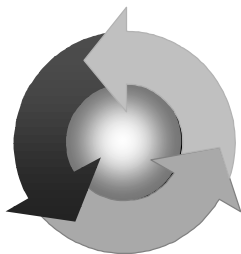


ISSN 1815-6770

Министерство образования и науки Украины  
ОДЕССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ МОРСКАЯ АКАДЕМИЯ

# Судовые энергетические установки



Научно-технический сборник

**Выпуск 33**

Одесса  
2014

ББК 39.46  
С 207  
УДК 629.123.066

Судовые энергетические установки: научно-технический сборник. Вып. 33. – Одесса: ОНМА, 2014. –207 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. Миусов, 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 № 4 от 27.11.14.

© Одесская национальная морская академия, 2014

## Содержание

<i>Абрамов В.А.</i> Усовершенствование режимов очистки судового тепло-энергетического оборудования от эксплуатационных отложений.....	5
<i>Козьминых Н.А., Василец Д.И.</i> Определение и использование показателей надежности судовой холодильной установки в процессе эксплуатации.....	30
<i>Небеснов В.В.</i> Відновлення деталей технічних засобів у судових умовах електрохімічним методом.....	36
<i>Чепалис И.В., Козьминых Н.А.</i> Повторное сжижение газов как метод стабилизации давления в грузовых танках метановозов.....	41
<i>Кирилс А.В., Козьминых Г.В.</i> Анализ условий морской перевозки зерновых грузов.....	48
<i>Донской В. Г.</i> Эффективность системы контроля, защиты и резервирования судовых энергетических установок.....	57
<i>Заблоцкий Ю.В., Мацкевич Д.В.</i> Исследование влияния сернистых топлив на рабочий процесс и техническое состояние судовых среднеоборотных дизелей.....	60
<i>Сагин С.В.</i> Исследование корреляционной взаимосвязи жидкокристаллических свойств граничных смазочных слоев и реологических характеристик моторных масел судовых дизелей.....	67
<i>Журавлёв Ю.И.</i> Модель процесса упрочнения поверхностей сопряжений «вал-втулка» поверхностным пластическим деформированием.....	77
<i>Тымкив А.В., Денисов В.Г.</i> Мониторинг процесса изнашивания судовой энергетической установки.....	88
<i>Бондаренко А. В.</i> Моделирование образования продуктов сгорания газообразного углеводородного топлива.....	96
<i>Демидова Н.П.</i> Сравнение методов обессоливания воды.....	104
<i>Солодовников В.Г.</i> Использование в судовых дизелях топлив различного фракционного и структурного состава.....	110
<i>Ерыганов А. В., Финенко К. В.</i> Обоснование диагностирования состояния цилиндро-поршневой группы по параметрам процесса сжатия.....	118
<i>Никольский В.В., Цюпко Ю.М., Казаков И.И.</i> Организация обмена данными между судовыми информационными системами.....	123
<i>Половинка Э.М., Яковенко А.Ю.</i> Программный комплекс для гармонического анализа метрологических характеристик комбинированного датчика давления топлива.....	128

---

<i>Половинка Э.М., Яковенко А.Ю.</i> Диагностика форсунок судовых дизелей в условиях эксплуатации .....	142
<i>Парменова Д.Г.</i> Определяющие факторы при проведении оценки риска .....	149
<i>Приходько Е.А.</i> Перспективы применения математического моделирования для построения прогнозов риска в производственной среде .....	156
<i>Ходарина К.В.</i> Разработка модели автоматической системы управления теплоощущением человека .....	163
<i>Князь И.А.</i> Поляризационная селекция эхо-сигналов морских объектов на фоне гидрометеорологических помех .....	167
<i>Голиков В.В., Костенко П.А., Мазур О.Н. Сафин И.В.</i> Определение ледопроеходимости судов для плавания в неарктических морях. ...	183
<i>Приходько К.О., Шевченко О.И., Роман Г.Г.</i> Здоровье и безопасность труда – основное право человека. Условия труда и продвижение здорового образа жизни .....	191
Рефераты.....	198
Правила оформления и представления рукописей для сборника «Судовые энергетические установки» .....	206

УДК 621.187.32(088.8):541.123.38:621.182.44

Абрамов В.А.  
ОНМА

## **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЖИМОВ ОЧИСТКИ СУДОВОГО ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОТ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ**

Совершенствованию технологических процессов и, соответственно, улучшению использования топливно-энергетических ресурсов, в значительной мере способствует оптимизация работы судового теплообменного оборудования.

Теплообменные аппараты являются одним из самых распространённых и важных элементов судового теплоэнергетического оборудования и от качества и эффективности их работы зависит нормальная эксплуатация всей судовой энергетической установки (СЭУ) в целом.

Одним из основных факторов, снижающих эксплуатационную эффективность судовых теплообменников, является кристаллизация накипных отложений на теплообменных поверхностях.

Материал, представленный в статье, посвящён проблеме усовершенствования методов борьбы с накипеобразованием в судовых теплообменных аппаратах и поиска альтернативных путей её решения, которые до сих пор актуальны.

В предыдущей работе автора [1] достаточно подробно проведены рассмотрение и анализ литературных и экспериментальных данных процессов накипеобразования в судовых теплообменниках, а также методов и средств их очистки от накипных отложений, используемых на судах морского флота.

Показано, что у большей части судовых теплообменников температура поверхности не превышает 70-80°С и, при отсутствии концентрирования раствора, основной фазой в накипи является карбонат кальция ( $\text{CaCO}_3$ ).

Проведенный анализ известных методов и средств очистки от накипи показал, что все они, в той или иной степени, обладают недостатками и требуют, в лучшем случае, использования дефицитных химических препаратов.

Отмечено, что разработанный в ОНМА альтернативный углекислотный метод очистки от накипи и предотвращения её образования обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными мето-

дами очистки, но также не лишён недостатков, ограничивающих его широкое использование.

Для решения поставленной задачи по усовершенствованию углекислотного метода очистки от накипи, т.е. повышения его эффективности и экономичности, были проведены поисковые экспериментальные исследования по растворимости мелкокристаллического карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ), как основного компонента накипных отложений, в растворах сульфаминовой кислоты малых концентраций при повышенных давлениях  $\text{CO}_2$  в сосуде-реакторе, создаваемых баллонной двуокисью углерода.

Полученные результаты показали, что растворимость  $\text{CaCO}_3$  в растворах сульфаминовой кислоты увеличивается с повышением давления  $\text{CO}_2$ , а наибольшая растворимость карбоната кальция наблюдается при поддержании давления  $\text{CO}_2$  в сосуде-реакторе на уровне 0,2 МПа. Это указывает на перспективность метода очистки от накипи, основанного на этом принципе, и проведения более глубоких исследований с целью дальнейшего усовершенствования режимов очистки и последующего внедрения их в практику технической эксплуатации флота. Для этого необходимо решить следующие задачи, т.е. последовательно выполнить следующие этапы работы: Обоснование выбора способа усовершенствования (интенсификации) режимов очистки теплообменников от накипи, его описание и проведение постановочного эксперимента по определению принципиальной работоспособности предложенных решений.

Испытания выбранного интенсифицированного способа (с использованием многофакторного планирования эксперимента) и разработка математической модели усовершенствованных режимов очистки теплообменников от накипи.

Разработка рекомендаций по практическому использованию на судах интенсифицированной очистки теплообменников от эксплуатационных отложений.

### **1. Обоснование выбора способа усовершенствования (интенсификации) режимов очистки теплообменников от накипи и проведение постановочного эксперимента**

Для достижения этой цели предлагается использовать эффект выделения газов (в частности  $\text{CO}_2$ ) из их пересыщенных растворов — эффект пневмошока. Выделение газов из их пересыщенных растворов — широко распространенное явление [2]. Так, при снижении

давления над природными газированными или искусственно полученными минеральными водами, немедленно начинается образование газовой фазы. Пересыщенный же раствор газа в жидкости может быть получен предварительным ее насыщением под давлением с последующим изменением параметров состояния газового раствора например, при резком сбросе давления.

Механизм рассматриваемого интенсифицированного способа очистки предполагается следующим.

Вначале производится насыщение жидкости, заключенной в теплообменнике, углекислым газом под максимально возможным давлением, что интенсифицирует процесс его растворения [3]. Т. е. таким газом, который растворяясь в жидкости вступает с ней в реакцию с одновременным образованием агрессивного к накипи соединения (угольной кислоты) и раствора с большим избыточным газосодержанием. При контакте накипи с раствором угольной кислоты происходит ее частичное растворение и зарождение в контактирующем слое накипи ряда поверхностных дефектов (поры, язвы и т.п.), нарушающих прочность накипных отложений. Происходит своеобразное травление поверхности накипи образовавшимся раствором кислоты. Под влиянием градиента концентраций и напора агрессивный и газонасыщенный раствор проникает через образовавшиеся поры под слой накипи к поверхности нагрева. В процессе контакта кислотного раствора с накипными отложениями происходит постепенное увеличение величины рН, свидетельствующее о протекании чисто химического процесса растворения накипи и, следовательно, зарождении ее пористой структуры. По истечении некоторого промежутка времени после начала контакта раствора с накипью между ними устанавливается равновесие, характеризующее потерю раствором его агрессивности (но не газонасыщенности), что можно определить по стабилизации величины рН на уровне равновесного значения, характерного для данных условий. Дальше держать теплообменник под повышенным давлением не имеет смысла.

Таким образом, стабилизация величины рН на равновесном уровне должна свидетельствовать о прекращении процесса химического растворения накипи и по ней определяется момент начала второго этапа очистки, заключающегося в резком сбросе давления в теплообменнике, путем сообщения внутренней полости теплообменника с зоной пониженного давления, например с атмосферой [3]. На этом этапе начинает действовать вторая составляющая раствора - его

избыточное газосодержание. Сброс давления вызывает немедленное пузырьковое газовыделение из раствора и, в первую очередь, в местах дефектов накипи и под ее слоем, т.е. там, куда проник газонасыщенный раствор. После образования в этих местах газовых зародышей происходит дальнейший рост пузырьков газовой фазы, так как давление газа в них выше, чем в окружающей жидкости. Пузырь расширяется и деформирует вокруг себя накипь. Высвобождающийся газ не может свободно улетучиваться из пор, ввиду их относительно сложной формы и малых размеров, он накапливается в них в виде пузырей, по мере выделения  $\text{CO}_2$  из раствора, и, наконец, он прорывает себе путь, разрушая структуру накипи. Причем разрушение накипи происходит по плоскостям спайности кристаллов, т.е. в потенциально слабых местах. Здесь же зарождаются и начинают развиваться усталостные трещины, приводящие к дальнейшему разрушению накипи и ее отслаиванию от поверхности нагрева после такой обработки.

Пузырьковый механизм снятия пересыщения раствора определяет существенность признака его максимальной газонасыщенности, что является необходимым для достижения поставленной цели - повышения эффективности удаления накипных отложений. Это можно объяснить следующим образом.

При резком сбросе давления, в местах дефектов накипи и под ее слоем образуются газовые зародыши, из которых происходит рост пузырьков газовой фазы, т.е. избыточные газовые молекулы, гидратированные в воде, объединяясь, образуют пузырьки, которые и выносят избыточный газ, снимая таким образом пересыщение раствора. В результате этого процесса создается перепад концентраций раствора от поверхности вглубь накипи. Под влиянием градиента концентраций снова происходит проникновение газонасыщенного раствора через поры под слой накипи и дальнейшее образование пузырьков в этих местах. Чем больше в растворе растворено молекул газа, тем больше необходимо газовых пузырьков для полной его эвакуации из пересыщенного раствора. А чем больше пузырьков образуется в порах накипи и под ее слоем (что энергетически более выгодно, чем в объеме жидкости), то тем выше эффективность разрушения накипи и ее отслаивания от поверхности нагрева. Следовательно, сброс давления, осуществляемый из раствора максимально насыщенного газом, приведет к большему разрушающему эффекту.



Для ускорения образования дефектов в слое накипи в качестве насыщаемой газом жидкости возможно использование слабых растворов кислот, например, сульфаминовой кислоты. Это интенсифицирует процесс предварительного травления накипи и приведет к появлению большего количества участков с пониженными механическими свойствами, что в итоге ускорит дальнейший процесс очистки.

Кроме того, очистку дополнительно можно интенсифицировать следующим образом. После резкого сброса давления возможно повторное его повышение путем отсечения теплообменника от зоны пониженного давления и быстрого его сообщения вновь с зоной повышенного давления (например с баллоном со сжатой  $\text{CO}_2$ ), повторяя затем такие быстрые знакопеременные изменения давления многократно [4]. Повторное повышение давления, воздействуя на образующиеся пузырьки, начинает противодействовать их росту, вынуждая вновь растворяться содержащийся в пузырьках газ. Процесс, набирая скорость, идет в обратном направлении и, наконец, пузырьки схлопываются, что приводит к возникновению ударно-волновых воздействий микрообъемов моющей жидкости на накипные отложения. Процесс разрушения накипи в итоге прогрессирует, так как в области образования и последующего схлопывания газовых пузырьков возникают многократно повторяющиеся импульсы механического напряжения, приводящие к усталости и разрушению этих участков накипи.

Осуществление следующего этапа интенсифицированной очистки от накипи возможно для теплообменников кипящего типа, например для испарителей избыточного давления, вспомогательных к утилизационных котлов и т.п. Для этого моющий раствор перегревают при повышенном давлении относительно температуры насыщения, соответствующей атмосферному давлению, например через трубки теплообменника, покрытые снаружи накипью, подается греющий теплоноситель - пар. После достижения нужной температуры серия циклов по резкому снижению и повторному повышению давления в теплообменнике возобновляется (при осуществлении постоянного нагрева моющего раствора).

Это вызывает периодическое вскипание моющей жидкости (в первую очередь у поверхности нагрева) при снижении давления до уровня атмосферного давления и, соответственно, прекращение процесса кипения — при последующем повышении давления в теплооб-

меннике до первоначально установленного значения, но не выше значения рабочего давления в теплообменнике. Такая обработка приводит к еще большему разрушению накипи генерируемыми на поверхности нагрева паровыми пузырьками. Продолжительность такой обработки выбирают экспериментально для каждого конкретного случая.

Необходимо отметить, что эта фаза очистки от накипи, т.е. очистка благодаря взрывному вскипанию моющей жидкости, может быть эффективна лишь тогда, когда обеспечивается гарантированное проникновение агрессивной жидкости под слой накипи к поверхности нагрева теплообменника, где и происходит ее последующее вскипание при резком сбросе давления. А поэтому, обязательным условием применения этого способа очистки является предварительная обработка накипи в агрессивных к ней растворах, с целью получения в слое накипи поверхностных дефектов, через которые моющий раствор проникает к поверхности нагрева, т.е. под слой накипи.

Таким образом, совокупное и последовательное осуществление предлагаемых решений должно привести к более эффективному удалению накипи с поверхности теплообмена, т.е. интенсифицировать процесс очистки от накипи. Для этого предварительно необходимо решить ряд теоретических и практических задач, заключающихся, прежде всего, в определении принципиальной работоспособности предлагаемых способов очистки.

Для качественной и принципиальной оценки пользования предлагаемых решений, с целью интенсификации очистки от накипи, был проведен постановочный эксперимент на натуральном паровом змеевике (с наружным диаметром 19 мм, внутренним - 15 мм, при общей длине 600 мм), наружная поверхность которого была покрыта плотным слоем карбонатной накипи толщиной около 2,5-3,0 мм.

Змеевик монтировался в сосуд-реактор 13 экспериментальной установки (рис. 1) при помощи технологического фланца. К нему подключались подводящий и отводящий паровые трубопроводы. Затем в сосуд заливался 1%-ный раствор сульфаминовой кислоты и через редуктор 9 и клапан 8 в него подавался углекислый газ от баллона с  $\text{CO}_2$  10. Давление в сосуде поднималось до 0,2 МПа и поддерживалось на постоянном уровне до стабилизации величины рН ( $\text{pH}_{\text{кон}} = 5,26-5,27$ ) в течение 10 часов. Давление 0,2 МПа было выбрано исходя из результатов предыдущего эксперимента, так как, согласно полученным данным [1], при давлении  $\text{CO}_2$  равным 0,2 МПа

растворимость  $\text{CaCO}_3$  более высокая, чем при остальных значениях давлений  $\text{CO}_2$  во всем диапазоне исследуемых концентраций растворов сульфаминовой кислоты. На этом этапе происходило частичное растворение накипи и зарождение ее пористой структуры.

Затем с помощью тумблера 6 подавалось электропитание на электромагнитный клапан 5, который открывался, производя резкий сброс давления из сосуда. По достижении давления в сосуде уровня давления окружающей среды, клапан 5 опять закрывался при помощи тумблера 6 и через клапан 8 снова подавалась  $\text{CO}_2$  из баллона в сосуд до достижения давления 0,2 МПа. Такие знакопеременные изменения давления путём открытия и закрытия электромагнитного клапана 5 производили многократно, в течение 3-х часов. Эффект пневмошока дополнительно разрушал накипь и скалывал ее с поверхности нагрева.

После окончания этого этапа, в змеевик начинал постоянно подаваться пар от судового вспомогательного котла до достижения температуры раствора в сосуде около  $110^\circ\text{C}$ . В данном случае наблюдался перегрев жидкости относительно температуры насыщения, соответствующей атмосферному давлению. Затем серия циклов по резкому снижению и повторному повышению давления в сосуде возобновлялась (при постоянной подаче пара через змеевик), что вызывало вскипание жидкости (и в первую очередь у поверхности нагрева) при снижении давления до атмосферного и прекращение процесса кипения - при повышении давления в сосуде. Такая обработка змеевика приводила к еще большему разрушению накипи, генерируемыми на поверхности нагрева паровыми пузырьками. Процесс с фазой кипения продолжался около 2-х часов.

Затем раствор из сосуда был слит, змеевик вынут и визуально осмотрен. Как показал осмотр, змеевик очистился от накипи полностью - до металла. В слитом из сосуда раствора обнаружены чешуйки накипи толщиной от 0,1 до 0,5 мм. Это свидетельствует о том, что кроме чисто химического растворения накипи происходило ее механическое разрушение и последующее скалывание с поверхности змеевика, за счет процессов с фазами пневмошока и взрывного кипения.

Таким образом, постановочный эксперимент по принципиальной оценке работоспособности и эффективности совокупного и последовательного применения предложенных методов интенсификации очистки от накипи привел к положительному результату, что делает

перспективными дальнейшие исследования в этом направлении для разработки математической модели режимов очистки, а также конкретных рекомендаций по использованию интенсифицированных методов очистки судовых теплообменников от накипных отложений в практике технической эксплуатации флота.

## **2. Испытания выбранного интенсифицированного способа и разработка математической модели усовершенствованных режимов очистки теплообменников от накипи**

Проведенные поисковые испытания по проверке принципиальной работоспособности предложенных способов интенсификации очистки теплообменников от накипи дали положительные результаты и, в то же время, указали на необходимость продолжения экспериментальных исследований по данной проблеме для четкого определения влияния каждого из выявленных факторов и их взаимодействий. Это позволит, используя результаты эксперимента, построить математическую модель интенсифицированного процесса очистки.

Было установлено, что выдержка накипи в растворах сульфаминовой кислоты ( $\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$ ) соответствующей концентрации при повышенных давлениях двуокиси углерода ( $\text{CO}_2$ ) до стабилизации величины рН и следующие за этим резкие сбросы и повышения давления, увеличивают количество удаленной накипи по сравнению с ее растворимостью в обычных растворах сульфаминовой кислоты. Введение фазы кипения при резких сбросах давления (с предварительным перегревом жидкости при давлении выше атмосферного), также повышает эффективность очистки от накипи за счет дополнительного механического разрушения накипи, образующимися паровыми пузырями. Полученные ранее данные позволили конкретизировать методику дальнейших экспериментальных исследований с учетом количества и величины определяющих факторов.

К переменным факторам, на основании предыдущих исследований, проведенного анализа, теоретических представлений и имеющейся информации были отнесены:

- избыточное давление  $\text{CO}_2$  – (МПа);
- концентрация сульфаминовой кислоты –  $P_{\text{CO}_2}$  Ск (%);
- температура моющего раствора —  $t$  (°С).

Величины избыточного давления  $\text{CO}_2$ , выбранные при проведении исследований (0...0,22 МПа), лимитированы результатами пре-

дыдущих экспериментов [1], показавших, что наибольшая растворимость карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) наблюдается в растворах сульфаминовой кислоты при избыточном давлении  $\text{CO}_2$  в сосуде-реакторе около 0,2 МПа.

Диапазон изменения концентрации сульфаминовой кислоты (0...2,2 %) в эксперименте выбран, исходя из минимальной концентрации кислоты, используемой при эксплуатационных очистках теплообменников [5, 6].

Диапазон изменения температур моющего раствора (27... 112° С) был выбран в соответствии с реальными температурами (в районе нижнего предела), выбираемыми в процессе проведения эксплуатационных очисток и температурой, превышающей температуру насыщения при атмосферном давлении.

Исследования проводились с использованием многофакторного планирования эксперимента [7]. Предварительная информация позволила установить, что линейного приближения недостаточно для моделирования изучаемого процесса с требуемой точностью, поэтому была произведена достройка обычного линейного плана до плана второго порядка, т.е. учтено взаимодействие более высокого порядка.

Исходные данные, т.е. область определения и интервалы варьирования каждого фактора, координаты нулевой точки эксперимента и соответствующие им кодированные значения факторов представлены в таблице.

Таблица. Исходные данные многофакторного планирования эксперимента

Факторы	Уровни факторов					Интервал варьирования
	-1,215	-1	0	+1	+1,215	
$\tilde{X}_1 (P_{\text{CO}_2}, \text{МПа})$	0	0,02	0,11	0,20	0,22	0,09
$\tilde{X}_2 (C_{\text{к}}, \%)$	0	0,20	1,10	2,00	2,20	0,90
$\tilde{X}_3 (t, ^\circ\text{C})$	27,5	35,0	70,0	105,0	112,5	35,0

Программа многофакторного эксперимента была записана в виде матрицы планирования (в статье не приводится), где строки соответствовали различным экспериментальным режимам, а столбцы —

значениям факторов. Общее количество режимов ( $N$ ) определено соотношением

$$N = 2k + 1 + 2k = 15,$$

где  $k = 3$  — число факторов.

Определение количества накипи, удаляемой с образцов опытных трубок предлагаемыми методами, проводили на экспериментальной установке, принципиальная схема которой представлена на рис. 1.

Установка содержит металлический сосуд-реактор 13, в который вмонтирован испытуемый образец 12 — трубка, покрытая с наружной стороны плотным слоем карбонатной накипи. Для контроля давления и температуры моющего раствора сосуд дооборудован манометром 3 и термометром 1. Заливка моющего раствора в сосуд производится через его клапан 2, его слив или отбор проб на анализ — через клапан 15. Сброс давления в сосуде производится через электромагнитный клапан 5, снабженный сигнальной лампочкой 4. Работа электромагнитного клапана (его включение и выключение) управляется тумблером 6. Сосуд-реактор снабжен также предохранительным клапаном 7. Подвод  $\text{CO}_2$  в сосуд осуществляется от баллона 10 через газовый редуктор 9 и клапан подачи  $\text{CO}_2$  8. При необходимости моющий раствор подогревается до требуемой температуры паром, который пропускается через опытную трубку 12 от вспомогательного котла. Отработавший пар через конденсатор 14 удаляется в теплый ящик. Для ускорения подогрева моющего раствора используется электронагреватель 11.

При проведении экспериментальных режимов использовались отрезки трубок (длиной 0,2 м и наружным диаметром около 0,04 м), покрытых с наружной стороны плотным слоем натуральной накипи толщиной до 2,5 мм. Анализ фазового состава образцов накипи, проведенный методом порошковой рентгенографии, показал, что основной составляющей накипи, покрывающей опытные трубки, является карбонат кальция модификации арагонит ( $\text{CaCO}_3\text{-A}$ ) с примесью кальцита ( $\text{CaCO}_3\text{-K}$ ) и сульфата кальция ( $\text{CaSO}_4$ ). Расшифрованная и идентифицированная дифрактограмма представлена на рис. 2. Выбор для экспериментов образцов трубок с накипью данного фазового состава объясняется тем, что согласно [8, 9] в воде, насыщенной  $\text{CO}_2$ , минимальной растворимостью среди накипи различного фазового состава обладает карбонатная накипь, характерная для большинства судовых теплообменных аппаратов.

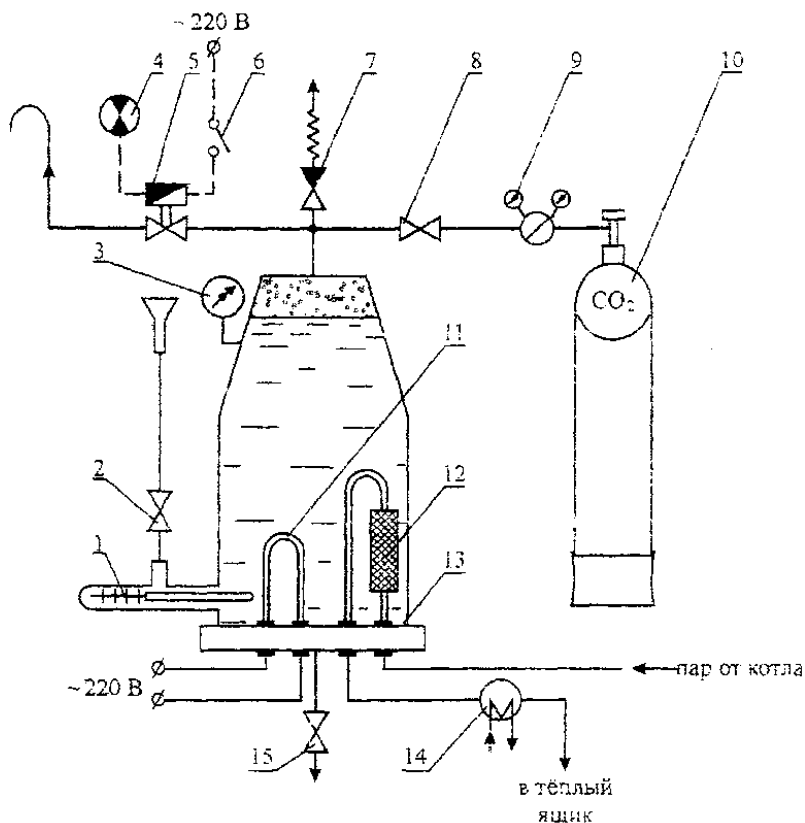


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 — термометр; 2 — клапан для заливки моющего раствора; 3 — манометр; 4 — сигнальная лампочка; 5 — электромагнитный клапан сброса давления; 6 — тумблер подачи питания на электромагнитный клапан; 7 — предохранительный клапан; 8 — клапан подачи  $\text{CO}_2$  в сосуд-реактор; 9 — газовый редуктор; 10 — баллон с  $\text{CO}_2$ ; 11 — электрический нагреватель; 12 — опытная трубка, покрытая накипью; 13 — сосуд-реактор; 14 — конденсатор отработавшего пара; 15 — клапан слива раствора из сосуда и отбора проб воды на анализ

Поэтому экспериментальные исследования с целью построения математической модели интенсифицированной очистки теплообменников от накипи, были направлены на отработку методов очистки от отложений, состоящих в основном из карбоната кальция.

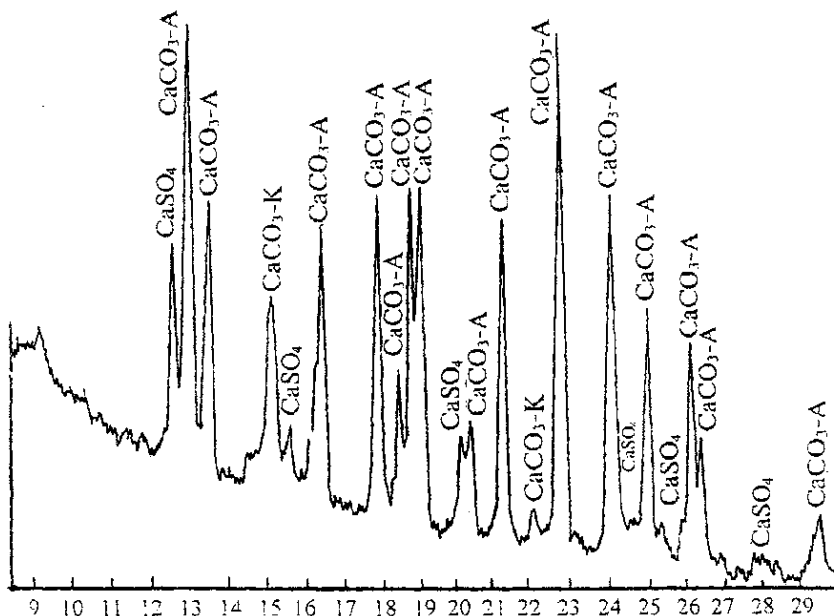


Рис.2. Дифрактограмма натуральной накипи с опытных трубок, используемых в эксперименте

Эксперимент проводился в следующем порядке.

Заготовленные образцы трубок с накипью перед началом каждого опыта высушивались, взвешивались, и определялось потенциальное количество накипи, покрывающей трубку. После монтажа опытного образца сосуд заполнялся моющим раствором с заданной концентрацией сульфаминовой кислоты. Затем, при необходимости, исходя из алгоритма разработанной программы, от газового баллона в сосуд подавалась  $\text{CO}_2$ , в результате чего в нем повышалось давление до требуемого уровня. После выдержки накипи в моющем растворе до момента стабилизации величины рН, что контролировалось с помощью универсального иономера ЭВ-74, путём открытия и закрытия электромагнитного клапана производили серию циклов «резкий сброс давления до атмосферного с последующим его повышением до первоначального уровня». В случае проведения эксперимента, в ходе которого присутствует фаза кипения раствора, паром, пропускаемым через трубку, раствор подогревали до температуры, превышающей температуру насыщения при атмосферном давлении. Поэтому при сбросе давления наблюдалось резкое вскипание раствора, что допол-



нительно интенсифицировало процесс разрушения и отслаивания накипи от стенок трубки под воздействием генерируемых над ней и в трещинах паровых пузырей. После окончания каждого из опытов, трубки высушивали при температуре не ниже 110° С и взвешивали. По разности веса трубки до и после эксперимента определяли количество удаленной накипи, приведенное к 1 л моющего раствора ( $S_{CaCO_3}$ , г/л).

Таким образом, было реализовано ортогональное центрально-композиционное планирование (ОЦКП) второго порядка. Экспериментальные результаты трех параллельных опытов при каждой строке матрицы планирования (в работе не приводится) усреднялись. После обработки экспериментальных данных было получено уравнение регрессии, состоящее из значимых эффектов

$$\hat{Y} = S_{CaCO_3} = 5,80622 + 1,56972X_1 + 5,15455X_2 + 0,81290X_3 + 0,57916X_1X_2 + 0,18166X_1X_3 + 0,48749X_2X_3 + 0,27350X_1^2 + 0,54651X_2^2.$$

Факторы  $X_i$  в уравнении регрессии закодированы, и для перехода к натуральным значениям необходимо воспользоваться зависимостью

$$X_i = \frac{(\tilde{X}_i - \tilde{X}_i^0)}{\Delta\tilde{X}_i},$$

где  $X_i$  — кодированные безразмерные значения факторов (-1,215, -1, 0, +1, +1,215);  $\tilde{X}_i$  — текущие значения факторов в натуральной размерности ( $P_{CO_2}$  - МПа, Ск - %, t - °С);  $\tilde{X}_i^0$  - значения факторов в нулевой точке отсчета, центре эксперимента, т.е. на основном уровне;  $\Delta\tilde{X}_i$  — интервалы варьирования i-того фактора в эксперименте, т.е. половина разности между верхним и нижним значениями факторов;  $\hat{Y}$  — расчетное значение функции отклика, вычисленное по уравнению регрессии, т.е. —  $S_{CaCO_3}$ , г/л.

Поэтому

$$X_1 = \frac{\tilde{X}_1 - 0,11}{0,09}, \text{ где } \tilde{X}_1 = P_{CO_2} \text{ (МПа)};$$

$$X_2 = \frac{\tilde{X}_2 - 1,10}{0,90}, \quad \text{где } \tilde{X}_2 = C_k (\%);$$
$$X_3 = \frac{\tilde{X}_3 - 70,0}{35,0}, \quad \text{где } \tilde{X}_3 = t (^\circ\text{C})$$

Значимость коэффициентов уравнения регрессии оценивали с помощью критерия Стьюдента. Адекватность уравнения проверяли критерием Фишера [7]. Результаты проверки показали, что с доверительной вероятностью 0,95 полученная модель адекватно описывает зависимость исследуемой величины (т.е. количество удаленной накипи —  $S_{CaCO_3}$ , г/л) от определяющих факторов в исследованном диапазоне их изменения. Хорошая адекватность построенной модели объясняется высоким уровнем априорной информации при выборе типа модели по результатам проведенных ранее поисковых исследований.

Анализ уравнения регрессии позволил оценить силу влияния, как отдельных факторов, так и их взаимодействий на количество удаленной с трубок накипи.

Влияние фактора  $X_2$  (концентрации сульфаминовой кислоты -  $C_k$ , %) на величину выходного параметра (на количество удаленной накипи, приведенное к 1 л моющего раствора —  $S_{CaCO_3}$ , г/л) более существенно, чем факторов  $X_1$  (избыточное давление  $CO_2$  —  $P_{CO_2}$ , МПа) и  $X_3$  (температура моющего раствора –  $t$ , °C). Это объясняется преобладающим влиянием сильной кислоты на процесс химического растворения накипных отложений по сравнению со слабой угольной кислотой. Причём, при повышенных давлениях  $CO_2$  это влияние более существенно, чем при отсутствии двуокиси углерода. В свою очередь, влияние  $P_{CO_2}$  на количество удаляемой в эксперименте накипи преобладает над влиянием температуры. Следует отметить, что введение в эксперимент фазы периодического вскипания моющего раствора оказывает влияние на выходной параметр только в случае предварительной обработки накипных отложений в агрессивных к ним растворах. Это приводит к своеобразному травлению накипи, приводящее к проникновению агрессивного и газонасыщенного раствора под ее слой и последующему разрушению накипи при его вскипании.

Анализ знаков и величин коэффициентов в уравнении регрессии также показывает, что значительное увеличение количества удаленной накипи происходит при одновременном увеличении значений всех факторов –  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ .

Для удобства практического использования при проведении эксплуатационных очисток, по уравнению регрессии построены основные графические зависимости количества удаленной накипи ( $S_{CaCO_3}$ , г/л) от концентрации сульфаминовой кислоты ( $S_k$ , %) для различных условий (в присутствии  $CO_2$  и без нее, с вскипанием и без вскипания моющего раствора и т.п.), представленные на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что, например, при концентрации сульфаминовой кислоты равной 2 %, количество удаленной накипи, приведенное к 1 л моющего раствора при различных условиях, соответствует следующим значениям:

- при температуре  $35^\circ C$  и в присутствии только 2%-ной сульфаминовой кислоты — 8,5 г/л;

- с предварительным травлением накипи в 2%-ном растворе сульфаминовой кислоты и с последующими многократными вскипаниями раствора при сбросах давления до давления окружающей среды (температура раствора при этом составляет  $105^\circ C$ ) — 10,8 г/л;

- в присутствии 2%-ной сульфаминовой кислоты и при избыточном давлении  $CO_2$ , равном 0,2 МПа, со сбросами давления до уровня окружающей среды и повторными повышением давления до первоначального значения — 12,5 г/л;

- в присутствии 2%-ного раствора сульфаминовой кислоты, при  $P_{CO_2} = 0,2$  МПа и с фазами периодического вскипания перегретого моющего раствора при знакопеременных изменениях давления — 15,8 г/л.

Анализ этих данных говорит о том, что, например, введение только фазы вскипания агрессивного к накипи раствора приводит к увеличению количества удаленной накипи до 30%. Использование раствора сульфаминовой кислоты при повышенном давлении  $CO_2$  ( $P_{CO_2} = 0,2$  МПа) приводит к увеличению количества удаленной накипи до 47% (со сбросами и повышением давления в сосудах-реакторе). И, наконец, одновременное действие всех трех определяющих факторов приводит к увеличению количества удаленной накипи до 85%, по сравнению со случаем использования обычного раствора 2%-ной сульфаминовой кислоты.

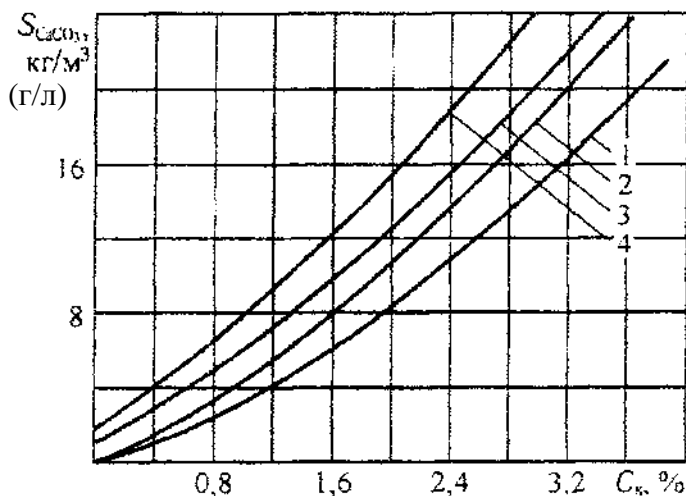


Рис. 3. Зависимость количества удалённой накипи от концентрации сульфаминовой кислоты при различных условиях многофакторного эксперимента: 1 – при 35°C с использованием одних растворов сульфаминовой кислоты; 2 – при 105°C (с фазой вскипания) растворов сульфаминовой кислоты; 3 – при 35°C с использованием растворов сульфаминовой кислоты и CO<sub>2</sub> при давлении 0,2 МПа (со сбросами и повышениями давления); 4 – при 105°C (с фазой вскипания) растворов сульфаминовой кислоты и при давлении CO<sub>2</sub> равном 0,2 МПа (со сбросами и повышениями давления)

В этом случае достигается, так называемый, синергетический эффект, а именно – возрастание эффективности очистки предлагаемыми методами, в результате интеграции, т.е. слияния отдельных наблюдаемых эффектов в единую систему процесса интенсифицированной очистки теплообменников от эксплуатационных отложений.

Таким образом, удалось получить математическую модель, адекватно оценивающую эффект воздействия трех факторов — избыточного давления CO<sub>2</sub> ( $P_{CO_2}$ , МПа), концентрации сульфаминовой кислоты ( $C_k$ , %) и температуры моющего раствора ( $t$ , °C) на выходной параметр, т.е. на количество удаленной накипи ( $S_{CaCO_3}$ , г/л), в зависимости от значений выбранных факторов в исследованном диапазоне их изменения. Полученное уравнение регрессии и графики на рис.3 можно использовать при расчете режимов эксплуатационных очисток теплообменных аппаратов предложенными методами. Для

этого необходимо было решить очередную задачу – разработку конкретных рекомендаций по использованию предложенных усовершенствованных режимов очистки судового теплоэнергетического оборудования от эксплуатационных отложений в практике технической эксплуатации флота.

### **3. Разработка рекомендаций по практическому использованию на судах интенсифицированной очистки теплообменников от эксплуатационных отложений**

Результаты экспериментальных исследований растворимости накипеобразователей и натуральной накипи при использовании предложенного метода интенсификации очистки указывают на возможность удаления эксплуатационных отложений из теплообменников в производственных условиях, что в свою очередь вызывает необходимость разработки технологических рекомендаций по практическому использованию этого метода очистки.

Предлагаемые ниже рекомендации основаны на результатах проведенных исследований и на использовании при эксплуатационных очистках слабых растворов сульфаминовой кислоты при повышенных давлениях  $\text{CO}_2$ , с осуществлением многократных резких сбросов и повышений давления в теплообменнике, а также с периодическим осуществлением фазы вскипания моющего раствора (при сбросах давления), что собственно и интенсифицирует процесс удаления накипных отложений с теплообменных поверхностей по сравнению с обычной химической очисткой.

Технология очистки этого типа включает подготовку оборудования к очистке, приготовление моющего раствора, непосредственно очистку оборудования, удаление отработавшего раствора и промывку теплообменника от осколков разрушенной накипи.

Принципиальная схема дооборудования теплообменника для осуществления интенсифицированной очистки от накипи представлена на рис. 4.

Перед осуществлением очистки теплообменный аппарат отключают от основного технологического цикла и через штатные смотровые лючки очищают от инородных предметов для обеспечения доступа моющей жидкости ко всей поверхности теплообмена, покрытой накипью. Затем измеряют среднюю толщину слоя накипи, по которой определяют ее общее количество в теплообменнике

$$B = \delta F \gamma / 1000,$$

где  $B$  — количество накипи в теплообменнике, кг;  $\delta$  — средняя толщина слоя накипи, мм;  $F$  — поверхность нагрева теплообменника (по паспорту или справочнику,  $\text{м}^2$ );  $\gamma = 2500 \text{ кг/м}^3$  — плотность накипи.

Зная объем воды в теплообменнике ( $V$ ,  $\text{м}^3$ ) и количество находящейся в нем накипи ( $B$ , кг), по их соотношению ( $B / V = S_{\text{CaCO}_3}$ , г/л) и по полученному уравнению регрессии или графикам на рис. 3 определяют необходимую концентрацию сульфаминовой кислоты ( $S_k$ , %), достаточную для одноразового приготовления моющего раствора. Для этого предварительно выбирают тот или иной способ проведения очистки в зависимости от конкретных условий и возможностей на данный период (1 — с использованием только растворов сульфаминовой кислоты; 2 — с использованием сульфаминовой кислоты и фазой периодического вскипания моющего раствора; 3 — с использованием растворов сульфаминовой кислоты при повышенных давлениях  $\text{CO}_2$  и с периодическими сбросами и повышениями давления; 4 — с использованием растворов сульфаминовой кислоты при повышенных давлениях  $\text{CO}_2$  и периодическими вскипаниями моющего раствора при сбросах давления).

Определив концентрацию сульфаминовой кислоты, необходимую для осуществления какого-либо из способов очистки, находят ее расход для приготовления моющего раствора нужной концентрации по формуле

$$G_k = 10VC_k,$$

где  $G_k$  — количество сухой сульфаминовой кислоты (100%), необходимой для приготовления моющего раствора нужной концентрации, кг;  $V$  — водяной объем теплообменника,  $\text{м}^3$ ;  $S_k$  — необходимая концентрация сульфаминовой кислоты, %.

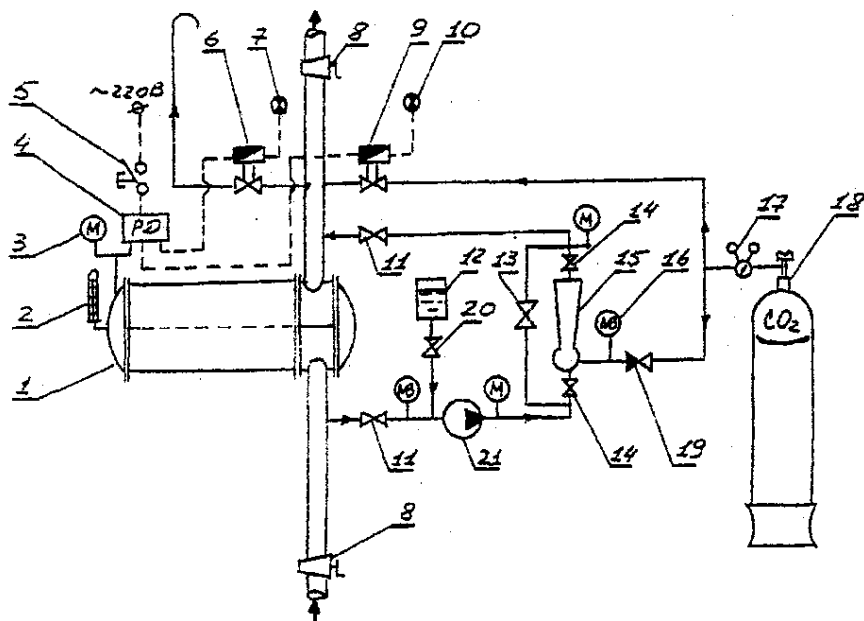


Рис. 4. Принципиальная схема установки интенсифицированной очистки теплообменника от накипи: 1 — теплообменный аппарат; 2 — термометр; 3 — манометр на теплообменнике; 4 — реле давления; 5 — тумблер для подачи питания на реле давления; 6 — электромагнитный клапан для сообщения теплообменника с атмосферой; 7 — сигнальная лампочка клапана сброса давления; 8 — секующие клинкетты; 9 — электромагнитный клапан для сообщения теплообменника с баллоном со сжатой  $\text{CO}_2$ ; 10 — сигнальная лампочка клапана подачи  $\text{CO}_2$ ; 11 — клапаны для подключения насыщающей установки к теплообменнику; 12 — бак для приготовления моющего раствора; 13 — байпасный клапан; 14 — клапаны для отключения эжектора от контура циркуляции; 15 — водогазовый эжектор; 16 — мановакуумметр эжектора; 17 — газовый редуктор; 18 — баллон с  $\text{CO}_2$ ; 19 — невозвратно — запорный клапан для подвода  $\text{CO}_2$  к эжектору; 20 — клапан для подвода моющего раствора на всасывание рабочего насоса; 21 — рабочий насос очистной установки.

### Пример расчета

Определить количество сульфаминовой кислоты, необходимой для приготовления моющего раствора нужной концентрации для очистки от накипи теплообменного аппарата интенсифицированным способом, например, при одновременном использовании раствора

сульфаминовой кислоты и давлении  $\text{CO}_2$  0,2 МПа, а также периодических фазах вскипания перегретого относительно температуры насыщения моющего раствора.

Исходные данные:  $\delta = 1,0$  мм;  $F = 10$  м<sup>2</sup>;  $\gamma = 2500$  кг/м<sup>3</sup>;  $V = 2,0$  м<sup>3</sup>.

Определяем количество накипи в теплообменнике:

$$B = \delta F \gamma / 1000 = 25 \text{ кг.}$$

Определяем соотношение  $B/V$  т.е. количество накипи, приведенное к единице объёма моющего раствора:

$$S_{\text{CaCO}_3} = B/V = 12,5 \text{ кг/м}^3 \text{ (г/л).}$$

По кривой 4 на рис. 3 определяем необходимую для этого случая концентрацию раствора сульфаминовой кислоты  $C_k = 1,62\%$ .

В этом случае расход сухой сульфаминовой кислоты для приготовления раствора с концентрацией  $C_k = 1,62\%$  составит

$$G_k = 10 V C_k = 32,4 \text{ кг}$$

Если бы проводилась обычная химическая (кислотная) очистка, то для удаления того же количества накипи (25 кг) необходимо было бы использовать сульфаминовую кислоту с минимальной концентрацией 2,66% (кривая 1 на рис. 3), а ее расход для данного теплообменника при этом составил бы более 53 кг.

Интенсифицированную очистку рекомендуется осуществлять следующим образом (см. рис. 4).

После полного заполнения теплообменника 1 водой закрывают секущие клинкеты 8, изолируя таким образом водяной объем теплообменника от штатных систем. Готовят моющий раствор, для чего растворяют в растворном баке 12 расчетное количество сухой сульфаминовой кислоты и, открывая затем клапаны 11 и 13, запускают рабочий насос 21, обеспечивая циркуляцию воды через теплообменник. Приоткрывая клапан 20, подают маточный раствор кислоты на всасывание рабочего насоса 21. После подачи всего раствора в контур циркуляции закрывают клапаны 20 и 13 и открывают клапаны 14, обеспечивающие прохождение воды через водогазовый эжектор 15. Убедившись по мановакууметру 16 в нормальной работе эжектора (т.е. создании вакуума во всасывающей камере), открывают невозвратно-запорный клапан 19 и редуктором 17 на баллоне с  $\text{CO}_2$  направляют давление подачи углекислого газа к эжектору порядка 0,03-0,05 МПа. Таким образом производят насыщение моющего раствора двуокисью углерода. Продолжительность насыщения определяют временем трех-четырёхкратной замкнутой циркуляции раство-



ра через теплообменник, исходя из производительности рабочего насоса и количества воды в теплообменнике.

Затем останавливают рабочий насос 21 и редуктором 17 устанавливают давление подачи  $\text{CO}_2$  в теплообменник на уровне 0,2 МПа, но не выше рабочего давления в теплообменнике. Контроль давления в теплообменнике производят по манометру 3.

Повышение давления  $\text{CO}_2$  интенсифицирует процесс растворения накипи с одновременным образованием раствора с избыточным газосодержанием. Теплообменник выдерживают при этом давлении до стабилизации величины рН газонасыщенного моющего раствора (ориентировочно 3-4 часа). Величина рН при этом контролируется по индикаторной бумаге.

Повышение и дальнейшая стабилизация величины рН моющего раствора на постоянном уровне свидетельствует о его истощении и практическом прекращении процесса чисто химического растворения накипи. На этом этапе при контакте накипи с моющим раствором происходит ее частичное растворение и зарождение в контактирующем слое накипи поверхностных дефектов (поры, язвы и т.п.), через которые газонасыщенный агрессивный раствор проникает под слой накипи к поверхности нагрева.

После выдержки под давлением закрывают клапаны 11, невозвратно-запорный клапан 19 и тумблером 5 подают питание на реле давления 4.

Необходимо отметить, что реле давления 4, имеющее две пары контактов (при соответствующем давлении в теплообменнике одна пара контактов замкнута, а другая разомкнута), должно быть настроено таким образом, чтобы при достижении установленного максимального давления происходило замыкание контактов, подающих питание на электромагнитный клапан 6, который сразу же открывается. В то же время размыкаются контакты, управляющие открытием электромагнитного клапана 9, и он закрывается. При снижении же давления в теплообменнике до уровня давления окружающей среды происходит перераспределение подачи питания на электромагнитные клапаны — клапан 6 закрывается, а клапан 9 тут же открывается.

Таким образом, при подаче питания на реле давления 4 происходит открытие электромагнитного клапана 6, сообщаемого теплообменник с атмосферой, что приводит к резкому сбросу давления в теплообменнике до давления окружающей среды. За этим следует мгновенное газовыделение из моющего раствора и в первую очередь

в местах дефектов накипи, что вызывает ее частичное разрушение и отслаивание от поверхности нагрева. В момент достижения в теплообменнике уровня давления окружающей среды закрывается электромагнитный клапан 6 и тут же открывается клапан 9, сообщающий теплообменник с баллоном 18 со сжатой  $\text{CO}_2$ . Происходит резкое повышение давления в теплообменнике до первоначально установленного значения, что вызывает схлопывание образовавшихся газовых пузырьков, приводящее к ударному воздействию микрообъемов моющей жидкости на накипные отложения. Этот процесс сопровождается дальнейшим обширным разрушением накипи. Затем вновь происходит открытие клапана 6 и так далее многократно.

Таким образом, после включения тумблера 5 процесс разрушения накипи осуществляется без участия обслуживающего персонала, т.е. в автоматическом режиме.

Моменты открытия соответствующих электромагнитных клапанов можно контролировать при этом по сигнальным лампочкам 7 и 10.

Следующий этап интенсифицированной очистки возможен для теплообменников кипящего типа (например, для испарителей избыточного давления, вспомогательных и утилизационных котлов и т.п.). Для этого моющий раствор перегревают при повышенном давлении относительно температуры насыщения, соответствующей атмосферному давлению. Контроль температуры в теплообменнике осуществляют по термометру 2. На время нагрева моющего раствора тумблер 5 отключают. Затем серия циклов по резкому снижению и повторному повышению давления в теплообменнике возобновляется (при осуществлении постоянного нагрева моющего раствора), т.е. вновь включается тумблер 5. Это вызывает периодическое вскипание моющей жидкости (и в первую очередь у поверхности нагрева) при снижении давления до атмосферного и прекращение процесса кипения при повышении давления в теплообменнике. Такая обработка приводит к еще большему разрушению накипи генерируемыми на поверхности нагрева паровыми пузырьками. Продолжительность обработки выбирают экспериментально для каждого конкретного случая.

После полной очистки теплообменника от накипи прекращают нагрев моющего раствора и выключают тумблер 5, что приводит к закрытию электромагнитных клапанов 6 и 9. Затем открывают секционные клапаны 8 и промывают теплообменник водой от штатного цир-

куляционного насоса для удаления отработавшего раствора и осколков разрушенной накипи.

В случае кислой реакции моющего раствора нейтрализуют остатки кислоты едким натром до нейтральной среды по метилоранжу согласно известной методике [5].

После окончания очистки вскрывают и осматривают теплообменник через смотровые лючки для оценки состояния его теплообменных поверхностей.

При организации и проведении работ по очистке теплообменника от накипи должны соблюдаться правила техники безопасности. Несмотря на то, что сульфаминовая кислота в сухом виде безвредна, ее нужно смывать при попадании на кожу и одежду. Ее водный раствор (в определенной концентрации) представляет собой сильную минеральную кислоту. Поэтому лица, проводящие очистку с использованием сульфаминовой кислоты, должны иметь спецодежду и защитные очки. При попадании на кожу кислоту надо снять ватным тампоном, промыть 2%-ным раствором питьевой соды и смазать вазелином; при попадании кислоты в глаза — немедленно промыть их водой и обратиться к врачу. При осуществлении сбросов и повышений давления в теплообменнике следует руководствоваться правилами работы с сосудами под давлением.

Отдельные положения приведенных рекомендаций по практическому применению интенсифицированной очистки теплообменников от накипи могут уточняться в соответствии с конкретными условиями и техническими возможностями.

В заключение необходимо отметить также, что при проведении последующих натурных испытаний разработанных способов на реальных судовых теплообменниках, работающих на морской воде (на паровом подогревателе морской воды типа РО-4 и на конденсаторе турбогенератора типа ХВС-120), была установлена возможность удаления с теплообменных поверхностей (кроме накипных отложений) также и раковин организмов морских обрастателей. Это, в свою очередь, значительно расширяет область применения, предлагаемых для использования способов очистки судового теплоэнергетического оборудования от эксплуатационных отложений.

Приоритетность, предлагаемых для использования решений, подтверждена двумя авторскими свидетельствами на изобретения [3, 4].

### Выводы

1. В представленной работе в результате выполнения и анализа литературных, поисковых, постановочных и экспериментальных исследований, а также натуральных испытаний в производственных условиях, были обоснованы, описаны и предложены способы усовершенствования (интенсификации) режимов очистки судового теплоэнергетического оборудования от эксплуатационных отложений.
2. Установлено, что растворимость  $\text{CaCO}_3$  в растворах сульфаминовой кислоты при повышенных давлениях  $\text{CO}_2$  увеличивается, по сравнению с его растворимостью в обычных кислотных растворах.
3. Периодические резкие сбросы и последующие повышения  $\text{CO}_2$  в теплообменнике, осуществляемые многократно, также интенсифицируют процесс разрушения накипных отклонений.
4. Введение фазы периодического вскипания, агрессивного к накипи моющего раствора, в свою очередь нарушает прочность накипных отклонений и вызывает их отслаивание от поверхности нагрева, что также повышает эффективность предложенных методов очистки.
5. В результате обобщения литературных и экспериментальных данных получено эмпирическое уравнение регрессии для определения количества удаляемых с теплообменных поверхностей отложений, в зависимости от давления  $\text{CO}_2$ , концентрации сульфаминовой кислоты и температуры моющего раствора (при осуществлении фаз его периодического вскипания), позволяющее прогнозировать эффективность очистки предлагаемыми методами.
6. Кроме того, при проведении натуральных испытаний в судовых условиях, установлена возможность использования разработанных режимов для удаления с теплообменных поверхностей также и раковин организмов морских обрастателей, что расширяет область применения предлагаемых способов.
7. На основании полученных результатов разработаны рекомендации по практическому использованию на судах интенсифицированных режимов очистки теплоэнергетического оборудования от эксплуатационных отложений и предложена принципиальная схема дооборудования теплообменника при осуществлении этих режимов.
8. Возможность практической реализации разработанных способов

очистки, подтверждена двумя авторскими свидетельствами на изобретения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов В. А. Накипеобразование в судовых теплообменниках, методы их очистки и растворимость  $\text{CaCO}_3$  в растворах сульфаминовой кислоты при повышенных давлениях  $\text{CO}_2$  // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб.- 2013. - №31. – Одесса: ОНМА. – С.5-24.
2. Перепёлкин С. Е. Газовые эмульсии /С. Е. Перепёлкин, В. С. Матвеев. – Л.: Химия, 1979. -200с.
3. Способ очистки теплообменника от накипи: А.с. №1499086 СССР, МКИ F28G 9/00, B08B 3/08/ В.А. Абрамов, Ю. И. Боев, В. А. Вагапов, В. Ф. Коваленко, И. А. Станкевич, Б. А. Павленко - №4300731/31-12. Заявл. 24.06.1987. Оpubл. 07.08.1989, Бюл. №29.
4. Способ очистки теплообменника от накипи: А.с. №1747850 СССР, МКИ F28G 9/00/ В.А. Абрамов, В. Ф. Коваленко, В. Н. Скрипник - №4783403/12. Заявл. 17.01.1990. Оpubл. 15.07.1992, Бюл. №26.
5. Сурин С. М. Химическая очистка судового энергетического оборудования / С. М. Сурин. – М.: Транспорт, 1981.- 168 с.
6. 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.
7. Михайлов В. И. Планирование эксперимента в судостроении /В. И. Михайлов, К. М. Федотов. – Л.: Судостроение, 1978. – 160 с.
8. 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.
9. Углекислотный метод очистки теплообменников от накипи и предотвращения её образования: Метод. пос. /ОВИМУ; подг. Ю. И. Боевым. – М.: Мортехинформреклама, 1986. - 48 с.

УДК 629.123.62-93

Козьминых Н.А., Василец Д.И.  
ОНМА

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СУДОВОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Под надежностью обычно понимают свойство объекта сохранять во времени работоспособность в заданных условиях применения, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования.

Судовые холодильные установки следует считать сложными техническими объектами, специфика эксплуатации которых требует пристального внимания к их надежности, в тоже время необходимо отметить, что проблемы надежности транспортных холодильных установок, в частности и судовых, остаются мало изученными. В этой связи проблема оценки надежности, выбора показателей по которым можно определить состояние судовой холодильной установки в текущий момент эксплуатации, выработка рекомендаций по обеспечению безотказной работы технического объекта такого типа является актуальной особенно для условий морского судна.

В принятой практике рекомендуется рассчитывать надежность объекта на различных стадиях жизненного цикла и соответствующих этим стадиям этапам видов работ, что устанавливается программой обеспечения надежности (ПОН) объекта или документами, ее заменяющими. Для судовых условий эксплуатации к таким документам можно отнести инструкции заводов изготовителей и правила технической эксплуатации утвержденные судовладельцем. Однако в этих документах вопросы надежности холодильной установки рассматриваются только косвенно через определение периодичности различных процедур технического обслуживания и простым перечислением возможных отказов и неисправностей. Кроме того оценка надежности затруднена отсутствием единой терминологии определяющей состояние рассматриваемых объектов.

Для любого технического объекта ПОН должна устанавливать цели расчета на каждом этапе видов работ, применяемые при расчете нормативные документы и методики, сроки выполнения расчета и исполнителей, порядок оформления, представления и контроля результатов расчета.

Для определения надежности объектов необходимо рассмотреть количественные характеристики этого свойства, которые называют показателями надежности. Для холодильного оборудования выбирают показатели надежности характеризующие такие свойства как безотказность, долговечность и ремонтпригодность, что позволяет учесть основные процессы, приводящие к потери работоспособности.

При этом под безотказностью следует понимать среднюю наработку на отказ для ремонтируемых объектов и интенсивность отказов для неремонтируемых объектов; под долговечностью – средние ресурсы до капитального, среднего и текущего ремонта для ремонтируемых объектов, или так называемый гамма-процентный ресурс для не ремонтируемых объектов; под ремонтпригодностью – среднее время восстановления работоспособности, либо объединенную удельную оперативную трудоемкость технического обслуживания и ремонта.

Наибольшее значение при рассмотрении с точки зрения эксплуатации приобретают такие свойства как безотказность и ремонтпригодность.

По принципам определения свойств составляющих надежность и комплексных показателей надежности объектов следует выделить такие методы:

- методы прогнозирования,
- структурные методы расчета,
- физические методы расчета.

Методы прогнозирования основаны на использовании для оценки ожидаемого уровня надежности объекта данных о достигнутых значениях и выявленных тенденциях изменения показателей надежности (ПН) объектов, аналогичных или близких к рассматриваемому по назначению (объектов-аналогов), принципам действия, схемно-конструктивному построению и технологии изготовления, элементной базе и применяемым материалам, условиям и режимам эксплуатации, принципам и методам управления надежностью .

Структурные методы расчета основаны на представлении объекта в виде логической (структурно-функциональной) схемы, описывающей зависимость состояний и переходов объекта, от состояний и переходов его элементов, с учетом их взаимодействия и выполняемых ими функций в объекте, с последующим описанием построенной структурной модели адекватной математической моделью и вы-

числением ПН объекта по известным характеристикам надежности его элементов.

На рис.1 приведена условная схема построения дерева отказов для судовой холодильной установки в самом общем случае.

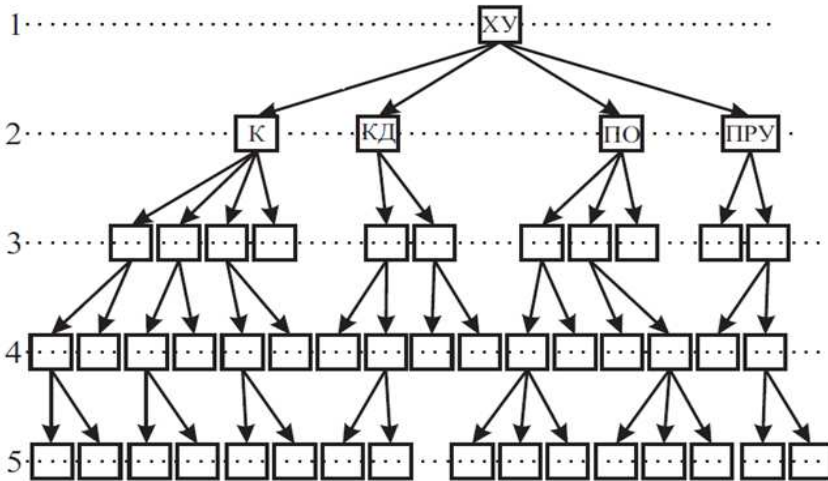


Рис.1 Условная схема дерева отказов для судовой холодильной установки :  
 К- компрессор, КД- конденсатор, ПО- приборы охлаждения, ПРУ- приборы и устройства управления и защиты.

При рассмотрении конкретной холодильной установки число факторов наблюдаемых и действующих на каждом уровне будет меняться в зависимости от конструктивных и эксплуатационных условий.

Физические методы расчета основаны на применении математических моделей, описывающих физические, химические и иные процессы, приводящие к отказам объектов (к достижению объектами предельного состояния), и вычислении ПН по известным параметрам нагруженности объекта, характеристикам примененных в объекте веществ и материалов с учетом особенностей его конструкции и технологии изготовления.

Опыт эксплуатации большинства механизмов, аппаратуры и приборов показывает, что наиболее общим для определения интенсивности отказов является распределение Вейбула. Согласно этому



распределению плотность вероятности момента отказа может быть определена из зависимости:

$$f(\tau) = \lambda \delta \tau (\delta - 1) e^{-\lambda \tau};$$

где:  $\delta$  – параметр формы, который определяется по экспериментальным данным путем выбора закона распределения,

$\lambda$  – параметр масштаба.

Интенсивность отказов определяется выражением:

$$\lambda(\tau) = \lambda \delta \tau^{(\delta-1)};$$

вероятность безотказной работы:

$$P(\tau) = \int_0^{\tau} e^{-\lambda(t)} dt = e^{-\lambda \tau};$$

средняя наработка до отказа:

$$P(\tau) d\tau = \int_0^{\infty} e^{-\lambda \tau} d\tau$$

При  $\delta < 1$  интенсивность отказов монотонно убывает, что соответствует периоду приработки, а при  $\delta > 1$  – монотонно возрастает, что соответствует периоду интенсивного износа. Одновременно следует отметить, что при:

$\delta = 1$  распределение Вейбулла переходит в экспоненциальное, а при  $\delta = 2$  – в распределение Рэлея.

Различные формы плотности при распределении Вейбулла при  $\delta = 0$  показаны на рис. 2

Расчет надежности объекта на определенном этапе эксплуатации, соответствующем некоторой стадии его жизненного цикла, может производиться в следующих целях:

- обоснование количественных требований по надежности к объекту или его составным частям;

- проверка выполнимости установленных требований и оценка вероятности достижения требуемого уровня надежности объекта в установленные сроки и при выделенных ресурсах, обоснование необходимых корректировок установленных требований;

- сравнительный анализ надежности вариантов схемно-конструктивных построений объекта и обоснование выбора рационального варианта;

- определение достигнутого (ожидаемого) уровня надежности объекта и его составных частей, в том числе расчетное определение ПН, параметров распределения характеристик надежности составных

частей объекта, в качестве исходных данных для расчета надежности объекта в целом;

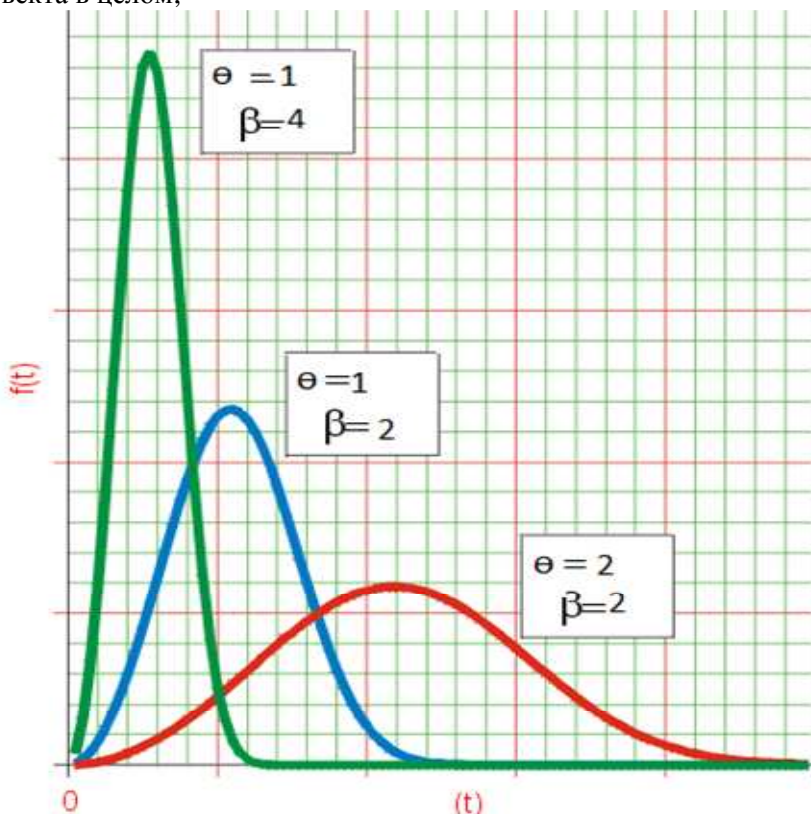


Рис. 2. Различные формы плотности при распределении Вейбулла при  $\delta=0$

- обоснование и проверка эффективности предлагаемых (реализованных) мер по доработкам конструкции, технологии изготовления, системы технического обслуживания и ремонта объекта, направленных на повышение его надежности;

- решение различных оптимизационных задач, в которых показатели надежности выступают в роли целевых функций, управляемых параметров или граничных условий, в том числе таких, как оптимизация структуры объекта, распределение требований по надежности, между показателями отдельных составляющих надежности (например безотказности и ремонтпригодности), расчет комплектов ЗИП, оптимизация систем технического обслуживания и ремонта, обосно-

вание гарантийных и назначенных сроков службы (ресурса) объекта и др.;

- проверка соответствия ожидаемого (достигнутого) уровня надежности объекта установленным требованиям (контроль надежности), если прямое экспериментальное подтверждение уровня надежности невозможно технически или нецелесообразно экономически.

### *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. Козьминых Н.А., Андрианов Д.В. Методы оценки надежности судовых холодильных установок в процессе эксплуатации // Судовые энергетические установки: нуч.-техн.сб.-2011.-Вып.28.-Одесса: ОНМА.- С.68-72.

2. Межгосударственный стандарт ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения.

3. Танирбергенова А.А. Расчет надежности многоэлементных систем. -Сб. Трудов Кар.ГТХ, 2011, с.с. 83-85.

4. Военный справочник по стандартизации США MIL-HDBK-472. Прогнозирование ремонтпригодности.

УДК 629.123.004

Небеснов В.В.  
ОНМА

## ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ У СУДНОВИХ УМОВАХ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИМ МЕТОДОМ

Тертя один з основних факторів, що сприяють зношуванню деталей і вузлів машин, що знижує надійність і довговічність технічних засобів. Ряд заходів (застосування нових антифрикційних матеріалів, змащень, присадок і т.і.) дозволяють тільки частково знизити зношування, але повністю усунути його неможливо. При цьому проблема полягає у тому, що оскільки основний режим роботи пар тертя є гідродинамічним (наприклад, вспиття шийок валів над вкладишами підшипників ковзання), то будь-яке збільшення зазорів понад припустимі значення порушує цей процес через зниження тиску змащення (ділянка III на кривій природного механічного зношування, рис. 1). Тому половина усіх деталей суднових технічних засобів підлягає заміні при зношуванні всього лише в декілька десятих міліметра. Виникає проблема вибору: або якимось способом відновити деталь, або відправити її в металобрухт.

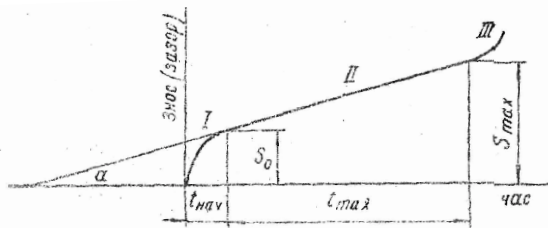


Рис.1.Крива природного механічного зносу

У судноремонті для відновлення розмірів деталей використовують різні способи: наплавлення, металізацію, деформування (висадження) поверхневого шару. [1;2] Аналізуючи ці технології, можна зробити наступні висновки.

Наплавленням звичайно нарощують шар у кілька міліметрів (менше не виходить), а потім майже весь знімають на токарському верстаті, залишаючи дві-три десятих міліметри під шліфування. При такій технології через нагрівання в деталі виникають внутрішні на-

пруження, що приводять до її деформації та зміни структури матеріалу.

При металізації, хоча вона досить проста за технологією й має невисоку вартість, нанесений шар виходить тендітним, недостатньо зчепленим з основним металом, збільшується пористість шару (при певних розмірах пор це сприяє адсорбції змащення, але технологічно досягти цього складно).

Метод деформування (висадження) поверхневого шару за основною технологією зменшує площу контакту робочих поверхонь деталей і, отже, збільшує зношування. Інший його різновид - електромеханічна обробка вимагає спеціального устаткування, відсутнього в суднових умовах і має недоліки, схожі з наплавленням.

Інші, не зазначені тут методи, як правило, можуть бути реалізовані тільки в умовах судноремонтних підприємств.

Тонкий шар металу на зношену поверхню можна нарощувати електролітичним способом [2; 3], але на судах немає спеціальних ванн і іншого встаткування, що окупає себе тільки в умовах масового ремонту на спеціалізованих підприємствах.

Порівняно просту й недорогу технологію відновлення великогабаритних деталей можна реалізувати в суднових умовах не поміщаючи деталь у гальванічну ванну, а “натирати” її електродом, до якого подається електроліт.

Схема пропонованого пристрою показана на рис. 2. Корпус 1 у вигляді скляної або пластмасової трубки (діаметром 25 - 40мм) з одного кінця закривається пробкою 2, а з іншого щільним пучком щетини 3 (наприклад, від фарбувальної кисті). Щетина обмотується свинцевим дротом 4 (діаметром декілька мм, наприклад тієї, котра використовується для виміру величин масляних зазорів у підшипниках).

До свинцевого дроту підводить позитивний полюс напруги 12 В, максимальний струм джерела повинен відповідати близько 3 А.

Перед хромуванням деталь ретельно очищають від всіх експлуатаційних відкладень і знежирюють у розчині, що містить 100 – 150 г їдкою натрію, 40 – 50 г кальцінованої соди й 3-5 г рідкого скла (силікатний клей) на 1 літр води. Температура розчину 80 – 100 0С, час знежирення від 15 хвилин до 1 години.

В “кисть” заливають електроліт 5 (дивитися рис. 1) наступного складу:

-хромовий ангідрид - 250 г/л;

-сірчана кислота (питома вага 1,84) - 2,5 г/л.

Вода для електроліту повинна бути дистильована. Воду нагрівають до 60 – 70 °С и в 2/3 об'єму розчиняють  $\text{CrO}_3$ . Потім доливають воду,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , перемішують, відстоюють і фільтрують.

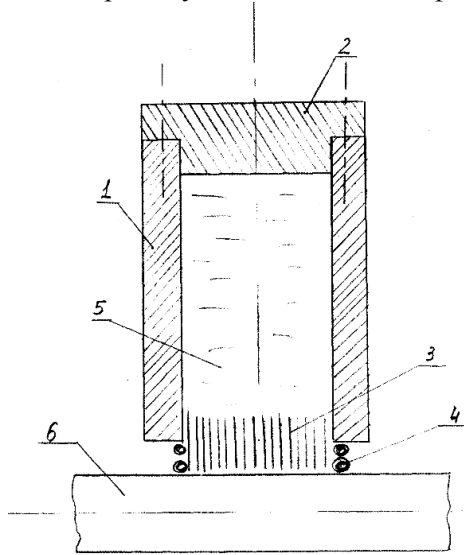


Рис.2. Схема пристрою для наросування матеріалу на поверхню деталі

Підготовлену деталь (на рис. 2 - вал 6) з'єднують із негативним полюсом джерела струму. Рівномірно переміщаючи “кисть” по поверхні деталі, покривають її хромом, що осаджується з електроліту. Для одержання покриття в трохи сотих міліметра досить пройти по ній 25 - 40 разів. У міру витрати електроліту його доливають у корпус. Після нанесення покриття деталь промивають у воді, протирають мокрим дрантям, ще раз промивають і сушать.

Процес електролізу і якість покриття залежать, в основному, від якості електроліту, його температури й щільності струму. Температура електроліту повинна бути в межах 18 – 25 °С. Щільність струму – величина струму, що доводиться на одиницю поверхні [ $\text{A}/\text{дм}^2$ ], розраховують по формулі:

$$J = I/S,$$

де  $I$  - струм у ланцюзі, А;  
 $S$  – поверхня виробу,  $\text{дм}^2$ .

Час електролізу  $t$ , [год] для одержання покриття товщиною  $\delta$  мм визначається по формулі:

$$t = \frac{100 \cdot \delta \cdot \rho}{j \cdot c \cdot \eta}, \quad (1)$$

де  $\rho$  - щільність хрому, г/мм<sup>3</sup>;  
 $C$  - електрохімічний еквівалент хрому;  
 $j$  - щільність струму, А/мм<sup>2</sup>;  
 $\eta$  - розрахунковий вихід по струму, г/(Ач).

З огляду на, що у формулі (1)  $\rho$ ,  $j$ ,  $C$ , та  $\eta$  величини постійні й приймаючи щільність струму  $j$  теж постійною, можна вважати залежність  $t$  від  $\delta$  лінійною. Наближений графік на малюнку 3, побудований за експериментальними даними підтверджує це. При  $\delta > 0,1 \dots 0,2$  мм варто очікувати зменшення швидкості нарощування матеріалу, очевидно, через зниження електрохімічного еквівалента хрому  $\eta$ .

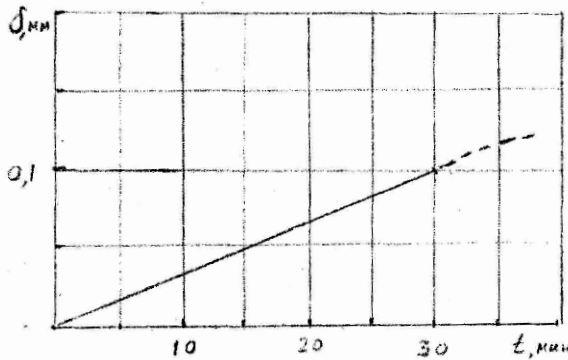


Рис.3. Залежність товщини нарощуваного шару від часу електрохімічного процесу

### Висновки

1. Однієї з основних проблем експлуатації суден є необхідність навіть при незначному зношенні деталей, що є елементами пар тертя, їхньої заміні.
2. Існуючі способи відновлення зношених деталей (наплавлення, металізація, висадження поверхневого шару, тощо.) мають ряд недоліків і важко реалізовані (особливо для великогабаритних деталей) у судових умовах.
3. Пропонована технологія відновлення деталей методом електрохі-

мічної обробки “натиранням” порівняно проста, недорога, може використовуватися на судах для великогабаритних деталей (валів, втулок циліндрів, постелей фундаментних рам, тощо.)

4. Процес нарощування можна контролювати з метою одержання точного розміру деталі на відміну від існуючих стаціонарних методів.

5. Хромуванням доцільно відновлювати деталі зі зношуванням менш 0,3 мм. При більшій товщині міцність покриття знижується й зменшується економічність процесу (вихід по струму).

6. Покриття хромом пропонованим методом не тільки відновлює первісний розмір деталі, але й робить її приблизно в три рази довговічніше, виготовленої із загартованої сталі.

7. При подальших практичних дослідженнях можливо:

- реалізувати як завершальний етап процесу - пористе хромування з метою адсорбування порами змащення й зниження зношування деталей;

-використання інших більше ефективних составів електrolітів;

-розробка технології чисто хімічного покриття хромом і іншими матеріалами (без використання електричного струму).

Розглянута технологія відновлення деталей технічних засобів, що є елементами пар тертя електrolітичним засобом без застосування спеціального стаціонарного обладнання. Приведена залежність для визначення часу, необхідного для нанесення покриття заданої товщини.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Возницкий И.В. Повреждения и поломки дизелів. – Санкт – Петербург: 2006. – 140с.
2. Анельчик Д.Е. Ремонт, відновлення й випробування інструмента й технологічного оснащення. - К.: Техніка, 1981. - 200с.
3. Ландо С.Я. Відновлення автомобільних деталей. - М.: Транспорт, 1987. - 112с.



УДК 629.12 + 621.69

Чепалис И.В., Козьминых Н.А.  
ОНМА

## **ПОВТОРНОЕ СЖИЖЕНИЕ ГАЗОВ КАК МЕТОД СТАБИЛИЗАЦИИ ДАВЛЕНИЯ В ГРУЗОВЫХ ТАНКАХ МЕТАНОВОЗОВ**

Последние годы прослеживается тенденция роста мирового экспорта сжиженного природного газа (СПГ). В 2000 г. мировой экспорт составлял 120 – 130 млрд. м<sup>3</sup>, а в 2010 г. составил порядка 200 млрд. м<sup>3</sup>. Наиболее выгодным способом транспортировки СПГ на расстояния, превышающие 1000 морских миль, является его перевозка морем на специализированных танкерах-метановозах. Количество произведенных метановозов также увеличилось. На конец 1998 г. в мире эксплуатировалось 108 метановозов [1]. На сегодняшний день их количество составляет 420 единиц, а общий объем грузовых танков достигает 58 милл. м<sup>3</sup>.

Повышение эффективности пропульсивного комплекса и минимизация потерь груза ведет к совершенствованию технологии перевозки СПГ. Примером чего служит внедрение на метановозы пропульсивных комплексов с дизельными двигателями. Однако, возникает проблема утилизации испарившегося газа, который приводит к повышению давления в грузовых танках. Проблема стабилизации давления в грузовых танках метановозов рассматривается многими учеными, инженерами ведущих судоходных компаний-перевозчиков СПГ и судостроителями.

Метан перевозят при давлении близком к атмосферному и температуре -163°С. Танки метановозов в зависимости от типа рассчитаны на рабочее давление не более чем 0,7 кгс/см<sup>2</sup>. Из-за теплообмена танков с окружающей средой, часть груза испаряется, что приводит к повышению давления в танках. Стабилизация давления в танках метановоза осуществляют различными способами:

1. Стравливают давление в атмосферу.
2. Используют пары груза в качестве топлива.
3. Повторно сжижают испарившийся газ и возвращают в танки [2].

Первые метановозы утилизировали испарившийся груз стравливанием избыточного давления в атмосферу. Анализируя таблицу 1, становится очевидным, что такой метод является чрезвычайно расточительным. Переход ко второму способу, был изначально реализован

на паротурбинном пропульсивном комплексе, где испарившийся газ сбрасывался в котел, а при излишнем испарении сжигался в газовом топочном устройстве в атмосферу.

Таблица 1. Объемы и цена испарившегося газа для метановоза объемом 142000 м<sup>3</sup>

Показатель	Судно в полном грузу	Судно в балласте
Процентное количество испарившегося газа за сутки	0,15 %	0,06 %
Объем испарившегося газа	213,0 м <sup>3</sup> /сут	85,2 м <sup>3</sup> /сут
Энергетическая ценность (минимальная теплота сгорания 50000 кДж/кг)	4528000 МДж/сут	1801617 МДж/сут
Суточная стоимость испарившегося газа	20083 USD/ сут	7992 USD/ сут
Годовая стоимость испарившегося газа	4685280 USD	

Новые технологии, позволяющие сжигать газ в качестве основного вида топлива в дизеле, привели к вытеснению паротурбинного пропульсивного комплекса дизельэлектрическим пропульсивным комплексом с четырехтактными двухтопливными дизельными двигателями (DFDE). В 2007 году такой тип пропульсивного комплекса впервые был установлен на метановоз British Emerald компании BP Shipping, объемом грузовых танков 155000 м<sup>3</sup>. Ходовые испытания British Emerald показали, что при скорости 20 узлов суточный расход дизельэлектрического пропульсивного комплекса на 40 тонн топлива меньше, чем у паротурбинного пропульсивного комплекса, установленного на идентичном метановозе. На сегодняшний день дизельэлектрическим пропульсивным комплексом оборудуют метановозы объемом грузовых танков 140000 - 200000 м<sup>3</sup>. Разумеется, такая схема утилизации испарившегося газа возможна только при договоренности судовладельца и грузоотправителя. Либо когда судовладелец и является грузоотправителем, как, к примеру, судоходные компании BP Shipping, BW Gas, Hoegh LNG, Teekay LNG, M.I.S.C, "K" Line LNG Shipping, Golar LNG, SovComFlot. Для сжижения оставшихся паров груза, которые не были утилизированы в дизеле, применяют установку повторного сжижения газов (УПСГ).

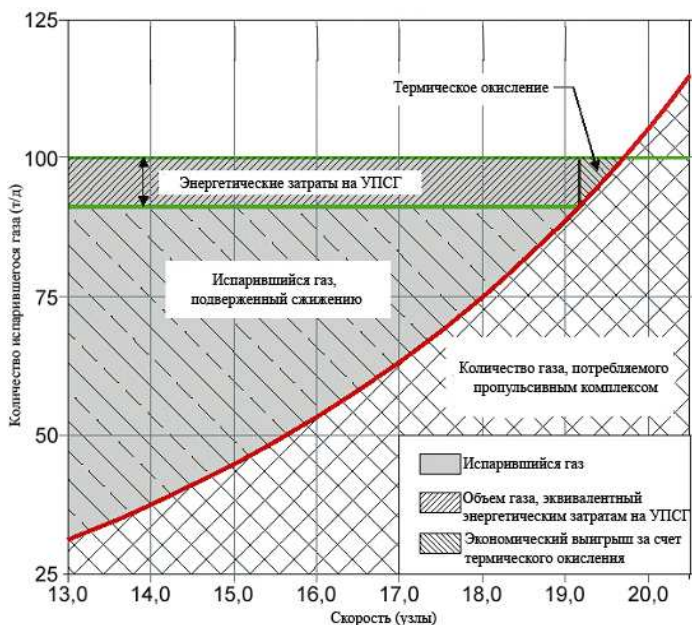


Рис. 1 Зависимость расхода газового топлива от скорости судна для метановоза объемом грузовых танков 142000 м<sup>3</sup>

На рисунке 1 показан пример рациональности применения установки повторного сжижения газов. Кривая показывает зависимость расхода испарившегося газа, потребляемого дизель-электрическим пропульсивным комплексом, от скорости судна. Для метановоза объемом грузовых танков 142000 м<sup>3</sup> суточное количество испарившегося газа составляет 100 т. К примеру, если судно идет при скорости 18 узлов, тогда при отсутствии УПСГ теряется 25 т груза в сутки. При малом ходе экономическая эффективность и целесообразность использования УПСГ очевидна [3].

Метановозы объемом грузовых танков свыше 200000 м<sup>3</sup> оборудуют пропульсивным комплексом двухтактного дизельного двигателя с прямой передачей крутящего момента на винт (DRL), такая схема реализована на метановозах Q-Flex и Q-Max компании Qatargas. В данном случае ГД работает на остаточных сортах топлива, а испарившийся газ подвергается повторному сжижению в УПСГ.

Судовые системы сжижения природного газа представляют собой двухконтурную систему с общим теплообменником. В качестве

хладагента применяют N<sub>2</sub> (азот). Азотный контур работает по обратному циклу Брайтона (рис. 2).

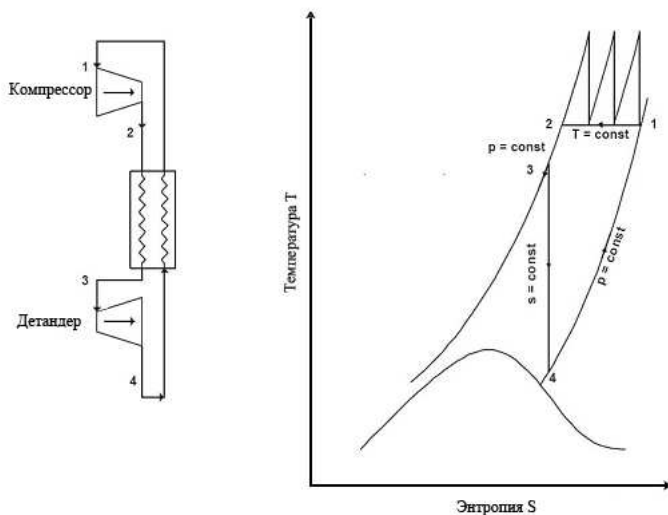


Рис. 2 Обратный цикл Брайтона

Газ сжимается изотермически в трехступенчатом компрессоре с промежуточным охлаждением (рис. 2). Затем газ проходит через теплообменник при постоянном давлении, в котором происходит обмен энергией с отходящим потоком низкого давления. От точки 3 до точки 4 происходит изэнтропное расширение в детандере. От точки 4 до точки 1 холодный газ нагревается до начальной температуры, отводя энергию при постоянном давлении от входящего потока высокого давления [4].

Для метановоза вместительностью грузовых танков 142000 м<sup>3</sup> установка рассчитана на производительность 2000 кг/ч и на автоматическую регулировку производительности от 20 до 100%.

Грузовой контур состоит из пластинчатого криогенного теплообменника, сепаратора, насоса и трубопроводной арматуры (рис. 3).

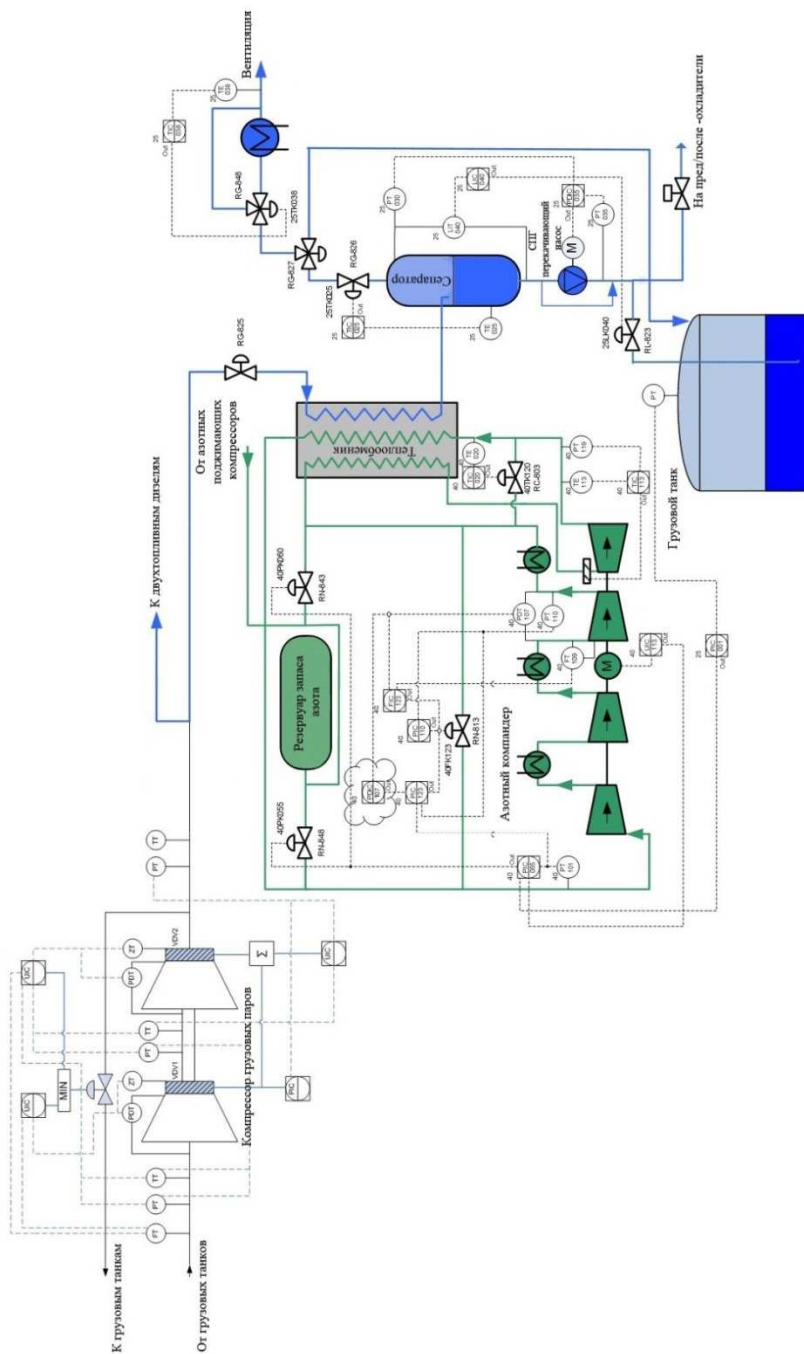


Рис. 3 Принципиальная схема УПСТ

Испарившийся газ поступает в систему сжижения газа приблизительно при  $5,5 \text{ кгс/см}^2$  и температурном диапазоне  $0 - 50 \text{ }^\circ\text{C}$ . В верхней части криогенного теплообменника испарившийся газ предварительно охлаждается, таким образом, происходит снятие перегрева и затем конденсируется на дне. Сконденсированный газ поступает в сепаратор. В зависимости от режима работы УПСГ вновь сжиженный груз будет возвращен в грузовые танки двумя различными методами. В режиме свободного потока в теплообменник СПГ из сепаратора отбирается перекачивающим насосом. В режиме подачи газа в теплообменник компрессором грузовых паров, газ вернется в грузовые танки под воздействием перепада давлений между сепаратором и грузовым танком. Часть сжиженного газа будет использоваться для предварительного охлаждения газа перед компрессором.

В случае повышения давления в танках увеличится давление всасывания компандера, которое приведет к более интенсивной конденсации паров груза. В результате этого понизится давление на выходе компрессора грузовых паров. Регулятор давления на выходе компрессора развернет направляющие лопатки диффузора таким образом, чтобы удерживать давление постоянным, тем самым увеличивая поток газа в компрессор грузовых паров и таким образом уменьшить давление в танке до заданного значения. Когда давление в танках уменьшится ниже заданного значения, произойдут обратные процессы [5].

Азотный контур, в свою очередь, состоит из осушителей азота, поджимающих компрессоров, резервуара запаса хладагента, трехступенчатого центробежного компрессора, детандера, трех газоохладителей, охлаждаемых пресной водой, и одного пластинчатого трехходового криогенного теплообменника. Охлаждение происходит за счет цикла сжатия - расширения. Азот с максимальным давлением  $10,7 \text{ кгс/см}^2$  сжимается приблизительно до  $54 \text{ кгс/см}^2$  в трехступенчатом центробежном компрессоре и после каждой ступени сжатия охлаждается пресной водой в газоохладителях [6].

Анализ действующих метановозов и заказов на 2014 - 2015 гг. показывает, что УПСГ является незаменимым механизмом современного метановоза. Механизм малоизучен с точки зрения эксплуатации и надежности. УПСГ является элементом сложной технической системы энергетического комплекса метановоза. Последствием отказа этого элемента будет неконтролируемое повышение давления в грузовых танках, что вызовет подрыв предохранительных клапанов

и потерю части груза, а в некоторых случаях может привести к разрушению танка. Таким образом, в настоящее время проблемы надежности и эксплуатации УПСГ приобрели большое значение для морских судов, т.к. их решение обеспечивает безопасность и эффективность транспортировки СПГ морем.

#### *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. Зайцев В.В. Коробанов Ю.Н. Суда – газовозы. - Ленинград : Судостроение, 1990 – 300 с.
2. С.П. Баскаков Перевозка сжиженных газов морем. - Санкт-Петербург : Судостроение, 2001 - 282 с.
3. Manfred Küver Chris Clucas, Nils Fuhrmann GASTECH // EVALUATION OF PROPULSION OPTIONS FOR LNG CARRIERS. - 2002 - 12 pg.
4. R.F. Barron Cryogenics systems [Книга]. - [б.м.] : Oxford University Press, 1985 – 406 pg.
5. AS Hamworthy Gas Systems BG LNG Reliquefaction // Technical Specification. - 2009 г. – 124 pg.
6. AS Hamworthy Gas Systems Control system functional design specification // Technical Specification. - 2009 г. – 74 pg.

УДК 629.12:656.614

Кирис А.В., Козьминых Г.В.  
ОНМА**АНАЛИЗ УСЛОВИЙ МОРСКОЙ ПЕРЕВОЗКИ ЗЕРНОВЫХ  
ГРУЗОВ**

На основании того, что за последние 10 лет Украина стала одним из мировых лидеров в производстве и экспорте зерновых культур (97% экспортного потока зерновых из Украины отгружается через порты — морским транспортом), целью данной статьи является исследование такой актуальной темы как: анализ особенностей перевозки зерновых грузов из Украины водным транспортом.

Рассмотрим рост экспортного потенциала сельского хозяйства Украины за последние 5 лет:

Табл. 1 Количество собранного и экспортируемого урожая  
за 2008/09 - 2012/13 МГ

Маркетин- говый год (МГ)	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13
Собранный урожай, млн.т.	53,3	46,0	39,3	56,7	46,2
Экспорт (общие данные), млн.т.	24,6	20,8	12,5	21,8	22,8
- пшеница	12,7	9,2	4,0	5,2	6,8
- кукуруза	5,5	4,9	5,5	13,9	13,5
- ячмень	6,3	6,2	2,7	2,6	2,1
- другие	0,1	0,5	0,3	0,1	0,4

Внутренние потребности Украины в среднем составляют 26—32 млн. тонн, следовательно, около 12—27 млн. тонн подлежит экспорту ежегодно.



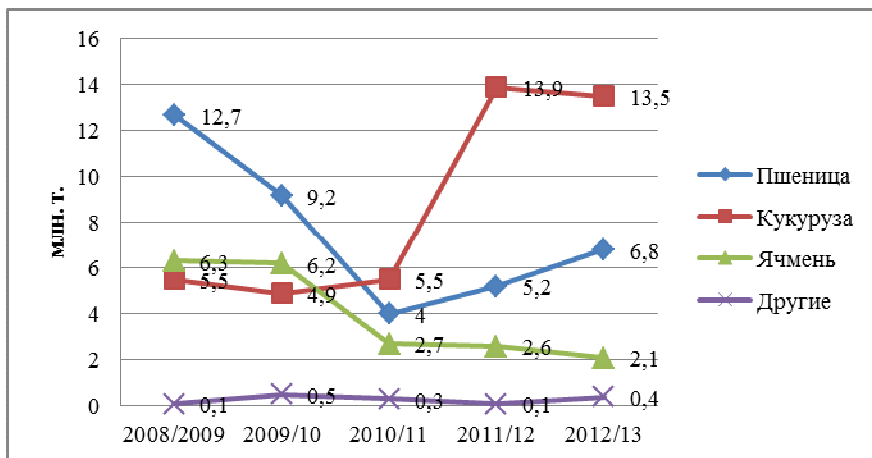


Рис. 1 Графическое отображение роста экспорта зерновых культур

Современная практика знает два способа перевозки зерновых грузов: насыпью и в мешках.

Перевозка насыпью облегчает и ускоряет проведение грузовых операций, однако объем зерна насыпью в трюме на 10 — 15% меньше, чем зерна в мешках.

Учитывая низкую пропускную способность украинских портов, перевозка зерновых в герметичной упаковке типа "Bid Bag" становится весьма актуальным вопросом.

В Украине перевалка экспортных и транзитных зерновых грузов идет в акваториях 14 морских торговых портов из 18. К ним относятся, Одесский, Ильичёвский, Южный, Белгород-Днестровский, Николаевский, Херсонский, Скадовский, Измаильский, Ренийский, Бердянский, Мариупольский, Керченский, Севастопольский, Усть-Дунайский.

Порты, через которые экспортируется зерно, можно условно объединить в 3 основные группы:

Первая группа — порты, в акваториях которых имеются мощные специализированные зерновые терминалы. Они рассчитаны на грузопотоки со всей Украины, а также на транзитное зерно из России и Казахстана. К этой группе портов относятся: Ильичевск, Одесса, Южный, Севастополь.

Данная группа портов обладает следующими отличительными характеристиками:

1. Возможностью погрузки крупнотоннажных судов;
2. Высокой скоростью приема/погрузки зерна на судно;
3. Наличием значительных емкостей для хранения зерна.

Вторая группа — порты, где есть специализированные зерновые терминалы небольшой ёмкости, неспециализированные терминалы, переоборудованные для перевалки зерновых, ограниченные глубины у причалов. К этой группе портов относятся: Николаев, Херсон.

Третья группа — порты, не имеющие элеваторов и специализированных терминалов. Они способны обеспечить экспорт зерна, используя временную или сезонную технологию и схему механизации, позволяющую работать по прямому варианту «вагон-судно», «автомобиль-судно» и «баржа-судно». К этой группе портов можно отнести: Белгород-Днестровский, Рени, Скадовск, Бердянск, Усть-Дунайск.

Транспортировка груза в упаковке типа "Big Bag" позволяет максимально эффективно задействовать работу портов второй и третьей группы, что в свою очередь ускорит и увеличит объёмы экспорта зерна в Украине.

Мягкий контейнер (*биг-бэг*, англ. *big-bag*, FIBC, МКР) — мешок большого размера и грузоподъемности, имеющий стропы и петли. Применяется для хранения и транспортировки сухих сыпучих материалов, таких как цемент, песок, различные смеси, зерно, удобрения, гранулированный пластик и тому подобное.

Широкое использование биг-бэгов обусловлено не только их сравнительно невысокой стоимостью, но и высокими показателями прочности и широкими функциональными возможностями. С каждым годом интерес к биг-бэгам, как к универсальной таре, только возрастает. Они востребованы в различных промышленных и бытовых сферах, где необходимы конкретные условия хранения продукции.

Мягкий контейнер, как правило, производится из полипропиленовой или капроновой (полиамидной) ткани. Для большей защиты от влаги, полипропиленовая ткань может быть ламинирована и/или содержать полиэтиленовый вкладыш. Не подвержен плесени и гниению.

Стандартный размер мягкого контейнера — 90x90 см, высота — от 90 см до 200 см. Грузоподъемность биг-бэга составляет от 300 до 2000 кг, но мешки большего размера могут выдерживать до 3000 кг. Контейнер может иметь одну, две или четыре стропы, различные оп-

ции для облегчения погрузки и выгрузки (клапаны верхний и нижний, сборку, раскрывающееся дно).

Такой вид упаковки, как мягкий контейнер, снижает затраты по погрузке и транспортировке сырья и защищает продукцию от влаги.

Одним из преимуществ использования МКР является высокое качество зерна, по сравнению с насыпью. Рассматриваемый способ можно отнести к технологии хранения сельскохозяйственной продукции, преимущественно зерна.

Хранение зерновых масс без доступа воздуха - это почти единственный способ, исключаящий необходимость применения тепловой сушки в зерносушилках.

Известно, что при хранении зерна в анаэробных условиях происходит замещение кислорода углекислым газом и исключается возможность возникновения самосогревания и плесневения, и связанной с этим порчи хранимой продукции, фиксируемой средствами контроля при хранении.

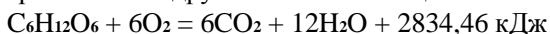
Таким образом, в среде продукта создается атмосфера, насыщенная углекислым газом. В результате происходит гибель микроорганизмов и насекомых на различных стадиях развития, обеспечивается сохранность зерна при длительном хранении и отпугивание грызунов от зерна.

"Silobag" - герметичная система хранения сухого и влажного зерна в трёхслойных полиэтиленовых мешках. В них создаётся микроклимат, богатый  $\text{CO}_2$  и бедный  $\text{O}_2$ , что подавляет, дезактивирует и уменьшает не только возможность воспроизводства и развития насекомых и грибов, но также и все активные процессы в самом зерне, что облегчает его хранение. Тем самым зерновая масса практически не изменяет заданную температуру и влажность, что сохраняет качество зерна.

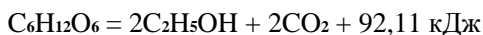
Помимо финансовых преимуществ, полиэтиленовые мешки позволяют хранить зерно непосредственно на полях, делая тем самым сбор урожая динамичным. Однако размеры упаковки типа "Silobag" не позволяют использовать её при транспортировке.

Одним из основных условий сохранения высокого качества зерна является его герметичное хранение. Для того чтобы хранение было успешным, необходимо создать условия, неблагоприятные для развития насекомых и грибов, и снизить собственную активность зерна. Основным принципом герметичного хранения является поглощение находящегося внутри кислорода до того уровня, при котором исчезает или инактивируется способность к воспроизведению и/или развитию пара-

зитов и грибов. При респираторном процессе всех компонентов (зерно, насекомые, грибки и т.д.) происходит поглощение кислорода и выделение углекислого газа. Так как герметичное хранение препятствует обмену воздухом и газами между внутренней и внешней средой, то при модификации атмосферы больше не образуются условия, благоприятные для развития паразитов, что обеспечивает долговременное хранение. Энергия, необходимая живым существам для роста и развития, образуется в результате респираторного процесса и составляет сложную систему химических реакций, которые возможны благодаря присутствию самих же организмов. Присутствие  $O_2$  обеспечивает аэробное дыхание, где полностью сжигаются все углеводы; сложные вещества, такие как крахмал, разлагаются на  $CO_2$ , воду и энергию. Часть этой энергии превращается в тепло благодаря экзотермическим реакциям, а другая часть используется при синтезе с другими составляющими.



При отсутствии  $O_2$  некоторые организмы, такие как дрожжи и бактерии, могут жить и развиваться, частично разлагая углеводы, образуя молочную и уксусную кислоты и спирты. Эта реакция называется ферментацией, при которой освобождается гораздо меньше тепла, чем в присутствии воздуха, и образуется герметичная среда с высокой степенью влажности.



Имеющиеся опытные данные по хранению зерна дают следующую информацию:

- пшеница упакована в пластиковые мешки с влажностью 12%, 14% и 16% при 22-23°C сроком на 60, 116, 136 и 208 дней.

- начальная влажность пшеницы 12%, затем она достигала 14% и 16%.

- начальная герминативная сила (ГС) 94%, она поддерживалась в мешках с пшеницей, упакованной с влажностью 12%, в течение 208

- дней, а у пшеницы с влажностью 14% ГС сократилась до 62% и до 3% у пшеницы с влажностью 16%.

- мучнистое качество также страдает при соотношении влажность – время хранения. При влажности 12% мучнистое качество поддерживалось в течение всего периода хранения, при влажности 14% замечено его ухудшение, а при влажности 16% оно наибольшее.

В другой работе Casini (1996) провел испытания, упаковав 20 тонн пшеницы с влажностью 13%, где обнаружил, что ГС (96% начальная) и мучнистое качество не были ухудшены в течение всего периода хранения, но он не указывает период хранения. Но рекомен-

дует, чтобы срок хранения зерна с влажностью 13% не превышал 60 дней, зерно необходимо высушить до 11%.

Коммерческое качество кукурузы (испорченное зерно и гектолитровый вес) не пострадало по прошествии 4 месяцев испытаний в мешках с влажностью 13,6%, но в мешках с влажностью 15% качество начинает ухудшаться по истечении 2 месяцев, а с влажностью 17% ухудшение наблюдается раньше 2 месяцев. Эти же авторы провели пробы в 3500 кг мешке кукурузы с влажностью 14%. Они обнаружили, что суточные температуры колеблются на 15-20 см от поверхности, в то время как остальное зерно не претерпевает суточных изменений температуры.

Респираторная активность насекомых и зерна понижает уровень  $O_2$  и повышает содержание  $CO_2$  в герметичной упаковке.

Температура влияет не только на активность насекомых, но и на собственную активность зерна. Паразиты, попадающие с зерном, – не только большая проблема для тропического и субтропического климатов, а также и для теплого. Оптимальная температура для развития насекомых в зерне составляет 25-30°C (Yanucci, 1996), но при температурах, превышающих 10°C, некоторые виды могут доставить неприятности (Brooker, 1992). Дыхание зерна также подвержено влиянию температуры зерна (табл. 2)

Табл. 2. Дыхание твердой яровой пшеницы с влажностью 15% при разных температурах

Температура, °C	Двуокись углерода при дыхании, мг/100 г зерна/24 часа
4	0,24
25	0,45
35	1,30
45	6,61
55	31,73
65	15,71
75	10,28

Чем меньше собственная температура зерна, тем меньше его биологическая активность. При низких температурах понижается активность насекомых (снижается риск инфекции и потребления сухого продукта) и зерна, что улучшает условия его хранения.

Хранение в герметичной упаковке помимо создания среды, неблагоприятной для развития насекомых, также заметно снижает возможность заражения зерна. Инфекция может попасть в поле, в зараженных до размещения туда зерна помещениях. При хранении в пластиковых мешках единственная возможность заражения возможна на полях. Если насекомые попадают вместе с зерном, то они, естественно, попадают и в мешок. Второй путь невозможен, т.к. мешки одноразовые и до упаковывания не использовались, соответственно, не могут быть заражены. Это очень важный аспект, потому что вторая альтернатива заражения зерна наиболее распространена. Третий способ невозможен, т.к. мешок герметично закрывается и препятствует проникновению внутрь различных насекомых.

Способность мягкой упаковки рассеивать тепло зерна так же очень важна. Например, подсолнечник с влажностью 8,4% в среднем понижает свою температуру по сравнению с начальной на 10,28°C, 14,1°C и 18,16°C по прошествии 47, 105 и 160 дней хранения соответственно, а у зерна с влажностью 16,4% падение температуры в течение того же периода произошло на 14,11°C, 18,06°C и 22,23°C. Конечная температура зерна, как в мешке с подсолнечником с влажностью 8,4%, так и в мешке с влажностью 16,4%, становится достаточно низкой и не представляет неудобств при хранении.



Рис. 2 Эволюция температур окружающей среды и зерна (ср. 24 ч) в течение периода проведения проб у подсолнечника со средней влажностью 8,4%



Рис. 3 Эволюция температур среды и зерна (ср. 24 ч) в течение периода проведения проб у подсолнечника со средней влажностью 16,4%

Технология загрузки зерна в мешки удобного размера и формы сразу при сборе урожая позволит пропустить этап его хранения на полях с последующей разгерметизацией и транспортировкой с перевалками и перевозками, что сэкономит время и затраты.

Внедрение технологии подобного рода может обеспечить загруженность портов любого типа по всей Украине. Загрузка зерна в герметичный мешок в момент сбора урожая дает большие экономические, временные и качественные преимущества по сравнению с использованием привычной технологии с использованием зернохранилищ, элеваторов и постоянной перевалке зерна вплоть до самого судна.

На данный момент ни один морской порт Украины не способен принять суда с дедвейтом 100-150 тыс.т., а именно они являются наиболее эффективными грузоперевозчиками. Исходя из этого, стоимость дополнительных перевозок и перевалок увеличивает себестоимость зерна.

Сравнительная характеристика качества зерна при его хранении и транспортировке в герметичной мягкой упаковке приведена в таблице 3.

Табл. 3 Хранение зерна в герметичной упаковке при заданной влажности

Влажность	Отличное состояние	Хорошее состояние	Удовлетворительное состояние
До 14%	6 месяцев	12 месяцев	18 месяцев
14-16%	2 месяца	6 месяцев	12 месяцев
Больше 16%	1 месяц	2 месяца	3 месяца

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 8th International Conference on Controlled Atmosphere and Fumigation in Stored Products -Chengdu, China, 2008.
2. Онищенко В.П., Нгуен Вьет Зунг, Лагутин А.Е., Као Вань Хунг. Экспериментально-теоретическое исследование процессов респирации и транспирации при холодильном хранении плодов манго. – Холодильная техника и технология - 2008, № 6 (116). - с. 63-70.
3. Rodríguez J. C., Bartosik R. E. Malinarich H.D. Grain Storage in Plastic bags: The Silobag System. Wheat Final Report. IPESA & MS. Buenos Aires - 2004. - 24 p.
4. Чумак И.Г., Онищенко В.П., Нгуен Вьет Зунг, Лагутин А.Е. Математическое моделирование тепло-влажностных процессов при хранении плодоовощного сырья в модифицированной газовой среде // Холодильная техника и технология. – 2007.- № 4 (108). - с. 51-57.
5. Brooker R.J., Widmaier E.P., Graham L.E., Stiling P.D. BIOLOGY Second Edition. The McGraw-Hill Companies Inc., New York. - 2011. - 1453 p.



УДК 621.431.74.436-52(07)

Донской В. Г.  
ОНМА

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ, ЗАЩИТЫ И РЕЗЕРВИРОВАНИЯ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

Проблема оценки эффективности применения разветвленных систем контроля, защиты и резервирования судовых энергетических установок (СЭУ) возникла сравнительно недавно в связи с интенсивным пополнением флота автоматизированными судами.

Системы контроля, защиты и резервирования не связаны непосредственно с технологическими процессами, а лишь подключаются параллельно к объекту контроля. Наличие их, как в прочем и механика-оператора, не повышает вероятности безотказной работы собственно объекта контроля, а позволяет лишь искусственно принять соответствующие меры по упреждению последствий отказов системы управления или собственных технологических средств, что иногда отождествляется в литературе с надежностью средств контроля, защиты и резервирования. Однако подобное отождествление неправомерно, так как надежность таких средств автоматизации не связана функционально с надежностью средств управления или оборудования СЭУ. Поэтому в литературе дискутируется вопрос об эффективности различных уровней автоматизации СЭУ, в том числе об экономической эффективности применения разветвленных систем контроля, защиты и резервирования с точки зрения надежности объекта в эксплуатации.

Покажем, что потенциально всегда имеется экономический эффект от использования средств контроля, защиты и резервирования, если в функциональном отношении сравнить между собой автоматизированные объекты СЭУ с неавтоматизированными или объекты различных уровней (степеней) автоматизации. Для большей наглядности сравним между собой автоматизированные объекты с неавтоматизированными.

Предварительно рассмотрим возможные виды отказов:

1. катастрофические отказы, выражающиеся в выходе из строя объекта в целом или его отдельных узлов;
2. параметрические отказы, или отказы-остановки оборудования, включая вызванные неисправностью средств автоматизации;

3. отказы средств автоматизации, не вызывающие аварийной остановки объекта.

Обозначим интенсивность катастрофических отказов:  $\lambda_1$ - неавтоматизированного объекта;  $\lambda_2$  - автоматизированного объекта;  $\lambda_3$  - параметрических отказов;  $\lambda_4$ - отказов средств автоматизации.

Допустим поток отказов стационарный. Тогда возможный ущерб для неавтоматизированного  $Y_n$  и автоматизированного  $Y_a$  объектов за время  $t$  составляет:

$$\left. \begin{aligned} Y_n &= \bar{Y}_1 \cdot \lambda_1 \cdot t; \\ Y_a &= (\bar{Y}_2 \cdot \lambda_2 + \bar{Y}_3 \cdot \lambda_3 + \bar{Y}_4 \cdot \lambda_{4,4}) \cdot t, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где средний материальный ущерб составляет:  $\bar{Y}_1$ - при одном катастрофическом отказе неавтоматизированного объекта;  $\bar{Y}_2$ - при одном катастрофическом отказе автоматизированного объекта;  $\bar{Y}_3$ - при одном параметрическом отказе автоматизированного объекта;  $\bar{Y}_4$ - при одном отказе средств автоматизации.

Учитывая, что  $\bar{Y}_1 = \bar{Y}_2$  (так вполне может случиться), можно записать:

$$Y_a = (\bar{Y}_1 \cdot \lambda_2 + \bar{Y}_3 \cdot \lambda_3 + \bar{Y}_4 \cdot \lambda_{4,4}) \cdot t \quad (2)$$

Разность возможных ущербов при введении автоматизации:

$$\Delta Y = Y_n - Y_a. \quad (3)$$

Подставив выражения (1,2) в (3) и сделав преобразования, получим:

$$\Delta Y_a = [\bar{Y}_1 \cdot (\lambda_1 - \lambda_2) - \bar{Y}_3 \cdot \lambda_3 - \bar{Y}_4 \cdot \lambda_{4,4}] \cdot t \quad (4)$$

Относительный экономический эффект от использования средств контроля, защиты и резервирования за время  $t$  определяется выражением:

$$\varepsilon = \frac{\Delta Y}{W_a \cdot t}, \quad (5)$$

где  $W_a$  - приведенные годовые затраты на автоматизацию.

В свою очередь:

$$W_a = C_a + E_n \cdot K_a,$$

где  $C_a$  - себестоимость средств автоматизации, включая годовые эксплуатационные расходы;

$K_a$  - капитальные вложения в автоматизацию;

$E_n$  - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Подставив (4) в (5) и приняв  $t=1$  (одному году), получим:

$$\varepsilon = \frac{\bar{Y}_1 \cdot (\lambda_1 - \lambda_2) - \bar{Y}_3 \cdot \lambda_3 - \bar{Y}_4 \cdot \lambda_{;4}}{C_a + E_n \cdot K_a}. \quad (6)$$

Покажем, что  $\varepsilon > 0$ , то есть применение средств контроля, защиты и резервирования эффективно и необходимо.

Безотказность (надежность) автоматизированного объекта ниже, чем неавтоматизированного. Тем не менее экономический эффект получается в этом случае за счет перевода катастрофических отказов  $\lambda_2$  в параметрические  $\lambda_3$  (отказы-остановки).

Практика эксплуатации автоматизированных СЭУ показала, что

$$\left. \begin{array}{l} \bar{Y}_1 \gg \bar{Y}_3 \gg \bar{Y}_4 \\ \lambda_1 < \lambda_3 \gg \lambda_4 \end{array} \right\} \quad (7)$$

В соответствии с условием (7) можно записать, что

$$\lim_{\lambda_2 \rightarrow \infty} [\bar{Y}_1 \cdot (\lambda_1 - \lambda_2) - \bar{Y}_3 \cdot \lambda_3 - \bar{Y}_4 \cdot \lambda_{;4}] > 0, \quad (8)$$

а, значит, согласно (6) величина  $\varepsilon > 0$ , то есть применение средств контроля, защиты и резервирования эффективно и необходимо.

Применение средств контроля, защиты и резервирования представляет возможность использования малонадежного, но высокопроизводительного оборудования, а в ряде случаев – осуществления технологических процессов, невыполнимых при их отсутствии. Это основывается на возможности поддержания с помощью указанных средств автоматизации сколь угодно малой положительной разности  $\lambda_1 - \lambda_2$  при любом значении  $\lambda_1$ .

УДК 621.436

Заблоцкий Ю.В., Мацкевич Д.В.  
ОНМА

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЕРНИСТЫХ ТОПЛИВ НА РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС И ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ СУДОВЫХ СРЕДНЕОБОРОТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ**

Морские суда, обладающие энергонасыщенными силовыми установками, являются значительными потребителями топливно-энергетических ресурсов. Одним из способов снижения эксплуатационных расходов судовых энергетических установок является использование тяжелых топлив, имеющих более низкую стоимость по отношению к дизельному топливу. В настоящее время использование топлив с повышенной вязкостью характерно не только для малооборотных дизелей (которые традиционно эксплуатируются на топливах подобного качества) и современных высокофорсированных среднеоборотных дизелей (СОД), топливные системы и топливная аппаратура которых спроектированы на работу с тяжелыми топливами, но и СОД предыдущего поколения, ранее эксплуатировавшихся исключительно на дизельном топливе.

Вместе с тем, применение в СОД тяжелых дешевых сортов топлива снижает показатели надежности дизеля в целом и топливной аппаратуры в частности, а также ухудшает его техническое состояние, прежде всего деталей цилиндропоршневой группы и прецизионных пар топливных насосов высокого давления (ТНВД) и форсунок. Поэтому, одной из важнейших проблем, возникающих при эксплуатации судовых энергетических установок, является повышение надежности и долговечности двигателей внутреннего сгорания, количество и модельный ряд которых постоянно увеличивается [1].

В последние годы значительно усовершенствовались все судовые дизели, в том числе СОД. В связи с этим изменились требования к качеству топлива, а также стало в большей степени проявляться влияние его эксплуатационных характеристик на эффективность топливоиспользования. Эксплуатационные свойства топлива влияют не только на энергетические и экономические параметры работы судового дизеля, но и непосредственно определяют его хранение, транспортировку, перекачку, подачу, а также развитие рабочего процесса [2]. Стремление судовладельцев и чартерных компаний к снижению эксплуатационных затрат, приводит к максимально возможному использованию в

судовой энергетике высоковязких сортов топлива с низкой стоимостью. При этом данные топлива характеризуются повышенным удельным весом и высоким содержанием сернистых соединений. Сера и ее соединения в качестве естественной составляющей входят в состав сырой нефти в виде элементарной серы, сероводорода и различных органических соединений (меркаптанов, сульфидов, дисульфидов, которые, обладая невысоким молекулярным весом, являются наиболее коррозионно активными и вызывают коррозионный износ и усиленное смолообразование в топливной аппаратуре).

В современных судовых СОД с целью снижения эксплуатационных расходов используются высоковязкие топлива с максимально допустимым содержанием серы. Основными топливами для судовых СОД являются топлива дизельное маловязкое MDO (Marine Diesel Oil) с вязкостью  $50 \text{ мм}^2/\text{с}$ ; моторное средневязкое HFO180 (Heavy Fuel Oil) – с вязкостью  $180 \text{ мм}^2/\text{с}$ ; моторное тяжелое HFO 380 – с вязкостью  $380 \text{ мм}^2/\text{с}$ . При особых условиях работы используют аналогичные марки топлива с пониженным содержанием серы HFO180-LS (Low Sulfur) и HFO380-LS.

Содержание серы в топливе также оказывает свое влияние на такой параметр, как его смазывающая способность, которая оценивается по величинам износа, критической нагрузке заедания металлов и сил трения (коэффициента трения). В ряде случаев более важной для практики характеристикой топлива является его противоизносные свойства, а не смазочная способность. Это объясняется тем, что для многих агрегатов (топливных, гидравлических), работающих в среде низкомолекулярных углеводородных жидкостей (масла или топлива), более важна защита их от повышенного износа, чем некоторое снижение мощности привода вследствие уменьшения сил трения.

Основным узлом дизеля, в котором может эффективно использоваться смазывающая способность топлива, является его топливная аппаратура, в частности плунжера ТНВД и распылители форсунок. Для углеводородных жидкостей соблюдается следующее правило: улучшение противоизносных свойств приводит к улучшению смазывающей способности. Но из этого правила есть исключения, прежде всего, при граничном трении, которые характерны именно для ТНВД. В этом случае определяющую роль играют особые «квазикристаллические» свойства топлива, которые зачастую не описываются расчетными методами, а определяются экспериментально [4].

Смазочное действие топлива в реальных условиях работы ТНВД проявляется в сложной совокупности, определяемой условиями трения, поэтому тяжелые условия работы топливной аппаратуры выдвигают повышенные требования к триботехническим характеристикам как самих прецизионных пар, так и топлив, используемых в СОД [5].

Учитывая изложенное, в работе выполнялись исследования влияния сернистых топлив на эксплуатационные и экономические параметры работы судового СОД, а также на техническое состояние его топливной аппаратуры высокого давления.

Эксперименты выполнялись на трех однотипных судовых СОД S6A2 фирмы «Mitsubishi», имеющих автономную топливную систему. Это позволяло проводить параллельные исследования для различных сортов топлива. Во время эксперимента дизеля имели одинаковое техническое состояние и эксплуатировались при одинаковых нагрузках.

В качестве эксплуатационных характеристик определялись температура газов перед газотурбонагнетателем (ГТН) и максимальное давление сгорания, которые измерялись с помощью штатных средств диагностики. Эти параметры относятся к основным, по которым происходит регулирование рабочего процесса дизеля и определение рассогласования нагрузки по цилиндрам. За экономическую характеристику принимался удельный эффективный расход топлива.

Исследования проводились для разных сортов судового топлива: маловязкого MDO, средневязкого HFO180 и HFO180-LS, тяжелого HFO 380 и HFO380-LS.

Результаты исследований приведены в табл. 1 и на рис.1, 2, 3.

При использовании топлив с повышенным содержанием серы в его структурном составе возрастает температура газов перед ГТН, а вместе с ней и тепловые нагрузки на весь дизель.

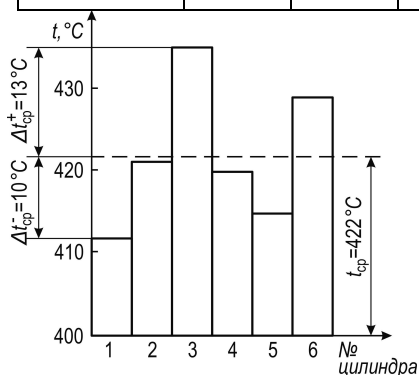
Возрастание степени рассогласования величины максимального давления сгорания по цилиндрам дизеля свидетельствует как о повышении триботехнических потерь в элементах топливной аппаратуры дизеля, так и худшем распыливании топлива.

Кроме того, при проведении экспериментов оценивалось техническое состояние топливной аппаратуры дизеля.

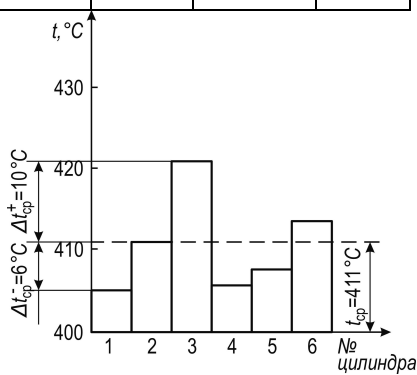
Высокая энергоемкость и насыщенность топливной системы судовых дизелей характеризуется самым ответственным, с точки зрения обеспечения надежности, трибоузлом – парой трения плунжер–втулка ТНВД и парой трения игла форсунки – корпус распылителя.

Таблица 1. Влияние различных топлив на показатели рабочего процесса судового СОД S6A2

Марка топлива	Содержание серы в топливе, S, % по массе	Средняя температура газов перед ГТН, $t_{cp}$ , °C	Максимальное отклонение температуры газов перед ГТН от среднего значения, °C	Максимальное давление сгорания, $P_c$ , МПа	Отклонение максимального давления сгорания от среднего значения, %	Удельный эффективный расход топлива, $b_{ef}$ , г/(кВт·час)
MDO	0,1	405	8	12,55	1,56	191
HFO180-LS	0,5	411	10	12,5	2,43	196
HFO180	1,1	414	12	12,6	2,71	197
HFO380-LS	1,6	418	12	12,5	2,63	201
HFO380	2,8	422	13	12,6	3,28	204



а)



б)

Рис. 1. Рассогласование температуры газов перед ГТН по цилиндрам судового СОД S6A2 при работе на различных топливах: а – высоковязкое IFO 380; б – средневязкое с низким содержанием серы IFO 180-LS

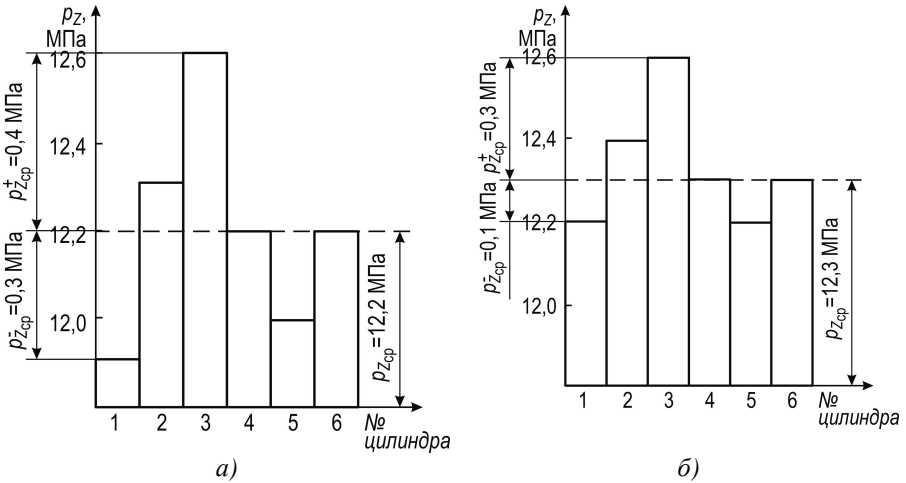


Рис. 2. Рассогласование максимального давления сгорания по цилиндрам судового СОД S6A2 при работе на различных топливах: а – высоковязкое HFO380; б – средневязкое с низким содержанием серы HFO180-LS

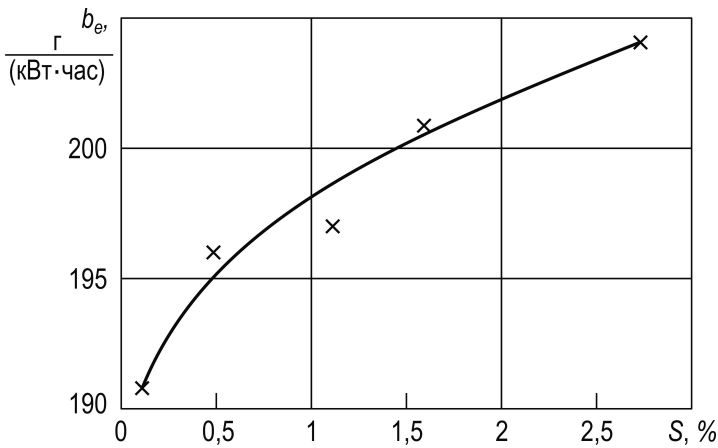


Рис. 3. Влияние содержания серы в топливе на удельный эффективный расход судового СОД S6A2

Повышенный износ или заклинивание в данных трибосопряжениях приводит к отказу не только в отдельно взятом ТНВД, но и к нарушению в работе всей топливной системы высокого давления. На рис. 4, 5 показаны наиболее интенсивные зоны изнашивания преци-



зионных пар топливной системы высокого давления, а также интенсивность распределения износа по длине элемента.

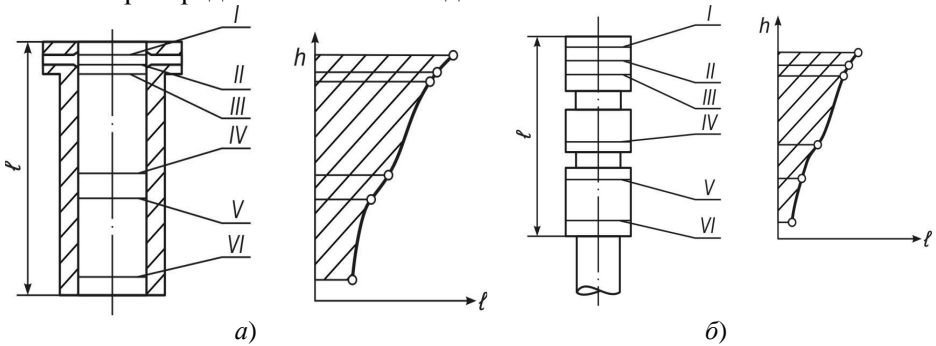


Рис. 4. Зоны и интенсивность изнашивания элементов ТНВД: а) втулка плунжера; б) плунжер ТНВД

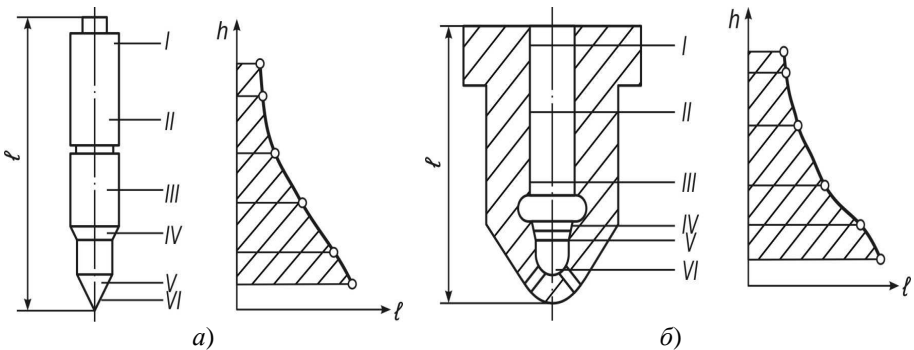


Рис. 5. Зоны и интенсивность изнашивания на игле форсунки (а) в корпусе распылителя (б)

Изложенные утверждения были проверены и подтверждены на топливной аппаратуре судовых дизелей, установленных на транспортных судах. Результаты этих исследований представлены в таблице 2, где приведены значения износа и интенсивности изнашивания прецизионных пар топливной аппаратуры различных дизелей за 1000 часов работы.

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что стремление обеспечить эксплуатацию судовых СОД на относительно дешевых сортах топлива, характеризующихся повышенными вязкостью и содержанием серы, приводит к ухудшению эксплуатационных пара-

метров работы дизеля и технического состояния его элементов, в частности плунжеров ТНВД.

Таблица 2. Износ прецизионных пар топливной аппаратуры судовых СОД

Тип дизеля, марка топлива, содержание серы в топливе	Прецизионная пара	Общий износ, мм	Интенсивность изнашивания, мм/час
Mitsubishi S6A2, HFO180-LS, S = 0,5%	плунжер–втулка	5,7·10 <sup>-3</sup>	4,8·10 <sup>-10</sup>
	игла–распылитель	3,3·10 <sup>-3</sup>	2,7·10 <sup>-10</sup>
Volvo Marine Engines D122, HFO380-LS, S = 1,6 %	плунжер–втулка	6,8·10 <sup>-3</sup>	5,4·10 <sup>-10</sup>
	игла–распылитель	4,2·10 <sup>-3</sup>	2,9·10 <sup>-10</sup>
S.E.M.T. – Pielstick 8PC-2-5L, HFO380, S = 2,8 %	плунжер–втулка	8,2·10 <sup>-3</sup>	5,6·10 <sup>-10</sup>
	игла–распылитель	5,3·10 <sup>-3</sup>	3,1·10 <sup>-10</sup>

Таким образом, одной из задач современной эксплуатации судовых технических средств является нахождение оптимальных затрат на топливо и его подготовку при минимальных эксплуатационных расходах на поддержание требуемого технического состояния и параметров работы судовых дизелей

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конкс Г.А., Лашко В.А. Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта. – М.: Машиностроение, 2005. – 512 с.

2. Ханмамедов С.А., Добровольский В.В., Добровольская Н.Л. Минимизация энергетических затрат на топливоподготовку высоковязких топлив малооборотных ДВС системы СИМАС // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2011. – № 28. – Одесса: ОНМА. – С. 111–119.

3. Мацкевич Д.В., Заблоцкий Ю.В. Определение смазочной способности дизельных топлив // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2011. – № 28. – Одесса: ОНМА. – С. 145–153.

4. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. – М.: Физматиз, 1963. – 472 с.

5. Сагин С.В. Триботехнические процессы, протекающие в топливной аппаратуре судовых дизелей // Проблемы техники: науч.-ви́роб. журн. – 2013. – № 2. – С. 33-42.

УДК 621.436.004

Сагин С.В.  
ОНМА

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ВЗАИМОСВЯЗИ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРАНИЧНЫХ СМАЗОЧНЫХ СЛОЕВ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОТОРНЫХ МАСЕЛ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ**

Нефть и производные от нее нефтяные системы (нефтяные топлива и нефтяные масла) являются предметом изучения многих естественных наук, каждая из которых вносит определенный вклад в развитие представлений о строении и структуре этих систем. С точки зрения органической химии нефтяные масла – это смесь низко- и высокомолекулярных соединений, относящихся к различным гомологическим рядам. С позиций аналитической химии нефтяное масло, как элемент нефтяной системы, представляет собой смеси органических соединений сложного состава [1].

В терминах физической химии нефть можно определить как многокомпонентную смесь сложного состава, способную в широком интервале значений термобарических параметров изменять агрегатное состояние и, соответственно, объемные свойства. До сих пор нефтяные системы рассматриваются как молекулярные растворы, а технологические расчеты производятся на основе физических законов, описывающих молекулярные растворы: законы Рауля-Дальтона, Генри, Амага, Дарси и др. В нефтяных системах возникают значительные отклонения от идеальности за счет полярности молекул, различий в структуре и строении, что проявляется в неаддитивности многих свойств, например, вязкости. Отклонения от аддитивности имеют место не только для смесей, состоящих из углеводородов различных гомологических рядов, но и в пределах одного гомологического ряда. Эти особенности нефтяных систем обусловлены склонностью образующих их компонентов к ассоциации.

С позиций коллоидной химии моторное масло, получаемое из нефти, – это сложная многокомпонентная смесь, которая в зависимости от внешних условий проявляет свойства молекулярного раствора или дисперсной системы [2].

Работа моторного масла в судовых дизелях сопровождается изменением его физико-химического состояния, в том числе деформа-

цией. Для смазочного материала, находящегося в зоне контакта, характерны основные признаки деформации: наличие приложенной извне механической силы и изменение формы, которое заключается в смещении частиц тела (в данном случае молекул) относительно друг друга. В случае рассмотрения пары поршень-втулка в качестве механической силы на молекулы масла действует нормальная, а в случае вал-вкладыш – радиальная сила кривошипно-шатунного механизма. Как в том, так и в другом случае, приложенная нагрузка вызывает появление внутренних сил, противодействующих внешним усилиям, которые равны, но противоположны им по направлению. В смазочном слое возникает напряжение  $P$ , равное отношению силы  $F$  к единице площади  $S$ :

$$P = \frac{F}{S}.$$

Силу и напряжение можно разделить на нормальные (давление) и касательные (напряжение сдвига) [3]. Реологические характеристики смазочного материала, находящегося в зоне трибосопряжения вал-вкладыш, наиболее характеризует напряжение сдвига, которое может быть определено как

$$\tau = \frac{F}{S}. \quad (1)$$

Закон Ньютона для так называемых истинно-вязких (ньютоновских) жидкостей связывает внешнее напряжение и скорость перемещения отдельных слоев:

$$P = \frac{F}{S} = \eta \frac{du}{dx}, \quad (2)$$

где  $\eta$  – динамическая вязкость, Па·с;

$\frac{du}{dx}$  – градиент скорости [4].

Коэффициентом пропорциональности в данной формуле служит  $\eta$  – динамическая вязкость системы, являющаяся материальной константой жидкости при данной температуре.

С учетом (1) выражение (2) можно записать как

$$\tau = \eta \cdot \gamma',$$

где  $\gamma'$  – скорость сдвига.

Скорость сдвига  $\gamma'$  представляет собой градиент скорости поперек зазора и математически выражается в виде дифференциала:

$$\gamma' = \frac{dv}{dy}, \quad \frac{M/c}{M} = c^{-1}.$$

Таким образом, скорость сдвига в паре вал-вкладыш можно рассчитать, зная частоту вращения вала и ширину вкладыша подшипника.

Вязкость дисперсной системы может быть рассчитана по уравнению Эйнштейна, выведенного им на основании учета гидродинамического сопротивления течению, которое оказывают частицы дисперсной фазы:

$$\eta = \eta_0 (1 + \alpha\chi),$$

где  $\eta$  – вязкость дисперсной системы;

$\eta_0$  – вязкость дисперсионной среды;

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий форму частиц дисперсной фазы (для сферических частиц  $\alpha=2,5$ );

$\chi$  – объемная доля дисперсной фазы.

Уравнение Эйнштейна не учитывает многих особенностей дисперсных систем и поэтому справедливо лишь при соблюдении целого ряда условий.

Уравнением, позволяющим рассчитать объем жидкости, вытекающей из цилиндрической трубы (капилляра), является уравнение Пуазейля:

$$Q = \frac{\pi r^4}{8l\eta} Pt,$$

где  $Q$  – объем жидкости, вытекающей за время  $t$  (объемный расход);

$r, l$  – соответственно радиус и длина капилляра;

$\eta$  – вязкость жидкости;

$P$  – давление, вызывающее течение жидкости.

Большинство дисперсных систем имеет аномальный характер вязкости, т.е. они не подчиняются ни закону Ньютона, ни уравнению Пуазейля. Вязкость таких систем является функцией напряжения или сдвига. Основной причиной аномальной вязкости может быть пространственная структура, возникающая при взаимодействии частиц дисперсной фазы между собой. По своим реологическим свойствам структурированные системы (гели, пасты, структурированные сус-

пензии и др.) занимают промежуточное положение между жидкостями и твердыми телами. К подобным системам можно отнести структурированные тонкие слои смазочного материала, находящегося в узком зазоре металлических пар трения втулка-поршень и особенно вал-вкладыш. Наличие пространственной структуры придает этим системам своеобразные механические свойства: упругость, прочность, пластическую вязкость [5, 6].

Пластические течения дисперсных систем описываются уравнением Бингама:

$$P - P_d = \eta' \frac{du}{dx},$$

где  $\eta'$  – вязкость, соответствующая пластическому течению системы;

$P_d$  – предел текучести, т.е. то критическое напряжение сдвига, которое необходимо для разрушения структуры и начала течения.

В области напряжений меньше  $P_d$  система проявляет упругие свойства, при  $P > P_d$  наблюдается пластическая деформация. В случае  $P_d = 0$ , уравнение Бингама переходит в уравнение Ньютона.

Аномальный характер вязкости моторного масла более всего проявляется в граничных смазочных слоях, образуемых смазочным материалом на металлических поверхностях (в частности, вкладышах подшипников). Подобное явление поясняется квазикристаллической природой граничных смазочных слоев и наличием в них ориентационной упорядоченности молекул.

Стратификация вязкости смазочного материала, находящегося в пределах граничного слоя и в общем объеме узла смазывания, может быть определена с помощью ротационного реометра [7].

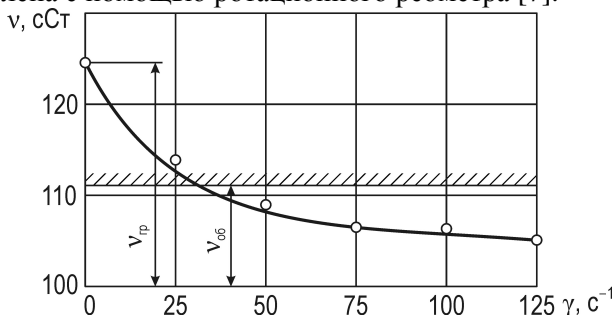


Рис. 1. Зависимость вязкости моторного масла HLX40 фирмы Castrol от скорости сдвига при толщине масляного слоя 20 мкм

С этой целью путем экспериментальных исследований были определены реологические зависимости вязкости судового моторного масла HLX40 фирмы Castrol  $\nu$  от скорости сдвига  $\dot{\gamma}$ , которая связана с частотой вращения коленчатого вала и размерами подшипников кривошипно-шатунного механизма. При этом было установлено, что течение моторного масла в трибосопряжении вал- вкладыш носит неньютоновский характер, значения «объемной» вязкости  $\nu_{об}$  и вязкости в граничном смазочном слое  $\nu_{гр}$  отличаются друг от друга, а возрастание скорости сдвига приводит к уменьшению вязкости граничного смазочного слоя  $\nu_{гр}$  (рис.1).

Определение толщины граничного слоя, которая является одной из основных характеристик, характеризующей его прочность и способность оказывать сопротивление нормальным нагрузкам, можно производить рядом способов. Одним из основных методов получения информации об особенностях ориентационной упорядоченности органических жидкостей в тонких слоях является анализ зависимости формы их спектров поглощения от толщины. Для этого может быть использован метод дихроизма поглощения примесных молекул [8], реализация которого осуществляется с помощью экспериментальной установки, показанной на рис. 2.

Источник 1 обеспечивал подачу к исследуемой жидкости мало-расходящегося пучка монохроматического света, который проходил через поляризатор 2 и направлялся в световод 3, заполненный исследуемым материалом 4. Боковые поверхности световода выполнялись из стали и отполировывались по высокому классу точности. Ширина световода  $d$  изменялась в пределах 8...30 мкм с помощью микрометрического устройства и контролировалась с помощью микроскопа. На выходе из оптической системы помещалось фотоэлектрическое устройство 5, с помощью которого фиксировалась интенсивность света, прошедшего через световод. Поляризатор 2 обеспечивал два типа поляризации падающего света:  $p$ -поляризация, когда электрический вектор световой волны параллелен боковой поверхности световода и  $n$ -поляризация, когда перпендикулярен к ней. Боковые поверхности световода закрывались плоскими стеклянными пластинами, что устраняло менисковые эффекты в оптической системе. Перед экспериментом эти пластины последовательно промывались в горячей хромовой кислоте, дистиллированной воде и высушивались.

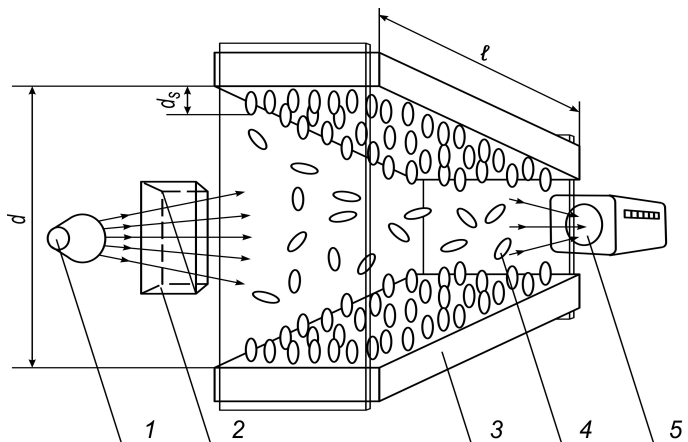


Рис. 2. Схема установки для исследования дихроизма поглощения примесных молекул: 1 – источник света; 2 – поляризатор; 3 – световод; 4 – исследуемый материал; 5 – фотоэлектрическое устройство

Определение типа структуры молекул граничного смазочного слоя проводилось по зависимости оптической плотности  $D$  (в максимуме полосы поглощения) от толщины пристенного слоя.

При прохождении света по световоду, заполненному поглощающей средой, интенсивность света  $I$  убывает по закону Бугера

$$I = I_0 \cdot e^{-D},$$

который может быть представлен в виде

$$D = \ln \frac{I_0}{I},$$

где  $I_0$  и  $I$  – соответственно, значения интенсивности света, прошедшего через световод с чистой жидкостью и с жидкостью, содержащей примесные молекулы при одинаковых значениях его ширины;

$D$  – оптическая плотность поглощающего вещества, которая. В свою очередь, определяется по выражению

$$D = l\mu_i + 2ld_s(\mu_s - \mu_i) \frac{1}{d},$$

где  $l$  и  $d$  соответственно длина и ширина световода;

$\mu_s$  и  $\mu_i$  – коэффициенты поглощения пристенных слоев и объемной жидкости в световоде;

$ds$  – толщина пристенных слоев жидкости.



Из последнего выражения видно, что в изотропной фазе зависимость  $D=f(d)$ , в соответствии с законом Бугера, линейная. Наличие упорядоченности в пристенном слое (тонкой части прослойки) приводит к отклонению от линейности и график  $D=f(d)$  возможно аппроксимировать двумя прямыми, соответствующими изотропной и объемной фазе.

С помощью вышеизложенного метода и последующей обработки экспериментальных результатов возможно получить информацию о параметре порядка, положении молекул и толщине граничного слоя. Так, данным способом определялись жидкокристаллические характеристики ММ, используемых в циркуляционных системах смазывания судовых дизелей: Castrol MLC60; Mobil 412; Exxon 420. Результаты исследований показаны на рис. 3, где приведены зависимости оптической плотности световода  $D$  для п и р- поляризаций падающего света от его обратной ширины  $1/d$ .

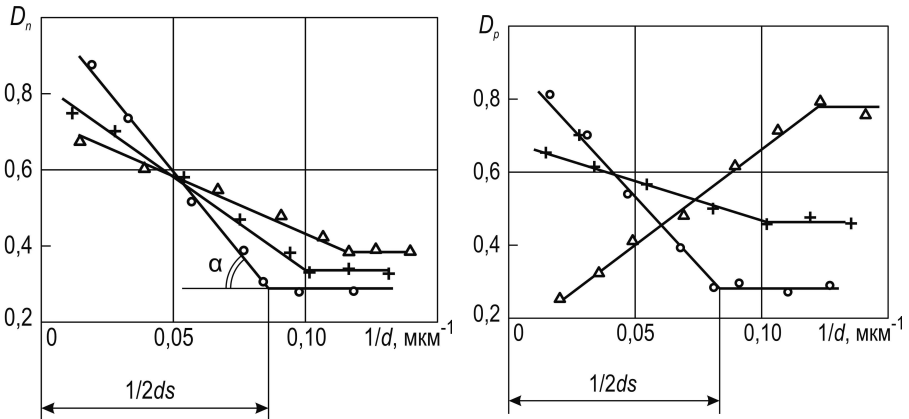


Рис. 3. Зависимости оптической плотности  $D$  от обратной ширины световода  $1/d$  для судовых ММ: 1 – M14ДЦЛ20; 2 – Castrol HLX40; 3 – Castrol CDX30

Первоначальный участок зависимости  $D=f(1/d)$  свидетельствует о степени ориентационной упорядоченности молекул в граничном смазочном слое, а точка перегиба соответствует его удвоенной толщине. Чем больше угол наклона первоначального участка, тем выше степень ориентационной упорядоченности молекул в граничном смазочном слое. Приближение точки перегиба зависимости к началу координат свидетельствует о большей толщине граничного слоя (учитывая обратную зависимость  $1/d$ ). Разнонаправленность первоначальной

чального участка зависимости (линия 1) свидетельствует о планарной ориентации молекул граничного смазочного слоя, а положение зависимостей  $D=f(1/d)$ , характеризующееся линиями 2 и 3 о их гомотропном расположении относительно поверхности. Угол наклона  $\alpha$  первоначального участка зависимости  $D=f(1/d)$  пропорционален степени ориентационной упорядоченности молекул граничного смазочного слоя, которая оценивается интегральным параметром  $ds \cdot \Delta n_{cp}$  (где  $\Delta n_{cp}$  – усредненное значение оптической анизотропии пристенного слоя), который может быть рассчитан по результатам эксперимента.

С помощью проведенных исследований было установлено, что толщина граничного смазочного слоя для судовых моторных масел составляет 8...15 мкм. Необходимо отметить, что порядок данной величины соответствует величине зазора в паре вал-вкладыш, что подтверждает ее граничный режим смазывания, а также жидкокристаллическую структуру граничных смазочных слоев моторных масел.

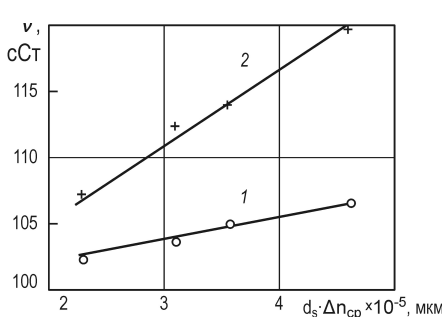
Следующим этапом исследований было определение корреляционной зависимости между реологическими и жидкокристаллическими характеристиками моторных масел. В качестве реологических характеристик принималась вязкость масла, которая различалась на «объемную» и «граничную». «Объемная» вязкость, т.е. вязкость в большом объеме, определялась с помощью штатного вискозиметра, а «граничная», т.е. вязкость масла в граничном смазочном слое – с помощью ротационного вискозиметра [7].

В результате эксперимента было подтверждено, что «граничная» вязкость моторных масел имеет большее значение, чем вязкость масла в объеме, что объясняется возникновением ориентационной упорядоченности молекул в граничном смазочном слое.

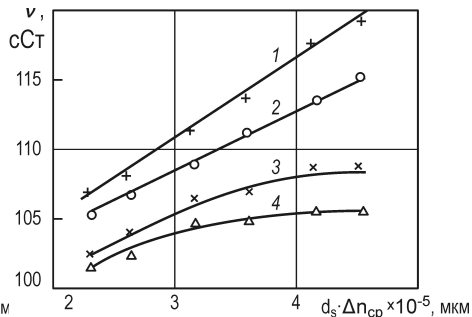
В табл.1 приведены значения, характеризующие реологические и жидкокристаллические характеристики рассмотренных судовых моторных масел, а на рис. 4 приведена корреляционная зависимость, связывающая эти параметры. При этом измерение вязкости проводилось для различных скоростей сдвига  $\dot{\gamma}$ , соответствующих геометрическим размерам трибосопряжения вал – вкладыш подшипника дизеля, а также частоте его вращения.

Таблица 1. Жидкокристаллические и реологические характеристики судовых моторных масел

Марка ММ	«Объемная» вязкость, $\nu_{об}$ , сСт	Вязкость граничного смазочного слоя $\nu_{гр}$ , сСт	Толщина граничного смазочного слоя, $d_s$ , мкм	Интегральный параметр $d_s \cdot \Delta n_{ср}$ , $\times 10^{-5}$ , мкм
Castrol CDX30	104	110	8,2	2,17
Mobil 412	105	113	9,6	2,52
M14ДЦЛ20	106	116	10,8	3,22
M16ДЦЛ30	107	117	11,4	3,57
Еххmar 420	107	119	12,2	4,18
Castrol HLX40	109	122	13,4	4,53



а)



б)

Рис.4 Корреляционная зависимость вязкости моторного масла  $\nu$  от параметра  $d_s \cdot \Delta n_{ср}$ , характеризующего его жидкокристаллические свойства:

а) при скорости сдвига  $\dot{\gamma} = 125 \text{ с}^{-1}$ : 1 – «объемная» вязкость; 2 – вязкость граничного смазочного слоя; б) при различных скоростях сдвига: 1 –  $\dot{\gamma} = 125 \text{ с}^{-1}$ ; 2 –  $\dot{\gamma} = 150 \text{ с}^{-1}$ ; 3 –  $\dot{\gamma} = 175 \text{ с}^{-1}$ ; 4 –  $\dot{\gamma} = 200 \text{ с}^{-1}$

Анализируя результаты, приведенные в табл. 1 и на рис. 4, следует отметить, что повышение жидкокристаллических характеристик смазочного материала (степени ориентационной упорядоченности и толщины граничного смазочного слоя) способствует увеличению вязкости масла, как в объемной фазе, так и в граничном слое. Последнее (в связи с повышением упругодемпфирующих свойств) особенно актуально для процесса смазывания подшипников скольжения судовых дизелей, как одного из динамически напряженных узлов двигателя.

Между реологическими (в частности вязкостью  $\nu$ ) и жидкокристаллическими (толщиной граничного слоя и степенью ориентационной упорядоченности молекул  $d_s \cdot \Delta n_{cp}$ ) характеристиками моторного масла существует корреляционная зависимость, которая может быть определена экспериментальным путем. Зависимость  $\nu=f(d_s \cdot \Delta n_{cp})$  линейна для диапазона скоростей сдвига  $\gamma \in [100, 150 \text{ с}^{-1}]$ , соответствующих геометрическим размерам подшипников коленчатого вала судовых среднеоборотных дизелей и частотам его вращения. При увеличении скоростей сдвига зависимость  $\nu=f(d_s \cdot \Delta n_{cp})$  носит экспоненциальный характер.

Отметим также, что увеличение скорости сдвига приводит к снижению жидкокристаллических характеристик смазочного материала и, как следствие, к снижению вязкости масла в граничном смазочном слое. Это объясняется «срезанием» структурированных молекулярных слоев при повышении частоты вращения коленчатого вала и способствует уменьшению несущей способности масляной пленки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуреев, А. А. Химмотология / А. А. Гуреев, И. Г. Фукс, В. Л. Лашхи. – М. : Химия, 1986. – 368 с.
2. Лашхи В. Л. Представление об эксплуатационных свойствах топлив и смазочных материалов как коллоидных систем / В. Л. Лашхи // Химия и технология топлив и масел. – 1996. – № 3. – С. 32-33.
3. Рейнер М. Реология / М. Рейнер; пер. с англ. Н. И. Малинина ; под. ред. Э. И. Григолюка. – М. : Наука, 1965. – 224 с.
4. Шрамм Г. Основы практической реологии и реометрии / Г. Шрамм ; пер. с англ. И. А. Лавыгина ; под. ред. В. Г. Куличихина. – М. : Колос, 2003. – 312 с.
5. Кириян С. В. Эпитропные жидкокристаллические слои синтетических масел и их влияние на сдвиговое течение / С. В. Кириян, Б. А. Алтоиз // Физика аэродисперсных систем. – 2008. – № 45. – С. 72-77.
6. Ахматов А. С. Молекулярная физика граничного трения / А. С. Ахматов. – М. : Физматгиз, 1963. – 472 с.
7. Алтоиз Б. А., Асланов С. К., Бутенко А. Ф. Ротационный вискозиметр для исследования микронных прослоек // Физика аэродисперсных систем. – 2005. – № 42. – С. 53–65.
8. Сагин С. В., Мацкевич Д. В. Оптические характеристики граничных смазочных слоев масел, применяемых в циркуляционных системах судовых дизелей // Судовые энергетические установки: Одесса, 2010. – Вып. 26. – С. 116-125.

УДК 621.787.4: 620.186.4

Журавлёв Ю.И.  
ОНМА

## МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ СОПРЯЖЕНИЙ «ВАЛ-ВТУЛКА» ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Упрочнение деталей является одним из основных методов повышения надёжности и долговечности работы машин и в ряде случаев бывает эффективнее конструктивных усовершенствований [1]. Экономические преимущества при эффективном применении упрочнения поверхностей деталей можно ориентировочно представить, руководствуясь данными таблицы.

Таблица. Эффект от применения технологии упрочнения различных деталей

Обрабатываемые детали	Вид обработки	Источник	Повышение	
			долговечности, %	усталостной прочности, %
Сварные соединения	Дробенаклёп	[2]	300	-
Валы коленчатые	Дробенаклёп	[2]	500	-
Оси	Обкатывание	[3]	-	70
Зубья конических колёс	Обкатывание	[3]	500...600	-

Простота и экономичность методов упрочнения позволяют использовать их практически на всех предприятиях, в том числе и в судовых ремонтных мастерских. Однако научные основы применения этих методов и технологические методики назначения режимов упрочнения базируются главным образом на обобщении экспериментального материала или использовании упрощённых физических моделей [1; 4; 5 и др.].

Это приводит к тому, что каждый раз при разработке новой детали приходится повторять многочисленные эксперименты для выбора режимов упрочнения поверхности детали. Такое положение дел неэффективно: сроки конструкторско-технологической подготовки производства существенно удлиняются, повышается стоимость изде-

лия. Зачастую экспериментальные исследования вообще не позволяют дать рекомендации по выбору оптимального режима упрочнения детали из-за погрешностей, возникающих при проведении экспериментов.

В связи с этим особую актуальность приобретают исследования, направленные на создание математических моделей процессов поверхностного пластического деформирования деталей на основе механики деформируемых тел.

Разработан и реализован эффективный алгоритм численного моделирования таких процессов. Алгоритм основан на использовании метода конечных элементов [6]. Процесс движения инструмента по детали рассматривается в квазистатической постановке. Последовательно рассчитывается взаимодействие инструмента и детали в каждой точке траектории движения инструмента. При этом учитывается изменение геометрии и свойств материалов детали и инструмента, произошедшее на предшествующих этапах их взаимодействия. В каждой точке контактирования движущегося инструмента и детали решается контактная задача. Для решения контактной задачи применяется релаксационный алгоритм [7], хорошо зарекомендовавший себя при решении других типов контактных задач. При каждом решении контактной задачи дополнительно определяется, какой процесс происходит в каждой точке контактирования инструмента и детали: нагружение или разгрузка. Если происходит разгрузка, то в данной точке для связи напряжений и деформаций применяется закон Гука, иначе процесс решения строится с использованием метода переменных параметров упругости. Согласно деформационной теории, связь между напряжениями и деформациями устанавливается следующей зависимостью [8]:

$$\varepsilon_{ij} - \delta_{ij}\varepsilon_0 = \frac{3}{2} \frac{\varepsilon_i}{\sigma_i} (\sigma_{ij} - \delta_{ij}\sigma_0),$$

где  $\sigma_{ij}$  - тензор напряжений;  $\varepsilon_{ij}$  - тензор деформаций;  $\delta_{ij}$  - символ Кронекера;  $\sigma_0$  - среднее давление в точке;  $\varepsilon_0$  - средняя деформация в точке;  $\sigma_i$  - интенсивность напряжений;  $\varepsilon_i$  - интенсивность деформаций;  $i, j = 1, 2, 3$ .

Для описания процесса сложного нагружения, а именно такое нагружение происходит при контактном взаимодействии [9], лучше использовать теорию течения, которая, в отличие от деформацион-

ной теории, связывает приращения напряжений с деформациями и приращениями деформаций [10]:

$$d\sigma_{ij} = 2G \left( d\varepsilon_{ij} + \frac{\mu}{1-2\mu} \delta_{ij} d\varepsilon_{ii} - s_{ij} \frac{s_{kl} d\varepsilon_{kl}}{S} \right),$$

$$S = \frac{2}{3} \sigma_i^2 \left( 1 + \frac{H'}{3G} \right),$$

где  $d\sigma_{ij}$  - приращение тензора напряжений;  $d\varepsilon_{ij}$  - приращение тензора деформаций;  $s_{ij}$  - приращение девиатора напряжений;  $\sigma_i$  - интенсивность напряжений;  $\delta_{ij}$  - символ Кронекера;  $H'$  - тангенс угла наклона деформационной кривой в точке, соответствующей  $\sigma_i$ ;  $\mu$  - коэффициент Пуассона;  $G$  - модуль упругости второго рода;  $i, j, k, l = 1, 2, 3$ .

Согласно исследованиям ряда авторов, например И.А. Биргера и Р.Р. Мавлютова [11], если реализовать процесс решения с использованием деформационной теории в шаговой постановке, то и она вполне пригодна для расчёта сложного нагружения. К тому же процесс решения задачи по деформационной теории происходит значительно быстрее, чем при использовании теории течения, что особенно заметно при решении контактных задач движения.

Описываемая математическая модель процесса упрочнения чрезвычайно эффективна. В отличие от других моделей она целиком основана на механике деформируемых тел. Для проведения математического моделирования не нужны никакие дополнительные экспериментальные исследования (например, для установления форм и размеров областей детали и инструмента, в которых их материалы деформируются упругопластически). Единственные экспериментальные данные, используемые при моделировании процесса упрочнения, – это свойства материалов взаимодействующих тел (параметры упругости и диаграммы деформирования).

Для апробации и тестирования предложенной математической модели выполнены решения ряда тестовых и прикладных задач. Результаты этих решений сопоставлены со значениями, полученными как экспериментально, так и теоретически с использованием метода конечных элементов и метода граничных элементов другими исследователями. Когда это было возможно, для апробации результатов

использовались также аналитические решения. Все полученные результаты подтверждают адекватность рассмотренной математической модели процесса.

В данной статье рассматривается сопоставление результатов математического моделирования с данными, полученными экспериментально при обкатывании вала диаметром  $D_e=58$  мм из стали 45 при следующих условиях: частота вращения вала  $\omega=20$  мин<sup>-1</sup>, осевая подача деформирующего ролика  $S_x=0,17$  мм/об, диаметр ролика  $D_p=100$  мм, профильный радиус ролика  $R_{np}=3$  мм, профиль рабочей части ролика - окружность. Экспериментальные данные заимствованы из источника [4].

Эксперимент выполнен методом делительных сеток. Сущность эксперимента заключалась в следующем. Цилиндрический образец состоял из двух строго фиксированных друг относительно друга частей, соединённых винтами по меридиональным плоскостям. На плоскости соединения методом царапания наносилась координатная

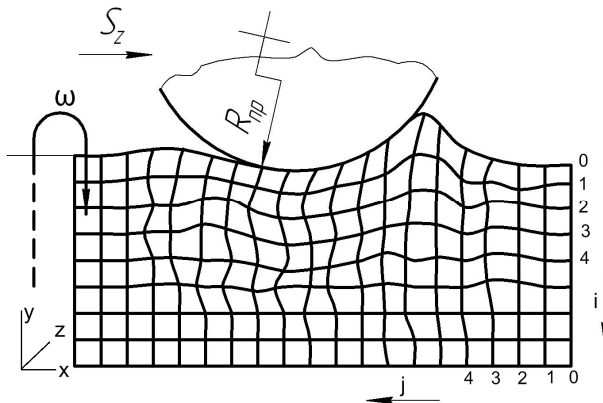


Рис. 1. Координатная сетка при выполнении эксперимента методом делительных сеток

сетка с шагом 0,2 мм (рис. 1). Для этого использовался микротвердомер ПМТ-3 совместно с микроскопом БМИ-1. После обкатывания образец вновь разделяли на две части и определяли смещения центров ячеек, образованных пересечением линий координатной сетки.

При этом различали этапное изменение геометрии ячейки, которое определяли сравнением двух соседних ячеек  $j$  и  $j+1$ , и накопленное, определяемое сравнением данной ячейки  $j$  с недеформированной ячейкой. Количественное определение координат точек сетки выполняли с использованием микроскопа.

По замеренным этапным смещениям вычисляли скорости и интенсивность деформаций, а по ним - интенсивность напряжений и



компоненты напряжений, предполагая, что напряжённое состояние является плоским. Для вычисления интенсивности напряжений использовалась зависимость между интенсивностью напряжений и интенсивностью деформаций, полученная экспериментально:

$$\sigma_i = 360 + 2400\varepsilon_i - 2200\varepsilon_i^2, \quad (1)$$

где  $\sigma_i$  - интенсивность напряжений, МПа;  $\varepsilon_i$  - интенсивность деформаций.

Аналізу подвергалось поле, содержащее 13 горизонтальных и 35 вертикальных линий координатной сетки.

Следует отметить, что при малых деформациях метод сеток может приводить к значительным погрешностям, сравнимым с величиной деформации. По этой причине результаты в ячейках с номерами более 27 следует воспринимать как ориентировочные [4]. Поэтому далее при сопоставлении результатов будут использоваться только данные в ячейках с номерами от 0 до 25 включительно.

Для математического моделирования использовалась конечно-элементная модель фрагментов ролика и вала (рис. 2). Модель состоит из 30 912 узлов и 26 752 8-узловых конечных элементов.

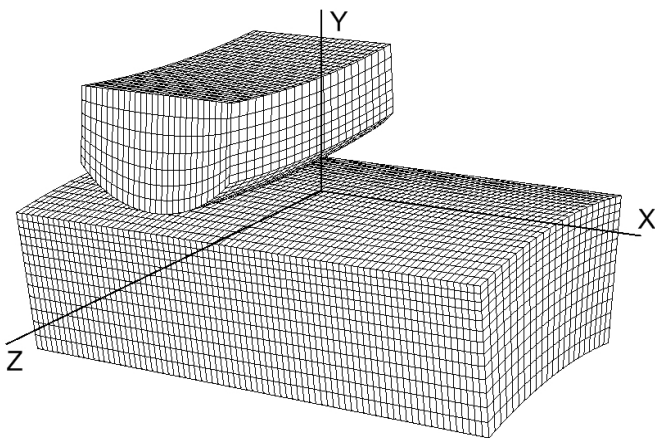


Рис. 2. Конечноэлементная модель для расчёта упрочнения вала обкаткой роликом

Модуль упругости и коэффициент Пуассона для ролика и вала приняты одинаковыми:  $E=2 \cdot 10^{11}$  Па,  $\mu=0,3$ . Трением между роликом

и валом пренебрегли (коэффициент трения принимался равным 0), хотя в принципе разработанный алгоритм математического моделирования процесса упрочнения способен учитывать трение между контактирующими деталями. Материал ролика предполагался упругим, при задании упругопластических свойств материала вала использовалась диаграмма деформирования, представленная зависимостью (1). Предел текучести стали 45, из которой выполнен вал, принят равным 360 МПа.

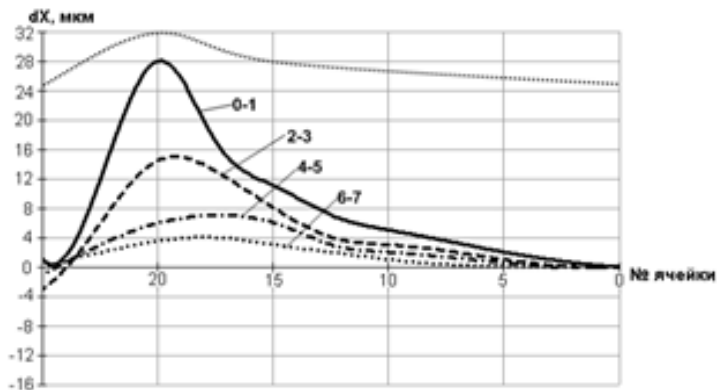
В ходе эксперимента замерена величина радиального смещения ролика относительно вала, равная 0,05 мм [4]. При математическом моделировании процесс нагружения задавался смещением ролика в отрицательном направлении оси  $Y$  на величину замеренного радиального смещения (0,05 мм).

В ходе расчёта выполнено моделирование качения ролика вокруг вала. Качение происходило по 14 дорожкам с осевой подачей в направлении оси  $X$  0,17 мм. Длина каждой дорожки составляла 9,8 мм. Количество дорожек и их длина выбирались из условия достижения стационарной фазы обработки. (Для сравнения: вычисленный размер первоначального пятна контакта ролика и вала в направлении качения равен 3,2 мм, а в направлении подачи - 1,19 мм.)

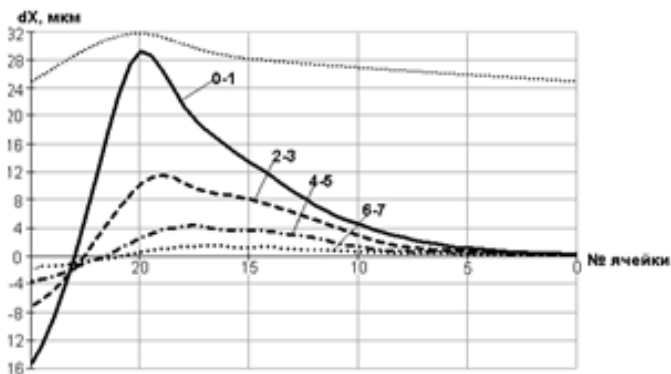
На рис. 3, 4 показаны графики, характеризующие искажение ячеек в области возникновения так называемой пластической волны - волны металла, которая движется в направлении подачи инструмента перед роликом. В верхней части каждого рисунка линией, состоящей из точек, схематично показан профиль волны. Цифрами на рисунках обозначены номера горизонтальных рядов координатных линий, между которыми замерено этапное значение смещения. Например, линия 0 – 1 соответствует центрам первого ряда ячеек сетки, если считать от поверхности вала.

Смещение  $dX$  (рис. 3), положительное направление которого совпадает с направлением подачи, имеет максимальное значение в вершине волны. На рис. 3а изображены зависимости изменения этапных горизонтальных смещений, полученные экспериментально, а на рис. 3б – теоретически. Форма графиков на обоих рисунках совпадает. Небольшие отличия имеются лишь в области с номерами ячеек, близкими к 25, что, по-видимому, объясняется погрешностью эксперимента. Максимальное теоретическое значение смещения  $dX$ , соответствующее вершине волны (29 мкм), практически совпадает с экспериментальным значением (28 мкм). При сравнении смещений,

соответствующих линиям 2-3, 4-5 и 6-7, можно заметить некоторые отличия. Очевидно, что результаты, полученные теоретически, точнее, так как им не присуща погрешность из-за известного недостатка метода сеток (чем меньше деформации координатных линий, тем больше погрешность).



а)

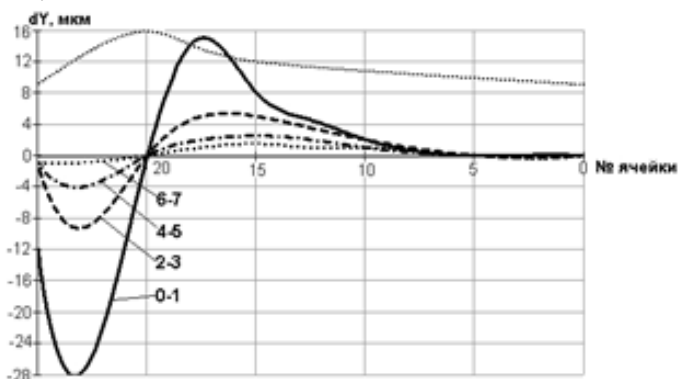


б)

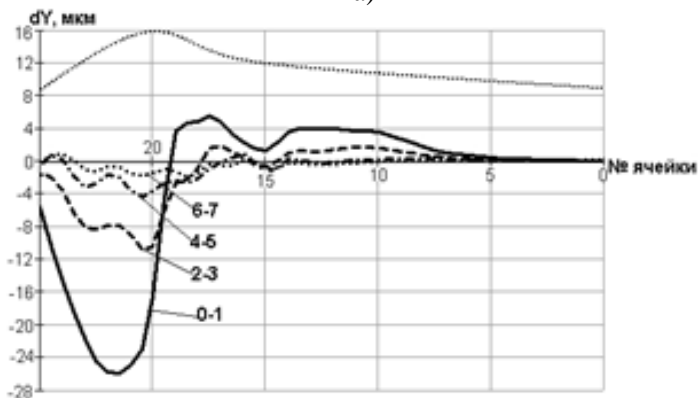
Рис. 3. Распределение этапных значений горизонтальных смещений  $dX$ : а – эксперимент; б - математическая модель

Этапное смещение  $dY$ , положительное направление которого совпадает с направлением «из тела заготовки» (рис. 4), так же как и  $dX$ , принимает максимальное значение в вершине волны. В правой части волны смещение  $dY$  положительное, а в левой – отрицательное. В левой части волны графики распределения смещений  $dY$  для

эксперимента и расчёта имеют очень хорошее совпадение по форме и значениям.



а)



б)

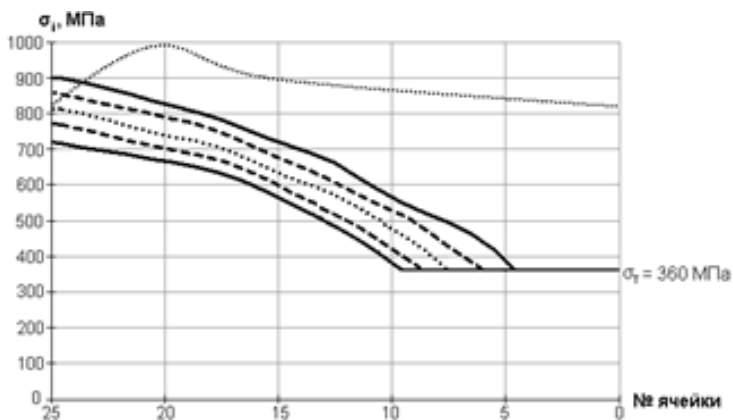
Рис. 4. Распределение этапных значений вертикальных смещений  $dY$ : а – эксперимент; б - математическая модель

Например, максимальное смещение на линии 0-1 для эксперимента равно  $-28$  мкм, а для математической модели -  $-26$  мкм. В правой части профиля волны такого совпадения результатов не наблюдается. Значения, полученные расчётом, меньше экспериментальных данных. Сразу однозначно ответить на вопрос, какие результаты в этой области волны точнее, сложно. Весьма логичным является мнение, что если состояние металла перед волной и в областях «под инструментом» и «за инструментом» совпадает для математической модели и эксперимента, то велика вероятность и того, что между

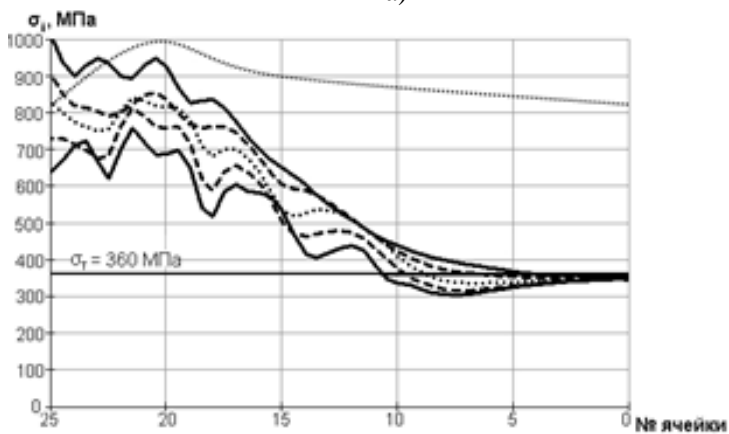
этими областями математическая модель адекватно описывает процесс упрочнения.

Сопоставление компонент деформаций и напряжений, полученных при математическом моделировании, с данными эксперимента не проводилось. При проведении эксперимента компоненты деформаций не замерялись и не вычислялись. В работе [4] по этапным смещениям рассчитывались скорости деформаций. По скоростям деформаций вычисляли накопленную интенсивность деформаций, а по ней с помощью кривой деформирования - интенсивность напряжений. Компоненты напряжений при проведении эксперимента определяли, используя интенсивность напряжений и скорости деформаций. При этом применялся ряд допущений и предположений о характере распределения напряжений. Так как компоненты напряжений при проведении эксперимента напрямую не замерялись, то сравнивать их с компонентами напряжений, полученными по математической модели, не будем. Ограничимся приведением графиков распределения интенсивности напряжений (рис. 5), которые также свидетельствуют о совпадении экспериментальных и теоретических результатов исследований. Следует отметить, что при математическом моделировании получились иные законы распределения напряжений. Скорее всего, различия объясняются несовершенством методики расчёта напряжений, применявшейся при обработке экспериментальных данных.

Предложенную математическую модель процесса упрочнения обработкой металлов давлением можно считать адекватно описывающей поведение материала при упрочнении. Конечно, в некоторых случаях имеются расхождения, причины появления которых следует проанализировать. Математическое моделирование процесса упрочнения позволяет получать распределения всех компонент полей перемещений, деформаций и напряжений во всех точках детали и инструмента. Предложенная модель позволяет с использованием ЭВМ устанавливать связь режимов обработки с параметрами поверхностного слоя детали, а также с параметрами протекания процессов разрушения в детали и инструменте, определять их долговечность.



а)



б)

Рис. 5. Распределение значений интенсивности напряжений  $\sigma_i$ :  
а – эксперимент; б - математическая

Экономически целесообразно применение разработанного на основе данной модели программного комплекса для проектирования новых и модернизации существующих деталей средств транспорта, исследовании сопряжений «вал-втулка».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матлин, М.М. Закономерности упругопластического контакта в задачах поверхностного пластического упрочнения: монография // М.М. Матлин, С.Л. Лебский, А.И. Мозгунова. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 218 с.
2. Медведев, С.Ф. Методы повышения динамической прочности стальных деталей машин и конструкций // С.Ф. Медведев. – Куйбышев, 1962. – 360 с.
3. Олейник, Н.В. Поверхностное динамическое упрочнение деталей машин // Н.В. Олейник, В.П. Кычин, А.Л. Луговской. – Киев: Техника, 1984. – 151 с.
4. Смелянский, В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием // В.М. Смелянский. – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с.
5. Браславский, В.М. Технология обкатки крупных деталей роликами // В.М. Браславский. - М.: Машиностроение, 1975. - 160 с.
6. Zienkiewicz, O.C. The Finite Element Method. Fifth Edition. V. 2. Solid Mechanics // O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor. - Butterworth-Heinemann, 2000. - 459 p.
7. Сакало, В.И. Контактные задачи железнодорожного транспорта // В.И. Сакало, В.С. Коссов. - М.: Машиностроение, 2004. – 496 с.
8. Малинин, Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести: учеб. для студентов вузов / Н.Н. Малинин. - М.: Машиностроение, 1975. – 400 с.
9. Матлин, М.М. Использование обобщенной кривой деформирования для расчета параметров упругопластического контакта / М.М. Матлин, А.И. Мозгунова // Изв. ВолгГТУ. Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»: межвуз. сб. науч. ст. – Волгоград, 2007. – Вып. 1. - № 3(29). - С. 73 — 75.
10. Yamada, Y. Plastic stress-strain matrix and its application for the solution of elastic-plastic problems by the finite element method / Y. Yamada, N. Yoshimura, T. Sakurai // International Journal of Mechanical Sciences. – 1968. - V. 10. - № 5. - P. 343-354.
11. Мавлютов, Р.Р. Концентрация напряжений в элементах авиационных конструкций / Р.Р. Мавлютов. - М.: Наука, 1981. - 141 с.

УДК 621.438

Тымкив А.В., Денисов В.Г.,  
ОНМА

## **МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССА ИЗНАШИВАНИЯ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ**

Многочисленные исследования, проводимые в последние годы [2], показали, что в качестве диагностического параметра основных узлов трения судовой энергетической установки (СЭУ) наиболее эффективным и достоверным изменения концентрации продуктов изнашивания (ПИ) в смазочном масле и рабочей среде (сжатый воздух, выпускные газы, гидравлическая жидкость) [1, 4, 5].

Этот параметр привлекает внимание тем, что он непосредственно замеряется в процессе контроля и не требует дальнейшей обработки данных. Также в качестве диагностического параметра (ДП) может использоваться скорость возрастания концентрации ПИ масле. Развитие исследований в этой области вызвано тем, что концентрация ПИ в масле не всегда объективно отражает состояние механизма.

Наличие большого количества методов и отсутствие научно-обоснованных рекомендаций по их выбору в зависимости от задач исследований вызывают необходимость проведения анализа, позволяющего обосновать применение того или иного метода.

Для выбора метода необходимо сформулировать требования, которым он должен удовлетворять:

1. Диагностический параметр должен зависеть только от технического состояния механизма.
2. Величина изменения ДП должна зависеть от изменения технического состояния, механизма или узла.
3. Метод диагностирования должен быть достаточно чувствительным для возможности определения износного отказа на ранних стадиях его возникновения.

Принципиальную схему процесса массообмена ПИ в масле можно представить как показано на рис.1.



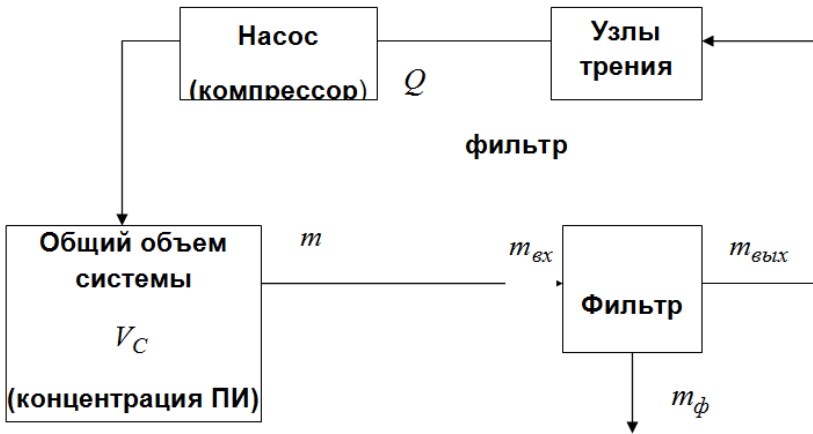


Рис. 1. Принципиальная схема массообмена ПИ в масле механизма

$Q$  - объемный расход масла;

$V_c$  - объем системы смазки;

$K_o$  - начальная концентрация ПИ;

$m$  - масса ПИ, отделившихся от поверхности трения;

$m_{ex}$  - ПИ на входе в фильтр;

$m_{вых}$  - ПИ на выходе из фильтра;

$m_\phi$  - ПИ, задержанные фильтром.

При рассмотрении данной схемы и сделав допущения, что: объем масла, находящегося в фильтре равен нулю; интенсивность образования ПИ, расход масла в системе  $Q$ , общий объем системы  $V_c$  и эффективность фильтра не изменяются. Объем масла в маслопроводах равен нулю, получим

$$K(t)V_c = K_0V_c + \int_0^t I_0 dt - \int_0^t m_\phi dt, \quad (1)$$

где  $K(t)$  - концентрация ПИ в масле до фильтра;

$I_0$  - интенсивность образования ПИ.

Эффективность удаления ПИ с учетом эффективности фильтрации, выражается так

$$\phi = \frac{m_{\phi}}{m_{ex}} \quad \text{или} \quad m_{\phi} = \phi \cdot m_{ex}, \quad (2)$$

где  $\phi$  - эффективность фильтра;

$m_{\phi}$  - ПИ, задержанные фильтром;

$m_{ex}$  - ПИ на входе в фильтр.

Но массу частиц износа на входе в фильтр можно выразить как

$$m_{ex} = Q \cdot K(t), \quad (3)$$

где  $Q$  - объемный расход масла через фильтр.

После подстановки уравнение (2) и (3) в уравнение (1) получим

$$K(t)V_c = K_0V_c + \int_0^t I_0 dt - \int_0^t \phi \cdot Q \cdot K(t) dt. \quad (4)$$

После преобразований уравнение (4) будет иметь вид

$$K(t) = \left( K_0 - \frac{I_0}{\phi \cdot Q} \right) \exp\left( -\frac{\phi \cdot Q \cdot t}{V_c} \right) + \frac{I_0}{\phi \cdot Q}. \quad (5)$$

При постоянных условиях работы механизма достигается постоянная равновесная концентрация ПИ в смазочном масле [2]. Это обусловлено тем, что с ростом концентрации ПИ повышается интенсивность их осаждения фильтрами и выпадения в осадок, снижаются диспергирующие свойства масла. Кроме того, высокая интенсивность фильтрации может привести к малой величине равновесной концентрации. Из этого следует, что концентрации ПИ не удовлетворяет первому критерию оценки технического состояния механизма. Также не удовлетворяет этому критерию и скорость изменения концентрации ПИ.

Для решения задачи диагностирования износа по содержанию ПИ в масле применяют датчики-сигнализаторы наличия стружки в масле, магнитные пробки с самоуплотняющимися гнездами, позволяющими производить осмотр пробок в любой момент времени с анализом осадка ПИ. Устройства накопления ПИ с одновременным анализом их количества разрабатываются в ОГМА. При установке таких устройств в системы смазки механизмов принимая ряд допу-

щений, зная вероятный диапазон значений эффективности фильтра, учитывая его сменяемость и периодическую очистку, можно считать зависимость между массой ПИ, собранной устройством осаждения и износом узлов трения линейной. Это в ряде случаев удовлетворяет необходимой точности процесса диагностирования. Однако, в некоторых случаях точность диагностирования необходимо повысить.

Допуская пропорциональность изменения концентрации ПИ в масле до датчика массе осажденных ПИ на датчиках, можно записать:

$$K(t) = c \cdot m(t), \quad (6)$$

где  $c$  - коэффициент пропорциональности;  
 $m(t)$  - масса ПИ на датчике.

Вводя показатель эффективности осаждения ПИ, собранных за время  $t$  можно получить выражение:

$$\psi = \frac{m_g}{Q \cdot K(t) \cdot t \cdot \epsilon}, \quad (7)$$

где  $\psi$  - эффективность осаждения ПИ;  
 $m_g$  - масса осадка, собранного датчиком за время  $t$ ;  
 $\epsilon$  - коэффициент пересчета собственно массы ПИ в массу осадка.

Таким образом, решая уравнение (2), (3) и (4) можно по данным о массе осадка ПИ, собранного датчиками определить величину интенсивности износа, скорости изнашивания узлов трения и линейный износ, что обеспечивает непосредственный мониторинг износа узлов трения механизмов.

Вследствие влияния на скорость накопления ПИ в масле таких факторов, как режим и условия эксплуатации, периодичность замены масла, продолжительность работы сепараторов, состояния фильтров и др., изменение концентрации ПИ будет носить сложный характер. В общем виде зависимости изменения концентрации ПИ в масле, поступления и осаждения их в процессе работы двигателя приведены на рис. 2.

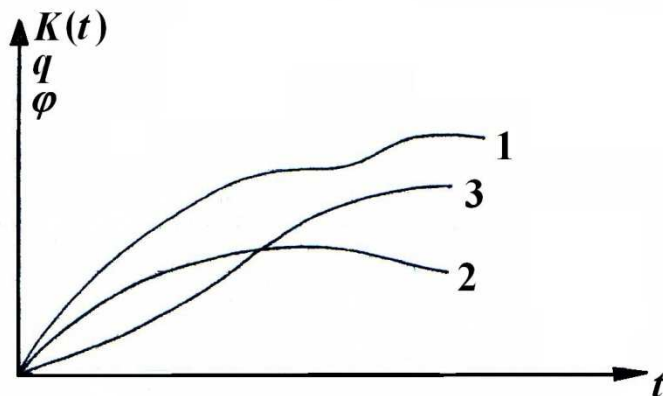


Рис. 2. Зависимость содержания ПИ в масле от времени работы механизма

- 1- текущая концентрация ПИ;
- 2 интенсивность поступления в масло;
- 3 - интенсивность осаждения ПИ фильтрами.

Из рис. 2 видно, что характер изменения концентрации ПИ в масле (кривая 1) значительно отличается от интенсивности их поступления (кривая 2). Это приводит к большому разбросу опытных данных, снижению точности и достоверности процесса диагностирования..

Таким образом, можно сделать вывод о том, что концентрат ПИ неоднозначно оценивает техническое состояние и, следовательно, не отвечает второму требованию к критерию. Аналогичным недостатком обладает и параметр скорости изменения концентрации ПИ.

Вследствие нелинейности зависимости концентрации от наработки масла, скорость возрастания концентрации будет зависеть от момента времени, при котором произойдет скачок темпов поступления. Темп же поступления ПИ в масло однозначно может определять техническое состояние механизма.

Другими причинами, ограничивавшими использование методов измерения концентрации ПИ в масле является: сложность методик и установок для контроля ПИ, необходимость специальной подготовка обслуживающего персонала, предварительная подготовка проб масел для анализа. Кроме этого такие методы не дают возможности использования их для определения состояния узлов трения в любой момент времени.

Учитывая недостатки измерения величины износа по концентрации ПИ в масле, перспективным направлением является контроль интенсивности изнашивания и величины износа по количеству ПИ, поступивших за определенный промежуток времени  $\Delta t$ . При этом интенсивность фильтрации не оказывает влияния на изменение интенсивности изнашивания.

В этом случае количество ПИ  $\Delta q$ , поступающее за время  $\Delta t = t_1 - t_2$ , - на датчик, установленный на выходе масла из узла трения будет пропорционально изменению интенсивности изнашивания узлов трения  $I_0$ :

$$\Delta q = c \int_{t_2}^{t_1} I_0 dt \quad (8)$$

или

$$\frac{\Delta q}{\Delta t} = c \bar{I}_h, \quad (9)$$

где  $\bar{I}_h$  - средняя интенсивность изнашивания;

$c$  - коэффициент пропорциональности.

Если  $t$  будет величиной постоянной, то  $\bar{I}_h$  будет характеризовать техническое состояние узла трения.

Для решения вопроса о наиболее информативном параметре можно предположить, что ПИ поступают в масло из  $i$  трущихся пар. Причем при нормальном износе в единицу времени в масло поступает  $m_1, m_2, m_3, \dots, m_i$ ; продуктов износа. Обозначим далее, что

$$m_2 = \alpha_2 m_1; m_3 = \alpha_3 m_1; \dots; m_i = \alpha_i m_1 \text{ и } \alpha_2 > \alpha_3 > \alpha_4 > \dots > \alpha_i.$$

Тогда суммарное количество ПИ, поступающее в масло в единицу можно определить из уравнения:

$$I_m = \sum_{i=1}^m m_i = m_1 \left( 1 + \sum_{i=2}^m \alpha_i \right). \quad (10)$$

Если в момент времени  $t_1$  произойдет резкое ухудшение технического состояния  $i$ -го элемента и скорость износа его увеличится в  $n$  раз, то в этом случае мгновенное количество ПИ составит

$$I_{mn} = m_1 \left( 1 + \sum_{i=2}^{m-1} \alpha_{i-1} + n\alpha_i \right). \quad (11)$$

Относительное изменение количества ПИ, поступающих в систему за единицу времени, можно определить из уравнения

$$\frac{I_{mn}}{I_m} = \frac{m_1 \left( 1 + \sum_{i=2}^{m-1} \alpha_{i-1} + n\alpha_i \right)}{m_1 \left( 1 + \sum_{i=2}^{m-1} \alpha_i \right)}, \quad (12)$$

или

$$\frac{I_{mn}}{I_m} = 1 + \frac{\alpha_i(n-1)}{1 - \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_i}. \quad (13)$$

Анализ этого уравнения показывает, что суммарное количество ПИ изменяется менее существенно, чем темп износа отдельного элемента. Причем, чем меньше удельный вес ПИ данного элемента в общем балансе, тем меньше относительное изменение суммарного количества ПИ.

Аналогично можно получить аналитическое выражение для относительного изменения концентрации ПИ:

$$\frac{K_{mn}}{K_m} = 1 + \frac{\Delta t \cdot m_i \cdot \alpha_i(n-1)}{1 + \Delta t \cdot m_i(1 - \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_i)}, \quad (14)$$

где  $\Delta t$  - промежуток времени между скачком интенсивности износов и замером концентрации;

$K$  - концентрация ПИ.

Из приведенного уравнения видно, что относительное изменение концентрации при увеличении интенсивности износа одного элемента зависит от промежутка времени между скачком износа и моментом замера концентрации, а также от концентрации ПИ перед скачком. Численный анализ уравнения показывает, что при наработках до 60 часов относительное изменение концентрации существенно ниже относительного изменения суммарного количества ПИ, поступающих в масло. Таким образом, параметр концентрации менее чувствителен к изменению технического состояния двигателей, чем параметр интенсивности поступления ПИ в масло. Аналогичным недостатком обладает и параметр скорости изменения концентрации.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что определение величины износа узлов трения по изменению интенсивности поступления продуктов изнашивания в смазку с учетом времени работы механизма является наиболее информативным методом и может обеспечить возможность получения непрерывной информации о состоянии механизма и прогнозирования времени его работы до проведения ремонтных работ. Таким образом, в качестве основного метода мониторинга состояния узлов трения необходимо использовать массу осевших продуктов изнашивания на датчики за определенное время работы механизма.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Денисов Е. А. Диагностика технического состояния смазываемых узлов трения по параметрам продуктов износа в масле // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2006. – № 8. – С. 18-21.
2. Шинкин В. А. Состояние и перспективы совершенствования технической эксплуатации СЭУ на базе средств и методов диагностики // Тез. докл. Всероссийск. научн. конф. «Параметры перспективных транспортных систем России». – М., 1994. – С. 162.
3. Миюсов М. А., Примачев М. Т. Торговый флот в условиях глобализации // Судходство. – 2003. – № 9-10. – С. 16.
4. Ханмамедов С. А., Денисов В. Г., Холявко Л. П. Определение технического состояния основных элементов гидравлических элементов гидромашин, рулевых машин // Надежность судовых машин. – Николаев, 1984. – С. 15-20.
5. Гугуев О. Е., Денисов В. Г., Яцына К. В. Прогнозирование ресурса судовых механизмов и узлов с помощью датчика износа // Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. – Одесса: Дидол-Принт, 2007. – № 1. – С. 97-103.

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 углеводо-



родного 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.

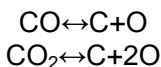
В работе [2] изучены этапы горения метана в воздухе для отношений от 0,5 до 1,4 и давлении от 1 до 70 атм. В основу модели был кинетический механизм. Получены аналитические выражения для скорости горения и для характерной температуры. Для обедненного топлива численные и натурные эксперименты совпали. 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.

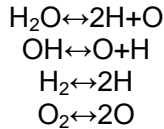
Поэтому проблему эффективного и качественного сжигания углеводородного газа переменного состава, с изменяющейся концентрацией во времени, для энергетических установок можно сформулировать следующим образом. Необходимо разработать модель сжигания любого углеводородного топлива в энергетической установке, 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, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, OH, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, 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:

$$\begin{aligned} \frac{P_C \cdot P_O}{P_{CO}} = \kappa_1(T), \quad \frac{P_C \cdot P_O^2}{P_{CO_2}} = \kappa_2(T), \quad \frac{P_H^2 \cdot P_O}{P_{H_2O}} = \kappa_3(T), \\ \frac{P_H \cdot P_O}{P_{OH}} = \kappa_4(T), \quad \frac{P_H^2}{P_{H_2}} = \kappa_5(T), \quad \frac{P_O^2}{P_{O_2}} = \kappa_6(T), \end{aligned}$$

где  $P_{CO}, P_{CO_2}, P_{H_2O}, P_{OH}, P_{O_2}, P_{H_2}, P_H, P_O, P_C$  – соответствующие парциальные давления образованных индивидуальных веществ и элементов, находящихся в продуктах сгорания,  $\kappa_1(T), \kappa_3(T), \kappa_3(T), \kappa_4(T), \kappa_5(T), \kappa_6(T)$ , – 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.

$$\begin{aligned} M_T \cdot \epsilon_C^{(T)} = \epsilon_C^{(T)} \cdot M_T = P_{CO} + P_{CO_2} + P_C, \\ M_T \cdot \epsilon_H^{(T)} = \epsilon_H^{(T)} \cdot M_T = 2 \cdot P_{H_2O} + 2 \cdot P_{H_2} + P_{OH} + P_H, \\ M_T \cdot \epsilon_O^{(T)} = \frac{\dot{V}_{ок}}{\dot{V}_T} \cdot a \cdot M_T = P_{CO} + 2 \cdot P_{CO_2} + P_{H_2O} + P_{OH} + 2 \cdot P_{O_2} + P_O, \end{aligned}$$

где  $\dot{V}_{ок}, \dot{V}_T$  – 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  $P_{\Sigma}$  – суммарное давление в камере горения при котором происходит образование продуктов сгорания.

Четвертая часть математической модели прямой задачи состоит из уравнения сохранения энергии, в предположении изоэнтальпийности процесса горения

$$(I_G + \alpha \cdot \chi_o \cdot I_o) \cdot M_T = \sum_q I_q$$

где  $\alpha$  – коэффициент избытка окислителя;  $\chi_o$  – 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 коэффициентом 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  $CH_{1,956}$ ; окислитель – кислород  $O_2$ .

В рассматриваемом тестовом варианте должно быть:

$b_c = 1$ ,  $b_H = 1,956$ ,  $I_e = -1948 \text{ кДж/кг} = -27237,7 \text{ кДж/кмоль}$ , 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]
$P_{CO}^{(1)}$	1.0	0,4869	0,4432
$P_{CO_2}^{(1)}$	1.0	0,0181	0,0203
$P_{H_2O}^{(1)}$	1.0	0,0784	0,1011
$P_{OH}^{(1)}$	0.1	0,0001	0,0001
$P_{H_2}^{(1)}$	0.1	0,4143	0,4332
$P_{O_2}^{(1)}$	0.1	0,0000	0,0000
$P_H^{(1)}$	0.1	0,0022	0,0023
$P_O^{(1)}$	0.1	0,0000	0,0000
$P_C^{(1)}$	0.1	0,0000	0,0000
$M_T^{(1)}$	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 — «Н», «С», «О», «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

$$M_T \cdot \epsilon_O^{(T)} = \frac{V_{ок}}{V_T} \cdot a \cdot M_T =$$

$$= P_{CO} + 2 \cdot P_{CO_2} + P_{H_2O} + P_{OH} + 2 \cdot P_{O_2} + P_O + P_{NO} + 2 \cdot P_{N_2}$$

где  $b_N^{(T)}$  — количество атомов азота в условной формуле топлива.

В третью часть математической модели прямой задачи добавим парциальные давления  $P_{NO}, P_N$ .

$$P_{CO} + P_{CO_2} + P_{H_2O} + P_{OH} + P_{O_2} + P_{H_2} + P_{NO} + P_H + P_O + P_C + P_N = P_\Sigma$$

В четвертую часть математической модели прямой задачи состоящей из уравнения сохранения энергии введем слагаемые опреде-

ляющие 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  $\text{CH}_4$ ; окислитель – воздух. В таблице 2 приведены результаты моделирования температуры  $T$ , парциальных давления некоторых продуктов сгорания  $P_{\text{CO}}$  и  $P_{\text{NO}}$  при варьировании относительного коэффициента избытка воздуха  $\alpha$ .

Таблица 2. Результаты моделирования протекающие при горении метана в воздушной атмосфере при изменении коэффициента избытка воздуха.

$\alpha$	T, [K]	$P_{\text{CO}}$	$P_{\text{NO}}$
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 СО 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 662.611.2:662,613,5

Демидова Н.П.,  
ОНМА

## СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОБЕССОЛИВАНИЯ ВОДЫ

Разработка и совершенствование всех методов обессоливания воды, особенно стремительное усовершенствование мембранных процессов, постоянно меняет соотношение стоимостей установок и очищенной воды. Кроме того, в настоящее время все большую роль играет экологичность процессов очистки воды, т.е. количество сбрасываемых в окружающую среду солей. Следует отметить, что многие положительные и отрицательные качества этих процессов зависят от солевого содержания обрабатываемой воды.

Обессоливание – полное или почти полное удаление из воды растворенных в ней солей.

В основном используют пять основных методов опреснения и обессоливания воды: термический метод (дистилляции), вымораживания, обратного осмоса, электродиализа, ионного обмена.

Термический метод подходит для воды даже с высоким уровнем солей. Дистилляция основана на изменении агрегатного состояния воды. Процесс заключается в том, что воду переводят в пар, а затем происходит конденсация пара. Немалое преимущество этого способа в использовании небольшого количества реагентов, а также возможность получения отходов в виде твердых солей.

Продуктивность выпарных опреснительных установок существенно зависит от максимальной температуры нагревания воды, которая подвергается опреснению, и степени рекуперации тепла. По характеру использования тепловой энергии и степени ее рекуперации дистилляционные установки подразделяют на одно-, многоступенчатые и паро-компрессорные.

Принципиальная схема любой дистилляционной опреснительной установки включает два теплообменника — испаритель и конденсатор с обслуживающими их трубопроводами и арматурой. Дистилляционные опреснители по основному признаку — способу испарения — делятся на испарители с постоянным давлением (кипящие) и расширительные (некипящие).

Эффективно применение многокорпусных испарителей, которые различают по типу используемой в них теплообменной аппаратуры. Современные опреснители, как правило, оснащаются тонкопленочными вертикально и горизонтально трубными аппаратами, что по-



зволяет повысить их тепловую эффективность и снизить расход энергии на осуществление процесса дистилляции.

Применяется также метод пароконпрессорной дистилляции. Он отличается от прямого выпаривания тем, что полученный водяной пар сжимается при помощи компрессора, который поднимает давление и, следовательно, температуру пара таким образом, чтобы она на несколько градусов превышала температуру исходной (соленой) воды, предварительно подогретой в теплообменнике. В этом случае пар конденсируется и превращается в опресненную воду, а его тепло используется для испарения новой порции исходной воды.

По технологии дистилляционные опреснители хорошо комплектуются с тепловыми и атомными электростанциями. Разработкой проектов атомных опреснителей занимались в США, Израиле, Греции и других странах.

Опреснять воду можно и методом вымораживания, сущность которого заключается в разделении соленой воды на две фазы на основании того, что температура замерзания соленой воды ниже, чем температура замерзания пресной. Одной из фаз являются кристаллы пресного льда, образующиеся при медленном замерзании соленой воды. В дальнейшем для получения пресной воды кристаллы льда отделяют от рассола, отмывают и расплавляют. Опреснение соленой воды можно осуществлять путем использования природного и искусственного холода.

Для обработки воды с невысоким содержанием солей целесообразно применять современные мембранные методы: ионного обмена, обратного осмоса (гиперфильтрации), электродиализа и другие.

При обессоливании воды ионным обменом пропорционально солесодержанию питательной воды растут объем ионитов и оборудования, а также расход реагентов, т.е. капитальные и эксплуатационные затраты. Даже при оптимально организованной регенерации (противоток) с минимальным избытком реагентов в сточные воды поступают извлеченные соли и использовавшиеся реагенты в количестве 1,1 – 2,0 от количества солей. Суммарное количество составляет 2,1 – 3,0. Следует учитывать, что эти соли находятся в небольшом объеме регенератов, соответственно, в высокой концентрации. Регенераты, как правило, имеют кислую реакцию и требуют дополнительной нейтрализации. Прямой сброс таких отходов запрещен. Обычно используется метод разбавления другими стоками. Эксплуа-

тационные расходы практически прямо пропорциональны солесодержанию исходной воды.

Метод обратного осмоса основан на опреснении или обессоливании воды путем фильтрации ее под высоким давлением (3-25 атм) через полупроницаемые мембраны, которые пропускают молекулы воды (и некоторых растворенных веществ), но задерживают большие по размеру ионы растворенных в воде солей. В результате прохождения через мембрану исходная вода разделяется на очищенную воду с уменьшенной концентрацией примесей и концентрат — сконцентрированный раствор примесей. Размер задерживаемых частиц определяется структурой мембраны, то есть размером ее пор. Мембранные процессы классифицируют по размерам разделяемых частиц.

Различают четыре типа мембран:

- микрофильтрационные (MF) с размером пор от 0,02 до 1,3 микрона;
- ультрафильтрационные (UF) с размером пор от 0,001 до 0,1 микрона;
- нанофильтрационные (NF) с размером пор от 0,001 до 0,05 микрона;
- гиперфильтрационные (RO-обратный осмос) с размером пор от 0,001 микрона и меньше 0,0001 микрона.

Лучше всего для подготовки питьевой воды использовать UF, NF и RO-мембраны.

В обратном осмосе производительность мембранных элементов, расход энергии и, соответственно, капитальные и эксплуатационные затраты незначительно зависят от солесодержания (см. рис. 1). При обратном осмосе количество солей в стоках близко к их количеству в питающей обратноосмотической установке воде. Дополнительным источником солей являются составы для промывки мембран обратного осмоса. Суммарное количество сбрасываемых солей пропорционально солесодержанию исходной воды и, при правильном расчете и эксплуатации обратноосмотической установки, превышает его на 5 – 15%. К сожалению, известны случаи, когда из-за неверно выбранных условий эксплуатации приходится промывать мембраны обратного осмоса столь часто, что сброс токсичных солей оказывается во много раз больше. Сбросные воды – концентрат обратного осмоса – имеют солесодержание в 2,5 – 4,0 раза большее, чем исходной воды, т.е. 1 – 2г/л, и состав, соответствующий ей. Это дает возможность сброса стоков без больших проблем.

Электродиализный метод опреснения (обессоливания) воды основан на принципе разделения солей в электрическом поле через селективные полупроницаемые ионитовые мембраны при пропуске постоянного тока через слой воды. При этом ионы движутся в соответствии со знаком их заряда: катионы – к катоду (свободно проходят через катионитовые мембраны и задерживаются анионитовыми), а анионы – к аноду (свободно проходят через анионитовые мембраны и задерживаются катионитовыми).

Если процессу электрохимического обессоливания подвергается NaCl, то в электрическом поле при пропускании постоянного тока через слой воды анионы Cl<sup>-</sup> растворенных в воде солей движутся к аноду, а катионы Na<sup>+</sup> – к катоду.

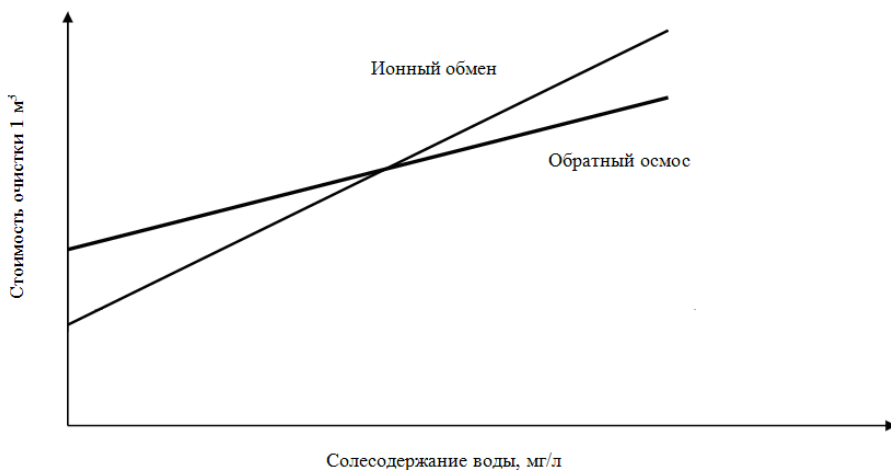


Рис. 1. Сравнение зависимости стоимости очистки воды ионным обменом и обратным осмосом от соленосодержания воды при одинаковой производительности

Сравнивая стоимость очистки воды ионным обменом и обратным осмосом, можно отметить наличие точки пересечения прямых, соответствующих каждому методу. Положение этой точки у разных авторов сильно различается: от 600 – 800 мг/л до 100 – 150 мг/л. Последнее вряд ли может соответствовать реальности. Корректно эта точка может быть определена только для заданного состава воды при сравнении реальных установок с учетом всех расходов. Так, эксплуатационные расходы при обратном осмосе существенно зависят от способа предотвращения выпадения осадков. При применении инги-

биторов их количество растет пропорционально содержанию солей жесткости. При умягчении воды ионным обменом необходимо учитывать расходы на эту операцию, которые также растут пропорционально содержанию солей жесткости в воде. Кроме того, необходимо учитывать стоимость исходной воды, расход которой при обратном осмосе примерно в 1,5 раза выше, чем при ионном обмене и выпарке воды, а также стоимость сброса отходов. Для глубокого обессоливания воды однозначно эффективнее ионный обмен.

При опреснении морской воды корректно сравнивать энергозатраты на проведение процесса. Отчетливо виден прогресс в совершенствовании дистилляции и обратного осмоса, которые в настоящее время являются основными конкурентами. Ионный обмен в этих условиях не используется.

Следует отметить преимущества каждого из методов.

*Термический метод:* минимальное количество реагентов и сброс солей в окружающую среду; высокое качество воды по взвесям; возможность получения отходов минимального объема, вплоть до сухих солей; возможность использования избыточного тепла; удаление из воды растворенных газов.

*Ионный обмен:* возможность получения сверхчистой воды; отработанность и надежность; способность работать при резко меняющихся параметрах питательной воды; минимальные капитальные и энергозатраты; меньший расход питательной воды; минимальный объем вторичных отходов, обеспечивающий возможность их переработки.

*Обратный осмос:* высокое качество воды по взвесям, биологическим и органическим загрязнениям; минимальное количество реагентов и суммарный сброс солей в окружающую среду; возможность сброса концентрата без обработки в канализацию; относительно низкие эксплуатационные затраты; отсутствие агрессивных реагентов и необходимости их обработки.

Их недостатками являются:

*Термический метод:* необходимость подготовки; большие энергозатраты; большие капитальные затраты.

*Ионный обмен:* высокий расход агрессивных реагентов; эксплуатационные расходы, растущие пропорционально солесодержанию воды; необходимость обработки регенератов и сложности с их сбросом.

*Обратный осмос:* необходимость тщательной подготовки; желательность непрерывной работы обратноосмотической установки; большие капитальные затраты; большой расход питательной воды и объем сбросных вод; большие энергозатраты.

В настоящий момент наилучшие экономические, экологические и технологические показатели имеют комбинированные схемы, когда первая стадия обессоливания воды осуществляется безреагентным методом – обратным осмосом, а глубокая доочистка воды – ионным обменом. Такая схема позволяет сократить по сравнению с «чистым» ионным обменом расход реагентов и объем солевых стоков примерно в 10 раз при максимальном качестве очистки воды. Именно такой вариант наиболее часто употребляется во всех разрабатывающихся и строящихся в Украине и за рубежом схемах получения высокочистой воды для энергетики, электроники и медицины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сурин С.М. Технологии обработки воды на морских судах: Учебное пособие. – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1988. – 48с.
2. Сурин С.М., Логишев И.В., Калугин В.Н. Технологии обработки воды в судовых энергетических установках: Учебное пособие. – Одесса: ОНМА, 2007. – 100с.
3. Тихомиров Г.И. Технологии обработки воды на морских судах: Курс лекций: Учебное пособие для курсантов и студентов морских специальностей. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2013. – 159.

УДК 621.436

Солодовников В.Г.  
ОНМА

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ ТОПЛИВ РАЗЛИЧНОГО ФРАКЦИОННОГО И СТРУКТУРНОГО СОСТАВА

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) морских судов являются крупнейшими потребителями жидкого топлива. Мощность главных и вспомогательных двигателей судовых энергетических установок (СЭУ) лежит в диапазоне от нескольких сотен до десятков тысяч киловатт. При среднем удельном эффективном расходе топлива 180...185 г/(кВт·час) суточный расход топлива главным двигателем (ГД) может составлять 200...250 тонн/сутки, а вспомогательными двигателями (ВД), количество которых на современных судах до 4-х, а количество параллельно работающих до 3-х, 10...12 тонн/сутки.

Для работы ДВС СЭУ используются топлива, которые традиционно делятся на тяжелые и легкие (дизельные). Эта классификация базируется на удельном весе, а точнее плотности топлива, которая для дизельных топлив при 20°C лежит в пределах 840...860 кг/м<sup>3</sup>, а для тяжелых до 980 кг/м<sup>3</sup>.

Дизельная энергетическая установка современных СЭУ комплектуется мало- и среднеоборотными дизелями (МОД и СОД). МОД, работающие по двухтактному циклу, используются в качестве ГД, передающих мощность на винт. Эту же функцию могут выполнять среднеоборотные четырехтактные дизели, однако наибольшее применение они получили в качестве ВД для привода судовых электрогенераторов [1].

Традиционно эксплуатация судовых МОД на установившихся режимах работы производится на тяжелых сортах топлива. Температура воздушного заряда в цилиндре дизеля в момент впрыскивания топлива, а также длительный период времени, приходящийся на его воспламенение, позволяет надежно использовать в этих типах дизелей топливо ухудшенного структурного и фракционного состава. Время эксплуатации МОД на легком топливе, а также на смеси легкого и тяжелого топлива определяется их работой на пусковых режимах и зависит от назначения судна. Естественно, что в случае работы в прибрежных районах и частых портах захода, когда эксплуатация ГД происходит на режимах пуска и реверса, время работы ди-

зеля на легком топливе повышается, как повышается и его расход. При длительных переходах эксплуатация ГД происходит только на тяжелых сортах топлива, причем время такой работы может достигать несколько десятков суток, что существенно снижает общие расходы легкого топлива.

Эксплуатационные режимы работы судовых СОД обеспечиваются как тяжелыми, так и легкими сортами топлива. Использование маловязкого топлива обусловлено необходимостью обеспечения его надежного самовоспламенения в течении более короткого (по сравнению с МОД) периода впрыскивания, длительность которого оценивается по выражению

$$\tau = \frac{\phi_d}{6n}, \text{ сек,}$$

где  $n$  – частота вращения коленчатого вала дизеля, об/мин;

$\phi_d = 15...35$  °пкв – действительная продолжительность подачи топлива в цилиндр.

Частота вращения коленчатого вала судовых МОД составляет 80...100 об/мин, а минимальное значение этого же параметра для СОД – 450...500 об/мин. Это приводит к тому, что даже при повышенной для СОД по сравнению с МОД продолжительностью подачи топлива в цилиндр время впрыскивания топлива и, соответственно, время его окисления, воспламенения и сгорания сокращается в 3.4 раза. Еще одной причиной использования в СОД легких сортов топлива является их частая работа на режимах пуска и частичного нагружения. При этом часть тепловой энергии, подведенной в процессе сжатия, теряется из-за плохо прогретых поверхностей деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ), что существенно снижает температуру в цилиндре в момент впрыскивания топлива и вынуждает использовать топлива с меньшей температурой самовоспламенения.

Фракционный состав топлива определяется количеством тех или иных нефтяных фракций, выкипающих при определенных температурных пределах. Фракционный состав топлив является одним из важнейших показателей его качества, который дает возможность оценивать испаряемость его паров и выражает зависимость между температурой и количеством перегоняющегося при этой температуре топлива. Фракционный состав (от которого зависит воспламеняемость топлива на пусковых режимах, а особенно в условиях экстренного пуска) важен при использовании топлива в судовых СОД, в которых сгорание происходит за меньший промежуток времени.

Топлива для судовых дизелей представляют собой сложные соединения горючих элементов, молекулярное строение которых еще недостаточно изучено, и включают в себя минеральные примеси и влагу. Элементарный химический анализ этих топлив не раскрывает химической природы входящих в них соединений и поэтому не может дать достаточно полного представления об их свойствах, но позволяет рассчитать тепловой и материальный баланс горения топлива. Элементарный химический состав топлива выражается зависимостью

$$C^p + H^p + O^p + N^p + S^p + A^p + W^p = 100\%$$

и состоит из горючих веществ: углерода  $C$ , водорода  $H$ , серы  $S$ , а также кислорода  $O$  и азота  $N$ , находящихся в сложных высокомолекулярных соединениях. Кроме того, топливо содержит негорючие минеральные примеси, превращающиеся при сжигании топлива в золу  $A$  и влагу  $W$ .

Основной горючей составляющей топлива является углерод, горение которого обуславливает выделение основного количества тепла. Содержание углерода в топливе составляет 85...88 %.

Вторым по значению элементом горючей массы топлива является водород, его содержание в горючей массе жидких топлив колеблется от 10 до 11%.

Кислород и азот в топливе являются органическим балластом, так как их наличие уменьшает содержание горючих элементов в топливе. Кроме того, кислород, находясь в соединении с водородом или углеродом топлива, переводит некоторую часть горючих компонентов в окислившееся состояние и уменьшает теплоту сгорания топлива. Азот при сжигании топлива в атмосфере воздуха не окисляется и переходит в продукты сгорания в свободном виде.

Сера в топливе находится в составе неорганических соединений. Содержание серы в топливе может достигать 3,5 %. Сернистые соединения, входящие в состав топлива, принято подразделять на активные и неактивные. Активные сернистые соединения (свободная сера, сероводород, меркаптаны) при контакте с металлом вызывают коррозию. Неактивные сернистые соединения (сульфиды, дисульфиды и др.) при обычных условиях не вызывают коррозии металлов. Однако, действие как активных, так и неактивных сернистых соединений в условиях протекания рабочего процесса в камере сгорания ДВС изменяется. Обе категории примесей переходят в разряд актив-



ных компонентов. Это происходит в следствии того, что при сгорании серы образуется сернистый газ  $SO_2$  и серный ангидрид  $SO_3$ , которые, вступая в реакцию с сконденсировавшейся водой. Образуют сернистую  $H_2SO_3$  и серную  $H_2SO_4$  кислоты. Эти кислоты вызывают сильную коррозию деталей цилиндропоршневой группы дизеля. Помимо этого, вследствие низкой теплоты сгорания присутствие серы уменьшает теплоту сгорания топлива. Поэтому сера является вредной и нежелательной примесью топлива. Кроме того, использование сернистых топлив напрямую связано с выполнением экологических требований, предъявляемым к судовым ДВС. Так, Приложением IV международной конвенции МАРПОЛ определены специальные районы, в которых возможно использование лишь топлива, содержащим не более 0,1 % серы. Эксплуатация судовых ДВС (как главных, так и вспомогательных) в таких районах возможна только на дистиллатных топливах, например DMX, DMA, DMZ (Marine Gas Oil – MGO) или DMВ (Marine Diesel Oil – MDO) [2].

Кроме серы в топливах наиболее распространены углеводородные примеси, вода и механические примеси. Углеводородные примеси – это в основном гетероорганические соединения, входящие в состав исходного сырья. Это более всего характерно для дизельного топлива, вследствие их высокой малярной массы и высоких температур кипения. Прежде всего это сернистые соединения, углеводородные кислоты и смолисто-асфальтовые вещества. Вода попадает в топливо при транспортировке, хранении, и перекачивании топлива и ускоряет коррозию металлических деталей двигателя. Механические примеси ухудшают прокачиваемость топлива по системе топливоподдачи, служат основой для образования смолистых отложений, увеличивают механический износ и коррозию металла. Особенно большой вред механические примеси приносят системам топливоподдачи дизелей, вызывая повышенный износ прецизионных деталей. Основным источником механических примесей является атмосферная пыль.

Структурный состав топлива определяет одну из основных его характеристик – низшую теплоту сгорания  $Q_n$ , численное значение которой может быть определено по формуле Д.И. Менделеева

$$Q_n = 339,15C^p + 1256H^p - 108,86(O^p - S^p) - 25,12(9H^p + W^p).$$

От низшей теплоты сгорания топлива  $Q_n$  зависит его удельный эффективный расход  $b_e$

$$b_e = \frac{3600}{\eta_e \cdot Q_H},$$

где  $\eta_e$  – эффективный КПД дизеля.

При фиксированном значении эффективного КПД  $\eta_e = 0,45$  изменение структурного состава топлива приводит к следующим изменениям низшей теплоты сгорания и удельного эффективного расхода топлива (табл. 1).

Таблица 1. Влияние структурного состава топлива на его низшую теплоту сгорания и удельный эффективный расход

Изменение структурного состава топлива					$Q_H$ , кДж/кг	$b_e$ , кг/(кВт·ч)
$C^P$	$H^P$	$S^P$	$O^P$	$W^P$		
87,0	11,3	1,0	0,4	0,3	41203	0,194
87,5	11,1	1,0	0,4	0,3	41870	0,191
87,2	12,6	0,1	0,05	0,05	42556	0,188

Стоимость топлива колеблется в зависимости от указанных характеристик. Для легкого топлива, без включений серы она составляет 850...880 \$USA/тонну, а для тяжелых, с содержанием серы до 1,5 % – 720 \$USA/тонну. Учитывая обозначенные выше расходы топлива на обеспечение эксплуатационной мощности дизелей, затраты на топливо для мощных СЭУ достигают 200...250 тыс.\$USA/сутки, а для СЭУ средней мощности 18...20 тыс.\$USA/сутки.

Одной из целей данной статьи было определение влияния содержания серы в топливе на технические характеристики ЦПГ и газоразделительного тракта дизеля. Исследования выполнялись на судовом СОД 6Г74 фирмы «Русский дизель», имеющем следующие основные характеристики: номинальная эффективная мощность  $N_e = 1150$  кВт, частота вращения вала  $n = 500$  об/мин, удельный эффективный расход топлива  $b_e = 0,196$  кг/(кВт·ч). В состав судовой энергетической установки входили два подобных дизеля. Двигатели имели разделенную друг относительно друга систему топливоподачи, что допускало эксплуатацию каждого дизеля на «своем» сорте топлива. Учитывая эту возможность, один из дизелей эксплуатировался на топливе, содержащем 1,3 % серы, а второй – 0,8 % серы. Условия эксплуатации позволяли перед началом эксперимента произвести полную замену втулок, поршней, поршневых колец, а также основных элементов топливной аппаратуры (плунжеров топливных насосов высокого

давления и форсунок) на обоих дизелях. Время работы дизелей во время эксперимента, а также среднестатистические нагрузки на дизели не превышали 4 % [3].

По истечении определенного времени работы, определяемого как показателями среднестатистической наработки на износ, так и возможностью временного вывода дизелей из эксплуатации, производилось определение износа цилиндровой втулки и верхнего поршневого кольца дизеля.

Определение износа цилиндрических втулок производилось в районе верхнего поршневого кольца, как места, наиболее подвергающегося сернистому износу и сернистой коррозии. Для повышения точности и достоверности измерений, определение износа цилиндрических втулок производилось методом искусственных баз и методом обмера индикатором (с точностью 0,01 мм/м). Отклонение в определении износа данными методами не превышало 7 %, что корректность измерений.

Износ поршневых колец выполнялся с помощью взвешивания на электронных весах.

Измерения износа проводилось для двух крайних цилиндров, которые, как известно, более чем другие (центральные цилиндры) подвержены этому явлению. Полученные при этом значения усреднялись. Кроме того, исследование только двух цилиндров существенно сокращало время монтажных работ, которое ограничивалось условиями эксплуатации. По этим же причинам исследования выполнялись после 190, 420, 560, 780 и 1020 часов работы двигателей. Результаты измерения износа цилиндрических втулок и поршневых колец приведены в виде табл. 2 и обобщены на рис. 1.

Анализ приведенных данных позволяет однозначно утверждать о принципиальном снижении износа как цилиндрических втулок, так и поршневых колец при использовании топлива с меньшим содержанием серы в своем структурном составе. Также, для топлива с меньшим содержанием серы, необходимо отметить более быстрое время достижения значений постоянного износа, которое, как известно, носит экспоненциальный характер. Кроме того, использование топлива, дополнительно прошедшего ультразвуковую обработку способствует улучшению технического состояния деталей цилиндропоршневой группы двигателя и его газовыпускной системы.

Таблица 2. Результаты эксперимента по определению износа ЦПГ дизеля при работе на топливе с различным содержанием серы

Время проведения эксперимента, ч	Содержание серы в топливе			
	$S = 1,3\%$		$S = 0,8\%$	
	Износ цилиндровой втулки, $I_n$ , мкм	Износ поршневого кольца, $I_m$ , г	Износ цилиндровой втулки, $I_n$ , мкм	Износ поршневого кольца, $I_m$ , г
190	2,25	1,68	0,72	0,23
420	3,17	1,81	1,04	0,42
560	4,38	1,92	1,21	0,49
780	4,62	2,08	1,54	0,51
1020	5,31	2,22	1,83	0,57

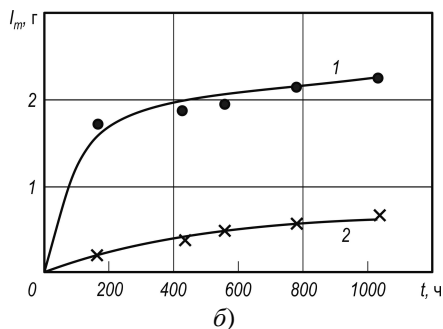
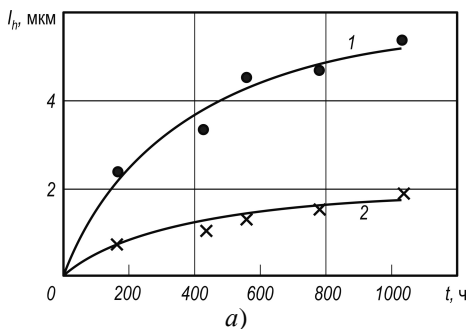


Рис.1. Износ цилиндрических втулок (а) и поршневых колец (б) судового ДВС 6Г74 при работе на топливе с различным содержанием серы:  
1 –  $S = 1,3\%$  по массе; 2 –  $S = 0,8\%$  по массе

Так при этом существенно уменьшается количество нагара на названных поверхностях нагрева, а также изменяется его структура (отложения нагара становятся более мягкими, что должно способствовать снижению абразивного износа, тепловой напряженности, аэродинамических и механических потерь).

*СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. Заблоцкий В.Ю., Солодовников В.Г. Снижение энергетических потерь в топливной аппаратуре судовых дизелей // Проблемы техники: наук.-виробн.журнал.– 2013. – № 3. – Одесса: ОНМУ. – С. 46-56.
2. Калугин В.Н. Рекомендации по переводу работы судовых дизельных установок на низкосернистые морские сорта топлива // Матеріали наук.-техн. конфер. «Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт», 21.03.2012-23.03.2012. – Одеса: ОНМА. – С. 94-101.
3. Сагин С.В., Солодовников В.Г. Применение ультразвуковой обработки топлива для снижения сернистого износа деталей двигателя / «Технические науки – от теории к практике» // Сб. ст. по материалам XXXV междунар. науч.-практ. конф. № 6 (31). Новосибирск: СибАК, 2014. – С. 42-49.

УДК 621.436 (045)

Ерыганов А. В., Финенко К. В.  
ОНМА

## ОБОСНОВАНИЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ПО ПАРАМЕТРАМ ПРОЦЕССА СЖАТИЯ

Для расчёта рабочих процессов двигателя наиболее целесообразно использовать метод численного моделирования. Практическое применение метод получил в работах Б. М. Гончара [1], Baur L. [2], Grohn M. [3], Pucher H. [4], Winterbone D. E. [5], Zellbeck H. [6]. В соответствии с этим методом параметры рабочих процессов описываются тремя уравнениями: первого закона термодинамики, массового баланса и состояния, которые записываются в дифференциальной форме и решаются совместно на каждом шаге расчёта. В качестве независимой переменной наиболее удобно брать в этом случае угол поворота кривошипа  $\phi$ . Уравнения, описывающие рабочий процесс в цилиндре, имеют вид [16]:

$$\left\{ \begin{array}{l} c_v G \frac{dT_{ц}}{d\phi} + u \frac{dG}{d\phi} = Q_{ц} q_{ц} \frac{dx_{ц}}{d\phi} + \frac{dQ_w}{d\phi} - p_{ц} \frac{dV_{ц}}{d\phi} + i_b \frac{dG_n}{d\phi} - i_m \frac{dG_m}{d\phi} + i_p \frac{dG_p}{d\phi}; \\ \frac{dG}{d\phi} = \frac{dG_n}{d\phi} - \frac{dG_m}{d\phi} + q_{ц} \frac{dx_{ц}}{d\phi} + \frac{dG_p}{d\phi}; \\ V_{ц} \frac{dp_{ц}}{d\phi} + p_{ц} \frac{dV_{ц}}{d\phi} = R \left( T_{ц} \frac{dG}{d\phi} + G \frac{dT_{ц}}{d\phi} \right), \end{array} \right.$$

где  $c_v$  – удельная массовая теплоёмкость газов в цилиндре при постоянном

объёме, Дж/(кг·К);  $G$  – масса газов в цилиндре, кг;  $T_{ц}$  – температура газов в цилиндре, К;  $u$  – удельная внутренняя энергия газов в цилиндре, Дж/кг;  $Q_{ц}$  – низшая теплота сгорания топлива, Дж/кг;  $q_{ц}$  – цикловая подача топлива, кг;  $x_{ц}$  – относительное количество сгоревшего топлива;  $Q_w$  – количество теплоты, полученное газами в результате теплообмена со стенками цилиндра, Дж;  $i_b$  – удельная энтальпия воздуха в ресивере, Дж/кг;  $G_n$  – масса воздуха, прошедшего через впускные органы, кг;  $i_m$  – удельная энтальпия газов, прошедших через выпускные органы, кг;  $G_m$  – масса газов, прошедших через выпускные органы, кг;  $i_p$  – удельная энтальпия пускового воздуха, Дж/кг;

$G_p$  – масса воздуха, прошедшего через пусковой клапан, кг;  $R$  – газовая постоянная смеси (287 Дж/(кг·К)).

Составляющая  $p_{ц}(dV_{ц}/d\phi)$  представляет, по сути, работу, производимую поршнем, и определяется выражением

$$p_{ц} \frac{dV_{ц}}{d\phi} = p_{ц} \frac{\pi D^2 S}{8} \sin \phi \left( 1 + \frac{\cos \phi}{\sqrt{1/\lambda^2 - \sin^2 \phi}} \right),$$

где  $D$  – диаметр поршня, м;  $S$  – ход поршня, м;  $\lambda$  – отношение радиуса кривошипа к длине шатуна.

Для процесса сжатия система упрощается, поскольку

$$q_{ц} = x_{ц} = G_n = G_m = G_p = 0.$$

Тем не менее, для реального двигателя  $dG/d\phi < 0$ , так как протечки через неплотности пар трения «поршневые кольца – втулка» присутствуют в той или иной мере всегда. Поэтому исходная система уравнений запишется в виде:

$$\begin{cases} c_v G \frac{dT_{ц}}{d\phi} - u \frac{dG}{d\phi} = \frac{dQ_w}{d\phi} - p_{ц} \frac{dV_{ц}}{d\phi} - i \frac{dG}{d\phi}; \\ V_{ц} \frac{dp_{ц}}{d\phi} + p_{ц} \frac{dV_{ц}}{d\phi} = R \left( G \frac{dT_{ц}}{d\phi} - T_{ц} \frac{dG}{d\phi} \right), \end{cases}$$

где  $i$  – энтальпия газов, сжимаемых в цилиндре, Дж/кг.

Преобразуем последнюю систему к виду, более удобному для анализа, помня, что

$$i - u = RT_{ц}.$$

Получаем:

$$\begin{cases} c_v G \frac{dT_{ц}}{d\phi} = \frac{dQ_w}{d\phi} - p_{ц} \frac{dV_{ц}}{d\phi} - RT_{ц} \frac{dG}{d\phi}; \\ V_{ц} \frac{dp_{ц}}{d\phi} + p_{ц} \frac{dV_{ц}}{d\phi} = R \left( G \frac{dT_{ц}}{d\phi} - T_{ц} \frac{dG}{d\phi} \right), \end{cases}$$

Из последнего уравнения следует, что:

$$G \frac{dT_{ц}}{d\phi} = \frac{1}{R} \left( V_{ц} \frac{dp_{ц}}{d\phi} + p_{ц} \frac{dV_{ц}}{d\phi} \right) + T_{ц} \frac{dG}{d\phi}.$$

Тогда:

$$p_{ц} \frac{dV_{ц}}{d\phi} \left( 1 + \frac{c_v}{R} \right) + \frac{c_v}{R} V_{ц} \frac{dp_{ц}}{d\phi} = \frac{dQ_w}{d\phi} - i \frac{dG}{d\phi}.$$

Т. к.

$$1 + \frac{c_v}{R} = \frac{k}{k-1}, \text{ и } \frac{c_v}{R} = \frac{1}{k-1},$$

где  $k$  – показатель адиабаты, то получаем

$$\frac{1}{k-1} \left( kp_{\text{и}} \frac{dV_{\text{и}}}{d\phi} + V_{\text{и}} \frac{dp_{\text{и}}}{d\phi} \right) = \frac{dQ_w}{d\phi} - i \frac{dG}{d\phi}.$$

При  $dG/d\phi = 0$ , т. е. при идеально герметичном сжатии, и  $dQ_w/d\phi = 0$ , т. е. при отсутствии теплообмена газов со стенками цилиндра, последняя зависимость обращается в уравнение адиабаты  $p_{\text{и}} V_{\text{и}}^k = \text{const}$ . Если же  $dQ_w/d\phi \neq 0$ , при  $dG/d\phi = 0$ , то зависимость превращается в уравнение политропы показатель  $n$  которой определяется знаком и величиной слагаемого  $dQ_w/d\phi$ .

Последнее выражение также позволяет сделать вывод о том, что для двигателя с удовлетворительным состоянием сопряжений цилиндро-поршневой группы, т. е. при  $dG/d\phi \rightarrow 0$ , можно с крайне высокой степенью точности определить отдачу тепла от газов к стенке цилиндра или наоборот. В этом случае:

$$\frac{1}{k-1} \left( kp_{\text{и}} \frac{dV_{\text{и}}}{d\phi} + V_{\text{и}} \frac{dp_{\text{и}}}{d\phi} \right) = \frac{dQ_w}{d\phi}, \text{ или } \frac{1}{k-1} (kp_{\text{и}} dV_{\text{и}} + V_{\text{и}} dp_{\text{и}}) = dQ_w.$$

Интегрируя последнее уравнение от точки 1 до точки 2 (см. рис.), получаем:

$$k \int_{V_{\text{и1}}}^{V_{\text{и2}}} p_{\text{и}} dV_{\text{и}} + \int_{p_{\text{и1}}}^{p_{\text{и2}}} V_{\text{и}} dp_{\text{и}} = (k-1) \Delta Q_{w12}.$$

Распишем подробнее последнюю сумму интегралов с учётом того, что на участке сжатия

$$\int_{V_{\text{и1}}}^{V_{\text{и2}}} p_{\text{и}} dV_{\text{и}} < 0, \text{ в то время как}$$

$$\int_{p_{\text{и1}}}^{p_{\text{и2}}} V_{\text{и}} dp_{\text{и}} > 0$$



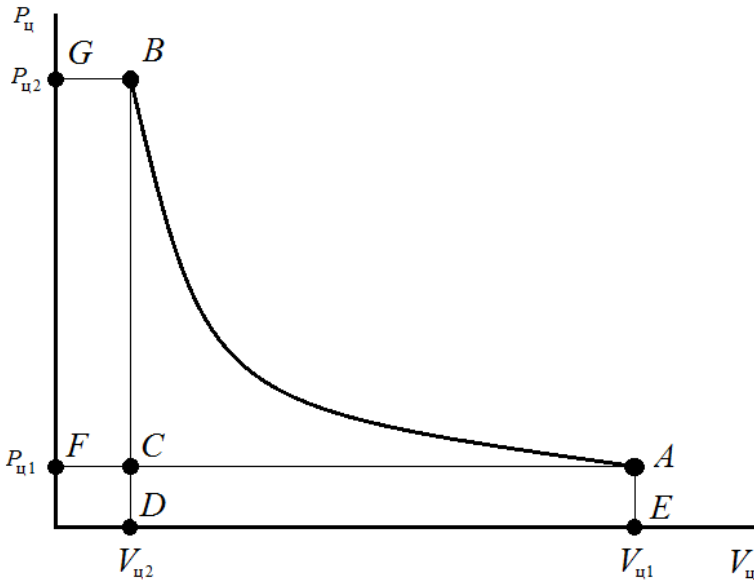


Рис. Кривая сжатия рабочего тела в цилиндре ДВС

Имеем:

$$k \int_{V_{u1}}^{V_{u2}} p_u dV_u + \int_{p_{u1}}^{p_{u2}} V_u dp_u = k \int_{V_{u1}}^{V_{u2}} p_u dV_u + S_{ACB} + S_{CBGF} ;$$

$$S_{CBGF} = V_{u2} (p_{u2} - p_{u1}) ; S_{ACB} = - \left( \int_{V_{u1}}^{V_{u2}} p_u dV_u + p_{u1} (V_{u1} - V_{u2}) \right) ;$$

$$k \int_{V_{u1}}^{V_{u2}} p_u dV_u + \int_{p_{u1}}^{p_{u2}} V_u dp_u = k \int_{V_{u1}}^{V_{u2}} p_u dV_u - \int_{V_{u1}}^{V_{u2}} p_u dV_u - p_{u1} (V_{u1} - V_{u2}) + V_{u2} (p_{u2} - p_{u1}) ;$$

$$k \int_{V_{u1}}^{V_{u2}} p_u dV_u + \int_{p_{u1}}^{p_{u2}} V_u dp_u = (k - 1) \int_{V_{u1}}^{V_{u2}} p_u dV_u - p_{u1} V_{u1} + p_{u2} V_{u2} .$$

Значит, количество тепла  $\Delta Q_{w12}$ , выделенное или поглощённое рабочим телом в цилиндре двигателя на участке 1 – 2, будет равно

$$\Delta Q_{w12} = \frac{p_{u2} V_{u2} - p_{u1} V_{u1}}{k - 1} + \int_{V_{u1}}^{V_{u2}} p_u dV_u .$$

Современные средства диагностирования ДВС позволяют очень точно и быстро регистрировать давление рабочего тела. Иными сло-

вами, величину  $\Delta Q_{w12}$  можно рассчитать с достаточно малым шагом по времени, начиная с момента закрытия органов газообмена. Логично предположить, что последнее равенство перестанет быть таковым при  $dG/d\varphi \neq 0$ . Это значит, что разработав определённые критерии качества, становится возможным оценивать текущее состояние цилиндра-поршневой группы на любом установившемся режиме и при любом давлении в ресивере, т. е. без привязки к данным стендовых испытаний двигателя. Это позволяет производить диагностику состояния цилиндра-поршневой группы в режиме реального времени.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончар Б. М. Методика численного моделирования переходных процессов дизелей /Б. М. Гончар, В. В. Матвеев//Тр.ЦНИДИ.– 1975. – 68. – С. 3 – 26.
2. Baur L. Ein Beitrag zur thermischen Belastung abgas turboaufgeladener Dieselmotoren bei Drehzahlrückung. Doktor – Ingenieur genehmigten Dissertation. – TU Hannover. – 1975. – 101 s. mit Anhang A und B.
3. Grohn M. Ein Verfahren zur Ermittlung der Drehzahlrückung aufgeladener Hochleistungs – Schiffdieselmotoren / M. Grohn // MTZ. – 1978. – Nr. 9. – S. 377 – 382.
4. Pucher H. Internal Combustion Engine Cycle Simulation Methods Aid Engine Development / H. Pucher // Journal of Non-Equilibrium Thermodynamics. – 1986. – Vol. 11 - № 1/2. – p. 123 – 141.
5. Winterbone D. E. Wholly Dynamic Model of a Turbocharged Diesel Engine for Transfer Function Evaluation / C. Thiruarooran, P. E. Wellstead, D. E. Winterbone // SAE Preprint. – 1977. – №770124. – 12 p.
6. Zellbeck Hans. Rechnerische Untersuchung des dynamischen Betriebsverhaltens aufgeladener Dieselmotoren / Hans Zellbeck, Gerhard Woschni // Motortechnische Zeitschrift (MTZ). – 1983. – 44. - №3. – S. 81 – 86.

УДК 629.5-52:004

Никольский В.В., Цюпко Ю.М., Казаков И.И.  
ОНМА

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ МЕЖДУ СУДОВЫМИ ИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ**

Электронный документооборот в настоящее время является неотъемлемым элементом информационной структуры любой организации, куда относится и судоходство. Наряду с этим существуют корпоративные информационные системы поддержки электронного документооборота, которые объединяют три ключевые звенья: первичные бумажные документы, электронные документы, которые дублируют бумажные, и информацию таблиц базы данных.

В машинном отделении операции с данными совершают две системы: компьютерная интегрированная система контроля и управления (КИСКУ) и система технического менеджмента (СТМ). На сегодняшний день эти две системы существуют и функционируют обособленно. Связующим звеном между этими системами является оператор (вахтенный механик), который переносит параметрические данные о состоянии судовых агрегатов из компьютерной интегрированной системы в СТМ.

Процесс обмена данными в этой цепи сопровождается следующими следствиями:

- до 80% рабочего времени старшего механика уходит на ежедневное внесение данных о текущем состоянии механизмов (часы наработки), на организацию регламентных и ремонтных работ, и на составление отчетов о их выполнении. В то время как старший механик при месячной зарплате от 7500 у.е. вместо каждодневной "рутины", мог сосредоточить свое внимание на ежемесячных и квартальных отчетах, диагностических и испытательных работах, а также на контроле за качеством выполняемых работ над судовым оборудованием;

- от 12-20% рабочего времени младшего офицерского состава машинной команды уходит на сбор данных о техническом состоянии судовых механизмов и параметров судовых систем, в частых случаях и на самостоятельное оформление отчетов по выполненным работам. При месячной зарплате 2-го механика от 6500 у.е. и 3-го механика от 3500 у.е., на подобную рутину судовладелец расходует до 1300 у.е. и 700 у.е. за 2-го и 3-го механика соответственно;

- искажение информации, характеризующей техническое состояние механизмов и систем происходит на этапах ее сбора (вахтенные механики) и ввода данных в СТМ, ввиду человеческого фактора, а также неисправностью устройств содержащие эту информацию. Примерами искажения информации являются ее некорректность, нерегулярность и неполнота, а также отсутствие данных. Это приводит к неадекватному планированию и проведению регламентных и ремонтных работ.

Учитывая тот факт, что в настоящее время, в связи со сложившейся экономической обстановкой в мире, на судах наблюдается численное сокращение состава машинной команды, а также замена офицерского состава более высокого ранга на состав с более низким. При этом объемы выполняемых работ возрастают, что приводит к увеличению рабочей и психологической нагрузки на каждого члена экипажа. Все эти факторы негативно отражаются на уровне технического менеджмента на судне, и здоровье членов экипажа.

В то время как все операции по сбору данных, планированию работ и составлению отчетов могут происходить без затрат человеческих ресурсов и времени, а также без искажений собранной информации.

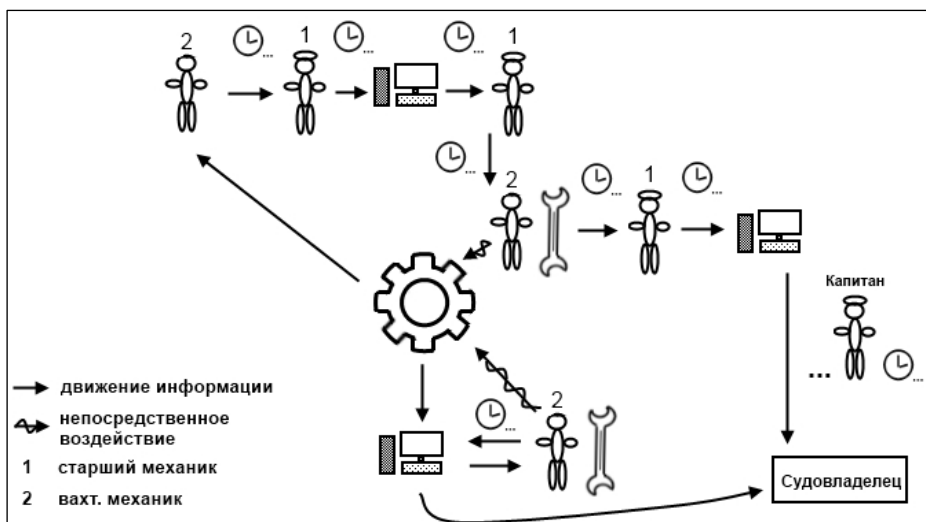


Рис. 1. Схема организации технического менеджмента в пределах судна

На рисунке 1, верхняя половина рисунка иллюстрирует текущую схему организации СТМ, информационная цепочка которого состоит из многих звеньев, обмен данными между которыми сопровождается значительными затратами времени и искажением самих данных. Нижняя половина отображает схему СТМ, при которой происходит непрерывный обмен данными между КИСКУ и СТМ. Так регламентные работы механика будут адекватными текущему техническому состоянию судового оборудования. Все остальные операции по обработки данных и оформление отчетов будут возложены на компьютерную систему.

Возникает необходимость исключения оператора из этой цепи, путем разработки системы обмена данными между SCADA-системой и СТМ.

Системы электронного документооборота позволяют повысить качество и эффективность управления данными, что непосредственно связано с понятием актуальности данных, циркулирующие в системе.

Организация автоматизации обмена данными между КИСКУ и электронными документами с табличной структурой и базой данных корпоративной информационной системой позволит повысить производительность этого процесса, уменьшить время на ручные операции ввода и уменьшить вероятность ошибок.

Анализ работ в области создания системы автоматики (систем диспетчеризации) показал, что в настоящее время существует ряд решений MS Excel, которые вобрали в себя возможности как SCADA-систем, так и СТМ (рис. 2). Такие решения можно внедрять на вновь строящиеся суда, где СТМ является частью SCADA-системы, реализованная в единой информационной области (электронные таблицы). В отношении уже работающих судов организация связи между этими системами предусматривает модернизацию существующих систем, внедрением системы обмена данными между разными информационными областями.

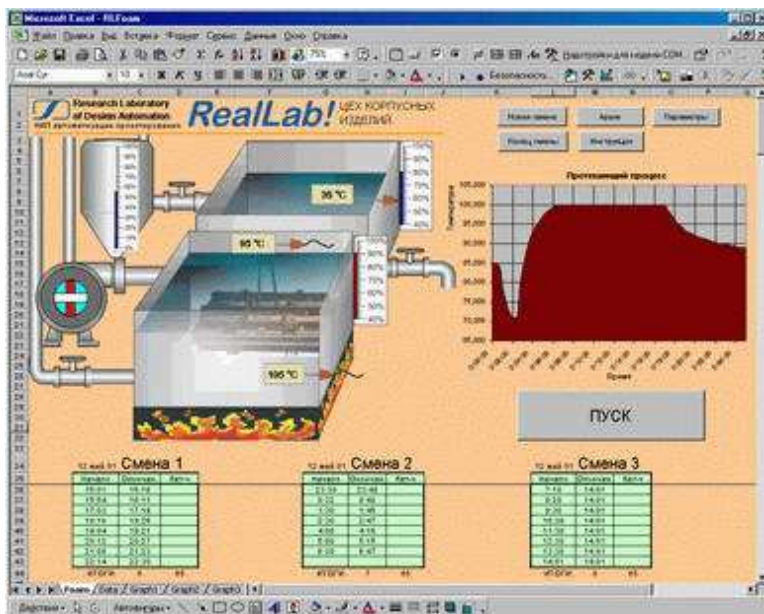


Рис. 2. Программа управления технологическим процессом изготовления пенополистирольных изделий выполненная в среде MS Excel

На основе данных, собранных КИСКУ, и синхронизированных с СТМ, новоорганизованная СТМ, по сравнению с традиционной, позволит выполнять следующие задачи:

- автоматическая генерация электронного параметрического отчета состояния судового оборудования и систем с необходимой периодичностью (ежедневно, по вахтам и т.п.), сохраняемый на независимый электронный носитель;
- автоматическое формирование списка работ по обслуживанию судового оборудования на указанный период времени (сутки, неделя, месяц);
- автоматическое формирование отчета о выполненных регламентных работ на основе текущих данных, получаемых в режиме реального времени при взаимодействии вахтенного механика с СТМ по схеме "указание на выполнение работ – подтверждение механиком о уведомлении (да/нет) – работа выполнена (да/нет)", при этом каждый пункт схемы будет сопровождаться временем его возникновения и изменения;

- автоматическая передача электронных отчетов судовыми средствами связи в судоходную компанию.

Новоорганизованная СТМ позволит:

- сэкономить судовым инженерам время на электронный документооборот;

- уменьшить бумагооборот;

- повысить качество организации технического менеджмента на судне;

- уменьшить психологическую нагрузку на экипаж;

- получать адекватную оценку о текущем техническом состоянии судового оборудования.

### *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. Материалы по программному пакету электронного судового менеджмента AMOS, фирмы SpecTec [Электронный ресурс]. - <http://www.spectec.net/en>, <http://www.suresolutions.eu/index.html>.

2. Материалы по программному пакету электронного судового менеджмента TITAN, фирмы BCR Software [Электронный ресурс]. - <http://www.bcrsoftware.com/index.php>.

3. Руководство по эксплуатации системы АСУ СЭУ "Vista Alarm Automation System" фирмы "Stein Sohn", Германия. 2009. - 232 с.

4. Уокенбах Джон. Excel 2010: профессиональное программирование на VBA.: Пер. с англ. — М.:ООО “И.Д. Вильямс”, 2012. — 944 с.: ил. — Парал. тит. англ.

5. Марулин С.Ю. Информационная технология обмена данными между системой электронного документооборота и базой данных информационной системы. – На правах рукописи. Диссертация.

6. Статья из журнала:

Денисенко В.В. Построение автоматизированных испытательных стендов с помощью системы RealLab! и MS Excel //Компоненты и технологии. – 2001. - №6. - С. 96-98.

УДК 621.431.74

Половинка Э.М., Яковенко А.Ю.  
ОНМА**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ГАРМОНИЧЕСКОГО  
АНАЛИЗА МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
КОМБИНИРОВАННОГО ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ ТОПЛИВА**

Одной из существенных характеристик измерительных систем являются частотные параметры записи фиксируемого процесса.

С целью определения таких показателей для созданного на кафедре СЕУ ОНМА комбинированного датчика давления топлива разработана методика, алгоритм и программа гармонического анализа по методу Фурье.

В общем случае задачей гармонического анализа является представление сложного негармонического колебания в виде суммы гармонических колебаний, образующих спектр колебания. Если сложное колебание – периодическая функция с частотой  $\nu = 1/T$  и с периодом  $T$ , то его спектр дискретный или линейчатый состоит из гармонических колебаний с частотами, кратными  $\nu$ . Линейчатый спектр с некратными частотами имеют почти периодические колебания. Непериодические колебания имеют сплошной спектр, который содержит составляющие со всевозможными частотами, непрерывно заполняющими некоторую область частот.

Далее рассматривается анализ только периодических функций.

Если анализируемая функция является периодической функцией  $x(t)$  с периодом  $T$ , то ее можно представить в виде

$$x(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos(k \omega_1 t) + b_k \sin(k \omega_1 t))$$

либо

$$x(t) = c_0 + \sum_{k=1}^{\infty} c_k \cos(k \omega_1 t - \phi_k) \quad (2)$$

где

$$c_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}, \quad \operatorname{tg} \phi_k = \frac{a_k}{b_k}, \quad \omega_1 = \frac{2\pi}{T},$$

$t$  - время,  $T$  - период,  $k$  - номер гармоники,



$a_k, b_k$  – коэффициенты Фурье.

Смысл формулы (2) состоит в том, что периодическая функция может быть представлена суммой синусоидальных колебаний с частотами, кратными основной частоте  $\omega_1$  и с надлежащим образом подобранными амплитудами  $c_k$  и начальными фазами  $\varphi_k$ . Формулы (1) и (2) эквивалентны, отличие лишь в удобстве представления и дальнейшего анализа.

Нахождение коэффициентов  $a_k, b_k$  или  $c_k, \varphi_k$  является прямым преобразованием Фурье, операция вычисления функции по известным коэффициентам – обратным преобразованием Фурье.

Отдельные составляющие суммы (2) составляют *гармоники*. Колебание основной частоты  $\omega_1 = \frac{2\pi}{T}$  является первой гармоникой, колебание с частотой  $2\omega_1$  – второй гармоникой, и так далее. Постоянные составляющие  $a_0, c_0$  представляют собой среднее значение функции.

Зависимость значений амплитуд  $c_k$  от частоты или от номера гармоники называется амплитудным спектром функции, а зависимость значений начальных фаз  $\varphi_k$  от частоты или от номера гармоники называется фазовым спектром функции.

Во многих случаях, встречающихся на практике, исходная функция  $f(x)$  задается в виде таблицы или в виде графической кривой. В этих случаях применяется приближенное представление периодической функции  $f(x)$  тригонометрическими многочленами вида

$$s_n = a_0 + \sum_{k=1}^n (a_k \cos(kx) + b_k \sin(kx)) \quad (3)$$

а коэффициенты Фурье вычисляются при помощи приближенных методов интегрирования, например с использованием формул прямоугольников.

$$a_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad a_n = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n y_i \cos(kx_i) \quad b_n = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n y_i \sin(kx_i)$$

$$c_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \quad (4)$$

где  $a_0, a_k, b_k$  коэффициенты Фурье.

Полученный таким образом тригонометрический ряд, коэффициенты которого суть коэффициенты Фурье, имеет наименьшее среднеквадратичное отклонение от представимой функции  $f(x)$  среди всех тригонометрических многочленов порядка  $n$ .

Поскольку исходная функция в этом случае представлена в виде дискретного конечного набора данных, то произведенное преобразование Фурье является дискретным преобразование Фурье – ДПФ.

Как отмечено выше, в данной работе ставилась задача создания алгоритма и программы, обеспечивающих обработку опытных данных, представленных в виде осциллограмм. Давление топлива в ТНВД записывалось двумя датчиками: базовым традиционной конструкции и опытным. Последний был совмещён со шпилькой крепления ТНВД.

В процессе доводки конечный вариант программы получил название Fourier8. Алгоритм пакета предусматривает выполнение спектрального анализа периодических процессов, представленных в виде дискретного ряда с полной длиной не более 20000 точек. Результат работы программы - график амплитуд гармонических составляющих, причем число анализируемых гармоник устанавливается пользователем в диапазоне 1-500.

Исходный файл данных - это дискретный ряд чисел, представляющий собой часть периода анализируемого процесса. Для дальнейшего анализа исходный ряд преобразуется таким образом, чтобы представлять один полный период процесса. Для этого после загрузки файла данных в диалоговом режиме вводятся следующие исходные параметры:

- число оборотов в минуту
- начальная фаза процесса в градусах для первой точки исходного ряда
- конечная фаза процесса в градусах для конечной точки исходного ряда
- минимальное и максимальное давление в МПа.

После ввода указанных параметров производится расчет новых данных уже для полного периода процесса с выводом результата в виде графика на экран.

Далее производится дискретное преобразование Фурье (4) с выводом результата в виде графика амплитуд спектральных составляющих на экран и для визуального контроля обратное преобразование Фурье (3) также с выводом графика функции на экран.

Блок-схема пакета приведена на рис.1.

Программа позволяет оперативно менять число вычисляемых гармоник, вид графика отображения спектра, представление спектра в виде зависимости от частоты либо по номерам гармоник, отображать или нет постоянную составляющую, а также выводить на печать или сохранять в виде электронной копии (рисунок формата BMP) с возможностью редактирования любой график.

Ниже показано содержание графического интерфейса для разных этапов работы программы. В надписях к рисункам даны ссылки на соответствующие стадии, обозначенные номерами на блок-схеме.

На рис.2 представлен запуск программы и загрузка данных. Отдельные фрагменты интерфейса имеют следующее назначение:

- 1- представляет исходный файл данных;
- 2- кнопка «Файл», -по ее нажатию происходит загрузка файла данных;
- 3- строка состояния отображает путь загрузки, имя и размер файла данных.

На рис.3 показан вид экрана на стадии ввода параметров:

1 – кнопка «Параметры», после ее нажатия сначала появляется стандартное окно загрузки файла параметров. Если файл существует, данные из него появляются в окне параметров (2), в случае отсутствия файла в это окно загружаются параметры по умолчанию. Далее эти параметры можно изменить либо просто подтвердить, нажав кнопку «ОК», после чего в окне «Ряд после коррекции» появится график процесса с откорректированным с учетом введенных параметров (рис.4).

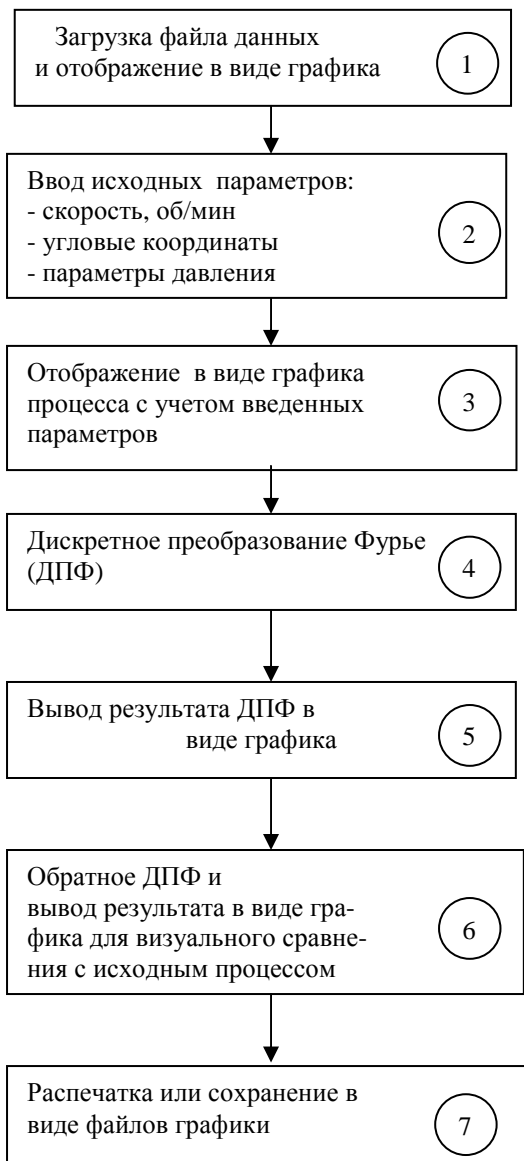


Рис. 1. Блок-схема программы гармонического анализа.

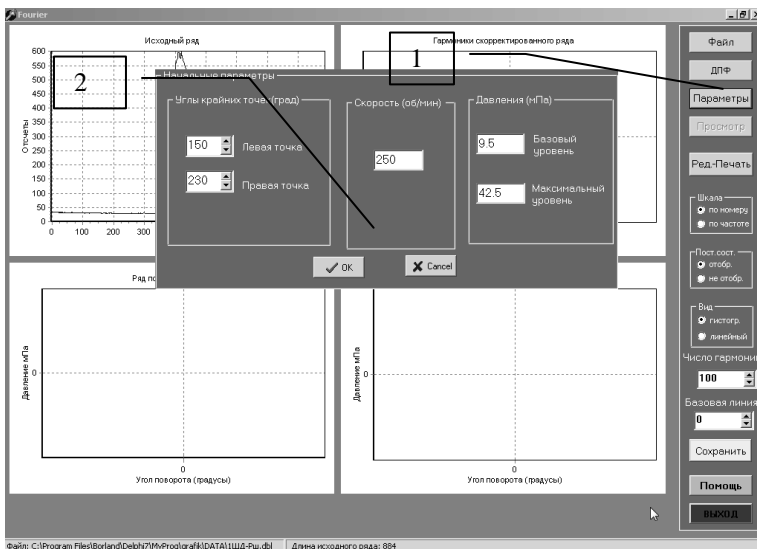
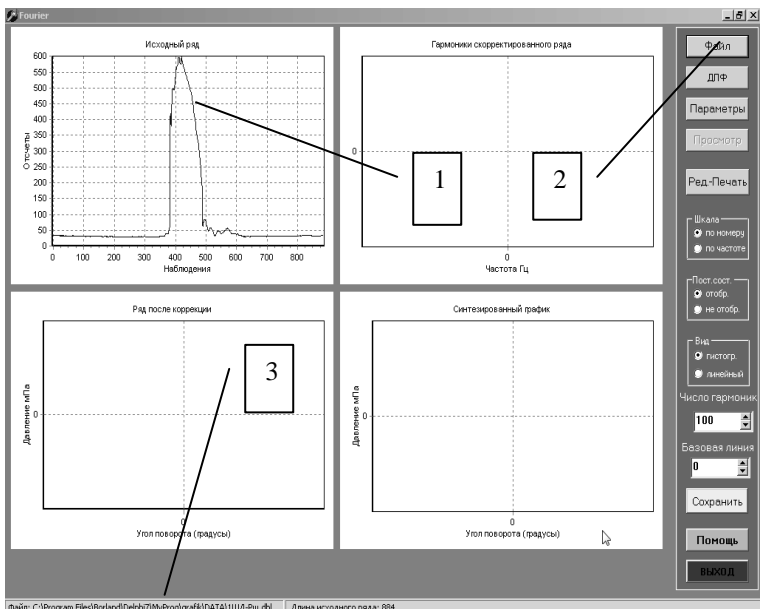


Рис.3. Ввод параметров (2).

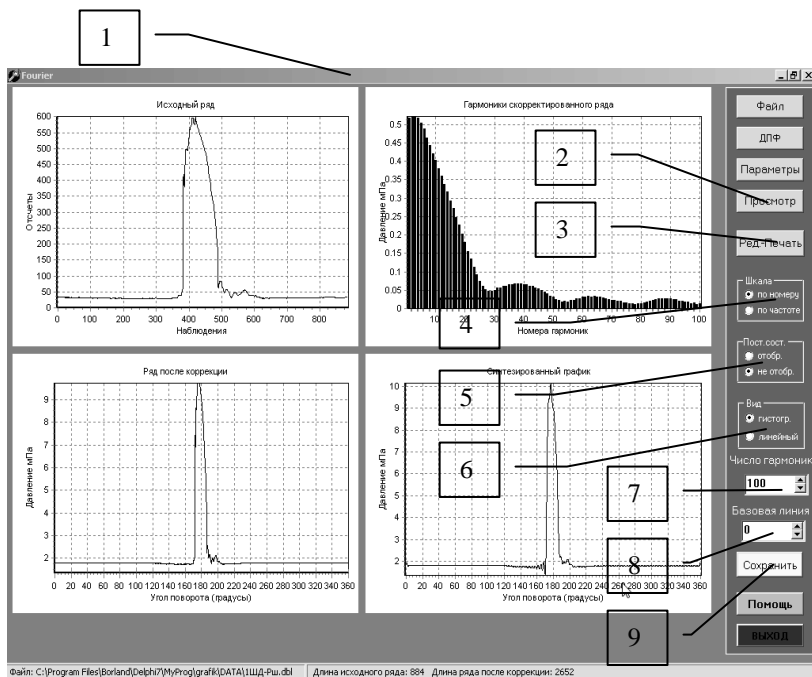


Рис.4. Обработанные данные (4)-(6).

- 1- вид на экран монитора после нажатия кнопки 'ДПФ'
- 2- кнопка «Просмотр», вызывает на экран окно для просмотра числовых значений скорректированного ряда и гармоник (рис.6).
- 3- кнопка «Ред – Печать», вызывает диалоговое окно (рис.5) для:
  - \* выбора графика для редактирования и печати;
  - \* записи файла гармоник.
- 4- переключатель вида отображения для шкалы абсцисс гармоник
- 5- переключатель выбора отображения постоянной составляющей
- 6- переключатель вида отображения графика гармоник
- 7- окно ввода числа рассчитываемых гармоник (по умолчанию 100)
- 8- окно ввода постоянной составляющей
- 9- кнопка «Сохранить», позволяет сохранить выбранный график в электронном виде как файл рисунка формата \*.bmp. В данном случае выбор рисунка производится двойным щелчком левой кнопки мышки в поле окна требуемого графика, отмена выбора осуществляется также двойным щелчком левой кнопки мышки.

На рис.5. показан вид экрана после нажатия кнопки «Ред-Печать». Появилось диалоговое окно выбора графика и редактирования текстовой информации для выбранного графика перед выводом на печать или сохранением в электронном виде как рисунка (7).

-окно выбора графика

-кнопка «Запись гарм», вызывает стандартное окно для записи файла и позволяет записать значения амплитуд гармоник в виде файла \*.hrm.

На рис.6. изображен экран после выбора графика гармоник (двойным щелчком левой кнопки мышки в окне графика гармоник рис.4) и нажатия кнопки ‘Сохранить’.

1- окно изменения размера шрифта перед операцией сохранения рисунка в виде файла.

Для возврата вида экрана к исходному виду рис.3 необходимо после операции записи файла или ее отмены, два раза щелкнуть левой кнопкой мышки в любом месте графика.

На рис.7 показано окно с числовыми данными исходного ряда, скорректированного ряда, а также амплитудами гармоник.

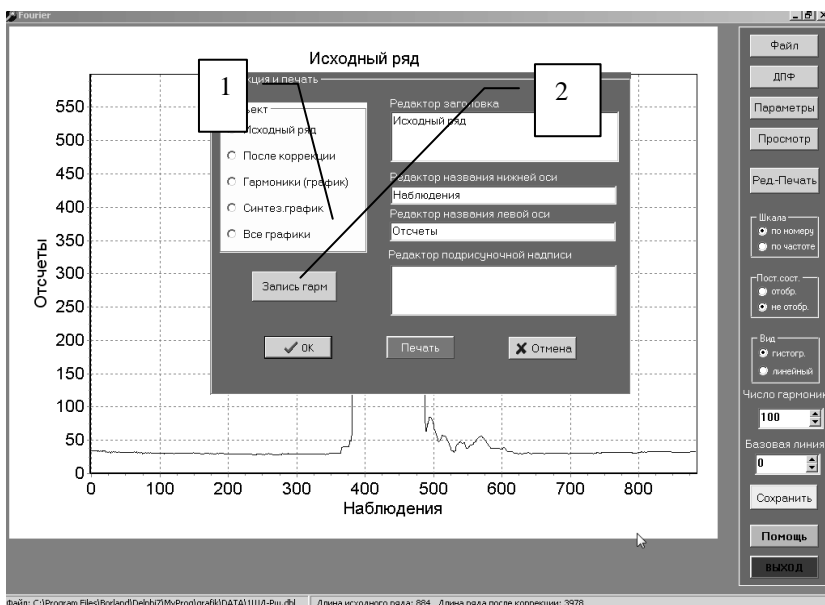


Рис.5. Редактирование текстовой информации.

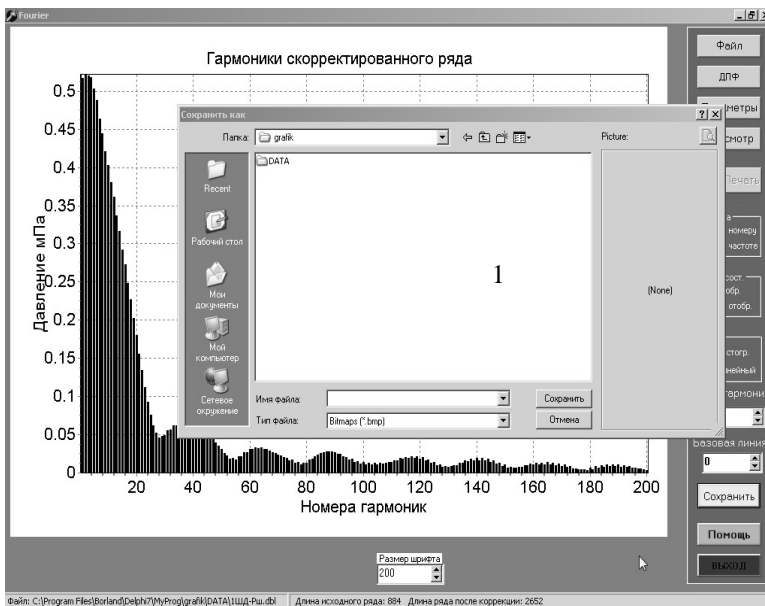


Рис.6. Сохранение графика гармоник.

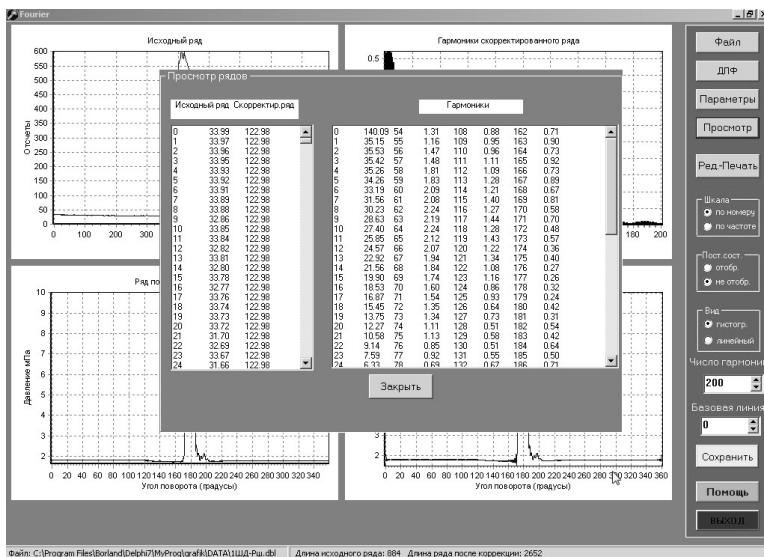


Рис.7 Вид экрана после нажатия кнопки 'Просмотр'.



Разработанные программные средства гармонического анализа позволяют провести сравнение частотных характеристик в графической форме. Такое представление информации приведено на рис. 8,9,10.

Рассматриваются те же, что и ранее режимы:

минимальной частоты вращения  $n = 33$  и  $46$  об/мин, а также  $n = 248$  об/мин, близкие к номинальным оборотам.

На каждом графике показаны три кривые. Две относятся к огибающим амплитуд частот для различных датчиков ( $R_n$  и  $R_{ш}$ ), а третья соответствует их разности –  $R_n - R_{ш}$ .

Наиболее существенным является различие в параметрах на частоте вращения, равной  $33$  об/мин. Максимальное расхождение относится к  $2$  Гц, что соответствует гармонике первого порядка. Начиная с частоты  $f = 10$  Гц, амплитудные значения гармоник обоих датчиков отличаются незначительно.

С повышением частоты вращения частотные параметры датчиков сближаются.

На следующей частоте вращения ( $n = 46$  об/мин, рис.9) значительного различия нет (разность амплитуд почти в  $5$  раз меньше по сравнению с предыдущим режимом). Что касается частотного диапазона рассматриваемых гармоник, то он расширяется с ростом частоты вращения. Так, если в первом случае он укладывается в  $10$  Гц, то при  $n = 46$  об/мин это уже  $20$  Гц.

Качественно эта тенденция справедлива и на третьем из рассматриваемых режимов ( $n = 248$  об/мин, рис.10). Кривые  $R_n$  и  $R_{ш}$  отличаются незначительно, изменяется лишь знак разности. Диапазон существенных частот продолжает расширяться и составляет  $70$  Гц.

Для анализа метрологических особенностей записи давления с помощью «Ш-Д» необходимо провести оценку влияния собственных колебаний элементов, участвующих в передаче усилия от давления топлива в ТНВД к «Ш-Д». Логичным является вызвать эти колебания независимым источником – с помощью ударной нагрузки.

Такой эксперимент был проведен, а запись деформаций датчика представлена на рис.11.

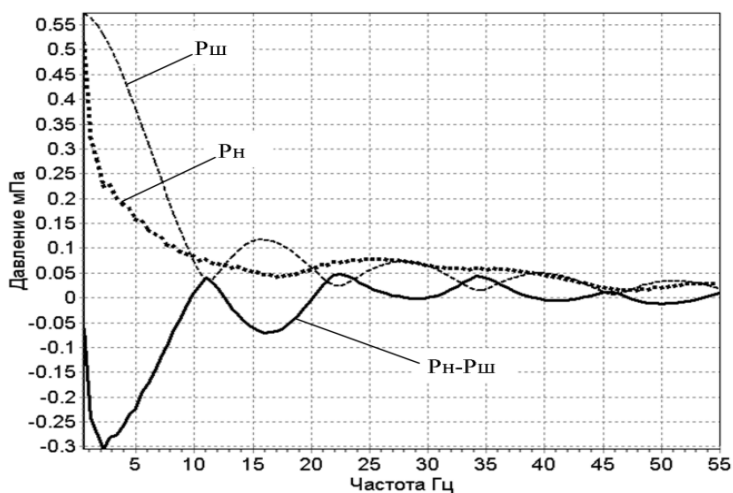


Рис.8. Сравнение частотных характеристик  $P_n$  и  $P_{ш}$  при  $n=33$  об/мин.

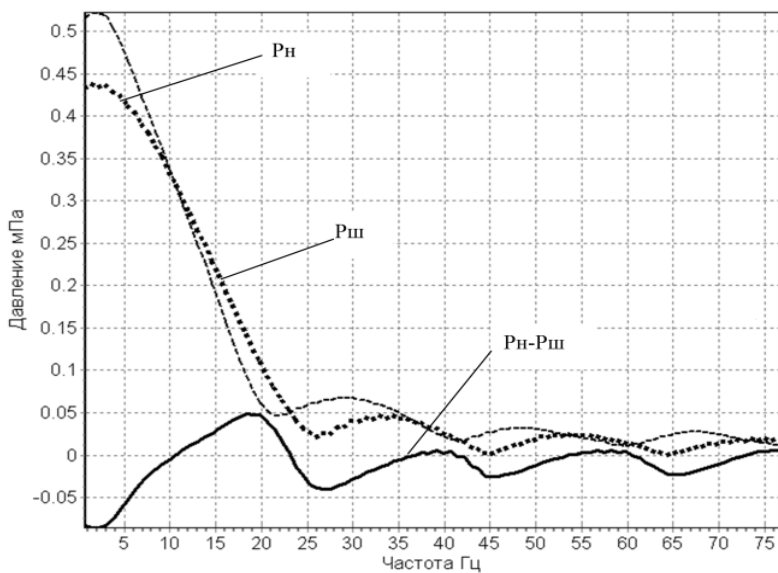


Рис.9. Сравнение частотных характеристик  $P_n$  и  $P_{ш}$  при  $n=46$  об/мин.

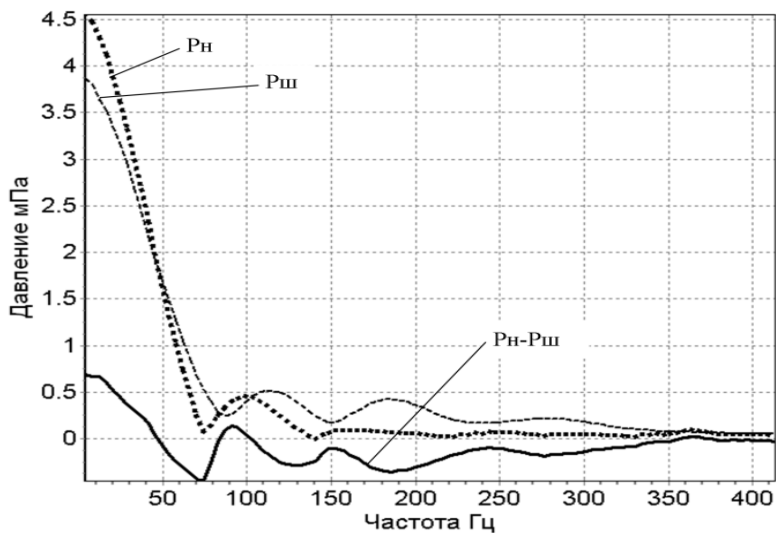


Рис.10. Сравнение частотных характеристик  $P_n$  и  $P_{ш}$  при  $n=248$  об/мин.



Рис.11. Частотные характеристики записи собственных колебаний стэнда.

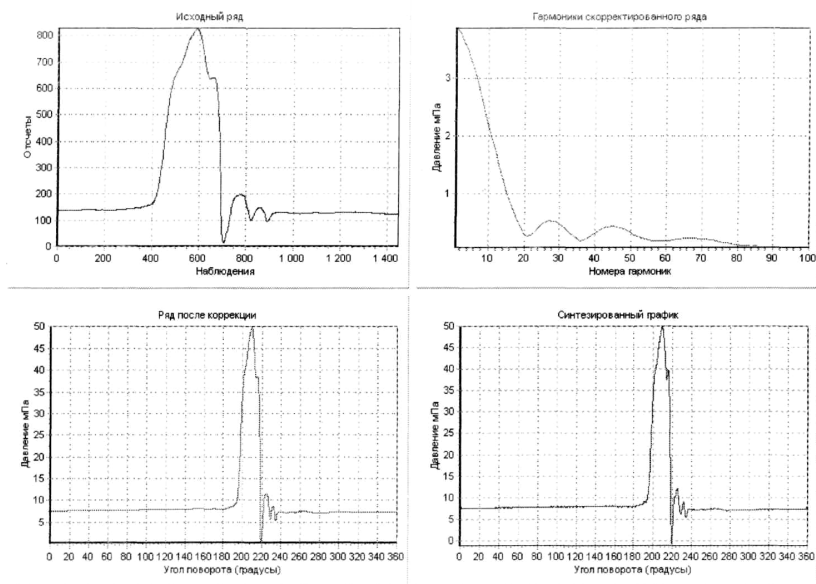


Рис.12. Гармонический анализ записи  $p_{ш}$  комбинированным датчиком «Ш-Д»:  $n_p = 248$  об/мин,  $m = 32$ .

Частотный диапазон для анализа установлен со значительным запасом по отношению к режиму максимальной частоты вращения (превышение более чем в два раза). Шкала амплитуд является условной, поскольку сопоставление выполняется по суммарному значению в условиях процесса впрыскивания.

Сравнивая запись  $p_{ш}$  на различных режимах впрыскивания с частотной характеристикой собственных колебаний, остановимся, в первую очередь, на диапазонах, где значение амплитуд гармоник являются значительными. Как отмечено выше это частоты с верхними значениями  $f = 10, 20$  и  $70$  Гц.

Обращаясь к графику собственных колебаний отметим что, очевидно, запись на рис. 11 является суммарной от действия давления топлива и влияния собственных колебаний. Характер последних ясен из рис. 12. В рабочей записи не просматривается их влияния, что свидетельствует о незначительной амплитуде гармоник собственных колебаний.

Что касается более высоких частот, то кроме их незначительного участия в формировании рабочего выходного сигнала Рш давления топлива, следует отметить отсутствие видимого влияния собственных колебаний измерительной системы. Это справедливо, в том числе, и для участка с максимальными амплитудами собственных колебаний  $f \approx 150-200$  Гц.

#### *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

Половинка Э.М., Яковенко А.Ю. Разработка и исследование комбинированного датчика давления топлива // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб.- 2013. - №32. – Одесса: ОНМА. – С.41-49.

УДК 621.431.74

Половинка Э.М., Яковенко А.Ю.  
ОНМА

## ДИАГНОСТИКА ФОРСУНОК СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Одним из основных условий обеспечения эффективной эксплуатации судовых дизелей является поддержание заданных характеристик впрыскивания топлива. Для его выполнения необходим постоянный контроль состояния элементов топливной аппаратуры двигателя. При этом требуется оценивать характер неисправностей и причины их появления.

Современное состояние теории процесса впрыскивания топлива в дизелях позволяет достаточно точно описывать гидродинамические процессы в топливной аппаратуре дизелей. Реализация таких моделей на компьютерах создаёт предпосылки для контроля текущего состояния топливной аппаратуры путём сравнения регистрируемых параметров с расчётными в режиме реального времени.

В качестве базовой модели топливоподачи целесообразно использовать гидродинамический метод расчёта процесса впрыскивания Ю.Я.Фомина [ 1,2 ].

Указанный метод расчета процесса впрыскивания базируется на уравнениях движения вязкого топлива, в которых учитывается гидравлическое сопротивление нагнетательного трубопровода. При учете гидравлического сопротивления движение вязкого топлива в нагнетательном трубопроводе определяется системой следующих приближенных дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial x} + \rho \frac{\partial u}{\partial t} + 2\rho k u &= 0 \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{a^2 \rho} \frac{\partial p}{\partial t} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $p$  и  $u$  — давление и скорость движения топлива;  $x$  — координата длины нагнетательного трубопровода от его начала;  $k$  — фактор гидравлического сопротивления.

Базовые уравнения граничных условий для системы, схематически представленной на рис. 1, представляют объёмный баланс в полости насоса высокого давления (ТНВД) и форсунки.

В первом случае это

$$\alpha V_H \frac{dp_H}{dt} = f_0 \frac{dh}{dt} - \beta f_k \frac{dy}{dt} - \gamma \mu_{0.6} f_{0.6} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{p_H - p_{вс}} - \delta \mu_{щ} f_{щ} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{p_H - p'_H}; \quad (2)$$

и

$$\alpha V'_H \frac{dp'_H}{dt} = \beta f_k \frac{dy}{dt} + \delta \mu_{щ} f_{щ} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{p_H - p'_H} - f_0 u_0; \quad (3)$$

где  $p_{вс}$  — давление топлива во всасывающей полости насоса;

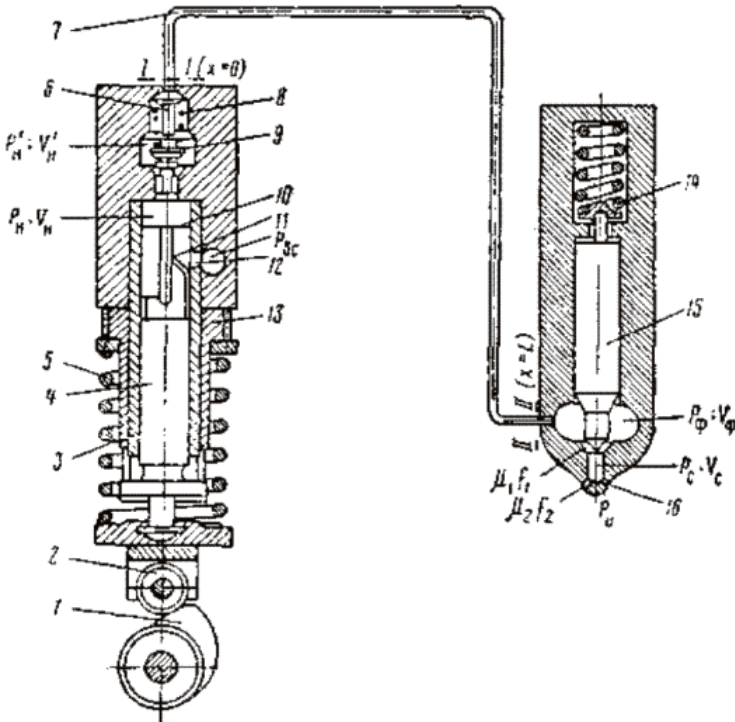


Рис. 1 Схема топливной системы с насосом золотникового типа и форсунки закрытого типа

1- кулачковая шайба; 2- ролик; 3- втулка плунжера; 4- плунжер; 5 – пружина; 6- ограничитель подъема клапана; 7- нагнетательный трубопровод; 8- пружина; 9- нагнетательный клапана; 10- нагнетательная кромка плунжера; 11- отсечная кромка плунжера; 12- всасывающее и отсечное окно; 13- поворотная втулка; 14- пружина; 15- игла форсунки; 16- сопловые отверстия.

$h$ — ход плунжера;

$y$ —подъем нагнетательного клапана;

$f_{ш}$ — площадь проходного сечения нагнетательного клапана при его подъеме;

$\mu_{ш}$ —коэффициент расхода топлива через проходную щель между клапаном и его седлом;

$\mu_{о.в}$   $f_{о.в}$ —эффективное сечение всасывающих и отсечных окон (клапанов).

Уравнения (2), (3) — уравнения сплошности потока; первое для полости нагнетания, второе для полости штуцера насоса.

Для форсунок закрытого типа основные граничные условия определяются уравнением сплошности :

$$\alpha V_{\phi} \frac{dp_{\phi}}{dt} = f_{\tau} u_L - \varepsilon f_{и} \frac{dz}{dt} - \zeta \mu_c f_c \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{p_{\phi} - p_{ц}} , \quad (4)$$

где

$V_{\phi}$  — объем камеры распылителя форсунки;

$f_{и}$  — площадь поперечного сечения иглы форсунки.

Для оценки эффективности имитационного моделирования при анализе данных текущего контроля процессов впрыскивания проведены расчёты топливоподачи при различных значениях эффективного сечения распылителя форсунки. Исследование выполнено применительно к системе топливоподачи судового среднеоборотного двигателя ЧН25/34.

Для форсунок закрытого типа основные граничные условия определяются уравнением сплошности :

$$\alpha V_{\phi} \frac{dp_{\phi}}{dt} = f_{\tau} u_L - \varepsilon f_{и} \frac{dz}{dt} - \zeta \mu_c f_c \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{p_{\phi} - p_{ц}} , \quad (5)$$

где

$V_{\phi}$  — объем камеры распылителя форсунки;

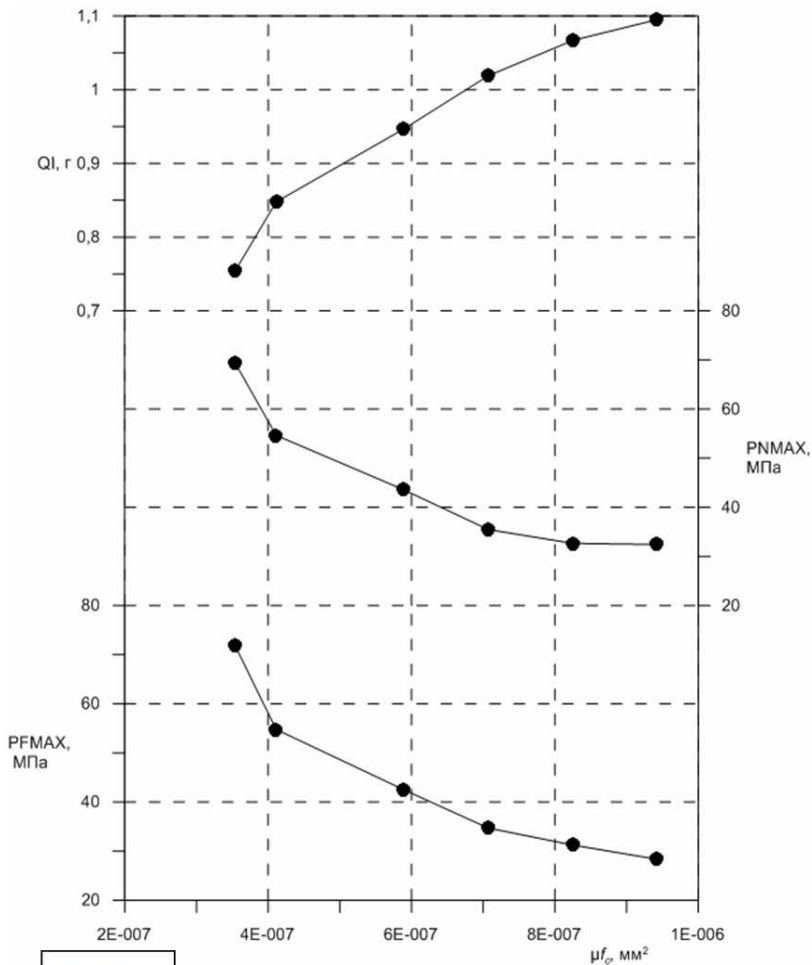
$f_{и}$  — площадь поперечного сечения иглы форсунки.

Для оценки эффективности имитационного моделирования при анализе данных текущего контроля процессов впрыскивания проведены расчёты топливоподачи при различных значениях эффективного сечения распылителя форсунки. Исследование выполнено применительно к системе топливоподачи судового среднеоборотного двигателя ЧН25/34.



Имитационное моделирование проведено в диапазоне от 0,6 до 1,6 от номинального значения  $\mu f_c$ . При базовой величине  $\mu f_c = 0.589 \text{ м}^2 * 10^{-6}$  это составило  $(0.353 - 0.942) * 10^{-6} \text{ м}^2$ .

Расчёты выполнены на ПК стационарного и мобильного исполнения (Desktop и Notebook) с использованием метода проф. Ю.Я.Фомина и программы, основные блоки которой созданы им же. Результаты проведенного исследования представлены в графической форме на рис. 2, 3. Построение графиков выполнено в пакете Grafor10.



Format  
bm

Рис.2 Зависимость параметров топливоподачи от величины эффективного сечения распылителя

Рис. 2 содержит обобщённую информацию по всем исследованным вариантам изменения  $\mu f_c$ . Можно отметить, что уменьшение эффективного сечения распылителя оказывает более существенное влияние, чем его рост.

Так, снижение значения  $\mu f_c$  на 40% вызывает рост давления в системе близкий к 70 %, практически совпадающий как у ТНВД, так и в форсунке. В то же время равное увеличение  $\mu f_c$  приводит к снижению этих параметров только на 35%. Дополнительное увеличение  $\mu f_c$  ещё на 20% практически не сказывается на давлении в насосе. Давление в форсунке при этом снизилось ещё на 15%.

Зависимость цикловой подачи от величины  $\mu f_c$  имеет другой характер. С ростом эффективного сечения распылителя цикловая подача также увеличивается. Относительное влияние при этом сохраняется. Для первого варианта, рассмотренного выше, сокращение  $q_{ц}$  составило 57%, что несколько неожиданно с учётом одновременного роста давления в системе.

Для участка увеличения  $\mu f_c$  (по отношению к номинальной величине) повышение  $q_{ц}$  составляет 14% для первых 40% роста  $\mu f_c$  и только 2% при дополнительном увеличении  $\mu f_c$  ещё на 20%.

Развитие процесса впрыскивания при различном состоянии распылителя показано на осциллограммах рис.3. Здесь даны совмещённые кривые для крайних исследованных режимов.

Начальная фаза повышения давления в системе идентична в рассматриваемых условиях.

С началом подъёма иглы наблюдается существенное различие в ходе дальнейшего изменения давления в форсунке. Во-первых, характерное для систем непосредственного действия кратковременное прекращение нарастания давления и одновременное его падение более интенсивно для увеличенного  $\mu f_c$ . Во-вторых, что более существенно, большая часть основного впрыскивания происходит при незначительных колебаниях давления. Характеристика впрыскивания близка к процессу в аккумуляторной системе.

Кривая давления при минимальной величине  $\mu f_c$  характерна для систем непосредственного действия. Можно отметить лишь наличие пологого переднего и крутого заднего фронта на кривой  $p_{ф}$ . Общей сравнительной оценкой развития процесса в форсунке является значительное повышение максимального давления и суммарной энергии, подводимой к топливу.

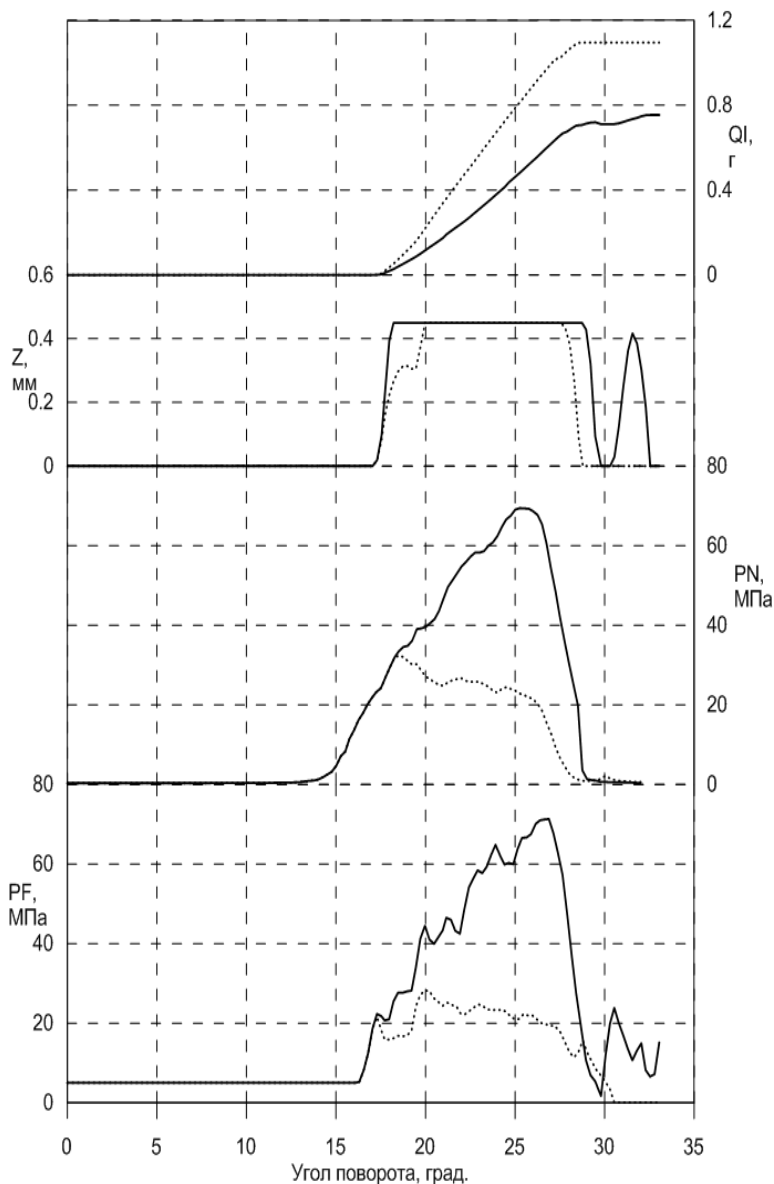


Рис.3 Осциллограммы топливоподачи при различных величинах  $\mu f_c$ :

-----  $\mu f_c = 0.9420E-06$ , ———  $\mu f_c = 0.3530E-06$

Format  
bmp

Сказанное близко и к процессу в ТНВД. Естественно смещение по углу возмущений, приходящих от форсунки, и сглаженный характер колебаний давления.

Что касается движения иглы, то ожидаемым является сокращение угла впрыскивания при росте  $\mu f_c$  и появление подвпрыскивания в варианте минимального эффективного сечения распылителя.

#### Выводы

Выполнена разработка методики оценки влияния эксплуатационных факторов на характеристики процесса впрыскивания топлива в дизелях с использованием математических моделей и имитационного моделирования топливоподачи.

На примере распылителя форсунки показана возможность анализа влияния изменения его состояния на процесс топливоподачи.

Получены количественные характеристики изменения параметров впрыскивания при загорании и износе сопловых отверстий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.Топливная аппаратура дизелей: Справочник/ Ю.Я.Фомин, Г.В.Никонов, В.Г.Ивановский.- М.: Машиностроение, 1982.- 168 с., ил.
- 2.Фомин Ю.Я. Гидродинамический расчёт топливных систем дизелей с использованием ЭЦВМ.- М.: Машиностроение, 1973.- 144с., ил.

УДК 005.334

Парменова Д.Г.  
ОНМА

## **ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ФАКТОРЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ОЦЕНКИ РИСКА**

Развитие современного флота неразрывно связано с решением проблемы сохранения и укрепления здоровья моряков, улучшения условий их труда, быта и отдыха. Одним из важнейших условий сохранения здоровья моряков является обеспечение оптимальных условий работы на судне.

Целью статьи является выделить определяющие факторы, которые позволят наиболее полно оценить условия проведения работ с точки зрения возникновения небезопасных условий и событий для работников. Это даст возможность осуществить разработку эффективной системы мероприятий и технических средств для организации, управления и контроля за безопасными условиями труда как на судах морского флота так и на промышленных предприятиях.

Вредные или опасные условия труда и ошибочные действия персонала могут привести к потере здоровья, преждевременной смерти, профессиональным заболеваниям. Поэтому для того, чтобы эффективно осуществить профилактику и предупреждение производственного травматизма проводится процедура оценки риска на рабочем месте.

Уровень риска оценивается каждый раз, когда происходят какие-либо изменения, влияющие на факторы риска, например: вводится новый технологический процесс, новое оборудование, сырье или материалы, изменяется организация труда или вводятся новые рабочие ситуации, так же перед выполнением опасных видов работ.

Выбор метода оценки рисков зависит от следующих факторов [1]:

- характера рабочего места (например, постоянное или временное рабочее место);
- вида деятельности (например, вахтенная работа на мостике (монотонность);
- работа, выполняемая в постоянно изменяющихся условиях;
- работа по техническому обслуживанию, выполняемая по мере возникновения необходимости;

- выполняемого задания (например, обработка данных, работа с токсичными химическими веществами, около электрораспределительного оборудования, в условиях замкнутого пространства и т. п.);
- степени технической сложности.

Можно использовать самые различные методы оценки риска (и их комбинации) при условии, что они содержат в себе необходимые элементы. В некоторых случаях достаточно применить один метод, чтобы охватить все рабочее место и существующие на нем риски. В других случаях для различных составляющих рабочего места может применяться несколько различных методов оценки.

Методы оценки рисков обычно разрабатывают на основе:

- наблюдений за рабочей средой (например, условия труда работника - безопасность оборудования, запыленность и задымленность, температура, освещение, шум и т. д.);
- определения рабочих заданий (определить все задания, чтобы убедиться, что они включены в оценку риска);
- анализа рабочих заданий (оценка рисков, появляющихся в результате выполнения заданий работниками);
- наблюдений за происходящей работой (проверка соответствия проводимых работ предусмотренным требованиям, для того, чтобы убедиться, не появятся ли какие-либо другие риски);
- характера труда (оценка возможных опасностей);
- внешних факторов, влияющих на рабочее место (например, климатические условия для работников, работающих на открытом воздухе);
- отчета о психологических, социальных и физических факторах, способствующих стрессу и усталости на рабочем месте, как они взаимодействуют между собой и с другими факторами организации труда и рабочей среды;
- условий организации труда (наличие регламентированных перерывов, эргономические показатели и др.).

Сделанные наблюдения необходимо согласовать с критериями норм гигиены труда и другими нормативными актами в сфере охраны труда, принимая за основу [2]:

- а) правовые требования;
- б) действующие стандарты безопасности труда и технические регламенты, инструкции по охране труда, правила трудового распорядка, указания производителей и т. д.;
- в) принципы иерархии устранения рисков, такие как:

- избежание риска;
- замещение опасных рисков безопасными или менее опасными (например, замещение токсичных химических веществ веществами, менее вредными для здоровья);
- ликвидация рисков у самых их истоков;
- внедрение в первую очередь коллективных, а не индивидуальных средств защиты (например, при защите от пыли в помещении приоритет отдается оборудованию системы местной вытяжной вентиляции, а не использованию противогазов);
- применение передовых технологий и инноваций;
- повышение уровня безопасности (обучение и инструктаж работников).

Процедуру оценки рисков необходимо организовывать и применять, для того чтобы помочь работодателям или их представителям, контролирующим производимую работу:

- определить угрозы, имеющиеся в рабочем процессе, и оценить связанные с ними риски, чтобы, соблюдая требования существующего законодательства, определить, какие мероприятия необходимо осуществить для обеспечения безопасности и сохранности здоровья работников и других лиц;

- оценить риск, чтобы, основываясь на полученной информации, правильно организовать работу, выбрать необходимые для работы оборудование, химические вещества, материалы и т. п.;

- проверить, адекватны ли осуществляемые мероприятия по охране труда;

- определить приоритеты деятельности, если в результате оценки была установлена необходимость в дальнейших мероприятиях;

- показать работникам и их представителям, что все факторы, связанные с работой, приняты во внимание, а также приняты все необходимые меры для организации безопасного труда;

- обеспечить сохранение здоровья и повышение уровня безопасности работающих при помощи превентивных мероприятий, методов и приемов работы, которые были признаны необходимыми и внедрены после проведения оценки рисков.

Основные методические и организационные задачи, которые неизбежно приходится решать при проведении оценки риска:

1. Формирование перечня опасностей – профиля риска, условия работы (число задействованных работников, инструмент, оборудова-

ние, материалы, необходимые для выполнения работы кто это будет выполнять и как, а так же как его использовать в дальнейшем.

2. Связывание опасности с выполняемыми операциями человеком - машиной (оборудованием, инструментом) и внешней средой, в которой выполняется эта операция, т.е. выявление небезопасных действий и условий, которые могут привести к возникновению аварийной ситуации или инцидента.

3. Определение частоты (временного периода) присутствия опасности и возможности ее проявления.

4. Метод оценивания (измерения) тяжести возможных последствий при реализации опасности.

Шаги рабочего процесса оценки риска можно представить в виде последовательности [3]: **опасность → частота возникновения опасности → тяжесть последствий → численность персонала подверженного опасности → вероятность реализации опасности.**

Такая цепь анализа позволяет выделить не только факторы, определяющие уровень риска, но и методы управления ими, а так же способы оценки эффективности и стоимости работ по снижению уровня риска.

**Частота возникновения опасности** - время существования опасности или ее доля в общем рабочем времени. Например, проведение разгрузочно-погрузочных работ с пылеобразующими вредными и опасными грузами. В этом случае способом управления рисками является уменьшение времени существования опасности (пыли) (в пределе свести к нулю, т.е. исключить вообще) – так называемая защита «временем».

Способы решения задачи в этом случае:

1. Организационные, т.е. снижение времени затрачиваемого на выполнение операции, требующей нахождения в зоне грузовых операций.

2. Технические меры: автоматизация (удаление человека из процесса), введение новых технологий либо проведение технико-технологического переоснащения – изменения.

**Тяжесть последствий** - уровень/концентрацию энергии/вещества в единицу времени/ и на единицу площади/объема применительно к человеку. Например, во время проведения работы на высоте тяжесть последствий от потери устойчивости (равновесия) будет зависеть от высоты падения и от наличия и вида предметов, находящихся в зоне падения.



Способы снижения уровня такого воздействия - последствий:

1. Технические (обеспечение надежными техническими средствами);
2. Использование средств индивидуальной и коллективной защиты.

**Численность персонала подверженного опасности** - количество работников, выполняющих работу в присутствии опасности.

Методы управления:

1. Технические, например автоматизация и механизация позволяет повысить производительность труда и сократить численность персонала;
2. Организационно-технические, например вывод части персонала из опасной зоны, организация рабочих мест в других местах (например, при проведении сварочных работ в зоне проведения сварки не должно проводиться никаких других работ по обслуживанию и эксплуатации оборудования).

**Вероятность реализации опасности** - частота опасных событий (возникновения небезопасных условий или действий), другими словами частота реализации опасности. Это наиболее сложный вариант, т.к. кроме того, что она зависит от технической составляющей, еще большее влияние на значение вероятности оказывает «человеческий фактор».

По данным различных национальных и международных источников результаты исследований несчастных случаев на морских судах показывают, что число опасных условий и действий, связанных с человеком колеблется от 60% до 90%.

Создание человеком опасных условий и совершение опасных действий определяется множеством факторов: психические и физиологические особенности работника (склонность к риску, доминированию, концентрация внимания, скорость реакции, утомляемость и т.д.), умения, навыки, знания (стаж, квалификация), осознание/понимание опасности, финансовой системой мотивации (эффективностью и направлением этой системы) и т.д.

Приведем некоторые группы факторов, которые в различной степени влияют на поведение человека и на реализацию опасных действий.

**1. Уровень культуры безопасности** – знание и понимание персоналом причин и последствий несчастных случаев, умение различить и идентифицировать опасность.

Понимание и осознание опасности (в той или иной степени), а так же понимание своей роли в технологической цепочке производства оказывает влияние на поведение человека при выполнении работ, поэтому цель такого анализа оценить степень этого влияния на обеспечение безопасности.

**2. Материально-технологический фактор** (работоспособность-надежность оборудования, инструментов, приспособлений, безаварийность оборудования, наличие необходимых средств индивидуальной защиты).

Такое оценивание позволяет определить насколько, и в какой степени надежность технических средств обеспечивает безопасность работника и снижает вероятность его опасных действий.

**3. Кадровый фактор** (психофизиологические характеристики человека, стаж работы по профессии, уровень подготовки и квалификация).

Определяет, насколько значим или насколько влияет подбор персонала на качество выполнения работы, на снижение травматизма, на вероятность совершения ошибки работником и выполнения опасных действий. Основой этого фактора являются персональные особенности работника: его реакция, умение правильно оценивать обстановку, утомляемость, физиологические особенности, психологические особенности и т.д.

**4. Фактор визуализации опасности** (знаки, плакаты, разметка, окраска, ограждения и т.п.).

Наличие или отсутствие визуализации опасности (предупреждающих, запрещающих знаков, сигнальной разметки, маркировки опасных зон, звуковых сигналов) оказывает свое влияние на предупреждение человека, удержании его от совершения опасных действий и от попадания в опасные ситуации.

Эти параметры, в то же время, являются инструментами управления опасными состояниями - поведением работников. Поэтому, зная их роль, значимость или, по-другому, эффективность каждой группы факторов, можно выбрать наиболее действенный инструмент(ы) для управления.

Выводы.

1. Существуют два принципа, о которых всегда надо помнить при оценке риска, положенных в основу методологии проведения оценки риска:

Во-первых, необходимо учитывать по возможности большинство факторов риска.

Во-вторых, определив риск, необходимо выяснить, можно ли избавиться от него полностью. Если нет, то необходимо оценить его возможные последствия и разработать систему мероприятий для снижения последствий этого риска до минимальных значений насколько это возможно.

2. Разработка методов выявления и управления риском должна быть основана на создании системы методов и определяющих факторов, которые формируют условия трудовой деятельности. Такая систематизация позволяет определить необходимые и достаточные элементы системы безопасности труда, а также определяет возможности мониторинга динамических изменений состояний системы при изменении условий труда.

### *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. Крюков Н.П. Оценка профессиональных рисков [Электронный ресурс]/ Крюков Н.П., Истомина С.В., Турченко В.Н., Ефимова И.В. [и др.] // Справочник специалиста по охране труда. - 2010. – № 8. Режим доступа: <http://www.mcfr.ru>, свободный.

2. Управление рисками и профилактика в сфере труда в новых условиях. Доклад МОТ к Всемирному дню охраны труда – 2010 / МОТ Субрегиональное бюро для стран Восточной Европы и Центральной Азии. – Москва, МОТ, 2010г., 20с.

3. Оценка профессиональных рисков (задачи, этапы, подходы, возможные решения): информация к семинару: «Оценка профессиональных рисков или оценка рисков по профессиям при аттестации рабочих мест» [Электронный ресурс] / Мазеин С.А. Режим доступа: [http : www.icgrp.ru](http://www.icgrp.ru), свободный.

УДК 614.8.026.1:005

Приходько Е.А.  
ОНМА

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПРОГНОЗОВ РИСКА В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЕ

**Актуальность исследований.** Важнейшей тенденцией в области управления рисками становится конвергенция – встречное движение изначально «разделенных» математиков – и инженеров – для совместного развития количественных методов управления рисками, что особенно важно для риск-менеджмента в реальном секторе экономики. 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 рисков, не отражают реальной производственной ситуации. прощенный подход к выявлению источников опасности и согласованию интересов сводится к примитивным декларациям, и формальным процедурам непосредственного утверждения ограничений и приоритезации 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.

**Цель статьи.** Упрощенный подход к выявлению источников опасности и согласованию интересов сводится к примитивным декларациям, и формальным процедурам непосредственного утверждения ограничений и приоритезации 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.

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 внедренных мероприятий, постоянное наблюдение за рисками и взаимодействие с работниками, подверженными рискам. Определение критериев качества оценки факторов риска — является важным условием достоверности математического прогноза. **Модель должна обеспечить ожидаемый результат и при этом быть легка в применении.**

**Постановка задач исследования.** На подготовительном этапе проводился анализ существующих методов организации управления риском. Прежде всего определяются объекты управления и методы получения требуемого уровня безопасности (в соответствии действующего Законодательства). Технические, организационные, предотвращение определенных видов риска, уменьшение опасности неблагоприятного воздействия этих видов на результаты хозяйственной деятельности и т. д.

Менеджмент риска направлен на развитие безопасности и безаварийности систем функционирования с учетом всех возможных факторов воздействия. Для этих целей необходим максимально точный анализ комплекса факторов, влияющих на уровень опасности и корректны перевод субъективных характеристик в плоскость формальных оценок для возможности производить расчеты и прогнозировать риски. Необходимо повышать практическую культуру экономико-математических методов в управлении рисками, например охватывать все большее количество направлений деятельности портфельным подходом, максимально использовать неисчерпаемые ресурсы метода реальных опционов, интерпретируя различные хозяйственные ситуации как опционы. А также совершенствовать философию количественных методов *риск-менеджмента (синергетику, теорию глобальных факторов риска)* и прикладные исследования в поисках решений вышеуказанных вопросов развития риск-менеджмента.

**Результаты исследований.** 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.

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 рисковому 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.

Определены признаки «хорошей оценки риска»

### **Признаки хорошо проведенной оценки рисков:**

1. Хорошая оценка рисков **организуется работодателем**. К ней привлекаются различные подразделения организации в соответствии со своими заданиями. Хорошая оценка рисков основана на принципе Р-С-Р, иными словами, в ней участвуют работодатель, специалисты и работники. Базовая оценка риска проводится специалистами, обладающими информацией обо всех конструктивных особенностях производственной среды. На судах проводится привязка оценок к существующей ситуации по месту работы. Работник, направляемый в условия воздействия опасных факторов, выполняет работу на требуемом уровне безопасности.

2. Хорошо выполненная оценка рисков отражает **действительное положение**, а ее результаты отражают реальные условия труда и трудового процесса. Во время оценки рисков необходимо выполнять все ее мероприятия объективно и адекватно. Ранее внедренные мероприятия по управлению рисками учитываются в той части, в какой они соответствуют действительности. Например, оценка величины риска, причиняемого шумом, должна учитывать эффективность мероприятий по предотвращению шума лишь в той части, в какой мероприятия на самом деле выполнены.

3. Хорошая оценка рисков является **систематической**. Оценка рисков сделана хорошо, если в ней систематически распознавались опасности и оценивались риски для самых главных производственных процессов (рабочих операциях). Оценка рисков должна охватывать все значительные зоны рисков. Оценку нужно делать так, чтобы наиболее выраженные и обширные зоны рисков контролировались наиболее тщательно. Оценка общего характера должна дополняться возможно более подробными уточнениями и разъяснениями.

4. Хорошая оценка рисков отражает наиболее острые проблемы (нужды) обеспечения безопасности труда. Определение величины риска нужно выполнять так, чтобы были выделены наиболее выраженные и значимые с точки зрения обеспечения безопасности



риски. С другой стороны, при оценке рисков надо выделять и те риски, по отношению к которым не требуются специальные мероприятия или дополнительные разъяснения. Результаты оценки должны быть использованы при разработке конкретных мероприятий по управлению рисками.

5. Хорошая оценка рисков должна носить **профилактический характер**. Она основывается на имеющихся данных организации о рисках и ранее происшедших опасных ситуациях, несчастных случаях, а также недавних инцидентах. Помимо архивных данных учитываются потенциальные опасности, которые пока не проявились, но возникновение которых в процессе работы вероятно. Также оценивается достаточность внедренных ранее мероприятий по безопасности труда.

6. Хорошая оценка рисков **является практичной**. Главная ее задача осуществить ясные и выполнимые мероприятия для повышения безопасности труда. К хорошему использованию результатов оценки рисков относится и то, что они внедряются в соответствии с установленным законодательством методами в виде множества форм реализации, в том числе, например, включаются в инструктажи по охране труда.

7. Хорошая оценка рисков должна быть **документированной**. Результаты оценки рисков и решения по ним представляются в письменном виде. Документы следует сопровождать информацией о выполнении мероприятий. Выполненные мероприятия свидетельствуют о результативной оценке рисков.

8. Хорошая оценка рисков является **развивающейся** и постоянно действующей функцией предприятия. К хорошей оценке рисков относится отслеживание выполнения мероприятий, повторная оценка рисков для оценки их воздействий и непрерывный контроль производственной среды для профилактики рисков.

*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.*

По результатам проведения оценки рисков должны проводиться мероприятия по применению более современных и эффективных ме-

тодов по снижению рисков. Информации, содержащейся в документах по оценке рисков, следует придерживаться при повторной оценке. При проведении сравнительного анализа выявляются наиболее эффективные изменения.

### **Выводы.**

Невозможно, конечно, учесть все рисковые факторы, но вполне реально выделить главные из них, а также определить какой эффект обуславливает то или иное рисковое событие и велика ли вероятность его наступления.

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 629.12.06:628.84

Ходарина К.В.,  
АМИ ОНМА

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛООЩУЩЕНИЕМ ЧЕЛОВЕКА

В отечественной и зарубежной практике проектирования систем комфортного кондиционирования воздуха в настоящее время руководствуются нормативными данными по теплопродукции человека, расходу наружного воздуха, тепловому комфорту и другим показателям, ориентированными на так называемого «среднего» человека и, следовательно, на «средний» уровень комфорта. В основе предлагаемых систем лежит принцип обеспечения индивидуального контроля тепловой среды и принцип подачи в зону дыхания конкретного потребителя «персонализированного» свежего воздуха.

Использование нормативных материалов, ориентированных на «условного» человека, оправдано при проектировании систем комфортного кондиционирования воздуха, обслуживающих общественные помещения — кинотеатры, концертные залы, спортивные комплексы и т. д. Если система кондиционирования предназначена для жилых или небольших служебных помещений — каюты на судах, купе-люкс, кабинеты, офисы, комнаты и т. д., то система должна обеспечивать тепловой и газовый комфорт не «условного», а конкретного человека с учетом его субъективных характеристик. [1]

На сегодняшний день подавляющее большинство систем кондиционирования воздуха (СКВ) выполняют задачу нормирования микроклиматических условий в помещениях по косвенным критериям оценки теплового состояния организма человека. Это непосредственно параметры окружающей среды (например: температура –  $t_n$ , относительная влажность –  $\varphi_n$  и подвижность воздуха –  $v_n$ ). [2]

В то же время не учитывается тепловое состояние организма человека, его уровень физической активности, тепловое сопротивление одежды и т.д.

Проблема поддержания комфортного теплового состояния организма человека на данный момент остается нерешенной. Поэтому целью данного исследования является разработка автоматической системы управления технологическим процессом (АСУТП) кондиционирования микроклимата в помещении по действительному (субъективному) теплоощущению человека. В дальнейшем такую систему будем называть автоматической системой управления теп-

лоощущением человека (АСУТЧ). Регулируемым параметром в такой системе является теплоощущение TS (Thermal Sensation) шкала которого совпадает со шкалой тепловых ощущений ASHRAE. [3]

Регулирующие воздействия: температура  $t_n$ , относительная влажность  $\phi_n$  и подвижность воздуха  $v_n$  в помещении. Следует четко понимать, что объектом управления в АСУТЧ является не помещение, а человек.

АСУТЧ по принципу получения информации о тепловом состоянии организма человека можно разделить на два основных класса:

1. системы, которые непосредственно определяют теплоощущение по измеряемым температурам кожи открытых участков тела, и, сравнивая с требуемым, формируют команды управления.

2. системы, которые в процессе работы получают дополнительную корректирующую информацию от человека о его теплоощущении и уровне активности, анализ которой дает возможность формировать необходимые команды управления. [4]

К первому классу относятся замкнутые системы с программным управлением по отклонению. На рис. 1 представлена одна из возможных функциональных схем такой АСУТЧ. Система состоит из: объекта управления (ОУ) – человека; корректирующего устройства (КУ), контуров регулирования температуры  $t_n$  (АСР  $t$ ), относительной влажности  $\phi_n$  (АСР  $\phi$ ) и подвижности воздуха  $v_n$  (АСР  $v$ ) в помещении. КУ с помощью чувствительных элементов измеряет параметры окружающей среды и температуру кожи открытой части тела, например, лица, сенсорами инфракрасного излучения.

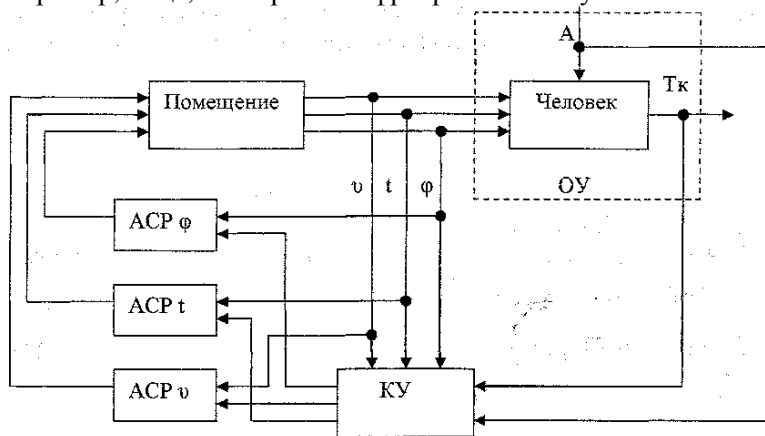


Рис. 1. Функциональная схема АСУТЧ первого класса

Регулируемый параметр  $TS$  вычисляется по полученной температуре кожи с помощью многокомпарментной психофизиологической модели человека. В соответствии с известными характеристиками человека, его уровнем активности  $A$  и отклонением  $TS$  формируется оптимальный закон управления заданиями локальных контуров регулирования параметров воздуха ( $t_n$ ,  $\varphi_n$ ,  $v_n$ ). При таком подходе, кроме поддержания постоянного  $TS$ , АСУТЧ может решать задачи нормализации теплового состояния организма человека и его тепловой адаптации к различным климатическим зонам.

АСУТЧ второго класса представляют собой самонастраивающиеся (адаптивные) кибернетические системы с неполной начальной информацией. Один из возможных путей управления показан на функциональной схеме (рис. 2).

КУ получает значения  $TS$  от настроенной под конкретного субъекта психофизиологической математической модели человека. При изменении уровня активности  $A$  или ощущении дискомфорта человек вводит соответствующие данные в систему. КУ корректирует параметры модели теплового комфорта и формирует соответствующее оптимальное управляющее воздействие на локальные контуры регулирования параметров воздуха в помещении.

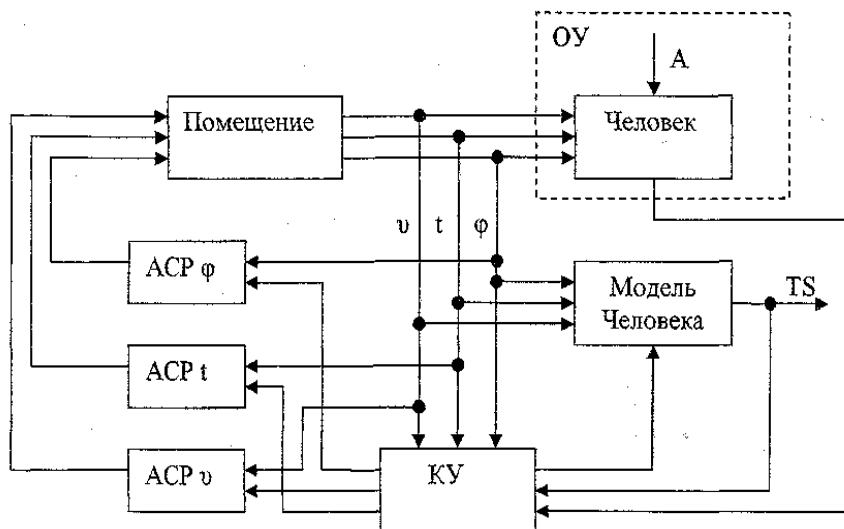


Рис. 2. Функциональная схема АСУТЧ второго класса

Модель управления тепловым состоянием организма представляет собой набор аperiodических и усилительных звеньев, которые моделируют поведение регулирующих органов с линейной и равнопроцентной характеристиками, таким образом, на выходе появляются оптимальные искомые параметры. Такая система реализуется технически с помощью численных методов и методов оптимизации, а также обеспечивает сходящийся переходный процесс при управлении нелинейными объектами.

#### *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. Вычужанин В.В. Управление комплексом СККВ – холодильная установка на основе многопроцессорной системы / Холодильная техника. - 2004.- № 12.- С. 44-49.
2. . Martin R. Responding to thermal sensation complaints in buildings / Final report ASHRAE RP. – 2003.
3. Dear R. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. Final report ASHRAE RP – 884. - 1997.
4. Голиков В.А. Математическое моделирование комфорта микроклимата в жилых помещениях судна / В.А. Голиков, Р.С. Бураков / Сучасне судноплавство і морська освіта - 2004. – С. 19-21.

УДК 551.508.85:(551.576+551.577)

Князь И.А.,  
2-ой помощник капитана

## **ПОЛЯРИЗАЦИОННАЯ СЕЛЕКЦИЯ ЭХО-СИГНАЛОВ МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ФОНЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОМЕХ**

Гидрометеорологические помехи в виде выпадающих осадков различной интенсивности оказывают с одной стороны маскирующее действие радиолокационному обнаружению объектов, находящихся в зонах осадков вследствие интенсивных отражений радиолокационного сигнала, а с другой стороны приводят к сокращению максимальной дальности обнаружения объектов. В иных случаях эхосигналы осадков могут быть приняты за ложные объекты радиолокационного наблюдения. Вопросам ослабления радиолокационных сигналов в гидрометеорообразовании и оценке их влияния на работу РЛС посвящено достаточное количество работ как у нас стране, так и за рубежом [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13]. Однако до настоящего времени еще не разработаны методы, позволяющие полностью исключить влияние мешающего действия гидрометеоров на работу судовых РЛС. Одним из эффективных методов борьбы с отражениями от выпадающих осадков на пути судна является метод поляризационной селекции с использованием электромагнитных волн круговой поляризации на излучение и прием. При этом в эхосигнале присутствуют обе ортогональные составляющие, которые затем поступают на систему обработки с выделением определенных поляризационных параметров. К таким параметрам будем относить параметры Стокса, которые характеризуются высокой информативностью.

В разработанных к настоящему времени поляризационных методах ослабления мешающего действия выпадающих осадков на работу радиолокационных станций используются взаимные антенны круговой поляризации и невзаимные антенны линейной поляризации [5]. Рассчитанный коэффициент подавления при использовании антенны круговой поляризации и невзаимной линейной поляризации составляет собственно для ливневого и обложного дождя 16,5 и 19,5, 14,0 и 19,0. Эффективность использования указанных антенн зависит от отличия коэффициентов деполяризации эхо-сигналов осадков и объекта.

Мы будем использовать взаимную антенну эллиптической поляризации, излучающей электромагнитную волну круговой поляризации, позволяющая обеспечить поляризационную селекцию эхосигналов на фоне осадков выпадающих на пути судна. Эффект ослабления эхо-сигналов от выпадающего дождя при использовании электромагнитной волной круговой поляризации зависит от взаимной антенны круговой поляризации и поляризационных свойств осадков.

При отражении электромагнитной волны круговой поляризации происходит изменение направления вращения вектора электрического поля по отношению к направлению вращения вектора электрического поля облучающей волны. Если вектор поля вращается по часовой стрелке по отношению к наблюдателю, смотрящему на источник излучения, поляризация волны будет правой и наоборот. Вектор поля вращается в сторону составляющей электрического поля, отстающей по фазе на  $90^\circ$ . При отражении от изотропных капель дождя электромагнитная волна будет иметь круговую поляризацию с левым направлением вращения при их облучении электромагнитной волной круговой поляризации с правым направлением вращения. При отражении от объекта, имеющего ассиметричную форму, электромагнитная волна будет иметь эллиптическую поляризацию и левое направление вращения электрического вектора поля. Схематически отражение электромагнитной волны от дождя и объекта можно представить в следующем виде (рис.1).

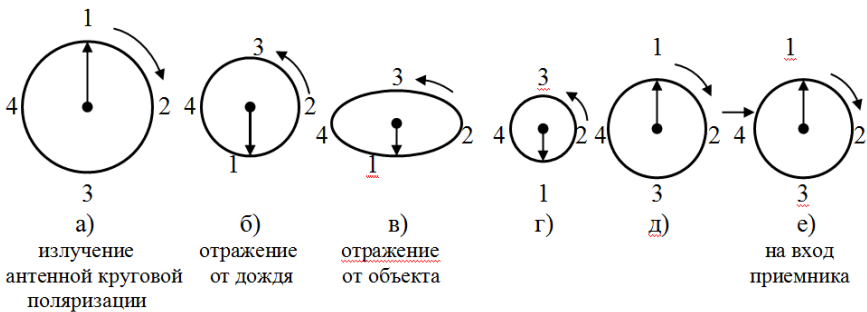


Рис. 1 – Векторное представление электромагнитной волны круговой и эллиптической поляризации, отраженной от дождя (б) и объекта (в)

Из рис.1 видно, что отраженную волну эллиптической поляризации можно представить в виде суммы двух векторов с круговой поляризацией, разных по модулю и направлению вращения (в, г, д).



Рассмотрим прохождение отраженной электромагнитной волны от выпадающего дождя и объекта через поляризационное устройство судовой РЛС.

При одновременном отражении от дождя и объекта электромагнитная волна с выхода антенны поступает на устройство поляризации, состоящее из 2-х прямоугольных волноводов, в которых помещены два фазовращателя  $\Phi$  на  $90^\circ$ , два щелевых моста (ЩМ) и поглощающая нагрузка (ПН). Энергия волны, отраженной от дождя, поступает на поглощающую нагрузку и полностью поглощается (рис.2).

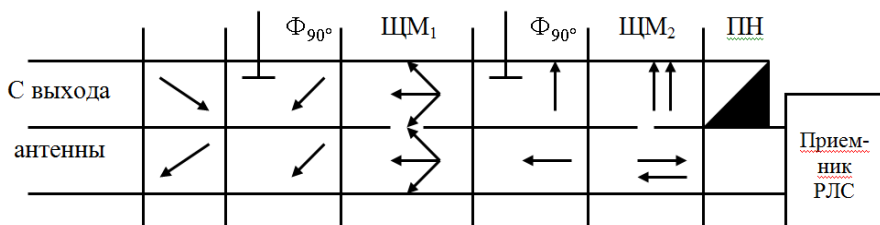


Рис.2 – Прохождение электромагнитной волны, отраженной от дождя, через устройство поляризации.

Отраженная электромагнитная волна от объекта (судна), имеющая компоненту круговой поляризации (рис.1, 3), которая совпадает по направлению вращения с направлением вращения излученной волны, полностью проходит на вход приемника РЛС, а затем на индикатор, где и создает отметку от объекта.

При отличии частиц осадков от сферы, часть отраженной энергии проходит на вход приемника вместе с эхо-сигналом от объекта, т.е. происходит неполная компенсация эхо-сигнала от осадков. В этом случае необходимо производить распознавание объектов на фоне отражений от осадков. Алгоритмы обнаружения и различия полезных эхо-сигналов при наличии помех с учетом полностью поляризованных эхо-сигналов объекта и помехи, а также структурные схемы соответствующих устройств рассмотрены в литературных источниках [7, 14, 15, 16]. Однако в реальных условиях поляризация эхо-сигнала, состоящего из сигнала объекта и помехи, может не совпадать с поляризацией приемной антенны. Поляризация эхо-сигнала объекта и помехи тоже может не совпадать. Поэтому возникает необходимость использования оптимального статистического синтеза алгоритмов распознавания поляризованных эхо-сигналов объектов при наличии частично поляризованных помех.

Поляризационное состояние произвольной электромагнитной волны в каждый момент времени можно представить четырьмя статистически зависимыми случайными величинами, составляющими четырехмерный случайный вектор [5]. Свойства такого вектора могут быть охарактеризованы поляризационными параметрами Стокса, которые неразрывно связаны с физической природой источников излучения (рассеяния, отражения) радиоволн.

Статистические характеристики параметров Стокса частично-поляризованных радиоволн, огибающие ортогонально поляризованных компонент, которых подчиняются логарифмически-нормальному распределению, также подчиняются логарифмически-нормальному распределению [17, 18, 19, 20, 21, 22, 23]. Логарифмически-нормальное распределение используется при описании огибающих радиоволн различного происхождения, в том числе и при рассеянии радиоволн атмосферными образованиями [21, 22, 23], а также при отражении от кораблей, где радиолокационный сигнал при равно-вероятностном ракурсе судна рассматривается как сигнал, отраженный от одной плоскости, выбранной из некоторой совокупности и имеющий неровности, глубина которых распределена по нормальному закону. Экспериментальное подтверждение этому представлено в работе [24].

С учетом аналитических выражений совместной плотности вероятности фаз, приведенных в [25] интегральные функции распределения и начальные моменты параметров Стокса находятся из соотношений (1) и (2):

$$F(I, Q, U, V) = \int_{I, Q, U, V} W(I, Q, U, V) d(I, Q, U, V), \quad (1)$$

$$m_{I, Q, U, V} = \int_0^{\infty} I, Q, U, V W(I, Q, U, V) d(I, Q, U, V) \quad (2).$$

Здесь нижние пределы интегрирования зависят от конкретного вида параметра Стокса.

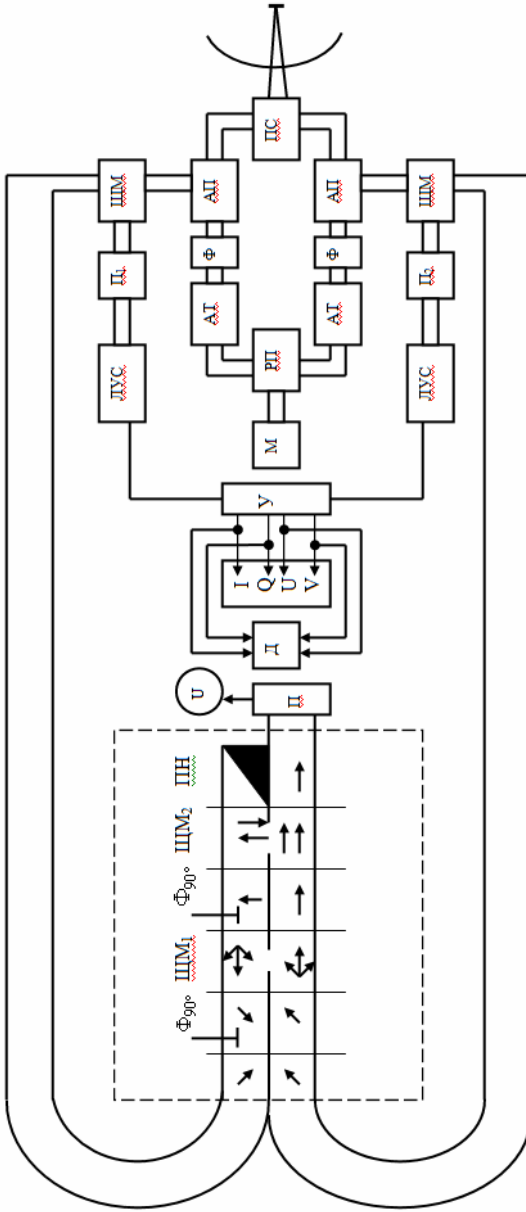


Рис. 3 – Функциональная схема судового поляризатора : П – приемник; Д – дисплей компьютера; М – магнетрон; РП – разделитель поляризации; АТ – аттенуатор; Ф – фазовращатель; АП – антенный переключатель; ПК – поляризационный селектор; ЛУС – логарифмический усилитель; У – устройство получения параметров Стокса

Будем считать, что электромагнитная волна, отраженная как от гидрометеоров, так и от судна, представляет стационарный эргодический случайный процесс в пространстве и времени, хотя, однако, свойство эргодичности не является следствием стационарности, а случайный процесс является эргодическим, если любая его статистическая характеристика, полученная по множеству возможных реализаций с вероятностью сколь угодно близкой к единице, может быть получена усреднением за достаточно большой промежуток времени из одной единственной реализации случайного процесса. Случайный процесс является стационарным, когда выражение для функции распределения вероятностей любого порядка не зависит от положения начала отсчета времени.

Для решения задачи распознавания статистическим методом будем использовать априорную информацию, которая характеризует объект распознавания и гидрометеорологическую помеху. Совокупностью признаков, характеризующих объект распознавания и помеху, могут являться параметры Стокса, которые образуют вектор признаков распознавания или предиктор, составляющими которого являются сами признаки, т.е.  $\bar{X}(I, Q, U, V)$ . Вероятностными характеристиками вектора признаков являются условные плотности вероятности вектора признаков, которые записываются для объекта  $\rho_o$  и помехи  $\rho_n$  в виде:

$$\rho_o(I), \quad \rho_o(Q), \quad \rho_o(U), \quad \rho_o(V), \quad \rho_n(I), \quad \rho_n(Q), \quad \rho_n(U), \quad \rho_n(V).$$

Условная плотность совместного распределения признаков распознавания объекта и помехи описывается законом их распределения  $W$ , т.е.  $W_o(I, Q, U, V)$  и  $W_n(I, Q, U, V)$ ,

или

$$\frac{W_o(I, Q, U, V) / O}{W_n(I, Q, U, V) / \Pi} \quad (3)$$

Закон распределения  $W$  предиктора  $\bar{X}$  показывает вероятность образования предиктора  $\bar{X}$  с данными значениями составляющих, т.е. параметров Стокса, при условии, что отраженный сигнал создан объектом или помехой. Эти законы либо взаимно пересекаются, либо нет (рис.4, а и б).

На рис.4, а законы не пересекаются и значения  $\bar{X}$ , принадлежащие объекту, заключены в интервале  $[\bar{X}_1, \bar{X}_2]$ , а помехи в интервале  $[\bar{X}_3, \bar{X}_4]$ .

Для случая (а) задача распознавания решается тривиально и безошибочно. В случае (б) интервал значений предиктора  $[\bar{X}_3, \bar{X}_2]$  принадлежит и объекту, и помехе. Поэтому для этого случая необходимо применение специальных статистических методов теории статистических решений.

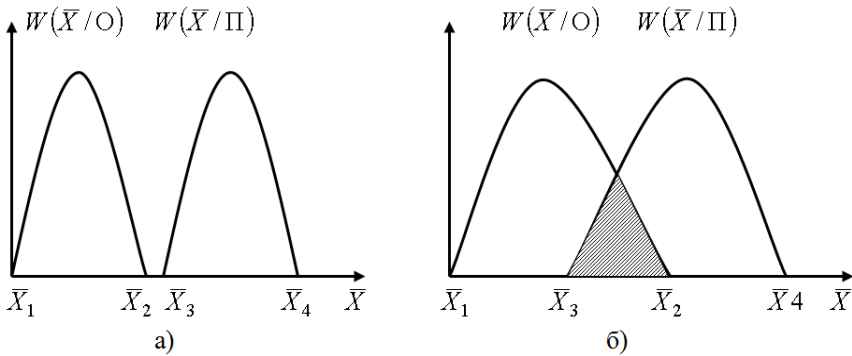


Рис. 4 Законы распределения вектора признаков распознавания для объекта и помехи

Распознавание объекта судовой РЛС при наличии гидрометеоров по измеренным четырем параметрам Стокса является задачей распознавания образов. Эту задачу можно решить на базе теоремы Байеса, или с использованием правила максимума правдоподобия. Будем использовать теорему вероятностей гипотез Байеса, которая позволяет провести переоценку вероятностей гипотез, составляющую полную группу несовместимых гипотез в связи с тем, что произошло некоторое событие  $A_i$ . Применим теорему Байеса для двух гипотез «объект» и «помеха», составляющих полную группу несовместимых гипотез, т.е.

$$P(O/A_i) = \frac{1}{1 + \left( \frac{1}{P(O)} - 1 \right) \frac{P(A_i/\Pi)}{P(A_i/O)}}, \quad (4)$$

где  $O$  и  $\Pi$  – гипотезы объекта и помехи,

$P(O)$  и  $P(\Pi)$  – априорная вероятность объекта и помехи, для которых

$$P(O) + P(\Pi) = 1,$$

$P(A_i/\Pi)$  и  $P(A_i/O)$  – условные вероятности события  $A_i$ .

За  $A_i$  принимается тот факт, что значение некоторого параметра Стокса  $X_1$  заключено в пределах

$$\xi_k - \Delta \xi < X_c < \xi_k + \Delta \xi,$$

поэтому

$$\frac{P(A_i/\Pi)}{P(A_i/O)} \approx \frac{\rho_\Pi(\xi_k)}{\rho_o(\xi_k)}, \quad (5)$$

где  $\rho_\Pi(\xi_k)$  и  $\rho_o(\xi_k)$  – условные плотности распределения параметра  $X_c$  в случае помехи и объекта соответственно.

Рассматривая ряд событий  $A_1, A_2, \dots, A_i$  и учитывая то, что событие  $A_1$  вследствие независимости событий  $A_1$  и  $A_2$  не изменяет вероятностей  $P(A_2/\Pi), P(A_2/O)$ , можно найти вероятность гипотезы  $O$  при условии, что произошло и событие  $A_2$ , принимая в формуле (4) за априорную вероятность  $P(O)$  вероятность  $P(O/A_1)$ . В случае измерения четырех параметров Стокса ( $X_{c1}, X_{c1}, X_{c3}, X_{c4}$ ) получим:

$$P(O/A_1 A_2 A_3 A_4) = \frac{1}{1 + \left( \frac{1}{P(O)} - 1 \right) \prod_{i=2}^4 \frac{P(A_i/\Pi)}{P(A_i/O)}} \quad (6)$$

Обозначим условную вероятность  $P(O/A_1, A_2, A_3, A_4)$  через  $P_o$  с учетом (5) получим:

$$P_o = \frac{1}{1 + \frac{P(\Pi)}{P(O)} \prod_{i=1}^4 \frac{\rho_\Pi(\xi_i)}{\rho_o(\xi_i)}} \quad (7)$$

Значение  $P(\Pi)/P(O)$  не оказывает влияние на качество разделения эхо-сигнала от объекта и помехи, а изменяет лишь пороговое значение  $P_o$ , при котором производится разделение. Полагая, что  $P(\Pi)/P(O)=1$  вероятность обнаружения объекта можно рассчитать из условия:

$$P_o = \frac{1}{1 + \prod_{i=1}^4 \frac{\rho_n(\xi_i)}{\rho_o(\xi_i)}} \quad (8)$$

Производя радиолокационное измерение четырех параметров Стокса, можно по их измеренным значениям рассчитать вероятность распознавания объекта

$$P_o = \frac{1}{1 + \frac{\rho_n(I)}{\rho_o(I)} \cdot \frac{\rho_n(Q)}{\rho_o(Q)} \cdot \frac{\rho_n(U)}{\rho_o(U)} \cdot \frac{\rho_n(V)}{\rho_o(V)}} \quad (9)$$

Зависимость отношений правдоподобия  $\rho_n(X_c)/\rho_o(X_c)$  от значений  $X_c$  может быть построена по данным радиолокационных измерений параметров Стокса эхо-сигналов объекта и гидрометеорологической помехи.

Значения  $\prod_{i=1}^4 \frac{\rho_n(\xi_i)}{\rho_o(\xi_i)}$  можно рассчитать по следующей формуле:

$$\lg \prod_{i=1}^4 \frac{\rho_n(\xi_i)}{\rho_o(\xi_i)} = \lg I + \lg Q + \lg U + \lg V \quad (10)$$

или

$$\prod_{i=1}^4 \frac{\rho_n(\xi_i)}{\rho_o(\xi_i)} = I \cdot Q \cdot U \cdot V \quad (11)$$

Так как вероятностными характеристиками совокупности признаков являются условные плотности вероятности вектора признаков, то плотность распределения предиктора  $\bar{X}$  описывается законом  $W(\bar{X}/O)$  для объекта и законом  $W(\bar{X}/\Pi)$  для помехи, кото-

рые являются функциями правдоподобия вектора признаков  $\bar{X}$ . Закон  $W(X/O)$  показывает вероятность образования предиктора  $\bar{X}$  с составляющими, имеющими измеренного значения параметров Стокса, если эхо-сигнал создан объектом, а закон  $W(X/\Pi)$  - тоже, но эхо-сигнал создан выпадающими осадками. Поэтому отношения правдоподобия являются законами распределения предиктора  $\bar{X}$ , т.е.

$$\frac{\rho_n(I)}{\rho_o(I)} \cdot \frac{\rho_n(Q)}{\rho_o(Q)} \cdot \frac{\rho_n(U)}{\rho_o(U)} \cdot \frac{\rho_n(V)}{\rho_o(V)} = \frac{W(I/\Pi)}{W(I/O)} \cdot \frac{W(Q/\Pi)}{W(Q/O)} \cdot \frac{W(U/\Pi)}{W(U/O)} \cdot \frac{W(V/\Pi)}{W(V/O)} \quad (12)$$

Тогда вероятность распознавания объекта запишется в виде:

$$P_o = \frac{1}{1 + \frac{W(I/\Pi)}{W(I/O)} \cdot \frac{W(Q/\Pi)}{W(Q/O)} \cdot \frac{W(U/\Pi)}{W(U/O)} \cdot \frac{W(V/\Pi)}{W(V/O)}} \quad (13)$$

Для нахождения вероятности распознавания объекта на фоне помех от выпадающих осадков, необходимо знать законы распределения параметров Стокса для помехи и объекта  $W(\bar{X}/\Pi)$  и  $W(\bar{X}/O)$ .

Для нахождения законов распределения эхо-сигналов параметров Стокса объекта и помехи, которые являются нормальными, воспользуемся правилом максимума правдоподобия

$$\frac{W(\bar{X}/\Pi)}{W(\bar{X}/O)} \geq 1 \quad (14)$$

или с преобразованием левой части, получим

$$\frac{W(I/O)}{W(I/\Pi)} = \frac{\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_o} e^{-\frac{(I-m_o)^2}{2\sigma_o^2}}}{\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_n} e^{-\frac{(I-m_n)^2}{2\sigma_n^2}}} \quad (15)$$



$$\frac{W(Q/O)}{W(Q/\Pi)} = \frac{\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_o} e^{-\frac{(Q-m_o)^2}{2\sigma_o^2}}}{\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\Pi} e^{-\frac{(Q-m_\Pi)^2}{2\sigma_\Pi^2}}} \quad (16)$$

$$\frac{W(U/O)}{W(U/\Pi)} = \frac{\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_o} e^{-\frac{(U-m_o)^2}{2\sigma_o^2}}}{\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\Pi} e^{-\frac{(U-m_\Pi)^2}{2\sigma_\Pi^2}}} \quad (17) ,$$

$$\frac{W(V/O)}{W(V/\Pi)} = \frac{\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_o} e^{-\frac{(V-m_o)^2}{2\sigma_o^2}}}{\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\Pi} e^{-\frac{(V-m_\Pi)^2}{2\sigma_\Pi^2}}} \quad (18)$$

где  $I$ ,  $Q$ ,  $U$ ,  $V$  - измеренные на судовом поляриметре поляризационные параметры Стокса;

$m_o$ ,  $m_\Pi$  - математические ожидания параметров Стокса объекта и помехи (определяются по массиву экспериментальных измерений);

$\sigma_o^2$ ,  $\sigma_\Pi^2$  - дисперсии параметров Стокса объекта и помехи.

Проведя преобразование (14) и (15-18) получим следующие неравенства:

$$\frac{\sigma_\Pi}{\sigma_o} e^{a(I)^2 + bI + c} \geq 1 \quad (19)$$

$$\frac{\sigma_\Pi}{\sigma_o} e^{a(Q)^2 + bQ + c} \geq 1 \quad (20)$$

$$\frac{\sigma_\Pi}{\sigma_o} e^{a(U)^2 + bU + c} \geq 1 \quad (21)$$

$$\frac{\sigma_\Pi}{\sigma_o} e^{a(V)^2 + bV + c} \geq 1 \quad (22)$$

$$\text{где } a = \frac{\sigma_o^2 - \sigma_n^2}{2\sigma_o^2\sigma_n^2}; \quad b = \frac{m_o\sigma_n^2 - m_n\sigma_o^2}{\sigma_o^2\sigma_n^2}; \quad c = \frac{m_n^2\sigma_o^2 - m_o^2\sigma_n^2}{2\sigma_o^2\sigma_n^2} \quad (23)$$

Если измеренные значения  $I$ ,  $Q$ ,  $U$ ,  $V$  такие, что условия (19-22) становятся справедливыми, то принимается решение, что в зоне действия судового поляриметра находится объект, и наоборот, судовой поляриметр видит выпадающие осадки.

Для практического использования соотношений (19-22) проведем их логарифмирование по основанию «e» и получим:

$$a(\lg I)^2 + b \lg I + c \geq \ln \frac{\sigma_o}{\sigma_n} \quad (24)$$

$$a(\lg Q)^2 + b \lg Q + c \geq \ln \frac{\sigma_o}{\sigma_n} \quad (25)$$

$$a(\lg U)^2 + b \lg U + c \geq \ln \frac{\sigma_o}{\sigma_n} \quad (26)$$

$$a(\lg V)^2 + b \lg V + c \geq \ln \frac{\sigma_o}{\sigma_n} \quad (27)$$

Решая эти неравенства относительно  $I, Q, U, V$  получим их критериальные значения. Тогда при всех значениях  $\lg I \geq \lg I_{кр}$ ,  $\lg Q \geq \lg Q_{кр}$ ,  $\lg U \geq \lg U_{кр}$ ,  $\lg V \geq \lg V_{кр}$  неравенства (24-27) будут справедливыми. Тогда измеренные значения параметров  $I$ ,  $Q$ ,  $U$ ,  $V$  сравниваются с их критериальными значениями  $I_{кр}$ ,  $Q_{кр}$ ,  $U_{кр}$ ,  $V_{кр}$ .

Если  $I, Q, U, V > I_{кр}, Q_{кр}, U_{кр}, V_{кр}$ , то принимается решение что судовой поляриметр сопровождает объект, и наоборот, если  $I, Q, U, V < I_{кр}, Q_{кр}, U_{кр}, V_{кр}$ , что на экране судового поляриметра имеются отметки от выпадающих осадков, т.е. объект отсутствует. В комплексном виде алгоритм решения задачи распознавания объекта при наличии помехи в виде выпадающих осадков можно представить в следующей последовательности:

1. Излучаемую волну представим в виде матрицы параметров Стокса в круговом базисе

$$\begin{bmatrix} I_{\text{изл}} \\ 0 \\ 0 \\ V_{\text{изл}} \end{bmatrix} \quad (28) .$$

2. При наличии объекта и помехи в виде выпадающих осадков отраженный сигнал также представим в виде матрицы

$$\begin{bmatrix} I_{\text{отр}}(t)_{\text{o+п}} \\ Q_{\text{отр}}(t)_{\text{o+п}} \\ U_{\text{отр}}(t)_{\text{o+п}} \\ V_{\text{отр}}(t)_{\text{o+п}} \end{bmatrix} \quad (29) .$$

3. Если помеха отсутствует, то отраженный сигнал от объекта запишется матрицей в следующем виде:

$$\begin{bmatrix} I_{\text{отр}}(t)_{\text{o}} \\ Q_{\text{отр}}(t)_{\text{o}} \\ U_{\text{отр}}(t)_{\text{o}} \\ V_{\text{отр}}(t)_{\text{o}} \end{bmatrix} \quad (30) .$$

Считаем, что элементы поляризационной матрицы гидрометеорологической помехи являются нормальными случайными функциями и их средние значения равны нулю.

4. Для решения задачи распознавания объекта на фоне гидрометеорологических помех, т.е. для обнаружения эхо-сигнала объекта образуем отношение правдоподобия в виде:

$$\begin{aligned}
 D(I_{\text{отр.}}, Q_{\text{отр.}}, U_{\text{отр.}}, V_{\text{отр.}}) &= \frac{W_{\text{о+п}}(I_{\text{отр.о+п}}, Q_{\text{отр.о+п}}, U_{\text{отр.о+п}}, V_{\text{отр.о+п}})}{W_{\text{п}}(I_{\text{отр.п}}, Q_{\text{отр.п}}, U_{\text{отр.п}}, V_{\text{отр.п}})} = \\
 &= \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^4 (\sigma_{I_{\text{о+п}}} \sigma_{Q_{\text{о+п}}} \sigma_{U_{\text{о+п}}} \sigma_{V_{\text{о+п}}})} \\
 &= \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^4 (\sigma_{I_{\text{п}}} \sigma_{Q_{\text{п}}} \sigma_{U_{\text{п}}} \sigma_{V_{\text{п}}})} \\
 &\cdot \frac{\exp - \left[ \frac{(I_{\text{о+п}} - m_{I_{\text{о+п}}})^2}{2 \sigma_{I_{\text{о+п}}}^2} \cdot \frac{(Q_{\text{о+п}} - m_{Q_{\text{о+п}}})^2}{2 \sigma_{Q_{\text{о+п}}}^2} \cdot \frac{(U_{\text{о+п}} - m_{U_{\text{о+п}}})^2}{2 \sigma_{U_{\text{о+п}}}^2} \cdot \frac{(V_{\text{о+п}} - m_{V_{\text{о+п}}})^2}{2 \sigma_{V_{\text{о+п}}}^2} \right]}{\exp - \left[ \frac{(I_{\text{п}} - m_{I_{\text{п}}})^2}{2 \sigma_{I_{\text{п}}}^2} \cdot \frac{(Q_{\text{п}} - m_{Q_{\text{п}}})^2}{2 \sigma_{Q_{\text{п}}}^2} \cdot \frac{(U_{\text{п}} - m_{U_{\text{п}}})^2}{2 \sigma_{U_{\text{п}}}^2} \cdot \frac{(V_{\text{п}} - m_{V_{\text{п}}})^2}{2 \sigma_{V_{\text{п}}}^2} \right]} \quad (31)
 \end{aligned}$$

5. Если  $D \geq D_0$ , то отраженный сигнал создан объектом, если  $D < D_0$  - отраженный сигнал создан помехой. Здесь  $D_0$  - порог, определяемый критерием выбора решения.

### Выводы:

1. Разработанная функциональная схема радиолокационного судового поляриметра позволяет с высокой вероятностью обнаружить и распознать объект на фоне выпадающих осадков.

2. Разработан вероятностно-статистический метод распознавания объекта на фоне гидрометеорологических помех, основанный на одновременном измерении 4-х параметров Стокса.

3. Разработанный алгоритм радиолокационного обнаружения и распознавания объектов на фоне гидрометеорологических помех позволяет с вероятностью до 99% обнаруживать и распознавать объекты судовыми радиолокационными поляриметрами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красюк Н.П. Влияние тропосферы и подстилающей поверхности на работу РЛС / Н.П.Красюк, В.Л.Коблов, В.Н.Красюк. – М.: «Радио и связь». 1988. – 213 с.
2. Абрамов В.В. Электродинамическая модель помехи от гидрометеоров / Абрамов В.В. // Вопросы радиоэлектроники. – Вып. 15. – 1981. – С.92-97.
3. Бин Б.Р. Радиометеорология / Бин Б.Р., Даттон Е. Дж.: Пер. с англ. под ред. А.А. Семенова. – Л.:Гидрометеоиздат, 1976. - 362 с.
4. Красюк Н.П. Корабельная радиолокация и метеорология / Красюк Н.П., Розенберг В.И. – Л.:Судостроение, 1970. – 328 с.
5. Канарейкин Д.Б. Поляризация радиолокационных сигналов / Канарейкин Д.Б., Павлов Н.Ф., Потехин В.А. – М.:Изд-во «Советское радио», 1966. – 440 с.
6. Канарейкин Д.Б. Морская поляриметрия / Канарейкин Д.Б., Потехин В.А., Шишкин И.Ф. – Л.:Судостроение, 1968. – 327 с.
7. Вайнштейн Л.А. Выделение сигналов на фоне случайных помех / Вайнштейн Л.А., Зубаков В.Д. – М.: Изд-во «Советское радио», 1960. – 175 с.
8. Байрашевский А.М. Судовые радиолокационные системы / Байрашевский А.М., Ничипоренко Н.Т. – М.: Транспорт, 1982 – 311 с.
9. Применение цифровой обработки сигналов под редакцией Э.Опенгейна. – М.: Мир, 1980. – 552 с.
10. Dilworth I.J. Depolarization due to snow at 11,6 GHz / Dilworth I.J., Evans V.G. – Electron Lett. – 1978. – Vol.14. – P.315-317.
11. Dougherty H.T. Recent Progress in Duct Propagation Predictions. – IEEE Trans. – 1979. – Vol.AP-27, № 4. – P.542-548.
12. Ihara T. Measurement of depolarization due to snowfall at 34,5 GHz / Ihara T., Furuhashi I., Tohma K // Trans. Inst. Electron Commun. Eng. Japan. – 1982. – Vol. E65. – P.16-22.
13. Rotheram V.A. Radiowave propagation in the evaporation duct / Rotheram V.A. – Marconi Rev. – 1974. – Vol.37. – № 192. – P.18-40.
14. Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ / Андерсон Т. ! Физматгиз, 1963. - 154 с.
15. Крамер Г. Математические методы статистики / Крамер Г.: Пер. с англ. под ред. А.Н.Колмогорова. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1948. – 171 с.
16. Copeland I.R. Radar Target Classification by Polarization Properties / Copeland I.R. // Prog. of the IRE, 1960. – V11. - № 1. – P.1290-1296.

17. Большаков И.А. Статистические проблемы выделения потока сигналов из шума / Большаков И.А. - М.: Изд-во «Советское радио», 1969. – 464 с.
18. Долуханов М.П. Флуктуационные процессы при распространении радиоволн / Долуханов М.П. – М.:Изд-во «Связь», 1971. – 184 с.
19. Тихонов В.И. Выбросы случайных процессов / Тихонов В.И. – М.: Изд-во «Наука», 1970. – 392 с.
20. Хан Г. Статистические модели в инженерных задачах / Хан Г., Шапиро С.: Пер. с англ. под ред. В.В.Налимова – М.: Изд-во «Мир», 1969. – 395 с.
21. Beckmann P. Amplitude-Probability distribution of atmospheric radio noise / Beckmann P // Radio Science Journal of Research National Bureau of Standards, V 68D, № 5 – 1964. – P.174-186.
22. Morner F. An investigation of atmospheric noise at very low frequencies / Morner F., Harwood I. // Proc. IEE, 103 B, 1956. – P.743-751.
23. Crichlow W.Q. Determination of the amplitude-probability distribution of atmospheric radio noise from statistical moments / Crichlow W.Q., Roubigue C.I., Spaulding A.D., Beery W.M. // I. Res № BS 64 D (Radio Prop), №1, 1960. – P.49-56.
24. Heidbreder G.R. Detection probabilities for Log normally distributed Signals / Heidbreder G.R., Mitchell R. L. // IEEE Trans. AES-3, №1, 1967. – P.89-101.
25. Kennedy R.W. The spatial and spectral characteristics of the radar cross section of satellite type targets / Kennedy R.W. // Air Force Avionics Lab., Wright-Patterson AFB, Ohio, Tech, Rept, AFAL-TR-66-77, 1966, March.

УДК 656.61.052

Голиков В.В., Костенко П.А., Мазур О.Н.  
ОНМА.Сафин И.В.  
V.Ship's

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛЕДОПРОХОДИМОСТИ СУДОВ ДЛЯ ПЛАВАНИЯ В НЕАРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ.

При сдаче (после постройки) судна в эксплуатацию далеко не всегда можно проверить его ледовые качества заявленные в проектной документации на постройку и исполнительной ведомости по изготовлению корпуса.

Обычно приемный акт судна содержит, помимо перечня фамилий членов приемной комиссии, результаты проверок, приемок и испытаний оборудования и систем; номера проекта и постройки; назначение и надзорное классификационное общество; даты закладки, спуска, швартовых и ходовых испытаний; журналы удостоверений по постройке, швартовым и ходовым испытаниям; программы швартовых, ходовых, мореходных и скоростных испытаний; погоду, (состояние моря и скорость ветра); основные элементы судна; результаты оценки эксплуатационных качеств элементов, механизмов, устройств, систем и оборудования, удобство их обслуживания, общая характеристика компоновки; снабжение, документация и заключение приемной комиссии.

Для круглогодичной эксплуатации судов в неарктических морях (северная часть Черного и Азовского) выше 44° северной ширины классификационным обществом — Регистром судоходства Украины (PCY) судну присваивается ледовый класс, который должен проверяться в эксплуатационных условиях.

Для практического судовождения чрезвычайно важной является оценка ледопроеходимости судна, т. е. способности безопасно продвигаться в различных ледовых условиях. Такая процедура, как правило, становится прерогативой экипажа судна, а, иногда, по инициативе судовладельца осуществляются натурные испытания по специальной программе. Обычно такие испытания осуществляются в экспериментальных рейсах [1, 2].

Под ледопроеходимостью, с одной стороны, подразумевают безопасно возможную скорость, которую судно способно развивать в за-

данных ледовых условиях при максимальной мощности энергетической установки без повреждения и заклинивания корпуса, гребных винтов и т. п. С другой стороны, при движении судна в сплошных ровных льдах критерием ледопроходимости может быть не безопасная скорость, а предельная толщина льда, которую оно способно преодолевать непрерывным ходом с минимально устойчивой скоростью движения (1 ÷ 2 узла). В битых льдах критерием ледопроходимости остается безопасная скорость, ограниченная требованиями ледовой прочности.

При назначении скорости плавания судов во льдах используется ледовый паспорт каждого судна, в котором содержатся диаграммы их ледовой ходкости, ледовой прочности и маневренности во льдах [2]. Еще более 40-а лет назад в ледовый паспорт судна настоятельно предлагалось вносить: тип и ледовый класс; главные элементы; коэффициенты и углы обводов корпуса; характеристику набора и обшивки, включая технологию набора корпуса, материал и строительную прочность набора и обшивки, а также характер распределения нагрузок на последние по длине корпуса; сведения о пропульсивном комплексе, включая периоды пуска, остановки и реверса энергетической установки; характеристику дополнительных систем, оборудования и средств предназначенных для защиты пропульсивного комплекса от льда[1].

Диаграммы ледового паспорта судна используются судоводителями для определения: безопасной скорости движения при автономном плавании в разреженном и сплошном льду; безопасной скорости движения в караване; безопасной дистанции между ледоколом и транспортным/ми судном/ами в караване.

Ввиду игнорирования, а чаще невозможности проведения ледовых испытаний при сдаче судна в эксплуатацию из-за погодных условий, при подготовке его к зимней навигации возникает необходимость в наличии ледового паспорта судна и/или его корректировки. Для безопасной работы таких судов в зимнюю навигацию перед ее началом необходима натурная проверка показателей их ледовых качеств спецификационным требованиям, в соответствии с которыми установлена предельная ледопроходимость судна в сплошном и разреженном льду определенных толщин при полной осадке и безопасной скорости движения (до 3-х узлов), при прочности льда на изгиб не менее 500 кПа.



Целью ледовых испытаний и настоящей статьи является оценка правильности проектирования, конструирования и изготовления судна по ледопроеходимости, включая его ходкость, прочность и маневренность.

В основу методики положена гипотеза о существовании режима движения судна ледового класса, при котором его работа по преодолению ледового сопротивления не приводит к деформации его конструкции и резким ударам льдин о корпус.

В задачи исследования входила разработка программ оценки ледопроеходимости судна. При этом учтены следующие условия:

- к ледовому относится плавание в: сплошном, крупнобитом (и/или обломках полей) и мелкобитом льду;
- движение судна непрерывным ходом с установившейся скоростью возможно, если величина суммарной тяги гребных винтов/а  $T$  достаточна для преодоления полного ледового сопротивления  $R_L$ , т.е.  $T \geq R_L$ ;
- при  $T < R_L$  преодоление сплошного льда осуществляется набегам;
- при движении в сплошном льду разрушение ледяного покрова осуществляется носовой частью корпуса со скоростью хода  $V_c \in [1; 5 \text{ узлов}]$ , которая линейно зависит от толщины льда;
- при движении в крупнобитных льдах и обломках полей их следует обходить, но не таранить так как характер взаимодействия корпуса со льдом нестационарный и наиболее опасен от ударов крупных льдин;
- при плавании в мелкобитных льдах наиболее характерным процессом является раздвигание льдин носовой оконечностью без их ломки, поэтому сопротивление льда движению проявляется как в потере энергии пропульсивного комплекса судна на удары о льдины, их раздвигание и притапливание, так преодоление сил трения;
- в условиях опытного бассейна моделируется движение судна только в сплошном льду, моделирование движения судна в битом льду из-за сложности процесса не осуществляется;
- природа ледовых нагрузок, действующих на наружную обшивку и набор корпуса в носовой и кормовой частях и перемещенном поясе КВЛ (высотой до 1,0 метра), следующая:

- удары о лед, статическое давление при смятии льдов, реверсы и работа задним ходом;
- интенсивность ледовой нагрузки на штангоуты и стрингеры, частей корпуса: нос/средняя часть/корма находится в соотношении 1/0,5/0,75;
  - при выполнении ледовых операций судно: разворачивается циркуляцией либо "елочкой", отходит назад, разбегается, закалывается, окалывается и т.д.;
  - при самостоятельном плавании во льдах суда теоретически неустойчивы, а практически устойчивы на курсе, что определяется периодом и амплитудой рыскания, которые зависят от частоты и угла перекладки руля, увеличивающихся по мере утолщения льда;
  - общий характер циркуляции во льду мало чем отличается от наблюдаемого на свободной воде, однако, ледяной покров значительно снижает скорость поступательного  $V_u$  и вращательного  $\omega_u$  движения судна, увеличивая период циркуляции;
  - при числе Фруда  $Fr \leq 0,25$  относительный радиус установленной циркуляции  $r_u$  при заданном угле перекладки руля  $\delta_p$  практически не зависит от скорости  $V_u$  и примерно равен его значению на свободной воде;
  - крен судна при циркуляции во льду незначителен (менее  $1 \div 2^\circ$ );
  - разворот "елочка" в отличие от разворота циркуляцией требует меньшей площади для маневрирования и меньших затрат времени приблизительно в  $2 \div 3$  раза так как условный  $r_u$  при этом развороте составляет  $1,0 \div 1,5$  длины корпуса, а период разворота  $5 \div 10$  минут;
  - наилучшей закалываемостью обладают суда, имеющие малый  $r_u$ , острые носовые образования, переднюю часть которых выполняют выгнутыми;
  - управляемость на малых передних и заднем ходах при пониженной мощности энергетической установки значительно хуже, чем при малых скоростях хода, но полной силе упора гребных винтов;
  - улучшение характеристик инерции судна достигается за счет повышения его энерговооруженности либо регулированием водоизмещения путем балластировки.

Изложение основного материала статьи содержит разделы разрабатываемой программы натуральных испытаний судов для изучения и оценки их ледовых качеств. Так при определении показателей **ледовой ходкости судна** требуются измерения его скорости движения, частоты вращения движителей и/или гребных валов, расходуемая мощность энергетической установки, состояние и толщина льда. Очень важным моментом испытаний является повторяемость экспериментов (режимов движения) в одном и том же ледяном поле при различном уровне потребляемой мощности энергетической установкой.

Полученные измерения позволяют путем специального пересчета экспериментальных данных с учетом поправок и корректировок построить кривые ледопроеходимости по следующим зависимостям:

проходная толщина сплошного льда при  $T = T_{ном}$ :

$$h_{ПН} = \left( \frac{h_{\phi}}{V_{\phi} - V_{ном}} \right) \cdot (V - V_{ном}), \quad (1)$$

где  $h_{\phi}$  – толщина льда в одном испытании, м;  $V_{\phi}$  – скорость прохода судна в сплошном льду толщиной  $h_{\phi}$ , узлы;  $V_{ном}$  – номинальная скорость судна на спокойной воде, узлы;

проходная толщина сплошного льда при  $T \in [T_{мин}; T_{ном}, \text{кВт}]$ :

$$h_{П} = h_{ПН} \cdot \left( \frac{T_{П}}{T_{ном}} \right)^{4/9}, \quad (2)$$

где  $T_{П}$  — величина неполной (частичной) мощности энергетической установки судна, кВт.

Маневренные качества циркулирующего судна в разреженном льду определенной сплоченности, которая определяется отношением площади льдин к площади поверхности воды около и под льдинами, измеряются аналогично изучению ледовой ходкости, но с дополнительной регистрацией углов перекладки органов управления и/или записью траектории движения судна при выполнении циркуляции с помощью спутниковой навигационной системы.

Циркуляция при движении судна носом и кормой вперед обычно выполняется в тонких и средних льдах при трех положениях пера руля или его аналогу: минимум, среднее положение и максимум. По измеренным траекториям определяются радиусы циркуляции судна.

Наличие у судна в районе КВЛ (утолщенного) ледового пояса определяет его ледовый класс. Требования к размерам ледового пояса по высоте борта у классификационных обществ разных стран совпадают и составляют  $0,2 H_c$  вверх от КВЛ и  $0,6 H_c$  вниз от нее, где  $H_c$  – летняя осадка судна. В носовой оконечности судна ледовый пояс продлевают вниз до киля. Выше и ниже ледового пояса по длине КВЛ устанавливаются переходные пояса.

Ледовая прочность судна оценивается дефектоскопией по величине износа металла ледового пояса, который не должен превышать  $0,2$  мм/год, а также наружным и внутренним осмотром корпуса и его конструкций в районе КВЛ. При осмотре определяется суммарная длина вмятин повреждений, которая относится к периметру КВЛ и обозначается:

$$D = \left( \frac{l_{\text{п}}}{P_c} \right) \cdot 100\% \quad (3),$$

где  $l_{\text{п}}$  – длина повреждений корпуса вдоль КВЛ, м;  $P_c$  – периметр корпуса судна по КВЛ, м.

По данным натуральных наблюдений А. Лысого [3]  $D \in [0; 10\%]$ . При работе судов ледового класса зимой в неарктических морях значение величины  $D$  должно стремиться к своему минимуму – нулю. Длина повреждений корпуса судна  $l_{\text{п}}$  нелинейно зависит от скорости его хода в разреженном льду и объема льдин.

Программа проведения натуральных ледовых испытаний может быть представлена в виде табл. 1.

После проведения испытаний и определения характеристик ледопроеходимости судна следует составить ледовый паспорт или откорректировать при его наличии. После этого, а также при наличии маневренных характеристик судна при движении по мелководью и глубокой воде, можно обеспечить безопасное движение судна ледового класса в неарктических морях.

Таблица 1 – Программа ледовых испытаний судна ледового класса

Режим хода или движения	Вид испытаний на глубокой воде
Полный передний ход (ПП)	Сплошной лед толщиной ___ м. Прямолинейное движение, мощность судна T=100%
Полный задний ход (ПЗ)	Сплошной лед толщиной ___ м. Прямолинейное движение, T=100%
ПП, ПЗ	Чистая вода, волнение 0 ÷ 2 балла, ветер до 5 м/с, йное движение, T=100%
ПП, ПЗ	Сплошной лед толщиной ___ м. Циркуляция, T=100%, положение руля: минимум ___ %, среднее ___ %, максимальное ___ м.
ПП, ПЗ	Сплошной лед толщиной ___ м. Разворот на 180° маневром «елочка» или «звезда», мощность переменная

### Заключение

Круглогодичное плавание судов по морям, внутренним морским и речным водам Украины требует наличия всех маневренных характеристик и ледового паспорта на каждом судне, которые должны находиться на борту с момента начала его эксплуатации. В противном случае период эксплуатации судна должен быть ограничен в зимний период.

Детерминация ходовых, маневренных и ледовых качеств судна позволяет более полно использовать его конструктивные особенности при обеспечении не только гарантированно безопасного вождения, но и круглогодичного судоходства по морям, лиманам и рекам Украины.

Разработанная программа ледовых испытаний судна в период его эксплуатации позволяет оценить конструктивные качества гидропропульсивного комплекса и повысить его эксплуатационную надежность.

*СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. Каштелян В.И. Ледоколы [текст] / В.И. Каштелян, А.Я. Рывлин, О.В. Фаддеев, В.Я. Ягодин. – Л.: Судостроение, 1972. – 286 с.
2. Голиков В.В. Опыт проводки судов ледоколом «Капитан Белюсов» в ледовую навигацию по Азовскому морю [текст] / В.В. Голиков, А.А. Лысый, П.А. Костенко // Судовые энергетические установки: научн. сб. ОНМА. – вып. 27. – Одесса: ИздатИнформ ОНМА, 2011. – С. 39-44.
3. Лысый А.А. Перспективные методы ледовой проводки судов на каналах и фарватерах Азовского моря в зимний период [текст] / А.А. Лысый // Судовождение: сб. науч. тр. ОНМА. – вып. 22. – Одесса: ИздатИнформ ОНМА, 2013. – С. 133 – 141.

УДК 614.8.026.1:008:159.9

Приходько К.О., Шевченко О.И., Роман Г.Г.  
ОНМА

## ЗДОРОВЬЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА – ОСНОВНОЕ ПРАВО ЧЕЛОВЕКА. УСЛОВИЯ ТРУДА И ПРОДВИЖЕНИЕ ЗДОРОВОГО ОБРАЗА ЖИЗНИ

Трудоспособное население является важным ресурсом любой нации, сообщества или предприятия. Здоровая рабочая сила, которой обеспечены безопасные рабочие условия, является мотивированной, производительной, и представляет собой ценный актив в условиях глобальной конкуренции. Обеспечение защиты и гигиены труда требует национальных программ, необходимой инфраструктуры, компетентных сотрудников, превентивных мер и создания культуры безопасности. Политики общего и профессионального здравоохранения должны обеспечивать механизмы и поддержку граждан для получения необходимых знаний и компетенции, чтобы заставить их действовать эффективно в интересах их собственного здоровья и в интересах их семей и сообществ, в повседневной жизни **на работе и в свободное время**, а также при использовании систем общего и профессионального здравоохранения. Интеграция действий в сфере здравоохранения с деятельностью в сферах занятости, социальной защиты, безопасности и гигиены труда, а также усиление механизмов информационного обмена и взаимодействия является очень выгодным.

Условия труда и состояние рынка труда для населения трудоспособного возраста являются важными социальными факторами, обуславливающими здоровье, трудоспособность, и, тем самым, производительность. Если эти факторы не оптимальны, они приводят к значительной неравномерности состояния здоровья трудоспособного населения, между регионами и странами, а также внутри стран.

Различия в рабочих условиях, а также отсутствие или недостаточная доступность услуг профилактического здравоохранения в сфере труда являются важными источниками сильных различий в здоровье, наблюдаемых в производственном сегменте рынка труда. Большие различия в базовых методах безопасности и здравоохранения, а также политиках регулирования могут привести к переносу опасных операций и сбросу опасных химикатов и машин, что может привести к нечестной конкуренции, нарушению прав человека по отношению к трудящимся.

Граждане стран, где трудовые ресурсы имеют разный уровень профессиональной безопасности и охраны труда - имеют разную реализацию основных прав человека. Это приводит к возникновению нездоровой конкуренции. Охрана и гигиена труда – критический аспект конкуренции. Критичность этого аспекта отображает экономически фактор, как основополагающий. Страны с высоким уровнем экономического развития затрачивают значительные средства на условия труда. На примере стратегического развития ЕС в области здравоохранения: В 2008-2013 номинирован первый принцип «Здоровье вместе» и второй принцип «Здоровье - главное богатство» указывают на огромное влияние болезней на экономику. Слабое здоровье является важным фактором раннего ухода на пенсию и невыхода сотрудников на работу. Люди, продолжающие работать несмотря на проблемы со здоровьем также работают менее продуктивно, чем здоровые люди.

Здоровье трудоспособного населения является ключевым фактором устойчивого экономического развития, и политические инициативы ЕС могут помочь улучшить здоровье и снизить потери из-за физических и психических заболеваний.

Несмотря на многие позитивные сдвиги в области профессиональной безопасности и охраны труда, прошедшие за последние 20 лет, традиционные угрозы безопасности и здоровью всё ещё представляют значительную опасность для безопасности, здоровья и трудоспособности работников. От 22 до 47% от всех работающих в ЕС подвергаются традиционным физическим, химическим или эргономическим опасностям, и ежегодно 5,000 трудящихся в ЕС погибают в результате несчастных случаев на работе. Высокое количество профессиональных заболеваний связано с нездоровыми условиями работы. По оценкам МОТ, ежегодно около 120,000 смертей в зоне ЕС15 вызвано полученными на работе заболеваниями, а число несчастных случаев со смертельным исходом составляет 6,000 в год.

Плохие условия труда, несчастные случаи, профессиональные заболевания в значительной мере обуславливают страдания людей и их исключение из трудового процесса. Помимо этого, данные факторы в регионе Северных стран ЕС приводят к потерям, оцениваемым в 4% от ВВП: это составляет 225 млрд. евро ежегодно.

Часто можно услышать аргумент, что только богатые страны и богатые компании могут позволить себе меры по безопасности и защите здоровья. Не существует свидетельств, что какая-либо страна



или компания в долгосрочном периоде выиграла от низкого уровня безопасности и защиты здоровья. Напротив, последние исследования Мирового Экономического Форума и Института Менеджмента в Лозанне (IMD) демонстрируют, что наиболее успешные страны имеют наибольший уровень безопасности. Выбор стратегии выживания с низкой безопасностью, низким уровнем здоровья и низкими доходами вряд ли приведет к высокой конкурентоспособности и устойчивому росту.

Официальная статистика по травмам, полученным на рабочем месте, для новых стран-членов ЕС является недостаточной для формулирования национальных превентивных политик, в основном из-за обширного замалчивания производственных травм и заболеваний. Собираемые данные должны иметь больше возможностей для сравнения, и должны полностью описывать несчастные случаи. Для того чтобы устранить проблему замалчивания, существующую в большинстве стран, ВОЗ и её страны-участницы прикладывают интенсивные усилия по согласованию статистики по производственным травмам и заболеваниям.

Помимо традиционных вопросов безопасности и защиты труда, появились несколько новых рисков, связанных с быстрыми изменениями трудовой жизни, появлением новых методов работы, новыми технологиями, новыми материалами и веществами, новой организацией труда, которые ставят новые проблемы в сфере безопасности, здоровья и благополучия. Однако, новые технологии также предоставляют хорошие возможности для улучшения безопасности и охраны труда. Важным фоновым фактором является процесс глобализации и связанной с ним возрастающей конкуренции. Согласно исследованиям Dublin Foundation, 23–60% работающих в зоне ЕС подвергаются психосоциальным угрозам, таким как высокий темп работы, спешка, минимальный срок выполнения работы, стресс и утомление. Вдобавок, неуверенность в завтрашнем дне, краткосрочные и ненадежные рабочие контракты являются стрессовым фактором для значительной доли работающих.

Возрастающая конкуренция, новые виды работы, новая организация труда, требования новых знаний и умений устанавливают новые требования и ожидания для способностей, знаний и умений работающих людей. В современной трудовой жизни помимо профессиональных умений, умения связанные с профессиональной безопасностью и охраной труда также являются частью профилей компетен-

ции сотрудников. В ряде исследований, развитие компетенции рабочих было включено как компонент развития трудоспособности с положительными результатами.

Концентрация на предприятиях малого и среднего бизнеса (МСБ) является преобладающей, поскольку эти предприятия в будущем являются основным источником рабочих мест. Более низкая способность предприятий МСБ, в сравнении с крупными предприятиями, решать вопросы профессиональной безопасности и охраны труда делает крайне важными совместные усилия, направленные на улучшение качества условий работы в предприятиях МСБ.

### **Рабочее место и продвижение здорового образа жизни**

Согласно Европейскому отчету о здоровье Всемирной Организации Здравоохранения, основываясь на показателях DALY (годы нетрудоспособности, пересчитанные на годы утраченной жизни), обнаружено, что наиболее важными причинами заболеваний в европейском регионе ВОЗ являются неинфекционные заболевания (77% от общего числа), внешние причины, травмы и отравления (14%) и инфекционные заболевания (9%). Семь ведущих причин – ишемическая болезнь сердца, униполярные депрессивные расстройства, церебрально-vasкулярные заболевания, алкогольные расстройства, хронические легочные заболевания, рак легких и дорожно-транспортные происшествия – составляют 34% от DALY в Регионе. Семь ведущих факторов риска – табак, алкоголь, высокое кровяное давление, высокий уровень холестерина, избыточный вес, малое количество фруктов и овощей в рационе, и малая физическая активность – составляют до 60% DALY. Это позволяет определить направления превентивных политик здравоохранения.

Стимулирование хорошего здоровья требует рассмотрения как факторов образа жизни так и более широкого спектра социально-экономических и экологических вопросов, определяющих уровень здоровья. Здоровье определяет производительность, трудовое участие и экономический рост. Инвестиции, направленные на предупредительные меры работодателями, и активное участие работников показали улучшение здоровья, трудоспособности и экономики. Службы профессионального здравоохранения имеют сильный неиспользованный потенциал по продвижению здорового образа жизни как единого целого. Первичное здравоохранение и службы профессионального здравоохранения могут значительно увеличить свою эф-

фektivность, усилив взаимодействие и совместную работу, особенно во время, когда нетипичные условия занятости становятся не исключением, а правилом.

Оттавская и Бангкокская хартии по укреплению здоровья подчеркивают, что стимулирование здоровья должно быть основным условием нормальной корпоративной практики. Существуют многочисленные примеры успешного продвижения здорового образа жизни на европейских предприятиях.

### **Действия**

*Глобальная стратегия по профессиональной безопасности и гигиене труда и Международные Инструменты*, Конвенции № 187, № 155 и № 161, предоставляет инструмент для общего систематического развития охраны труда. Подготовка национального обзора является отправной точкой для анализа ситуации в различных странах. Была подготовлена модель Национального обзора по охране труда, чтобы помочь странам, находящимся в стадии разработки обзора.

*Глобальная Стратегия ВОЗ по предоставлению Здоровья для Всех* призывает к большей равномерности уровня здоровья между и внутри народов и стран. Можно наблюдать некоторый прогресс в сфере профессиональной безопасности, гигиене труда и качестве рабочей жизни среди стран-участниц. Однако, неравенство в этой сфере между странами ЕС и его государствами-соседями увеличилось. *Глобальная Стратегия ВОЗ по Охране Труда для Всех* обеспечивает хорошие рамки для непрерывного развития здоровья трудящихся во всех странах. *Глобальный План по Здоровью Трудящихся* был одобрен на Всемирной Ассамблее Здравоохранения в мае 2007, и теперь внедряется всеми странами-участницами<sup>1</sup>.

*Европейская стратегия ВОЗ-ЕВРО по Предупреждению и Контролю за Неинфекционными Заболеваниями* утверждает, что концентрируясь на предупреждении и улучшенном контроле, возможно предупредить или изменить факторы риска; предупредить начало, повтор или прогрессирование болезни; а также избежать инвалидности и болезненной или преждевременной смерти. Стратегия очерчивает многогранный, направленный на действия подход, который необходим для достижения двух целей: интегрированного воздействия на факторы риска и детерминанты, и усиления систем здравоохранения для предупреждения и контроля за инфекционными заболеваниями<sup>2</sup>.

*Европейская стратегия по безопасности и защите труда 2007–2012* делает акцент на многогранный подход к безопасности и защите труда, при этом ставится задача достигнуть цели Лиссабонской Стратегии по высокому качеству работы. Необходимо развитие достаточной инфраструктуры для решения, наряду с традиционными угрозами профессиональной безопасности, проблем и вызовов «современной трудовой жизни», включая социальные и психологические риски, возрастные и половые факторы, а также продвижения здорового образа жизни и благополучия на работе. ЕС также будет работать над проблемами здоровья и безопасности, участвуя в политиках других Сообществ. Стратегия предполагает развитие многоплановых, превентивных и защитных служб, а также улучшение безопасности, здоровья и трудоспособности, как важного элемента своего внедрения. *Вторая Программа ЕС по Совместным Действиям в Области Здравоохранения 2008–2013* относится к аспектам здравоохранения, включая профессиональное здравоохранение. *Люксембургская Декларация по Здравоохранению* подчеркивает роль рабочего места как форума для продвижения здорового образа жизни и трудоспособности для людей трудового возраста. Продвижение Здорового Образа Жизни на Рабочем Месте (ПЗОЖР) является результатом совместных усилий работодателей, работников и общества, что позволяет улучшить здоровье и благополучие трудящихся людей. Этого можно достичь при помощи улучшения организации работы и рабочего окружения, стимулирования активного участия и поощрения персонального развития<sup>3</sup>.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

##### Документы МОТ:

1. Convention No. 187 concerning the Promotional Framework for Occupational Safety and Health and Recommendation No. 197 (<http://www.ilo.org/ilolex/english/convdisp2.htm>)
2. Convention No. 161 on Occupational Health Services and Recommendation No. 171 (<http://www.ilo.org/ilolex/english/convdisp2.htm>)  
National Occupational Safety and Health Profile of Finland.  
(<http://www.stm.fi/Resource.phx/publishing/store/2006/05/aa1155885585766/passthru.pdf>)
3. National Occupational Safety and Health Profile of Finland. Analytical Report.  
<http://www.stm.fi/Resource.phx/eng/subject/safet/publi/publicateng.htx.i122>

[9.pdf](#)

## Документы ВОЗ

1. WHO Global Strategy on Occupational Health for All

[http://www.who.int/occupational\\_health/publications/globstrategy/en/index.html](http://www.who.int/occupational_health/publications/globstrategy/en/index.html)

2. WHO Global Plan of Action on Workers' Health (Declaration available at:

[http://www.who.int/gb/ebwha/pdf\\_files/WHA60/A60\\_R26-en.pdf](http://www.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA60/A60_R26-en.pdf)

3. WHO-EURO European Strategy for the Prevention and Control of Non-communicable Diseases (2006)

<http://www.euro.who.int/document/rc56/edoc08.pdf>

## Документы ЕС

1. EU Strategy on Health and Safety at Work

[http://osha.europa.eu/systems/strategies/future/com2002\\_en.pdf](http://osha.europa.eu/systems/strategies/future/com2002_en.pdf)

2. Workplace Health Promotion policies

[http://www.enwhp.org/fileadmin/downloads/Luxembourg\\_Declaration\\_June2005\\_final.pdf](http://www.enwhp.org/fileadmin/downloads/Luxembourg_Declaration_June2005_final.pdf).

3. EU Health Strategy, 'Together for Health: A Strategic Approach for the EU 2008-2013' new Health Strategy, 'Together for Health: A Strategic Approach for the EU 2008-2013'

[http://ec.europa.eu/health/ph\\_overview/strategy/health\\_strategy\\_en.htm](http://ec.europa.eu/health/ph_overview/strategy/health_strategy_en.htm)

4. The Second Programme of Community Action in the Field of Health 2008-2013

[http://ec.europa.eu/health/ph\\_overview/pgm2008\\_2013\\_en.htm](http://ec.europa.eu/health/ph_overview/pgm2008_2013_en.htm)

**РЕФЕРАТЫ**

УДК 621.187.32(088.8):541.123.38:621.182.44

*Абрамов В.А.* Усовершенствование режимов очистки судового теплоэнергетического оборудования от эксплуатационных отложений// Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2014. - № 33 – Одесса: ОНМА. – С. 5-30.

Обоснованы и предложены для использования технологические и конструктивные решения по усовершенствованию (интенсификации) режимов очистки судовых теплообменников от эксплуатационных отложений. Получено эмпирическое уравнение регрессии для определения количества удаляемых с теплообменных поверхностей накипных отложений и позволяющее прогнозировать эффективность очистки предлагаемыми методами. Разработаны рекомендации по практическому использованию интенсифицированных режимов по практическому использованию интенсифицированных режимов очистки судового теплоэнергетического оборудования.

Табл. 1. Ил. 4. Библ. 9.

УДК 629.12 + 621.69

*Чепалис И.В., Козьминых Н.А.* Повторное сжижение газов, как метод стабилизации давления в грузовых танках метановозов

Повторное сжижение газов, как метод стабилизации давления в грузовых танках метановозов.

Рассмотрена установка повторного сжижения газов метановозов. Пояснен принцип работы УПСГ и отдельных элементов.

Reliquefaction as way of pressure stabilization in cargo tanks of LNG carriers. Reliquefaction plant of LNG carriers was reviewed. Operating principle of reliquefaction plant and auxiliary machinery was explained.

УДК 621.431.74.436-52(07)

*Донской В. Г.* Эффективность системы контроля, защиты и резервирования судовых энергетических установок

Рассмотрены эффективность и необходимость применения разветвленных систем контроля, защиты и резервирования судовых энергетических установок. Математически показано, что экономический эффект достигается посредством перевода катастрофических отказов оборудования в параметрические, то есть отказы-остановки.

Библиография: 0 названий.

Ключевые слова: судовая энергетическая установка. системы контроля, защиты и резервирования. обеспечение надежности и экономической эффективности.

УДК 621.431.74.436-52(07)

*Донський В. Г.* Ефективність системи контролю, захисту та резервування судових енергетичних установок

Розглянуті ефективність та необхідність застосування розгалужених систем контролю, захисту та резервування. Математично показано, що економічний ефект досягається засобом переводу катастрофічних відмов обладнання в параметричні, тобто відмови-зупинки.

Бібліографія: 0 назв.

Ключевые слова: судовая энергетическая установка. системы контролю, защиты та резервирования. забезпечення надійності і економічної ефективності.

UDC 621.431.74.436-52(07)

*Donskoj V. G.* The effectiveness of the control system, of protection and redundancy of ship power plants

Examined the effectiveness and the need an extensive system of protection and redundancy control of ship power plants. Mathematically shown, that the economic effect is achieved by transferring the catastrophically equipment failure in parametric, that is parametric failures-stop.

Bibliography: 0 titles.

Keywords: ship's propulsion plant. system of control, protection and redundancy. assurans of reliability and economic effectiveness.

УДК 621.436

*Заблоцкий Ю.В., Мацкевич Д.В.* Исследование влияния сернистых топлив на рабочий процесс и техническое состояние судовых среднеоборотных дизелей

Приведены результаты исследований работы судовых среднеоборотных дизелей на топливах с различным процентным содержанием серы. Рассмотрено влияние сернистых топлив на показатели рабочего процесса судового среднеоборотного дизеля и техническое состояние его топливной аппаратуры.

Илл. 5. Табл. 2. Библ. 5.

*Zablotskii Y.V., Matskevich D.V.* Research of influence of sulfur fuels in the workflow and the technical condition of marine medium speed diesel engines

The results of studies of the marine medium speed diesel engines on fuel with different percentages of sulfur. The effect of sulfur fuels on the performance of a medium-workflow ship diesel engine and the technical condition of its fuel system.

Fig. 5. Tabl. 2. Bibl. 5.

УДК 621.436.004

*Сагин С.В.* Исследование корреляционной взаимосвязи жидкокристаллических свойств граничных смазочных слоев и реологических характеристик моторных масел судовых дизелей

Выполнены исследования реологических характеристик моторных масел. Рассмотрен способ изучения жидкокристаллических характеристик граничных смазочных слоев судовых моторных масел с помощью оптического метода дихроизма поглощения примесных молекул. Определены корреляционные зависимости вязкости граничного смазочного слоя моторного масла от степени ориентационной упорядоченности его молекул.

Илл. 4. Табл. 1. Библ. 8.

Ключевые слова: моторное масло для судовых дизелей, жидкокристаллические характеристики граничного смазочного слоя, вязкость граничного смазочного слоя

*Sagin S.V.* The study of the correlation relationship of liquid crystal properties of boundary lubricating layers and rheological characteristics of engine oils of marine diesel engines

The studies of the rheological properties of motor oils. The A method of studying the characteristics of the liquid crystal boundary lubricant layers of marine engine oils with an optical method dichroism in the absorption of impurity molecules. correlation of the viscosity of the boundary lubricating film of engine oil on the degree of orientational ordering of its molecules.

Fig. 4. Tabl. 1. Bibl. 8.

Keywords: motor oil for marine diesel engines, liquid crystal characteristics of the boundary lubricant layer, the viscosity of the boundary lubricant layer

*Журавлев Ю.И.* Модель процесса упрочнения поверхностей сопряжений «вал-втулка» поверхностным пластическим деформированием//Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2014. - № 33 – Одесса: ОНМА. – С. 79-89.

Рассмотрена математическая модель процесса упрочнения деталей машин и конструкций поверхностным пластическим деформированием. Разработана соответствующая программа. Результаты математического моделирования



процесса обкатывания вала роликами сопоставлены с экспериментальными данными.

Ключевые слова: упрочнение, ППД, метод конечных элементов, остаточные напряжения, накатывание, ролик.

*Журавльов Ю.И.* Модель процесу зміцнення поверхонь сполучень «вал-втулка» поверхневим пластичним деформуванням //Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2014. - № 33 – Одеса: ОНМА. – С. 79-89.

Розглянуто математичну модель процесу зміцнення деталей машин і конструкцій поверхневим пластичним деформуванням. Розроблена відповідна програма. Результати математичного моделювання процесу обкатування валу роликами співставлено з експериментальними даними.

Ключові слова: зміцнення, ППД, метод кінцевих елементів, залишкові напруги, накочування, ролик.

*Zhuravlev Y.I.* The process model of hardened surfaces mate "shaft-Bush" surface plastic deformation

This paper presents a mathematical model of the process of hardening of machine parts and structures by surface plastic deformation. The appropriate program is developed. The results of mathematical modeling of the process of spinning shaft rollers are compared with experimental data.

Keywords: strengthening, TTD, finite element method, residual stresses, rolling, roller.

УДК 621.438

*Тымкив А.В., Денисов В.Г.* Мониторинг процесса изнашивания судовой энергетической установки.

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 621.436

*Солодовников В.Г.* Использование в судовых дизелях топлив различного фракционного и структурного состава

Рассмотрены вопросы использования в судовых среднеоборотных дизелях топлив с различным структурным и фракционным составом. Приведены результаты исследования влияния сернистых соединений в топливе на технические характеристики цилиндропоршневой группы. Проведен анализ влияния серы, находящейся в топливе, на износ цилиндрических втулок и поршневых колец.

Рис. 1. Табл. 2. Библ. 3.

Ключевые слова: судовой дизель, топливо для дизелей, структурный состав топлива, сернистый износ

УДК 621.436 (045)

*Ерыганов А. В., Финенко К. В.* Обоснование диагностирование состояния цилиндрично-поршневой группы по параметрам процесса сжатия.

В статье обосновывается подход к проведению мониторинга состояния цилиндрично-поршневой группы в режиме реального времени без привязки к данным стендовых испытаний двигателя вне зависимости от значения текущего давления наддува.

*Yeryganov O. V.* Reasoning of monitoring of “cylinder-piston unit” by parameters of compression stroke. // *Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col.* – 2014. – №33. – Odessa: ONMA. – P. 113-117.

It has been reasoned the principles of monitoring of “cylinder-piston unit” by parameters of compression stroke irrespective of scavenging air pressure and results of trials.

Fig. 1. Bibl. 6.

УДК 629.5-52:004

*Никольский В.В., Цюпко Ю.М., Казаков И.И.* Организация обмена данными между судовыми информационными системами

Рассмотрена аппаратно-программная система технического менеджмента на судне, повышающая эффективность и безопасность работы персонала по контролю, обслуживанию и управлению судовых технических средств.

Ключевые слова: компьютерная интегрированная система контроля и управления, система технического менеджмента, судовая энергетическая установка, SCADA-система.

Розглянута інформаційна система технічного менеджменту на судні, яка збільшує ефективність і безпеку роботи персоналу по контролю, обслуговуванні та управлінні судновими технічними засобами.

Ключові слова: комп'ютерна інтегрована система контролю та управління, система технічного менеджменту, суднова енергетична установка, SCADA-система.

Considered a hardware-software system for technical management of the vessel, which increases the efficiency and safety of the personnel monitoring, maintenance and management of ships machinery.

Keywords: computer integrated monitoring and control system, technical management system, ships power plant, SCADA-system.

УДК 621.431.74

*Половинка Э.М., Яковенко Э.М.* Программный комплекс для гармонического анализа метрологических характеристик комбинированного датчика давления топлива//Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб.- 2013.- № 33.- Одесса: ОНМА.- С.122-135.

Разработан алгоритм и программный комплекс на базе гармонического анализа для определения частотных параметров измерительного модуля давления топлива с применением комбинированного датчика. Даны примеры частотных параметров экспериментальных данных.

*Polovinka E.M., Yakovenko A.Y.* A program complex for the harmonic analysis of the metrological characteristics of the combined fuel pressure gauge // Ship Power Plants: Sc.- Tech. Col.- 2013.- No - Odessa: ONMA - P.122-135.

The algorithm and program complex on base of the harmonic analysis for definition frequency parameters of the measuring module for the fuel pressure with application of the combined gauge is developed. The examples of frequency parameters of experimental data are given.

УДК 621.431.74

*Половинка Э.М., Яковенко Э.М.* Диагностика форсунок судовых дизелей в условиях эксплуатации//Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб..- № 33- Одесса: ОНМА.- С.137-144.

Метод контроля и анализа состояния элементов топливной аппаратуры с использованием компьютерного моделирования процессов впрыскивания топлива. Эффективность метода показана на примере контроля состояния распылителя форсунки..

UDK 621.431.74

*Polovinka E.M., Yakovenko A.Y.* Diagnostic of fuel valves of ship diesel engines under operating conditions // Ship Power Plants: Sc.- Tech. Col.- 201\_- No - Odessa: ONMA - P. 137-144.

Diagnostic of fuel valves of ship diesel engines under operating conditions with use of computer modeling of processes of fuel injection. Efficiency of a method is shown on an example of control of a condition of a fuel valve.

УДК 005.334

*Парменова Д.Г.* Определяющие факторы при проведении оценки риска  
Определены и проанализированы основные факторы, влияющие на выбор методики или комбинации методик для проведения оценки риска на рабочем месте. Правильное выделение определяющих факторов позволяет разрабатывать и внедрять эффективные превентивные меры по минимизации вероятности возникновения возможных опасностей.

Библ. 3

UDK 005.334

*Parmenova D.G.* Determining factors in assessing the risk

Identify and analyze the main factors influencing the choice of a technique or combination of techniques for risk assessment in the workplace. Correct selection determinants allows us to develop and implement effective preventive measures to minimize the likelihood of possible dangers.

Bibl. 3

УДК 614.8.026.1:005

*Приходько Е.А.* Управление рисками производственной среды // Судовые энергетические установки: науч.- техн. сб. – 2013.

Рассмотрены и проанализированы задачи, цели и подходы к управлению риском производственной среды основываясь на принципах менеджмента риска.

UDK 005.334

*Prihodko E.A.* Reviewed and analyzed the objectives, goals and approaches to risk management work environment based on the principles of risk - management

УДК 629.12.06:628.84

*Ходарина К.В.* Разработка модели автоматической системы управления теплоощущением человека

Разработана модель автоматической системы управления технологическим процессом кондиционирования микроклимата в помещении по действительному (субъективному) теплоощущению человека.

Ключевые слова: обитаемость, системы кондиционирования воздуха, тепловой комфорт.

UDK 629.12.06:628.84

*Rhodarina K. V.* Development model of automatic control system of human warmfeeling

A model of automatic process control system air conditioning indoor climate on the actual (subjective) sense of human warmth.

Keywords: habitability, air conditioning systems, thermal comfort.

УДК 551.508.85:(551.576+551.577)

*Князь И.А.* Поляризационная селекция эхо-сигналов морских объектов на фоне гидрометеорологических помех

В статье обоснован принцип построения судового радиолокационного поляриметра с поляризационной селекцией эхо-сигналов от объекта на фоне отражений от гидрометеорообразований. Рассмотрен алгоритм поляризационного распознавания объекта с использованием четырех параметров Стокса.

Ключевые слова: поляризация, гидрометеорологические образования, параметры Стокса, распознавание, отношение правдоподобия, поляризационная матрица.

UDK 551.508.85:(551.576+551.577)

*Knaz I.A.* Polarization selection echoes marine objects on the background hydrometeorological interference

In the article the principle of construction of the ship's radar polarimeter with polarization discrimination of echoes from the object on the background reflections from hydrometeorological. The algorithm of the polarization of the object recognition using the four Stokes parameters.

Key words: polarization, hydrometeorological education, the Stokes parameters, the recognition, the likelihood ratio, the polarization matrix.

## 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 подрисуночных 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, подрисуночные 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 оформляют 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@ya.ru

Судовые энергетические установки:  
научно-технический сборник.  
Выпуск 33.

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