2 на растворимость CaCO_3 в растворах сульфаминовой кислоты неравнозначно. При увеличении избыточного давления CO_2 от 0 до 0,2 МПа наблюдалось увеличение растворимости карбоната кальция во всем диапазоне исследуемых концентраций кислоты. Дальнейшее увеличение давления до 0,5 МПа приводило к некоторому снижению растворимости карбоната кальция по сравнению с давлением 0,2 МПа. В то же время, растворимость CaCO_3 при избыточных давлениях CO_2 , равных 0,4 и 0,5 МПа была большей, чем при 0,1 МПа и, тем более, при атмосферном давлении. При избыточных давлениях CO_2 , равных 0,4...0,5 МПа, происходила стабилизация растворимости карбоната кальция на некотором постоянном уровне для всех исследуемых концентраций сульфаминовой кислоты. Полученные данные по неоднозначному влиянию давления CO_2

требуют своего объяснения, что является предметом дальнейших исследований.

Для наглядности представления полученных результатов по экспериментальным данным были построены зависимости растворимости CaCO_3 от избыточного давления, создаваемого CO_2 в сосуде реакторе, при различных исходных концентрациях сульфаминовой кислоты, которые приведены на рис. 4.

Как видно, максимальная растворимость карбоната кальция в исследуемом диапазоне выбранных факторов наблюдается в растворе сульфаминовой кислоты повышенной концентрации, при избыточном давлении CO_2 в сосуде-реакторе на уровне 0,2 МПа.

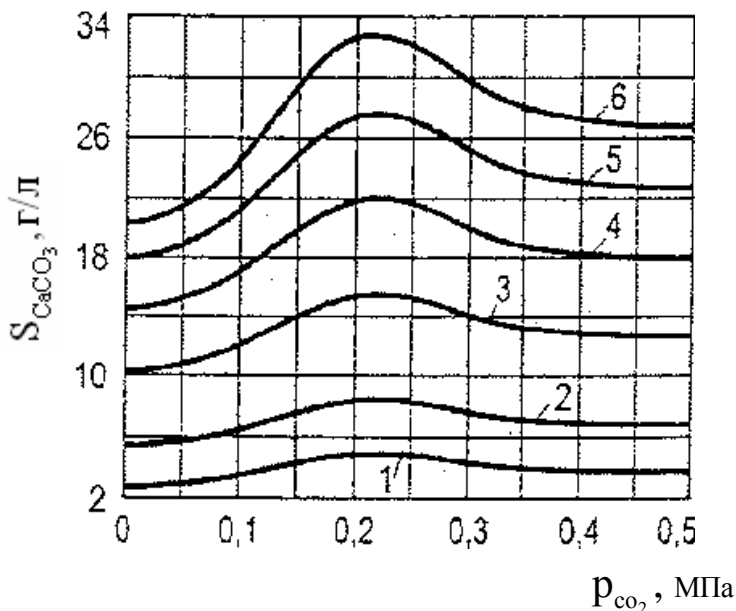


Рис. 4. Зависимость растворимости CaCO_3 (S_{CaCO_3} , г/л) в растворах сульфаминовой кислоты от давления CO_2 (p_{CO_2} , МПа) в сосуде-реакторе. Значения C_k (г/100 мл H_2O): 1 - 0,5; 2 - 1,0; 3 - 2,0; 4 - 3,0; 5 — 4,0; 6 - 5,0

Таким образом, в результате изучения и анализа механизма накипеобразования в судовых теплообменных аппаратах установлено, что он подчиняется классическим закономерностям кристаллизации из пересыщенных растворов, а основным фактором, определяющим накипеобразование в большинстве судовых теплообменников явля-

ется нарушение углекисло-карбонатного равновесия в гидротермальных условиях, приводящих к распаду бикарбонатных ионов, с последующей кристаллизацией накипи на теплообменных поверхностях. Также показано, что у большей части судовых теплообменников температура поверхности не превышает 70-80°C и, при отсутствии концентрирования раствора, основной фазой в накипи является карбонат кальция (CaCO_3).

Проведенный анализ известных методов и средств очистки от накипных отложений показал, что все они не лишены недостатков и требуют, в лучшем случае, дефицитных химических препаратов, отсутствие которых обуславливает проведение механической очистки, характеризующейся значительными трудозатратами.

Отмечено, что разработанный в ОНМА альтернативный углекислотный метод очистки от накипи и предотвращения её образования обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами очистки, но также не лишён недостатков, ограничивающих его широкое использование.

Для усовершенствования углекислотного метода очистки с целью его интенсификации, т.е. сокращения времени на очистку, повышения её эффективности и экономичности, предложено на первом этапе при очистках использовать слабые растворы сульфаминовой кислоты (обычно не применяемые при таких концентрациях для чисто кислотной очистки) при повышенных давлениях, создаваемых баллонной двуокисью углерода (CO_2). Проведенные при таких условиях экспериментальные исследования по растворимости мелкокристаллического CaCO_3 , как основного компонента накипных отложений в судовых теплообменных аппаратах, показали, что растворимость карбоната кальция в растворах сульфаминовой кислоты увеличивается с повышением давления CO_2 , а наибольшая растворимость CaCO_3 (при всех концентрациях кислоты) наблюдается при создании давления CO_2 в теплообменнике на уровне 0,2 МПа. Это делает перспективным дальнейшее усовершенствование такого метода очистки и его внедрение в практику технической эксплуатации флота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боев Ю.И. Исследование влияния режимов работы вакуумных испарителей морской воды на фазовый состав образующихся в них накипей: Автореф. дис.канд.техн.наук.-Одесса: ОВИМУ, 1972, - 24 с.

2. Боев Ю.И. Накипеобразование в теплообменных аппаратах, работающих на природных минерализованных водах /Ю.И.Боев// Химия и технология воды.-1981.-Т.3.-№2.-С.156-161.

3. Коваленко В.Ф. Исследование механизма кристаллизации при выпаривании солёных вод /В.Ф. Коваленко, В.П.Шевяков, Ю.И.Боев, Б.И.Ляшенко //Известия вузов: Энергетика.-1975.-№2.-С.124-127.

4. Абрамов В.А. Предотвращение накипеобразования в судовых теплообменных аппаратах и системах, контактирующих с морской водой: Автореф.дис.канд.техн.наук.-Одесса:ОВИМУ,1985,-24 с.

5. Сурин С.М. Подготовка и контроль качества воды для судовых энергетических установок /С.М. Сурин.-М.: Транспорт, 1978.-152с.

6. Сурин С.М. Химическая очистка судового энергетического оборудования /С.М. Сурин.-М.: Транспорт, 1981.-168 с.

7. Маргулова Т.Х. Химическая очистка теплоэнергетического оборудования /Т.Х. Маргулова.-М.: Энергия, 1969.-223 с.

8. Перечень и описание химических средств, применяемых на судах морского флота в процессе их эксплуатации /ЧЦПКБ.-М.: Мортехинформреклама, 1985.-220 с.

9. Абрамов В.А. Углекислотный метод очистки от накипи и предотвращения её образования в судовых теплообменных аппаратах, работающих на морской воде/ В.А. Абрамов, Ю.И.Боев, В.Ф. Коваленко, Б.И.Ляшенко, А..З.Бондарев //Современное состояние и перспективы развития СЭУ /ЛВИМУ им.адм.С.О.Макарова.-М.: Мортехинформреклама, 1983.-С.73-79.

10. Углекислотный метод очистки теплообменников от накипи и предотвращение её образования: Метод.пос. /ОВИМУ; подг.Ю.И. Боевым.-М.: Мортехинформреклама, 1986.-48с.

11. Хорн Р. Морская химия /Р.Хорн.-М.:Мир, 1972.-400 с.

12. Резников А.А. Методы анализа природных вод /А.А. Резников, Е.П.Муликовская, Ю.И. Соколов.-М.:Наука, 1970.-488 с.

13. Максин В.М. Использование сульфаминовой кислоты для удаления карбонатной накипи из системы горячего водоснабжения /В.М.Максин и др.//Химия и технология воды.-1989.-Т.11.-№7.-С.630-636.

УДК 621.822.173

Ерыганов А. В.
ОНМА

ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ПО ВИБРАЦИЯМ МАСЛЯНОГО КЛИНА

В современных установках широкое применение нашли подшипники скольжения с гидродинамической смазкой. Это в полной мере относится и к судовым энергетическим установкам (СЭУ), включая их самые нагруженные и ответственные узлы. Ввиду широкой распространённости и ответственности подшипников скольжения вопрос мониторинга их состояния является актуальным. При этом важно определить не только состояние поверхностей валов и вкладышей, но и рабочие параметры масла (вязкость, температуру, давление, концентрацию посторонних примесей), так как именно неудовлетворительное качество масла, зачастую, является первопричиной повреждения поверхностей трения.

Вопросам, посвященным конструкции и эксплуатации подшипников скольжения, посвящено достаточно много исследований [1 – 8 и др.]. В их основе лежит классическое представление о смазке как о ньютоновской жидкости и о вязкости, как о скалярной величине. В качестве основного критерия работоспособности выбиралась несущая способность масляного клина (см. рис.). Толщина клина масла является наибольшей в месте входа рабочей поверхности вращающегося вала в несущую зону подшипника и минимальна на выходе из нее. Было установлено, что несущая способность представляет собою сложной нелинейную зависимость от величины зазора между шейкой вала и антифрикционным вкладышем: чем тоньше слой масла, тем выше несущая способность подшипника [1, 3, 8]. Т. е., чем больше нагрузка на подшипник, тем тоньше становится слой масла, несущего радиальную нагрузку.

С другой стороны, уменьшение толщины слоя масла снижает устойчивость подшипника к динамическим нагрузкам, выше становится вероятность механического контакта вала и вкладыша.

Выполненные ранее исследования ([9] и др.) позволили установить одну из эксплуатационных особенностей гидродинамических подшипников: существование радиальных автоколебаний – т. н.

вибраций масляного клина, которые непосредственно связаны с наличием масла в зазоре.

Вибрации масляного клина наиболее часто возникают на переходных режимах. Важным является то, что относительная частота \bar{f} этих вибраций, взятая относительно частоты вращения ротора, примерно постоянна и обычно составляет 0,42...0,48. В литературе [6] указывается, что эти колебания происходят по типу полускоростного вихря. Эта частота является показателем относительной скорости перемещения масла в зазоре между неподвижным вкладышем и вращающимся валом. Средняя скорость движения масла в зазоре подшипника, в идеальном случае, должна равняться половине частоты вращения вала. На практике она всегда немного меньше, т. к. имеет место вытекание масла в боковые зазоры подшипника.

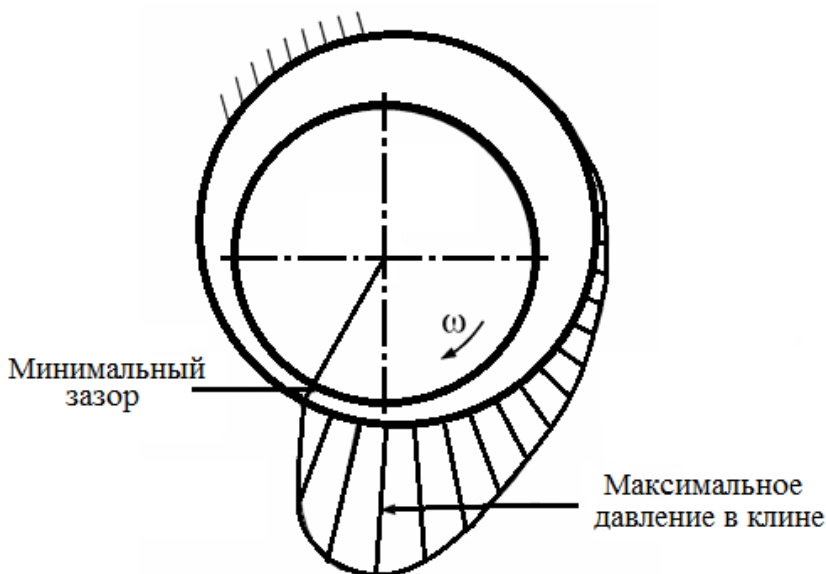


Рис.1. Поле давления смазки в подшипнике скольжения (указаны области нагнетания и разрежения)

Численное значение частоты вибраций масляного клина в одном и том же подшипнике может меняться в указанном диапазоне (0,42...0,48) в процессе изменения состояния элементов подшипника. Это дает возможность по величине этой частоты косвенно судить об относительном состоянии каждой из рабочих поверхностей под-

шипника. Экспериментально определено, что если относительная частота такой вибрации смещается ближе к 0,5, то можно говорить о хорошем состоянии внешней поверхности вкладыша и о худшем состоянии поверхности шейки вала. Масло тормозится со стороны шейки вала, подхватывается ею и поэтому перемещается быстрее. Если частота вибрации масляного клина снижается и стремится ближе к величине 0,4, то лучшим по качеству является состояние поверхности шейки вала. При этом масло тормозится со стороны вкладыша [7]. В некоторых случаях уменьшение частоты вибрации масляного клина говорит об увеличении зазоров в подшипнике.

Как свидетельствуют данные проведенных ранее исследований, вибрации масляного клина проявляются обычно при значительном отклонении от нормы одного или нескольких основных параметров:

- нагрузка ротора на вкладыши не соответствует расчетной несущей способности масляного клина;
- в агрегате, как минимум, присутствует еще одна возмущающая вибрации сила, возникшая не как результат проблем подшипника, но способная возбудить колебания ротора во вкладышах;
- произошло значительное изменение рабочих параметров масла по сравнению с расчетными [7].

Однако, несмотря на то, что вибрациям масляного клина посвящена обширная литература, остаётся еще немало до конца невыясненных вопросов. Прежде всего, к таким вопросам относится физическая природа вибраций и анализ причин, по которым они возникают. Понятно, что, в конечном итоге, первопричиной вибраций ротора являются действующие на него силы [6]. Однако, за редкими исключениями [1, 5], именно силы обычно и не рассматриваются, а задача сводится к построению кинематической модели масляной плёнки [2, 3, 4, 8].

В стороне остаются и такие вопросы, как анализ физического смысла влияния угловой скорости собственного вращения ротора, влияния жёсткости вала и влияния внутреннего (за счет сил жидкостного трения в зазоре) и внешнего демпфирования. Кроме того, практический и в то же время общий метод исследования влияния шероховатости на процесс гидродинамической смазки, а значит и вибраций масляного клина, в настоящее время отсутствует. Большинство предпринятых попыток относится к так называемой рейнгольдсовской шероховатости, т. е. для ситуации, когда справедливо

классическое уравнение Рейнольдса.

Подводя итоги изложенному выше, можно утверждать, что поскольку параметры вибраций масляного клина зависят от текущего состояния поверхностей трения подшипника и смазывающей жидкости, то производя непрерывный мониторинг этих вибраций, становится возможным оценивать состояние как самого подшипника, так и смазывающей жидкости. Тем не менее, поставленную задачу возможно реализовать только разработав соответствующий методологический подход, акценты которого смещены в сторону установления физической картины процессов, происходящих при автоколебаниях в масляном клине, с учётом и других вопросов, упомянутых выше. Здесь следует отметить, что современный уровень развития информационных средств, кроме того, позволяет анализировать процессы, происходящие в гидродинамических подшипниках, с позиций представления рабочего тела как неньютоновской жидкости.

Необходимость глубокого владения физической картиной процесса также обуславливается тем, что в эксплуатационных условиях измерить вибрации масляного клина отдельно невозможно: их выделяют из общего спектра вибраций по характерным частотам. Понятно, что определение характерных частот возможно только при достоверном математическом описании процесса. Однако тот факт, что развитие такого метода мониторинга является значительным шагом к переходу к техническому обслуживанию агрегатов по их фактическому состоянию, является главным стимулом для развития исследований в этом направлении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болотин В. В. Неконсервативные задачи теории упругой устойчивости. – М.: Физматгиз, 1961. – 339 с.
2. Кальменс В. Я. Обеспечение вибронадёжности роторных машин на основе методов подобия и моделирования. – СПб.: Изд. СЗПИ, 1992. – 373 с.
3. Камерон А. Теория смазки в инженерном деле. – М.: Mashgiz, 1962. – 296 с.
4. Кельзон А. С., Циманский Ю. П., Яковлев В. И. Динамика роторов в упругих опорах. – М.: Наука, 1982. – 280 с.
5. Пановко Я. Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. – Л.: Машиностроение, 1976. – 320 с.

6. Подольский М. Е. Физическая природа и дискуссионные вопросы теории масляных вибраций. / Научный семинар по теории механизмов и машин. – С. - Петербург, СПбГПУ. – 2009.

7. Русов В. А. Спектральная вибродиагностика. / В. А.Русов – Пермь: Издательство НИИУМС, 1996 г – 176 с.

8. Тондл А. Динамика роторов турбогенераторов. – Л.: Энергия, 1971. – 387 с.

9. Newkirk B. L., Taylor H. D. / Shaft Wipping due to Oil Action in Journal Bearing // General Electric Review / 1925. v. 28. Pp.559 – 568.

УДК 621.165-226.1(043)

Гарагуля Б.А.
ОНМА

ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ В РЕШЕТКАХ ПРОФИЛЕЙ ПОСЛЕДНИХ СТУПЕНЕЙ ПАРОВЫХ ТУРБИН НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

В предыдущих статьях [1, 2] были рассмотрены некоторые особенности структуры течения в области минимального проходного сечения («горла») турбинных решеток профилей последних ступеней ТНД. Показано, что критическая линия (линия перехода через скорость звука) в таких решетках имеет сложную форму и не совпадает с геометрическим «горлом» (линия OO_1 , рис. 1). В результате этого, во-первых, наблюдается несоответствие значений действительного расхода и расхода, определенного по параметрам в геометрическом «горле»; во-вторых, имеются характерные особенности в структуре течения в косом срезе, которые обязательно должны учитываться при профилировании турбинных решеток.

Для анализа обтекания и проектирования сверхзвуковых решеток профилей ступеней паровых турбин в инженерной практике обычно используют метод характеристик [3]. Однако расчет течения в косом срезе решетки с помощью этого метода затруднен в тех случаях, когда критическая линия имеет сложную форму и не совпадает с линией минимального геометрического проходного сечения (горла) решетки. Как правило, это имеет место в решетках профилей рабочих лопаток последних ступеней. Используя современные аналитические методы расчета обтекания сверхзвуковых решеток, например, можно не только определить форму и положение линии перехода, но и рассчитать все поле течения в решетке. В то же время эти методы сложны и могут использоваться только с использованием достаточно сложных дифференциальных и соответственно сложных компьютерных программ. Поэтому в ряде случаев представляется рациональным использовать приближенный метод построения критической линии, базирующийся на применении метода характеристик.

В основу его положен ряд допущений:

- 1) решетка обтекается невязким потоком;
- 2) на основании экспериментально полученных данных [6] принято:

– участки линий перехода вблизи точек O_1 и O_2 (рис. 1), лежащих на поверхности профиля, нормальны к поверхности;

– критическая линия имеет две точки перегиба и расположенный между ними прогиб по потоку;

3) критическая точка O_1 задается на стороне давления профиля в месте касания этой стороны окружности выходной кромки (рис. 1). Положение критической точки на стороне разрежения профиля – O_2 определяется или с помощью приближенных расчетов, например по [7], или исходя из результатов эксперимента;

4) предполагается, что скорости за критической линией по потоку всюду сверхзвуковые и, следовательно, на критическую линию падают только волны разрежения, причем в косом срезе существует система из четырех волн разрежения и трех волн сжатия (рис. 1):

– первичная волна *I* на выходной кромке; отклонение в этой волне соответствует расчетному числу Маха;

– волна *II* на стороне разрежения профиля, возникающая при обтекании потоком криволинейной поверхности;

– вторичная волна *III* – результат отражения волны *I* от спинки профиля;

– волна сжатия *IV*, возникающая при взаимодействии волны *I* с критической линией;

– волна *V*, возникающая при взаимодействии волны *II* с критической линией;

– волна разрежения *VI* – результат отражения волны сжатия *IV* от свободной границы;

– волна сжатия *VII* – результат отражения волны сжатия *V* от поверхности профиля.

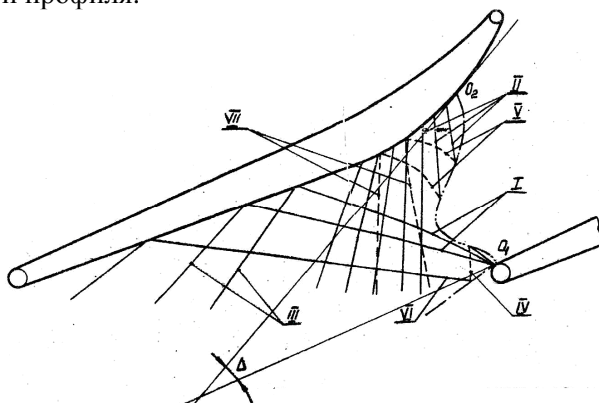


Рис. 1. Схема волновой структуры в косом срезе решетки

Построение критической линии и поля сверхзвуковых скоростей осуществляется последовательными приближениями и таким образом, чтобы в каждой элементарной ячейке поля, ограниченной характеристиками, обеспечивалось условие однозначности скоростей и направлений (например, относительно касательной к поверхности профиля в точке O_1). При этом, если волны I и II заменить семействами характеристик, обозначив угол отклонения потока в одной характеристике через δ , а угол между касательными к поверхности профиля в критических точках O_1 и O_2 через Δ , то указанное выше условие однозначности обеспечивается, когда число падающих на критическую линию характеристик волн I и II определяется следующим соотношением:

$$N = \frac{\Delta}{2\delta} \quad (1)$$

При построении критической линии в рамках первого приближения закон изменения углов наклона касательных к линиям тока между точками O_1 и O_2 можно принять линейным.

Если построения при первом приближении (согласно предыдущим описаниям ее формы) критическая линия не удовлетворяет поставленным условиям, в том числе соотношению (1), то необходимо выполнить второе приближение, несколько изменив форму первоначально заданной линии перехода. Как правило, все перечисленные выше условия удается удовлетворить, выполнив не более трех приближений.

Рассмотрим результаты применения данного метода для построения критической линии в рабочей решетке профилей периферийных сечений лопатки последней ступени ТНД (рис. 2а). Расчет выполнен для следующих параметров: $M_{2m} = 1,29$; $\Delta = 24^\circ$; $\delta = 2^\circ$. На рис. 2б-г показаны результаты последовательных приближений при построении критической линии в решетке. Например, при построении первого приближения (рис. 2б) характеристика τ волны сжатия УП (рис. 1) падает на критическую линию, что противоречит исходным допущениям. Во втором приближении (рис. 2в) не выдержано соотношение (1), так как число характеристик волн разрежения I, II, VI ($N = 8$), интерферирующих с критической линией, больше, чем расчетное $N = 6$. Наконец, третье приближение (рис. 2г) после соответствующей деформации линии перехода позволяет удовлетворить всем поставленным условиям.

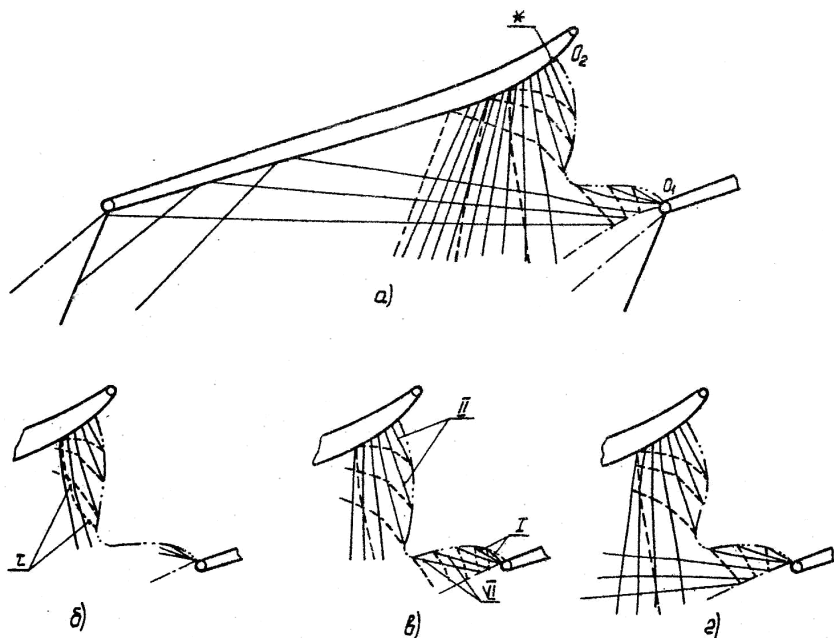


Рис. 2. Расчетное поле скоростей

На этом же рисунке звездочкой обозначено положение критической точки по данным эксперимента. На рис. 3 показано распределение скоростей в канале по данным экспериментального исследования при $M_{2m} = 1,29$ и $\beta = 141^\circ$ ($i = 0$). Сравнение опытных и расчетных результатов показывает их удовлетворительно совпадение. Это позволяет сделать вывод о том, что предложенный приближенный метод построения критической линии позволяет рассчитывать течение в косом срезе решетки и учитывать его конкретные особенности при проектировании.

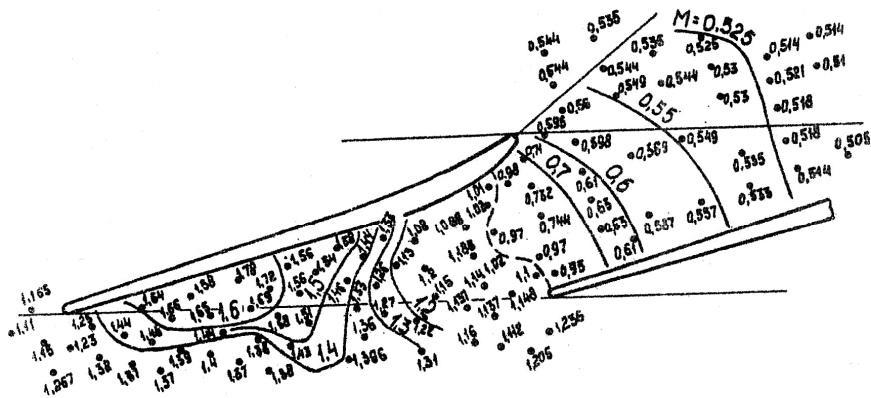


Рис. 3. Экспериментальное поле скоростей

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гарагуля Б.А. Исследование трансзвукового течения в области «горла» решеток профилей последних ступеней паровых турбин низкого давления. //Судовые энергетические установки: научн.-техн.сб. -2011,-Одесса: ОНМА.-с.83-91.

2. Гарагуля Б.А. Расходные характеристики каналов последних ступеней турбины. //Судовые энергетические установки: науче.-техн.сб.2012, -Одесса: ОНМА.-с.84-91.

3. Дейч М.Е. Техническая газодинамика. – М.: «Энергия», 1974. – 592 с.

4. Годунов С.В. Разностный метод численного расчета разрывных решений уравнений гидродинамики. – «Математический сборник», 1959. – Вып. 3, №47. – с. 17–20.

5. Дорфман Л.А. Численные методы в газодинамике турбомашин. – М.:»Наука», 1974. – 269 с.

6. Лукин В.В., Майорский Е.В. Исследование критической линии расходных характеристик в решетках с большим относительным шагом. – «Известия ВУЗов. Энергетика», 1973. – №9. – с. 37–38.

7. Исследование элементов паровых и газовых турбин и осевых компрессоров. Под ред. А.С. Зильбермана. – М.-Л.: ГНТИ, 1960. – 488 с.

УДК 629.123

Зуев С.В., Маслов И.З., Калуев А.Г.
ОНМА

ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ ИМПУЛЬСНОЙ СИСТЕМЫ РАЗМЫВА ГРУНТА НА СУДАХ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНОГО ФЛОТА

Основным параметром, влияющим на продолжительность выборки грунта при работе судов дноуглубительного флота, является скорость грунтозабора, которая в первую очередь зависит от физических свойств разрабатываемого грунтового основания [1]. Аналогичная проблема имеет место и при выгрузке грунта из трюма, когда по причине производственных или погодных факторов гранулометрический состав грунта или его прочность претерпевают изменение [2].

Универсальным решением проблемы грунтозабора может являться разработанная конструкция узла гидравлического размыва, которая должна устанавливаться, как дополнительный технологический элемент непосредственно на судовом всасывающем грунтопроводе. Как видно на схематическом рисунке 1 ее главными элементами являются насос 1, линия подачи 2, задвижка 3 и система сопловых насадок 4. Основной принцип ее работы основывается на создании с определенной периодичностью волн повышенного давления. Рабочая жидкость двигаясь со скоростью ударной волны на выходе из насадков направленным фронтом воздействует на разрабатываемый поверхностный слой в результате чего он разрыхляется [3]. За счет силового взаимодействия струи с грунтом его консистенция в пульпе на входе в грунтоприемное отверстие будет резко возрастать.

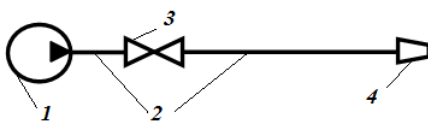


Рис. 1. Принципиальная схема системы размыва грунта

1- насос, 2- вспомогательный трубопровод, 3- задвижка, 4- система сопловых насадок

Работа системы гидравлического размыва предполагает использование только прямого гидравлического удара [4]. При прямом

гидравлическом ударе время закрытия задвижки должно находиться как

$$t_3 < t_0 = \frac{2l}{c} \quad (1)$$

где t_0 – фаза гидравлического удара; l – длина трубопровода, м; c – скорость распространения ударной волны, м/с.

В выражении (1) присутствует скорость распространения ударной волны, которая является одним из ключевых параметров для проектирования импульсной системы гидроразмыва. Классическая формула для ее нахождения имеет вид

$$c = \frac{1}{\sqrt{\frac{\rho}{K} + \frac{2\rho R}{\delta E}}} \quad (2)$$

где ρ – плотность рабочей жидкости, кг/м³; K – объемный модуль упругости рабочей жидкости, Н/м²; R , δ – радиус и толщина стенки трубы, м; E – модуль Юнга материала из которого изготовлен трубопровод.

При помощи скорости ударной волны можно найти величину ударного давления по формуле Жуковского [5]

$$\Delta P_{уд} = \rho V_0 c \quad (3)$$

где V_0 – скорость рабочей жидкости в момент закрытия задвижки, м/с.

В ходе исследований в реальных судовых условиях было установлено, что в применении к разработанной системе гидравлического размыва формула (3) дает завышенные результаты. В судовых условиях величина скачка давления при гидравлическом ударе была всегда ниже. Замеры ударного давления производились непосредственно на срезе сопловой насадки, являющейся конечной точкой в изучаемой системе гидравлического размыва грунта.

На основании большого числа замеров для учета влияния реальных условий эксплуатации было предложено использование двух дополнительных поправочных эмпирических коэффициентов - k_1 и k_2 .

Первый коэффициент k_1 позволяет учитывать все конструктивные характеристики используемого трубопровода и условия его эксплуатации.

Поскольку гидравлическая линия, предназначенная для передачи энергии гидравлического удара в основном состоит из гибкого трубопровода, то свойства эластичности его стенок оказывают отрицательное влияние на получаемую величину ударного давления. В результате разность между расчетным и реальным давлением на выходе из трубопровода может достигать до 30 % в случае армированных резиновых трубопроводов и до 24 % в случае трубопроводов из мягкого пластика. Численное значение коэффициента k_2 находится в диапазоне $k_2=0,84-0,92$. Большие значения должны выбираться для трубопроводов с более высокими значениями модуля Юнга.

Использование второго коэффициента k_2 позволяет учитывать потери давления в конце рабочей линии, т.е. на участке установки набора сопловых насадок. В основном эти потери возникают из-за разделения основного потока на ряд парциальных струй перед каждым соплом. В том случае, когда используются конические насадки с углом конусности $\alpha = 15 - 25^\circ$ величина коэффициента k_2 должна выбираться по экспериментальному графику, показанному на рисунке 2.



Рис. 2. Зависимость поправочного коэффициента k_2 от числа насадок

Таким образом, выражение (3) при проведении расчетов необходимо использовать в следующем виде

$$\Delta P_{уд} = k_1 k_2 \rho V_0 c \quad (4)$$

Потери давления на сопловой насадке можно рассчитать по выражению

$$\Delta P_{нас} = \zeta \frac{\rho V_0^2}{2} \quad (5),$$

где ζ – коэффициент местных потерь.

Величина ζ для сопловой насадки, показанной на рисунке 3 рассчитывается как

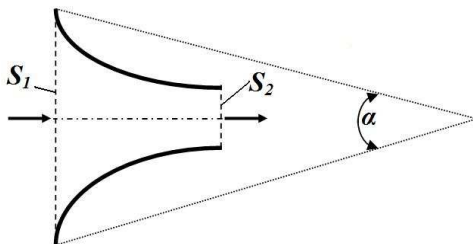


Рис. 3. Схема конусной сопловой насадки

$$\zeta = \frac{\lambda_t}{8 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) \quad (6),$$

где λ_t – коэффициент гидравлического трения внутри сопловой насадки; α – угол конусности сопловой насадки, град; n – степень конфузорности, равная отношению поперечных плоскостей на входе и выходе из насадки.

В соответствии с рис. 3 степень конфузорности рассчитывается как

$$n = \frac{S_2}{S_1} = \frac{D_2^2}{D_1^2} \quad (7)$$

Главным достоинством выражения (7) является возможность выбора оптимального угла конусности сопловой насадки для конкретно заданных значений динамических характеристик потока. Так, если известна скорость потока и его кинематическая вязкость, то возможно по расчетной диаграмме, показанной на рисунке 4 выбрать такой угол конусности, который обеспечит минимальные по-

тери давления в ней. График был построен расчетным путем для основного диапазона рабочих скоростей потока, которые могут быть созданы в гидравлической линии размыва грунта, т.е. от 1 до 10 м/с. Нижняя кривая на рис. 4 соответствует скорости $V=1$ м/с, а верхняя $V=10$ м/с, при этом все полученные результаты соответствует безкавитационному режиму истечения рабочей жидкости из насадки.

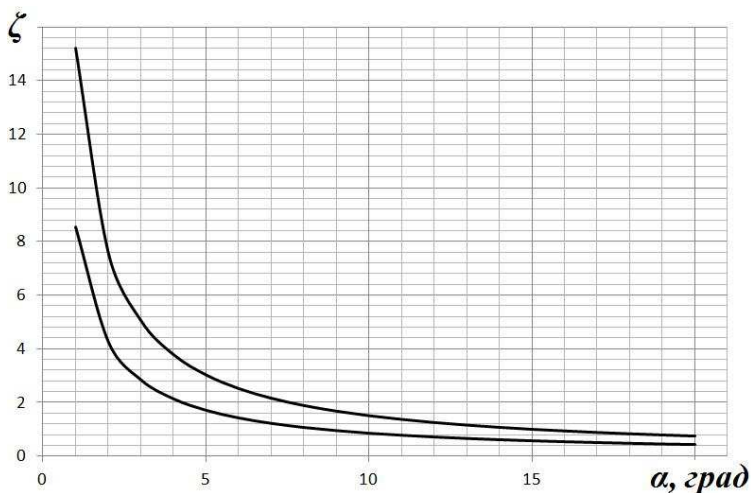


Рис. 4. Влияние угла конусности сопла на коэффициент местных потерь при различных скоростях потока

Стартовое давление, которое должна развивать система размыва грунта согласно данным работы [1] будет всегда соответствовать данным о величине нормативного давления на основания из песчаных и глинистых грунтов. Эти цифры приведены в таблице 1 и их анализ показывает, что система гидроразмыва не должна обладать высоким давлением выходной струи. Максимальное нормативное давление составляет всего 0,45 МПа. Это, в свою очередь, позволяет использовать небольшие диаметры рабочих линий системы гидроразмыва и использовать докавитационные режимы истечения рабочей жидкости из сопловых насадок.

Таблица 1. Нормативные давления на основания из песчаных грунтов, МПа.

| Вид грунта | Плотный грунт | Грунт средней плотности |
|-----------------------------|---------------|-------------------------|
| Глинистый грунт | 0,25 | - |
| Пески гравелистые и крупные | 0,45 | 0,35 |
| Пески средней крупности | 0,35 | 0,25 |
| Пески мелкие | 0,25 | 0,15 |
| Пески пылеватые | 0,25 | 0,2 |

При взаимодействии струи жидкости набегающей на грунтовое основание с давлением $\Delta P_{y0} + P_0$ (P_0 – давление рабочей жидкости, развиваемое судовым насосом до гидравлического удара) задача о взаимодействии струи с поверхностью разрабатываемого грунта без значительной потери точности может быть рассмотрена, как задача о взаимодействии струи, вытекающей из отверстия или насадка с неподвижной стенкой. В этом случае давление струи на грунт, имеет вид

$$P = \frac{\gamma}{g} QV \quad (8)$$

где γ – удельный вес, H/m^3 ; g – ускорение свободного падения, m/c^2 ; Q – объемный расход рабочей жидкости, m^3/c ; V – осевая скорость струи, m/c .

Из теории струй известно, что величина давления струи изменяется по мере удаления от среза насадка [6]. С увеличением расстояния струя рассеивается и давление в ней уменьшается. Сама струя обычно рассматривается, как комбинация трех локальных участков:

- компактный участок с четко локализованными в пространстве границами струи и параболической эпюрой скорости без участков, характерных для изломов сплошности;

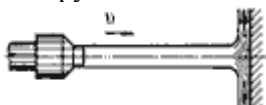
- переходный участок с присутствием зоны перемешивания границ струи с окружающей жидкостью и постепенным расширением фронта струи;

- распыленный участок, характеризующийся отсутствием четких границ и распадом струи на отдельные участки.

При работе судов дноуглубительного флота вследствие различного рельефа дна могут возникать различные варианты геометрической конфигурации поверхности силового взаимодействия "поток-стенка".

К характерным примерам и соответствующим им расчетным соотношениям, получаемых на основе анализа баланса сил и выражения (8) можно отнести следующие:

3 Струя набегает на плоскую стенку:



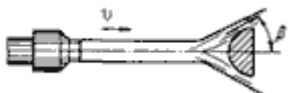
$$P = \frac{\gamma}{g} QV \quad (9)$$

2. Струя набегает на конусную стенку

$$P = \frac{\gamma}{g} QV (1 - \cos\beta) \quad (10)$$

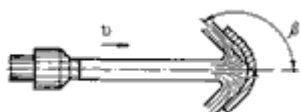


3 Струя набегает на овальную стенку



$$P = \frac{\gamma}{g} QV (1 - \cos\beta) \quad (11)$$

4. Струя набегает на стенку, обращенную против потока под углом β



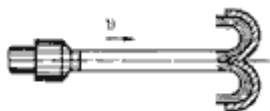
$$P = \frac{\gamma}{g} QV (1 + \cos\beta) \quad (12)$$

5. Струя набегает на плоскую стенку с загнутыми против потока краями



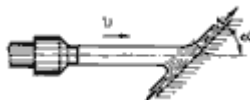
$$P = \frac{2\gamma}{g} QV \quad (13)$$

6. Струя набегает на вогнутую стенку с разворотом на угол 180°



$$P = \frac{2\gamma}{g} QV \quad (14)$$

7. Струя набегаёт на плоскую стенку, наклонённую по отношению к оси струи под углом α



$$P = \frac{\gamma}{g} QV \sin \alpha \quad (15)$$

С учетом всех вышеизложенных соотношений возможно выполнить оценку основных инженерных характеристик судовой системы гидравлического размыва грунта.

Выводы

1. При работе судов дноуглубительного флота скорость грунтозабора напрямую зависит от таких физических свойств разрабатываемого грунтового основания, как гранулометрический состав и прочность.

2. Универсальным решением проблемы грунтозабора может являться разработанная конструкция узла гидравлического размыва, которая должна устанавливаться, как дополнительный технологический элемент непосредственно на судовом всасывающем трубопроводе. Работа системы гидравлического размыва предполагает использование только прямого гидравлического удара и безкавитационного истечения рабочей жидкости из системы сопловых насадок.

3. Экспериментально установлено, что величина ударного давления, получаемая по формуле Жуковского дает завышенные результаты. По этой причине при расчете предложенной конструкции системы гидроразмыва в ней необходимо использовать два дополнительных поправочных коэффициента k_1 и k_2 .

Первый коэффициент k_1 позволяет учитывать все конструктивные характеристики используемого трубопровода и условия его эксплуатации, а второй коэффициент k_2 позволяет учитывать потери давления в конце рабочей линии, т.е. на участке установки набора сопловых насадок.

4. Задача о взаимодействии струи с поверхностью разрабатываемого грунта без значительной потери точности может быть рас-

смотрена, как задача о взаимодействии струи, вытекающей из отверстия или насадка с неподвижной стенкой. Для различных вариантов такого взаимодействия сформулированы выражения для определения величины давления на грунтовое основание.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородулин Я. Ф. Дноуглубительный флот и дноуглубительные работы / Я. Ф. Бородулин, Б. Н. Сущенко. – М. : Транспорт, 1973. – 432 с.
2. Жарницкий Е. П. Землесосные снаряды с погруженными грунтовыми насосами / Е. П. Жарницкий. – М. : Недра 1988. – 143 с.
3. Бебчук А. С. К вопросу о механизме разрушения твердых тел / А.С.Бебчук // Акустический журнал. – 1957. – Т. 3, № 1. – С. 90–91.
4. Башта Т. М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т. М. Башта, С. С. Руднев – М.: Мир, 1982. – 423 с.
5. Гийон М. Исследование и расчет гидравлических систем / Гийон М. – М.: Мир, 1964. – 388 с.
6. Абрамович Г. Н. Теория турбулентных струй – Г. Н. Абрамович. М. : Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1960. – 715 с.

УДК 629.123

Голубев М.В.
ОНМА

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ СУДОВЫХ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ОТ ТОКСИЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

При эксплуатации судов водного транспорта очень актуальна экологическая проблема обработки уходящих дымовых газов. Очистка дымовых газов от вредных токсичных составляющих снижает выбросы от продуктов горения в окружающее пространство, а при концентрации 1 г/м^3 может быть даже рентабельной.

Согласно требованиям Резолюции МЕРС.176(58), принятой на 58-й сессии Комитета по защите морской среды (Пересмотренное Приложение VI к Конвенции МАРПОЛ [1]) концентрация вредных выбросов в дымовых газах контролируется по двум параметрам: взвешенному выбросу окислов азота NO_x и окислам серы SO_x с твердыми частицами. Величина их численных значений постоянно снижается в разы, а районы контроля выбросов, начиная с 2015 г., покрывают практически все районы плавания планеты.

Для проведения научно-исследовательских работ по очистке дымовых газов от NO_x и SO_x в условиях работы судовой энергетической установки на судне Chemical product tanker “Amy”, Liberia была разработана экспериментальная установка. Ее общая схема показана на рисунке 1, а сама установка может рассматриваться, как один из вариантов исполнения судового узла обработки уходящих дымовых газов, характеризующегося малой производительностью [2]. Основной принцип работы стенда был основан на постоянном автоматическом контроле следующих рабочих характеристик:

- температуры дымовых газов на входе и выходе в установку;
- температуры фильтрационной воды на входе и выходе в установку;
- расхода подаваемых на обработку дымовых газов;
- давления дымовых газов на входе и выходе в установку;
- концентрации примесей NO_x и SO_x .

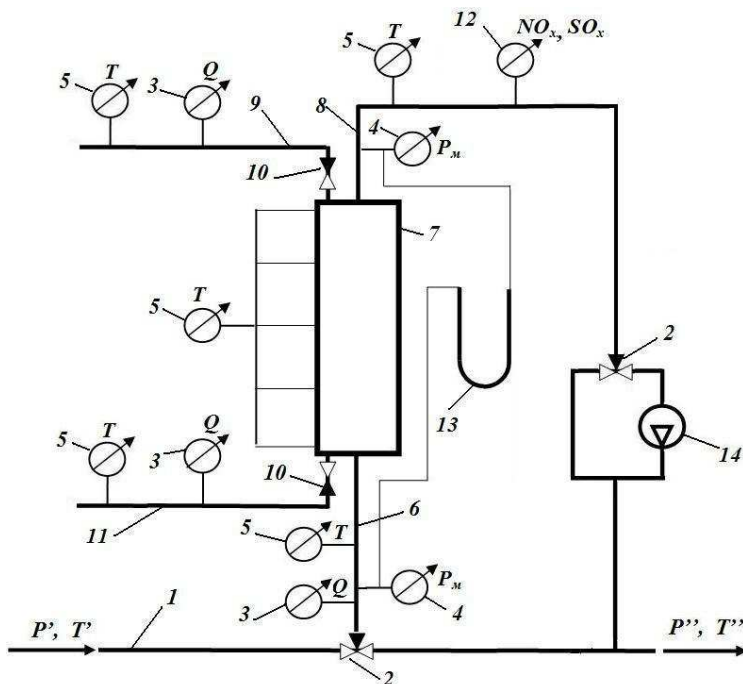


Рис. 1. Схема экспериментального стенда

1 - судовой дымоход; 2 - автоматически управляемый трехходовой невозвратный клапан; 3 - расходомер; 4 - манометр; 5 - термометр; 6 - линия подачи дымовых газов в фильтрационную кассету; 7 - фильтрационная кассета; 8 - линия отвода обработанных дымовых газов; 9 - линия подачи воды в фильтрационную кассету; 10 - невозвратный клапан; 11 - линия дренажа загрязненной фильтрационной воды; 12 - газоанализатор; 13 - дифференциальный манометр; 14 - вентилятор.

Работа стенда подразумевала циркуляцию дымовых газов по замкнутой линии, а сама установка работала с использованием следующего судового технологического контура: дымовые газы подавались на обработку по судовому дымоходу 1. Канал, для подвода газов был цилиндрической формы и его диаметр был равен 1,5 м.

Подача дымовых газов производилась посредством работы турбунагнетателя. Первоначально, после газовой турбины дымовые газы поступали в котел-утилизатор. Избыточное давление, развиваемое турбунагнетателем в зависимости от числа оборотов турбины составляло:

$$P = 170000 \text{ Па при } n = 17000\text{-}18000 \text{ об/мин};$$

$P = 90000$ Па при $n = 9000-10000$ об/мин;

$P = 40000$ Па при $n = 4000-5000$ об/мин.

На линии выхода из судового котла-утилизатора 1 был установлен автоматически управляемый трехходовой невозвратный клапан. При переходе к режиму измерений за счет закрытия основной магистрали и открытия линии отвода, поток дымовых газов перенаправляется в сторону судового узла обработки.

На линии подачи дымовых газов 6 в фильтрационную кассету 7 был установлен ряд приборов. Расход дымовых газов контролировался при помощи ультразвукового расходомера 3. Он был установлен на входном эжекторном участке фильтрационной кассеты 7. Давление и температура дымовых газов на входе в узел обработки измерялись при помощи манометра 4 и термометра 5.

Дымовые газы попадали в фильтрационную кассету 7, высота которой составляла 2,5 м. Падение температуры по высоте кассеты контролировалось в пяти створах при помощи термопар, которые являлись составной частью автоматической системы управления.

Как видно на рисунке 2 начальная и конечная точки измерения температуры находились непосредственно вблизи нижней и верхней стенок рабочей камеры. Створы с термопарами находились на расстоянии 25 мм от стенок (1% высоты рабочей камеры). Расстояние между всеми измерительными створами было одинаковым и составляло 612 мм.

После прохождения фильтрационной кассеты 7 обработанные дымовые газы попадали в линию отвода 8. На этой линии осуществлялся контроль трех рабочих параметров. Давление измерялось манометром 4, температура – термометром 5, а остаточное содержание примесей (NO_x и SO_x) газоанализатором 12. Принцип его работы основан на сравнении эталонных показателей по составу NO_x и SO_x с действительными. Разность этих показателей выводилась на цифровой индикатор и дублировалась выводом через усилитель сигнала по проводной связи на монитор, расположенный на центральном посту управления. Усилителем осуществлялось преобразование получаемого с термопар цифрового сигнала в аналоговый.

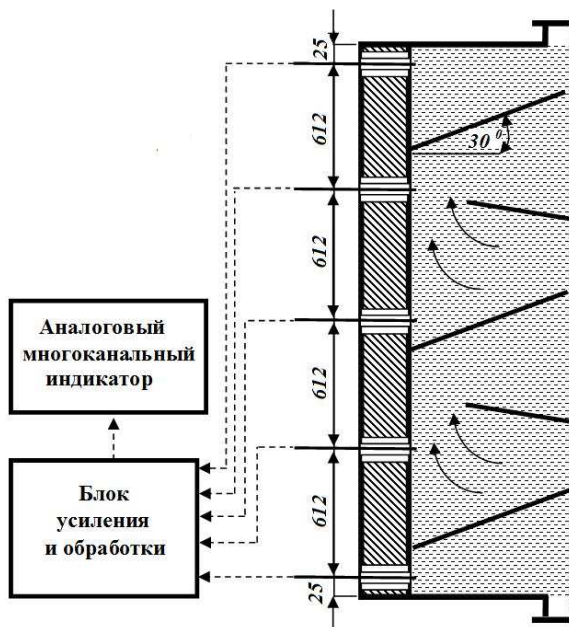


Рис. 2. Расположение термопар по высоте фильтрационной кассеты

Для дополнительного визуального контроля величины перепада давлений внутри узла обработки дымовых газов ко входу и выходу фильтрационной кассеты были подключены две линии U-образного дифференциального манометра. Его показания позволяли контролировать правильность работы манометров и одновременно их дублировали [3].

На линии отвода дымовых газов 8 был установлен автоматически управляемый трехходовой клапан 2. При работе турбонагнетателя на высоких и средних оборотах развиваемое им давление обеспечивало движение дымовых газов по всей рабочей линии установки с учетом гидравлических потерь внутри фильтрационной колонны. В случае, когда обороты турбины были низкими гидравлические потери на фильтрационной колонне становились идентичными исходному давлению потока и для отвода обработанных дымовых газов необходимо было использовать дополнительный вентилятор 14. Клапан 2 автоматически перенаправлял поток с линии безнапорного движения на параллельную ветку, содержащую нагнетатель.

Для заполнения фильтрационной кассеты водой к ее верхнему входному патрубку подключалась линия 9. На этом трубопроводе был установлен невозвратный клапан 10, обеспечивающий необходимый расход воды и герметизацию линии подачи 9 от проникновения обрабатываемых дымовых газов. Расход воды и ее температура контролировались при помощи измерительной диафрагмы 3 и термометра 5.

По аналогии с линией подачи 9 к патрубку, расположенному в нижней части фильтрационной кассеты 7, была подключена линия дренажа загрязненной фильтрационной воды 11. Для контроля рабочего перепада температуры воды в фильтрационной колонне 7 и ее количества, утерянного из-за возникающих при обработке дымовых газов процессов тепломассопереноса, на линии 9 использовалась измерительная диафрагма 3 и термометр 5.

Общая длина дымового тракта научно-исследовательской установки составляла 12 м. Характерными технологическими участками были: расстояние от котла-утилизатора до установки 8 м; расстояние от установки до среза дымовой трубы (выхода в атмосферу) - 4 м.

В ходе экспериментов была выполнена оценка погрешности геометрических размеров стенда и результатов измерений основных технологических параметров.

Все геометрические размеры установки: диаметр канала для подвода дымовых газов, высота фильтрационной кассеты, угол наклона направляющих пластин внутри фильтрационной кассеты, расстояние между створами термопар, длина дымового тракта, расстояние от котла-утилизатора до установки, расстояние от установки до среза дымовой трубы измерялись при помощи лазерного дальномера марки Leica Disto D8 (Швейцария).

Согласно сертификату индивидуальных стендовых испытаний производителя точность измерений использованного лазерного дальномера Leica Disto D8 составляла: - линейный размер $\Delta_L = \pm 1$ мм; угол $\Delta_\alpha = \pm 0,1$ град.

Расход дымовых газов контролировался при помощи ультразвукового расходомера Flowsic 100 (SIC MAIHAK GmbH, Германия). Принцип его работы основан на использовании время-импульсного метода измерения скорости дымовых газов в дымоходе. Его электронный блок попеременно подавал на пьезоизлучатели ультразвуковой сигнал по потоку дымовых газов и против него. Разность времени распространении ультразвукового сигнала против потока и по

поток был пропорционален средней скорости движения дымовых газов в дымоходе. Величина расхода дымовых газов определялась по выражению:

$$Q = kS(t'' - t') \quad (1)$$

где k - коэффициент пропорциональности (табулируется для стандартного ряда диаметров условного прохода); S - площадь поперечного сечения цилиндрического дымохода; t'' и t' - соответственно время распространения импульса ультразвукового сигнала против и вдоль потока.

Расходомер предназначен для работы на диаметрах дымоходов от 1,4 до 13 м при температуре дымовых газов от -40°C до 450°C и скорости их движения от 2 до 40 м/с. Относительная погрешность расходомера в установленном диапазоне скорости движения дымовых газов (в пределе допускаемой приведенной погрешности $\pm 0,1$ м/с) согласно данным изготовителя составляла $\Delta_{\rho} = \pm 0,5\%$.

Состав дымовых газов до и после судового узла их обработки контролировался при помощи газоанализатора Dräger MSI Variox-2. Характеристики его заводской настройки позволяют контролировать содержание в дымовых газах следующих компонент: CO_2 , CO , O_2 , NO , NO_2 , SO_2 . При работе судна на стандартизованном дизельном топливе концентрация CO_2 определялась по остаточной концентрации кислорода. В соответствии с техническими данными диапазоны граничных значений измерений для газоанализатора Dräger MSI Variox-2 показаны в таблице 1.

Таблица 1. Диапазоны измерений газоанализатора Dräger MSI Variox-2

| Измеряемая компонента | Диапазон измерений |
|-----------------------|--------------------------------|
| O_2 | 0-21 % от объемного содержания |
| CO_2 | 0-21 % (расчетное) |
| CO | 0 – 4000 ppm |
| CO^+ | 0-2 % от объемного содержания |
| NO | 0 – 2000 ppm |
| NO_2 | 0 – 200 ppm |
| SO_2 | 0 – 2000 ppm |

Газоанализатор Dräger MSI Variox-2 был снабжен встроенным мембранным насосом, при помощи которого производился парциальный отбор уходящих дымовых газов с последующей их подачей в

рабочую камеру. Состав газов обрабатывался электрохимическим датчиком, а получаемые значения концентрации измеряемых и рассчитываемых компонент выводились в реальном времени на цифровой индикатор. Одновременно все значения подавались на пульт ЦПУ.

Для измерения величины давления дымовых газов на входе и выходе из разработанного судового узла их обработки использовались взрывобезопасные цифровые газовые манометры Crystal Engineering 5KPSIXP2I (США). Их относительная погрешность измерений, согласно данным производителя составляла $\Delta_p = \pm 0,1 \%$.

Температура дымовых газов во всех каналах определялась при помощи термометра brigon flue gas thermometer (Великобритания). Он монтировался непосредственно на дымоходе и глубина его погружения внутрь канала согласно рекомендациям изготовителя должна составлять от 100 до 400 мм. при экспериментах использовалось максимальное значение – 400 мм. принцип его действия основан на измерении температурного удлинения встроенных металлических датчиков. минимальное деление шкалы термометра составляло 10°C . согласно паспортным данным его диапазон измерений находится в пределах от 0°C до 500°C , а относительная погрешность измерения температуры дымовых газов равна $\Delta_T = \pm 1\%$.

Изменение температуры смеси воды и дымовых газов по высоте фильтрационной кассеты контролировалось в пяти створах при помощи термоэлектрического преобразователя ТХА Метран-231-4-5 (США). Он предназначен для измерения температуры продуктов сгорания жидкого или газообразного топлива в пульсирующем потоке, движущемся со скоростью до 170 м/с и с давлением до 3 МПа. При замерах скорость изменения температуры измеряемой среды может достигать до $150^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. Согласно паспортным данным производителя предел допускаемых отклонений при измерениях составляют $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$.

Для контроля показаний манометров на входе и выходе в фильтрационную кассету и визуального измерения перепада давлений внутри узла обработки дымовых газов ко входу и выходу фильтрационной кассеты были подключены две линии U-образного дифференциального водяного манометра. При измерениях было принято [4], что значение погрешности с учетом перечисленных параметров по миллиметровой шкале не превышало ± 1 мм.

Расход воды, подаваемой и отбираемой из фильтрационной каскады, контролировался при помощи стандартной камерной измерительной диафрагмы типа ДКС. Она устанавливалась во фланцах трубопровода. К ее основным характеристикам относятся: диаметр условного прохода $D_y = 50$ мм; диаметр цилиндрической части отверстия $D_u = 1$ мм; наружный (внешний) диаметр $D = 57$ мм; условное рабочее давление в трубопроводе P_y до 2,5 МПа; погрешность измерений $\Delta_Q = \pm 1,5$ %.

В таблице 2 приведены сводные данные о погрешности результатов натуральных исследований.

Таблица 2. Погрешности измерений при работе судовой энергетической установки

| Наименование погрешности | Величина погрешности |
|---|--------------------------------|
| Абсолютная погрешность определения линейного размера | $\Delta_L = \pm 1$ мм |
| Абсолютная погрешность определения угла наклона | $\Delta_\alpha = \pm 0,1$ град |
| Относительная погрешность определения расхода | $\Delta_Q = \pm 0,5$ % |
| Диапазон измерений состава дымовых газов | См. табл. 1 |
| Относительная погрешность измерений давления дымовых газов | $\Delta_P = \pm 0,1$ % |
| Относительная погрешность измерения температуры дымовых газов | $\Delta_T = \pm 1$ % |
| Абсолютная погрешность дифманометра при определении давления по миллиметровой шкале | $\Delta_{up} = \pm 1$ мм |
| Абсолютная погрешность измерения расхода воды | $\Delta_Q = \pm 1,5$ % |

Во время экспериментальных исследований имели место следующие рабочие параметры дымовых газов и геометрические размеры подводящих линий:

1. Диапазон расхода дымовых газов на входе в установку - от 4000 до 10000 м³/ч (от 1,111 до 2,778 м³/с).
2. Температура дымовых газов в газовом тракте после утилизационного котла - 140 °С.
3. Диаметр цилиндрической части судового дымохода - 1 м.

4. Диаметр входа в фильтрационную колонну - 0,1 м.
5. Внутренние габаритные размеры фильтрационной колонны - длина 1 м; ширина 1 м; высота 2,5 м.
6. Скорость дымовых газов на входе в фильтрационную колонну - от 1,415 до 3,538 м/с.
7. Концентрация NO_x в дымовых газах после утилизационного котла - от 28 до 60 г/кВтч;
8. Концентрация SO_x в дымовых газах после утилизационного котла - от 11 до 29 г/кВтч;

При проведении экспериментальных исследований было изучено, каким образом изменяется температура дымовых газов по высоте фильтрационной колонны судового узла очистки дымовых газов. Замеры производились в пяти измерительных створах, расположенных по высоте рабочей камеры на одинаковых расстояниях (см. рис.2). На рисунке 3 показаны полученные результаты в зависимости от величины объемного расхода подаваемых дымовых газов. Каждая экспериментальная точка соответствует набору из пятидесяти измерений и является результатом их осреднения.

Как и следовало ожидать рост скорости (расхода) дымовых газов на входе в фильтрационную колонну приводил к ухудшению процесса отбора тепла. Сокращение времени контактного взаимодействия приводило к уменьшению разности температур дымовых газов на входе и выходе в установку. Как видно на графике, изменение скорости всего на 2,123 м/с привело к увеличению температуры на выходе с 90 до 98 °С.

В ходе проведения экспериментальных исследований была выполнена оценка степени эффективности очистки дымовых газов от вредных составляющих NO_x и SO_x . На рисунках 4-5 для различных значений площади контакта дымовых газов с водой показаны разности концентраций на входе и выходе из установки. При неизменном значении объемного расхода и одинаковых конструктивных размерах установки различная площадь контакта достигалась изменением размеров газовых пузырьков на входе в фильтрационную кассету.

Следует отметить, что полученные результаты хорошо согласуются с известным качественным результатом - оксиды серы в воде растворяются менее интенсивно, чем оксиды азота [5].

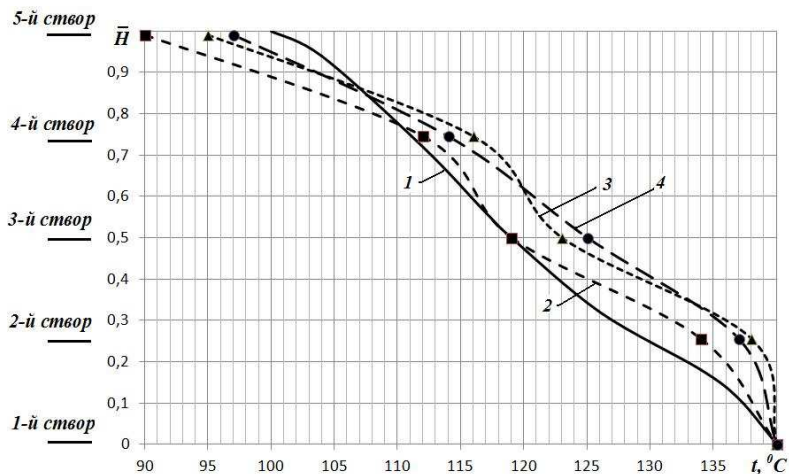


Рис. 3 Распределение температуры по высоте колонны в зависимости от скорости подачи дымовых газов. 1 - расчет; 2 - $V = 1,415 \text{ м/с}$; 3 - $V = 2,739 \text{ м/с}$; 4 - $V = 3,538 \text{ м/с}$.

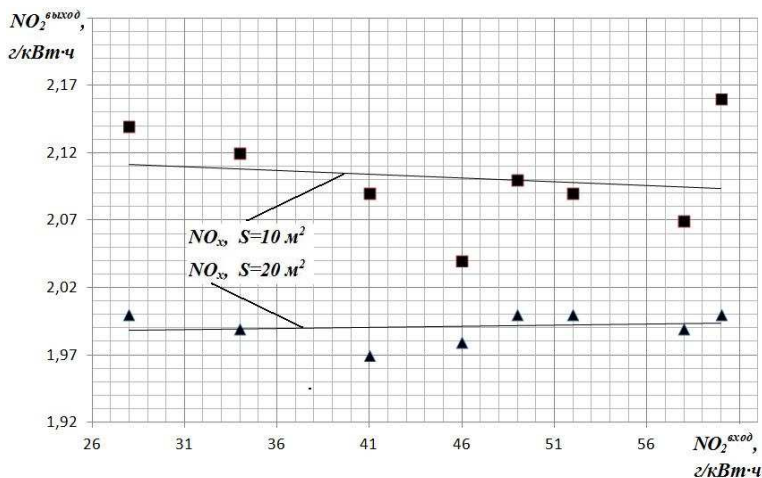


Рис. 4. Падение концентрации NO_x в зависимости от площади контакта

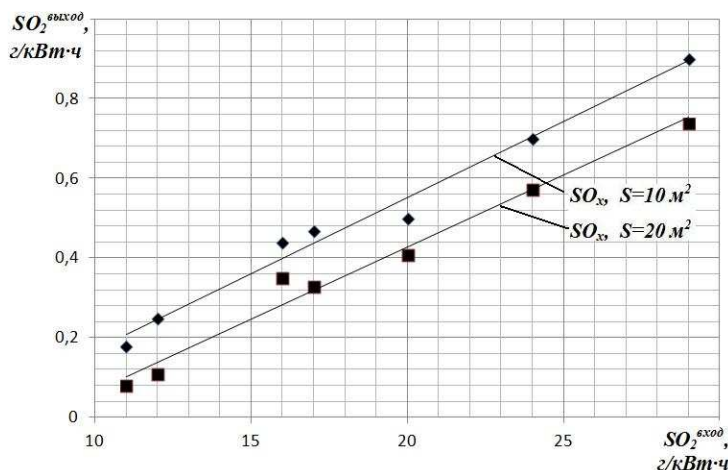


Рис. 5. Падение концентрации SO_x в зависимости от площади контакта

Приведенные на графиках результаты были получены при одних и тех же условиях эксперимента, но при этом их сравнение показывает, что падение концентрации оксидов серы было на 6,7 % меньше по сравнению со случаем изменения концентрации оксидов азота. Подобное расхождение может быть объяснено различными значениями разброса данных при проведении измерений выходной концентрации и спецификой проходящих внутри фильтрационной колонны физико-химических процессов.

Следует отметить, что приведенные на графиках значения площади контакта (10 и 20 м²) являются приближенными, поскольку при проведении исследований принималось, что пузырьки имеют сферическую форму и, что их диаметр равен диаметру отверстий выпускного коллектора, а генерируемое количество определяется расходом дымовых газов. В действительности, как видно на экспериментальных фотографиях, взятых из работы [6] и показанных на рисунке 6 форма воздушного пузырька при подъеме в водяном столбе становится близка к плоской линзе, что в применении к обработке водой дымовых газов может рассматриваться, как положительный результат, приводящий к росту площади контакта.

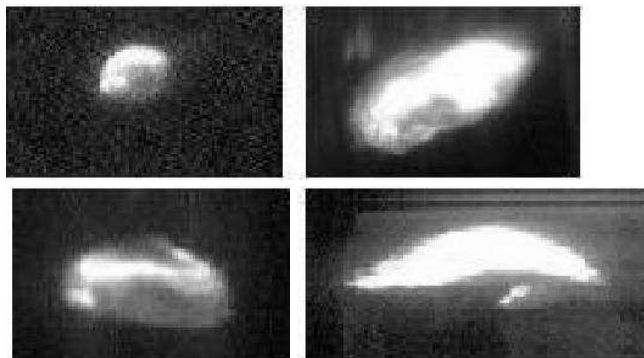


Рис. 6. Трансформация формы воздушного пузырька при всплывании в неподвижной воде [6].

В ходе экспериментальных работ была составлена сводная расходная номограмма для определения числа фильтрационных кассет, которые должны быть задействованы в рабочем процессе. Она показана на рисунке 7, где видно, что процесс запуска установки должен начинаться с величины расхода дымовых газов равной $400 \text{ м}^3/\text{ч}$, а использование фильтрационных кассет необходимо производить ступенчато.

В диапазоне малых расходов от 400 до $4000 \text{ м}^3/\text{ч}$ достаточно работы одной фильтрационной кассеты. В диапазоне от 4000 до $6000 \text{ м}^3/\text{ч}$ необходимо одновременное использование двух кассет с поддержанием одной (третьей) кассеты в резервном состоянии. При расходе дымовых газов от 6000 до $8000 \text{ м}^3/\text{ч}$ необходимо задействовать три фильтрационные кассеты с поддержанием четвертой в не используемом, но резервном и готовом к запуску состоянии. При индикации высокого расхода и увеличивающихся показаний газоанализатора по выбросам NO_x в процесс обработки дымовых газов должны вводиться все четыре кассеты.

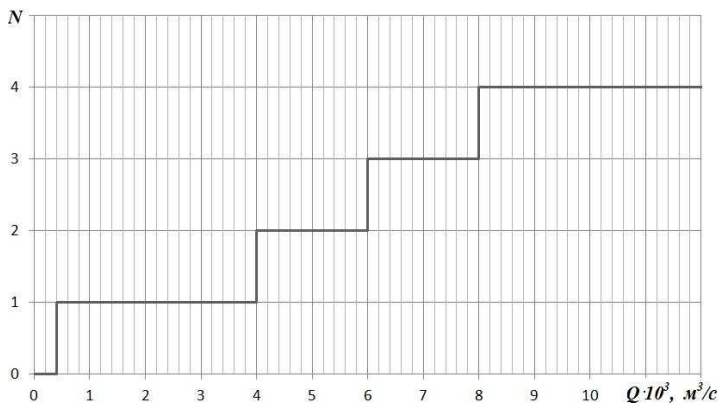


Рис. 7. Зависимость числа работающих фильтрационных кассет от расхода дымовых газов

Приведенные выше результаты были получены путем измерений величины предельной концентрации выбросов, но минимальное число используемых кассет еще также лимитируется величиной окончательной температуры дымовых газов. При работе установки ее предельное значение не должно превышать величину 90°C . На рисунке 8 показана экспериментально полученная зависимость температуры уходящих дымовых газов от числа кассет, участвующих в процессе их обработки.

Анализ рисунков 6 и 7 позволяет сделать однозначный вывод - рациональное снижение температуры и получение нормативных значений выбросов токсичных составляющих в дымовых газах достигается при использовании только четырех фильтрационных кассет. В остальных случаях снижение числа работающих фильтрационных кассет должно определяться текущей производственной необходимостью. Если приоритетом является только очистка дымовых газов от вредных составляющих, то необходимо использовать график на рис. 7, а если важно использовать схему регенерации тепла, то тогда график на рис. 8.

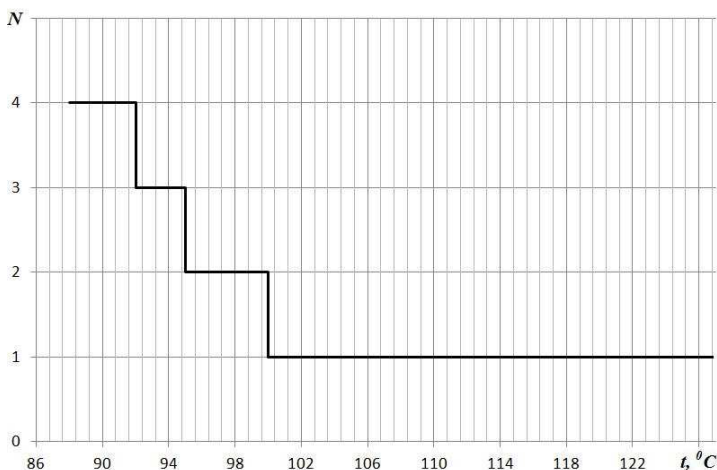


Рис. 8. Зависимость выходной температуры дымовых газов от числа работающих фильтрационных кассет

Выводы

1. Для повышения эффективности процесса обработки судовых дымовых газов необходимо увеличивать поверхность контакта судовых дымовых газов с водой внутри фильтрационной кассеты. Конструктивно это возможно сделать путем генерирования в нижней части кассеты газовых пузырьков максимального диаметра и выбором угла наклона направляющих пластин внутри фильтрационных кассет таким образом, чтобы обеспечить максимально долгий контакт дымовых газов с водой.

2. При изучении изменения температуры дымовых газов по высоте фильтрационной колонны было установлено, что рост скорости (расхода) газового потока на входе в фильтрационную колонну приводил к ухудшению процесса отбора тепла. Сокращение времени контактного взаимодействия приводило к уменьшению разности температур дымовых газов на входе и выходе в установку.

3. При экспериментальной оценке степени эффективности очистки дымовых газов от вредных составляющих NO_x и SO_x было установлено, что при неизменном значении объемного расхода и одинаковых конструктивных размерах установки определяющим фактором является площадь межфазного контакта. Также установлено, что оксиды серы SO_x в воде растворяются менее интенсивно, чем оксиды азота NO_x .

4. Составлена экспериментальная номограмма для определения числа фильтрационных кассет, которые должны быть задействованы в рабочем процессе. Установлено, что процесс обработки дымовых газов должен начинаться с величины расхода равной $400 \text{ м}^3/\text{ч}$, а использование фильтрационных кассет необходимо производить ступенчато:

при малых расходах от 400 до $4000 \text{ м}^3/\text{ч}$ - одна фильтрационная кассета;

при средних расходах от 4000 до $6000 \text{ м}^3/\text{ч}$ – две фильтрационные кассеты;

при больших расходах от 6000 до $8000 \text{ м}^3/\text{ч}$ - три фильтрационные кассеты с поддержанием четвертой в не используемом, но резервном состоянии;

при расходе более $8000 \text{ м}^3/\text{ч}$ или резком увеличении показаний газоанализатора по выбросам NO_x - четыре фильтрационные кассеты.

5. Рациональное снижение температуры и получение нормативных значений выбросов токсичных составляющих в дымовых газах достигается при использовании только четырех фильтрационных кассет. В остальных случаях снижение числа работающих фильтрационных кассет должно определяться текущей производственной необходимостью с использованием полученных номограмм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Международная конвенция MARPOL 73/78.
2. Нунупаров С.М. Предотвращение загрязнения моря судами / С.М. Нунупаров. – М.: Транспорт, 1979. – 336 с.
3. Чистяков С. Ф., Радун Д. В. Теплотехнические измерения и приборы. – М.: Высшая школа, 1972. – 392 с.
4. Эстеркин Р. И., Иссерлин А. С., Певзнер М. И. Теплотехнические измерения при сжигании газового и жидкого топлива. – Л.: Недра, 1981. – 424 с.
5. Flannigan D.J. and Suslick K.S. Molecular and atomic emission during single-bubble cavitation in concentrated sulfuric acid Acoustics // Research LettersOnline.- 2005.-V.6. -№3. - P.157-161.
6. R. M. Davies, G. I. Taylor, “The mechanics of large bubbles rising through liquids in tubes”, Proc. of Roy. Soc., London, 200, Ser. A, pp.375-390, 1950.

УДК 621.12.004.58

Бондарь С.А.
ОНМА

КОРРЕКТИРОВКА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК С ОСТАТОЧНЫМ РЕСУРСОМ МЕТОДОМ АНАЛИЗА РИСКА

К началу 90-х годов на отечественном флоте в основе организации технического обслуживания доминировала система непрерывного технического обслуживания (ТО) и ремонта судовых технических средств.

Основным руководящим документом в этой системе являлся сводный график ТО и ремонта на весь нормативный срок службы, состоящий из нескольких эксплуатационно-ремонтных периодов и ремонтных циклов основных силовых установок, систем и приводов.

В частности, для главных судовых дизельных установок (СДУ) за период (периодичность) ТО или ремонта принимался интервал времени между двумя последовательными видами технического обслуживания или ремонта любого элемента СДУ. Под видом ТО или ремонта понималось техническое обслуживание или ремонт, выделяемый по одному из признаков – этапу периодичности, объему работ и др. Объем и перечень последовательного выполнения ТО дизелей устанавливает завод-изготовитель в зависимости от конструкции дизеля и количества проработанного им времени. В ТО входят: контроль за техническим состоянием, очистка от загрязнений, регулирование зазоров в сопрягаемых деталях, их замена в целях предупреждения недопустимых износов и поломок, устранение возникающих повреждений и их последствий. Все эти работы проводятся в обязательном порядке. Различают ежемесячные, ежегодные и ежедневные технические обслуживания, технические обслуживания № 1, 2, 3, 4 и 5 (ТО-1, ТО-2 и т.д.).

В пароходствах, на базе отчетов по ТО, проводился систематический сбор данных по отказам элементов СДУ, которые доводились до сведения изготовителей с целью улучшения изделий и корректировки системы ТО на судах. Метод ТО «Превентивное техническое обслуживание» (Preventive maintenance) или обслуживание по плану определял ежемесячные, ежегодные и ежедневные ТО (ТО № 1, 2, 3, 4 и т.д.), основанные на план-графиках действий [1].

Начиная с середины 90-х годов значительная часть флота начала

переходить на систему технической эксплуатации (ТЭ), в основу которой положена концепция «Управление техническим состоянием судового оборудования исключительно по фактическому состоянию» (Predictive maintenance).

Не исключая определенную прогрессивность этого направления следует отметить, что из-за стремления судовладельцев сократить издержки в условиях жесткой конкуренции и их ограниченных финансовых возможностей для поддержания флота в должном техническом состоянии объем проводимых профилактических работ зачастую сводится к минимуму и, как правило, устраняются только полученные повреждения и выполняются работы только по выставленным классификационными обществами требованиями по освидетельствованию судна [2].

Основу механизма перевода элементов на систему ТЭ по фактическому состоянию составляют оценка и совершенствование показателей функциональной надежности, разработка нормативной базы диагностических параметров и прогностических моделей вероятности безотказности в процессе ТЭ, что предопределяет серьезный объем работ (в том числе и в судовых условиях) с использованием систем диагностики на базе компьютерной техники.

Видимая экономия средств при переходе на систему эксплуатации и ремонта «по состоянию» стала основным фактором, стимулирующим действия судовладельцев.

В целях сохранения эксплуатационной надежности судна в пределах установленного срока эксплуатации должна быть и скорректирована система ТЭ, с сторону ужесточения прежде всего по тем агрегатам и системам, отказ которых приводит к отказу пропульсивной установки или к опасному ущербу, выраженному в последующих существенных затратах на проведение непланового ТО или ремонта.

Переход к системе ТО «по состоянию» для судов, находящихся в эксплуатации, формально может быть облегчен, если в предыдущий период на них строго выполнялись все элементы ТО по план-графикам и имеются достаточные статистические данные по отказам и трудоемкости работ по возвращению к нормальному функциональному состоянию агрегата или системы.

Для судовых энергетических установок (СЭУ) судов постройки начала 90-х годов, т.е. выработавших примерно половину эксплуатационного периода по ресурсу корпуса, еще характерен так назы-

ваемый период «нормальной эксплуатации», но ближе к началу периода «интенсивного износа» (деградации) в значительной степени начинают проявляться признаки усталостных явлений в деталях и узлах.

Частота аварий главных и вспомогательных двигателей определяется причинами, которые вызывает механический и усталостный износ. Механический износ не является определяющим фактором для возникновения аварий, так как устраняется в эксплуатации заменой деталей, подверженных трению (вкладышей подшипников, поршневых колец и т.д.). Для усталостного износа критической является наработка, при которой достигается предел усталости при действующих нагрузках. Усталостное разрушение может произойти только вследствие экстремальных нагрузок или плохого технического обслуживания.

Гораздо чаще случаются аварии, вызванные поломками механизмов и систем, обслуживающих главные и вспомогательные механизмы (рис. 1). Особенно опасны отказы систем охлаждения забортной водой (из-за опасности затопления машинных отделений и потери хода), а также отказы в топливной системе (из-за потери хода и опасности возникновения пожара).

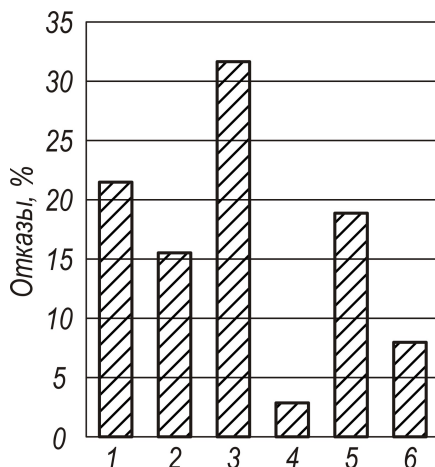


Рис.1. Распределение основных отказов судовых дизелей (суда типа т/х «Измаил») за 15-ти летний эксплуатационный цикл, %:

1 – кривошипно-шатунный механизм; 2 – цилиндро-поршневая группа; 3 – топливная система; 4 – газovýпускная система; 5 – масляная система; 6 – система охлаждения

Обеспечить безаварийную эксплуатацию судна за пределами назначенного ресурса возможно только при проведении обязательных периодических дефектаций систем, замены изношенных трубопроводов и других элементов систем [3]. Кроме того, ввиду отказа в системах охлаждения, топливной и масляной возможна автоматическая аварийная остановка главного двигателя и возникновение аварийной ситуации.

Это подтверждает и более подробный анализ отказов элементов этих систем (рис. 2).

На базе обработки статистических данных машинных журналов был произведен расчет параметров потока отказов за 15-ти летний период эксплуатации судна через каждые пять лет. Результаты данных расчетов приведены в таблице 1. По результатам таблицы 1 построены номограммы распределения параметра потока отказа $\omega_i(t)$ за различные периоды эксплуатации СЭУ (рис. 3). Отметим, что значения $\omega_i(t)$ за разные эксплуатационные циклы дают хорошую сходимость с величиной общего параметра потока отказов за весь эксплуатационный цикл $\omega_{\Sigma}(t)$, которое может быть определено по выражению

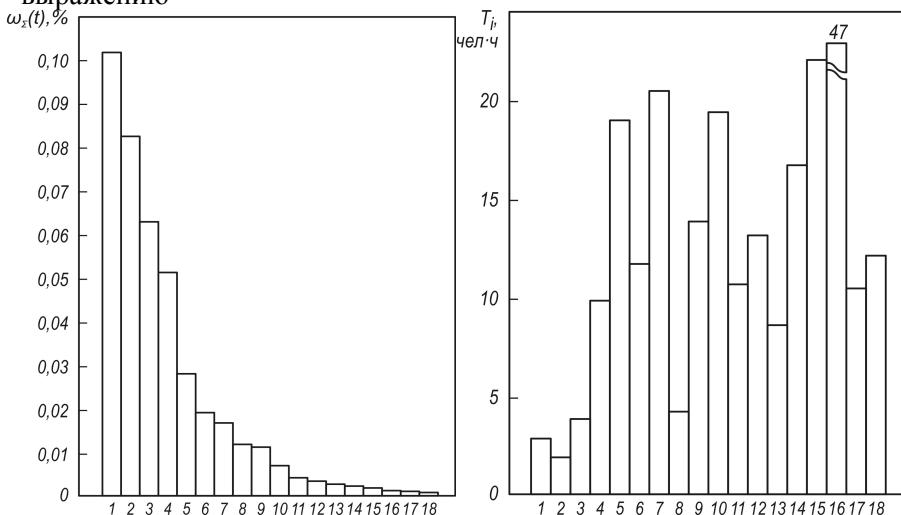


Рис. 2. Параметры потоков отказов $\omega_i(t)$ и ранги трудоемкости устранения отказов T_i основных узлов среднеоборотного дизеля R32 (т/х типа «Измаил») за 15-ти летний эксплуатационный цикл:

1- форсунки; 2 - соединения и уплотнения; 3 - топливные насосы высокого давления; 4 - регулятор; 5 - распределительный вал; 6 - мотылевые подшипники; 7 - клапаны газораспределения; 8 - трубопроводы высокого давления; 9 - цилиндрические крышки; 10 - газотурбонагнетатель; 11 - цилиндрические втулки; 12 - воздухоохладитель; 13 - система топливоподготовки; 14- поршни и поршневые кольца; 15 - рамовые подшипники; 16 - редуктор; 17 - упорный подшипник; 18 - маслоохладитель

Таблица 1. Определение параметра потока отказов $\omega_i(t)$

| Контролируемый параметр (согласно с нумерацией на рис.2) | Параметра потока отказов $\omega_i(t)$, % за различный период эксплуатации, годы | | | Величина $\omega_{\Sigma}(t)$ за весь период эксплуатации |
|--|---|---------|---------|---|
| | 1÷5 | 6÷10 | 11÷15 | |
| 1 | 0,074 | 0,083 | 0,096 | 0,105 |
| 2 | 0,058 | 0,072 | 0,079 | 0,0845 |
| 3 | 0,037 | 0,043 | 0,052 | 0,053 |
| 4 | 0,035 | 0,042 | 0,049 | 0,051 |
| 5 | 0,021 | 0,024 | 0,028 | 0,029 |
| 6 | 0,015 | 0,016 | 0,019 | 0,021 |
| 7 | 0,013 | 0,014 | 0,017 | 0,018 |
| 8 | 0,01 | 0,011 | 0,013 | 0,014 |
| 9 | 0,0095 | 0,01 | 0,012 | 0,0135 |
| 10 | 0,0062 | 0,0065 | 0,007 | 0,0085 |
| 11 | 0,0037 | 0,0043 | 0,0052 | 0,0053 |
| 12 | 0,0025 | 0,0028 | 0,0032 | 0,0035 |
| 13 | 0,0022 | 0,0025 | 0,0029 | 0,0032 |
| 14 | 0,0021 | 0,0022 | 0,0027 | 0,0030 |
| 15 | 0,00195 | 0,00205 | 0,0022 | 0,0027 |
| 16 | 0,0016 | 0,00175 | 0,0019 | 0,0022 |
| 17 | 0,00097 | 0,00104 | 0,00113 | 0,00135 |
| 18 | 0,00066 | 0,00068 | 0,00074 | 0,0091 |

$$\omega_{\Sigma}(t) = \sum_1^i \left(\omega_i(t) \frac{i+\sqrt{i}}{i^i} \right),$$

где i –цикл проведения измерений.

Тогда, для рассмотренного периода эксплуатации и трех циклов определения $\omega_{\Sigma}(t)$ (за 1÷5, 6÷10, 11÷15 годы), получим выражение

$$\omega_{\Sigma}(t) = \omega_1(t) + \omega_2(t) \frac{\sqrt[3]{2}}{2^2} + \omega_3(t) \frac{\sqrt[4]{3}}{3^3}.$$

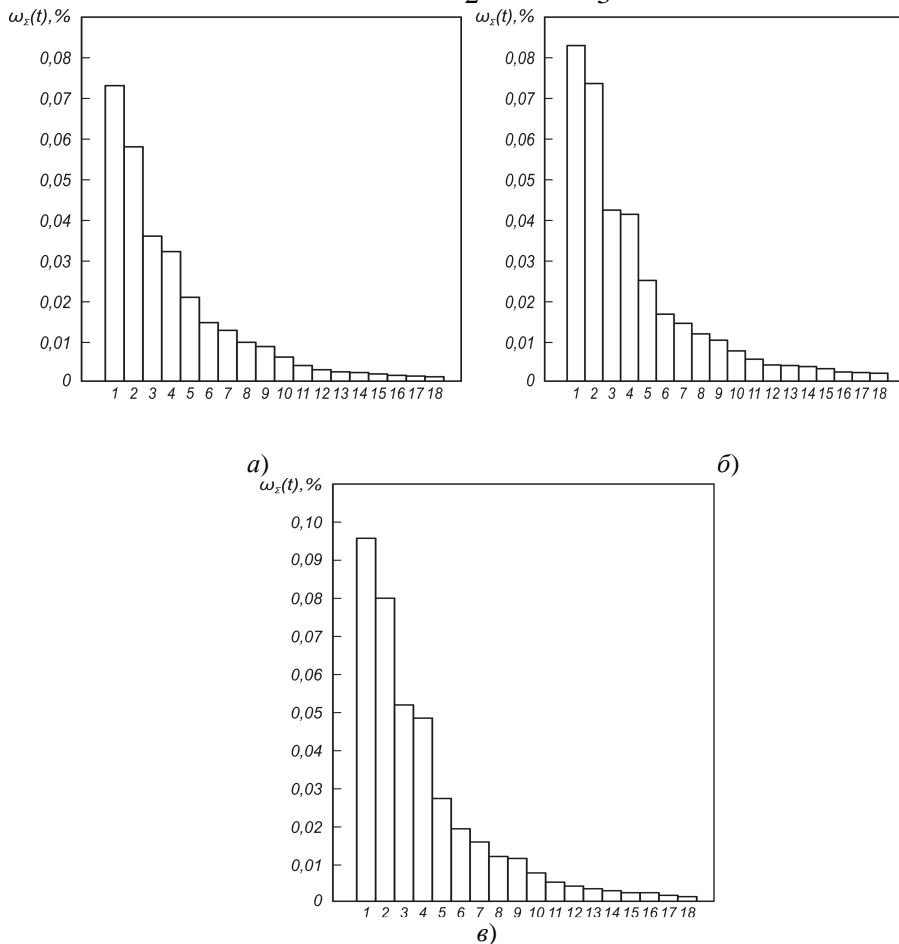


Рис. 3. Параметры потоков отказов $\omega_i(t)$ за различный эксплуатационный период работы СЭУ: а) 1÷5 годы; б) 6÷10 годы; в) 11÷15 годы
 1- форсунки; 2 - соединения и уплотнения; 3 - топливные насосы высокого давления; 4 - регулятор; 5 - распределительный вал; 6 - мотылевые подшипники; 7 - клапаны газораспределения; 8 - трубопроводы высокого давления; 9 - цилиндрические крышки; 10 - газотурбонагнетатель; 11 - цилиндрические втулки; 12 – воздухо-охладитель; 13 - система топливоподготовки; 14- поршни и поршневые кольца; 15 - рамовые подшипники; 16 - редуктор; 17 - упорный подшипник; 18 - маслоохладитель

С целью исключения субъективного подхода к изменению (уже-сточению) существующей системы ТО или перехода к системе «по состоянию» для СЭУ с остаточным ресурсом следует применить процедуру «Руководства формализованной оценки безопасности (FSA – Formal Safety Assessment), направленную на повышение безопасности морского судоходства. FSA – это инструмент (предписание) для разработки Правил ИМО на основе оценки риска, связанного с судоходством, утвержденный в 2002 г. Комитетом по безопасности на море (MSC) и комитетом по защите окружающей среды (MERC).

Формальная оценка безопасности (ФОБ) – системный подход к оценке риска, который возникает в морской практике, а также к оценке связанных затрат и выгод от альтернативных решений, которые могут рассматриваться для понижения уровня риска. ФОБ предполагает следующие этапы:

- идентификация опасностей;
- анализ риска;
- способы управления риском;
- оценка стоимости и экономии при принятии способов управления риском.

Инструмент ФОБ (FSA) основан на заблаговременных действиях и представляет собой структурированный метод, позволяющий определить потенциально опасные ситуации заранее, до возникновения аварии с тем, чтобы после этого оценить величину риска, провести оценку затрат и выгод, связанных с применением возможных вариантов управления рисками и, на основании систематизированного анализа, принять обоснованные решения по снижению величины риска.

Количественную оценку риска возникновения аварийной ситуации предлагается определять как связь между элементом СЭУ и экономическими показателями по его недопущению, т.е. необходимо оценить «стоимость безопасности» отказа для судна. Например, в работе [4] предложена формула

$$R = \sum P_i \cdot \left(\sum a_{ik} \cdot C_k \right),$$

где P_i – вероятность наступления рискованного события;

C_k – стоимость k -го последствия аварии (величина потерь);

i – категория опасности; k – категория ущерба (потерь);

a_{ik} – весовой коэффициент k -го последствия при воздействии i -ой опасности.

Вероятность наступления рискованного события P_i обычно оценивается статистическими данными об отказах СЭУ за определенный период времени с последующим распространением этих данных на будущий срок эксплуатации.

Для главного двигателя и систем охлаждения, топливной и масляной возможно установить следующие категории ущерба:

- критический ущерб – авария судна или как минимум вывод его из эксплуатации на аварийный ремонт, что является недопустимым риском;

опасный ущерб – выполнение непланового ТО или ремонта главного двигателя в объеме, превышающем резерв бюджета обслуживания СЭУ, что понимается как высокий риск;

- существенный ущерб – выполнение непланового ТО или ремонта других систем СЭУ в объеме, превышающем резерв бюджета обслуживания энергетической установки, что является умеренным риском;

- значительный ущерб – ущерб, не превышающий резерв бюджета обслуживания энергетической установки, что является низким риском.

Соответственно, план работы по ТО вводимой системы должен учитывать не только требования инструкций заводов-изготовителей, но и включать работы, имеющие максимальные риски – недопустимый и высокий.

Принципиальная схема управления риском в системе ТО для СЭУ с остаточным ресурсом приведена на рис.3.

- Представленная схема позволяет предположить три метода управления риском в системе ТО для СЭУ с остаточным ресурсом.

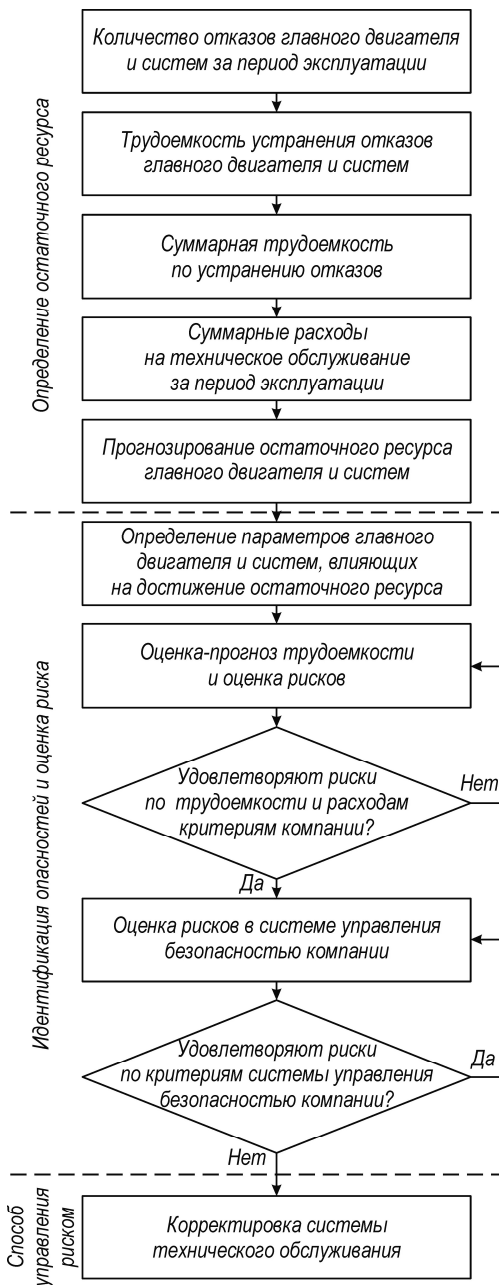


Рис. 3. Схема управления рисками

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никитин А.М. Определение параметров матрицы рисков для формирования и совершенствования системы технического обслуживания судовой энергетической установки // Эксплуатация морского транспорта, науч.-техн. сб. – 2010, № 1 (59). – СПб.: ГМА им. адм. С.О. Макарова. – С.51-54.
2. Горб С.И., Горб А.С. Оценка рисков в техническом менеджменте судов // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2012. – Вып. 18. Одесса: ОНМА. – С. 13 – 22.
3. Голиков А.А., Дмитриев М.Н. Совершенствование технической эксплуатации судовой энергетической установки посредством метода управления риском // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2005. – Вып. 12. – Одесса: ОНМА. – С. 94 – 102.
4. Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска. – СПб.: Судостроение, 2007. – 384 с.

УДК 536.24:621.791.55

Лебедев Б. В., Байковский Д.В.
ОНМА

УТОЧНЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ЗНАЧЕНИЯ НЕОБХОДИМОЙ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ ЭКЗОТЕРМИЧЕСКОГО СТЕРЖНЯ ПРИ НАПЛАВКЕ

Важнейшим параметром, определяющим качество сварочных операций (к которым относится и наплавка) является достижение температуры плавления основного металла.

Для осуществления процесса сварки или наплавки необходимо подвести к зоне наплавки определенное количество энергии, достаточное для нагрева и, возможно, частичного расплавления основного материала и для компенсации тепловых потерь.

В случае электрической наплавки необходимая мощность обеспечивается источником питания, который в принципе может обеспечить любую необходимую мощность.

В случае же использования экзотермических средств, их мощность должна быть определена заранее как можно точнее, так как от значения мощности будет зависеть состав экзотермического стержня его габариты и цена. Нагрев основного металла в этом случае осуществляется только теплопередачей со стороны присадочного металла, поступающего в рабочую зону (зону сварки или наплавки) в жидком состоянии.

На первом этапе теоретических исследований тепловую мощность рассчитывали, используя классические представления, изложенные в работе «Теория теплопроводности» [1] т. е. рассматривая процесс нагрева поверхности детали некоторым сосредоточенным источником тепла, с учетом КПД процесса теплообмена, который, в свою очередь определяется коэффициентами теплового влияния [2]:

$$\varepsilon = \sqrt{\lambda \cdot C \cdot \rho} \frac{K^2}{K \cdot c^{2,5}} \quad (1)$$

Здесь: λ – коэффициент теплопроводности;

C – теплоемкость материала;

ρ – плотность материала.

Тогда КПД:

$$\eta = \frac{\varepsilon_T}{\varepsilon_T + \varepsilon_M} \quad (2)$$

Уже на этапе предварительных расчетов выяснилось, что термитные стержни системы Fe - сталь, имеющие обычную длину 150 - 200 мм, при наиболее распространенных скоростях горения 5 - 8 мм/с не могут обеспечить разогрев свариваемого металла до необходимой температуры за время своего горения, в результате чего сварка невозможна. То есть, не применимы для производства сварки или наплавки, дальнейшие экспериментальные исследования проводились только с использованием составов выделяющих медные сплавы.

Однако, экспериментальные исследования по производству наплавки тонких слоев присадочного металла на массивные стальные детали (валы) показали, что рассчитанная мощность недостаточна, для получения качественной наплавки.

Цель дальнейших исследований – состояла в определении причины расхождений теоретической и экспериментальной потребной тепловой мощности.

Основными задачами исследования являются:

1. Определение количественной погрешности теоретической формулы.

2. Определение причины погрешности.

3. Корректировка формулы и получение хорошей сходимости теоретических и экспериментальных исследований.

В общем случае определение мощности теплового источника при проведении сварочной (наплавочной) операции, сводится к определению потребителей тепла и той тепловой мощности, которую они способны поглотить.

Как уже отмечалось - для производства качественной сварочной операции необходимо разогреть поверхность свариваемой или наплавляемой детали до температуры плавления. При этом надо учитывать теплообмен между деталью и окружающей средой.

В общем случае теплоотдача окружающей среде осуществляется одновременно тремя способами: теплопередача внутри тела, конвективная теплоотдача от тела непосредственно в окружающую среду и лучистая теплоотдача. При различных условиях теплообмена влияние каждой из этих составляющих весьма различно.

Таким образом:

$$Q_{св} = Q_{к} + Q_{т} + Q_{л} \quad (3)$$

Здесь:

$Q_{св}$ – тепловая мощность источника тепла;

Q_k - конвективная теплоотдача;

Q_m - тепловой поток, отводимый теплопроводностью внутри тела;

Q_l - теплоотдача излучением.

Однако тепловой поток внутри тела будет иметь место только на первом, нестационарном этапе теплового взаимодействия, пока идет нагрев пластины, при достижении теплового равновесия тепловой поток, отводимый теплопроводностью, иссякает, и, если речь идет об установившемся режиме, со стабильной зоной теплового насыщения, практически равен 0.

Таким образом, приведенное выше выражение упрощается:

$$Q_{св} = Q_k + Q_l \quad (4)$$

Теплоотдачу от поверхности равномерно нагретого тела можно выразить как:

$$Q = \int_F \alpha \cdot \Delta t dF, \quad (5)$$

здесь: F – полная площадь теплоотдачи со стороны тела;

Δt – разность температур в каждой точке на поверхности пластины и окружающей среды;

α - коэффициент теплоотдачи;

Если допустить, что пластина нагрета равномерно, т. е.

$$\Delta t = const = t_{нов} - t_{ср.},$$

то конвективная теплоотдача может быть выражена уравнением:

$$Q = F_{пл} \cdot \alpha \cdot (t_{нов} - t_{ср}), \quad (6)$$

здесь: $F_{пл}$ – полная площадь теплоотдачи пластины;

$t_{нов}$ – температура на поверхности пластины;

$t_{ср}$ – температура окружающей среды;

α - коэффициент теплоотдачи, который можно выразить как:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_в}{l} \quad (7)$$

Здесь: $\lambda_в$ - теплопроводность воздуха;

l – характерный размер – $l = \sqrt{F_{пл}}$

Nu – критерий теплового подобия Нуссельта - безразмерный комплекс, наиболее полно описывающий условия теплопередачи от нагретого тела окружающей среде, являющийся в свою очередь производным от критериев Грассгофа и Прандтля.

$$Nu = 0.51 \cdot \sqrt[4]{Gr \cdot Pr} = 0.51 \cdot \sqrt[4]{\frac{g \cdot l^3 \cdot \beta \cdot (t_{nl} - t_{cp})}{a \cdot \nu}} \quad (8)$$

ν – кинематический коэффициент вязкости окружающей среды [м²/с]

a – коэффициент температуропроводности окружающей среды [м²/с]

g – ускорение свободного падения [м/с²];

β – коэффициент объемного расширения [1/К]..

Коэффициент теплоотдачи тогда:

$$\alpha = 0.51 \cdot \sqrt[4]{\frac{g \cdot l^3 \cdot \beta \cdot (t_{nl} - t_{cp})}{a \cdot \nu}} \cdot \frac{\lambda_{\text{с}}}{l} = 0.51 \cdot \sqrt[4]{\frac{g \cdot \beta \cdot \lambda_{\text{с}}^4 \cdot (t_{nl} - t_{cp})}{a \cdot \nu \cdot l}} \quad (9)$$

Это выражение удовлетворительно описывает только теплоотдачу с равномерно нагретой поверхности.

Однако, температура изменяется, уменьшаясь от источника.

Тогда избыточную температуру поверхности в какой-либо точке на расстоянии x от источника тепла можно выразить:

$$\Theta = \Theta_0 \cdot \frac{ch[m \cdot (l - x)]}{ch(m \cdot l)} \quad (10)$$

где: $\Theta_0 = t_{\text{ист}} - t_{cp}$ – избыточная температура в точке контакта источника теплоты с поверхностью пластины (для данных условий температура в точке контакта приравнивается к температуре плавления материала пластины);

$$m = \sqrt{\frac{\alpha \cdot u}{\lambda \cdot f}}$$

здесь: $u = 2 \cdot (\delta_{\square} + h)$

$f = \delta_{\square} \cdot h$

Единица измерения m — [1/м].

Количество теплоты, которое отдает пластина окружающей среде:

$$Q = \sqrt{\lambda \cdot f \cdot \alpha \cdot u} \cdot \Theta_0 \cdot th(m \cdot l) \quad (11)$$

Теплоотдача излучением.

Выражение, описывающее теплоотдачу предложено С. Н. Шориным

$$q_R = \frac{\sigma_0 (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 + \tau_0} \quad (12)$$

здесь σ_0 – постоянная ($C_0 = 5,6699 \cdot 10^{-8}$ Вт/($K^4 \cdot m^2$));
 ε_1 и ε_2 – степень черноты поверхностей теплообмена;
 T_1 и T_2 – абсолютные температуры поверхностей теплообмена;
 τ_0 – оптическая толщина слоя.

Таким образом можно получить общее выражение для расчета энергетической мощности точечного источника тепла используемого при наплавке:

$$Q_{\tau} = 0.51 \cdot \sqrt[4]{\frac{g \cdot \beta \cdot \lambda_e^4 \cdot (t_{nl} - t_{cp})}{a \cdot v \cdot l}} \cdot E_p \cdot F_{nl} \cdot (t_{nos} - t_{cp}) + F_{nl} \cdot \frac{\sigma_0 (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad (13)$$

Было установлено, что это выражение не полностью учитывает количество тепла, необходимое для сварки, поскольку в нем отсутствует составляющая расплавления поверхностей свариваемых деталей для чего естественно необходимо затратить определенное количество тепла. Эта составляющая может быть оценена по выражению:

$$Q = \frac{D \cdot L \cdot h \cdot \rho}{\tau_{св}} \cdot [(T_{плав} - T_{nl}) \cdot C + \Delta H] \quad (14)$$

где: D – диаметр термитного стержня,
 L – длина шва,
 h – глубина проплавления основного металла,
 ρ – плотность основного металла,
 τ – время сварки,
 $T_{плав}$ – температура плавления основного металла,
 C – теплоемкость основного металла,
 ΔH – теплота плавления основного металла.

Что позволило получить формулу адекватно описывающую тепловую мощность источника.

Общая потребная мощность теплового источника с учетом тепловых потерь и расплавления кромок составит:

$$\begin{aligned}
 Q_{\tau} = & 0.51 \cdot \sqrt[4]{\frac{g \cdot \beta \cdot \lambda_g^4 \cdot (t_{пл} - t_{сп})}{a \cdot \nu \cdot l}} \cdot E_p \cdot F_{пл} \cdot (t_{нов} - t_{сп}) + \\
 & + F_{пл} \cdot \frac{\sigma_0 (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} + \\
 & + \frac{D \cdot L \cdot h \cdot \rho}{\tau_{св}} \cdot [(T_{плав} - T_{пл}) \cdot C + \Delta H]
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

Рис. 1. иллюстрирует полученные результаты.

Как видно, особенно заметны расхождения с предыдущими расчетами в области наплавки тонких слоев, в том случае, когда поверхность теплоотдачи велика, а толщина наплавляемого металла, а, следовательно, его масса – относительно мала.

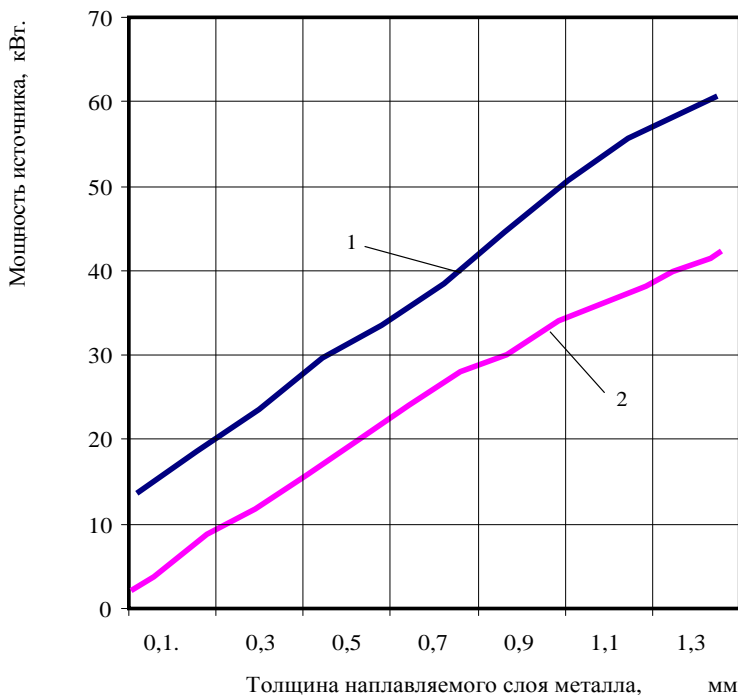


Рис. 1. Значения необходимой мощности теплового источника с учетом количества теплоты, затрачиваемой на расплавление металла при наплавке –1 и без учета –2

Вывод: скорректированная формула, дает возможность адекватно рассчитывать тепловую мощность экзотермического стержня при проведении операций сварки и наплавки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лыков А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков - М.: Высшая школа, 1967. - 600 с.

2. Лебедев В. Г. Шлифование зубчатых колес абразивными, алмазными и эльборовыми кругами / В. Г. Лебедев– Киев: Техника, 1973. 48 с.

3. Лебедев Б. В. Определение энергетических характеристик технологических экзотермических смесей // Холодильна техніка і технологія. – Одеса: ОГАХ, 2008. - № 3. – С. 34 – 37.

4. Лебедев Б. В. Теоретическая модель процесса теплообмена сгорающего экзотермического стержня и металлической пластины при резке под водой. // Проблемы техники. – Одесса: ОНМУ, 2008 № 3. – С. 22 – 31.

Лебедев Б. В. Применение энергонезависимых паяльно-сварочных средств при восстановлении деталей транспорта наплавкой. // Проблемы техники. – Одесса: ОНМУ 2012 Вып. 3. С. 60-67.

УДК 629.12.565.3

Молодцов Н.С., Журавлёв Ю. И.
ОНМА**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОЛЕНЧАТОГО
ВАЛА ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ, РАЗРАБОТАННЫХ В
MATHCAD**

Нагрузка на коленчатый вал поршневого двигателя в условиях эксплуатации, как правило, носит случайный характер, так как большую часть времени двигателя эксплуатируются на неустановившихся режимах. Кроме того, характеристики сопротивления усталости материалов, из которых изготавливаются коленчатые валы, также являются случайными величинами. Поэтому трактовка условий прочности должна основываться на вероятностных представлениях [1].

Большинство конструктивных элементов судна работает в условиях циклического нагружения, что создает благоприятные условия для развития усталостных трещин.

Анализ результатов разрушения коленчатых валов в условиях эксплуатации свидетельствует, что наибольшее их количество происходит по щеке с зарождением усталостной трещины в галтели сопряжения шатунной шейки и щеки в плоскости кривошипа. Основной причиной таких поломок является высокая концентрация напряжений в галтелях.

На рис. 1 показан излом вала. Видно, что излом типичен для усталостного разрушения и имеет фокусы излома (1-3) - очаги зарождения трещин, зону излома (4), участок ускоренного развития трещины и зоны долома (5).

Весь процесс развития усталостного разрушения не может быть описан одним критериальным уравнением. Большинство существующих критериев базируются на зависимостях теории линейной механики разрушения, которая не может быть применена к описанию кинетики роста малых трещин [4-6].

Законы линейной механики разрушения справедливы только для линейного участка (участок III, рис. 2) S-образной кривой скорости роста трещины.

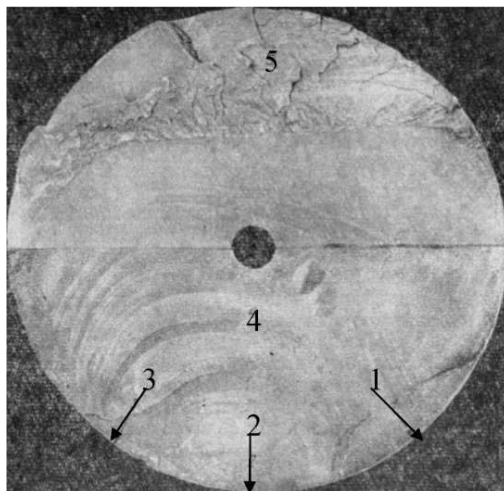


Рис. 1 Излом вала

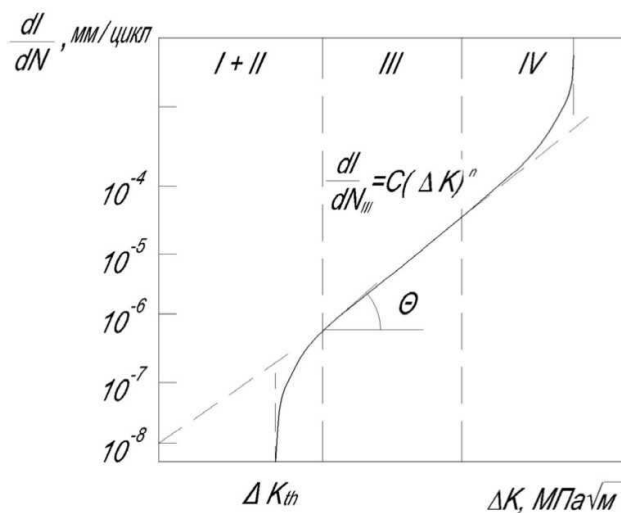


Рис. 2 Кривая скорости роста трещины (S-образная диаграмма).

Рост трещины является стадийным процессом, однако деление этого процесса на стадии различно. Одним из таких вариантов является следующий [7]:

- первый этап - число циклов нагружения, которым подвергается элемент конструкции, вплоть до возникновения в нем малой тре-

щины, способной развиваться;

- второй этап - число циклов нагружения, в течение которых возникшие малые трещины развиваются вплоть до появления макротрещины;

- третий этап - число циклов нагружения, в течение которых происходит развитие макротрещин вплоть до разрушения конструктивного элемента.

Весь процесс усталостного разрушения углеродистых сталей можно разделить на несколько стадий:

$$N_p = N_i + N_{ii} + N_{iii} + N_{iv}$$

где N_p - общая долговечность элемента конструкции; N_j - число циклов, соответствующее зарождению микротрещин и их росту в пределах одного зерна микроструктуры; N_{ij} - число циклов, соответствующее развитию трещины от размеров, соответствующих диаметру зерна, до появления макротрещины; N_{jij} - число циклов, соответствующее развитию макротрещины; N_{jy} - число циклов, соответствующее процессу долома.

Первая стадия усталостного разрушения связана с зарождением микротрещины и ее ростом в пределах одного зерна микроструктуры материала, в данном случае речь идет о микротрещине порядка одного - двух десятков микрометров, и для каждого конкретного материала будет определяться средним диаметром зерна микроструктуры.

Вторая стадия - стадия развития малой трещины, как показывает практика [5,8], именно на вторую стадию усталостного разрушения приходится порядка 40 - 60% общей долговечности, а для некоторых материалов эта цифра может доходить до 80 - 90% [20]. При этом наблюдаются скачкообразное изменение скорости трещин, что связано с влиянием барьеров микроструктуры на рост трещин. Размеры трещин на второй стадии достигают порядка 0,5 - 1 мм, что соответствует возможности обнаружения при помощи цветной или магнитной дефектоскопии.

Третья стадия, которая, как правило, также является довольно длительной, связана с процессом развития макротрещины, т.е. трещины, на рост которой не оказывают влияние микроструктурные барьеры, и описывается уравнениями линейной механики разрушения. Трещины на данной стадии, как правило, видимы невооруженным взглядом и могут иметь различные размеры, в зависимости от

габаритов и геометрических параметров исследуемого конструктивного элемента.

Четвертая стадия связана с процессом усталостного долома конструктивного элемента, данная стадия может протекать очень быстро, практически мгновенно. Возможно отсутствие четвертой стадии для некоторых материалов или конструктивных элементов с определенными геометрическими параметрами и режимами эксплуатационных нагрузок, при этом характерно отсутствие второго вертикального участка на кривой скорости роста трещины (рис. 2).

Таким образом, можно отметить, что для ряда ответственных деталей и конструктивных элементов (таких как коленчатые валы) морских судов, эксплуатация которых с наличием трещин запрещается согласно требованиям морского регистра судоходства, наиболее актуальным является вопрос определения продолжительности протекания первой и второй стадий, а не вопрос прогнозирования общей долговечности элемента. Поэтому для вопроса обеспечения безопасности работы морских судов особенно важно изучение процесса зарождения и роста именно малых трещин. Наличие в коленчатом вале макротрещины, рост которой описывается посредством линейной механикой разрушения, позволяет сделать вывод, о необходимости срочной замены такого вала.

Необходимо учесть, что зарождение трещины в галтелях в сечении перехода от шатунной шейки к щеке возникают максимальные напряжения не только при изгибе, но и при кручении. На рис. 3 и 4 приведены графики эффективных коэффициентов концентрации напряжений при изгибе и кручении с учетом влияния абсолютных размеров сечения $(K_{\sigma})_D = K_{\sigma} / \varepsilon_{\sigma}$ и $(K_{\tau})_D = K_{\tau} / \varepsilon_{\tau}$ в зависимости от отношения радиуса галтели к толщине щеки h или диаметру шейки d . Здесь K_{σ} и K_{τ} - эффективные коэффициенты концентрации напряжений при изгибе и кручении; ε_{σ} и ε_{τ} - коэффициенты влияния абсолютных размеров также при изгибе и кручении.

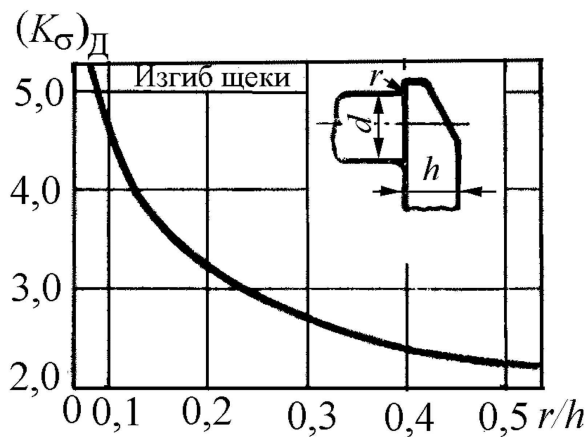


Рис. 3. Эффективные коэффициенты концентрации напряжений для коленчатых валов при изгибе щеки с учетом влияния абсолютных размеров сечения

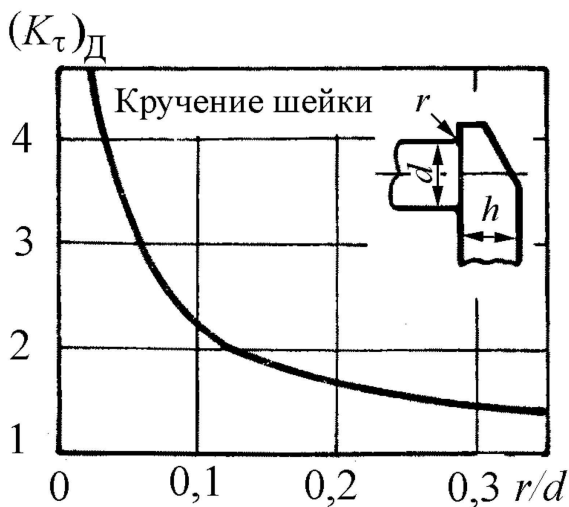


Рис. 4. Эффективные коэффициенты концентрации напряжений для коленчатых валов при кручении шейки с учетом влияния абсолютных размеров сечения

Для расчета коэффициентов предложены модели [3]:

$$(K_{\sigma})_{Д} = 1,6878 \cdot [(r/h) - 0,05338]^{0,3333}$$

и

$$(K_{\tau})_{Д} = 0,4599 \cdot 3,1207^{(r/d)} (r/d)^{-0,6487}$$

Поломки при кручении часто начинаются с трещин, возникающих в зоне отверстия для смазки шейки вала или в зоне галтелей из-за крутильных колебаний. В этих случаях разрушение проходит по сечению шейки.

Усталостная долговечность коленчатого вала измеряется числом циклов нагружения до появления трещины определённого размера или полного разрушения. Поломки в условиях эксплуатации происходят, в основном от действия циклического переменного изгибающего момента.

При нагружении каждого кривошипа чистым изгибом в его плоскости с моментом $M_{изг}$ разрушение должно произойти по сечению наименьшей жесткости - от галтели сопряжения шатунной шейки со щекой с выходом на галтель сопряжения коренной шейки и щеки.

Для получения кривой выносливости в логарифмических координатах $lgN - lgM_{max}$ (рис. 5) (N - число циклов нагружения до разрушения коленчатого вала; M_{max} - максимальное значение изгибающего момента, он же равен амплитудному значению, так как изгиб происходит по симметричному циклу) необходимо провести испытания коленчатого вала не менее чем на трёх уровнях нагружения, что позволит определить значение M_{max} в точке перелома усталостной кривой при числе циклов $N_0 = 10^6 \dots 10^7$. В данном случае в качестве детерминированной модели усталостной долговечности для коленчатого вала принимается зависимость [1]:

$$M_{max i}^m \bar{N}_i = C, \quad (1)$$

где $M_{max i}^m$ - амплитуда или максимальный изгибающий момент при действии переменных напряжений; \bar{N}_i - среднее число циклов до разрушения; C и m - параметры элемента конструкции, зависящие от материала, технологии изготовления и ряда других факторов.

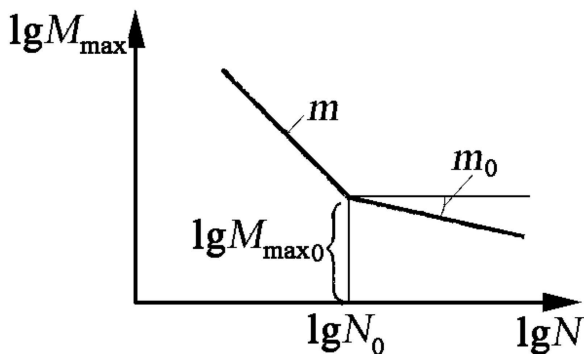


Рис. 5. Кривая выносливости в логарифмических координатах

По данным экспериментальных исследований [2, 3] для коленчатого вала, изготовленного из стали 45Х, дизеля Д-144 значения $m = 5,93$ и $C = 6,14 \cdot 10^{16}$.

Для определения ресурса коленчатого вала в часах предположим, что за время t_i работы двигателя в условиях эксплуатации на одном из режимов, характеризуемом величиной крутящего момента M_{maxi} и угловой скоростью вращения вала ω_i в течение всего срока службы (до разрушения) T , на него будет произведено n_i циклов нагружения, которое для четырехтактных двигателей равно:

$$n_i = \frac{30\omega_i}{2\pi} 60t_i = \frac{900\omega_i}{\pi} f_i T, \quad (2)$$

где $t_i = f_i T$; f_i - плотность вероятности работы на данном режиме.

Из уравнения (1) кривых выносливости $lg N - lg M_{max}$ коленчатого вала определяем количество циклов нагружения, необходимое для его разрушения, из равенства; $M_{maxi}^m N_i = M_{max0}^m N_0$,

$$N_i = \left(\frac{M_{max0}^m}{M_{maxi}^m} \right)^m N_0, \quad (3)$$

где M_{maxi} - амплитуда максимального изгибающего момента при i -м режиме нагружения.

Таким образом, за время t_i коленчатым валом будет накоплена определенная мера повреждения:

$$\frac{n_i}{N_i} = \frac{900\omega_i f_i T}{\pi \left(\frac{M_{\max 0}}{M_{\max i}} \right)^m \cdot N_0} \quad (4)$$

Согласно корректированной линейной гипотезе накопления усталостных повреждений, разрушение вала произойдет тогда, когда сумма накопленных повреждений будет равна:

$$\sum_{i=1}^{i=k} \frac{n_i}{N_i} = \frac{900T}{\pi \cdot N_0} \sum_{i=1}^{i=k} \omega_i f_i \left(\frac{M_{\max 0}}{M_{\max i}} \right)^m = a_p \quad (5)$$

где k - режимы работы двигателя в условиях эксплуатации.

Следуя [7, 8] и учитывая, что напряжения заменены предельными изгибающими моментами, величина a_p при стендовых ускоренных испытаниях [1] определяется также по формуле

$$a_p = \frac{\xi M_{\max i} - 0,5M_{\max 0}}{M_{\max i} - 0,5M_{\max 0}} \quad (6)$$

$$\xi = \sum \frac{M_{\max i}}{M_{\max 0}} \cdot \frac{v_{0i}}{v_m} \quad (M_{\max i} > 0,5M_{\max 0}), \quad (7)$$

где $v_m = \sum_{i=1}^{i=k} v_{0i}$ - общее число циклов нагружения; v_{ai} - число циклов повторения амплитуд $M_{\max i}$ в блоке нагружения.

При использовании ограниченного предела выносливости следует полагать:

$$a_p = \xi = \sum \frac{M_{\max i}}{M_{\max 0}} \cdot \frac{v_{0i}}{v_m} \quad (8)$$

где суммирование распространяется по всем амплитудам нагружения без отбрасывания малых амплитуд.

Согласно линейной гипотезе накопления усталостных повреждений, разрушение коленчатого вала произойдет тогда, когда $a_p = 1$.

Из выражения (4) может быть найдена долговечность коленчатого вала по условию усталостного сопротивления:

$$T = \frac{\pi \cdot N_0 \cdot a_p}{900 \sum_{i=1}^{i=k} \omega_i f_i \left(\frac{M_{\max 0}}{M_{\max i}} \right)^m} \quad (9)$$

Следовательно, для прогнозирования долговечности коленчатого вала необходимо располагать информацией о пределе усталостной прочности $M_{\max 0}$, вероятностно-статистической нагруженности f_i двигателей в условиях эксплуатации, а также нагрузками $M_{\max i}$ на коленчатый вал.

Зависимость между уровнем максимального изгибающего момента $M_{\max i}$ и числом циклов нагружения N_i до разрушения даже при самом строгом соблюдении идентичности испытаний коленчатых валов на усталостную прочность в силу неоднородности самого материала имеет ярко выраженный случайный характер. Чтобы учесть это обстоятельство, надо положить, что параметры кривой усталости - случайные величины, подчиняющиеся некоторым статистическим распределениям. В связи с этим долговечность коленчатого вала будет определяться выражением

$$T = \bar{T} \chi^m$$

где \bar{T} - средняя долговечность коленчатого вала, вычисляемая по формуле (9); χ - случайный параметр, плотность распределения которого имеет вид:

$$f(\chi) = \frac{1}{v(1-\varepsilon)} \left(\frac{\chi - \varepsilon}{1 - \varepsilon} \right)^{\frac{1}{v}} \exp \left[- \left(\frac{\chi - \varepsilon}{1 - \varepsilon} \right)^{\frac{1}{v}} \right] \quad (10)$$

где v - коэффициент вариации; $\varepsilon = 0,6$ - доля от среднего предела усталости $M_{\max 0}$, ниже которого не происходит накопление усталостных повреждений.

С учетом указанных факторов вероятность отказа коленчатого вала из-за усталостного разрушения за время работы T определяется из выражения

$$F(T) = 1 - \exp \left\{ - \left[\frac{(T/\bar{T}) - \varepsilon}{1 - \varepsilon} \right] \right\} \quad (11)$$

Разработанная методика прогнозирования долговечности коленчатого вала предусматривает выполнение следующих этапов работ: экспериментально определяется предел выносливости коленчатого

вала M_{max0} , а по данным обработки условий нагруженности коленчатого вала в эксплуатации - величин M_{maxi} и число блоков нагружения; по формуле (9) вычисляется средняя долговечность \bar{T} ; по формуле (10) при заданном ресурсе T находится вероятность отказа коленчатого вала из-за усталостного разрушения.

Учитывая значительную трудоёмкость выполнения указанных расчётов предлагается использовать современные средства вычислительной техники при решении задач прогнозирования за счёт сосредоточения внимания на анализе причинно-следственных связей, исключения из поля зрения рутинные, нетворческие операции. Резкое повышение производительности операций выбора и расчёта позволяет ставить на этапе разработки и исследования качественно новые задачи сравнительного анализа и оптимизации принятых решений.

Тут имеется возможность отслеживания процедуры расчётов, что можно использовать для демонстрации правильной последовательности при выборе исходных данных и расчёте. Кроме того, заложенные в программе множественные процедуры контроля позволяют выявить ошибки при неправильном или несогласованном назначении исходных параметров.

Интерфейс пользователя, включающий графическое представление результатов расчёта интуитивно понятен и значительно упрощает процедуры ввода-вывода. С помощью Mathcad можно решать сложные задачи, анализировать результаты расчета. Выбор Mathcad в качестве средства решения задач объясняется его простотой и наглядностью. Ведь все математические выражения в Mathcad выглядят так же, как в книге или тетради и можно решать задачи как численно, так и аналитически.

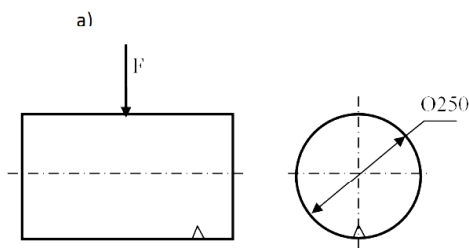
пульсующий цикл нагружения. Среднее поле напряжений по длине трещины до критической длины $L_{кр}$. Установлена экспериментально найденная зависимость

$$\frac{dL}{dN} = 1,5 \cdot 10^{-13} (\Delta K)^3 \quad \Delta K \text{ изменение коэффициента интенсивности напряжений}$$

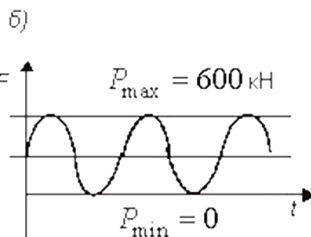
Исходные данные

Шейка вала с трещиной

Пульсующий цикл нагружения шейки вала



Пульсующий цикл нагружения шейки вала



Размерности

$m := m$ $mm := mm$ $N := N$ $kN := kN$ $MPa := MPa$

$\sigma_c := 600 \cdot MPa$ $K_{Ic} := 40 \cdot MPa \cdot \sqrt{m}$

Определение критической длины трещины

Размер сечения: $d := 250 \cdot mm$ $F := 6000 \cdot kN$

Поправка для K_{Ic} $f := 1.12$
 $L0 := 1 \cdot mm$ $A := \pi \cdot \frac{d}{2} \cdot \left(\frac{d}{2} - L0 \right)$

Номинальные напряжения: $\sigma := \frac{F}{A}$ $\sigma = 123.22 \cdot MPa$

Критическую длины трещины $L_{кр}$ найдём из условия разрушения: $K_I = \sigma_{ном} \sqrt{\pi L_{кр}} \cdot f = K_{Ic}$
 $(K_{Ic})^2 = 1$

Рис.6. Задание исходных данных в Mathcad

Пример представляет собой программу для решения определенного класса задач и позволяет, задавая диапазоны изменения различных параметров, анализировать результаты расчета, способствуя выбору рациональной и оптимальной конструкции.

Критическую длины трещины $L_{кр}$ найдём из условия разрушения: $K_I = \sigma_{нсм} \sqrt{\pi L_{кр}}$

$$L_{кр} := \left(\frac{K_{Ic}}{\sigma} \right)^2 \cdot \frac{1}{\pi} \quad L_{кр} = 33.55 \text{ мм}$$

Расчёт долговечности шейки коленчатого вала

Формула Пэриса: $\frac{dl}{dN} = C(\Delta K)^n$

Для заданной стали: $n := 3 \quad C := 1.5 \cdot 10^{-13} \cdot \text{м} \cdot (\text{МПа} \cdot \sqrt{\text{м}})^{-3}$

Размах изменения коэффициента интенсивности напряжений:

$$\Delta K = K_{I(\text{от } F_{\max})} - K_{I(\text{от } F_{\min})} = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) \sqrt{\pi L} \cdot f$$

При пульсирующем цикле

$$\Delta K(L) := \sigma \cdot f \cdot \sqrt{\pi \cdot L} \quad N(L_0) := \int_{L_0}^{L_{кр}} \frac{1}{C \cdot \Delta K(L)^n} dL$$

$$LL := 1 \cdot \text{мм}, 1.1 \cdot \text{мм} \dots L_{кр}$$

$$N(L_0) = 2.38 \cdot 10^7 \text{ циклов}$$

Долговечность шейки коленчатого вала при исходной длине трещины LL

Рис.7. Пример расчёта долговечности шейки коленчатого вала

$N(LL)$

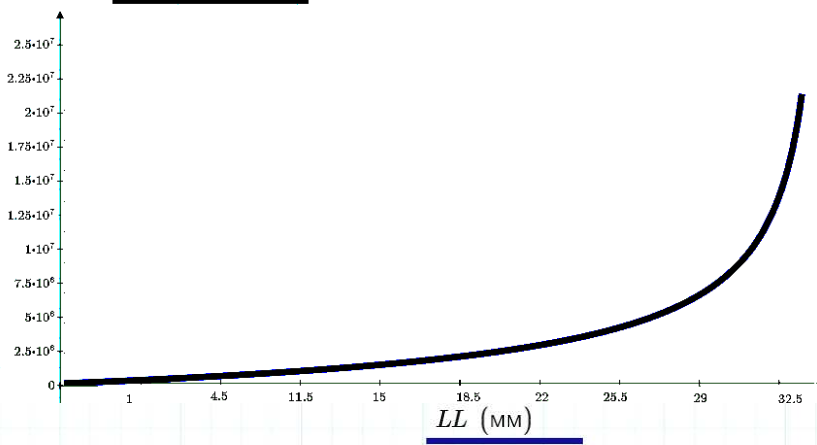


Рис.8. Графическая зависимость роста трещины (LL) от количества циклов нагружения N

Выводы и перспективы дальнейших исследований

1. Учитывая значительную трудоёмкость выполнения указанных расчётов предлагается использовать современные средства вычтехники при решении задач прогнозирования и надёжности в среде Mathcad.

2. Исходя из анализа и классификации основных сопрягаемых судовых деталей охарактеризовать основные физические методы сопряжения деталей «вал-подшипник скольжения»

3. Произвести анализ судовых технологий по обеспечению сопряжений деталей «вал-подшипник скольжения» без вывода судна из эксплуатации и при нахождении судна в доке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гоц А.Н. Научные основы расчета и ускоренных испытаний деталей кривошипно-шатунного механизма тракторных дизелей на стадии проектирования: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Владимир, 2004. – 32 с.

2. Burok S. Przyczyny pekania walow korbowych silnikow spalipowych // Motoryzacja. – 1982. – Т. 37, № 2. – Р. 51–55.

3. Гоц А.Н. Расчеты на прочность деталей ДВС при напряжениях, переменных во времени: учеб. пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. – 140 с.

4. Гоц А.Н. Способ испытания коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания // Дизельные двигатели: сб. докладов V национальной науч.-техн. конф. Т. 2. ФНТО Болгарии. – Варна, 1989. – С. 580–585.

5. Gots A.N. Modeling Maximum Cycle Pressure at Design Stage // Транспорт, экология – устойчиво развитие: Доклады XII научно-техническа конференция с международно участие. – Варна: Изд-во ТУ, 2006. – Т. 13. – С. 220–223.

6. Гоц А.Н., Куделя И.Н., Некрасов С.И. Прогнозирование долговечности коленчатых валов ДВС // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2000. – № 3. – С. 23–25.

7. Гоц А.Н. Метод расчета коленчатого вала по данным усталостных испытаний // Транспорт, экология – устойчиво развитие: Доклады XII научно-техническа конференция с международно участие. – Варна: Изд-во ТУ, 2006. – Т. 13. – С. 223–227.

8. Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. – М.: Машиностроение, 1977. – 232 с. .

УДК 621.431.74.436-52(07)

Донской В.Г., Ханмамедов С.А.
ОНМА

МЕТОДИКА РАЦИОНАЛЬНОЙ МИНИМИЗАЦИИ ОБЪЁМА ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Начиная с 1960-1965 годов на судах отечественного и зарубежного флотов ведется интенсивная автоматизация судовых производственных процессов, в том числе по штурманскому и судомеханическому комплексам. Автоматизация каждого из них имеет отличительные особенности. В различной литературе по судостроению, как в отечественной, так и в зарубежной, дискутируются проблемные вопросы с точки зрения рациональных объёмов автоматизации, соответствия их перцептивным возможностям вахтенных механиков при различной форме обслуживания и несения вахты: в объёме машинного отделения (МО), в центральном посту управления (ЦПУ), сменное дежурство без систематического пребывания в ЦПУ.

Управление судовой энергетической установкой (СЭУ) осуществляется во взаимодействии автоматизированных или автоматических систем контроля, как семантической отрицательной обратной связи со стороны вахтенного механика-оператора. Исследования Центрального научно-исследовательского института морского флота (ЦНИИМФ), ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, Ленинградского центрального проектно-конструкторского бюро №1 (ЛЦПКБ-1) на 13 сериях автоматизированных теплоходов Черноморского морского пароходства показали следующее распределение в процентном отношении времени несения вахты при наличии ЦПУ СЭУ : ~14% управление механизмами; ~2% ремонтно-профилактические работы; ~9% проверочный контроль с местных постов машинного отделения; ~75% контроль из ЦПУ.

Информативность системы контроля и способность механика-оператора принимать верные симультанные решения являются важнейшими показателями надёжности системы «человек-машина». Правильная оценка событий и соответствующие им действия зависят от порога восприятия информации натренированного (опытного) оператора, который по данным статистики парирования аварийных ситуаций не превышает 8 бит/с (8 событий в секунду). У малоопыт-

ных операторов порог восприятия информации не более 2 бит/с (2-х событий в секунду).

На оператора МО воздействуют такие отрицательные инженерно-психологические факторы как монотония в несении вахты, стартовая «лихорадка» при появлении аварийно-предупредительных или аварийных сигналов, снижение остроты (динамики) мышления, сведение деятельности человека к чистому наблюдению и контролю, пространственно-акустическое ограничение в ЦПУ, незначительная смена впечатлений, пониженная моторика в условиях обитания (ЦПУ), что приводит в экстраординарных ситуациях к существенной функциональной неравнозначности действий человека-оператора.

В силу упомянутых обстоятельств оператору ЦПУ необходимо представлять наиболее информативный континуум контролируемых величин. Поэтому проектировщики систем контроля должны применять определенный критериальный подход для назначения (распределения) тех или иных величин по сферам машинного контроля: ЦПУ и каютная сигнализация; местные посты управления (у механизмов); величины контроля для пуско-наладочных операций.

Ниже рассматривается многокритериальный, дифференцированный подход, как одна из возможных методик рациональной минимизации объема оперативного контроля СЭУ. В ЦПУ МО применяются различные средства и виды контроля, в том числе «обегающий» контроль, мнемосхемы, аварийно-предупредительная сигнализация (АПС), сигнализация по вызову оператора, аналого-цифровая информация и тому подобное. Решение существующей проблемы заключается в разработке соответствующих (адекватных) требований и критериев, в соответствии с которыми можно было бы рационально минимизировать общее количество контролируемых величин из ЦПУ и по возможности упростить структуру централизованного контроля (СЦК).

В целях минимизации объема контролируемых величин из ЦПУ может быть предложена одна из возможных методик для проектирования СЦК, состоящая из следующих операций:

1. В составе энергетической установки теплохода выделяются механизмы, главным образом обуславливающие ее работоспособность в целом.
2. Экспертным способом назначается исходный перечень контролируемых величин из ЦПУ по каждому механизму и установке в

целом, подлежащей дальнейшему исследованию на предмет минимизации.

3. Для каждой из контролируемых величин исходного перечня необходимо назначить эксплуатационное поле допуска её изменения с учетом статических и динамических характеристик объекта контроля.

4. Определяется функциональная значимость («вес») элементов механизма эвристическими методами (экспертных оценок, упорядоченного сравнения) и графового анализа. Сумма значимостей всех элементов принимается равной единице. За обобщенную значимость элемента принимается среднеарифметическое всех методов определения (сравнения).

5. Определяется значимость каждой из контролируемых величин того или иного элемента установки по критериям сравнения, в том числе информационного и методом графового анализа. Сумма значимостей всех контролируемых величин исходного перечня принимается равной единице. За обобщенную значимость контролируемой величины принимается среднеарифметическое всех методов определения (сравнения).

6. В соответствии со стохастическими критериями [1], приведенными ниже, принимается решение о степени ответственности контроля (I, II, III):

- | | |
|------|--|
| I. | $\lambda_{oj} = (1, 0, \dots, 0, 1) \lambda_{oj \max};$ |
| II. | $\lambda_{oj} = (0, 1, \dots, 0, 01) \lambda_{oj \max};$ |
| III. | $\lambda_{oj} = (0, 01, \dots, 0, 001) \lambda_{oj \max};$ |

где λ_{oj} - обобщенная значимость («вес») j-ой контролируемой величины,

$\lambda_{oj \max}$ - максимальное значение обобщенной значимости j-ой контролируемой величины в ряду сравнения.

Под степенями ответственности контроля подразумеваются сферы машинного контроля и периодичность его осуществления, а именно:

I. Центральный пост управления, систематический контроль с разной периодичностью и различными методами;

II. Местный пост управления, эпизодический контроль (по местным приборам);

III. Величины долговременного контроля, необходимые для пуска-наладочных операций по механизмам (штатные приборы контро-

ля для этих величин устанавливать на постах управления не принято).

Значение λ_{0j} определяется по выражению:

$$\lambda_{0j} = \frac{\lambda_{1j} + \lambda_{2j} + \lambda_{3j} + \lambda_{4j} + \lambda_{5j} + \lambda_{6j} + \lambda_{7j} + \lambda_{8j} + \lambda_{9j}}{9},$$

где λ_{1j} , λ_{2j} , λ_{3j} – приведенные значимости j -ой контролируемой величины, определенные по построчной стоимости, затратам на восстановление, относительному числу отказов формирующих ее элементов энергетической установки судна;

λ_{4j} – приведенная значимости j -ой контролируемой величины, определенная методом графового анализа с учетом значимостей формирующих ее элементов и информативности величины через вероятности технического состояния формирующих ее элементов;

λ_{5j} – то же, методом графового анализа с учетом причинно-следственных связей, возникающих между формирующими элементами, и метрической информацией, получаемой при изменении величины в пределах установленного эксплуатационного поля допуска;

λ_{6j} – то же, определенная методом информационного критерия учитывающего значимость формирующих элементов, а так же информационную емкость самой величины при изменении последней от нуля до максимального значения;

λ_{7j} – то же, методом информационного критерия, учитывающего значимость формирующих элементов, а так же соотношение между информационной емкостью собственно контролируемой величины и ее полем допуска;

λ_{8j} – то же, методом информационного критерия учитывающего информацию, получаемую в результате измерения контролируемой величины, а так же качественную определенность последней через значимости формирующих ее элементов;

λ_{9j} – то же, определенная по ее динамической характеристике (минимальный интервал времени безаварийного выбега величины за пределы установленного поля допуска).

Выражения для каждого из вышерассмотренных компонентов обобщенного значения j -ой контролируемой величины имеют вид:

$$\lambda_{1j} = \frac{\lambda_{sj}^{\Pi}}{\sum_{j=1}^n \lambda_{sj}^{\Pi}}; \lambda_{2j} = \frac{\lambda_{Bj}}{\sum_{j=1}^n \lambda_{Bj}}; \lambda_{3j} = \frac{\lambda_{\theta j}}{\sum_{j=1}^n \lambda_{\theta j}};$$

$$\lambda_{4j} = \frac{I_{\text{кпн}j}}{\sum_{j=1}^n I_{\text{кпн}j}}; \lambda_{5j} = \frac{I_{\text{кпн}j}^M}{\sum_{j=1}^n I_{\text{кпн}j}^M}; \lambda_{6j} = \frac{I'_{\text{кпн}j}}{\sum_{j=1}^n I'_{\text{кпн}j}};$$

$$\lambda_{7j} = \frac{I''_{\text{кпн}j}}{\sum_{j=1}^n I''_{\text{кпн}j}}; \lambda_{8j} = \frac{\lambda_{\text{кпн}j}}{\sum_{j=1}^n \lambda_{\text{кпн}j}}; \lambda_{9j} = \frac{\lambda_{d_j}}{\sum_{j=1}^n \lambda_{d_j}}.$$

В этих выражениях:

$$\lambda_{sj}^{\Pi} = \frac{\sum_{i=l_1}^{lm} S_i^{\Pi}}{S}; \lambda_{Bj} = \frac{\sum_{i=l_1}^{lm} S_{Bi}}{S_B}; \lambda_{\theta j} = \frac{\sum_{i=l_1}^{lm} N_i}{N};$$

$$I_{\text{кпн}j} = I_{\text{эx}} \left(\sum_{i=1}^{Z_1} \lambda_p^1 \lambda_{oi}^1 + \dots + \sum_{i=1}^{Z_p} \lambda_p^p \lambda_{oi}^p \right);$$

$$I_{\text{эx}} = P_1 \log_2 P_1 + \dots + P_i \log_2 P_i + \dots + P_m \log_2 P_m;$$

$$I_{\text{кпн}j}^M = I_{\text{хвм}} + I_{\text{кпн}}; I_{\text{кпн}} = \sum_{i=1}^{Z_p} \log_2 \{\theta\}_i^{\varphi};$$

$$I_{\text{хвм}} = \log_2 \left| \frac{W_j}{\varepsilon} \right|; I'_{\text{кпн}j} = \frac{1}{I_{\text{хвм}}} \sum_{i=l_1}^{lm} \lambda_{oi};$$

$$I''_{\text{кпн}j} = \frac{I_{\text{хвм}}}{I_{\text{хвм}}} \sum_{i=l_1}^{lm} \lambda_{oi}; \lambda_{\text{кпн}j} = \frac{I_{\text{кпн}j}}{\sum_{j=1}^n \lambda_{\text{хвм}}};$$

$$I_{\text{кпн}j} = \log_2 \left(\frac{V_{jM}}{|W_j|} \right) \sum_{i=l_1}^{lm} \lambda_{oi}; I_{\text{хвм}} = \log_2 \frac{V_{jM}}{\varepsilon}; \lambda_{d_j} = d_j^{-1},$$

где s_i^n – построчная стоимость i -го элемента системы;

s – построчная стоимость системы в целом;

$i=l_1 \dots l_m$ – перечень элементов системы, формирующих j -ю контролируруемую величину;

n – количество контролируемых величин в технической системе;

s_{Bi} – трудозатраты на восстановление i -го элемента системы;

s_B – трудозатраты на восстановление системы в целом;

N_i – число отказов технической системы по i -ой контролируемой величине, вызываемых i -м элементом системы за время t ;

$I_{эx}$ – критерий энтропийности (неопределенности) технического состояния элементов системы, формирующих i -ю контролируемую величину;

$P_{l_1 \dots l_m}$ – вероятности отказов элементов системы, формирующих j -ю контролируемую величину ($\sum_{i=1}^m p_i = 1$);

$Z_1 \dots Z_p$ – число элементов на определенном уровне графа-дерева ($Z_1 + \dots + Z_p = Z_m$, где Z_m – число элементов, формирующих j -ю контролируемую величину);

$\lambda_p^1 \dots \lambda_p^p$ – значимость («вес») i -го элемента системы в зависимости от занимаемого им уровня «Р» графа-дерева;

$\lambda_{oi}^1 \dots \lambda_{oi}^p$ – обобщенная значимость i -го элемента системы, находящегося на уровне «Р» графа-дерева;

I_{xwm} – информационный критерий, дающий представление о значимости контролируемой величины с точки зрения информации, получаемой при изменении последней в пределах установленного поля допуска (уставки);

$I_{ки}$ – то же, дающий представление о значимости контролируемой величины с точки зрения информации о причинно-следственных связях между элементами системы, формирующих ее;

$|W_j|$ – абсолютное значение поля допуска контролируемой величины;

ε – цена деления («кванта») контрольно-измерительного прибора;

K – число условных подмножеств признаков (событий, элементов) в графе-дереве, обуславливающих появление сложного собы-

тия, то есть выход j -ой контролируемой величины за пределы установленного поля допуска;

φ - уровень условного подмножества признаков (событий элементов) в графе-дереве;

θ - признак, событие, элемент;

$\{\theta\}_i^\varphi$ - количество признаков (событий, элементов) в условном подмножестве φ -го уровня графа-деревя, к которому относится признак i -го события (или обуславливающий его элемент системы);

λ_{oi} - обобщенная значимость i -го элемента системы;

V_{jm} - максимально допустимое значение j -ой контролируемой величины;

d_j - динамическая характеристика j -ой контролируемой величины, то есть интервал времени безаварийного «выбега» последней за пределы установленного поля допуска.

В таблице (колонка 2) приведен перечень величин централизованного контроля, определенный выше рассмотренными методами на примере судового малооборотного дизеля 6(7)ДКРН74/160 Брянского машиностроительного завода. В качестве исходного перечня была принята 101 величина, а в результате математической обработки по вышеизложенной методике оказалось целесообразным контролировать из ЦПУ только 25 величин. В таблице (колонки 3...8) дано сравнение расчетного перечня величин централизованного контроля с требованиями классификационного общества (Морским Регистром), с рекомендациями Центрального научно-исследовательского института морского флота (ЦНИИМФ), с материалами информационной международной организации (ИМО, г. Лондон, Англия), с контролируемыми величинами СЦК автоматизированных на знак А1 теплоходов «Котовский», «Светлогорск», «Новгород», каждый из которых является головным в своей серии судов. В таблице крестиком (+) обозначено, что величина контролируется, а прочерком (-) – не контролируется СЦК.

В результате проведенных расчетов по главным малооборотным дизелям типа 6(7)ДКРН74/160 отечественных теплоходов получены следующие результаты:

1. Объем контроля по сравнению с исходным уменьшился на 75%.
2. Общая стоимость средств контроля снизилась на 65%.

3. Иррелевантность информации за счет исключения «маловесомых» величин снизилась на 74%.

4. Стоимость получения 1 бита информации увеличилась на 51%.

В заключение проведенных исследований представляется возможным сделать следующие выводы:

1. Разнометодный подход к определению рационального объема централизованного контроля следует считать оправданным с технико-экономической точки зрения, что позволяет проектантам систем управления и контроля принимать обоснованные решения.

2. Рассмотренные стохастические критерии следует считать приемлемыми для распределения любого исходного комплекса величин, контролируемых по сферам машинного контроля (I, II, III) после соответствующей его математической обработки.

3. Стоимость средств автоматизации достаточно высокая по сравнению со строительной стоимостью судна (4...10%), что делает дорогим получение единицы информации. Целесообразность применения повсеместно «загруженных» средств централизованного контроля представляется сомнительной в связи с тем, что избыток свободного времени у вахтенных механиков может оказать отрицательное влияние на их психологическое состояние [2]. В этой области необходимы систематические инженерно-психологические исследования, которым уделяется недостаточное внимание.

4. Обоснованная минимизация объема централизованного контроля СЭУ на всех этапах автоматизации дает положительный технико-экономический эффект [1,2].

Наименование колонок таблицы:

1 – номера величин порядковые; 2 – наименование величин СЦК для главных дизелей 6(7)ДКРН74/160; 3 – классификационное общество (Морской Регистр); 4 – ЦНИИМФ; 5 – ИМО; 6 – т/х «Котовский»; 7 – т/х «Светлогорск»; 8 – т/х «Новгород». (+) обозначает, что величина контролируется; (-) означает, что величина не контролируется.

Таблица.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|-----------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Температура мотылевого подшипника | - | + | + | + | - | - |
| 2 | То же, рамового подшипника | - | + | + | + | - | - |

| | | | | | | | |
|----|--|---|---|---|---|---|---|
| 3 | То же, головного (крейцкопфного) подшипника | - | + | + | + | - | - |
| 4 | Давление циркуляционного масла перед двигателем | + | + | + | + | + | + |
| 5 | Температура циркуляционного масла на выходе из двигателя | + | + | + | + | - | - |
| 6 | То же, на выходе из каждого поршня | + | + | - | + | + | + |
| 7 | То же, общая на выходе из поршней | - | + | - | - | - | - |
| 8 | Давление топлива перед двигателем | + | + | + | + | - | + |
| 9 | Температура охлаждающей воды на выходе из каждого цилиндра | + | + | + | + | + | + |
| 10 | Общая температура охлаждающей воды на выходе из двигателя | - | - | + | + | + | + |
| 11 | Уровень охлаждающей воды в расширительной цистерне | + | + | + | - | - | - |
| 12 | Давление охлаждающей воды на входе в двигатель | + | + | + | + | + | + |
| 13 | Давление охлаждающей среды на входе в форсунки | - | - | + | + | + | + |
| 14 | Температура газов перед газотурбоагрегатом (ГТА) | + | + | + | + | + | - |
| 15 | Давление забортной воды перед холодильниками | + | + | + | + | + | + |
| 16 | Концентрация масляных паров в картере двигателя | + | + | + | + | - | + |
| 17 | Давление циркуляционного масла на входе в ГТА | + | + | + | - | - | - |

| | | | | | | | |
|----|---|---|---|---|---|---|---|
| 18 | Температура наддувочного воздуха перед двигателем | + | + | + | + | + | + |
| 19 | Давление наддувочного воздуха перед двигателем | + | + | + | + | + | - |
| 20 | Частота вращения газотурбонагнетателя | + | + | - | + | + | - |
| 21 | Виброакустический параметр | - | - | - | - | - | - |
| 22 | Частота вращения коленвала двигателя | + | + | + | + | + | + |
| 23 | Часовой расход топлива | - | + | - | - | - | + |
| 24 | Крутящий момент на валу двигателя | + | + | + | - | - | - |
| 25 | Эффективная мощность двигателя | - | + | - | - | - | + |

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левин М.И. Определение состава контролируемых параметров ДВС на основании информационного критерия. – Л. Судостроение, 1969, №1, с. 48-51.
2. Совещание в Англии по вопросам применения ЭВМ на судах. – Экспресс-информация «Зарубежное судостроение», №18(532), ЦНИИ «Румб», июнь, 1973, с. 6-7.

УДК 691.32 (075)

Тертычный А.А.
ОГАСА

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК И СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ПРИ БЕТОНИРОВАНИИ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЯ СУДОВ

Постановка проблемы в общем виде и её связь с важными научными и практическими задачами.

Аварии, связанные с повреждением корпуса судна (столкновения, посадки на мель, навалы, штормовые повреждения) составляют 53% всех аварий. В среднем один раз в 10 лет каждое судно мирового флота получает повреждение корпуса. При этом виде аварий экипаж ведёт борьбу с поступлением воды внутрь судна. В большинстве случаев эта борьба заканчивается успешно, но примерно в двух случаях из 100 судно погибает [2].

Среди факторов, формирующих силовые воздействия на судовой корпус превалирующую роль играют те, которые отражают взаимодействие судна с морем. Традиционно результат каждого взаимодействия представляется в виде суммы двух составляющих – усилий на тихой воде и дополнительных усилий на волнении. Первая составляющая имеет скорость изменения на несколько порядков ниже второй и полагается статической (точнее, квазистатической). Вторая – считается переменной во времени. Такое разделение нагрузок отражает глубокое различие их физической природы. Статическая составляющая зависит от загрузки и обводов судна и управляема человеком. Переменная же определяется в основном климатическими условиями акваторий, в которых эксплуатируются суда, что предопределяет случайный характер изменения её параметров.

Методы оценки статической составляющей достаточно просты и хорошо отработаны. Определение усилий на тихой воде в каждом конкретном случае не встречает принципиальных затруднений. Степень разработанности ряда вопросов, касающихся методов оценки переменной части, ещё недостаточна для исчерпывающего решения проблемы внешних усилий. По этой причине основное внимание будем уделять переменным составляющим внешних сил.

Обычно переменные нагрузки представляются в виде таких интегральных характеристик, как изгибающие силы, средние давления на те или иные конструкции, равнодействующие сил инерции. В яв-

ном виде удерживаются лишь те, которые вносят наиболее существенный вклад в напряжённость корпуса. Остальные либо учитываются в виде каких-то поправок к основным силам, либо отбрасываются вовсе. Каждая характеристика в свою очередь разделяется на составляющие, изменяющиеся с различной скоростью – обычно с частотой воздействия волн или частотой первого тона главных свободных колебаний корпуса [5].

Можно выделить основные эксплуатационные и аварийные виды повреждений:

- водотечность сварных и заклёпочных соединений возникает вследствие значительных местных деформаций наружной обшивки при плавании в штормовых условиях, во льдах, при столкновении и посадке на мель; вероятность водотечности швов возрастает при ослаблении их коррозионным разрушением;

- трещины в большинстве случаев имеют усталостный характер вследствие знакопеременных деформаций корпуса (прогиб и перегиб), создающих в металле напряжения, превышающие предел прочности; наиболее вероятно образование трещин в местах концентрации опасных напряжений – по углам грузовых люков и других вырезов, на участках дефектных сварных швов, в местах резкого обрыва связей набора корпуса;

- гофрировка наружной обшивки и настила палуб происходит под действием переменных деформаций растяжения и сжатия – стальные листы теряют устойчивость и изгибаются между опорами набора; гофрировка придаёт листам обшивки ребристый вид;

- вмятины образуются при деформации листов обшивки вместе с элементами набора, прочность которых нарушается при действии чрезмерных нагрузок (например, ударе, при столкновении);

- пробоины в большинстве случаев являются результатом аварии (столкновении, посадка на мель, навал на причал и т.п.) и относятся к самым опасным повреждениям, грозящим затоплением одного или нескольких отсеков, креном судна и потерей остойчивости; количество забортной воды, поступающей в корпус судна, зависит от размера пробоины и её углубления [2].

Формулирование целей статьи и постановка задачи.

Известно, что бетонирование при постановке цементного ящика позволяет полностью устранить водотечность и создаёт необходимые условия для продолжения плавания. Цель статьи – осветить во-

прос, традиционно связанный с относительно замедленным твердением бетонной смеси при заделке пробоин и трещин, показать преимущества использования быстротвердеющих цементов на основе химических добавок.

Изложение материала исследования.

Заделка мест повреждений корпуса судна бетоном имеет значительные преимущества перед другими способами, так как отличается надёжностью, долговечностью и герметичностью. Бетонированием удаётся заделывать также повреждённые места которые другими средствами выполнить было бы крайне сложно. Практика показала, что восстановить герметичность затопленных отсеков после посадки судна на каменистый грунт удаётся только бетоном. Бетонированием удаётся также заделывать повреждения в труднодоступных местах судна, например под фундаментами машин и механизмов, в форниках и ахтерпиках и на скулах судна. Бетонированием водотечных мест корпуса можно достичь абсолютной непроницаемости повреждённых участков, тогда как другие временные заделки не могут обеспечить этого. Процесс бетонирования может производиться как в осушенном, так и в заполненном отсеках, хотя последнее представляет собой довольно трудную операцию и осуществляется только в случае невозможности осушения отсека.

Составные части раствора бетона – это цемент, заполнители и вода. Цемент является вяжущим веществом, в качестве заполнителя используют песок, гравий, щебень и т.д. Для заделки аварийных повреждений бетонированием используют следующие сорта цемента: портландцемент, пуццолановый портландцемент, глинозёмистый цемент, цемент Байдалина, водонепроницаемый расширяющийся цемент (ВРЦ), водонепроницаемый безусадочный цемент (ВБЦ) и гипсоглинозёмистый расширяющийся цемент.

Наибольшее применение получил портландцемент и глинозёмистый цемент, который рекомендован Регистром. Для заделки повреждений корпусов судов служат в основном цементы марок 400, 500, 600.

При подводном бетонировании лучше использовать пуццолановый портландцемент, стойкий в водной среде. Для бетонирования при низких температурах наилучшим является глинозёмный цемент. В процессе схватывания происходит выделение тепла, сопровож-

даемое повышением температуры до $+100^{\circ}\text{C}$, что позволяет применять этот цемент даже при сильных морозах [2].

Ускорение процесса отвердевания бетона может быть достигнуто добавлением в него специальных ускорителей твердения, в качестве которых могут использоваться:

жидкое стекло – добавляют в воду в количестве 10-15% объема воды перед приготовлением бетона. Для большего ускорения твердения дозировка жидкого стекла может быть доведена до 50%, однако примерно через месяц прочность бетона снижается почти вдвое.

хлористый кальций – добавляют к цементу в количестве 2-10% его объема и тщательно перемешивают с ним. Твердение бетона ускоряется почти в 2 раза;

сода техническая – растворяется в воде в количестве 5-6% массы цемента в процессе приготовления бетона;

техническая соляная кислота – добавляется в воду в количестве 1-15% массы цемента при приготовлении бетона; ускоряет процесс схватывания бетона почти в 2 раза [2].

Постановка цементного ящика.

Последовательность операций по постановке цементного ящика представлена на рис.1 (а,б):

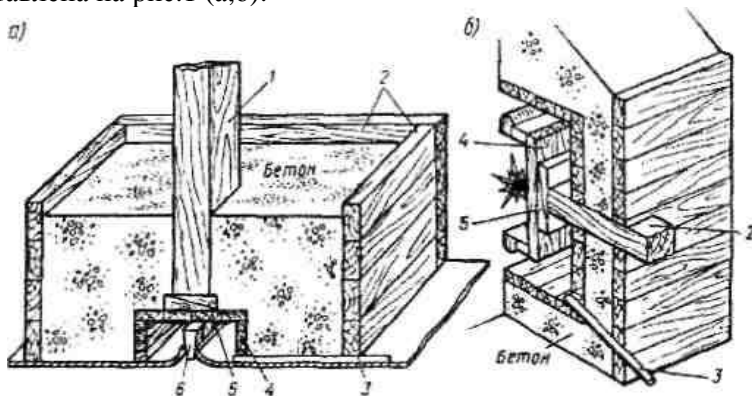


Рис. 1. Постановка цементного ящика на пробойну: а — днищевую; б — бортовую; 1 — упор; 2 — опалубка; 3 — водоотливная труба; 4 — жесткий пластырь; 5 — клинья для упора; 6 — клин для пробойны.

- пробойну (трещину) временно заделать одним из рассмотренных выше

способов постановкой клиньев, установкой жестких щитов или пластырей различных конструкций, постановкой мягкого пластыря;

- изготовить и установить опалубку 2 — деревянный прямоугольный ящик без двух граней боковыми ребрами установить к пробоине, верхняя открытая часть используется для загрузки бетона; после установки обеспечить жесткую фиксацию ящика установкой упоров 1 и клиньев 5;

- зачистить металлическую поверхность в районе повреждения от грязи, ржавчины, следов нефтепродуктов;

- установить дренажные (водоотливные) трубы 3 на случай возможной фильтрации воды так, чтобы один конец трубы был подведен к месту фильтрации, а другой выходил за опалубку; диаметр трубы должен обеспечить свободный слив воды и исключить её скапливание;

- при больших пробоинах вдоль района повреждения можно закрепить арматуры из стальных прутьев или труб;

- изготовить творило — низкортный деревянный ящик для приготовления бетона; приготовить бетон;

- заполнить опалубку раствором бетона так, чтобы он равномерно распределился по всему объему цементного ящика; бетонирование надо произвести как можно быстрее, так как при наличии в растворе ускорителей он начинает твердеть уже через несколько минут; медленная, с перерывами подача бетона может привести к расслоению монолита;

- удалить дренажные трубы после затвердевания бетона и забить отверстия деревянными клиньями;

- после полного затвердевания бетона демонтировать мягкий пластик, что обеспечит возможность движения судна.

Технология приготовления бетона:

- приготовить сухую смесь цемента с песком в соотношении 1:2 или 1:3, тщательно перемешивая ее лопатами; применяют портландцемент марки не ниже 400 (400, 500, 600) — эти цифры означают допустимую нагрузку на бетон в единице кгс/см²; цемент должен быть в пудрообразном состоянии, без комков и крупинок; песок необходим крупнозернистый, речной или карьерный, применение мелкозернистого песка нежелательно [4];

- малыми порциями добавлять воду и тщательно перемешивать; нормальным считается раствор бетона, легко соскальзывающий с лопаты; при избытке воды бетон налипает на лопату, при недостатке воды — трудно перемешивается; количество воды непосредственно влияет на скорость схватывания раствора и прочность бетона; реко-

мендуется применять пресную воду, так как морская вода снижает прочность бетона на 10 %;

- перед приготовлением раствора добавить в воду ускоритель за- твердевания, в качестве которого могут применяться: жидкое стекло (добавляют до 50 % общего объема смеси); хлористый кальций (7—10 %), каустическая сода (5—6 %), соляная кислота (1—1,5 %); с увеличением дозировки ускорителя снижается прочность бетона, однако в аварийных ситуациях решающим фактором является скорость его затвердевания; при низких температурах следует замешивать бетон на подогретой воде (не ниже 30 °С), если вода пресная — добавить в нее соль из расчета двух горстей на ведро; добавить заполнитель (гравий, щебень, битый кирпич, шлак); заполнитель повышает прочность бетона, но в судовых условиях его, как правило, не применяют.

При бетонировании значительных пробоин в раствор целесообразно установить арматуру (связанные проволокой стальные пруты), приваренную к корпусу судна. Это связано с тем, что бетон, будучи искусственным камнем отличается хрупким характером разрушения и имеет сопротивляемость к нему в 10-14 раз меньше величине его сопротивляемости сжатию. Как отмечено выше, для преодоления этого недостатка в бетон вводят различные волокна материалов (асбест, проволока, стекловолокно и т.д.), иначе говоря бетон фибрируют (фиброволокно) [6]. При фибрировании хрупкость бетона снижается, его пластичность увеличивается. Бетон фибрированный введением в него ряда тканых сеток из тонкой проволоки получил название армоцемент.

Все подготовительные работы по постановке цементного ящика должны быть сделаны заранее, что обеспечит быстрое выполнение основных работ и высокое качество бетонирования.

Различные варианты бетонирования поврежденных показаны на рис. 2. Установка цементного ящика (бетонирование) является временной мерой. Поэтому при постановке судна в док или по его приходе в порт поврежденные связи заменяют или заваривают отверстия.

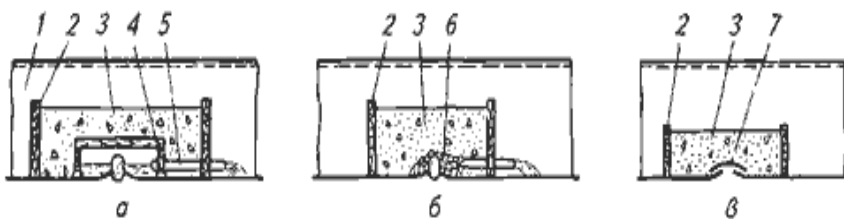


Рис. 2. Способы бетонирования пробоин. а, б - воздушное бетонирование; в - подводное бетонирование; 1 - флор; 2 - опалубка; 3 - бетон; 4- коробка (внутренняя опалубка); 5 - водоотводная трубка; 6 - крупный заполнитель; 7 - лист железа.

Применение быстротвердеющих цементов с химическими добавками при аварийном ремонте судов во время рейсов.

Повышение эффективности аварийно-ремонтных работ осуществляется с внедрением разработанных и разрабатываемых ресурсосберегающих технологий цементов и бетонов, обеспечивающих существенное снижение материальных и энергетических затрат. Важным направлением при этом является использование цементов, широкое применение которых сдерживается их относительно замедленным твердением. Учитывая, что в морских переходах твердение бетона осуществляется преимущественно без применения или с ограниченным применением тепловой обработки, вопрос ускорения твердения цементов оказывается принципиальным. Особенно это касается ранних сроков твердения (от нескольких часов до 3 суток), поскольку этим предопределяется время достижения распалубочной прочности и сроки выполнения распалубочных работ.

Традиционным решением ускорения твердения, а также повышением прочности цемента в условиях морских аварийно-ремонтных работ является введение в составы бетонных смесей химических добавок. Однако вопросы эффективности применения химических добавок требуют дальнейшего развития, так как не в полной мере и недостаточно системно исследованы факторы, лимитирующие развитие процессов гидратации и твердения на различных временных стадиях, не определены условия ускорения этих процессов с помощью химических добавок, недостаточно широка их номенклатура [3].

Научной базой для разработки современной технологии цементов являются положения физико-химической механики, полиструктурной теории, теорий высококонцентрированных дисперсных сис-

тем и композиционных строительных материалов. На их основе определяются научные предпосылки и технологии применения наполнителей в составе цементных композиций (интенсивная раздельная технология – ИРТ, технологии тонкомолотых многокомпонентных цементов – ТМЦ, вяжущих низкой водопотребности – ВНВ, смешанных цементов и пр.) Значительный вклад в разработку науки и практики применения наполнителей (природного и искусственного происхождения) в цементах внесли Н.А. Белелюбский, И.П. Александрин, А.В. Волженский, В.Н. Юнг, П.П. Будников, Ю.М. Бутт, В.И. Соломатов, Е.М. Чернышов и др. В последние годы, когда наиболее остро встают вопросы ресурсосбережения в народном хозяйстве нашей страны, отмечается значительный интерес различных научных коллективов к разработке интенсивных технологий, позволяющих существенно экономить энергоёмкую клинкерную составляющую цемента и сокращать энергозатраты на его твердение, ориентируясь на применение химических добавок.

Следует отметить, что в отношении цементов недостаточно системно обозначены факторы, которые определяют и лимитируют ускорение процессов их гидратации и твердения. В целом, вопрос ускорения твердения цементов с помощью химических добавок требует дальнейшего изучения, так как: не разработаны рекомендации по расширению номенклатуры и рациональным дозировкам химических добавок ускорителей, не определён круг практического применения цемента с этими химическими добавками; имеющийся нормированный набор эффективных химических добавок ускорителей твердения цементных систем ограничен и при этом действие некоторых видов добавок характеризуется негативным побочным действием.

Отсюда актуальным представляется исследование влияния на ускорение твердения цемента как известных (традиционных) химических добавок, так и расширенный поиск и выбор других эффективных добавок. При этом вопрос эффективности добавок необходимо рассматривать в новой постановке. Дело в том, что оценка эффективности применяемой химической добавки ускорителя твердения цементных систем осуществляется преимущественно по одному критерию – по конечному эффекту её действия в бетоне, в то время как другие критерии эффективности, связанные с характеристиками технологичности, экономичности, экологичности и др. количествен-

но не раскрываются и не учитываются. В результате этого практические рекомендации оказываются далеко не рациональными [3].

Принимая во внимание вышеизложенное, в качестве задач исследований работы определены следующие:

- систематизация представлений об элементарных стадиях процессов гидратации цемента и факторах, определяющих и лимитирующих скорость их твердения;

- систематизация и исследование различий условий гидратации и твердения обычных цемента;

- выбор химических добавок, которые по определенным механизмам целенаправленно могут воздействовать на развитие элементарных стадий процессов гидратации и твердения цемента и факторов, определяющих и лимитирующих их твердение;

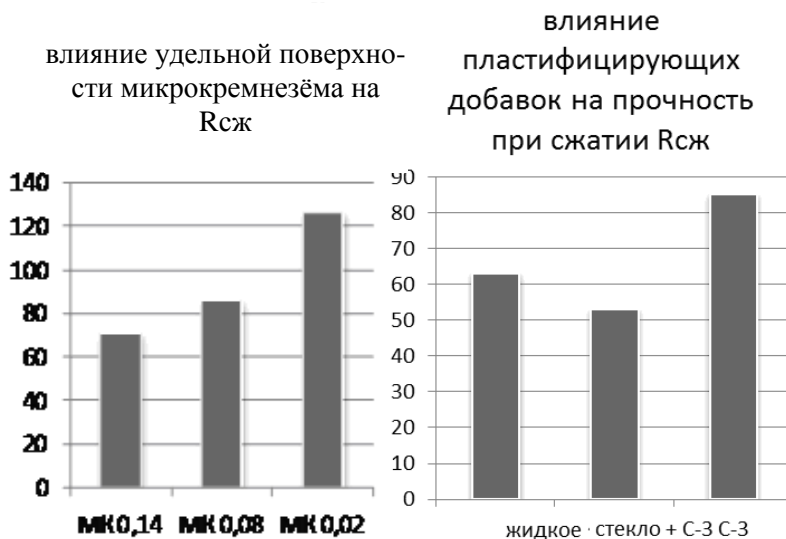
- обоснование критериев, позволяющих комплексно оценить эффективность применения химических добавок ускорителей твердения цементных систем.

Экспериментальные исследования проводились на портландцементе, физико-механические свойства которого приведены в таблице 1.

Таблица 1. Физико-механические свойства портландцемента.

| Удельная площадь поверхности, м ² /кг | Нормальная плотность, % | Сроки схватывания, ч | | Предел прочности при сжатии, (МПа) в возрасте, сут. | | | | |
|--|-------------------------|----------------------|-------|---|------|------|------|------|
| | | начало | конец | 1 | 3 | 7 | 14 | 28 |
| 300 | 25,00 | 2,50 | 5,00 | 10,9 | 31,0 | 35,2 | 45,2 | 51,1 |
| 400 | 26,50 | 1,70 | 4,50 | 12,0 | 33,9 | 41,5 | 47,5 | 52,3 |
| 500 | 27,00 | 1,30 | 3,80 | 12,5 | 35,1 | 42,8 | 55,9 | 63,2 |

Исследованы составы со следующими добавками: суперпластификатор С-3, щелочесодержащие и добавка активного микрокремнезёма. Влияние данных химических добавок на РСж представлено на рис. 3.



влияние С-3 и
активного МК на
прочность при
сжатии Рсж

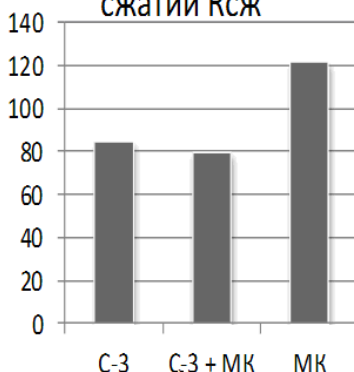
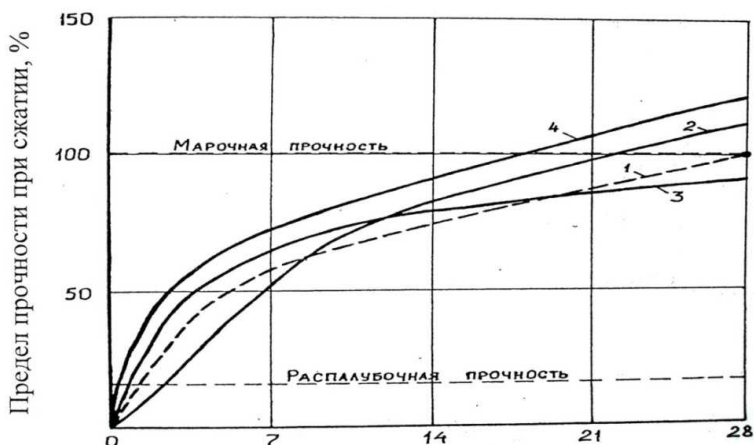


Рис. 3. Влияние содержания добавок на Рсж в возрасте 28 суток.

Также были исследованы составы с введением нетрадиционных химических добавок. Общая динамика изменения прочности во времени представлена на рис. 4.



Время твердения, сутки

Рис.4. Зависимости динамики прочности цементных систем с химическими добавками ускорителями твердения; 1—бездобавочная (эталонная) система; 2—окись алюминия; 3—хлористый кальций; 4—натрий фтористый.

Из графиков видно, что, меняя соотношение добавок, можно регулировать динамику и величину изменения прочности.

Выводы и предложения.

В работе показано, что наибольшее применение при бетонировании получил портландцемент и глиноземистый цемент, который рекомендован Регистром. Для заделки повреждений корпусов судов служат в основном цементы марок 400, 500, 600. При подводном бетонировании лучше использовать пуццолановый портландцемент, стойкий в водной среде. Для бетонирования при низких температурах наилучшим является глинозёмный цемент.

Ускорение процесса отвердевания бетона может быть достигнуто добавлением в него целого ряда специальных ускорителей твердения, в качестве которых могут использоваться: жидкое стекло, хлористый кальций, сода техническая и техническая соляная кислота.

Проанализировано влияние различных химических добавок на скорость схватывания, а также дальнейшее повышение прочности цемента в условиях морских аварийно-ремонтных работ. Актуальным представляется исследование влияния на ускорение твердения

цемента как известных (традиционных) химических добавок, так и расширенный поиск и выбор других эффективных добавок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фрид Е.Г. Устройство судна. Учебник, 5-е изд. стереотип. – судостроение, 1990, 344с.
2. Басанец Н.Г. Безопасность жизнедеятельности – Одесса: изд. центр ОНМА, 2009, 310с.
3. Козодаев С.П. Изучение условий твердения наполненного цемента традиционными и нетрадиционными химическими добавками. Материалы 47 научно-технических конференций ВГАСА, Воронеж, 1993, 37-39с.
4. Баженов Ю.М. Высокопрочный бетон с химическими добавками. Бетон и железобетон.,1997, 455с.
5. Бойцов Г.В., Палий О.М. Прочность и конструкция корпуса судов новых типов.-Л.: Судостроение, 1979. – 360 с., ил.
6. Сиверцев И.Н. Конструкция и устройство судов внутреннего плавания., Москва: изд. «Речной транспорт», 1963, 171 с.

УДК 629.545.2-049.5

Дрозд Е.В., Сандлер А.К.
ОНМА

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ РОЛКЕРОВ

В мировом судоходстве, несмотря на кризисные явления, прослеживается тенденция развития перевозок ролкерным флотом. Сюда относят большой класс судов для перевозки колесной техники, актуальными вопросами при этом являются эффективное использование таких судов и безопасная их эксплуатация.

Эксплуатация ролкеров имеет особенности по сравнению с универсальными судами, так как характеризуется рядом повышенных требований. Это требования обусловленные необходимостью:

- повышенной несущей нагрузочной способности причала;
- повышенных прочностных характеристик корпуса судна;
- повышенных прочностных характеристик судового грузового оборудования.

Грузовое оборудование современных судов-ролкеров включает кормовую и внутренние рампы и, как правило, бортовую (рис.1).

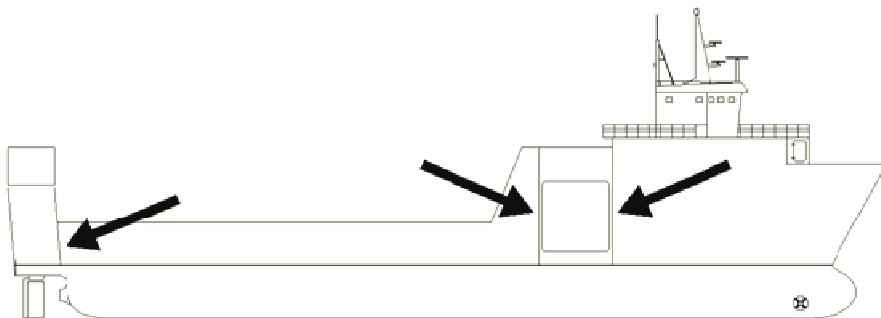


Рис.1. Судно с двумя внешними рампами (стрелками указаны районы наибольших напряжений в корпусе при эксплуатации рампы)

Судовые кормовые рампы в местах креплений к корпусу судна в определенной мере ослабляют общую прочность корпуса и продольных конструктивных связей, особенно в районе 10 и 9,5 шпангоутов (теоретического чертежа). Бортовые рампы, являясь частью корпуса и выполняя в состоянии по-походному роль водонепроницаемой двери, тем более требуют пристального рассмотрения и про-

верки прочностных характеристик корпуса в районе 8, 7, 6 шпангоутов(теоретического чертежа).

Одним из наиболее перспективных путей решения указанной задачи является разработка датчиков с интегральной чувствительностью, которые могут быть объединены в распределенную измерительную сеть [1]. Наиболее подходящей элементной базой для создания подобных устройств является волоконная оптика, так как наряду с вышеперечисленными достоинствами волоконно-оптические датчики сочетают в одном и том же измерительном тракте функции как информационного канала, так и измерительного преобразователя. Это делает возможным создание принципиально новых быстродействующих измерительных устройств, способных интегрироваться в сложные информационно-измерительные системы, осуществляющие контроль за многомерными функциями распределения физических полей.

В общем случае распределенная волоконно-оптическая измерительная сеть (РВОИС) представляет собой набор отдельных измерительных линий, определенным образом уложенных в пространстве. Интегрирующая волоконно-оптическая измерительная линия (ВОИЛ) представляет собой измерительный преобразователь, способный регистрировать внешнее воздействие по всей его длине (рис. 2).

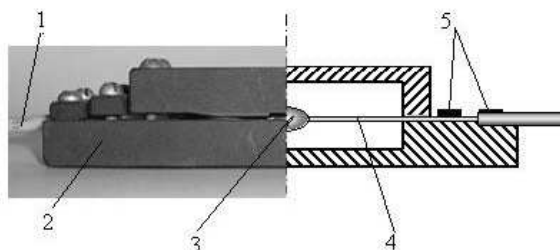


Рис.2. Чувствительный элемент волоконно-оптической измерительной линии для регистрации амплитуды поперечных колебаний поверхности: 1 – оптоволоконный кабель, 2 – корпус, 3 – инерционная масса, 4 – одноволоконный двухмодовый интерферометр, 5 – крепления.

На выходе такой линии формируется интегральный сигнал воздействия внешнего физического поля на ВОИЛ вдоль траектории укладки ВС. Топология РВОИС определяется характером решаемой задачи, а также методами сбора и обработки информации об

исследуемом физическом поле. Для уменьшения количества информационных каналов следует использовать томографические методы, реализация которых предполагает формирование каждой измерительной линией интегрального образа функции распределения физического поля. Даже в случае неполного набора интегральных образов возможно успешное восстановление распределения физического поля [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ю.Н. Кульчин, О.Т. Каменев, Ю.С. Петров. Физические принципы создания распределенных измерительных сетей на основе одноволоконного двухмодового интерферометра.// Вестник ДВО РАН. 2004. № 5.
2. Карпилов, А.Ю., Сандлер, А.К. Волоконная оптика в системах управления ветровыми движителями// Научно-практична конференція "Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки", 12-18 грудня 2012 р.: матеріали конференції – Одеса: ОНМА, 2012. – С. 30-32.

УДК 629.12.06.628.84

Бойко П.А., Голиков В.А.
ОНМА**ОРГАНИЗАЦИЯ МОРСКОЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ СПГ ПРИ
РЕАЛИЗАЦИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТА «СПГ –
ТЕРМИНАЛ» – МОРСКОЙ ТЕРМИНАЛ ПО ПРИЕМУ
СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА**

Постановка проблемы в общем виде и связь ее с научными и практическими задачами. Реализация и развитие национального проекта «СПГ – терминал» выводит Украину на новый, высоко технологический уровень направления в топливно-энергетическом комплексе страны – транспортировка, прием, хранение, регазификация и поставка потребителям по газопроводам, а также перспективная диверсификация сжиженного природного газа (СПГ).

Следует констатировать, что экономические, технические, эксплуатационные и экологические преимущества СПГ до настоящего времени не были востребованы в Украине.

Первые шаги и последующее нормальное функционирование всего комплекса рейдового или берегового терминалов в экономической системе Украины не возможны без взаимозависимых друг от друга теоретических и практических правил системы управления безопасностью (СУБ) на всех этапах поставки и выгрузки СПГ.

Мировой рынок сжиженного природного газа развивается в направлении поставок природного газа как энергоносителя из стран с его избыточными ресурсами в страны, испытывающие недостаток в этом виде топлива. Для этих целей в настоящее время за рубежом построены более 15 крупных заводов по производству СПГ [1,7,10].

Производительность установок за последние 30 лет возросла до 17,5 млн. тонн в год за счет применения нового наиболее мощного оборудования. По прогнозам специалистов, объем мировой торговли СПГ к 2015 году возрастет до 170 млрд. м³ и более в год [10].

Повышенный спроса на природный газ будет стимулировать новые более жесткие нормы и правила по охране окружающей среды, правила технической эксплуатации СПГ – танкеров, а также высокую конкурентоспособность природного газа по отношению к другим видам топлива.

Доля природного газа в мировой энергетике достигла одной трети. Производство СПГ было стимулировано экспортом большого

количества природного газа из газодобывающих стран (Нигерия, Алжир, Египет, Тринидад и Тобаго, Катар, Ливия и др.) в страны Западной Европы, США, Японии более экономичным способом – транспортировкой морским транспортом в сжиженном виде [10].

Основными экспортерами СПГ являются страны Северной Африки (Алжир, Ливия, Нигерия), Ближнего Востока (Абу – Даби, Катар, Оман), Юго – Восточной Азии (Малайзия, Индонезия, Бруней), и другие – Австралия, США (Аляска), Тринидад и Тобаго [10].

На рис. 1, представлена диаграмма мировых поставщиков СПГ в Европу.

Эффективность инвестиционных проектов предусматривает использование показателей коммерческой и бюджетной эффективности, которые оцениваются в пределах расчетного периода, а также учета факторов неопределенности и риска [1,2,8].

Фактор неопределенности связан с неполной и частичной информированностью об условиях реализации проекта, в том числе связанных с ними затрат и результатов.

Фактор риска характеризуется неопределенностью, обусловленной неблагоприятными ситуациями и последствиями, возникающими в ходе реализации проекта.

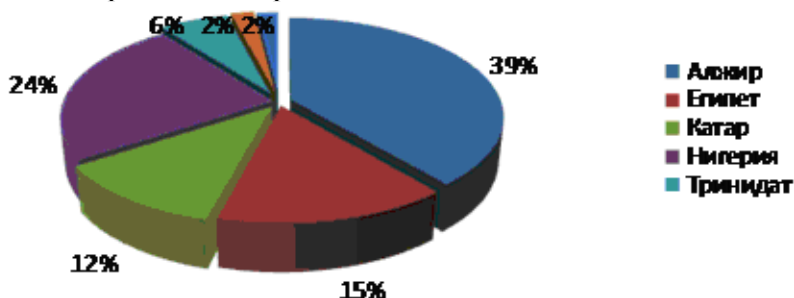


Рис. 1. Мировые поставщики СПГ в Европу

Целью исследования настоящей статьи, является изучение аспектов эксплуатационной фазы проекта морской транспортировки СПГ.

Эксплуатационная фаза инвестиционного проекта предусматривает инвестиционный менеджмент, в задачи которого входят [1,2,8]:

– обеспечение темпов экономического развития СПГ – терминала адекватных внешним условиям за счет увеличения объемов транспортной деятельности;

- максимизация доходов (прибыли) от реализации инвестиционного проекта в виде чистой прибыли на вложенный капитал;
- минимизация рисков и связанных с ними финансовых потерь;
- обеспечение финансовой устойчивости и платежеспособности комплекса в процессе осуществления инвестиционной деятельности;
- изыскание путей реализации инвестиционной программы для формирования дополнительного денежного потока в виде прибыли от инвестиций и амортизационных отчислений.

Касаясь минимизации рисков, при определении эффективности инвестиционных проектов норматив для учета неопределенности эффекта, отражающего предпочтение хозяйствующего субъекта в условиях неопределенности, принимается на уровне 0,3 (30%).

Если дополнительно учесть эксплуатационные риски, связанные с огнеопасностью метана (при концентрации 9 – 13% метана в атмосферном воздухе, происходят наиболее мощные объемные взрывы):

- все сезонностью транспортного процесса;
- незащищенностью морской береговой линии Украины от юго-западных, южных и юго-восточных ветров с нагоном волн до 18 – 22 метров в северо-западной части Черного моря, при расположении терминала в аварийно опасной зоне, где уровень риска в настоящем случае может достигать 0,5 (50%) и более.

Решение задач инвестиционного менеджмента. Для снижения уровня риска судоходства в Украине с 2009 года принята Государственная система управления безопасностью судоходства (постановление КМУ от 09.10.2009 г., №1137), которая, используя свои субъекты, осуществляет государственное регулирование безопасной перевозки пассажиров, грузов и ряд других важных функций по организации безопасного судоходства.

Танкеры для транспортировки СПГ, составляют ключевое звено во всей производственно-сбытовой системе, поэтому основная нагрузка в обеспечении нормативно – правовых требований по безопасности судоходства (Положение о системе управления безопасностью судоходства на морском и речном транспорте Украины, утверждена Приказом Мин. инфраструктуры Украины от 20.11.2003 г., №904, ранее МТУ), возложена на руководителей предприятий, терминалов, учреждений и организаций, а также капитанов судов, которые в своих подразделениях управляя системой безопасности на объектах, обеспечивают мониторинг оценки факторов, оказывающих влияние на уровень безопасности, включая факторы риска,

подготовку, принятие и реализацию управленческих решений, направленных на обеспечение надлежащего уровня безопасности судоходства [5,7,10].

Страны импортеры СПГ в Украину

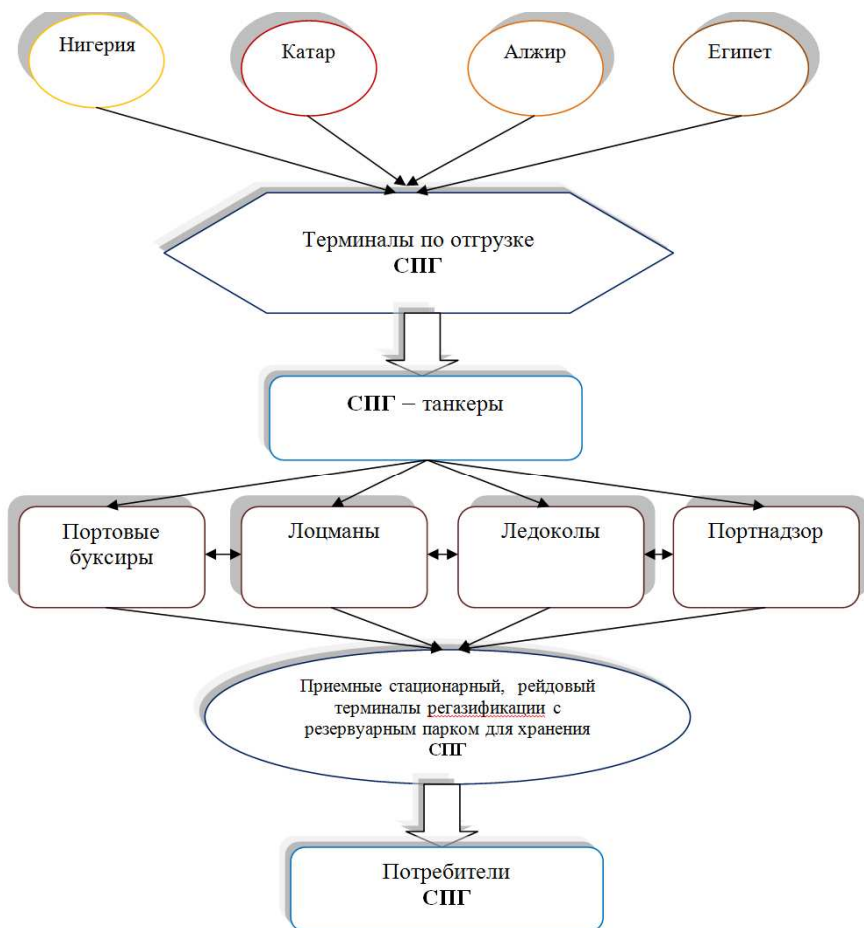


Рис. 2. Транспортно-технологическая схема поставки СПГ в Украину

В настоящее время результативность деятельности этих систем ограничена исключительно статистикой аварийности в территориальных водах Украины и проведением первичного расследования аварий и аварийных происшествий с судами, не управляя рисками.

Управление рисками уже на стадии инвестиционного проекта, а в дальнейшем и инвестиционного менеджмента, которые минимизируют их уровень, целесообразно, осуществлять путем использования методологии научных исследований по разработке систем гарантированной безопасности судоходства.

Системы гарантированной безопасности судоходства отличаются от систем, применяемых в настоящее время, уровнем прогнозируемого риска, который в период эксплуатации СПГ – терминала строго поддерживается путем достаточной информативности для однозначного принятия решений при условии строгой ответственности за результаты инвестиционного менеджмента.

Гарантия предусматривает адекватные действия инвестиционного менеджмента даже в неадекватных условиях судоходства.

Процесс передачи сжиженного природного газа от производителя к потребителю при реализации Национального проекта, необходимо разделить на три основных этапа:

- Обработка, сжижение, хранение СПГ на танкерах;
- Морская транспортировка СПГ;
- Разгрузка СПГ на приемном терминале, хранение, регазификация и последующая поставка потребителям.

Для всех основных указанных этапов, необходимо разработать структурную схему оптимальной транспортно – технологической системы транспортировки СПГ из стран импортеров и комплекс научно-технических правил по гарантированной безопасности судоходства при эксплуатации, транспортировке, погрузке или выгрузке СПГ, рис. 2.

Классификация опасных грузов, относит все грузы, которые перевозятся на СПГ – танкерах, являются летучими и соответствуют категории – А, как наиболее опасной.

Все европейские импортеры и экспортеры LNG при классификации углеводородов по степени опасности учитывают не только температуру вспышки груза, но и давление насыщенных паров [10,11].

Для метана в сжиженном состоянии температура вспышки в °С, составляет – 175,0 °С, пределы воспламенения в % отношении по объему находятся в диапазоне 5,3 – 14%, а температура самовоспламенения около 595,0 °С [10].

Учитывая особую опасность груза и специфические конструктивные особенности СПГ – танкеров, необходимо выполнить целый ряд научно-технических мероприятий и исследований с разработкой

практических правил системы управления гарантированной безопасностью СУБ, среди которых:

- анализ мирового опыта перевозки СПГ морским и речным транспортом, в условиях открытых и закрытых территориальных морей.

- подготовка правил и рекомендаций для транспортировки СПГ в условиях закрытого территориального моря Украины.

- организация и формирование транспортного пути с точки зрения навигационной безопасности плавания, в условиях закрытых территориальных морей для географических условий Украины с учетом глубин и рельефа дна.

- изучение размера каналов и глубин для беспрепятственного маневрирования танкера при подходе и постановке к причальной стенке СПГ – терминала;

- планирование безопасных маршрутов движения танкера при проходах в узкостях, а также при заходах в акваторию СПГ – терминала;

- разработка правил СУБ при постановке на якорь, маневрировании танкера при швартовных операциях в акватории СПГ – терминала;

- разработка СУБ с учетом конструктивных характеристик расчетного танкера, т.е. конструктивных особенностей судов, как перспективных (будущих) поставщиков СПГ;

- разработка маневренных характеристик ходкости и управляемости СПГ – танкера на маршрутах передвижения;

- разработка правил взаимодействия теоретического СПГ – танкера с буксирами, ледоколами включая лоцманскую проводку на различных этапах маневрирования судна.

- подготовка правил «ледового режима» акваторий терминалов при поставке СПГ.

- разработка правил и обеспечение безопасности груза, окружающей среды на отдельных участках движения СПГ – танкера.

- план перехода судна от причала до причала;

- теоретическое (гипотетическое) воспроизведение вероятностных аварийных ситуаций на всем пути движения СПГ – танкера с точки зрения мореходных качеств судна и возможных условий навигационной обстановки;

- Обеспечение безопасности т СПГ – анкера и СПГ – терминала от внешних угроз.

Ключевое место занимает подготовка кадров.

Специалистов контролеров необходимо готовить на базе национальных ВУЗов, располагающих необходимым научно-техническим, практическим опытом проектирования, строительства и эксплуатации СПГ – танкеров, в соответствии с Кодексом ИМО [9,11].

В соответствии с Кодексом по охране судов и портовых средств для обеспечения безопасности работы СПГ танкера и завода необходимо выполнение следующих мероприятий:

- Разработка плана охраны СПГ – танкера от внешних угроз;
- Разработка плана по регулярной оценке условий при охране СПГ – танкера;
- Периодический пересмотр оценки условий охраны СПГ – танкера с целью усовершенствования условий и правил безопасности;
- Подготовка правил контроля доступа на СПГ – танкер;
- Подготовка офицеров и контроль знаний офицера, отвечающего исключительно за безопасность судна от внешних угроз.
- Подготовка и повышение квалификации специалистов.
- Повышение квалификации Регистра судоходства Украины в области СПГ – технологий;
- Подготовка инспекторов контролеров для СПГ – танкера и терминала в соответствии с Кодексом ОСПС;
- Подготовка специалистов по поиску и спасанию на море и борьбе с разливами нефти, нефтепродуктов и СПГ на основании требований Международных конвенций ИМО и МОТ.

Все научно–технические работы, правила и рекомендации, необходимо согласовать с Судовладельцами и Классификационными обществами, которым поднадзорны СПГ – танкеры.

Выводы. В настоящее время Украина реализует только один проект строительства завода по сжижению природного газа и долгосрочной аренды морского (рейдового) СПГ терминала, несмотря на стремительный рост числа приемных терминалов в странах Европы (Великобритания, Испания, Италия и др.).

Важной проблемой реализации Национального проекта по строительству завода и ввода в эксплуатацию рейдового терминала, является отсутствие свободных метановозов на мировом фрахтовом рынке. Низкие темпы строительства новых СПГ танкеров, связаны в первую очередь с стремительным ростом цен на металл, что в свою очередь приводит к значительному удорожанию судов.

Перед проведением работ по реализации проекта строительства СПГ завода и эксплуатации плавучего терминала, помимо капитальных затрат необходимо учитывать комплекс организационных и научно технических мероприятий, что в свою очередь обеспечит сокращение сроков сооружения объекта и ввода в эксплуатацию плавучего терминала, безопасной эксплуатации объектов за счет высококвалифицированного персонала, снижение эксплуатационных затрат безаварийной работы СПГ судов и сведение к минимуму экологического ущерба.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойко П.А. Условия формирования производственного потенциала судоходной компании. Зб. Економические инновации / Бойко П.А. - Одесса: ИПРЭЭИ НАН Украины, 2006. – Вып. – С. 108 – 116.
2. Винников В.В. Экономика морского транспорта / Винников В.В. О.: Феникс, 2011. – 944 с.
3. Грезин А.К. Использование СПГ в качестве энергоносителя - задача государственной важности / Грезин А.К. М.: НПКФ «ЭКИП», 2003 г.
4. Закон України «Про інвестиційну діяльність» //Відомості Верховної Ради України. – 1991. - №49 – С. 1403 – 1425.
5. Касаткин Р.Г., Система морской транспортировки сжиженного природного газа из Арктики / Касаткин Р.Г. М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 104 с.
6. Кацман Ф.М. Современный поход к решению вопросов технологической безопасности при морской транспортировке газа / Кацман Ф.М., Баскаков С.П. М.: «Морской флот», №6, 2005.
7. Костылев И.И. Морская транспортировка сжиженного газа / Костылев И.И., Овсянников М.К. ГМА им. Макарова, 2009. – 304 с.
8. Примачев Н.Т. Методы измерения эффективности морского транспортного комплекса / Примачев Н.Т. Одесса: ИПРиЭЭИ, 2009. – 260 с.
9. Материалы Международных Конвенций ИМО и МОТ.
10. Материалы BP Statistical Review of World Energy 2007 – 2011, 2012.
11. Матеріали науково – технічної конференції «СЕУ: експлуатація та ремонт», 20.03.2013 – 22.03.2013. Частина 1. – Одеса: ОНМА, 2013. – 175 с.

УДК 621.431.74.03-57

Шебанов А.Н., Богач В.М.
ОНМА

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МАСЛОПОДАЧИ ДВУХРЯДНОЙ ЛУБРИКАТОРНОЙ СИСТЕМОЙ С АККУМУЛИРОВАНИЕМ ДАВЛЕНИЯ МАСЛА

Одним из перспективных путей повышения эффективности организации процесса смазывания деталей ЦПГ является применение новых систем с электронным регулированием подачи масла и управлением работой системы посредством персональных компьютеров.

Однако создание и широкое использование таких систем ограничивается малой изученностью их эффективности и противоречивостью существующих данных об их эксплуатационной надежности, что в значительной степени затрудняет решение последующих вопросов совершенствования лубрикаторных систем.

С момента ввода в эксплуатацию на двигателях РТА применялась система смазывания цилиндров, во многом аналогичная используемой ранее на их предшественниках (двигателях RND). Подвод масла к штуцерам осуществлялся с помощью лубрикаторов имеющих механический привод. Системы такой конфигурации применяются на многих двигателях выпущенных в период с 1985 по 1995 г.г. и эксплуатируемых в настоящее время.

Эти системы имеют небольшие отличия от предшественников, однако не всегда положительные. Например, невозвратный клапан перемещен на максимальное удаление от зеркала цилиндра, что как правило ухудшает процесс маслоподачи, а штуцер имеет вид укороченного свертыша с длинным стержнем-вытеснителем. Кроме того как показывают ряд исследований аккумулятор наряду с положительным эффектом в таком исполнении далек от совершенства. Такие конструктивные особенности данной системы несомненно влияют на процесс маслоподачи и требуют внимательного изучения.

В начале 90-х годов появляется 2-х рядная система смазывания, причем с внешней стороны цилиндра штуцеры расположены в один ряд, а с внутренней имеется 2 ряда каналов и канавок (рис.1). Как видно из рис.1 а, подача масла к нижнему ряду осуществляется по довольно сложному пути – каналу z образной формы с 2 горизонтальными и одним вертикальным участками, такие каналы применялись ранее на двигателях фирмы MAN и как показывают исследова-

ния имеют очень существенные недостатки ухудшающие процесс маслоподачи.

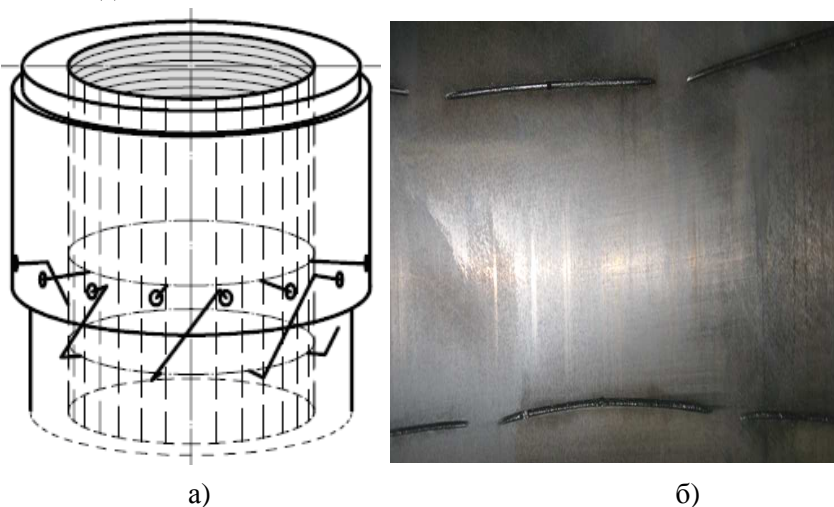


Рис.1. 2-х рядное расположение маслоподводящих каналов двигателей RTA: а – характер подвода масла к канавкам; б – расположение каналов на зеркале ЦВ

При этом подвод масла осуществляется посредством штуцеров с длинным корпусом (рис.2).

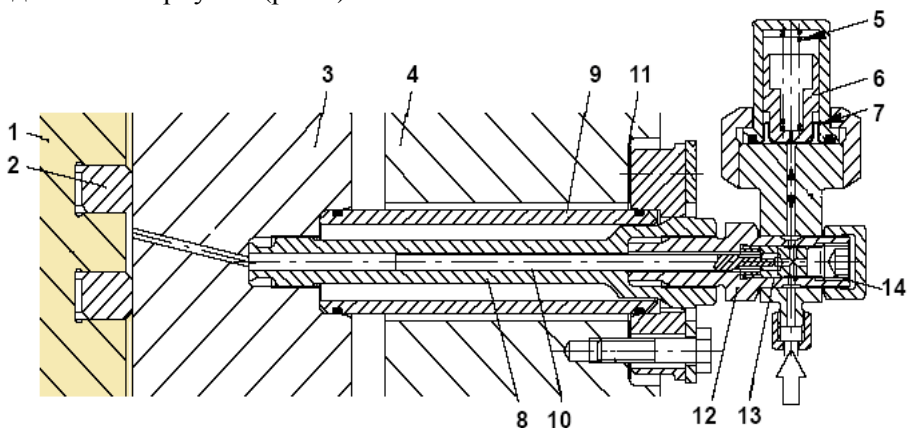


Рис.2. Составляющие 2-х рядной лубрикаторной системы двигателей RTA: 1-поршень двигателя; 2-поршневое кольцо; 3-цилиндрическая втулка; 4-рубашка; 5-пружина; 6-поршень аккумулятора; 7- мембрана; 8-корпус шту-

цера (длинный); 9-труба; 10-канал штуцера; 11-прокладка; 12- корпус штуцера (короткий); 13-шариковый клапан; 14-заглушка.

По всей видимости переход от короткого штуцера к длинному вызван чисто конструктивным исполнением рубашки цилиндра и опорного бурта ЦВ (рис.3), а не из соображений улучшения работы системы смазывания. Назовем ее *двухрядной лубрикаторной системой с аккумулярованием давления масла*.

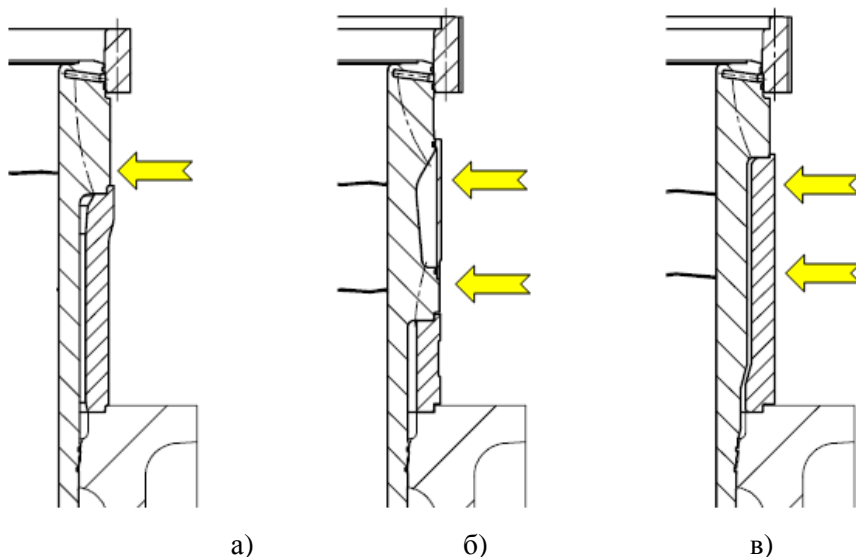


Рис.3. Различные варианты конструктивного исполнения ЦВ:

а) длинный бурт; б) короткий бурт вариант «А»; в) короткий бурт вариант «В»; (стрелками указаны места установки штуцеров).

Из двух рядов подвода масла верхний имеет незначительные отличия от описанного в предыдущем разделе и как показали исследования характеристики их процесса маслоподачи сходны, поэтому нет необходимости на них останавливаться. Что же касается нижнего ряда, то по своей конфигурации он очень отличается от применяемых ранее на двигателях «Зульцер», из за того что канал в стенке втулки имеет Z – образную форму.

Эти каналы имеют значительную длину, вследствие чего у рассматриваемых дизелей между зеркалом цилиндра и обратным клапаном заключена часть маслопровода, длина которой превышает 500 мм.

На этом участке имеются неоднородности в виде местных сужений и расширений, камер, наклонов, поворотов канала под углом до 90 град., кольцевой щели, вертикального участка и др.

Несмотря на гидравлическую сложность этой части нагнетательного тракта, отделяющей обратный клапан от зеркала, значительную длину и неизвестность происходящих в ней процессов, во всех предыдущих исследованиях периоды открытия обратного клапана отождествлены со временем поступления масла из отверстий на зеркало.

На основании периодов и частоты открытия обратного клапана сделано заключение, что за цикл маслоподачи (т.е. за промежуток между двумя рабочими ходами плунжера лубрикатора), поступления масла в цилиндр происходит всего на двух оборотах.

При этом, одни исследования утверждают, что выход масла на зеркало происходит между 110 и 290 град. п.к.в., т.е. когда поршень находится в районе НМТ, а другие считают, что масло поступает в цилиндр при нисходящем ходе поршня в тот период, когда компрессионные кольца пересекают пояс расположения маслоподводящих отверстий.

Противоречивость и ошибочность указанных утверждений обусловлены, прежде всего общей попыткой при анализе всех выполненных экспериментов определить поступление масла в цилиндр на основании перемещения клапана, без исследования процессов, определяющих механизм формирования и динамику истечения масла из отверстия на зеркале втулки.

В результате экспериментальных исследований нами установлено, что эти процессы возникают при работе двигателя, именно на не учитываемой ранее части нагнетательного тракта, т.е. на участке между обратным клапаном и зеркалом цилиндра.

Указанные исследования проведены в условиях, соответствующих работе системы на двигателе с частотой вращения коленчатого вала 75-185 мин⁻¹. Величина импульса давления на сжатии задавалась в пределах 0,8-1,6 МПа, а на расширении – 1,8-3,1 МПа. Ход плунжера лубрикатора изменялся от 4 до 9 мм. Влияние температуры масла в лубрикаторе изучалось для диапазона 25-40⁰С, а в штуцере – 70-150⁰С.

У двигателей РТА рассматриваемый участок канала в связи с особой его сложностью в значительно большей степени, чем у других двигателей, наполнен газами. При известном изменении давле-

ния у среза маслоподводящего отверстия и возникающем при этом попеременном сжатии и расширении газов в канале, в нем формируется возвратно-поступательное перемещение масла, сопровождающееся интенсивным перемешиванием его с газами.

Газо-масляная смесь, при падении давления у смазочных отверстий изнутри цилиндра, движется по каналу к зеркалу, получая при этом ускорение за счет энергии расширяющихся газовых пузырьков и подушек, замкнутых в канале.

Перед срезом канала на зеркале скорость достигает достаточно больших значений, при которых масло продолжает движение по оси выходного канала даже за его пределами (рис.4). Таким образом, происходит своеобразный «выброс», т.е. метание масла из канала расширяющимися в нем газами. Специальными измерениями установлено, что путем «выброса» за пределы канала поступает до 80% масла.

При этом, величина его изменяется в зависимости от значений эксплуатационных показателей работы двигателя.

В каждом промежутке между рабочими ходами плунжера лубрикатора «выброс» масла происходит несколько раз. При этом смена его формы имеет заметное чередование.

«Выброс» может быть струйным, как на кинокадрах рис.4. Эта форма характерна преимущественно для первой части цикла маслоподдачи. Затем «выброс» представляет собой в основном группу капель или единичные относительно крупные капли и, наконец – пучок достаточно распыленной газо-маслянной смеси.

Корень струи, который не отрывается от зеркала, формирует своеобразное сползание масла под отверстие и вертикальное стекание его по зеркалу. На нескольких оборотах поступление масла из отверстия может вообще отсутствовать.

Необходимо заметить, что описанные явления (несмотря на последовательную работу секций лубрикатора) происходит во всех маслоподводящих каналах одновременно, что обусловлено общим для всех каналов временем нарастания и падения импульсов давления газов изнутри цилиндра.

Различные периоды пополнения канала маслом, соответствующие очередности рабочих ходов плунжеров лубрикаторов, обуславливают лишь разницу в чередовании форм «выброса» или условную очередность пропуска поступления масла из отверстия.

Описанное выше чередование форм «выброса», промежутки между ними и перерывы в истечении масла из отверстий свидетельствуют о значительном опустошении канала после «выброса».

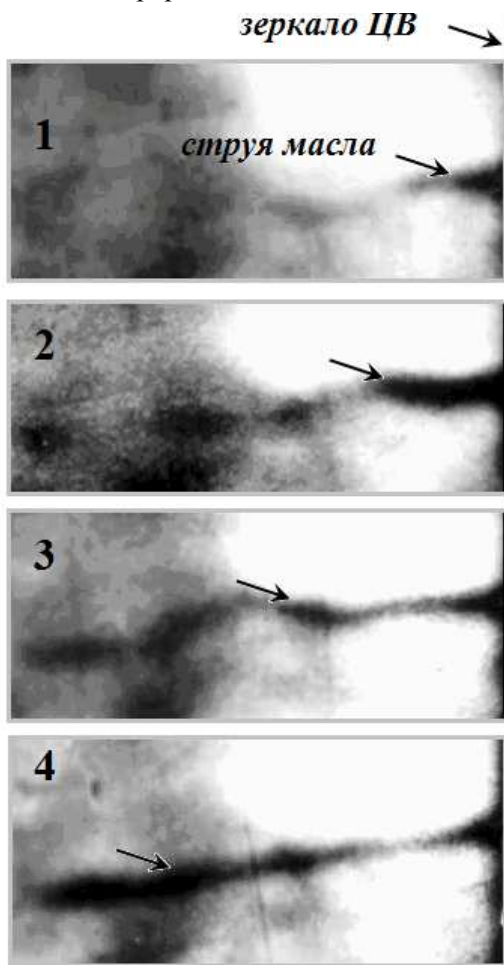


Рис.4. Кинокадры «выбросного» истечения масла

В результате исследований установлено, что после «выброса» в связи со значительным опустошением канала в период нарастания давления у смазочного отверстия и соответствующего этому движения масла по каналу от зеркала в глубь канала к обратному клапану, происходит существенное оголение стержня, размещенного в канал штуцера.

В эти периоды стержень достаточно быстро прогревается газами, входящими из цилиндра в канал и становится аккумулятором тепла, ускоряющим разложение масла в канале (которое происходит, прежде всего, на поверхности самого стержня).

На рис.5 приведен пример осциллограммы процесса маслоподачи с записью момента истечения масла за пределы канала. Из нее следует, что момент появления масла на срезе отверстия не имеет

прямой связи с нагнетательным ходом плунжера лубрикатора и открытием обратного клапана.

Истечение масла (линия Мв) в цилиндр двигателя происходит как при неподвижном плунжере (линия Хп), так и при закрытом клапане (линия Хк). Это является еще одним доказательством того, что процессом истечения масла в цилиндр управляет не лубрикатор, а совокупность условий взаимодействия газов с маслом заключенным в заклапанной части тракта системы.

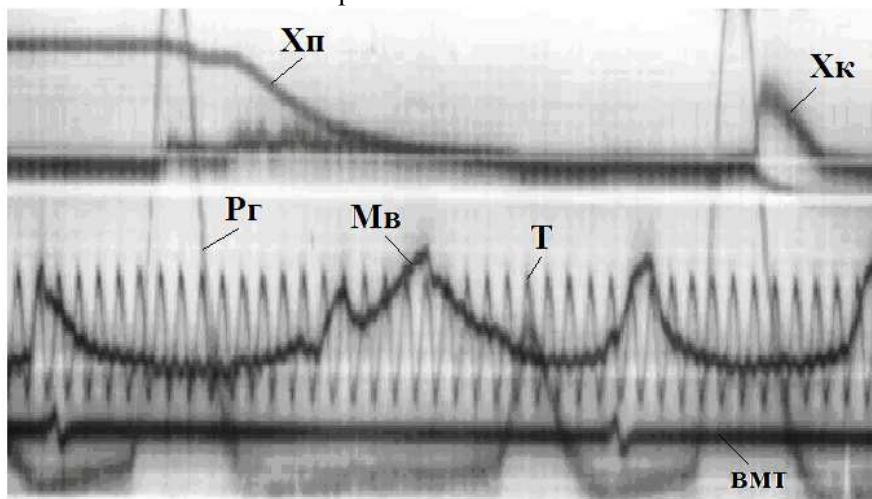


Рис.5. Оциллограмма цикла маслоподачи

Более того, существуют периоды, когда нагнетательный ход плунжера и открытие клапана не приводят к истечению масла из канала (рис.6). Масло, подаваемое в эти периоды идет на пополнение опустошенного канала и появление его на срезе происходит лишь через некоторое время, длительность которого зависит от величины предыдущих «выбросов» и степени опустошенности канала.

С явлением «выброса» связаны основные прямые потери дефицитного цилиндрического масла.

Наложение кривой движения поршня на осциллограмму позволяет определить на какие поверхности и в какие периоды происходит действительное истечение масла.

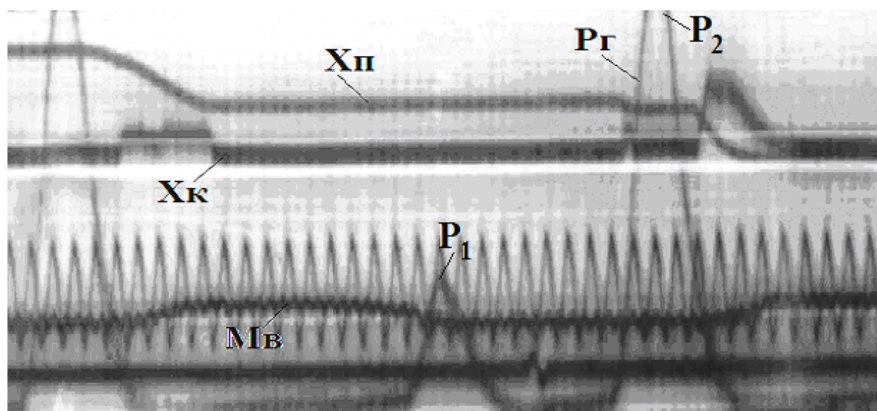


Рис.6. Осциллограмма маслоподачи после опустошения канала в результате «выброса»

Установлено, что «выброс» происходит как после импульса P_1 , так и после импульса P_2 . В первом случае он приходится на тронк, когда нижнее компрессионное кольцо находится выше линии расположения смазочных отверстий, примерно в $20-25^0$ п.к.в.

Конец периода этого «выброса» может приходиться на последнее кольцо при движении поршня к НМТ. Таким образом, «выброс» в рассмотренной фазе является по существу газовым выталкиванием масла в зазор между втулкой и тронком.

Имея в виду участие поверхности тронка в распределении масла по зеркалу, можно считать, что рассмотренная фаза «выброса» несет с собой определенное количество масла, которое используется по назначению. Однако часть масла этой фазы, несомненно, попадет в окна, подпоршневое пространство, ресивер продувочного воздуха и может являться одной из причин, предопределяющих возникновение там пожара.

Другая, основная и самая расточительная фаза «выброса», происходит после второго, более мощного импульса P_2 , при движении поршня к н.м.т., она и приводит к образованию нагара на головке поршня, результаты трения которого по зеркалу оставляют хорошо заметные следы, рис.7.

На основании обработки результатов скоростной киносъемки процесса «выброса» (один из фрагментов которого приведен на рис.4) графическим дифференцированием определены скорости полета масла за пределы смазочных отверстий, рис.8.

Как видно из рисунка, эти скорости достигают 2,5 м/с. В зависимости от фаз и форм «выброса» траектории полета масла в цилиндре могут достигать нескольких десятков сантиметров.

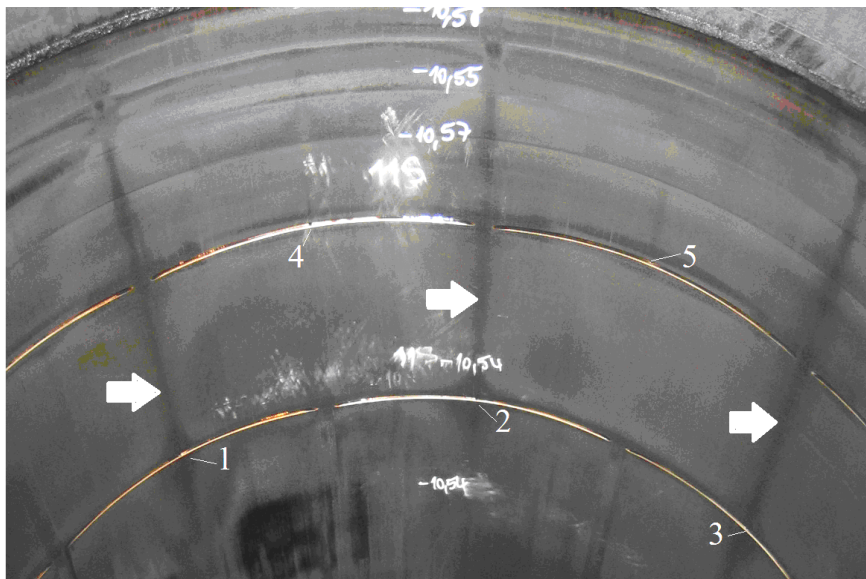


Рис.7. Следы натиров на зеркале ЦВ проходящие через точки подвода масла (1,2,3) нижнего смазочного пояса (точки 4,5 подвода масла верхнего пояса).

Причем малые порции масла (отдельные капли и их пучки) «выбрасываются» из каналов с меньшей скоростью и удаляются от среза смазочных отверстий на меньшее расстояние. Для струйной формы «выброса» характерна скорость до 2-2,5 м/с и наибольшая дальнобойность.

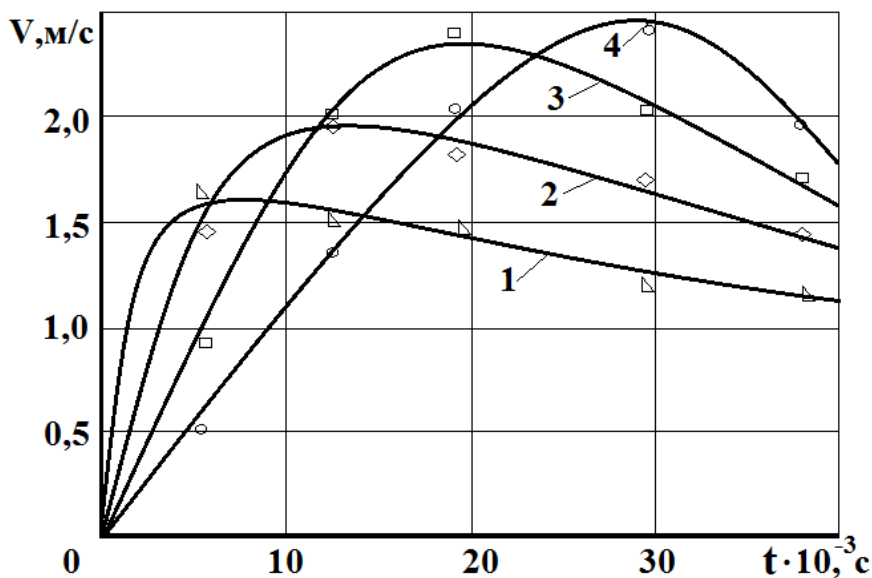


Рис.8. Скорости истечения масла на различных режимах работы двигателя:

1 - $n=104$ мин⁻¹; 2 - $n=120$ мин⁻¹; 3 - $n=138$ мин⁻¹; 4 - $n=175$ мин⁻¹;

Следовательно, основное количество масла (за исключением корня струи), поступающего в цилиндр после 2 импульса, отрывается от зеркала, попадает непосредственно на днище головки поршня, где в последующем сгорает.

Корень струи «выброса», происходящего после импульса P_2 , и то несравнимо малое количество, которое в этой фазе вытекает из смазочного отверстия без отрыва от зеркала, подхватывается первым компрессионным кольцом на сжатии. Это масло проникает по зазорам вглубь пояса расположения компрессионных колец под действием перепада давления над и под кольцами, распределяется ими по зеркалу и составляет ту часть подачи во второй фазе, которая используется на смазывание цилиндра.

В результате выполненных экспериментальных исследований систем смазывания цилиндров длинноходовых судовых двигателей фирмы Wartsila-Zylser установлено следующее:

1. Истечение масла в цилиндр из канала за клапаном штуцера осуществляется не под действием плунжера лубрикатора, а в результате взаимодействия газов с маслом в этом канале;

2. У исследуемых дизелей, масло в цилиндр поступает двумя путями - с "выбросом" из канала втулки и стеканием по зеркалу цилиндра;
3. Истечение масла из канала на зеркало происходит в основном мимо канавок, что не способствует равномерному его распределению по окружности цилиндра и обуславливает сброс масла в окна, подпоршневое пространство и унос с продувочным воздухом;
4. "Выброс", происходящий на линии расширения, осуществляется в объеме рабочего цилиндра при положении поршня ниже каналов смазки и составляет основную часть масла, которое нерационально используется в цилиндре, увеличивает отложения нагара, ухудшает состояние цилиндра и снижает технико-экономические показатели работы двигателя;
5. Подача масла на сжатии приходится частично на нижние кольца и в основном - на тронк поршня;
6. Имеет место неравномерная подача масла по оборотам и непропорциональное распределение его между верхней и нижней частями зеркала.

УДК 662.758.3:629.063.6

Половинка Э.М., Карпилов Ю.А.
ОНМА

РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ТОПЛИВОПОДАЧИ СОВРЕМЕННЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Современные требования в отношении влияния двигателей внутреннего сгорания на экологию окружающей среды заставляют конструкторов и исследователей искать методы уменьшения количества выбросов вредных веществ в атмосферу.

Основными токсичными веществами, выбрасываемыми современными дизелями являются твердые частицы (сажа, оксиды серы SO_2 , тяжелые углеводороды), оксиды азота (NO_x), монооксид углерода (CO), углеводороды (CH), оксиды серы. В настоящее время нормируются выбросы частиц, NO_x , CO, CH, а также дымность отработанных газов.

Максимально допустимые выбросы NO_x для судовых дизелей внутреннего сгорания, согласно Marpol Annex VI, приведены на диаграмме (рис. 1). [1].

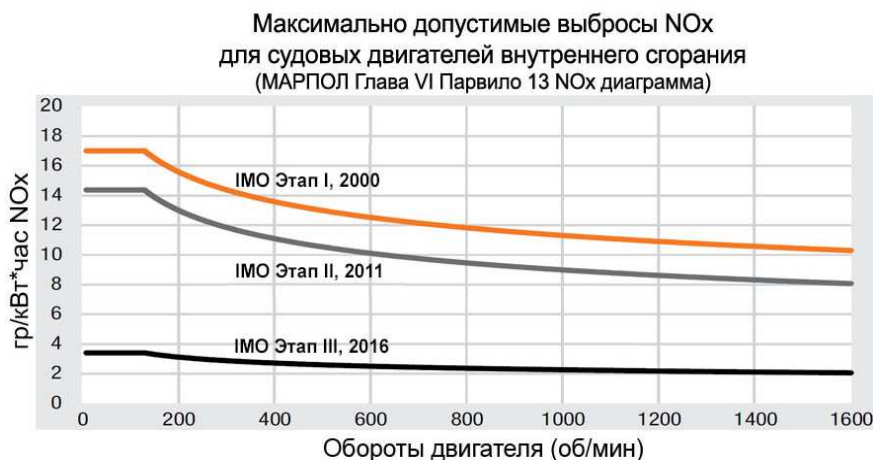


Рис. 1. Максимально допустимые выбросы NO_x для судовых дизелей

Наиболее перспективным способом уменьшения вредных выбросов двигателями внутреннего сгорания являются разработки в области совершенствования топливopодающей аппаратуры, в частности использования аккумуляторных системы топливopодачи, форсу-

нок с электронным/электрогидравлическим управлением и т.д. (рис.2) [2]



Рис. 2. Ключевые факторы разработок топливных систем дизелей

Самыми популярными топливными системами на данный момент являются аккумуляторные, которые начали выпускаться с 1997 года и получили название «COMMON RAIL». Эти системы имеют целый ряд преимуществ по сравнению с обычными топливными системами (систем непосредственного действия):

- широкая область применения (автотракторные, тепловозные и судовые дизели цилиндровой мощностью);
- применение топливного насоса высокого давления со сниженной нагруженностью привода и меньшей виброактивностью;
- независимо друг от друга оптимальная величина цикловой подачи и давление впрыскивания топлива должны определяться для всех эксплуатационных условий работы двигателя;
- переменный угол опережения впрыскивания;
- возможность формирования процесса двухфазного и многофазного впрыскивания.

Создание давления и непосредственный процесс впрыскивания в аккумуляторной топливной системе CR полностью разделены. Высокое давление в топливной системе создается независимо от частоты вращения коленчатого вала двигателя и количества впрыскиваемого топлива. Топливо, готовое для впрыскивания, находится под

высоким давлением в аккумуляторе. Количество впрыскиваемого топлива определяется заданием поста управления двигателя, а угол опережения и давление впрыскивания определяются электронным блоком управления на основе программируемых матриц характеристик, хранящихся в памяти микропроцессора. Электронный блок управления выдает управляющий пусковой сигнал на соответствующие электромагнитные клапаны, в результате чего осуществляется впрыскивание форсункой в каждый цилиндр. [4]

Компания Bosch, выпустившая систему "Common Rail Diesel Injection", добилась колоссального прорыва в области топливоподающей аппаратуры. Уменьшился расход топлива на 15%, реже стал требоваться ремонт, а так же на 40% увеличилась мощность двигателя, что дало возможность увеличить динамические и мощностные характеристики двигателей, не изменяя при этом их размеров. Эти системы могут обеспечить различные характеристики впрыскивания топлива. В частности реализуется двухфазная характеристика: подача запального и основного топлива. Из-за этого в камере сгорания давление поднимается плавно, а поэтому двигатель работает плавно и намного тише. Данная система обладает рядом положительных характеристик, таких как малый расход топлива; повышена мощность двигателя; понижена токсичность выхлопных газов; понижено образование сажи при работе двигателя; очень низкий уровень шума в двигателе. [10]

Компания Wärtsilä уже много лет ведет разработки в области Common Rail систем, применяя их на судах различного типа. Их исследования показали, что использование системы CR и деталей топливной аппаратуры из современных материалов позволяет увеличить срок службы топливной аппаратуры. Так использование плунжера с напылением из нитрида кремния с посадочным местом из карбида вольфрама в CR системе на практике показывает жизнеспособность в 30 000 часов. [6] Но, самыми главными достижениями систем CR, с учетом сегодняшних экологических рамок, являются уменьшение дымности двигателей и выбросов NO_x . [7]

Компания MAN B&W так же активно занимается разработками в области систем Common Rail и имеет очень впечатляющие результаты в вопросах экологии (рис.3а и рис.3б). [8]

Выбросы сажи

FSN

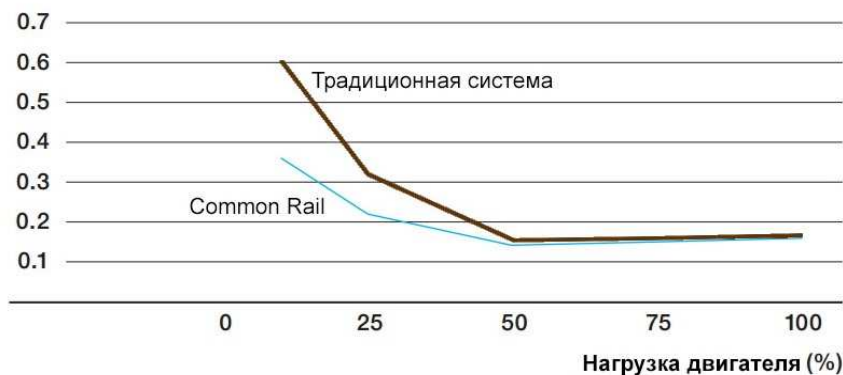


Рис.3а. Сравнение выбросов сажи CR и традиционных двигателей MAN B&W

NO_x

%

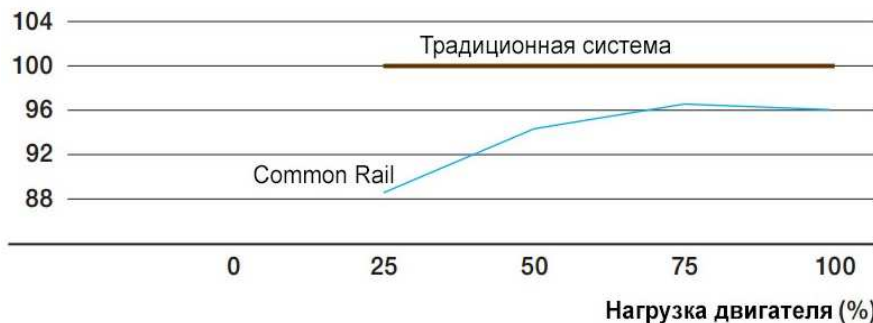


Рис.3б. Сравнение выбросов NO_x CR и традиционных двигателей MAN B&W

Электронные системы управления подачей топлива позволяют обеспечивать гибкое регулирование угла опережения впрыскивания и характеристики впрыскивания. Электронное управление имеет целый ряд преимуществ перед механическим, из которых стоит отметить гибкое регулирование цикловой подачи, минимальную неравномерность подачи по цилиндрам, регулирования оптимального ре-

жима углов опережения впрыскивания, моментальная диагностика системы и выбор режима работы двигателя в соответствии с его состоянием в данный момент времени и т.д.

Так же в современном дизелестроении для уменьшения выбросов вредных веществ в атмосферу стали использовать насос-форсунки, которые имеют двухступенчатый электроуправляемый дозирующий клапан. Насос-форсунки позволяют увеличить давление впрыскивания топлива до 2000 кг/см^2 , и, благодаря своим функциям, снизить нагрузку на линии высокого давления. Такие форсунки относительно компактны, более стабильный гидравлический привод, вследствие снижения объема высокого давления выросла эффективность гидравлики. [4]

На рисунке 4 представлена насос-форсунка фирмы «BOSCH» третьего поколения и мгновенные характеристики ее работы. Изучив кривые давления на распылителе, ход иглы распылителя и интенсивность впрыскивания можно говорить о достаточной стабильности работы такого механизма и рациональности применения этих форсунок в дизелестроении. [5]

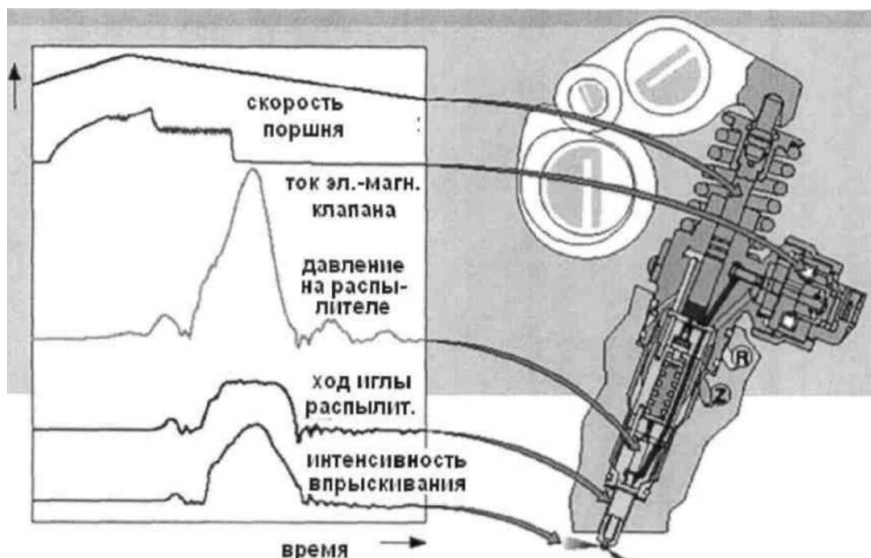


Рис. 4. Насос-форсунка фирмы «BOSCH» и мгновенные характеристики ее работы

Так же одним из направлений развития топливной аппаратуры стало применение форсунок с мультипликатором давления, которые позволяют осуществлять предварительное впрыскивание топлива на более низком давлении, а так же подвпрыск на высоком давлении для снижения количества образующейся сажи. Эта система называется APCRS и была разработанная фирмой «BOSCH». В APCRS реализована возможность питания форсунки, как от аккумулятора, минуя мультипликатор давления, так и от мультипликатора с повышенным давлением относительно аккумулятора. То есть такая система дает более широкие возможности по управлению впрыскиванием топлива и позволяет достичь лучших динамических характеристик двигателя. [4] Так же на данный момент активной разработкой электрогидравлических форсунок с мультипликатором занимаются Д.Г. Шеметов, О.В. Дробышев и М.Э. Брякотин. [3].

Ими рассмотрено формирование ступенчатой характеристики впрыскивания топлива электрогидравлической форсункой с мультипликатором давления, схема которой представлена на рисунке 5. Особенностью их исследования является использование двухходовой иглы распылителя управляемой гидравликой. Управление данной форсункой осуществляется электронным блоком управления, который подаёт управляющие сигналы на электромагнит форсунки и регулятор давления насоса высокого давления. В форсунке используется жиклер, функцией которого является задержка периода срабатывания клапана гидроуправления, а шариковый клапан используется для максимально быстрого наращивания давления над клапаном гидроуправления, минуя при этом ограничитель расхода (жиклер).

Ступенчатое впрыскивание топлива позволяет снизить скорость нарастания давления в фазе горения и максимальное давление цикла, в результате чего уменьшается шум сгорания, что наиболее явно заметно при малой частоте вращения и нагрузке. Осуществляется он в две фазы. Первая фаза – игла доходит до упора (поршня мультипликатора запирающая иглы 3) на высоту 0.03мм на 0.5мс, в это время происходит нарастание давление в мультипликаторе и непрерывное впрыскивание (линия 1 на рисунке 7), а когда высокое давление достигнет кармана распылителя, наступает вторая фаза, открывающее усилие иглы возрастает и, преодолевая силу поршня гидрозатора, игла открывается на полный ход, равный 0.3 мм на 0.7 мс (линия 2 на рисунке 7).

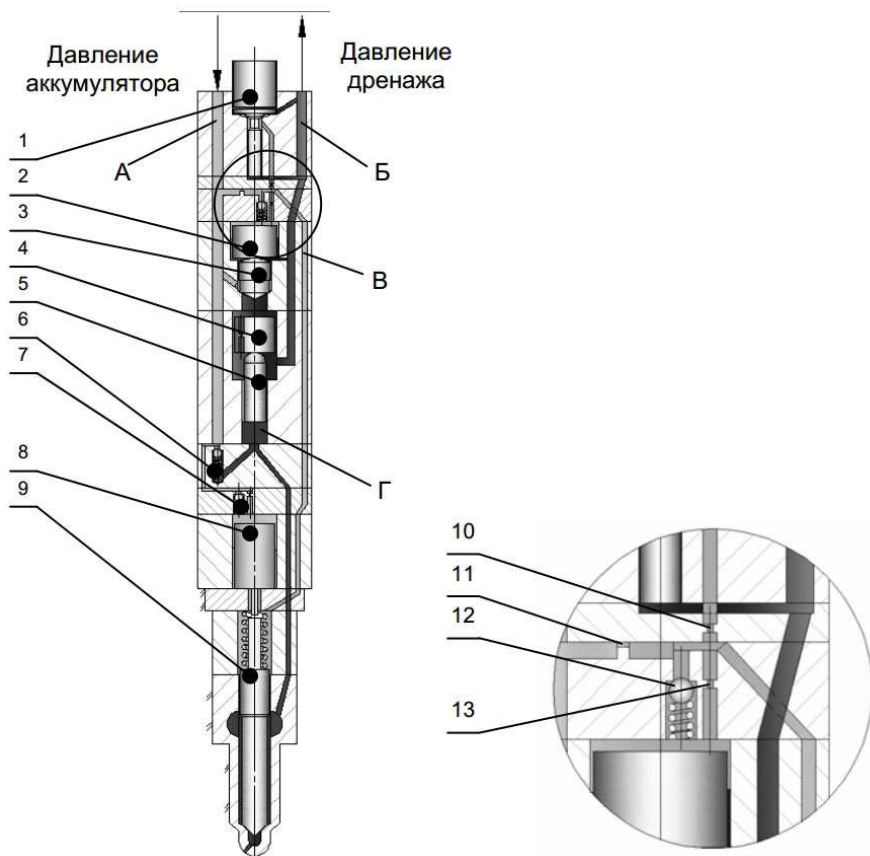


Рис. 5. Схема электрогидравлической форсунки с мультипликатором давления: 1 – электромагнитный клапан; 2 – мультипликатор запертия клапана гидроуправления; 3 – клапан гидроуправления; 4 – поршень мультипликатора; 5 – плунжер мультипликатора; 6 – шариковый клапан мультипликатора; 7 – шариковый клапан мультипликатора гидрозапертия иглы; 8 – поршень мультипликатора гидрозапертия иглы; 9 – игла распылителя; 10 – дренажный жиклёр полости управления; 11 – наполнительный жиклёр полости управления; 12 – шариковый клапан клапана гидроуправления; 13 – жиклёр клапана гидроуправления

В целом графики выглядят вполне стабильными, что позволяет надеяться на получение приемлемых результатов при их работе в условиях эксплуатации. Но, как сообщает автор, на данный момент эта система еще проходит тестирование и доработки.

Кратковременно полное или частичное открытие электромагнитного клапана позволяет организовать предвпрыск. Уровень понижения давления в полости управления достаточен для того, чтобы игла дошла до первого упора, но для открытия клапана гидроуправления – он недостаточен. При этом мультипликатор давления не работает. Варьируя интервалом между предвпрыском и основным впрыскиванием можно добиться «включаемости» и «выключаемости» ступенчатости у основной дозы впрыскиваемого топлива. Этот эффект достигается за счёт колебательных процессов происходящих в электрогидравлической форсунке. Конечно это не показатель стабильной работы, потому что процесс перехода от «ступенчатой» к «не ступенчатой» характеристики впрыскивания будет сопровождаться разной цикловой подачей топлива.

Подобный механизм вызывает сомнение в долговечности работы отдельных деталей форсунки, можно согласиться с авторами исследования в том, что представленная форсунка требует более тщательного изучения и математического анализа. [3]

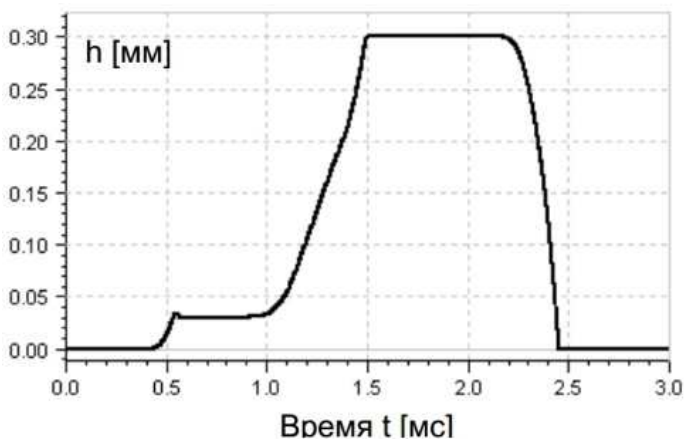


Рис.6. Перемещение иглы распылителя

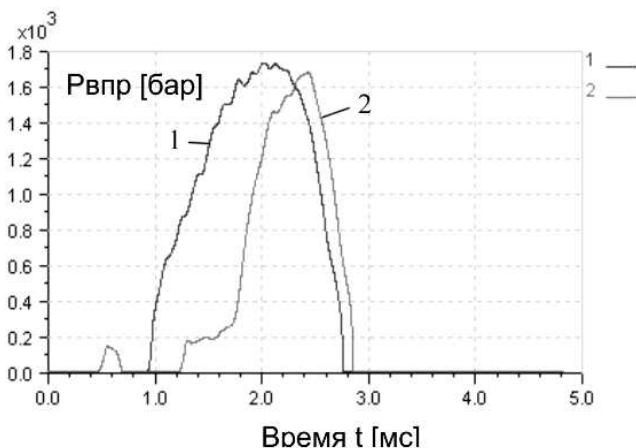


Рис.7. Давления впрыскивания ЭГФ

Компания MAN B&W ведет разработки, в том числе и в направлении контроля режимов работы двигателей. Так, на рисунке 8 приведен пример изменения режима работы двигателя с экономичного режима работы на режим сниженного выброса NO_x . Как мы видим, в режиме экономичного хода, подача топлива осуществляется в одно впрыскивание на протяжении 15 градусов оборота коленчатого вала, при этом максимальное давление сгорания достигается 155 кг/см^2 на 195ом градусе поворота коленчатого вала, а момент начала видимого сгорания топлива начинается на 182ом градусе поворота коленчатого вала и происходит при давлении 120 кг/см^2 . Выбросы NO_x при работе двигателя в этом режиме колеблются в пределах 1150-1180ppm. Изменение режима работы двигателя на режим сниженного выброса NO_x происходит в течение 15 секунд и уровень выбросов NO_x падает до 480ppm. При этом двигатель начинает работать более плавно, максимальное давление сгорания снижается до 122 кг/см^2 и достигается на 122ом градусе поворота коленчатого вала, а момент начала видимого сгорания топлива приходится на 176ом градус поворота коленчатого вала при давлении в 117 кг/см^2 . Подача топлива в таком режиме происходит с предвпрыском, максимальное давление топлива приходится 181ый градус поворота коленчатого вала и составляет 470 кг/см^2 , а максимальное давление основного впрыскивания приходится на 197ой градус поворота коленчатого вала и составляет 750 кг/см^2 . [11]

Так же из общих элементов топливной системы ведутся разработки более скоростных электромагнитных клапанов для снижения нежелательных эффектов в начале и конце подачи топлива и увеличения числа настроечных функций форсунки. Принцип действия пьезопривода основан на обратном пьезоэлектрическом эффекте. Этот эффект заключается в изменении размеров пьезоэлемента при приложении к нему напряжения. Приращение длины пьезоэлемента прямо пропорционально прилагаемому напряжению. Таким образом, можно управлять приращением длины пьезоэлемента, изменяя напряжение на его обкладках. [9]

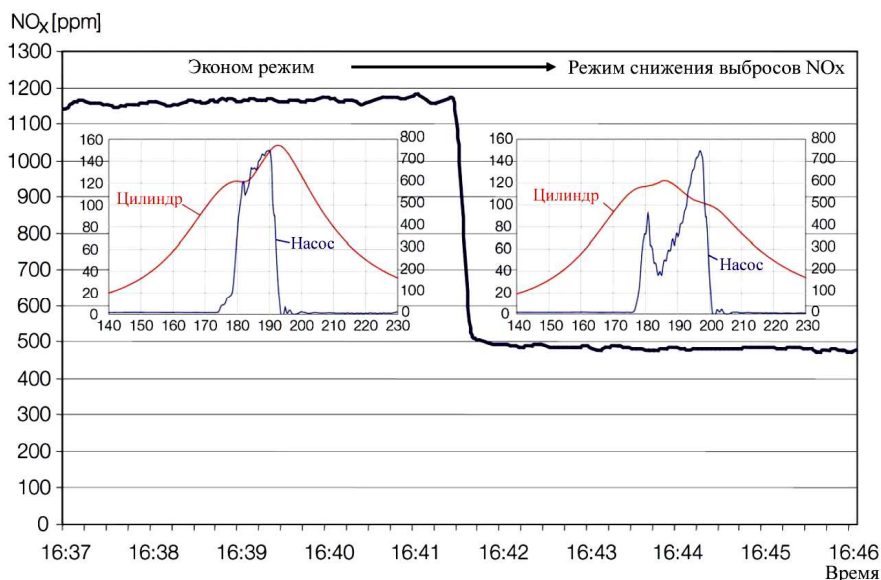


Рис.8. Сравнение режимов работы двигателя

Первоочередной причиной необходимости развития топливной аппаратуры является уменьшение выбросов вредных веществ в атмосферу, а так же уменьшение расхода топлива и увеличение срока службы отдельных элементов дизелей. Основные направления развития топливной аппаратуры – это развитие систем «COMMON RAIL» и систем с мультипликаторами давления, насос-форсунок, а так же отдельных компонентов этих систем, таких как электромагнитные клапана, разработка и усовершенствование программного обеспечения для управления системами топливоподачи и т.д. Наи-

более же эффективным является комплексное использование систем «COMMON RAIL» и форсунок с мультипликаторами давления, так как такая система позволяет более гибко регулировать характеристики впрыскивания при различных режимах работы двигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. MARPOL 73/78 Annex VI Marine Diesel Engine Requirements // <http://www.epa.gov/oms/regs/nonroad/marine/ci/f99038.pdf>
2. Future and Potential of Diesel Injection Systems // <http://ingenieria.udea.edu.co/investigacion/grupogas/docs/Maquin as.pdf>
3. Шеметов Д.Г., Дробышев О.В., Брякотин М.Э. Фомирование ступенчатой характеристики впрыска топлива электрогидравлической форсункой с мультипликатором давления. // http://elib.altstu.ru/elib/books/Files/pv2007_04/pdf/104%20shemetov.pdf
4. Диссертация «Компоненты перспективных топливных систем аккумуляторного типа с электронным управлением для транспортных дизелей» Фонов В. В. – Москва – 2004.
5. Актуальные вопросы создания топливоподающих систем транспортных дизелей // Презентация фирмы Robert Bosch GmbH: Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 30-летию ЯЗДА. - Ярославль, 2002.
6. «Experience and development od world's first Common-Rail Injection System for Heavy-Fuel operated Medium-Speed Diesel Engines» Robert Ollus, Wärtsilä Finland Oy, Finland
7. «Benefits by Common Rail injection» Wärtsilä // <http://www.pomorci.com/Edukacija/1-20/Benefits%20by%20Common%20Rail.pdf>
8. "Common Rail. Design and maturity" MAN B&W // http://www.mandieselturbo.com/files/news/files_of15326/TP_CommonRail_DRUCKDATEN.pdf
9. «Насос-форсунка с пьезоэлектрическим клапаном» Volkswagen AG // http://www.autodela.ru/assets/files/books/VW/352_Siemens_VDO_Automotive.pdf
10. «Common Rail Diesel Injection»

-
11. // [http://diesel-ural.ru/index.php/article/archive/63/
MAN «Fuel Injection System» 2009 /11 /26](http://diesel-ural.ru/index.php/article/archive/63/MAN%20%22Fuel%20Injection%20System%22%202009%2011%2026)

УДК 614.8.026.1:008:159.9

Шевченко О.И.
ОНМА

ВЛИЯНИЕ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРОИЗВОДСТВЕННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ

Культура безопасности жизнедеятельности - это состояние развития человека, социальной группы, общества, характеризуемое отношением к вопросам обеспечения безопасной жизни и трудовой деятельности и, главное, активной практической деятельностью по снижению уровня опасности.

Культура безопасности труда является теорией, которая включает следующие элементы:

- ценности, принципы и представления, служащие основой для организации управления общей системой безопасности труда;
- систему поведенческих реакций и практических процедур, которые воплощают в жизнь и значительно усиливают данные основные принципы.

Соблюдение культуры безопасности труда - ключевой показатель эффективности деятельности предприятия.

Культура личной безопасности — это степень готовности человека совершенствовать и применять арсенал своих знаний и опыт, выражающаяся в поведении и действиях, адекватных или неадекватных ситуациям, связанным с опасностью для жизни.

Культура любого человека базируется на его воспитании и образовании и проявляется в его поведении.

Культура личной безопасности в этом плане является частью общечеловеческой культуры и также проявляется в поведении человека, когда на сцене жизни появляется опасность.

Постоянная готовность обеспечения собственной безопасности прямо пропорциональна такому качеству человека, как бдительность. Чем выше планка бдительности, тем выше культура личной безопасности и его готовность преодолеть угрозу опасности.

Бдительность зависит от общеобразовательного уровня, физического состояния, психологической и специальной (по вопросам личной безопасности) подготовки человека.

Общеобразовательный уровень позволяет человеку объективно оценивать обстановку, анализировать события и факты, принимать различные решения и делать правильные выводы. В этом плане уме-

стно привести высказывание классика: «Сочинить такой рецепт или такое общее правило, которое бы годилось на все случаи жизни, есть нелепость. Надо иметь собственную голову на плечах, чтобы в каждом отдельном случае уметь разобраться».

Физическое состояние (хорошее!) дает человеку быструю реакцию, способность противостоять переутомлению и быть достаточно эффективным в вопросах физического противодействия. Находясь в хорошей физической форме, мы можем принести максимум пользы самому себе.

Психологическая готовность — это воля к жизни, умение преодолеть страх, одиночество, боль; это такие качества личности, как наблюдательность, стрессоустойчивость, эмоциональная уравновешенность и т. д., а также такие психические свойства, как внимание и восприятие.

Специальная подготовка по вопросам личной безопасности — это тот минимум конкретных знаний и умений, которые позволяют человеку чувствовать себя уверенно в повседневной жизни и в экстремальных условиях.

«Бдительность» происходит от слова «бдеть», т. е. быть начеку, вовремя заметить, узнать, принять меры. Бдительность, если ее рассматривать как основу личной безопасности, включает в себя ряд базовых составляющих, имеющих прямое отношение именно к культуре личной безопасности.

Базовые составляющие:

1. Умение правильно оценивать обстановку, выделяя помогающие факторы («друзья») и противодействующие силы, несущие опасность («враги»). Из этой оценки делаются соответствующие выводы, по которым корректируется последующее поведение и действия человека.

2. Подчинение принятым в обществе нормам безопасности (на работе, в быту, на транспорте, в общественных местах, в местах проживания и отдыха и т. д.).

3. Представление о своих юридических правах (особенно связанных с крайней необходимостью и необходимой обороной).

4. Знание факторов риска (подробнее в дальнейшем).

5. Владение правилами по преодолению непредвиденных обстоятельств.

6. Знание факторов выживания.

7. Знание методов предупредительной защиты.

Бдительность, рассудительная осмотрительность, разумная осторожность, постоянная внимательность - никогда не стареющее оружие в борьбе с любым противником, а тем более с угрозами жизни человека. Бдительность рождает уверенность в себе.

Для безопасности имеет значение характер процессов мышления, отсутствие широты мышления также могут способствовать возникновению ошибок в работе. В таких случаях основной метод устранения — самовоспитание, выработка самообладания. С другой стороны, во многих случаях как раз замедленность мышления мешает в критических ситуациях моментально изменить действия, если того требуют новые условия. За безопасностью таких работников следует наблюдать особо, не направлять их на работы, где защищенность обеспечивается главным образом за счет способности к быстрым и точным действиям.

Среди других факторов, устойчиво повышающих подверженность несчастным случаям, следует назвать пагубные пристрастия к алкоголю, наркотикам, которые отрицательно влияют на все сферы психической жизни человека.

Наконец, повышает подверженность рабочего опасности несчастного случая его неудовлетворенность работой, отсутствие интереса к ней. Человек, который не интересуется работой и не получает удовлетворения, не способен психологически правильно настроиться и сосредоточить свое внимание на точном выполнении приемов и движений. Его поведение характеризуется как неуверенное, а внимание — рассеянное. Именно эти отклонения в поведении работника, вызванные неудовлетворенностью работой, являются нередко причиной несчастных случаев. Поэтому с точки зрения безопасности труда весьма важно, с одной стороны, чтобы работник выбрал род занятий, отвечающий его интересам и руководителей коллектива. Это может изменить первоначально сложившееся отношение данного работника к своей деятельности, может заставить полюбить ее. Наоборот, отрицательное отношение может, в конце концов, отбить всякое желание трудиться. Равнодушно выполняющий свою работу человек, не любящий ее, нередко избирает такую форму поведения, которая закономерно ведет к несчастному случаю. Если же у человека складывается положительное эмоциональное отношение к своей работе и рабочему месту, то даже при относительно небольшом интересе он может усвоить формы поведения, повышающие его защищенность и обеспечивающие безопасность его деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щербатых Ю.В. Психология стресса и методы коррекции. – Спб.: Питер, 2008. – 256с.
2. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда): Учеб. пособие для вузов / П. П. Кукин, В. Л. Лапин, Н. Л. Пономарев и др. – М.: Высш. шк., 2001. – 319 с.

УДК 656.61

Парменова Д.Г.
ОНМА

АНАЛИЗ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ С СУДАМИ МОРСКОГО ФЛОТА

Безопасность мореплавания является главным качеством морского судна и представляется важнейшим условием возможности эффективной эксплуатации. Значительные размеры морских судов, рост скоростей движения, увеличение интенсивности движения на морских путях, плавание судов в сложных метеорологических условиях и другие причины делают проблему безопасности мореплавания наиболее приоритетной и актуальной при оценке современного состояния и развития морского транспорта.

Наиболее тяжелыми нарушениями безопасности плавания считаются случаи, когда аварии приводят к морским катастрофам и, к гибели судов. Следует помнить, что каковы бы не были их первопричины: столкновение судов, посадка на мель, нарушение герметичности корпуса, последствия ударов о лед или плавающий предмет и др., конечной причиной гибели судна является нарушение одного или нескольких мореходных качеств, относящиеся к теории судна. Это либо потеря плавучести, либо потеря остойчивости или аварийной остойчивости и непотопляемости.

К основным видам аварийных ситуаций на море относят [1]:

Столкновение судов – аварийное происшествие в результате неправильного маневрирования судов или упущений экипажа, а также каких-либо форс-мажорных обстоятельств. Столкновение судов может привести к разрушениям конструкций судов, материальным убыткам, гибели людей и считается тяжелым видом аварии.

Посадка на мель – принудительная аварийная остановка судна, вследствие касания грунта всем днищем или его частью при глубинах, меньших осадки судна. Посадки судов на мель происходят по разным причинам:

- преднамеренно, чтобы избежать более тяжелого вида аварии – столкновения или потопления;
- ошибки в судовождении или маневрировании;
- ошибки гидрографии – несоответствие глубин на карте фактическим значениям, смещение плавучего ограждения фарватеров, каналов.

Смещение груза - один из наиболее тяжелых видов аварии, так как судно теряет остойчивость и переворачивается, что приводит к гибели всего экипажа. Основные причины смещения груза:

- неправильная погрузка, приводящая к резкой бортовой качке и смещению груза;
- ненадежное крепление груза в трюмах даже при правильной загрузке и небольшой качке может привести к смещению груза в трюмах и твиндеках;
- смещение подтаявшей руды на «водяной подушке» при перевозках с северных широт в южные районы.

Пожары и взрывы. В 15% случаев пожар не удается погасить или локализовать, и экипаж вынужден покинуть судно. На каждый случай гибели судна вследствие пожара приходится, примерно, в 3 раза меньше жертв, чем при повреждениях корпуса. В случае взрыва в МО или пожара судно обесточивается, лишается хода, что значительно затрудняет борьбу за живучесть судна и спасение экипажа.

Следствиями морских катастроф и серьезных аварий являются человеческие жертвы, экологические проблемы, огромные материальные потери и не поддающийся материальному учету психологический фактор. Вследствие этого каждый инцидент на море требует детального анализа и учета.

Основным видом информации об аварийности мирового флота в настоящий момент являются статистические данные по авариям и гибели судов, которые собираются и анализируются большинством участников морской индустрии как в Украине, так и за рубежом.

Необходимо не забывать о том, что аварийность морских судов не снизится сама по себе, это возможно только в результате работы аналитиков и затрат на предупреждение аварийных ситуаций. Таким образом, роль статистики и прогнозирования аварийности морского транспорта должна увеличиваться, а компании, первыми подключившиеся к использованию этой информации в целях избежания аварийных ситуаций с судами, смогут первыми сократить убытки.

В данной статье приведены результаты сравнительного анализа аварийных ситуаций, имевших место среди судов мирового флота в 2011-2012 годах. Анализ проведен на основании данных приведенных в источнике [2] и охватывает аварийные ситуации происшедшие при столкновения судов между собой, посадки на мель, пожаров и взрывов, потери остойчивости и плавучести, исчезновения судов, а так же затопления судов в результате плавания в штормовых усло-

виях либо в результате повреждения корпуса или технических средств по причинам, не относящимся к предыдущим видам аварийных ситуаций.

В 2011 году 117 судов попали в аварийные ситуации, из них 55% потерпели кораблекрушение, а в 2012 году в аварийных ситуациях побывало 126 судов и из них 65% погибло.

При этом человеческие жертвы составили в 2011 году – 838 человек, а в 2012 году – 1098 человек, что на 25% больше по сравнению с предыдущим годом.

На рис.1 представлены данные по численности аварийных ситуаций за 2011 и 2012 годы по типам аварий.

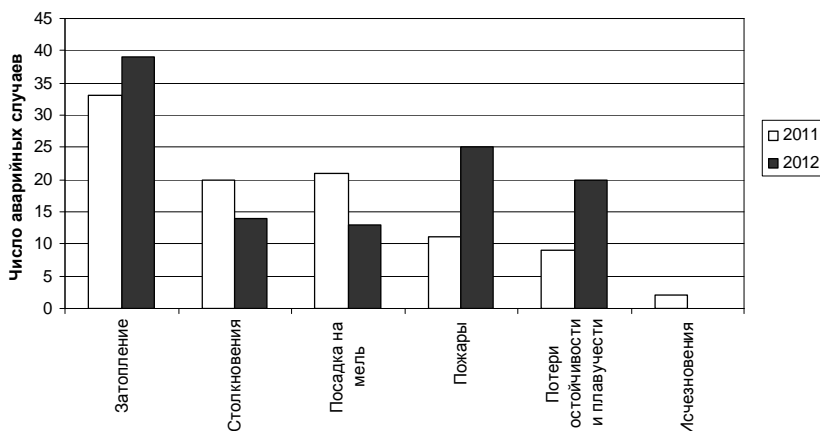


Рис.1. Диаграмма изменения числа аварийных случаев по типам аварий происшедших в 2011-2012 годы.

Данные по количеству аварийных случаев по типам аварий, которые привели к гибели судна, и по численности людей, погибших в анализируемых аварийных ситуациях, представлены на рис.2 и рис.3.

Диаграммы, изображенные на рисунках 1, 2 и 3 показывают, что наибольшее число аварийных ситуаций приходится на случаи затопления судов и это характерно как для 2011, так и для 2012 годов. Количество погибших судов и людей также для этого типа аварийных ситуаций максимально, т.е. плавание в штормовых условиях, нарушение целостности корпуса, повреждения технических средств по причине неудовлетворительного состояния судов, является наиболее

распространенной аварийной ситуацией, приводящей к максимальному ущербу для человеческой жизни, для окружающей среды и для судовладельца. Возраст 80% судов, погибших при этом типе аварий, составляет 20 лет и старше.

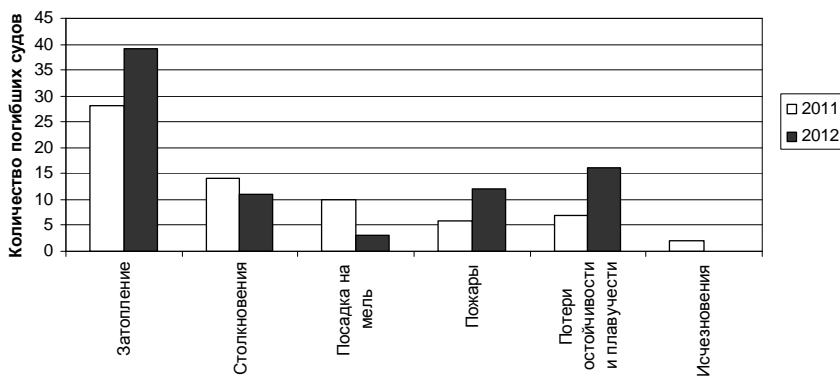


Рис.2. Диаграмма изменения количества погибших судов по типам аварий происшедших в 2011-2012 годы.

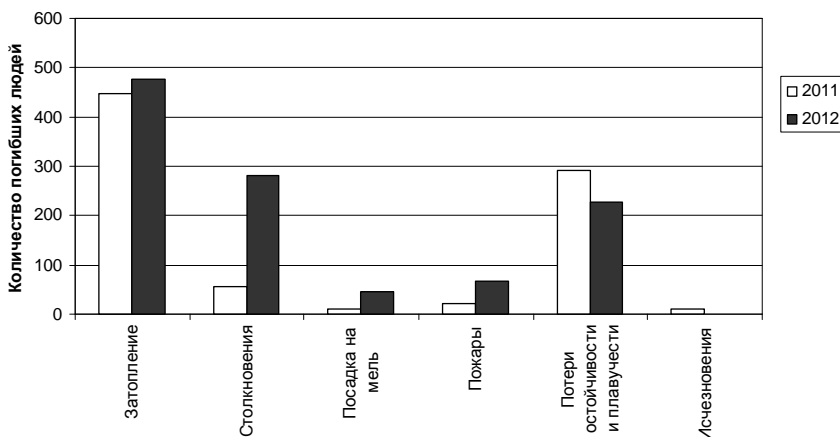


Рис.3. Диаграмма изменения количества погибших людей по типам аварий происшедших в 2011-2012 годы.

Для 2011 года по сравнению с 2012 годом наблюдается большее число аварий, связанных с столкновениями судов (на 30%) и посадкой на мель (на 38%). В 2012 году по сравнению с 2011 годом уве-

личилось число аварийных ситуаций связанных с пожарами (на 56%) и с потерей остойчивости и плавучести (на 55%), однако число человеческих жертв возросло на 80% при столкновениях судов.

Таким образом, за последние два года на первом месте стоит затопление судов вследствие воздействия внешних факторов, которые приводят к нарушению водонепроницаемости корпуса, чаще всего в условиях шторма. На втором месте (в качестве причин гибели) стоят столкновения и посадки на мель, на третьем — пожары и взрывы на судах, и на четвертом — потеря остойчивости и плавучести.

Если рассматривать типы судов, которые наиболее часто попадали в аварийные ситуации (рис.4), то тут на первом месте стоят сухогрузы, рыболовные суда и траулеры. По числу погибших судов (рис.5) в 2011 году на первом месте находятся рыболовные суда, а в 2012 году – сухогрузы, причинами гибели которых были опрокидывание и плавание в шторм.

Хочется отметить, что в 2012 году 22% судов, попавших в аварии, были построены после 2006 года, и почти половина из них была сухогрузы.

Наибольшее число погибших судов в 2011-2012 годах зарегистрировано в странах «удобных флагов»: больше всего погибших судов под флагом Панамы, затем — Мальты, далее — Кипра. Гибнут главным образом суда старше 25-30 лет, причем от потери герметичности гибнут суда старше 25 лет.

В результате выполненного анализа аварийности мирового морского флота за период 2011-2012 годов, в числе прочих, были сделаны следующие выводы. Исследования всех причин гибели судов позволяют утверждать, что практически в каждом случае действует правило: если избежать данного инцидента невозможно, необходимо принять меры для максимального снижения его неблагоприятных последствий. Для многих причин катастроф необходимо разработать нормативно-правовые условия, обеспечивающие минимизацию неблагоприятных последствий. Например, это относится к принудительной посадке судов на мель при неизбежности столкновения судов в море.

По всем выявленным причинам гибели судов должны проводиться более глубокие систематические исследования, направленные на сокращение вызывающих их факторов, и не только по мировому, но и по отечественному морскому, речному, рыбопромысловому флоту.

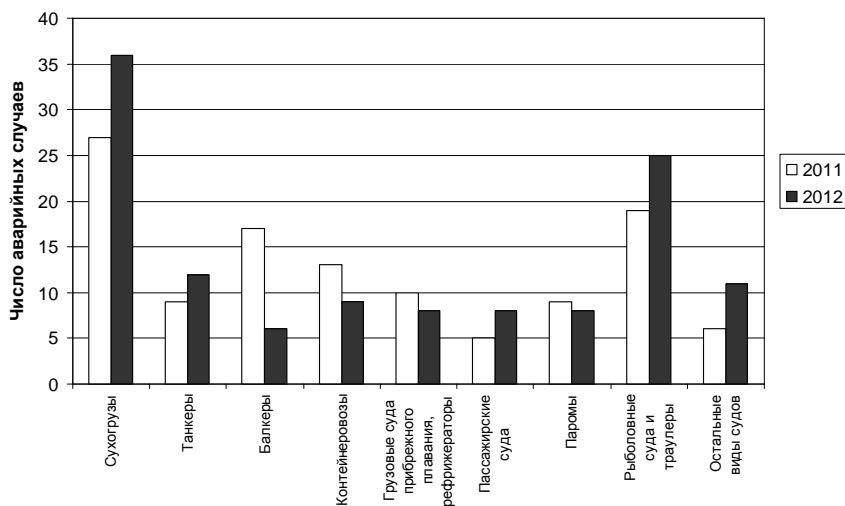


Рис. 4. Диаграмма изменения числа аварийных ситуаций в зависимости от типа судна.

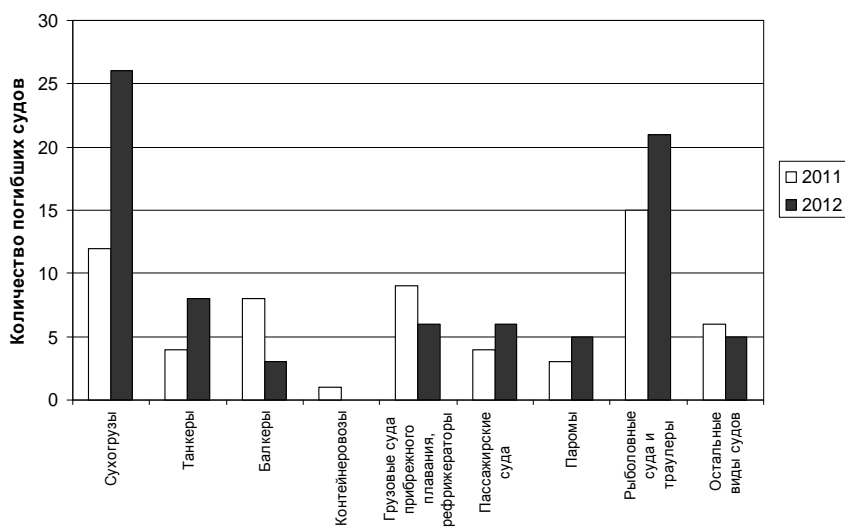


Рис. 5. Диаграмма изменения количества погибших судов в зависимости от типа судна.

Безусловное выполнение на судах правил перевозок и стандартов безопасности, комплектование экипажей квалифицированными моряками, хорошее техническое обслуживание – все эти меры снижают риски аварий и происшествий, однако полностью их не устраняют.

Несчастья на море будут происходить, и, когда они случаются, нужны быстрые, целенаправленные и профессиональные действия экипажей судов, направленные на спасание жизни людей, ограничение ущерба имуществу, природной среде и самому судну.

Таким образом, основным направлением обеспечения безопасности на море было и остается повышение надежности морских судов, совершенствование технических средств судовождения и улучшение мореходных качеств судов, снижение опасности возникновения пожаров. В настоящее время техническое устройство судов не всегда соответствует региональным требованиям безопасного и эффективного мореходства, что приводит к значительному сокращению времени эффективной эксплуатации судов в сложных и штормовых условиях плавания. Человеческий фактор также остается одним из главных факторов, влияющих на безопасность эксплуатации морских судов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Басанец Н. Г. Конвенционные и классификационные требования к обеспечению безопасности судоходства: справочно-методическое пособие. – Одесса, 2008. – 260 с.
2. <http://www.odin.tc/> интернет-ресурс
3. Александров М.Н. Безопасность человека на море. – Л.: Судостроение, 1983.

УДК 614.8.026.1:005

Парменова Д.Г.
ОНМА

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РИСКА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СУДОВЫМ РАБОТАМ

Повышение уровня защиты работников от профессиональных рисков в процессе их трудовой деятельности является одним из главных направлений деятельности всех специалистов охраны труда, а сокращение производственных травм и профессиональных заболеваний остается важнейшей задачей всех уровней управления охраной труда с любой точки зрения - гуманитарной, социальной и экономической, личной, корпоративной и общественной.

Безопасность судна, как транспортного средства формируется на основании комплекса факторов. Организация подготовки к эксплуатации и в период эксплуатации, должны учитывать показатели безопасности с точки зрения декларирования оценки безопасности. Целью является анализ текущего состояния безопасности, а также подготовка необходимых мероприятий, направленных на минимизацию рисков и прогнозирование результатов внедрения этих мероприятий.

Разработка методов управления риском и, в конечном итоге безопасностью жизнедеятельностью, основана на систематизации факторов, формирующих условия любой деятельности. Систематизация определяет необходимые и достаточные элементы системы безопасности, также возможности мониторинга динамических изменений состояния системы при изменении условий.

Оценка рисков является важным шагом, направленным на защиту работников и бизнеса работодателей, а также на соответствие требованиям законодательства. Она помогает работодателю и работникам сосредоточить свое внимание на тех рисках, которые действительно могут возникнуть на рабочем месте - на тех, которые потенциально могут причинить реальный вред. Большинство примеров показывают, что при помощи непосредственных мер можно полностью контролировать риски. Например, своевременно вытирать пролитое масло, чтобы никто не поскользнулся или задвигать ящик стенового шкафа, чтобы никто не споткнулся. В большинстве своем это простые, дешевые и эффективные меры, обеспечивающие защиту наиболее ценного актива - рабочей силы.

Оценка рисков - это простое, но тщательное исследование того, что может нанести вред людям в рабочей среде, проводимое таким образом, чтобы судовладелец или члены командного состава, ответственные за проведение судовых работ, могли взвесить, достаточно ли мер предосторожности уже предпринято, и что именно должно быть сделано с тем, чтобы предотвратить возможные вредные последствия. Работники и другие лица имеют право на защиту от вреда, нанесенного в результате несчастного случая, право на принятие разумных мер контроля.

Оценка рисков позволяет выявить опасности, свойственные данному виду работ, прежде чем они вызовут несчастный случай или причинят иной вред работнику.

Оценка рисков является непрерывным и систематическим процессом. Она проводится поэтапно, с учетом ранее выявленных опасностей. Основой для оценки рисков служит выявление опасностей, возникших во время работы. Если эти опасности нельзя полностью устранить, следует оценить их риск для здоровья и безопасности работников на основе их оценки, что позволит принять обоснованные решения по повышению безопасности.

Чтобы оценка рисков действительно приводила к повышению безопасности труда на практике, необходимо на основе полученных данных определить приоритеты повышения безопасности труда. Самыми эффективными мерами являются меры по полной ликвидации наиболее выраженных опасностей. Предполагаемые меры должны быть конкретными и выполнимыми. Постоянство оценки рисков предполагает также оценку эффективности мероприятий, постоянное наблюдение за рисками и взаимодействие с членами экипажа, подверженными рискам.

Работа по охране труда на судне должна основываться на выявлении имеющихся рисков и управлении ими. Оценка рисков является при этом краеугольным камнем планирования по охране труда. Эффективное управление охраной труда возможно при условии постоянного контроля за выявлением проблемных мест.

Явления, вызывающие нежелательные последствия, такие как угроза жизни, ущерб здоровью, затруднение функционирования органов человека, называются опасностями. Опасность создается особыми свойствами материальных объектов, несовместимыми с характеристиками человека. Различают опасности потенциальные (скрытые) и реальные. Чтобы потенциальная опасность

реализовалась, нужны условия, которые называют причинами.

Выявление опасностей является начальным и самым важным этапом оценки рисков, учитывающим недостатки в охране труда, которые могут причинить вред здоровью и безопасности людей. При этом необходимо найти ответы на следующие вопросы:

- Какие опасности возникают в работе?
- Что является причинами опасности?
- Где проявляется опасность?
- Кто подвержен опасности?
- В каких ситуациях работники могут подвергнуться опасности?

К *причинам возникновения опасности* относятся: попадание человека в опасную зону, его непродуманные и неосторожные действия, недооценка опасности, непредсказуемость и скрытый характер опасности, организационные и технологические недоработки в производственных процессах и др.

Выявление опасностей предусматривает определение и учет опасности для здоровья работников, исходящей из характера трудовой деятельности, производственного помещения, иных рабочих зон и условий труда. Необходимо учитывать ранее выявленные опасности, а также такие факторы опасности, которые могут причинить вред в силу личных особенностей работников и факторов трудовой деятельности.

Риск является сочетанием вероятности и возможной величины вреда, причиняемого опасностью. Цель определения величины риска состоит в установлении его степени и расстановке факторов опасности в порядке их величины. Определяя величину риска, можно выделить из группы наиболее важные вопросы или наибольшие риски с точки зрения безопасности. Это позволит впоследствии эффективно сосредоточиться на наиболее проблемных вопросах.

Определение величины риска следует проводить только в ситуации, соответствующей моменту контроля. Каждый устанавливает величину риска собственным способом, поэтому в оценке нужно стремиться к наиболее объективной величине и избегать преувеличения и преуменьшения рисков.

Величина риска образуется из вероятности опасного события и значимости (серьезности) причиняемых им последствий. Значимость последствий означает серьезность причиняемого здоровью человека вреда, вызываемого событием, вызвавшим этот вред. Опасная си-

туация может вызвать многочисленные и разные по степени последствия. В документы оценки рисков следует записывать величину риска, основываясь на его последствиях. При необходимости совокупная величина может определяться по нескольким различным последствиям.

На серьезность последствий влияют, например, следующие факторы:

- Характер причиненного вреда (незначительный/значительный);
- Широта последствий (сколько лиц пострадало);
- Повторяемость вредного воздействия/нет повторяемости;
- Продолжительность вредного воздействия (короткая/длительная).

В определении серьезности последствий, особенно в опасных случаях и при оценке значения их в ущербе для здоровья, следует использовать компетентность специалистов служб медицины и гигиены труда, а также информацию по статистике предприятий отраслевой принадлежности.

На вероятность события влияют многие явные и скрытые факторы, при этом наиболее общими из них являются:

- Частота проявления вредного воздействия;
- Продолжительность вредного воздействия;
- Возможности предвидеть заранее появление вредного воздействия;
- Возможности предотвратить вредное воздействие.

Величину риска можно определить различными способами: матрицы 3×3, 4×4, 5×5 или даже более сложные. Один из наиболее применяемых способов в стандарте BS 8800 представлен в таблице рисков (таб.1).

В таблице принято три уровня серьезности последствий и три уровня вероятности ущерба. Сначала определяют серьезность последствий, причиненных ситуацией, а после этого оценивают вероятность причиненного ущерба. На пересечении трех выбранных направлений окажется величина найденного уровня риска. Величина риска различается от минимального значения (1 - малозначимый риск) до максимального значения (5 - недопустимый риск).

Таблица 1. Величина рисков (BS 8800)

| Вероятность | Последствия | | |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | Незначительные | Умеренно значимые | Серьезные |
| Малая | 1.Малозначимый риск | 2.Малый риск | 3.Умеренный риск |
| Средняя | 2.Малый риск | 3.Умеренный риск | 4.Значительный риск |
| Высокая | 3.Умеренный риск | 4.Значительный риск | 5.Недопустимый риск |

Целью оценки рисков является выбор наиболее эффективных мероприятий для улучшения условий и охраны труда. Идеей оценки рисков является использование величины обнаруженного риска для планирования мероприятий. Первоочередным при выполнении мероприятий должно быть снижение уровней высоких рисков или их устранение.

Тщательный поиск и инженерный анализ причин, приводящих к опасной ситуации, поможет разработать наиболее эффективные мероприятия по ее предотвращению. Важно также установить цепь событий, приводящих к опасной ситуации. Причины опасных ситуаций и событий, приводящие к ней, необходимо искать в разных сферах, учитывая организацию труда, его методы, условия труда, учитывать действия работников и опасные приемы трудовой деятельности, организацию и руководство производством.

Степень негативного влияния на здоровье и работоспособность человека в процессе труда определяется влиянием следующих факторов опасности производственной среды:

1. Физические факторы опасности.

Физическими факторами риска являются шум, температура, движение воздуха, освещение, радиация и т.д. Физические факторы опасности являются общими факторами производственной среды и бывают одинаковыми на различных рабочих местах.

2. Опасности несчастного случая.

К опасностям несчастного случая относится внезапный и неуправляемый источник энергии: двигающийся предмет, неуправляемое движение или энергия. Учет опасностей несчастного случая пригоден для контроля таких работ, в которых есть многочисленные

этапы, механизмы и устройства, а также для работы в изменяющихся условиях.

3. Химические и биологические факторы опасности.

Под химическими факторами риска понимают риски причинения вреда здоровью при использовании вредных веществ, соединений и порошков. С помощью учета химических факторов опасности можно сделать первоначальное картографирование с последующими замерами и оценкой химических опасностей.

К оценке риска относится выявление имеющихся на рабочем месте химических соединений и их опасных свойств. Опасные свойства распознают по обозначениям на упаковке и соответствующей времени информации о них.

4. Психофизиологические опасности.

Психофизиологические перегрузки представляют собой вызываемую работой чрезмерную или недостаточную интеллектуальную нагрузку, а также перегрузки физические, которые напрямую связаны с тяжестью труда. Учитываются общеизвестные источники усталости и стресса, которые являются общими почти для всех рабочих мест. Учет психофизиологических нагрузок в условиях работы на судах играют важную роль и являются существенной частью риска, подлежащего расчету.

Помимо вышеперечисленных факторов, немаловажными последствиями от нарушений техники безопасности для компании судовладельца являются степень негативного влияния на репутацию и имидж предприятия в глазах общественности, значимость нарушения законодательных и отраслевых требований, степень финансовых убытков от риска, степень негативного влияния на нормальный производственный цикл и степень опасности нанесения экологического ущерба.

Учет и анализ всех факторов опасности и их последствий дает возможность принять решение о значимости рисков, что позволит отделить малые риски. Сделать это можно с помощью поперечного разреза совокупности имеющихся на рабочем месте рисков, который носит название профиля риска и является простым способом визуального отображения итогов оценки уровней рисков. Профили можно сделать разными способами, например, по видам рисков согласно количеству опасностей, или по величине рисков, или по относительным частям разных видов рисков по всем выявленным факторам опасности. С помощью профиля риска выделяют риски, по которым

проводят мероприятия в первую очередь. Сначала следует заняться наиболее выраженными рисками, а затем распространить мероприятия на остальные риски, понимая, что целью является ликвидация или минимизация последствий, причиняемой рисками. Совершенствование безопасности рабочего места или рабочей зоны является непрерывным процессом. Поэтому, сначала необходимо решить приоритетные вопросы, а после этого сосредоточиться на рабочих местах (зонах) с менее значимыми проблемами.

Результаты оценки рисков позволяют доработать и сделать более эффективными инструктажи по охране труда, инструкции по эксплуатации оборудования, а их использование при планировании и управлении работой экипажа повысит уровень безопасности на морских судах.

Создание объективной системы учета всех возможных проявлений опасных факторов для здоровья работающих людей, для компании судовладельца и для окружающей среды, позволяет дать эффективную оценку уровню риска для различных ситуаций и условий при выполнении судовых работ. Создание плана мероприятий по снижению выявленных рисков, в свою очередь, позволяет снизить риски травмирования и профзаболеваний, а значит, повысить производительность труда, улучшить имидж компании; уменьшить или устранить нежелательные побочные эффекты, вызванные нарушениями трудовой дисциплины и применением наказаний; усилить чувство удовлетворения среди членов экипажа от проделанной работы; улучшить качество взаимоотношений между командным и рядовым составом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мерви Муртонен «Оценка риска на рабочем месте – практическое пособие»: Серия Охрана труда: Международный опыт. Выпуск 1. Опыт Финляндии. 2007. – 66с.
2. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
3. Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.0.230-2007 «Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Общие требования ILO-OSH2001».
4. OHSAS Project Group (2008). OHSAS 18002:2008. Система менеджмента профессиональной безопасности и здоровья. Руководство по внедрению требований OHSAS 18001:2007. London.

УДК 614.8.026.1:005

Приходько Е.А.
ОНМА

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ

Менеджмент риска направлен на развитие безопасности и безаварийности систем функционирования с учетом всех возможных факторов воздействия. Для этих целей необходим максимально качественный анализ систем для принятия решений.

Распознавание факторов риска в производственной среде напрямую зависит от профессионализма аналитика. Развитие одного из важнейших навыков любого специалиста-аналитика для диагностики **«производственной среды»** – распознавать важную информацию о новых источниках риска для **«производственной среды»**. Умения работать с информацией, знания методологии и навыков в определении причинно-следственных связей, умение вырабатывать стратегию и тактику взаимодействия человек - производственная среда, а также максимально использовать ресурсы нейтрализации неблагоприятных факторов — функции аналитика, направленные на повышение эффективности организации и управления безопасностью и безаварийностью.

Точное определение целей и объектов системы «производственная безопасность» позволяет организовать эффективный поиск и получение информации о будущих, *еще не наступивших* событиях, предоставляя компании возможности, помимо очевидных организационных преимуществ, *повысить доходность своего бизнеса за счет повышения производительности и безаварийности труда персонала.*

ТОЧНО зная – ЧТО!!! искать, система «производственная безопасность», в лице конкретных экспертов-аналитиков и руководителей отраслевой структуры, еще до начала самого поиска способна весьма эффективно определить:

1. ГДЕ искать?
2. КАКИЕ методы поиска и получения информации наиболее эффективны?
3. В КАКИХ сферах (бизнеса, рынка труда, экономики, технологий и проч.) необходимо осуществлять поиск?
4. К ЧЕМУ необходимо готовиться?
5. КАК максимально быстро и эффективно адаптировать «произ-

водственную среду» к изменениям условиям безопасности?

Это далеко не полный перечень проблем и вопросов, разрешить которые, причем, максимально эффективно, позволяет точное знание ОБЪЕКТОВ и ЦЕЛЕЙ производственной безопасности.

Расчет риска – ПРАКТИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТ прогноза развития неблагоприятных ситуаций с определенной долей вероятности.

АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ целей и объектов в производственной среде:

1) Особенности и классификация ЦЕЛЕЙ и ОБЪЕКТОВ производственной среды.

2) УСЛОВИЯ качественной идентификации ЦЕЛЕЙ и ОБЪЕКТОВ;

3) Методики ВЫЯВЛЕНИЯ ЦЕЛЕЙ и ОБЪЕКТОВ;

4) Особенности УТОЧНЕНИЯ и КОРРЕКЦИИ выявленных ЦЕЛЕЙ и ОБЪЕКТОВ производственной среды.

Одна из важнейших функций риск-менеджмента – организационная. В процессе организации управления риском выделяют два этапа: подготовительный и основной. В целом же организация управления риском представляет собой единую технологию процессов управления риском.

На подготовительном этапе организации управления риском прежде всего определяются цели этого управления, такие как получение требуемого уровня безопасности (главная цель), предотвращение определенных видов риска, уменьшение опасности неблагоприятного воздействия этих видов на результаты хозяйственной деятельности и т.д. (сопутствующие цели).

На описываемом предварительном этапе организации управления риском важнейшим моментом является его анализ. При этом определяются факторы риска, которые можно классифицировать по различным критериям и признакам, например по степени влияния, по характеру воздействия, по степени управляемости, по источнику возникновения. Все факторы, так или иначе влияющие на уровень риска, можно также условно разделить на две группы:

-к объективным факторам относятся факторы, независимые непосредственно от самой компании: это экономические кризисы, экология, влияние государства и т.д.

- к субъективным факторам относятся факторы, характеризующие непосредственно данную фирму: это производственный потен-

циал, техническое оснащение, уровень предметной и технологической специализации, организация труда, уровень производительности труда, степень кооперированных связей и т.д.

Невозможно, конечно, учесть все рискованные факторы, но вполне реально выделить главные из них, а также определить какой эффект обуславливает то или иное рискованное событие и велика ли вероятность его наступления.

Ключевым моментом подготовительного этапа управления риском является оценка его уровня и определение допустимого предела. Для этого целесообразно использовать качественно-количественную оценку риска. После определения допустимого уровня риска вырабатывается собственно система управления им, включающая подсистему адаптации к рискованным ситуациям, т.е. комплекс мер по устранению неблагоприятного с точки зрения своего воздействия на результаты деятельности риска, предотвращению возможных потерь от него и т.д.

Основной задачей деятельности направленной на организацию и управление безопасных условий труда, является проведение всех необходимых этапов подготовки работ и контроль за выполнениями требований безопасности в процессе проведения работ.

На основном этапе организации управления риском реализуются потенциальные возможности прогнозирования рисков (организационные, технические, психофизиологические) производится выбор действий, обеспечивающий максимальный уровень безопасности при проведении конкретных операций. Производится анализ результатов, достигнутых в управлении риском, а также, в случае необходимости, корректировка предыдущих этапов управления.

Анализ должен осуществляться как в разрезе оперативной системы отдельных подразделений, так и в разрезе краткосрочных и долгосрочных планов работ.

Принятие рисков – означает возможность принятия решений по выполнению работ с учетом всех возможных неблагоприятных факторов, т.е. управление операциями по существу представляет собой управление рисками, и, в первую очередь, рисками, связанными с набором фактических опасностей и средств безопасности.

Основной задачей менеджмента риска, является оптимизация экономических, технических и социальных условий для безопасной хозяйственной деятельности.

Разрабатывая мероприятия по преодолению риска, необходимо иметь в виду, что риск проходит две фазы – скрытую и открытую, для каждой из которых следует проводить свои мероприятия.

Различные категории рисков являются чрезвычайно взаимосвязанными и изменения в одном из них вызывают изменения в другом или других рисках.

Так, например, технологический риск может привести к риску организационному и психофизиологическому, что неизбежно повлечет за собой финансовые риски.

Финансовые риски безопасности, которые принимает на себя или которым подвергается работодатель, напрямую связаны с уровнем менеджмента в компании и рисками, которые принимаются или несутся субъектами воздействия, как социальными, так и природными субъектами.

Уровень риска, связанного с каждой операцией постоянно меняется. Это происходит потому, что в динамичном окружении, где условия постоянно меняются, меняются и методы управления рисками.

Управление производственными рисками должно удовлетворять двум требованиям: отвечать общей рисковой политике компании, ориентированной на оценку общего риска, и способствовать целям специальной рисковой политики отрасли, в рамках которой оцениваются показатели соответствия международным требованиям безопасности.

Так как основную часть профиля безопасности, составляют факторы риска производственной среды. Этот профиль, относящийся к этим операциям, имеет особенно важное значение. Профиль безопасности важен, для выработки методов нейтрализации и определения ответственности за выполнение действий участниками событий.

Управление рисками является основным в любой деятельности. Под управлением производственными рисками понимается способность аналитика, во-первых, верно оценить величину риска, которую компания может на себя взять, во-вторых, верно оценивать в любой момент величину взятого на себя риска, и, в-третьих, поддерживать величину принятого риска на запланированном уровне, а также при необходимости изменять его величину.

Существуют следующие ключевые задачи управления рисками:

- формирование безопасных условий производства;
- хорошее, оптимальное управление процессами;

- эффективный контроль за рисками;
- наличие высококвалифицированного персонала.

Хозяйственная деятельность может рассматриваться как успешная, только при условии, когда принимаемые ею риски разумны, контролируемы и находятся в пределах их допустимости. Когда находится оптимальное соотношение между прибылью и возможными ущербами.

Важную роль в этом процессе играет менеджмент риска, который включает: выявление рисков, анализ их потенциальной опасности и контроль. Контроль означает преодоление риска путем отказа, например, пересмотр плана работ или даже отказ от них, на основании невозможности обеспечить безопасность их проведения.

На прогнозе и оценке значимости рисков базируется планирование мероприятий по охране труда, формирование политики предприятия в области охраны труда, разрабатываются программы по охране труда.

Повышение уровня защиты работников от профессиональных рисков в процессе их трудовой деятельности является одним из главных направлений деятельности всех специалистов охраны труда, а сокращение производственных травм и профессиональных заболеваний остается важнейшей задачей всех уровней управления охраной труда с любой точки зрения - гуманитарной, социальной и экономической, личной, корпоративной и общественной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ISO 31000:2009. Менеджмент риска. Принципы и руководящие указания.
2. Управление рисками организаций. Интегрированная модель. Краткое изложение. Концептуальные основы. COSO, 2004.

УДК 614.8.026.1:005

Приходько Е.А.
ОНМА**АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ МЕНЕДЖМЕНТА РИСКА**

Вслед за чикагским экономистом Фрэнком Найтом с 1921 года термин «риск» стал использоваться для обозначения именно той неопределенности, которую можно количественно измерить. Развитие количественных методов в риск-менеджменте тесно связано с финансовой математикой, само существование которой возможно благодаря тому, что деньги выполняют функцию измерения стоимости и обладают таким удобным свойством, как делимость. В связи с этим количественные методы риск-менеджмента лучше всего развиты в управлении финансовыми рисками. Гораздо хуже дела обстоят с управлением операционными рисками (которые также являются финансовыми, так как отражаются на экономике, но многими данный факт недопонимается из-за нецелостного восприятия рисков и бизнеса). Поэтому эволюция количественных методов и всего риск-менеджмента затрагивает в первую очередь финансовые учреждения, а в реальном секторе, где по объективным причинам преобладают как раз операционные риски производственных бизнес-процессов, риск-менеджмент пока еще отстает. Управление рисками в реальном секторе отчасти развивается в самостоятельно существующих направлениях: промышленной и экологической безопасности, теории надежности и других инженерных дисциплинах.

Важнейшей тенденцией в области управления рисками становится конвергенция – встречное движение изначально «разделенных» финансовых математиков – специалистов по актуарной (страховой) математике и инженеров – для совместного развития количественных методов управления рисками, что особенно важно для риск-менеджмента в реальном секторе экономики. Особенности развития риск-менеджмента в первое десятилетие постсоветского периода отражают в числе прочего скептическое отношение многих некомпетентных в экономике и амбициозно уповающих на здравый смысл «технарей», попавших в бизнес, к отечественным «экономистам» того времени, нередко беспомощным в области количественных методов за пределами основ анализа бухгалтерской отчетности.

Во втором десятилетии постсоветского периода с развитием бизнес-образования и распространением финансовой математики си-

туация стала постепенно улучшаться. Наиболее распространенные в настоящее время методы оценки рисков основаны на определении чувствительности целевых показателей к изменению факторов риска и изменчивости. Также можно применить методы самооценки, риск-аудита и рейтинговых оценок, анализа истории (статистики) потерь, определения ключевых показателей риска (Key Risk Indicators, KRI). Самооценка подразумевает ответы на вопросы анкет о рисках самих владельцев, а также персонал каждого подразделения, который описывает риски на своих участках работы путем собственной оценки риска.

Систематические и индивидуальный риски (беты и альфа) в составе вариативности могут быть выделены с помощью регрессионного анализа. При оценке рисков, как правило, используются матрицы миграций рейтингов (уровней) опасности, включая частоты инцидентов, уровни восстановления и величину потерь в случае инцидента, комплексные опасности, расстояние до точки инцидента и т.п.

Риск-аудит может проводиться внутренними и внешними оценщиками. По его итогам оценка риска может быть выражена в виде рейтинга. Ключевые показатели риска (KRI) – это показатели, характеризующие концентрацию рисков, в том числе накопившиеся негативные события в процессах (по видам работ) и т.п. Например, отклонение (невыполнение) технологического плана работ по тем или иным целевым показателям деятельности (KPI) может служить в качестве KRI. Или количество (либо доля в общей массе событий) отказов, аварий, задержек, несчастных случаев, производственного брака, судебных исков, негативных публикаций в прессе и пр. за период. Иногда это и контроли рисков (например, количество нарушений во время проведения операций).

Самая большая сложность в применении математических методов оценки рисков – получение исходных данных для расчетов – статистических, исторических (для определения вероятности). Какой бы совершенный метод оценки ни применялся, как известно, если загрузить недостоверные данные на входе – на выходе, погрешность сведет на нет смысл прогноза. Сбор отраслевой статистики затруднен инфантильной позицией участников рынка. Например, данные, предоставленные для создания базы статистики операционных рисков, не отражают реальной производственной ситуации. Например, на постсоветском пространстве и на Западе различное по объему влияние на результаты деятельности компаний оказывают риски

дискриминации и нарушения трудового законодательства. И статистика по этим видам операционного риска несопоставима. Ошибочно непосредственное использование для компанийских данных в качестве основы расчетов устаревших статистических моделей, разработанных для других стран. Трудности в применении количественных методов анализа риска связаны с недостатками развития теории и практики риск-менеджмента. Можно отметить следующие ключевые проблемы в современной картине мира подчеркивается случайная природа риска, тогда как значительная часть рисков имеет хаотический, а не случайный характер. Кроме того, игнорируется взаимосвязь рисков и общность их природы. Например, отсутствие связи рисков с технологическими рисками – одно из самых глубоких заблуждений представления о рисках. Слабо развит математический аппарат, предназначенный для выявления связей, корреляции и, следовательно, диверсификации профиля риска. За исключением корреляции и коинтеграции, сфера применимости которых весьма ограничена, остальные меры зависимости нелинейно связанных величин либо не разработаны, либо малоизвестны. Риск-менеджмент основывается лишь на современных концепциях. Например, гипотетически модель реальных опционов могла бы в будущем вытеснить из практики общепринятую сейчас концепцию оптимизации риска. Господствующая в наши дни необернуллианская школа, практически ориентируется на дисперсию как показатель изменчивости факторов риска. Этот подход неявно подразумевает ориентацию на ожидаемое значение квадратичной функции полезности фон Неймана – Моргенштерна, тогда как парадокс Мориса Алле показал, что подобные теории не описывают полноценно предпочтения по риску. Иначе говоря, сегодня почти весь риск-менеджмент построен на дисперсии, а этот показатель не отражает реальных предпосылок к формированию риска, является лишь очень грубой их моделью.

Перечисленные проблемы теории управления рисками ведут к проблемам на практике, среди которых: разногласия стандартов. Например, стандарты FERMA или проекты ISO 31000, которые не оперируют традиционными показателями риска и односторонне трактуют риск как потери; риски рассматриваются изолированно, нет целостной картины угроз и возможностей нейтрализации. Не прослеживается корреляция различных рисков и не оценивается вклад риск-менеджмента в стоимость операции. Резервирование капитала под риск, или не резервирование для страхования риска, а также от-

сутствие экономических расчетов при проведении оценок, упущенной прибыли или ущербу, тесно связанным с обеспечением рискованных действий. Любая модельная ошибка также дорого стоит. В каждом конкретном бизнес-процессе, индивидуальность решений, в каждой отрасли и даже на конкретных предприятиях, где не используется финансовая математика в управлении технологическими рисками за исключением актуарных и аналогичных им расчетов, возникает противоречие. Упрощенный подход к выявлению источников опасности и согласованию интересов сводится к примитивным декларациям, и формальным процедурам непосредственного утверждения ограничений и приоритизации рисков, при которых искажаются или не учитываются детализация по риску, частые затруднения в распределении функций между подразделениями риск-менеджмента, внутреннего контроля, внутреннего аудита и др.

Предположительно риск-менеджмент ожидают следующие направления развития:

- взрывной рост информации о конъюнктуре, возможно, приведет к концентрации на риск-менеджменте «сверху» и отказу от детального риск-анализа бизнес-процессов низшего и среднего уровня (кроме самооценки и выборочного риск-аудита);

- индивидуализация риск-менеджмента: влияние психологии лиц, принимающих решения (ЛПР), станет более явным, будет создан интерфейс;

- все большее количество специалистов начнет действовать, исходя из понимания того, что риск – это принципиальная невычислимость и в меньшей степени – стохастическая проблема;

- возникнет новая волна развития синергетического подхода, смежных дисциплин (теории хаоса и теории катастроф) в риск-менеджменте;

- продолжится развитие финансовой математики, моделей реальных опционов и деривативов для операционных рисков;

- шире будут применяться коинтеграция и другие меры связи для задач диверсификации профиля;

- конвергенция страховщиков, риск-менеджеров, инженеров и других профессионалов смежных дисциплин (взаимный обмен знаниями и методологией, практическое сотрудничество).

Риск-менеджерам-практикам необходимо активнее осваивать уже имеющиеся наработки. Например, внедрять концепцию рентабельности с учетом риска. Творчески разрабатывать и внедрять системы

KRI бизнес-процессов индивидуально для каждой отрасли и бизнес-линии. Обобщать отраслевой и межотраслевой опыт, внедрять в реальном секторе все лучшее.

Важно помнить, что риск-менеджмент – это не попытка узнать что-то новое в ситуации неопределенности (разведка) и не попытка исправить последствия уже реализовавшихся рисков, хотя эти две цели иногда попутно достигаются в ходе управления рисками. Риск-менеджмент – это управление имеющимся риском в условиях неопределенности, когда дальнейшее уточнение информации невозможно или нерационально, а борьба с последствиями реализовавшихся рисков является одновременно и защитой от еще не реализовавшихся новых рисков, а не защитой как таковой. Необходимо повышать практическую культуру экономико-математических методов в управлении рисками, например, охватывать все большее количество направлений деятельности профильным подходом, максимально использовать неисчерпаемые ресурсы метода реальных условий, интерпретируя различные производственные ситуации как задекларированные условия. А также совершенствовать философию количественных методов риск-менеджмента (синергетику, теорию глобальных факторов риска) и прикладные исследования в поисках решений вышеуказанных вопросов развития риск-менеджмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. OHSAS Project Group (2008). OHSAS 18002:2008. Система менеджмента профессиональной безопасности и здоровья. Руководство по внедрению требований OHSAS 18001:2007. London.
2. ISO 31000:2009. Менеджмент риска. Принципы и руководящие указания.
3. Управление рисками организаций. Интегрированная модель. Краткое изложение. Концептуальные основы. COSO, 2004.

УДК 621.431.74

Слободянюк Д.И.
ОНМА

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Анализ научно-технических достижений позволяет прогнозировать на ближайшие десятилетия ведущую роль малооборотных ДВС в составе энергетических установок транспортных судов. Повышение мощностей двигателей снижает долговечность деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ), ресурс дизеля до переборки определяется техническим состоянием деталей именно этой группы. Нарботка цилиндра до очередного вскрытия определяется работоспособностью поршневых колец (ПК). Потому важным вопросом в решении проблемы повышения эффективности судового дизеля, является получение достоверной оценки технического состояния деталей ЦПГ и прежде всего работоспособности ПК.

Известно [1-4], что на современных судах проводится мониторинг состояния и выполнения функций отдельными ответственными деталями ЦПГ, основанный на виброакустической диагностике, который позволяет осуществлять непрерывный контроль за основными узлами и дизелем в целом. Работа машин и механизмов, имеющих движущиеся части, сопровождается вибрацией и шумом. Причинами виброакустических колебаний являются соударения в кинематических парах, неуравновешенность перемещающихся деталей, гидромеханические процессы и др.

Специальный быстродействующий датчик установленный выше продувочных окон на цилиндровой втулке двигателя измеряет частоту и амплитуду акустических колебаний возникающих во втулке при прохождении кольца мимо датчика. Однако, в применяемых системах мониторинга состояния поршневых колец нет информации о процессах взаимодействия сопряжения «кольцо-втулка» при малых скоростях движения. Особенностью этого процесса является то, что в момент прохождения продувочных окон втулок, режим смазки не является гидродинамическим. В тонком смазочном слое, за счет структурирования молекул пристенных слоев, возникает расклинивающее давление, препятствующее возникновению адгезион-

ного контакта между поршневым кольцом и перемычками окон цилиндра [5].

Опыт диагностирования сигнала в судовых условиях [6] показал, что из-за наличия шумов и процесса затухания амплитуды акустических колебаний при распространении по втулке необходимо повышение чувствительности компонентов вибросигнала к техническому состоянию поршневого кольца. Особенно на стадии зарождения дефектов, или нарушении условий смазывания. В некоторых случаях, помехи могут превышать уровень полезного сигнала, содержащего информацию о б изменении технического состояния ПК.

Таким образом, имеется необходимость в совершенствовании системы диагностирования технического состояния поршневых колец, чем и обусловлена актуальность исследований.

Цель работы – совершенствование системы диагностирования технического состояния поршневых колец, путем повышения информативности акустического сигнала, с одновременным уменьшением влияния уровня шумов.

При виброакустическом диагностировании необходимо учитывать, что затухание колебаний значительно возрастает по мере увеличения частоты колебаний и удаления датчика от источника колебаний. Поэтому место установки датчика виброускорений играет большую роль.

При измерениях датчик воспринимает не только сигнал, несущий полезную информацию, но и посторонние сигналы, вызванные высокой виброактивностью работающих агрегатов, что обуславливает необходимость применения более сложной, чем простое усиление, обработки сигнала. Для выделения полезной информации из сложного виброакустического сигнала применяют различные методы: выбор определенного места установки датчика, фильтрацию сигнала и др. Применение для регистрации сигнала электронно-лучевого осциллографа позволяет выделить полезный сигнал при помощи временной селекции. Соударения различных деталей в механизмах происходят в строго определенные моменты времени или, если речь идет о вращательном движении, в определенные угловые промежутки фазового состояния механизма. Регистрирующую аппаратуру необходимо включать только в моменты возникновения полезного сигнала, чем значительно уменьшается количество мешающих сигналов. При этом горизонтальная развертка луча на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) должна работать в ждущем ре-

жиме. В этом случае движение луча на экране ЭЛТ, а значит, и регистрация процесса начинаются только после прихода внешнего синхроимпульса от датчика 3, для получения которого используют механические и электронные фазоизбирательные устройства (фазоизбиратели).

Как отмечалось ранее, наиболее близким за технической сущностью и результатом, который достигается, есть система диагностирования технического состояния поршневых колец в которой акустический датчик, установлен на цилиндровой втулке выше продувочных окон. [3,4,6]

Недостатки устройства, которые обусловлены расположением одного датчика на теле втулки над продувочными окнами:

недостаточная чувствительность контроля технического состояния колец на наиболее информативном участке движения поршня - зоне продувочных окон;

невозможность компенсации влияния отрицательных дестабилизирующих факторов;

необходимость применения сложных аппаратно-программных средств для фильтрации неинформативных составных вибрационного сигнала.

Совершенствование системы диагностирования технического состояния поршневых колец, которая обеспечивает контроль во время работы двигателя в заданном диапазоне решается тем, что для оценки технического состояния, применено измерения уровня вибрации поршневых колец комбинацией двух пар датчиков вибрации, которые установлены на ребрах продувочных окон цилиндровой втулки [7], как показано на рис. 1.

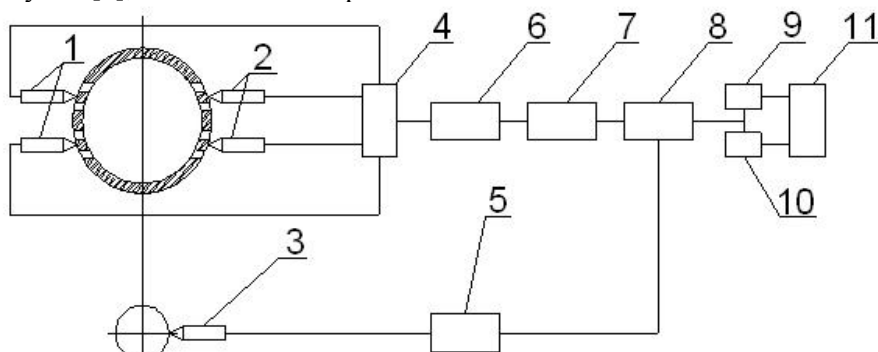


Рис.1. Блок-схема системы диагностики технического состояния поршневых колец при прохождении продувочных окон втулок цилиндров.

1,2 – датчики вибрации на ребрах окон втулок, 3 – датчик угла вращения маховика коленчатого вала, 4– сумматор, 5, 6– формирователи прямоугольных импульсов, 7–усилитель, 8–ключ, 9–фильтр частот колебаний до 500Гц, 10– фильтр частот колебаний более 500Гц, 11–блок обработки информации.

Система диагностирования технического состояния поршневых колец функционирует следующим образом.

Сигналы от датчиков 1 и 2 поступают в сумматор 4, где происходит компарирование сигналов. Сигнал, полученный после обработки в сумматоре, превращает свою форму в формирователе прямоугольных импульсов 6 и усиливается в усилителе 7, перед тем как попасть к электронному ключу 8. Электронный ключ управляется сигналом, который поступает от датчика угла вращения маховика коленчатого вала 3, и перед поступлением в ключ 8, превращает свою форму в формирователе прямоугольных импульсов 5. После прохождения ключа 8, происходит фильтрация сигнала в фильтрах частот колебаний 9 и 10. Сигналы с частотой колебаний менее 500 Гц и свыше 500 Гц поступают в блок обработки информации 11.

В статическом режиме, т.е. в отсутствии механических колебаний, электронный ключ 8 открыт и на блоке 11 фиксируется и сохраняется в памяти фоновый уровень сигнала.

В динамическом режиме (двигатель в режиме полной нагрузки) измерения происходят в два этапа. На первом этапе пара датчиков 1 фиксирует уровень вибрации во время прохождения кольцами продувочных окон. На втором этапе фиксируется вибрация во время движения колец в пределах продувочных окон в обратном направлении. В сумматоре происходит компарирование сигналов от двух пар датчиков с целью обеспечения компенсации составляющей вибрации от влияния дестабилизирующих факторов. Время, в течение которого сигнал поступает в блок 11, регулируется с помощью электронного ключа 8, который руководствуется сигналом от датчика угла вращения маховика коленчатого вала 3. Сигнал с частотой до 500 Гц идентифицируется системой как диагностический, сигнал свыше 500 Гц - как опасный.

В качестве датчика 3 используется электронное фазоизбирательное устройств (ЭФУ) не требующее наличия механической связи с вращающимися частями машин, что значительно расширяет область его применения. Принцип действия ЭФУ основан на фиксации момента подачи синхроимпульса посредством подсчета угловых отрезков за определенный угол поворота вала машины. При диагностиро-

вании ДВС в качестве угловых отметок используются импульсы, возникающие в индуктивном датчике, расположенном над зубьями венца маховика. Для подсчета угловых отметок применяют электронные счетчики с переменным коэффициентом пересчета (деления) К.

Таким образом, система обеспечивает мониторинг технического состояния поршневых колец в моменты прохождения продувочных окон, когда в тонком слое цилиндровой смазки с анизотропными свойствами возникает расклинивающее давление, которое противодействует образованию адгезионного контакта между кольцом и перемычками втулки.

Система вырабатывает сигналы, позволяющие изменять условия смазки при получении предупредительного сигнала меньше 500Гц. При получении сигнала выше 500 Гц вырабатывается сигнал на аварийную остановку двигателя.

Автором получен патент на систему диагностирования технического состояния поршневых колец № 75246 [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моек, Э., Штрикерт, Х. Техническая диагностика судовых машин и меха- низмов. - Л.: Судостроение, 1986. - С. 97- 103.
2. Ханмамедов С.А. Совершенствование функциональных свойств систем смазывания судовых энергетических установок. Дисс. докт. техн. наук, – Николаев; 1990 –с.672.
3. Hellingman, G.J. and Barrow, S.: “Shipboard investigations with Selected Fuels of Tomorrow”, CIMAC 1981, Helsinki
4. Neate R.J. and Barrow S.: “SIPWA-A Shipowner’s Point of View”, New Sulzer Diesel Ltd, December 1990.
5. Слободянюк Д.И., Ханмамедов С.А. Экспериментальные изотермы расклинивающего давления в пленках цилиндрического масла и их применение для повышения надежности судового дизеля. // Научно-виробничий журнал Проблеми техніки –№2.–Одеса: 2011. –С: 136-147.
6. Слободянюк Д.И. Совершенствование методики идентификации состояния поршневых колец МОД на основе экспериментального исследования частоты акустического сигнала. Проблеми техніки –№3.– 2012.–С. 68-75.
7. Слободянюк Д.И. Система диагностирования технического состояния поршневых колец. Патент № 75246, 2012.

УДК 662.611.2:662,613,5

Бондаренко А. В.
ОНМА

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА

Состояние вопроса

Одно из направлений повышения энергетической эффективности национальной экономики состоит в разработке моделей и методов оптимального сжигания любых смесей газообразного углеводородного топлива с изменяющейся во времени концентрацией составляющих компонентов.

Такие топлива могут быть получены из каменных и бурых углей, торфа, горючих сланцев, а также при прямой перегонки нефти, термическом и каталитическом крекинге черных нефтепродуктов, при пиролизе древесины и растительной массы.

Оптимальный режим обеспечивается подачей в область горения количества воздуха, близкого к стехиометрическому. В случае, когда состав топлива известен и постоянен, это не сложно организовать технически при факельном сжигании.

Сжигание перечисленных ранее смесей синтетических газов в факелах на имеющемся оборудовании не представляется возможным по причине отсутствия средств управления таким процессом. Для решения такой задачи, на первом этапе, необходимо разработать модель образования продуктов сгорания при любом коэффициенте избытка воздуха. Модель должна определять энтальпии продуктов сгорания и их температуру в факеле при горении на интервале отношения (газ–воздух) от минимально разумного 0.4, до максимально возможного более 2.0.

Целью данной статьи является разработка математической модели определения состава продуктов сгорания их энтальпий и температур при сжигания углеводородного топлива при варьировании количества воздуха.

Анализ литературных данных и постановка проблемы

Широко применяемый сегодня подход по определению температуры и энтальпии продуктов сгорания основанный на методе и модели Менделеева не дает приемлемого решения при горении углево-

дородного газа в воздушной атмосфере при отношении (газ–воздух) существенно больше или меньше стехиометрического [1]. В одной расчетной модели метод Менделеева не позволяет учитывать образование окислов азота NO и угарного газа CO.

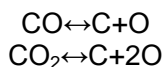
В работе [2] изучены этапы горения метана в воздухе для отношений от 0,5 до 1,4 и давлений от 1 до 70 атм. В основу модели был кинетический механизм. Получены аналитические выражения для скорости горения и для характерной температуры. Для обедненного топлива численные и натурные эксперименты совпали. Результаты по скоростям горения получились завышенными для стехиометрического и богатого пламени. Было принято, что в основу разрабатываемой модели необходимо положить изложенный подход, такой же подход был изложен в [3] для расчета и проектирования камер сгорания реактивных двигателей.

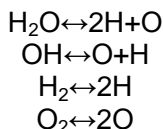
Поэтому проблему эффективного и качественного сжигания углеводородного газа переменного состава, с изменяющейся концентрацией во времени, для энергетических установок можно сформулировать следующим образом. Необходимо разработать модель сжигания любого углеводородного топлива в энергетической установке, которая будет определять кроме энтальпий и температур продуктов сгорания, их состав в том числе, окислы азота и углерода.

Основы математической модели

Для формирования математической модели решения прямой задачи были приняты допущения, состоящие в известности качественного и количественного состава горючего. Моль любого газа при нормальных условиях занимает объем 22,4. Для решения должна быть известна условная топливная формула. Для углеводородного горючего она состоит из двух простых элементов «С» и «Н». Кроме того, известна условная формула окислителя, принимаем, что это кислород «О». Исходя из изложенного, топливо состоит из трех простых элементов — «Н», «С», «О».

Для формирования математической модели была рассмотрена возможность образования из этих трех элементов только шести значимых индивидуальных веществ, входящих в состав продуктов сгорания: CO, CO₂, H₂O, OH, H₂, O₂, которые могут образовывать 6 обратимых реакций:





Первая часть математическая модель прямой задачи состоит из шести уравнений закона действующих масс записанного для образования шести индивидуальных веществ:

$$\frac{P_C \cdot P_O}{P_{\text{CO}}} = \kappa_1(T),$$

$$\frac{P_C \cdot P_O^2}{P_{\text{CO}_2}} = \kappa_2(T),$$

$$\frac{P_H^2 \cdot P_O}{P_{\text{H}_2\text{O}}} = \kappa_3(T),$$

$$\frac{P_H \cdot P_O}{P_{\text{OH}}} = \kappa_4(T),$$

$$\frac{P_H^2}{P_{\text{H}_2}} = \kappa_5(T),$$

$$\frac{P_O^2}{P_{\text{O}_2}} = \kappa_6(T),$$

где $P_{\text{CO}}, P_{\text{CO}_2}, P_{\text{H}_2\text{O}}, P_{\text{OH}}, P_{\text{O}_2}, P_{\text{H}_2}, P_{\text{H}}, P_{\text{O}}, P_{\text{C}}$ – соответствующие парциальные давления образованных индивидуальных веществ и элементов, находящихся в продуктах сгорания, $\kappa_1(T), \kappa_2(T), \kappa_3(T), \kappa_4(T), \kappa_5(T), \kappa_6(T)$, – константы химического равновесия образования индивидуальных веществ по парциальным давлениям.

Вторая часть математической модели прямой задачи состоит из трех уравнений закона сохранения вещества записанного для материального баланса трех элементов образования шести принятых индивидуальных веществ.

$$M_T \cdot \epsilon_C^{(T)} = \epsilon_C^{(T)} \cdot M_T = P_{\text{CO}} + P_{\text{CO}_2} + P_{\text{C}},$$

$$M_T \cdot \epsilon_H^{(T)} = \epsilon_H^{(T)} \cdot M_T = 2 \cdot P_{H_2O} + 2 \cdot P_{H_2} + P_{OH} + P_H,$$

$$M_T \cdot \epsilon_O^{(T)} = \frac{V_{ок}}{V_G} \cdot a \cdot M_T =$$

$$= P_{CO} + 2 \cdot P_{CO_2} + P_{H_2O} + P_{OH} + 2 \cdot P_{O_2} + P_O,$$

где $V_{ок}$, V_G – объёмные расходы окислителя и горючего соответственно; M_T – количество молей топлива $\epsilon_H^{(T)}$, $\epsilon_C^{(T)}$ – количество атомов водорода и углерода в условной формуле горючего, $a = 2$ – количество атомов кислорода в окислителе, $\epsilon_H^{(T)}$, $\epsilon_C^{(T)}$, $\epsilon_O^{(T)}$ – количество атомов водорода, углерода и кислорода в условной формуле топлива.

Третья часть математической модели прямой задачи состоит из уравнения закона Дальтона.

$$P_{CO} + P_{CO_2} + P_{H_2} + P_{O_2} + P_{H_2O} + P_{OH} + P_H + P_O + P_C = P_\Sigma,$$

где P_Σ – суммарное давление в камере горения при котором происходит образование продуктов сгорания.

Четвертая часть математической модели прямой задачи состоит из уравнения сохранения энергии, в предположении изохорности процесса горения

$$(I_G + \alpha \cdot \chi_0 \cdot I_O) \cdot M_T = \sum_q I_q$$

где α – коэффициент избытка окислителя; χ_0 – мольный стехиометрический коэффициент соотношения компонентов; I_G, I_O, I_q – мольные энтальпии горючего, окислителя и газов в смеси продуктов сгорания, P_q – соответствующие парциальные давления образованных индивидуальных веществ и элементов.

Получена система 9-ти алгебраических нелинейных уравнений. Решение было найдено в численном виде. Численное решение было найдено с помощью метода Ньютона путем разложения уравнений системы в ряд Тейлора по степеням, не выше первой. При поиске нового приближения к предыдущему прибавляется только часть найденной поправки. Величина этой части определяется коэффици-

ентом нижней релаксации. Он подбирается опытным путем и для демонстрационного примера составил $k = 0.4$, давление $P_{\Sigma} = 1 \text{ бар}$.

Демонстрационный пример

Для проверки адекватности и работоспособности записанной модели был проведен тестовый расчет по данным из [3]. В качестве демонстрационного примера были взяты исходные данные по следующему топливу: горючее – газообразный керосин $\text{C}_{11,956}$; окислитель – кислород O_2 .

В рассматриваемом тестовом варианте должно быть: $b_c = 1$, $b_H = 1,956$, $I_c = -1948 \text{ кДж/кг} = -27237,7 \text{ кДж/кмоль}$, молекулярная масса керосина принята равной $\mu = 13,9824 \text{ кг/кмоль}$, коэффициент избытка окислителя $\alpha=0.4$. В табл.1 приведены результаты демонстрационного примера.

Таблица 1. Результаты расчетов для $\alpha=0,4$

| Состав продуктов сгорания | Начальное приближение | Решение | Данные по [3] |
|---------------------------------|--------------------------|---------|------------------|
| $P_{\text{CO}}^{(1)}$ | 1.0 | 0,4869 | 0,4432 |
| $P_{\text{CO}_2}^{(1)}$ | 1.0 | 0,0181 | 0,0203 |
| $P_{\text{H}_2\text{O}}^{(1)}$ | 1.0 | 0,0784 | 0,1011 |
| $P_{\text{OH}}^{(1)}$ | 0.1 | 0,0001 | 0,0001 |
| $P_{\text{H}_2}^{(1)}$ | 0.1 | 0,4143 | 0,4332 |
| $P_{\text{O}_2}^{(1)}$ | 0.1 | 0,0000 | 0,0000 |
| $P_{\text{H}}^{(1)}$ | 0.1 | 0,0022 | 0,0023 |
| $P_{\text{O}}^{(1)}$ | 0.1 | 0,0000 | 0,0000 |
| $P_{\text{C}}^{(1)}$ | 0.1 | 0,0000 | 0,0000 |
| $M_{\text{T}}^{(1)}$ | 1.0 | 0,5050 | 0,4910 |
| T[K] | | 2124 | 2125 |

Поиск температуры продуктов сгорания осуществлялся итерационным процессом. Принималась температура продуктов сгорания заведомо завышенная. Далее по выражению 11 модели осуществлялся балансовый расчет из принятого предположения изознальпийности процесса. Первоначальное значение температуры уменьшалось

до тех пор, пока выражение не превращалось в тождество с заданной вычислительной точностью.

Сравнение данных из столбцов табл.1. “Решение” и “Данные [3]” показывает, что решение получено с высокой точностью, т.е. модель не дает каких либо искажений, связанных с допущениями или неточностью численных расчетов. Исходя из проведенных расчетов и построенной модели можно сделать вывод о корректности полученных расчетов и возможности проведения расчетов при различных количествах окислителя отличных от стехиометрического.

Совершенствование модели

Для проведения расчетов по определению характеристик продуктов сгорания, где окислителем мог бы выступать атмосферный воздух. Принят состав воздуха из N_2 – 80%, и O_2 – 20% по объему. И как следствие было осуществлено следующее дополнение к модели. Теперь условная формула окислителя состоит из элементов «O» и «N». Поэтому топливо состоит из четырех простых элементов — «H», «C», «O», «N». Следовательно группа индивидуальных веществ входящих в продукты сгорания увеличилась до восьми к рассмотренным ранее было добавлено образования азота N_2 и его окисла NO по обратимым реакциям $N_2 \leftrightarrow 2N$ и $NO \leftrightarrow N+O$, остальными окислами азота в рассматриваемой модели пренебрегаем.

В первую часть математическая модель прямой задачи добавляем два уравнения закона действующих масс записанного для образования NO и N_2 как индивидуального вещества.

$$\frac{P_N \cdot P_O}{P_{NO}} = \kappa_7(T)$$
$$\frac{P_N^2}{P_{N_2}} = \kappa_8(T)$$

где P_{NO}, P_N — соответствующие парциальные давления образованных индивидуальных веществ и элементов, $\kappa_7(T)$, — константа химического равновесия образования NO из индивидуальных веществ по парциальным давлениям, $\kappa_8(T)$ — константа химического равновесия образования N_2 из индивидуальных веществ по парциальным давлениям.

Во вторую часть математической модели прямой задачи вводим дополнительное четвертое уравнений закона сохранения вещества записанного для материального баланса азота.

$$M_T \cdot b_N^{(T)} = \frac{V_{ок}}{V_T} \cdot \alpha \cdot M_T = P_{NO} + P_{N_2},$$

а уравнение материального баланса кислорода примет вид

$$\begin{aligned} M_T \cdot \epsilon_O^{(T)} &= \frac{V_{ок}}{V_T} \cdot a \cdot M_T = \\ &= P_{CO} + 2 \cdot P_{CO_2} + P_{H_2O} + P_{OH} + 2 \cdot P_{O_2} + P_O + P_{NO} + 2 \cdot P_{N_2} \end{aligned}$$

где $b_N^{(T)}$ – количество атомов азота в условной формуле топлива.

В третью часть математической модели прямой задачи добавим парциальные давления P_{NO}, P_{N_2} .

$$\begin{aligned} P_{CO} + P_{CO_2} + P_{H_2O} + P_{OH} + P_{O_2} + P_{H_2} + \\ + P_{NO} + P_H + P_O + P_C + P_N = P_\Sigma \end{aligned}$$

В четвертую часть математической модели прямой задачи состоящей из уравнения сохранения энергии введем слагаемые определяющие энтальпию свободного азота в воздухе и энтальпию окисла азота в продуктах горения

$$(I_T + \alpha \cdot \chi_0 \cdot (0,2 \cdot I_O + 0,8 \cdot I_N)) \cdot M_T = \sum_q I_q \cdot P_q$$

где I_O, I_N – мольные энтальпии кислорода и азота в окислителе.

Получена система 12-ти алгебраических нелинейных уравнений. Решение было найдено в численном виде, подходом описанном ранее.

В качестве следующего демонстрационного примера были взяты исходные данные по топливу: горючее – газообразный метан CH_4 ; окислитель – воздух. В таблице 2 приведены результаты моделирования температуры T , парциальных давления некоторых продуктов сгорания P_{CO} и P_{NO} при варьировании относительного коэффициента избытка воздуха α .

Таблица 2. Результаты моделирования протекающие при горении метана в воздушной атмосфере при изменении коэффициента избытка воздуха.

| α | T, [K] | P_{CO} | P_{NO} |
|----------|--------|----------|------------|
| 0.4 | 1228 | 0.1371 | 1.9055E-12 |
| 0.5 | 1532 | 0.1152 | 3.673E-09 |
| 0.6 | 1761 | 0.0941 | 2.4453E-07 |
| 0.7 | 1940 | 0.0728 | 4.1579E-06 |
| 0.8 | 2084 | 0.0503 | 3.8136E-05 |
| 0.9 | 2197 | 0.0264 | 0.0003 |
| 0.95 | 2233 | 0.0150 | 7.67E-04 |
| 1.0 | 2230 | 0.0071 | 0.0017 |
| 1.05 | 2192 | 0.0034 | 0.0024 |
| 1.1 | 2143 | 0.0018 | 0.0029 |
| 1.2 | 2040 | 5.53E-04 | 0.0030 |
| 1.3 | 1943 | 1.90E-04 | 0.0027 |
| 1.4 | 1855 | 6.99E-05 | 0.0023 |
| 1.5 | 1775 | 2.67E-05 | 0.0020 |
| 1.6 | 1703 | 1.06E-05 | 0.0016 |
| 1.7 | 1637 | 4.32E-06 | 0.0013 |
| 1.8 | 1578 | 1.83E-06 | 0.0011 |
| 1.9 | 1523 | 7.80E-07 | 8.54E-04 |
| 2.0 | 1473 | 3.41E-07 | 6.90E-04 |

Выводы по работе

Математическая модель прямой задачи для газообразного углеводородного топлива позволяет определить количественный состав его условной формулы, энтальпию топлива, состав и температуру продуктов сгорания.

Результаты моделирования адекватно отображают физико-химические процессы, протекающие при горении метана в воздушной атмосфере при изменении коэффициента избытка воздуха. Рассчитана максимальная температура продуктов сгорания 2233 К при $\alpha=0.95$. Уменьшение практически до нуля парциального давления CO при увеличении коэффициента избытка воздуха соответствует действительности. Так же адекватно вычислено наличие максимума парциального давления NO при $\alpha=1.2$. Уменьшение количества образования NO связано с уменьшением температуры горения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Химия горения // У. Гардинер, Г. Диксон–Льюис, Р. Целнер и др. — М.: Мир, 1988. — 464 с.
2. Buipham, M. The asymptotic structure of premixed methane–air flames with slow CO oxidation / M. Buipham, K. Seshadri, F. A. Williams // Combustion and Flame. – 1992. – Т. 89 – С. 343–362
3. Глушко, В.П. Термодинамические и теплофизические свойства продуктов сгорания: справочник [Текст] / В. П. Глушко, В. Е. Алемасов // ВИНТИ. – М., 1971. – Том 1. – 266 с.

УДК 656.61.003:658.7

Лысый А. А.,
АМИ ОНМА

УПРАВЛЕНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ПОРТОВ В УСЛОВИЯХ ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКИ

Постановка проблемы. Одной из основных задач государственной морской политики на современном этапе - является обеспечение во внутренних водах и территориальном море Украины режима судоходства, соответствующего международному морскому праву и международным стандартам безопасности судоходства, обеспечение соответствия уровня безопасности судоходства на украинских судах высшим международным стандартам, обеспечение эффективного осуществления функций морской администрации и других функций государства, которые предусмотрены международными договорами Украины в области судоходства.

Обеспечение национальных интересов Украины как морского государства требует включения приоритетов ее государственной морской политики в основные принципы внутренней и внешней политики страны. Развитие морского транспорта, как важнейшего фактора ускоренного развития экономики и интеграции Украины в мировую экономическую систему, предполагает наличие современного морского торгового украинского флота, конкурентоспособного на мировом фрахтовом рынке, способного обеспечить потребности народа Украины, фрахтовую независимость национальной внешней торговли, эффективное использование транзитного потенциала Украины и экспорт транспортных услуг путем. Главным фактором ускоренного развития морского транспорта Украины являются целенаправленные меры государства по созданию надлежащих условий, в частности, рост инвестиционной привлекательности всех составляющих инфраструктуры судоходства. Здесь особо следует отметить специфику работы портов в условиях зимы. Так, например, на северном побережье Азовского моря из-за неблагоприятных зимних погодных условий, практически приостанавливают работу морские порты. Грузовой оборот портов Азово-Черноморского бассейна в январе-феврале уменьшается по сравнению с показателями осени, весны и лета в 1,5 раза. Учитывая вышеизложенное, одним из приоритетных направлений государственной морской политики Украи-

ны является организация ледовой навигации на основных магистральных направлениях.

Анализ последних исследований и публикаций. Наука управления работой морского флота накопила огромный и ценный опыт в вопросах, которые касаются различных аспектов управления, как портами, так и флотом: Немчиков В. И. Кендалл Л.К. Шутенко В. В. Лимонов Э.Л. Прокофьев В.А., Вепринская Т.А.

Целью статьи является исследование методов управления государственными портами в условиях ледовой обстановки.

Изложение основного материала. В общем виде задача сводится к следующему. Имеется динамическая система L , характеризующая состояние ледового покрова. На эту систему наложены ограничения, определяемые опасными в навигационном отношении районами.

В области допустимых пространственных значений системы L выделены фиксированные точки $V_n, V_1, V_2, \dots, V_n, V_k$, где V_n – точка начала маршрута, V_1, V_2, \dots, V_n – точки поворотов, V_k – точка окончания маршрута.

Последовательно соединенные точки $V_n, V_1, V_2, \dots, V_n, \dots, V_k$ образуют генеральный маршрут плавания.

В динамическом пространстве L находится управляемая система Sh (судно) которая под влиянием управления (изменение курса и скорости) может переходить из одного состояния в другое (изменять свое пространственное положение). В зависимости от параметров состояния ледового покрова система L оказывает противодействие изменению пространственного положения системы Sh , численно характеризуемое на каждом дискретном участке некоторой величиной сложности его преодоления Sl .

С траекторией перемещения системы Sh связана наша заинтересованность - достижение V_k за минимальное время, определяемая функционалом k_0 . Обозначим единичное управление вектором \vec{i} , характеризующим собой направление и скорость перемещения системы Sh на единичном дискретном участке пространства L . Тогда задача выбора траектории движения судна во льдах аппроксимируется выбором управления $\sum_{(k)} \vec{x}_k$, которое переводит систему Sh из начального состояния V_n через промежуточные со-

стояния V_1, V_2, \dots, V_n в конечную точку V_k с учетом имеющихся пространственных и других ограничений. В качестве других ограничений учитываются:

периодичность обновления и время устаревания L — данных дистанционного зондирования;

прогнозы динамики изменения пространства L ;

заданные ограничения по ледопроеходимости конкретного судна.

При выбранном управлении функционал должен обращаться в минимум.

Запишем изложенную выше задачу в терминах дискретного программирования. Исходные данные:

$$L = \{z_1, z_2, z_3, \dots, z_j, \dots, z_n\}, j = 1, 2, 3, \dots, n;$$

$$z_j \equiv Cl \equiv f(a_j);$$

$$\{V_n, V_1, V_2, \dots, V_n, \dots, V_k\} \in L$$

$$Sh \in L,$$

где z_j - дискретный элемент пространства L , a_j - уровень градации серого участка на изображении ледового покрова; Cl_j - коэффициент сложности преодоления участка z_j .

Предположим, что процесс управления системой Sh можно разбить на k шагов $\vec{u} = (\vec{u}_1, \vec{u}_2, \vec{u}_3, \dots, \vec{u}_i, \dots, \vec{u}_k)$.

Пусть $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_i, \dots, \xi_k$ - состояние системы Sh соответственно после $1, 2, 3, \dots, i, \dots, k$ шага управления, эквивалентное определенному элементу дискретного пространства L : $\xi_i \equiv z_i$. Управление на i -том шаге заключается в выборе значения возможных на этом шаге управляющих значений $\vec{u}_i = (\vec{u}_i^{(1)}, \vec{u}_i^{(2)}, \dots, \vec{u}_i^{(n)})$. В соответствии с принципом оптимальности Беллмана состояние системы Sh после i -того шага управления зависит только от предшествующего состояния системы ξ_{i-1} и управления \vec{u}_i : $\xi_i = F_i(\xi_{i-1}, \vec{u}_i)$. Изменяя управление \vec{u} можно получить различную эффективность процесса, которая количественно оценивается целевой функцией $k_0 = \Phi(\xi_n, \vec{u})$, зависящей от начального состояния системы $V_n \equiv \xi_n$ и выбранного управления \vec{u} . Тогда задача оптимизации выбора траектории маршрута формулируется следующим образом: определить совокуп-

ность $\vec{u}_k^* = (\vec{u}_1^{(l,n)}, \vec{u}_2^{(l,n)}, \dots, \vec{u}_k^{(l,n)})$, переводящее систему Sh из начального состояния в конечное при которой:

$$k_0 = \sum_{i=1}^k \Phi(\xi_i, \vec{u}_i^{(l,n)}) \rightarrow \min.$$

Рассматриваемая задача является типичной задачей комбинаторного типа, в которой определяется экстремальное значение некоторой функции, заданной на конечном множестве. В последние годы разработано большое количество методов решения данного типа задач. Основными из них являются: отсечения, комбинаторные, приближенные, эвристические. Идея метода отсечения была предложена Данцигом [1, 2]. В методе отсечения любая дискретная задача оптимизации представляется в виде задачи линейного целочисленного программирования. Сняв условие целочисленности, находят оптимальное целочисленное решение двойственным симплекс-методом. Если полученное решение является целочисленным, то оно считается оптимальным.

Для комбинаторных методов характерно использование конечности множества допустимых решений и замена полного перебора вариантов частичным. Уменьшение перебора осуществляется отсеиванием неперспективных решений, заведомо не содержащих оптимума.

Одно из центральных мест среди методов этой группы занимает метод ветвей и границ, задачи целочисленного линейного программирования. Впоследствии он был распространен для решения практически всех задач дискретной оптимизации. Метод основан на идее направленного перебора всех допустимых вариантов задачи оптимизации с отсеиванием неперспективных подмножеств, т. е. в нем осуществляются доказательства оптимальности на основе разбиения пространства решений.

Метод динамического программирования, предложенный Р. Беллманом [4], близок к методу ветвей и границ в том смысле, что он производит разумный перебор всех допустимых параметров некоторой задачи, но делает это другим способом. В нем заменяется одновременный выбор большого количества параметров очередным их выбором, т. е. задача оптимизации сводится к многошаговой задаче меньшей размерности.

Среди приближенных методов решения задачи дискретной оптимизации можно выделить методы локальной оптимизации, осно-

ванные на случайном поиске в области допустимых решений; методы, сочетающие случайный поиск с локальной оптимизацией и методы, являющиеся модификацией точных методов [5].

Эвристические методы и алгоритмы основаны на построении и использовании правил, приемов, упрощений, обобщающих прошлый опыт решающего и учитывающий специфику задач. Среди них можно выделить локальные методы, которые были введены и исследованы Ю. И. Журавлевым и Ю. Ю. Финкельштейном [6, 7].

Оценивая эффективность рассмотренных выше методов, можно констатировать, что они очень сильно зависят от размерностей решаемых задач. Как показано в вычислительная сложность (BC) реализованных на их основе алгоритмов экспоненциально зависит от размерности (P) задачи: $BC = \Phi(2^P)$.

Учитывая, что размерность задачи выбора маршрута по данным дистанционного зондирования ледового покрова составляет десятки и сотни тысяч элементов разрешения, ее решение классическими методами не удовлетворяет даже перспективным возможностям судовой вычислительной техники.

Рассмотрим возможные методы решения, позволяющие находить оптимальные или близкие к оптимальным решения за приемлемое время на поиск такого решения. Сформулируем концептуально более наглядную эквивалентную задачу, без учета накладываемых ограничений, являющуюся основой для выбора маршрута в общей постановке.

Предварительно ледовая информация (дискретная система L) должна быть разделена на участки (кластеры) с одинаковыми уровнями градации серого, эквивалентные одинаковой сложности их преодоления судном. Над системой L сформируем граф Γ , вершины которого, находящиеся в геометрических центрах выделенных кластеров, соединены между собой ребрами. Множеству ребер $\{R\}$ соответствуют значения положительных величин l_v , эквивалентных времени движения судна по данному ребру. В графе Γ выделены начальная вершина V_n , эквивалентная точке начала маршрута, и конечная V_k , эквивалентная точке его окончания. Необходимо определить кратчайший путь по ребрам графа Γ из вершин V_n в V_k , удовлетворяющий условию оптимальности:

$$f(\xi_v) = \sum_{(v)} l_v = \min, \quad (1)$$

В терминах сформулированной эквивалентной задачи сущность метода ее решения заключается в следующем.

Граф Γ разбивается на группы связанных вершин, последовательно достижимых в направлении перемещения от V_n к V_k .

Обход вершин графа производится в направлении от V_k к V_n .

Множество маршрутов от V_k к V_n имеет вид дерева маршрутов: для каждой достижимой связной вершины из $V, V \neq V_s$ методом релаксации определяется направление (метка) \bar{m} на вершину предыдущей группы в кратчайшем пути из v в v , и рассчитывается длина этого пути

$$f(\xi_v) = \sum_{(v)} l_v, \quad (2)$$

которая является функцией оптимальности для данной вершины.

Обход вершин графа заканчивается при достижении V_n .

Производится обратный обход вершин из V_n в V_k с использованием метки \bar{m} , последовательно через все группы разбиения на вершину V_k .

Очевидно, что каждой вершине графа Γ , $V, V \neq V_s$ соответствуют несколько значений функции оптимальности $f(\xi_v)$, которые не могут входить в оптимальный маршрут. Правила релаксации доминируемых значений $f(\xi_v)$ определяются следующим утверждением. Пусть для некоторой вершины $V, V \neq V_s$, в группе разбиения j имеется s связных вершин в группе разбиения $i+1$: $V_1, V_2, V_3, \dots, V_s$.

Для каждой вершины группы разбиения $i+1$ рассчитаны кратчайшие маршруты из $V_1, V_2, V_3, \dots, V_s$ соответственно на V_k . При этом

$$f(\xi_{v_s}) \gg f(\xi_{v_{(s-1)}}) \dots f(\xi_{v_2}) \gg f(\xi_{v_1}). \quad (3)$$

Следовательно, V_2, V_3, \dots, V_s не могут входить в оптимальный маршрут. Для доказательства оптимальности решения на основе разбиения пространства решений предположим, что вершина v группы разбиения j входит в оптимальный маршрут $\bar{x} = \{V_j, V_{j+1}, \dots, V_m\}$. Для оптимального маршрута выполняется условие (1). Рассмотрим векторы

$$\begin{aligned} \bar{x}_1 &= \{V_{(j+1),1}, V_{j+2}, V_{j+3}, \dots, V_m\}; \\ \bar{x}_2 &= \{V_{(j+1),2}, V_{j+2}, V_{j+3}, \dots, V_m\}; \\ &\dots\dots\dots \\ \bar{x}_s &= \{V_{(j+1),s}, V_{j+2}, V_{j+3}, \dots, V_m\}, \end{aligned}$$

представляющие собой кратчайшие маршруты соответственно из вершин $V_1, V_2, V_3, \dots, V_s$ на конечную вершину V_k . Для них выполняется условие (3). При переходе из вершин $V_1, V_2, V_3, \dots, V_s$ уровня разбиения $j+1$ на вершину v уровня разбиения j определим значение $f(\xi_v)$ для каждой вершины:

$$\begin{aligned} f(\xi_v)_1 &= f(\xi_{v1}) + l_{v1}; \\ f(\xi_v)_2 &= f(\xi_{v2}) + l_{v2}; \\ &\dots\dots\dots \\ f(\xi_v)_s &= f(\xi_{vs}) + l_{vs}. \end{aligned} \quad (5)$$

Тогда, с учетом условий (1), (2) получим:

$$f(\xi_v) = \min_{(s)} f(\xi_v)_{1-k} = f(\xi_{v1})_1 + l_{v1}. \quad (6)$$

Следовательно, вершины V_2, V_3, \dots, V_s не могут входить в оптимальный маршрут.

Условие оптимальности (1) является аддитивной функцией от длины ребер, соединяющих вершины. Для сформулированной эквивалентной задачи это предположение очевидно, поскольку каждому ребру, соединяющему вершины, задается определенная величина, которая не зависит ни от положения вершин в графе, ни от значений, поставленных в соответствие другим его ребрам. При решении задачи в общей постановке значения, присваиваемые каждому ребру для выполнения условия (2), должны быть независимыми по оптимальности, аналогично тому, как для аддитивного представления математического ожидания суммы случайных величин необходима их стохастическая независимость.

Назовем множество ребер графа Γ взаимно независимыми по оптимальности, если для любых маршрутов \bar{x} , включающих ребро $R(V_1, V_{i+1})$, его значение не изменяется. Для доказательства этого предположим, что вершина $v \in \Gamma$ является произвольной точкой

некоторого оптимального маршрута \vec{x}_1 , определенного на графе Γ : $x = \{V_1, V_2, V_3, \dots, V_i, \dots, V_m\}$ с функцией оптимальности $f(\xi_{vi})$. Значение функции оптимальности для вершины V_{i+1} , входящей в выбранный маршрут, будет определяться в соответствии с выражением (5):

$$f(\xi_{v(i+1)}) = f(\xi_{vi}) + R(v_i, v_{i+1}).$$

Суммируем это равенство по $i = 1, 2, 3, \dots, m$:

$$\sum_{i=1}^m f(\xi_{v(i+1)}) - \sum_{i=1}^m f(\xi_{vi}) = \sum_{i=1}^m R(v_i, v_{i+1}). \quad (7)$$

Выражение в левой части уравнения представляет функцию оптимальности маршрута \vec{x} , а в правой — сумму величин, поставленных в соответствие ребрам графа Γ , соединяющим вершины оптимального маршрута. Следовательно, выражение (7) эквивалентно условию (2).

Переходим далее к рассмотрению сущности меток \vec{m} , характеризующих направление оптимального маршрута из одной смежной вершины в другую. Как указывалось ранее, на каждом шаге просмотра последовательно достижимых вершин некоторой группы разбиения определяется пара $[f(\xi_{vi}), \vec{m}]$. Значение $f(\xi_{vi})$ характеризует кратчайший путь из конечной вершины V_k на вершину V_i , а \vec{m} будет соответствовать направлению на предпоследнюю вершину кратчайшего пути из V_k в V_i на котором достигается значение $f(\xi_{vi})$. Справедливость этого утверждения вытекает из утверждения: если V_i является предпоследней вершиной некоторого кратчайшего пути \vec{x} , ведущего из V_k в V_i , то часть этого пути \vec{x}_z , заключенного между вершинами V_k в V_i , является некоторым кратчайшим путем из вершины V_k на вершину V_i . Действительно, если путь \vec{x}_z не является кратчайшим из вершины V_k на V_i , то существуют пути из вершины V_k на вершину V_i длина которых меньше \vec{x}_z . Каждый из этих путей может быть продлен до вершины v добавлением к нему (в соответствии с аддитивностью функции оптимальности) соответствующего ребра $R(v_i, v)$. Это может привести к по-

строению нескольких кратчайшим путей из вершины V_k в v , длины которых будут меньше пути \vec{x}_z , что невозможно (*).

Предыдущие рассуждения приводят к модификации принципа оптимальности Беллмана для решения задачи выбора оптимального маршрута, который можно сформулировать следующим образом: если маршрут \vec{x} из вершины V_n в V_k является оптимальным, то для любой его промежуточной вершины v маршрут из V на V_k также оптимальный. Сформулированный принцип является критерием применимости для выбора алгоритмов расчета траектории движения судов во льдах.

Рассмотрим далее обратный обход вершин из V_n в V_k , пользуясь меткой \vec{m} , и докажем утверждение, что получаемый в результате обратного обхода маршрут является оптимальным. Как показано ранее, обход вершин графа Γ заканчивается при достижении начальной вершины V_n . Каждой вершине графа в результате обхода присваивается метка \vec{m} . Обратный ход начинается с вершины V_n . Применительно к вершине V_n метка \vec{m} указывает направление на предпоследнюю вершину в кратчайшем маршруте из V_n в V_k . Принимая указанную вершину за последнюю в маршруте и, применяя последовательно на каждом этапе утверждение (*), при достижении на обратном обходе вершины V_k , получим кратчайший маршрут V_n в V_k , удовлетворяющий условию (1), который и будет являться оптимальным.

Вычислительную сложность предложенного метода составляет примерно $BC = \Phi(25xP)$, тогда как для наиболее эффективного алгоритма Дейкстры для выбора кратчайших маршрутов в ориентированных графах она составляет $BC = \Phi(1,5xP^2)$.

Принимая изложенный метод решения задачи выбора оптимальных траекторий в качестве базового, рассмотрим принципы иерархической декомпозиции как метода снижения размерности задачи и, следовательно, уменьшения вычислительной сложности. Данные дистанционного зондирования, как показано в работе, можно представить в виде иерархического ряда матриц, заданных на квадратном растре с увеличивающимся шагом дискретизации и значениями уровней градации серого элементов вышестоящего уровня

являющихся функциями от значений четырех соответствующих элементов матриц нижестоящего уровня. Фактически такое представление означает уменьшение разрешения ледовой информации в 4 раза на вышестоящем уровне иерархии.

При таком представлении предполагается использование иерархического агрегативного подхода для формирования адаптивных критериев отсечения неперспективных решений, позволяющих существенно уменьшить размерность задачи без ухудшения качества ее общего решения. Агрегативный подход включает два взаимосвязанных этапа: последовательную декомпозицию общей задачи на ряд локальных на каждом уровне иерархии и агрегирование интегральных характеристик ледового покрова в виде элементов разрешения вверх по уровням иерархии, начиная с нижнего. Таким образом, агрегативный подход представляет собой метод декомпозиции (сведения исходной задачи к решению ряда более простых) на основе агрегирования переменных. Агрегированные матрицы на каждом уровне иерархии представляют в терминах сформулированной задачи агрегированные комбинаторные пространства исходного комбинаторного пространства L_τ . Введем понятие параметрической неопределенности Π задачи оптимизации на комбинаторных пространствах L_τ , под которой понимается множество всех факторов, влияющих на выбор оптимальной траектории. В общем случае значение Π эквивалентно размерности комбинаторного пространства L_τ на уровне иерархии τ . Чем выше уровень иерархии, тем меньше параметрическая неопределенность задачи. Обозначим через R_0 решение задачи на нулевом уровне иерархии $\tau = 0$ (общая задача), а через R_τ , $\tau = 1, 2, 3, \dots$ - решение оптимизационной задачи на уровне иерархии τ (локальная задача уровня τ). Цель иерархической декомпозиции задачи на основе агрегативного подхода состоит в последовательном формировании ограничений комбинаторных пространств L_τ для снижения параметрической неопределенности общей задачи. При этом должно обеспечиваться ее оптимальное решение. Учитывая, что элементы комбинаторного пространства уровня τ в соответствии со структурой представления информации расположены в узлах линейной геометрической решетки Λ , сформируем над каждой решеткой Λ_τ граф Γ_τ , вершины которого соединены ребрами по схеме Λ_τ . Решение задачи на каждом уровне τ , в соответствии с изложен-

ным выше методом, представляет собой оптимальную траекторию. Рассматриваем оптимальную траекторию уровня τ в качестве эталонной для решения задачи на уровне $\tau - 1$. Условием снижения параметрической неопределенности задачи является последовательное уменьшение функции оптимальности для каждого нижестоящего уровня иерархии:

$$f(\xi_v)_\tau \rangle f(\xi_v)_{\tau-1} \rangle f(\xi_v)_{\tau-2} \rangle \dots \rangle f(\xi_v)_2 \rangle f(\xi_v)_1 \rangle f(\xi_v)_0. \quad (8)$$

Эталонная траектория на более высоком уровне иерархии в соответствии с условием (8) будет накладывать ограничения на выбор оптимального решения задачи нижестоящего уровня. Эти ограничения заключаются в том, что из комбинаторного пространства нижестоящего уровня иерархии исключаются вершины, функция оптимальности, для которых превышает значение функции оптимальности выбранного Маршрута на вышестоящем уровне (адаптивного рекорда).

Использование адаптивного рекорда позволяет модифицировать условие (8) в виде:

$$\sum_i f(\xi_{v(\tau)})_i \rangle \sum_j f(\xi_{v(\tau-1)})_j \rangle \dots \rangle \sum_k f(\xi_{v(0)})_k \quad (9)$$

где i, j, k — соответствующий номер группы разбиения вершин графа на уровнях $\tau, \tau - 1, \dots, 0$.

Адаптивный рекорд является дополнительным критерием релаксации доминируемых вершин графа для данной группы разбиения. Вычислительная сложность метода с использованием адаптивного рекорда составляет $BC = \Phi(20xP)$. Следовательно, несмотря на увеличение суммарного комбинаторного пространства за счет иерархической декомпозиции задачи, ее параметрическая неопределенность снижается примерно на 25%.

Вывод. Изложенное позволяет модифицировать базовый метод включением в него дополнительного условия релаксации: вершины, для которых функция оптимальности $f(\xi_v)$ превышает значение адаптивного рекорда, не могут входить в оптимальный маршрут. Это условие докажем индукцией по группам разбиения вершин q и уровням иерархии τ . Предположим, что для i -й группы разбиения вершин уровня иерархии τ имеется рекорд $f(\xi_{v(\tau)})_i$ значение в соответствии с общим правилом его формирования равно адаптивному рекорду $(i/2)$ -й группы разбиения уровня иерархии $\tau - 1$. Полагаем, что i -я группа разбиения вершин графа Γ_τ является предпоследней

перед начальной вершиной V_n и содержит, исходя из условия разбиения вершин на группы, две вершины связанные с вершиной V_n . Кроме того, для одной из этих вершин V_n значение функции оптимальности больше адаптивного рекорда, и эта вершина входит в оптимальную траекторию x_τ . Продолжая маршрут до точки v_n , на уровне иерархии τ получим оптимальную траекторию, для которой значение функции оптимальности больше рекорда. Переходя вверх по уровням иерархии к уровню $\tau + 1$, получим, что для одной оптимальной траектории $x_{\tau+1}$ имеется два значения функции оптимальности. Такое противоречие доказывает, что вершина V_i уровня τ не может входить в оптимальный маршрут.

Переходим к $(i-1)$ -й группе разбиения вершин графа Γ_τ . Полагаем, что для вершины V_{i-1} уровня τ , принадлежащей оптимальной траектории, значение функции оптимальности превышает рекорд. Полагаем, что вершина V_{i-1} , предпоследняя в кратчайшем пути из V_κ на V_i . Переходя вверх по уровням иерархии к уровню $\tau + 1$, получим, что для вершины $V_{(i-1)/2}$ группы разбиения $(i-1)/2$ графа $\Gamma_{\tau+1}$, принадлежащей оптимальной траектории $x_{\tau+1}$ существуют два кратчайших маршрута из V_κ на V_i с разными значениями функции оптимальности. Это противоречит (*) и сформулированному выше принципу оптимальности. Распространяя приведенные рассуждения по группам разбиения и уровням иерархии, получим аналогичное противоречие, которое и завершает доказательство.

Таким образом, приведенный метод решения навигационных комбинаторных задач объединяет идеи динамического программирования — в качестве общей методологии, метода ветвей и границ — для исключения доминируемых значений функции оптимальности каждого элемента комбинаторного пространства, метода отсечения — для уменьшения размерности комбинаторного пространства на базе статического рекорда и локального метода — для формирования адаптивного рекорда.

Направленность государственной морской политики должна способствовать дальнейшему укреплению позиций Украины как морского государства, созданию благоприятных условий для достижения целей и решения задач развития морской деятельности

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев О. Г. Комплексное применение методов дискретной оптимизации. М.: наука, 1997, с 264.
2. Беллман Р. Динамические программирование. М: Наука, 1995, с. 264.
3. Кендалл Л.К. Экономика и организация работы флота. - М.: Транспорт, 1978. - 263 с.
4. Лихачев А. В. Формализация ледовой обстановки для ее автоматизированной обработки // Навигация и управление судном. Сб. науч. трудов УНИИМР. М.: Транспорт, 2005. с 54-60.
5. Немчиков В. И. Организация работы и управление морским транспортом. — М: Транспорт, 1982. — 343 с Прокофьев В.А., Вепринская Т.А. Управление работой морского флота: Учеб. Пособие. — СПб.: ГМА им. адм. СО. Макарова, 2005. — 116 с.
6. Шутенко В. В. Договорная работа. Агентирование судов. Серия: Коммерческая работа на морском транспорте (теория и практика). Вып. 2. - СПб.: Информационный центр «ВЫБОР», 2002. - 112 с.
7. Шутенко В.В. Формирование системы грузопотоков морского бассейна // Судовождение. — 1978. — Вып. 23. — 6 с.

УДК 519:656.61

Репетей В.Д.,

ОНМА,

Белобров Е.П.,

Украинский НИИ медицины транспорта Украины

ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ГИБЕЛИ СУДОВ С ОПАСНЫМИ ГРУЗАМИ НА БОРТУ В КЕРЧЕНСКОМ ПРОЛИВЕ

Медицинское специализированное формирование Украинского научно-исследовательского института медицины транспорта «Группа экстренного медико-санитарного реагирования по спасению людей при авариях с опасными грузами на судах и в портах» (ГЭМР-СПАС), согласно Концепции Госфлотинспекции Украины по безопасности судоходства, является составной частью сил, задействованных в общей структуре Национальной морской поисково-спасательной системы Украины. Одной из главных задач ГЭМР-СПАС в период завершения аварийно-спасательных операций является участие её специалистов в комиссиях по расследованию и выяснению причин гибели экипажей и груза, как это было, например, после гибели членов экипажа т/х «Одиск» с грузом ферросилиция на борту [1, 2]. Подобные случаи, к сожалению, нередки. Согласно информации Госфлотинспекции [3] только за 6 месяцев 2007 г. зарегистрировано 11 аварийных случаев с судами под Украинским флагом и 17 - с судами под иностранными флагами. Поэтому сотрудники ГЭМР-СПАС постоянно находятся в оперативной готовности.

В связи с авариями и затоплением судов под Российским флагом в условиях урагана в Керченском проливе 11 ноября 2007 г., гибелью людей и экологическим бедствием, из-за попадания в море навалочных (се-ра комовая) и наливных (мазут М-100) опасных грузов и топлива, была создана комиссия Минтранса Украины по расследованию АМП. Минздравом Украины было поручено представлять его интересы Украинскому НИИ медицины транспорта.

Материалы и методы исследования.

Были даны консультации членам комиссии, представителям Госфлотинспекции, ликвидаторам, администрации порта Керчь, рекомендации по обеспечению безопасности и сохранению здоровья людей при проведении работ по очистке загрязненных нефтепродуктами пляжей, территории и акватории в местах затопления судов с опасными грузами на

борту. Были отобраны пробы морской воды и грунта с поверхности, со дна и побережья Керченского пролива, пляжей о. Тузла и побережья Крымского полуострова. Кроме того, проведен сбор документов, опрос пострадавших, участников спасания моряков, медработников больницы водников. В работе также использованы материалы Госфлотинспекции Украины, транспортной и природоохранной прокуратур г. Керчь, Главного управления МЧС АР Крым, Керченской службы «Дельта-Лоцман», конторы капитана порта Керчь и др.

Анализ физико-химических свойств мазута, гигиенические, одориметрические, санитарно-химические и эколого-гигиенические исследования проводили общепринятыми методами [4], а также с использованием переносных приборов электрохимического анализа воздуха типа «Mutiwam» и «РАС-ППЗ», а также прибора поиска утечек летучих компонентов нефтепродуктов типа «MSI-Sensit» оба прибора производства фирмы «Dredger» (Германия). Данные о погодных и микроклиматических условиях на месте ликвидации загрязнений о. Тузла получали по запросам от гидрометеорологической службы п. Керчь. Все количественные показатели обработаны статистически с помощью стандартного пакета программ в Microsoft Excel [5].

Результаты исследований.

В ночь на 11 ноября 2007 года на Крымский, Таманский полуострова и Керченский пролив обрушился небывалый ураган. Согласно журнала прогнозов погоды Керченского морского порта скорость юго-западного ветра с дождем и снегом достигала в районе морских рейдовых стоянок судов $32\div 37$ м/с, высота волн - $3\div 5$ м, на отдельных участках пролива - до 6 м. Температура воздуха ночью $+6\div 7$ °С (с падением до $+2$ °С), днем $+10\div 12$ °С. Температура воды $+9$ °С и ниже. Атмосферное давление в пределах 737 мм рт. ст., с повышением днем до $746\div 749$ мм рт. ст.

Накануне урагана на рейдовых мелководных стоянках на южных и северных подходах к Керченскому проливу скопилось более чем по 150 судов с различными грузами на борту, включая опасные навалочные и наливные. Приведенные данные свидетельствуют, прежде всего, об интенсивном и судоходстве в специфических навигационных и экологических условиях, сопряженных с перевозкой и перегрузкой на открытых рейдах Керченского пролива различных грузов, включая опасные наливные, химические, навалочные и штучно-тарные грузы. Так, доля пожаро-взрывоопасных и токсических грузов (мазут, дизтопливо, газойль, бор-

ная кислота, сера) составляют 38,8 % всего грузопотока и представляют реальную эколого-гигиеническую угрозу, особенно при авариях судов.

Следует обратить внимание на тот факт, что по большому количеству судов (12,4 %) в первом случае и более половины (54,8 %) - во втором вообще отсутствуют данные о перевозимых грузах. Это создает повышенный риск аварий судов в пределах морской зоны ответственности Украины, которые, как правило, относятся к категории крупных [6-8] и лишает контролирующие службы (санитарно-эпидемиологическую, экологическую, МЧС) возможности проводить предупредительные мероприятия, направленные на исключение аварийных ситуаций с опасными грузами, в-третьих, делает невозможным эффективное сопровождение не только при переходе по каналу, но и при проведении рейдовых перегрузок опасных грузов на суда - накопители.

В связи со штормовым предупреждением все суда были переведены с рейдовых стоянок Керченского пролива в безопасное место Азовского моря. 4-е речных судна РФ с опасными грузами на борту, стоящие на якорях на як.местах № 451 и № 471 в ожидании перегрузки, игнорировали полученные рекомендации.

Далее ситуация развивалась следующим образом. В результате сильного шторма переломился корпус танкера «Волгонефть - 139», при этом носовая часть осталась на якорях, а кормовая двигалась в свободном дрейфе. Из грузовых танков начал вытекать в море мазут марки «М-100». Нефтяное пятно и его фрагменты перемещались на север в направлении портов Аршинцево и Керчь. Вслед за этим затонули с грузом серы т/х «Ковель», «Вольногорск» и «Нахичевань». Из 43 человек в составе экипажей спасено -35 человек, погибло 3, в поиске - 5 членов экипажей. В спасательных операциях приняли участие более 200 человек с использованием морских буксиров - 8 ед., лоцманского катера «ЛК-57», пограничных катеров- 4 ед. и катера МЧС -«УМС-800». Более подробно основные характеристики АМП представлено в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика наиболее резонансных АП с судами и проведённых SAR на ЧАБ за период 2001+2010 г.

| № шт | Тип, название судна, флаг, вес и вид груза | Дата, время АП | Характеристика АП | Место АП | Эффективность SAR |
|------|--|-------------------|---|--|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1. | Танкер «Волго-нефть-139» (РФ), груз 4077 т мазута М-100 | 11.11.07 03:39 | Разломился на 2 части в $\varphi=45^{\circ}15'1N$, $\lambda=036^{\circ}30'2 E$ | Якорная стоянка № 451, КЕК в $\varphi=45^{\circ}11'9N$, $\lambda=036^{\circ}32'0E$ | Экипаж 13 чел. спасены. 2000 т. мазута ушло в море. Эффективность SAR 100% |
| 2. | т/х «Вольногорск» (РФ) груз 2436 т серы | 11.11.07 09:30 | Судно затонуло в $\varphi=45^{\circ}11'5N$, $\lambda=036^{\circ}31'7E$. | Якорная ст. №471 КЕК в $\varphi=45^{\circ}11'5N$; $\lambda=036^{\circ}31'7E$. | Экипаж 8 человек на спасательных плотках. Жертв нет. Эффективность SAR 100% |
| 3. | т/х «Нахичевань» (РФ), груз 2365 т серы | 11.11.07 10:55 | Затонул на глубине 8,5 м в $\varphi=45^{\circ}12'8N$, $\lambda=036^{\circ}33'5E$ | Якорная стоянка №471 КЕК в $\varphi=45^{\circ}12'8N$, $\lambda=036^{\circ}33'5E$ | Экипаж 11 чел., погубло 8 человек. Эффективность SAR 27% |
| 4. | Т/х «Ковель» (РФ). Груз 1923 т серы | 12.11.07 07:04 | Затонул на глубине 8,4 м в $\varphi=45^{\circ}09'2N$; $\lambda=036^{\circ}26'6E$ | Керченский пролив в $\varphi=45^{\circ}09'2N$; $\lambda=036^{\circ}26'6E$ | Экипаж 11 человек. Все спасены. Эффективность SAR 100% |

Как видно из представленных в таблице данных, в трюмах затонувших судов находилось в общей сложности 6724 т комовой серы навалом, которая под действием больших масс морской воды в период шторма, срыва трюмных крышек и затопления трюмов превратилась в состояние пульпы. Которая способна распределиться на большой площади дна Керченского пролива под действием течений и волновых явлений.

Экологическая катастрофа обусловлена, прежде всего, гибелью танкера «Волго-нефть-139». Попадание на поверхность, в толщу морской воды и на дно около 1300 тонн н мазута М-100 привело к интенсивному загрязнению моря и береговой полосы и, как следствие, гибели водоплавающей птицы, большому урону всей флоре и фауне морского района.

С целью характеристики экотоксикологической опасности, вызванной гибелью судов с опасными грузами окружающей среде в зоне Керченского пролива, пляжей о. Тузла и побережья Крымского полуострова, следует остановиться на свойствах находившихся на борту судов опасных грузов:

Сера комовая. Шифр груза согласно ГОСТ-19433÷4113. Легковоспламеняющееся вещество без дополнительных видов опасности. По Списку ООН - № 1350; по списку опасных грузов - № 4174. Плотность-1920÷2070 кг/м³. Твердое порошкообразное вещество светло-желтого цвета, с зеленоватым оттенком, с резким специфическим запахом. В воде, в том числе и морской, не растворима. Категория токсичности по ГОСТ 12.1.007-88 - 4 класс опасности (малоопасное вещество). Сера комовая как опасный навалочный пылящий груз по своим свойствам не является загрязнителем морской среды (Конвенция о защите моря от загрязнения. Бухарест, 21.04.1992 г.). Согласно рекомендаций Комитета защиты морской окружающей среды ИМО (MEPC 33/11 IMO 27/07/1992) и «Предохранения от загрязнений вредными твердыми веществами судовых грузов» Приложения VI MARPOL-73/78 - сера не обладает биоаккумуляцией и не опасна при нахождении в воде для здоровья человека, не оказывает вреда водным организмам, не вызывает ущерба живым ресурсам, не опасна и не влияет на пользование пляжами [5].

Мазут марки «М-100». В танках танкера «Волгонефть -139» находилось более 4000 т наливного груза - мазута марки «М-100», из которых около 2000 т вытекло в воду. Согласно данным справочной литературы [10, 11], мазут «М-100» - это продукт переработки нефти, весьма вязкая темно-коричневого цвета жидкость с резким специфическим запахом нефти, несколько легче морской воды, нерастворим в воде, пары тяжелее воздуха. Применяется как котельное топливо. Основная особенность мазута как опасного наливного груза - весьма малая текучесть и высокая степень вязкости (при 80°С – 15 град ВУ) с повышенной способностью образования в холодной среде отдельных плотных масс и конгломератов. Температура погрузки на танкер + 65 °С. Температура застывания ≤ +25°С. Плотность при 20 °С - 1,015 г/см³. Мазут марки «М-100» содержит до 3,5 % серы, а его пары токсичны при вдыхании, особенно при высоких температурах, и могут представлять известную опасность для здоровья людей при ингаляционном и перкутанном поступлении в организм.

ПДК паров высокосернистого мазута «М-100» - 3 мг/м³. ПДК нефтепродуктов в морской воде - 0,05 мг/дм³. Согласно классификации ИМО мазут отнесен к опасным загрязнителям морской среды.

Из приведенных данных следует, что эколого-гигиеническая опасность для окружающей среды, флоры и фауны и здоровья человека порошкообразной комовой серы в виде мелкодисперсной пульпы в водах Керченского пролива проблематична. В то же время, аварийный разлив около 2000 тонн мазута уже привел к экологической катастрофе в районе интенсивного морского судоходства, рыбного промысла, плантаций мидий и рапана, гнездовой водоплавающей птицы, рекреационных мест отдыха и пляжей не только о. Туз-ла, но и побережья Крымского и Таманского полуостровов.

Проведенные нами исследования источников и мест эколого-гигиенического загрязнения показали наличие других, не менее опасных и вредных для здоровья человека и природных ресурсов, загрязнителей Керченского пролива, обусловленных гибелью 4-х судов. Как видно из табл. 2, на затопленных судах в качестве судовых запасов содержали в своих танках большое количество нефтепродуктов в виде дизельного топлива и моторного масла (более 70 т).

Общее загрязнение нефтепродуктами Керченского пролива усугублялось также попаданием в воду льяльных вод машинно-котельных отделений, горюче-смазочных материалов, судовых красок, растворителей и других загрязнителей, находившихся в судовых помещениях малярных кладовых, подшкиперской и аккумуляторных затонувших судов.

Таблица 2. Ориентировочное количество опасных загрязнителей на борту затонувших судов

| № п/п | Вид эколого-гигиенического загрязнения | Суда, количество опасных грузов, т | | | | Всего, т |
|-------|--|------------------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------|----------|
| | | Танкер «Волго-нефть-139» | Сухогруз «Вольногорск» | Сухогруз «Нахичевань» | Сухогруз «Вель» | |
| 1. | Мазут | 4077 | - | - | - | 4077 |
| 2. | Дизельное топливо | 24 | 15 | 12 | 18 | 69 |
| 3. | Масло моторное | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,2 | 1,7 |
| 4. | Льяльные воды | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,16 |
| 5. | Краски, ГСМ | 0,06 | 0,04 | 0,03 | 0,06 | 0,19 |
| | Итого: | 4101,71 | 15,58 | 12,47 | 18,29 | 4148,05 |

Анализ результатов загрязнения окружающей среды Керченского пролива мазутом из танков танкера «Волгонепфть-139» показал, что после разрушения судна вытекание нефтепродуктов в холодную морскую воду включало следующие фазы:

выход подогретого груза из танков с образованием на водной поверхности пролива толстого слоя мазута, отдельных его пятен и сгустков, мигрирующих под влиянием волн и ветра в сторону пляжей о. Тузла и побережья Таманского полуострова;

в связи с резким охлаждением и сгущением вытекшего мазута, потерей плавучести, попадание его на дно пролива с образованием слоя загустевших фракций нефтепродуктов;

под воздействием волн и ветра – активное перемешивание больших масс донных отложений, водорослей, песка, створок ракушек с образованием плотных мазутных конгломератов, опускающихся на дно и выбрасываемых штормом на берег.

Более детальное изучение источников и механизма миграционного загрязнения водной среды Керченского пролива в период дрейфа кормовой части танкера показало, что общее время дрейфа составило 68 мин, за которое кормовая часть судна прошла около 2,3 мили. Загрязнение поверхности, толщи вод и дна Керченского пролива происходило в условиях штормового моря от места разлома корпуса судна до посадки на мель при движении со средней скоростью 1,2 узла. С учетом элементов рыскания кормы танкера общая ширина полосы загрязнения моря оседающими сгустками и фракциями мазута составила от 50 до 150 метров. При этом ориентировочно-расчетная площадь загрязнения мигрирующего слоя мазута на водной поверхности, а также поверхности морского дна, донных отложений, подводной растительности, плантаций мидий и рапана могла составлять 0,44 км².

Выводы.

Побережье о. Тузла в зоне обследования на расстоянии 1÷1,5 мили при спокойной водной поверхности имеет четыре отчетливые зоны: зона прибоя шириной 1,5÷2,5 м; зона чистого прибрежного песка шириной 6÷12 м; зона выброшенного штормом большого количества морских моллюсков (мидий, рапана), а также большого количества их створок, перемешанных с водорослями; зона побережья с обильным травяным покровом и озерами намывтой штормом морской воды. На водной поверхности в пределах видимости, на границах прибоя и зоны прибрежного песка, видимых следов плавающего мазута и нефтепродуктов, их сгу-

стков и мазутных конгломератов не обнаружено. Поверхность раковин некоторых видов рапана и мидий, а также их створок в зоне 3 имеет точечные, плотные следы мазута, растекающиеся по поверхности при комнатной температуре. Зона 4 на всем протяжении побережья покрыта большим количеством мазута.

1. *По виду загрязнения мазутом поверхность пляжа условно разделена на следующие зоны:*

- 1.1. Сплошные мазутные поля с размером поверхности от 2 ÷ 3 м до 5 ÷ 12 м;
- 1.2. Единичные мазутные слитые или разделенные поля размером 1,5 ÷ 2,0 м;
- 1.3. Отдельно лежащие плотные мазутные сгустки;
- 1.4. Отдельные плотные мазутные конгломераты округлой формы, включающие водоросли, песок, створки ракушек и их фрагментов, другие предметы (тряпки, щепы, и др.);
- 1.5. Плавающий мазутный слой на поверхности единичных водоемов, образованных в результате шторма.

2. *По характеру проникновения мазута в толщу пляжа или грунта и адгезии:*

- 2.1. Сплошные, глубоко проникающие загрязнения мазутом песка пляжей и грунта острова;
- 2.2. Поверхностное распределение мазута с адгезией на травяном покрове и почве побережья;
- 2.3. Поверхностное расположение плотных сгустков и конгломератов мазута, без явления адгезии и не связанных с песчаным грунтом.

3. *По толщине слоя мазутного загрязнения:*

- 3.1. Сплошные мазутные поля с толщиной слоя 15 ÷ 25 см;
- 3.2. Единичные слитые или отдельные поля мазута толщиной - 5 ÷ 15 см;
- 3.3. Отдельно лежащие плотные сгустки толщиной до 10 см;
- 3.4. Плотные мазутные конгломераты толщиной 20 ÷ 30 см.

4. *По составу и количеству выделения летучих компонентов из нефтепродуктов, выброшенных ураганом на пляжи и побережье пролива:*

- 4.1. Взрыво- и пожароопасные углеводороды нефтепродукты;
- 4.2. Сероводород в смеси с углеводородами.

5. *По технологии удаления мазута с водной поверхности, из толщи воды и плоскости донных отложений при низких температурах воды и воздуха:*

- 5.1. Сбор мазута с поверхности воды с помощью традиционных методов боновых заграждений с применением судов-нефтемусоросборщиков, использование рыболовных сетей с мелкой ячейкой;
 - 5.2. Сбор конгломератов мазута с поверхности дна методом траления и с применением труда водолазов.
6. *По технологии сбора нефтепродуктов на пляжах и побережье:*
- 6.1. Сбор вручную отдельных плотных мазутных сгустков и конгломератов в мешки;
 - 6.2. Сворачивание отдельно лежащих на поверхности песка или грунта плотных мазутных образований в рулон и сбор их в мешки;
 - 6.3. Сбор конгломератов и плотных мазутных сгустков с поверхности песчаного пляжа при помощи вил, лопат и граблей с погрузкой и транспортировкой на носилках;
 - 6.4. Использование передвижных технических средств для срезания поверхностного слоя песка и почвы пропитанного мазутом и уборкой с погрузкой на колесную технику.
7. *По виду и назначению применения средств индивидуальной защиты (СИЗ и СИЗОД) ликвидаторов загрязнения мазутом пляжей о. Тузла для защиты:*
- 7.1. Тела и кистей рук - общевойсковой костюм химической защиты;
 - 7.2. При отсутствии подобных костюмов использовать комбинезон (куртку и брюки), фартук из ПВХ материала, сапоги ПВХ, брезентовые рукавицы, перчатки с ПВХ накладками. При работе в условиях дождя дополнительно - плащ из водонепроницаемых материалов с капюшоном.
- Наибольшую опасность в эколого-гигиеническом и токсикологическом отношении в настоящее время представляет вылив мазута и наличие на борту затонувших судов других опасных источников загрязнения (ляльные воды, машинное масло, ГСМ, судовые краски и др.).
 - Выброс комовой серы из трюмов затонувших судов в настоящее время опасности для здоровья людей и окружающей природной среды не представляет.
 - Отсутствие у контролирующих движение судов в Керченском проливе организаций полной информации о номенклатуре перевозимых грузов лишает их возможности осуществлять в полном объеме превентивные мероприятия по предотвращению последствий, в том числе эколого-гигиенических, вероятных аварийных ситуаций.

- На основании результатов эколого-гигиенического обследования разработана классификация объектов санитарного и экологического загрязнения, а также даны рекомендации по обеспечению безопасности труда ликвидаторов. При этом не было зарегистрировано случаев опасного или вредного воздействия на людей нефтепродуктов.
- Результаты санитарно-химического анализа проб воздуха на месте проведения ликвидации последствий аварии не обнаружили наличия летучих предельных углеводородов нефти, сероводорода и других компонентов в опасных концентрациях.

Предложения.

1. Произвести обследование водного пространства пролива на наличие мазутных пленок, плотных сгустков и конгломератов и удалить всеми доступными методами, а также с применением устройств из мелкой рыболовной сети.
2. С учетом опыта ликвидации аварийного попадания ядохимикатов при затоплении т/х «Моздок» в Одесском заливе, произвести водолазное обследования района дрейфа и определить состояние загрязнения поверхности дна, донных отложений, водорослей и моллюсков на наличие мазута во всех формах его проявления в условиях низких температур и занести их на ситуационный план.
3. Согласно данным водолазного обследования произвести траление дна в проекции дрейфа кормовой части танкера «Волгонефть-139» с применением рыболовецких сетей с мелкими ячейками.
4. В процессе контроля эффективности проведения подводных работ посредством траловой уборки дна пролива, произвести сбор со дна остатков мазутных образований с подъемом их на поверхность, дальнейшей уборки и утилизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белобров Е.П. Специализированное аварийное медико-санитарное формирование «ГЭМР-СПАС» в общей системе «Морской аварийно-спасательной системы» Минтранса Украины // Бюллетень Госфлотинспекции Украины, 2006. - №3 (40). -С.161-172.
2. Белобров Е.П., Репетей В.Д. Авария на т/х «Одиск» на рейде порта Ялта- «Нетехнологическая утечка чрезвычайно-токсического газа фосфина из трюма» №1 и гибель моряков при перевозке ферросилиция навалом // Бюллетень Госфлотинспекции Украины, 2006. - №6 (43). - С. 117÷120.

3. Соснов Є.К. Аналіз аварійності на морських судах під прапором України та з суднами під іноземним прапором за I півріччя 2007 р. // Бюллетень Госфлотинспекції України, 2007. - № 3-4 (46÷47). - С. 139÷142.
4. Минх А.А. Справочник по санитарно-гигиеническим исследованиям.- М.: Медицина, 1973. - 409 с.
5. Лапач С.Н., Губенко А.В., Бабич П.Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Microsoft Excel. -К.: МОРИОН, 2000. - 320 с.
6. Комплексные санитарно-гигиенические исследования условий работы докеров при перегрузке серы в порту Мариуполь и условий проживания населения в жилых районах, примыкающих к порту// Отчет НИР УкрНИИ морской медицины (рук. темы НИР - к.м.н. Белобров Е.П.). Ильичевск- Мариуполь -2002. - 263 с.
7. Шафран Л.М. Аварийные ситуации в морских портах и система защиты населения // Экстремальная физиология, гигиена и средства индивидуальной защиты человека. Тез. докл. Всес. конф. (25÷27 сентября 1990 г.) г. Москва.- М., 1990. - С. 68÷69.
8. Шафран Л.М., Белобров Е.П., Тимошина Д.П. Экологические аспекты проблемы перевозки опасных грузов //Ж. Причорноморський екологічний бюлетень», 2006. - № 1(19). - С.122÷128.
9. Белобров Е.П. Медицинские и эколого-гигиенические проблемы безопасности жизнедеятельности при перегрузках в портах и перевозках на судах опасных и фумигированных грузов в эксплуатационных условиях и аварийных ситуациях // Докл. дисс. док. мед. наук. - СПб., 2007.- 86 с.
10. Предохранения от загрязнений вредными твердыми веществами судовых грузов и рассмотрение возможного усовершенствования нового Приложения VI MARPOL 73 / 78. Комитета защиты морской окружающей среды».33-я сессия ИМО / МЕРС 33/11. - Женева, 27. 07. 1992.
11. Топливо котельное. Metallургическое топливо// Справочник. Под ред. Сушнина И.Н., д.т.н. Кнорре Г.Ф., к.т.н. Зикеева Т.А. М.: Metallургия, 1965. - С. 251÷255.
12. Перевозка нефтепродуктов. Справочник эксплуатационника речного транспорта // М.Д. Амосин, В.С. Бубякин, К.А. Гаринов и др., Под ред. СМ. Пьяных. М.: Транспорт, 1995.- С.174÷175.

РЕФЕРАТЫ

УДК 620.191.8; 620.187.32 (088.8): 621.182.44

Абрамов В.А., ОНМА. Механизм накипеобразования в судовых теплообменниках, методы их очистки и растворимость CaCO_3 , как основного компонента накипных отложений в слабых растворах сульфаминовой кислоты при повышенных давлениях CO_2 // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2013. – № 31. – Одесса: ОНМА. – С. 4-23.

Проведено рассмотрение и анализ механизма накипеобразования в судовых теплообменных аппаратах, а также методов и средств их очистки от накипных отложений. Предложено усовершенствование углекислотного метода очистки с целью его интенсификации. Проведены экспериментальные исследования по растворимости CaCO_3 , как основного компонента накипных отложений, в слабых растворах сульфаминовой кислоты при повышенных давлениях CO_2 .

Табл1.

V.A. Abramov, ONMA. The mechanism of scaling in marine heat exchangers, methods of their treatment and solubility of CaCO_3 as the main component of crustose deposits in weak solutions of sulfamic acid at high pressures of CO_2 // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2013. – No 31. – Odessa: ONMA. – P. 4-23.

Review and analysis of the mechanism of scale formation in the ship's heat exchangers, as well as methods and means of their purification from crustose deposits. Proposed improvement of carbon dioxide method of treatment for its intensification. Experimental research on the solubility of CaCO_3 as the main component of crustose deposits, in weak solutions of sulfamic acid at high pressures of CO_2 .

Table 1., Fig. 4. Bibl. 13.

УДК 621.822.173

Ерыганов А. В. ОНМА. Проблемы диагностирования текущего состояния подшипников скольжения по вибрациям масляного клина // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2013. – № 31. – Одесса: ОНМА. – С. 24-28.

В статье дан краткий обзор состояния исследований вибраций масляного клина. Указаны основные проблемы, которые на данный момент требуют дополнительных исследований. Описана взаимосвязь между частотой вибраций и состоянием поверхностей подшипников скольжения.

Eriganov A. V. ONMA. Problems of diagnosis of the current condition of the bearings, the fellowship of the oil wedge // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2013. – No 31. – Odessa: ONMA. – P. 5-10.

The paper gives a brief overview of the status of research vibrations of the oil wedge. Identified the main problems that currently require additional research. Describes the relationship between the frequency of the vibrations and the condition of the bearing surfaces of the slip.

УДК 621.165-226.1(043)

Гарагуля Б.А., ОНМА. Приближенный метод построения критической линии в решетках профилей последних ступеней паровых турбин низкого давления. // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2013. – № 31. – Одесса: ОНМА. – С. 30-33.

Рассмотрен приближенный метод построения критической линии при анализе обтекания сверхзвуковых решеток профилей последних ступеней паровых турбин.

Илл.3.Библ.7.

УДК 629.123

Зув С.В., Маслов И.З., Калув А.Г., ОНМА . Основные расчетные соотношения для импульсной системы размыва грунта на судах дноуглубительно-го флота // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2013. – № 31. – Одесса: ОНМА. – С. 34-42.

Рассмотрена судовая система гидравлического размыва грунта. Выполнен анализ основных расчетных соотношений на основании которых можно определить ее рабочие параметры. Показано, что за счет использования гидравлического удара на выходе из сопловых насадок может быть получена величина ударного давления превышающая необходимое нормативное давление на грунтовые основания.

The ship's hydraulic system of soil erosion was considered. An analysis of the main calculation formulas on the basis of which could be defined its operating parameters was done. It has been shown that by means of the use of water hammer at the outlet of the nozzle cones can be obtained the value of shock pressure which exceeds the required regulatory pressure on the ground foundation.

УДК 629.123

Голубев М.В. ОНМА . Экспериментальное изучение процесса очистки судовых дымовых газов от токсичных составляющих // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2013. – № 31. – Одесса: ОНМА. – С. 43-57.

Выполнен анализ конструктивной схемы экспериментального научно-исследовательского стенда и проведена оценка погрешностей измерения основных величин. Дано описание основных результатов натурных исследований. Показаны основные технологические направления, которые необходимо использовать при снижении температуры выбрасываемых в атмо-

сферу дымовых газов и уменьшении в них концентрации вредных токсичных составляющих - оксидов серы и азота.

There was done an analysis of principal scheme of experimental scientific-investigation plant and provided estimation for main values measurement accuracy. There were described main results of experiments. Main technological directions, which must be used for descending of the exhaust gases temperature and reduction internal concentration of harmful toxic components – nitrogen and sulfur oxides, were shown.

УДК 536.24:621.791.55

Лебедев Б. В., Байковский Д.В. Уточнение теоретического значения необходимой тепловой мощности экзотермического стержня при наплавке // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2013. – № 31. – Одесса: ОНМА. – С. 68-74.

В статье рассмотрены аналитические исследования процесса теплообмена при наплавке, при восстановлении деталей машин средств транспорта с использованием независимых паяльно-сварочных средств, определена и теоретически обоснована поправка, корректирующая теоретические расчеты потребной энергетической мощности.

Илл. 1. Список лит. 5.

УДК 629.12.565.3

Молодцов Н.С., Журавлёв Ю.И. Прогнозирование долговечности коленчатого вала поршневого двигателя с использованием математических моделей, разработанных в Mathcad. // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2013. – № 31. – Одесса: ОНМА. – С. 75-87.

В статье рассмотрены основные направления для прогнозирования долговечности коленчатого вала поршневого двигателя с использованием математических моделей, разработанных в Mathcad. Показаны этапы роста трещин и разработана методика прогнозирования долговечности коленчатого вала.

Илл.8. Библ.8.

Molodtsov NS, Zhuravlev Yu,GI, ONMA. Forecasting of durability of the crankshaft piston engine with the use of mathematical models developed in Mathcad// Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2013. – No 31. – Odessa: ONMA. – P. 75-87.

The article describes the main directions for forecasting long-eternity crankshaft piston engine with the use of mathematical models developed in Mathcad. Show the stages of growth of cracks and developed a method of prediction of durability of the crankshaft.

Fig. 8. Bibl. 8.

УДК 621.431.74.436-52(07)

Донской В.Г., Ханмамедов С.А. Методика рациональной минимизации объёма оперативного контроля судовых дизельных установок // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2013. – № 31. – Одесса: ОНМА. – С. 88-97.

Рассмотрены научные основы методики по рациональной минимизации объёма оперативного контроля дизельных установок автоматизированных теплоходов, приведены результаты исследований на примере судового малооборотного главного двигателя 6(7)ДКРН74/160. Предлагаемая методика рекомендуется для проектирования систем централизованного контроля теплоходов перспективной постройки и модернизации неавтоматизированных установок.

Табл. 1. Библ. 2.

Donskoj V.G., Khanmamedov S.A. ONMA

Methods of rational minimize the amount of operational control of marine diesel plants

Examined scientific basis for a rational method of minimizing the amount of operational control of automated ships diesel plants, the results of studies on the example of the main engine of the ship slow 6(7)DKRN74/160. Propose method is recommend for the design of centralized control ships poising construction and modernization of non-automated systems.

Tables 1. Bibliography 2.

УДК 629.545.2-049.5

Дрозд Е.В., Сандлер А.К. Повышение безопасности эксплуатации ролкеров. // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2013. – № 31. – Одесса: ОНМА. – С. 110-112.

Предложен комплексный подход к оценке требований безопасной технической эксплуатации ролкеров. Рассматриваются вопросы мониторинга состояния конструкции корпуса и грузовых устройств. Предлагается метод диагностирования с применением датчиков на базе волоконной оптики.

Илл. 2. Библ. 2.

Drozd Ye.V. Sandler A.K. Increasing of Ro-Ro operation // Ship Power Plants. Sc.-Tech. Col. – 2013.- №31 .-Odessa: ONMA. –P.110-112

The article offers a complex approach to evaluation of requirements for safe operation of Ro-Ro ships. Considered is monitoring of condition and cargo lifting appliances. Offered is a method of survey using gauges based on fibro options.

Fig. 2. Bibl. 2.

УДК 629.12.06.628.84

Бойко П.А., Голиков В.А. ОНМА Организация морской транспортировки СПГ при реализации Национального проекта «СПГ - терминал», - терминал по приему сжиженного природного газа. // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2013. – № 31. – Одесса: ОНМА. – С. 113-120.

В настоящей статье рассмотрены вопросы, связанные с первоначальным этапом реализации Национального проекта, где основным направлением является создание системы гарантированной безопасности судоходства, повышение уровня прогнозируемого риска при эксплуатации СПГ – терминала с учетом поддержания информированности для однозначного принятия решений при условии строгой ответственности за результаты инвестиционного менеджмента. Выбор оптимальных и безопасных путей СПГ – танкера, включая операции маневрирования, постановка судов на якорь, швартовные операции с использованием синергетичного типа командного управления проводкой судов при выполнении маневров, лоцманских проводок и ледовых операций, включая охрану режимных объектов от проникновения и внешних угроз.

Ключевые слова: СПГ – терминал, СПГ – танкер, национальный проект, инвестиционный проект, технологическая система, правила эксплуатации, внешние угрозы, ледовый режим СПГ – судов, гарантированная безопасность.

Илл. 2. Библ. 11.

Boyko P.A., Golikov V.A., Organization of marine transporting LNG during national project «LNG - terminal» - marine terminal on reception of condensated natural gaz. ONMA.

Questions, related to the primary implementation of the National project phase, are examined in this article, where creation of the system of the assured safety of navigation is basic vector, increase of level of the predicted risk during exploitation of LNG – terminal taking into account strict maintenance of being informed for synonymous taking of decisions on condition of strict responsibility for the results of investment management. Selection of optimum and safe ways of LNG – tanker, including the operations of manoeuvring, anchoring, moorings operations with the use of synergetic type of command management on navigation while maneuvering, pilotage and ice operations, including the guard of regime objects from penetration and external threats.

Keywords: LNG is a terminal, LNG is a tanker, national project, investment project, technological system, rules of exploitation, external threats, ice condition of LNG – ships, assured safety.

Fig. 2. Bibl. 11.

УДК 662.758.3:629.063.6

Половинка Э.М., Карпилов Ю.А. Развитие систем топливоподачи современ-

ных дизелей.

Статья содержит в себе анализ систем топливоподачи современных дизелей.

Илл. 8. Библ. 11.

УДК 614.8.026.1:008:159.9

Шевченко О.И. Влияние культуры безопасности на производственную безопасность. // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2013. – № 31. – Одесса: ОНМА. – С. 144-147.

Описаны основные концептуальные положения культуры безопасности. Проведен анализ ее составляющих и ее уровень для достижения производственной безопасности.

Describes the basic conceptual principles of safety culture. The analysis of its components and the need for it to achieve operational safety.

УДК 656.61

Парменова Д.Г. Анализ аварийных ситуаций с судами морского флота. // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2013. – № 31. – Одесса: ОНМА. – С. 148-154.

Проведен сравнительный анализ типов и причин аварийных ситуаций, происшедших на судах мирового морского флота в 2011 – 2012 году.

Ил. 5, Библ. 3

A comparative analysis of the types and causes of accidents occurring on board the world's marine fleet in 2011 - 2012 year.

Fig. 5, Bibl. 3

УДК 656.61

Парменова Д.Г. Современные методы оценки риска применительно к судовым работам // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2013.

Описаны методы проведения оценки риска и пути их улучшения применительно к судовым работам, которые позволят получить более полное представление о возможных опасностях и наметить наиболее эффективные превентивные мероприятия с целью минимизации возможных рисков.

Describes methods for risk assessment and ways to improve them in relation to the ship's works, which will provide a more complete picture of the possible dangers and to identify the most effective preventive measures to minimize the potential risks.

УДК 614.8.026.1:005

Приходько Е.А. Управление рисками производственной среды // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2013. – № 31. – Одесса: ОНМА. – С. 162-166.

Рассмотрены и проанализированы задачи, цели и подходы к управлению риском производственной среды основываясь на принципах менеджмента риска.

Reviewed and analyzed the objectives, goals and approaches to risk management work environment based on the principles of risk - management.

УДК 614.8.026.1:005

Приходько Е.А. Анализ тенденций развития менеджмента риска. // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2013. – № 31. – Одесса: ОНМА. – С. 167-171.

Выполнен анализ необходимости развития риск-менеджмента применительно к операционным рискам в промышленной и экологической безопасности, теории надежности и других инженерных дисциплинах для эффективного управления имеющимся риском в условиях неопределенности.

The analysis of the need for the development of risk management in relation to operational risks in the industrial and environmental safety, reliability theory and other engineering disciplines for the effective management of the existing risks in the face of uncertainty.

УДК 621.431.74

Слободянюк Д.И. Совершенствование системы виброакустического диагностирования технического состояния поршневых колец судовых дизелей
Представлена система виброакустического диагностирования технического состояния поршневых колец в моменты прохождения продувочных окон втулок судовых дизелей. Технический эффект достигается благодаря применению комбинации двух пар датчиков и приближением их к источнику вибрационных колебаний, путем размещения их на ребрах продувочных окон цилиндровой втулки

Ключевые слова: акустический сигнал, датчик, цилиндровое масло, кольцо, втулка, дизель.

The system of vibroacoustic diagnostics of technical condition of the piston rings in the moments of passage scavenging ports hub of marine diesel engines. Technical effect is achieved by using a combination of the two pairs of sensors and their approximation to a power of the vibrations by placing them on the edges of the windows blowing cylinder sleeve

Keywords: acoustic signal, sensor, cylinder oil, glycol-tso, sleeve, diesel.

УДК 662.611.2:662,613,5

Бондаренко А. В. Моделирование образования продуктов сгорания газообразного углеводородного топлива.

Целью работы является разработка математической модели прямой задачи для газообразного углеводородного топлива, которая позволит определить количественный состав его условной формулы, энтальпию топлива, состав и температуру продуктов сгорания.

В содержании работы приведены результаты моделирования, которые отображают физико-химические процессы, протекающие при горении метана в воздушной атмосфере при изменении коэффициента избытка воздуха, а также рассчитана максимальная температура продуктов сгорания 2233 К при $\alpha=0.95$ и вычислено наличие максимума парциального давления NO при $\alpha=1.2$.

Ключевые слова: Математическая модель, газообразное углеводородное топливо, прямая задача, горение метана, температура, продукты сгорания.

УДК 656.61.003:658.7

Лысый А. А. Управление деятельностью государственных портов в условиях ледовой обстановки.

Обоснована необходимость управления деятельностью государственных портов в условиях ледовой обстановки. Предложен метод решения навигационных комбинаторных задач, который объединяет идеи динамического программирования, метод ветвей и границ - для исключения доминируемых значений функции оптимальности каждого элемента комбинаторного пространства, метод отсечения — для уменьшения размерности комбинаторного пространства на базе статического рекорда и локальный метод — для формирования адаптивного рекорда.

Обґрунтовано необхідність управління діяльністю державних портів в умовах льодової обстановки. Запропоновано метод рішення навігаційних комбінаторних завдань, що поєднує ідеї динамічного програмування, метод галузей і границь - для виключення домінуючих значень функції оптимальності кожного елементу комбінаторного простору, метод відсікання - для зменшення розмірності комбінаторного простору на базі статичного рекорду й локальний метод - для формування адаптивного рекорду.

Necessity of management by activity of the state ports in the conditions of ice conditions is proved. The method of the decision of navigating combinatory problems which unites ideas of dynamic programming, a method of branches and borders - for an exception of dominated values of function of an optimality of each element of combinatory space, a cutting off method - for reduction of dimension of combinatory space on the basis of a static record and a local method - for formation of an adaptive record is offered.

ПРАВИЛА

оформления и представления рукописей для сборника «Судовые энергетические установки»

Научно-технический сборник Одесской национальной морской академии «Судовые энергетические установки» является научным изданием, в котором в соответствии с постановлением Президиума ВАК Украины могут публиковаться основные результаты диссертационных работ по профилю судовой энергетики.

Рукопись представляется на электронном носителе в формате «Microsoft Word» с бумажной копией, подписанной всеми авторами, и с контактной информацией: адреса, телефоны. К статье обязательно прилагается реферат объёмом *не более* 300 печатных знаков на русском и английском языках. Объём статьи — до 0,5 авторского листа с учётом иллюстраций и подрисовочных подписей.

Статья должна содержать постановку проблемы в общем виде и её связь с важными научными или практическими задачами, анализ последних исследований и публикаций по теме статьи, формулирование целей статьи (постановку задачи), изложение основного материала с необходимыми обоснованиями, выводы и перспективы дальнейших исследований.

Требования к оформлению.

Формат бумаги А5 (148×210) Все поля — 16 мм. Текст- через 1 интервал, *Times New Roman*, 11 пт; таблицы, заголовки таблиц, подрисовочные подписи — 10 пт.

Переменные, функции, векторы, матрицы и т.п. оформляются шрифтом *Antiqua*. Переменные выполняются наклонным шрифтом, векторы — полужирным, без наклона; греческие символы — во всех случаях без наклона; индексы: латинские — с наклоном, кириллические — без наклона. Размеры в *Equation (MathType)*: основной — 11 пт, увеличенный — 16,5 пт, индекс — 7 пт, субиндекс — 6 пт. Во всех случаях разметка формул в копии рукописи обязательна. Нумеруются только те формулы, на которые есть ссылки в тексте. Формулы отделяются от текста строками высотой 2 пт.

Таблицы следует располагать на одной странице (кроме случаев, когда таблица занимает больше 1 страницы). Заголовок — 10 пт, без переноса, интервал перед — 8 пт, после — 2 пт, основной шрифт таблицы — 10 пт. Рисунки отделяются от текста сверху интервалом 8 пт, от названия — 2 пт. Название рисунка — кегль 10 пт, без переноса, интервал после — 8 пт. На все таблицы и рисунки должны быть ссылки в тексте статьи.

Единицы физических величин должны соответствовать ГОСТ 8.417-81 «Единицы физических величин» и иметь общепринятые обозначения.

Перед названием статьи указываются индекс УДК, фамилии и инициалы авторов, сокращённые наименования учреждений, где работают авторы. Заголовок статьи оформлять стилем Заголовок 1, кегль 11 пт, без переноса, все прописные, интервал: перед — 8 пт, после — 2 пт.

Иллюстрации, подготовленные в графических редакторах, дополнительно прилагаются на CD (DVD) диске в качестве отдельных файлов в исходном формате. Размер надписей должен обеспечивать их читаемость (8-10 пт). Для сканированных рисунков прилагается оригинал в туши на белой бумаге достаточной плотности. На обороте указывается номер и принадлежность к статье.

Библиографические описания должны соответствовать требованиям ВАК.

Редакция предоставляет электронный шаблон статьи с примерами оформления.

Контактные телефоны редакции (048) 733-49-24, 733-23-52.

e-mail: zhuravlov.y@ua.ru

Судовые энергетические установки:
научно-технический сборник.
Выпуск 31.

Подписано к печати 30.11.2013. Формат 60×84/16.
Уч.-изд. л. 9,89. Тираж 100. Зак. № И12-12 52.

ОНМА, центр „Видавінформ”
Свидетельство ДК № 1292 от 20.03.2003
65029, г. Одесса, ул. Дидрихсона, 8
тел./факс: (0482) 34-14-12
publish@ma.odessa.ua