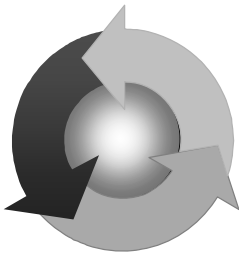


ISSN 1815-6770

Министерство образования и науки Украины
ОДЕССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ МОРСКАЯ АКАДЕМИЯ

Судовые энергетические установки



Научно-технический сборник

Выпуск 26

Одесса
2010

ББК 39.46
С 89
УДК 629.123.066

Судовые энергетические установки: научно-технический сборник. Вып. 26. – Одесса: ОНМА, 2010. – 152 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, к.т.н., проф. А.А. Голиков, ОНМА; 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. А.И. Коханский, ОНМА; 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; д.т.н., проф. С.А. Ханмамедов, ОНМА; С.Н. Шакун.

Адрес редакционной коллегии: 65029, Одесса, ул. Дидрихсона, 8, Одесская национальная морская академия (ОНМА), кафедра СЭУ.

Контактные телефоны редакции (048) 733-49-24, 733-23-52.

e-mail: seu@ma.odessa.ua

Компьютерная вёрстка Шакун С.Н.

Утверждено учёным советом ОНМА, протокол № 3 от 28.10.2010

© Одесская национальная морская академия

Содержание

<i>Колегаев М.А., Карьянский С.А., Маслов В.А., Осташко Е.А.</i> Совершенствование земснарядов путем модернизации технологического процесса обработки пульпы	4
<i>Корх М.В.</i> Управління самостійною та індивідуальною роботою курсантів (студентів)	15
<i>Хлопенко Н.Я., Кириченко А.С.</i> Статические характеристики винтоканавочного подпятника	20
<i>Савенко А.Е.</i> Результаты экспериментального исследования режимов работы судовой электроэнергетической системы парама "Ейск"	30
<i>Ханмамедов С.А., Пизинцали Л.В.</i> Совершенствование эксплуатационных характеристик крейцкопфных подшипников судовых малооборотных дизелей	37
<i>Добровольский В.В., Ханмамедов С.А.</i> Подготовка вязких топлив судовых малооборотных двигателей	46
<i>Завьялов А.А., Небеснов В.В.</i> Режимы работы пропульсивной установки судна в условиях мелководья	55
<i>Цюпко Ю.М., Абудура Салам</i> Новые подходы к проектированию судовых систем комфортного кондиционирования воздуха с точки зрения физиологии человека	61
<i>Абрамов В.А.</i> Совершенствование режимов и повышение эксплуатационной эффективности судовых электролизерных противообрастающих систем путем управления карбонатным равновесием морской воды, используемой в них в качестве технологической жидкости	75
<i>Тумольский А.П., Щербинин В.А.</i> Усовершенствование регуляторов напряжения для судовых синхронных генераторов	101
<i>Тарик Хоссейн, Колиев И.Д.</i> Методика расчета воздухоохладителя судовой холодильной установки	109
<i>Сагин С.В., Мацкевич Д.В.</i> Оптические характеристики граничных смазочных слоев масел, применяемых в циркуляционных системах судовых дизелей	116
<i>Донской В.Г.</i> Оптимизация объема централизованного контроля судовой энергетической установки	126
<i>Слободянюк И.М., Молодцов Н.С., Голобородько В.Н.</i> Влияние износа сопряженных деталей ЦПП на долговечность судовых дизелей после ремонта	136
Рефераты	145
Правила оформления и представления рукописей для сборника «Судовые энергетические установки»	151

УДК.629.123

Колегаев М.А., Карьянский С.А.,
Маслов В.А., Осташко Е.А.
ОНМА, ОНМУ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЗЕМСНАРЯДОВ ПУТЕМ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ПУЛЬПЫ

Введение. В условиях эксплуатации судов дноуглубительного флота особое значение приобретает вопрос о том, какая технология обработки грунта используется при проведении дноуглубительных работ. В этом случае определяющими вопросами являются используемая конструкция судна, технология выемки и обработки грунта, а также способы транспортирования пульпы к месту ее складирования. Качество их решения напрямую оказывает влияние на макроэкономические показатели регионов, расположенных вдоль водного бассейна, где проводятся работы по увеличению фарватера и на показатели рентабельности дноуглубительных компаний или судов, участвующих в выемке грунта [2].

В ходе выполненных научно-исследовательских работ была решена проблема оптимизации процесса обезвоживания грунтонесущей пульпы при работе земснаряда фрезерного типа. Основная задача заключалась в получении оптимальной концентрации воды в пульпе путем модернизации технологической линии земснаряда от места выемки грунта (отвальной фрезы) до места его вывалки (выпускная труба земснаряда или начало рефулерного грунтопровода). Целью подобных работ являлась модернизация земснаряда без проведения дорогостоящих операций по изменению конструкции судна или его составных узлов на линии транспортирования пульпы.

Результаты исследований. Проведенный анализ свойств грунтов, разрабатываемых на территории водного бассейна Украины показал, что целесообразно использовать их стандартную классификацию, базирующуюся на гранулометрическом составе, прилипаемости и прочности. Эти технологические параметры напрямую определяются плотностью и консистенцией грунта в условиях его естественного залегания.

В практике эксплуатации земснарядов основными способами добычи и подъема грунта является использование гидравлических грунтозаборных устройств, фрезерной или черпаковой техники и

различных узлов, работающих на принципах механико-силового разрушения грунта (взрыв, удары свай и т.п.) с его последующей эжекцией. Первые два способа используются наиболее часто, и по этой причине фрезерный способ разработки грунта был принят базовым при проведении научно-исследовательских работ.

Анализ фрезерных земснарядов позволил сделать однозначный вывод - повышение КПД работы земснаряда может быть достигнуто только путем изменения технологии разработки и транспортирования пульпы. Уменьшение удельной концентрации воды в пульпе при прочих равных условиях приводит к росту самого главного рабочего показателя - производительности земснаряда. Концентрация воды в транспортируемой пульпе напрямую определяет стоимость проведения дноуглубительных работ и сложность используемой технологической схемы транспортировки.

При проведении исследований рассматривались два вида грунта - илы и мелкозернистые заиленные пески. Они характеризуются малыми значениями объемного веса. При попадании в трюм частицы обоих видов грунта осаждаются очень медленно, что напрямую указывает на влияние концентрации воды в трюме на консистенцию транспортируемого грунта и ослабление процессов его уплотнения. Одним из способов устранения этого недостатка может быть разработанная в ходе исследований новая технология по отбору из пульпы избыточной воды. Она базируется на использовании комбинированного способа сепарирования воды и грунта и объединяет в себе наиболее просто реализуемые технические решения, а именно:

- использование гидромеханических характеристик движущейся смеси грунта с водой для первичного отбора несвязанной с грунтом воды;
- механический отжим пульпы для получения нужного остаточного содержания воды в грунте;
- аэрирование грунта с получением его равномерной консистенции на выходе из сепаратора.

Разработанная технологическая схема сепарации грунтовой пульпы показана на рис. 1. Основная энергия, необходимая для работы сепарационной установки, передается грунтовой пульпе при ее подъеме на борт судна грунтовым насосом 1. По подводящему грунтопроводу 2 пульпа поступает в циклонную камеру установки, где за счет вращения потока происходит первичное разделение воды и грунта. В верхней центральной части циклона по трубопроводу от-

вода сепарированной воды 4 за счет работы вспомогательного насоса 5 происходит отбор осветленной пульпы. Из нижней части циклона грунт с остаточной водой попадает в узел механического отжима 6. Его основными элементами являются вращающийся на малых оборотах винт и жесткие стенки корпуса. За счет регулирования проходного рабочего сечения узла 6 и числа оборотов отжимного винта возможно управлять главными характеристиками установки - ее производительностью и концентрацией остаточной воды в сепарируемом грунте.

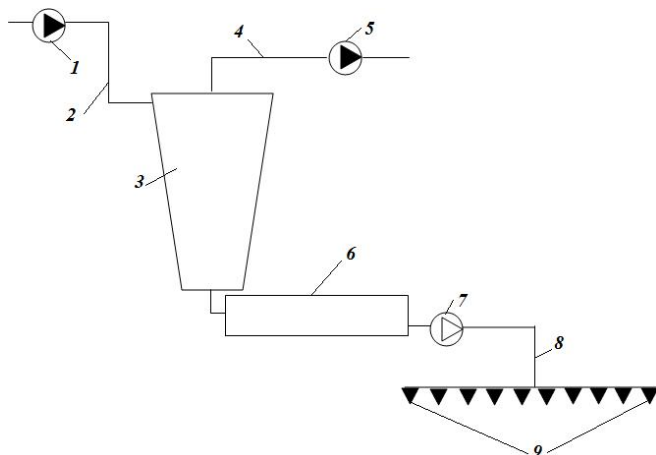


Рис. 1. Принципиальная схема установки сепарации пульпы: 1 — судовый грунтовой насос; 2 — подводящий трубопровод; 3 — циклонная камера; 4 — трубопровод отвода сепарированной воды; 5 — вспомогательный насос; 6 — узел механического отжима; 7 — компрессор высокого давления; 8 — пневмолиния; 9 — распылительные сопла.

В ходе теоретических исследований с использованием известной в теории подобия π -теоремы [1, 3] были сформулированы основные условия моделирования процесса гидродинамического разделения пульпы на составляющие. Главным неизвестным параметром в такой задаче является объемный расход отбираемой воды Q .

Процесс движения пульпы с закруткой в циклоне определяется набором следующих физических величин: угловой скоростью потока в циклоне V , плотностью пульпы ρ , ее вязкостью μ , углом конусности циклона α , высотой циклона h , выходным диаметром циклона d . Путем сопоставления размерности указанных величин их комбинация была записана в общем виде

$$Q = f(V, \rho, \mu, \alpha, h, d) \quad (1)$$

При рассмотрении функциональной зависимости (1) было установлено, что для моделирования процесса гидродинамической сепарации грунта необходимо всегда удовлетворять равенства:

- угла раствора циклона рабочей камеры сепарационной установки;
- отношения высоты циклона рабочей камеры сепарационной установки к ее выходному диаметру;
- степенного отношения кинематической вязкости пульпы к скорости ее подачи.

Эти условия моделирования в виде критериев подобия имеют вид:

$$\frac{h}{d} = idem \quad \alpha = idem \quad \frac{\sqrt[7]{\nu^4}}{V^7} = idem \quad (2)$$

При составлении математической модели закрутки потока в циклоне сепарационной установки движение частиц грунта рассматривалось как сумма переносного движения в составе выделенного элементарного объема пульпы и относительного движения внутри этого объема. Относительное движение вызывается проявлением силы тяжести в потоке, а его скорость принималась равной скорости осаждения частицы грунта под действием только одной силы тяжести W .

В ходе исследований была принята гипотеза о том, что взвешенная частица грунта принимает скорость элементарного объема за время, намного меньшее, чем время, за которое она этим объемом переносится. На основании этой гипотезы было определено время релаксации t — время, при котором частица грунта приобретала скорость переносящего ее жидкого объема.

При рассмотрении падения частицы грунта в неподвижной воде (ось z направлена вниз) уравнение ее движения (седиментации) имеет вид

$$ma = mg - F_z \quad (3)$$

где m — масса частицы грунта, кг; g — ускорение свободного падения, m^2/c ; F_z — сила сопротивления, действующая со стороны жидкости на частицу, Н.

Если учитывать падение в жидкости частиц крупного фракционного состава, для которых выполняется закон квадратичного сопротивления

$$F_z = k_2 m a, \quad (4)$$

то скорость падения частицы в соответствии с решением уравнения (3) с использованием граничных условий [5] может рассчитываться как

$$V = W \cdot th \frac{g}{W} t. \quad (5)$$

Из уравнения (5) легко находится время релаксации, в течение которого крупная частица, начав двигаться из состояния покоя под действием силы тяжести, приобретет скорость $0,95W$. Оно имеет вид

$$t = 1,8 \frac{W}{g}. \quad (6)$$

Количество частиц грунта, сепарируемых внутри рабочей камеры циклона, определялось с учетом величины радиального (перпендикулярного к оси вращения пульпы) смещения одиночной твердой частицы при движении по кольцевому каналу. При составлении математической модели было принято допущение о равенстве полной скорости потока пульпы тангенциальной составляющей скорости частиц грунта V_τ . Радиальное смещение частиц грунта со скоростью V_r встречает противодействие от силы сопротивления вращающейся пульпы. Эта сила, согласно формуле Стокса рассчитывается как

$$F_x = 3\pi\mu V_r d, \quad (7)$$

где d — диаметр частицы грунта, м.

Из-за силы сопротивления частицы грунта начинают двигаться по криволинейной траектории, степень кривизны которой определяется массой частицы и вязкостью пульпы. В этом случае частица грунта, выходя на криволинейную траекторию, приобретает центростремительное ускорение, соответствующее силе

$$F_r = \frac{\pi}{6R_q} V_\tau^2 \rho_{gp} d^3, \quad (8)$$

где R_q – радиус кривизны траектории движения частицы, м.

Из равенства сил сопротивления и центростремительного ускорения можно найти скорость движения частицы в радиальном направлении

$$V_r = \frac{V_\tau^2}{18R_q} \rho_{gp} \frac{d^2}{\mu}. \quad (9)$$

Считая, что радиус кривизны траектории частицы R_q соответствует радиусу окружности, у которой центр совпадает с осью сим-

метрии циклона, можно найти время прохождения частицей грунта пути $L = \pi R_q$

$$T = \frac{L}{V_r} \quad (10)$$

Значения T фактически соответствуют времени, при котором частица грунта в циклоне смещается от оси его симметрии к стенкам, а величину радиального смещения частицы грунта за это время можно найти как

$$\Delta S = V_r T = \frac{V_\tau^2}{18R_q} \rho_{zp} \frac{d^2}{\mu} \frac{\pi R_q}{V_\tau} = \frac{\pi \rho_{zp}}{18\mu} V_\tau d^2 \quad (11)$$

В ходе расчетов для различных значений входной скорости потока в циклон было найдено изменение радиальной скорости движения грунта в различных сечениях циклона. Полученные результаты показаны на рисунке 2.

Характер изменения времени, за которое частицы грунта смещаются к стенкам циклона при различных значениях скорости подвода пульпы можно увидеть на рис. 3.

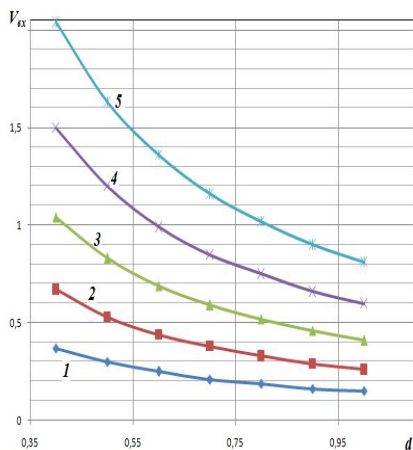


Рис. 2 Изменение радиальной скорости частиц грунта по высоте рабочей камеры циклона: 1 – $V_{вх}=3$ м/с; 2 – $V_{вх}=4$ м/с; 3 – $V_{вх}=5$ м/с; 4 – $V_{вх}=6$ м/с; 5 – $V_{вх}=7$ м/с

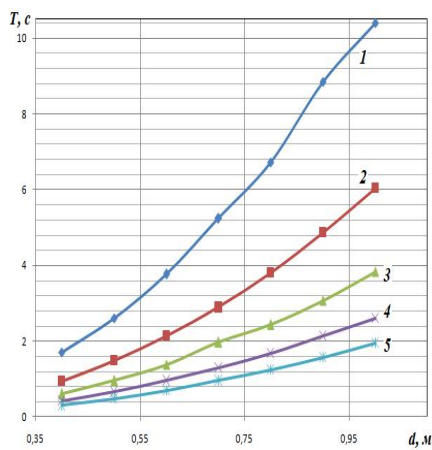


Рис. 3 Зависимость времени сепарации грунта от скорости подвода: 1 – $V_{вх}=3$ м/с; 2 – $V_{вх}=4$ м/с; 3 – $V_{вх}=5$ м/с; 4 – $V_{вх}=6$ м/с; 5 – $V_{вх}=7$ м/с

Из графиков следует, что рост скорости подвода пульпы в циклон значительно сокращает процесс ее сепарирования. На графиках

видно, что рабочие значения скорости подвода должны превышать величину 5 м/с, а оптимальное значение скорости входа пульпы в сепаратор равно 7 м/с. В этом случае максимальное время отделения грунта от воды в наибольшем поперечном сечении рабочей камеры циклона составляет всего 2 секунды. Для разработанной конструкции судового узла сепарации грунта были выполнены натурные эксперименты, в ходе которых получен ряд новых результатов и сделаны выводы, позволившие сформулировать основные положения методики его проектирования. Весь процесс измерений был автоматизирован и при определении величины расхода величина суммарной среднеквадратичной погрешности составляла $\delta_Q = 0,102\%$, а при измерении эпюры давления по высоте рабочей камеры циклона $\delta_{\Delta P} = 0,5\%$.

При работе сепарационной установки очень важной является зависимость скорости вращения пульпы в циклоне от входного динамического напора. Динамический напор может быть изменен двумя способами:

1. Конструктивным — установкой сопловых аппаратов в месте соединения грунтопровода с рабочей камерой циклона.

2. Технологическим — путем регулирования напорной характеристики грунтового насоса.

Оба способа были исследованы и полученные результаты можно увидеть на рис. 4-5. На рис. 4 показана зависимость угловой скорости вращения от угла конусности α соплового направляющего аппарата. При экспериментах угол α изменялся с шагом 1° в диапазоне от 20° до 30° . Все сопловые насадки имели одинаковую длину $l=200$ мм и входной диаметр $d_{вх}=50$ мм. Внутренняя поверхность насадок за счет механической обработки была выполнена абсолютно гладкой. Эксперимент проводился при неизменном значении напора грунтового насоса $H=38$ м.в.ст.

Приведенная графическая зависимость однозначно указывает на оптимальные значения угла конусности сопловой насадки. На графике видно, что в диапазоне от 20° до 26° в идентичных условиях скорость вращения грунтовой пульпы равномерно увеличилась на 33 %, а, начиная с угла конусности 26° ее значения изменялись мало в пределах, от 6,4 до 6,83 м/с.

В случае подачи пульпы в циклон без использования сопловых насадок скорость вращения определяется только напором грунтового насоса и, как видно на рис. 5, характер ее изменения становится иным. На графике можно выделить три характерных участка, каж-

дый из которых характеризуется разным изменением скорости вращения.

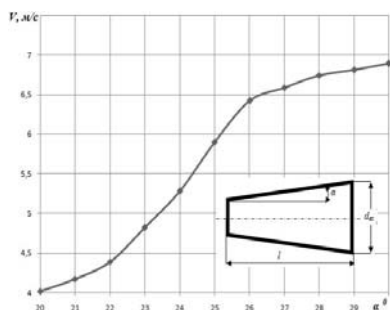


Рис. 4. Влияние угла конусности на скорость вращения

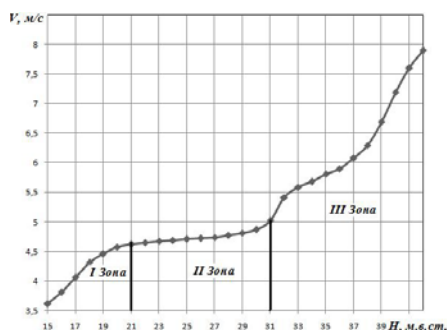


Рис. 5. Влияние напора на скорость вращения

Первая зона соответствует области начала вращения пульпы в рабочей камере циклона. Рост скорости в зависимости от напора может рассматриваться как линейный, а вращение пульпы происходит, как в случае однородной жидкости — без разделения фазовых компонент. В первой области процесс сепарации грунта практически не происходит. Вторая область соответствует вращательному движению с проявлением в потоке сил вязкостного трения. Силы инерции частиц грунта превалируют над центробежными силами, и по этой причине, рост напора не приводит к значительному росту скорости вращения. На графике подобное постоянство скорости соответствует характерному плоскому участку. На рисунке видно, что изменение напора с 21 до 31 м в. ст., т.е. на 47 %, приводит к изменению скорости вращения пульпы всего на 8 % от 4,62 до 5 м/с.

Третья зона может рассматриваться, как основная зона сепарации грунта. Увеличение напора на 35 % приводит практически к двойному росту скорости вращения от 5 до 7,9 м/с.

Качество работы судовой установки сепарации грунтонесущей пульпы и в частности ее производительность по отделяемой воде, напрямую определяется напором потока пульпы на входе в нее. При проведении измерений была получена зависимость отношения расхода осветленной пульпы Q_v к общему расходу Q_n при изменении входного напора в установку. Она показана на рис. 6, где также приведена графическая зависимость, описывающая качество получаемой осветленной пульпы. Как видно, в начале графика концентрация грунта в отобранной воде ϵ с ростом напора грунтового насоса падает. Свое минималь-

ное значение она принимает при $H=25$ м в. ст., а затем начинает увеличиваться. Причиной роста является дополнительная турбулизация потока, приводящая к образованию крупномасштабного вихревого течения, в результате которого возникают процессы вторичного выбрасывания грунта от стенок циклона к его центральной части.

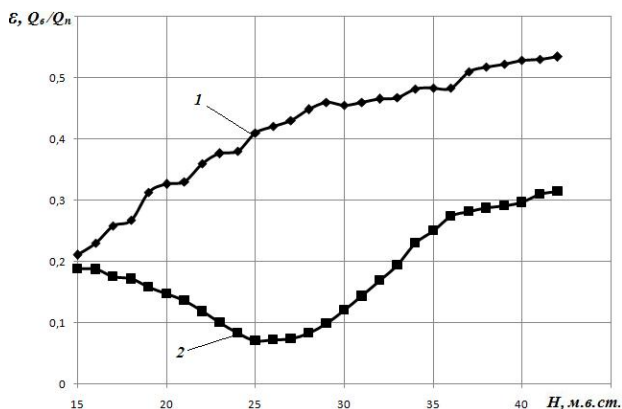


Рис. 6. Влияние напора судового насоса на производительность и качество очистки воды: 1 — отношение расхода осветленной пульпы Q_v к общему расходу Q_n ; 2 — относительная концентрация грунта в отделенной воде

С технологической точки зрения особое внимание нужно уделять местам установки разработанного узла сепарации грунта на судне. В зависимости от требований к выходной концентрации воды в грунте, возможно использовать два технологических решения. Они оба показаны на рис. 7.

Первый вариант (рис. 7-А) установки — палуба земснаряда. В этом случае остаточная концентрация воды должна быть не менее 30 % и грунт в последующем должен транспортироваться как обычная пульпа.

Второй вариант (рис. 7-Б) установки — палуба отдельного понтона, пришвартованного к земснаряду жесткой связью. В этом случае остаточная концентрация воды является минимальной (не более 20 %) и грунт должен складироваться в трюм баржи непосредственно на месте проведения дноуглубительных работ.

При эксплуатации разработанного судового сепаратора грунта предполагается полное автоматическое управление и контроль основных параметров сепарируемой пульпы и получаемых продуктов разделения — воды и грунта. Общая схема включения сепаратора в судовую напорный грунтотвод показана на схематическом рисун-

ке 7-А. Ее основным предназначением является повышение производительности рефулерной системы грунтопровода 8. При такой технологии подключения узел сепарации грунтовой пульпы не должен содержать узел механического отжима 13.

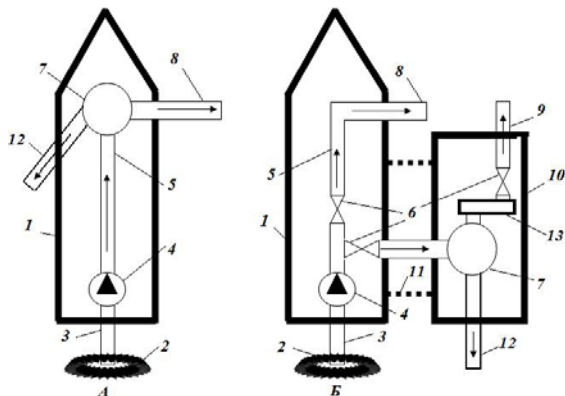


Рис. 7. Схемы установки узла сепарации (А — установка на судне; Б — установка на отдельном понтоне): 1 — земснаряд, 2 — фреза, 3 — всасывающий грунтопровод, 4 — грунтовой насос, 5 — судовой грунтопровод, 6 — запорно-регулирующая арматура, 7 — узел сепарации пульпы, 8 — рефулерный грунтопровод, 9 — лонгкулар или механический транспортер, 10 — понтон, 11 — механизмы швартовки, 12 — линия сброса отделенной воды, 13 — узел механического отжима

При использовании второй схемы установки — на отдельном понтоне выходная концентрация воды в грунте после узла механического отжима 13 будет очень низкая и одним из вариантов транспортирования грунта от судового сепаратора до трюма может являться лонгкулар (грунтоотводной лоток) 9. В своей работе это устройство использует принцип движения вязкопластичного потока за счет действия силы тяжести. Оптимальное значение угла наклона лотка соответствует диапазону $25^\circ - 33^\circ$. Длину кулуара можно регулировать установкой модульных секций имеющих в поперечном сечении стандартные геометрические формы — круглую, прямоугольную или полукруглую. Суммарная сила трения потока о стенки кулуара равна

$$F = \Pi l \tau \quad (12)$$

где Π — смоченный периметр, м; l — длина стенки, м; τ — касательное напряжение, Па.

Анализ выражения (12) показывает, что предпочтительными для стенок лонгкулуара являются круглая и полукруглая формы. При

заданной площади они обладают меньшей величиной смоченного периметра по сравнению с прямоугольным каналом и, следовательно, оказывают меньшее сопротивление транспортируемому грунту.

Выводы.

1. Повышение КПД работы земснаряда можно достигнуть путем модернизации технологии обработки пульпы. Уменьшение удельной концентрации воды в пульпе при прочих равных условиях приводит к росту самого главного рабочего показателя - производительности земснаряда.

2. Основными параметрами, влияющими на качество предложенного метода сепарации, являются входной динамический напор, консистенция грунта в пульпе и вязкость самой пульпы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Башта Т.М. Гидравлика, гидромашин и гидроприводы. / Т.М. Башта, С.С. Руднев и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.
2. Бородулин Я.Ф. Дноуглубительный флот и дноуглубительные работы. / Я.Ф. Бородулин, Б.Н. Сущенко. – М.: Транспорт, 1973. – 432 с.
3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. / Л.Г. Лойцянский. – М.: Наука, 1973. – 847 с.
4. Яхно О.М. Кавитация в переработке нефти. / О.М. Яхно, А.Д. Коваль, Л.И. Пищенко, В.П. Паскалов, Н.Н. Яске. – К.: Світ, 1999. – 263 с.
5. Гиргидов А.Д. Турбулентная диффузия с конечной скоростью. / А.Д. Гиргидов. – СПб.: СПбГТУ, 1996. – 260 с.

УДК 378

Корх М.В.
ОНМА

УПРАВЛІННЯ САМОСТІЙНОЮ ТА ІНДИВІДУАЛЬНОЮ РОБОТОЮ КУРСАНТІВ (СТУДЕНТІВ)

Сьогодні висуває нові вимоги до вищої освіти, до наукової компетентності фахівця-людини, яка творчо мислить, свідомо орієнтується в інформаційному та науковому просторі самостійно опановуючи світоглядні парадигми. Постає нагальна потреба оновлення навчального процесу вищої школи у зв'язку із його орієнтацією на модель майбутньої професійної діяльності курсантів (студентів) в умовах впровадження ефективних технологій організації навчально-виховного процесу. У зв'язку із цим постає питання ефективної підготовки курсантів (студентів) до самостійного отримання максимальної інформації і розвитку творчого мислення, виховання різнобічності досвідченої і культурної людини.

Високий рівень навчальних досягнень курсантів (студентів), результати їхньої наукової роботи зумовлені рядом факторів. Серед об'єктивно-суб'єктивних факторів велике значення мають самостійна робота курсантів (студентів) і рівень спілкування викладачів із курсантами. Самостійна робота розглядається як діяльність курсантів (студентів), що протікає без безпосереднього керівництва викладача, хоча спрямовується і організується ним [7]; специфічний педагогічний засіб організації і керування самостійною діяльністю курсантів у навчальному процесі, яка повинна включати метод навчального чи наукового пізнання [8]; конкретний вияв розуму [3]; специфічний вид навчально-пізнавальної діяльності чи сполучення декількох видів [5]; різноманітні види індивідуальної та групової пізнавальної діяльності курсантів (студентів), що здійснюється ними на аудиторних заняттях та у позанавчальний час [7]; різноманітні види індивідуальної навчальної діяльності курсантів, які здійснюється ними на навчальних заняттях або вдома за завданнями викладача під його керівництвом однак без його безпосередньої участі [2]. Таким чином, у сучасній вітчизняній дидактиці самостійна робота студентів розглядається, з одного боку, як вид навчальної праці, який здійснюється без безпосереднього втручання викладача, але під його керівництвом, а з іншого – як засіб залучення студентів до самостійного оволодіння методами самостійної пізнавальної діяльності й роз-

виту інтелектуальних потенційних можливостей кожної особистості. Цього можна досягти лише тоді, коли вона організується і реалізується у навчально-виховному процесі як цілісна система, яка пронизує всі етапи навчання курсантів (студентів) у вищому навчальному закладі.

Самостійна робота курсантів (студентів) – це обов'язкова складова його навчальної діяльності. А. Т. Молибог розглядає її як основу вищої освіти [4]. Без належного рівня управління, керівництва, організації самостійної роботи студентів вища освіта не може забезпечити повноцінної підготовки майбутніх фахівців високого рівня. Самостійна робота виконує ряд функцій: навчальна (опрацювання першоджерел, що сприяє більш глибокому осмисленню вже засвоєної суми знань); пізнавальна (опанування новою сумою знань, розширенні меж світогляду; коригуюча (осмислення новітніх теорій, концепцій, категорій, підходів до визначення суті відомих понять, напрямів розвитку науки тощо); стимулююча (така організація самостійної роботи, за якої студент отримує задоволення від результатів пізнавальної діяльності); виховна (спрямована на формування в особистості студента волі, цілеспрямованості, відповідальності, дисциплінованості); розвиваюча (спрямована на розвиток самостійності, творчості, дослідницьких умінь особистості). Цей вид навчально-виховної діяльності планується викладачем, який визначає обсяг, зміст, загальні терміни здійснення; організується ним, коли він визначає форми звітності за виконану роботу, місце та час звітування, забезпечує умови здійснення звіту. У такому розумінні самостійна робота не може бути самостійною ні на мотиваційному, ні на технологічному, ні на організаційному рівнях, її можна розглядати як частково самостійну. До того ж на допомогу курсантові (студентові) педагог створює методичне забезпечення самостійної роботи (програма діяльності, варіативні завдання, індивідуальні завдання розрахунково-графічних робіт з урахуванням індивідуальних можливостей кожної особистості). Важливим завданням при створенні системи самостійної роботи курсантів (студентів) є, по-перше, навчити їх вчитися і, по-друге, ознайомити з психофізіологічними основами розумової праці, технікою її наукової організації. Мотиви виконання кожного конкретного виду самостійної роботи формуються у курсанта (студента) під впливом стимулюючої функції самостійної роботи і залежать від рівня її реалізації викладачем. Таким чином викладач, управляючи, керуючи самостійною роботою курсанта (студента), не

тільки контролює результати його пізнавальної діяльності, але й навчає його здійснювати її, передбачаючи розвиток особистості курсанта. Саме на досягнення такої мети спрямовує нас визначення суті цих понять. Управляти – означає «очоловувати когось, що-небудь, керувати кимсь, чимось; спрямовувати на розвиток, стан чого-небудь» [10, с. 881]. Керувати — також означає «спрямовувати процес, впливати на розвиток, стан чого-небудь» [10, с. 395].

Технологія виконання самостійної роботи курсантом (студентом) залежить від того, наскільки він володіє методами опрацювання наукових джерел, опанував уміннями конспектування, складання тез, виписок, підготовки рефератів, що надалі стане основою для написання курсових, кваліфікаційних та дипломних робіт. Організація самостійної роботи планується викладачем, він визначає вид самостійної роботи (план, тези, виписки, завдання до РГР), що повинен виконати курсант, де і яким чином він повинен звітувати про виконання завдань для самостійної роботи.

Оскільки визначене викладачем завдання курсант (студент) виконує самостійно, плануючи свій час, місце та порядок їх виконання і займається цією діяльністю самостійно, без контролю за цим процесом з боку викладача, самостійну роботу можна назвати лише частково керованою.

Таким чином, ми можемо виходити з того, що самостійна робота студентів – це спланована, організаційно і методично спрямована їх пізнавальна діяльність, що здійснюється без прямої допомоги викладача, для досягнення конкретного результату.

У педагогічній літературі існує ряд класифікацій типів і видів самостійної роботи студентів. В. М. Рогінський виділяє чотири типи самостійної роботи за дидактичною метою.

Перший тип спрямований на формування у студентів умінь виявити у зовнішньому плані те, що від них вимагається, на основі заданого їм алгоритму діяльності та посилань на цю діяльність, які містять умови завдання. Пізнавальна діяльність студентів полягає у тому, щоб пізнати об'єкт певної галузі знань при повторному сприйманні інформації про нього або дій з ним. Як самостійну роботу цього типу найчастіше використовують домашні завдання, що передбачають опрацювання підручника, конспекту лекцій тощо. Спільним для самостійних робіт першого типу є те, що всі завдання, а також сам спосіб їх виконання повинен бути представлений безпосередньо у самому завданні або у відповідній інструкції.

Другий тип передбачає формування знань-копій і знань, що дозволяють розв'язувати типові завдання. Пізнавальна діяльність студентів при цьому полягає у відтворенні і частковому реконструюванні, зміні структури і змісту засвоєної раніше навчальної інформації. Це передбачає необхідність здійснення аналізу певного об'єкту, різних шляхів виконання завдання, визначення найбільш доцільних з них або послідовного визначення логічно розташованих способів його розв'язання. До самостійних робіт такого характеру можна віднести певні етапи проведення лабораторних і практичних занять, підготовки курсових робіт, а також підготовлені розрахунково графічні роботи з приписом алгоритмічного характеру. Характерна особливість робіт цього типу полягає в тому, що при визначенні завдання для самостійної роботи необхідно обґрунтувати її мету, та завдання, шляхи їх розв'язання, методи їх досягнення.

Третій тип спрямований на формування у студентів знань, що є основою для розв'язання нетипових задач. Пізнавальна діяльність студентів при виконанні таких завдань полягає у накопиченні і прояву у зовнішньому плані нового для них досвіду діяльності на базі раніше засвоєного формалізованого типу шляхом перенесення знань, умінь і навичок в інші умови діяльності. Виконання завдання цього типу передбачає пошук, формулювання і реалізацію мети і завдань розв'язання визначеної проблеми, що завжди виходить за межі миттєвого формалізованого досвіду і вимагають від студентів варіювання умов діяльності, розгляду засвоєної раніше навчальної інформації під новим кутом зору та використання її у нетипових ситуаціях. Самостійні роботи третього типу повинні висувати вимоги аналізу незнайомих навчальних ситуацій і генерування суб'єктивно нової інформації. Типовими для самостійної роботи третього типу є курсові, кваліфікаційні і дипломні роботи.

Четвертий тип передбачає створення передумов для творчої діяльності студентів. Їх пізнавальна діяльність при виконанні цих робіт полягає у глибокому проникненні в суть об'єкту, що вивчається, встановленні нових зв'язків і стосунків, необхідних для обґрунтування нових проблем, ідей, генерування нової інформації. Цей тип самостійних робіт реалізується, як правило, при виконанні завдань науково-дослідного характеру, включаючи курсові, кваліфікаційні і дипломні роботи [9].

Очевидно, що самостійна робота курсанта (студента) може здійснюватись як в аудиторний так і поза аудиторний час, як під керів-

ництвом викладача, так і без нього на всіх курсах навчання у вузу. Тобто під час процесу управління самостійною та індивідуальною роботою, дослідник (курсант, студент) повинен вміти будувати та використовувати різні логічні структури, висувати гіпотези, визначати умови їх здійснення, доводити теореми, знаходити закономірності, формувати закони.

Висновки. Ефективність підготовки майбутнього фахівця зумовлюється доцільним управлінням, керівництвом, організацією самостійної роботи курсантів (студентів) протягом навчання у ВНЗ, що забезпечується викладачем з високим рівнем педагогічної культури.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ананьев Б. Г. Некоторые проблемы психологии взрослых. – М.: Знание, 1972.
2. Гончаренко С. Український педагогічний словник. – К.: Либідь, 1997.
3. Кузьмина Н. В. Методы системного педагогического исследования. – Л.: ЛГУ, 1980.
4. Молибог А. Т. Вопросы организации педагогического труда в высшей школе. – М.: Высшая школа, 1971.
5. Навчальний процес у вищій педагогічній школі: Навчальний посібник / За заг. ред. акад. О. Г. Мороза. – К.: НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2001.
6. Нагорная Г. А. Профессиональное мышление учителя. – К.: Высшая школа, 1995.
7. Низамов Р. А. Диагностические основы активизации учебной деятельности студентов. – Казань: КГУ, 1975.
8. Пидкасистый П. И. Самостоятельная познавательная деятельность школьников в обучении. – М., 1980. – 105 с.

УДК 621.822

Хлопенко Н.Я., Кириченко А.С.
НУК

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИНТОКАНАВОЧНОГО ПОДПЯТНИКА

Введение. В системе смазки судовых ДВС для прокачки масла используются трехвинтовые насосы [1]. В них для разгрузки винтов от действия осевых усилий служат гидростатические подпятники. Несмотря на известные преимущества, они имеют ряд недостатков. Грузоподъемность осевых гидростатических подпятников невелика, особенно при малых скоростях вращения. Кроме того, в эксплуатационных условиях на установившемся режиме работы насоса наблюдается повышенный износ сопряженных цилиндрических поверхностей трения вследствие нутации и регулярной прецессии винтов. Этим недостаткам лишен гидростатический подпятник с винтовой нарезкой на конусной поверхности пяты [2]. В отличие от предыдущего подпятника он обладает эффектом самоцентрирования, является практически безызносным, характеризуется высокой надежностью и долговечностью.

Целью настоящей работы является определение статических характеристик гидростатического подпятника с винтовой нарезкой на конусной поверхности пяты трехвинтового насоса.

Для определения статических характеристик подпятника используется уравнение баланса расхода, а также зависимости для давлений и температур на выходах смазочной жидкости из канавок и несущего осевого зазора, полученные в работе [3]. На их основе строится итерационный алгоритм расчета этих характеристик на персональном компьютере.

Анализ проводится применительно к винтоканавочному подпятнику, установленному в трехвинтовом насосе ЗВ 63/25-1-45/6, ЗБ13. Показано, что его применение в этом насосе дает значительный выигрыш в грузоподъемности за счет нагнетания масла винтовой нарезкой пяты в несущий осевой зазор между рабочими поверхностями пяты и подпятника. Кроме того, наличие конусной поверхности пяты обеспечивает ее самоцентрирование и тем самым предотвращает износ сопряженных конусных поверхностей трения.

Основные расчетные формулы. В качестве основных расчетных формул используются уравнение баланса расхода и зависимости

для давлений и температур на выходах смазки из канавок и несущего осевого зазора между рабочими торцовыми поверхностями пяты и подпятника, предложенные в работе [3]. Геометрия винтоканавочного подпятника с конусной пятой приведена на рис. 1.

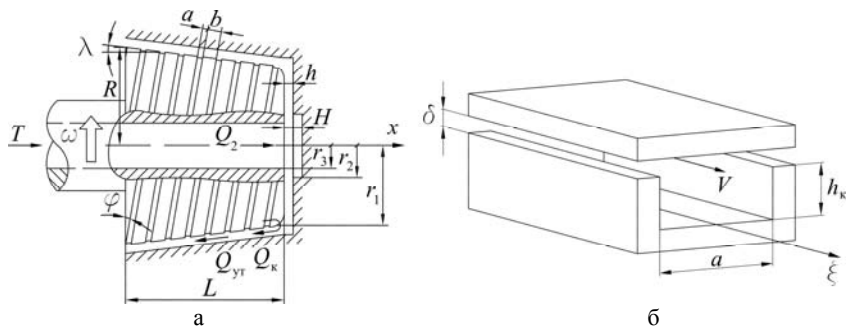


Рис. 1. Геометрия конусной пяты с винтовой нарезкой (а) и часть винтовой канавки (б), в которой движется смазывающая жидкость при вращении пяты

Уравнение баланса объемного расхода смазки имеет вид

$$Q_k + Q_2 = Q_{ут}, \quad (1)$$

где Q_2 — расход смазки в осевом канале винта; $Q_{ут}$ — расход утечек масла через радиальный кольцевой зазор; $Q_k = z_n a q$ — расход смазки по канавкам; q — расход, отнесенный к единице ширины канавки; z_n — число заходов винтовой нарезки; a — ширина канавки.

Расход утечек смазочной жидкости через кольцевой зазор между боковыми поверхностями пяты и подпятника рассчитывается по формуле Дарси [3]:

$$Q_{ут} = \frac{\pi R_{cp} \delta^3 (p_1 - p_{атм})}{6 \mu_{cp} l_1}, \quad (2)$$

где μ_{cp} — среднее значение вязкости масла; $R_{cp} = \frac{R+r_1}{2}$ — средний радиус пяты; R , r_1 — радиус большего и меньшего оснований пяты соответственно; δ — радиальный зазор; $l_1 = \sqrt{L^2 + (R-r_1)^2}$ — длина образующей конусной поверхности пяты; L — длина пяты вдоль оси вращения; p_1 — давление на выходе из канавок; $p_{атм}$ — атмосферное давление (на входе канавки).

Объемный расход смазки Q_k определяется из равенства давлений на выходе из канавок и из осевого зазора подпятника.

Давление на выходе из канавки p_1 рассчитывается по формуле [3]:

$$p_1 = p_{\text{атм}} + K_5 (NI_1 - MI_2), \quad (3)$$

где $I_1 = \int_0^l \frac{1}{K_1 \xi^3 - K_2 \xi^2 + K_3 \xi + K_4} d\xi$, $I_2 = \int_0^l \frac{\xi}{K_1 \xi^3 - K_2 \xi^2 + K_3 \xi + K_4} d\xi$ —

интегралы, не выражающиеся через элементарные функции;

$$K_1 = 2M_1 \mu_0 \alpha; K_2 = 3M_2 \mu_0 \alpha; K_3 = 6M_3 \mu_0 \alpha; K_4 = 6M_4; K_5 = \frac{6\mu_0 M_4}{h_k^3};$$

$$M_1 = M^2 + 3(h_k \omega \sin 2\phi \operatorname{tg} \lambda)^2; M_2 = 2(NM + 6R(h_k \omega)^2 \sin 2\phi \cos \phi \operatorname{tg} \lambda);$$

$$M_3 = N^2 + 12(h_k \omega R \cos \phi)^2; M_4 = 12q\rho ch_k^3 = 12 \frac{Q_k}{z_{\text{н}} a} \rho ch_k^3;$$

$$N = 6(\omega R h_k \cos \phi - 2q) = 6 \left(\omega R h_k \cos \phi - 2 \frac{Q_k}{z_{\text{н}} a} \right); M = 3h_k \omega \sin 2\phi \operatorname{tg} \lambda;$$

$$\omega = \frac{\omega_0}{1 + \beta};$$

ω_0 — угловая скорость вращения пяты; μ_0 — начальное значение динамической вязкости на входе в канавки; ρ , c — плотность и удельная теплоемкость смазки соответственно; h_k — глубина канавки;

$\beta = \frac{\delta}{h_k}$ — отношение радиального зазора δ к глубине канавки h_k ; R —

радиус большего основания пяты; ϕ , λ — соответственно угол подъема винтовой линии и угол конусности пяты; l — длина винтовой линии.

Давление масла, движущегося в несущем осевом зазоре подпятника, на наружном радиусе r_1 пяты, уравнивающее противодействие (3) на выходе из канавки пяты, описывается зависимостью:

$$p_1 = p_2 - \frac{\rho c}{\alpha} \ln \left(1 + \frac{6\alpha Q_2 \mu_2 \ln \frac{r_1}{r_2}}{\pi h^3 \rho c} \right), \quad (4)$$

где p_2 , μ_2 — соответственно давление и коэффициент динамической вязкости масла на выходе из осевого канала, выполненного в винте; r_2 — радиус центральной камеры (см. рис.1); h — толщина масляной пленки в несущем осевом зазоре подпятника.

Заметим, что величина p_2 приближенно равна давлению масла в напорном патрубке трехвинтового насоса, а $\mu_2 \approx \mu_0$.

Приравнявая правые части выражений (3) и (4), получим с учетом (1) следующее уравнение для определения расхода Q_k :

$$p_2 - \frac{\rho c}{\alpha} \ln \left(1 + \frac{6\alpha Q_2 \mu_2 \ln \frac{r_1}{r_2}}{\pi h^3 \rho c} \right) = K_5 (NI_1 - MI_2). \quad (5)$$

Среднее значение вязкости μ_{cp} рассчитывается по экспоненциальной зависимости

$$\mu_{cp} = \mu_0 e^{-\alpha(\Theta - \Theta_0)}, \quad (6)$$

где α — температурный коэффициент вязкости; Θ — среднекалориметрическая температура масла по контуру торца плоской поверхности пяты; Θ_0 — температура масла на входе в канавки конусной поверхности пяты (на радиусе R).

Среднекалориметрическая температура масла по контуру торца плоской поверхности пяты определяется по формуле

$$\Theta = \frac{\Theta'_1 Q_k + \Theta''_1 Q_2}{Q_k + Q_2}, \quad (7)$$

где Θ'_1 , Θ''_1 — соответственно температура масла на выходе смазки из канавок и осевого зазора.

Температуры Θ'_1 и Θ''_1 рассчитываются по формулам работы [3]:

$$\Theta'_1 = \frac{1}{\alpha} \ln \left(1 + \frac{\mu_0 \alpha l}{6M_4} (2M_1 l^2 - 3M_2 l + 6M_3) \right) + \Theta_0; \quad (8)$$

$$\Theta''_1 = \frac{1}{\alpha} \ln \left(1 + \frac{6\alpha Q_2 \mu_2 \ln \frac{r_1}{r_2}}{\pi h^3 \rho c} \right) + \Theta_0. \quad (9)$$

Зная теперь выражения (2), (3) и (5), можно определить по формуле (1) объемный расход смазки Q_2 , необходимый для расчета среднекалориметрической температуры (7).

Гидродинамическая реакция подпятника, уравнивающая осевую нагрузку, может быть вычислена по формуле

$$T = T_1 + T_2, \quad (10)$$

где T_1 — гидродинамическая реакция масляной пленки подпятника, направленная вдоль оси вращения вала противоположно направлению оси x , показанной на рис. 1; T_2 — осевая составляющая гидродинамической реакции масляной пленки между конусными сопряженными поверхностями трения.

Для определения осевой реакции T_1 пята служило выражение [3]:

$$T_1 = 2\pi \left(p_2 \frac{(r_1^2 - r_2^2)}{2} - \frac{\rho c}{\alpha} I_3 \right) + \pi (r_2^2 - r_3^2) p_2, \quad (11)$$

где $I_3 = \int_{r_2}^{r_1} r \ln \left(1 + \frac{6\alpha Q_2 \mu_2 \ln \frac{r}{r_2}}{\pi h^3 \rho c} \right) dr$ — интеграл, не выражающийся через

элементарные функции; r_3 — радиус осевого канала винта (см. рис. 1).

Осевая составляющая T_2 гидродинамической реакции масляной пленки между конусными сопряженными поверхностями трения вычисляется по формуле

$$T_2 = \gamma \operatorname{tg} \lambda K_6 \left(\frac{M}{\sin \phi \cos \lambda} I_4 - \left(\frac{M I_1}{\sin \phi} + \frac{N}{\cos \lambda} \right) I_5 + N I_6 \right), \quad (12)$$

где $I_4 = \int_0^L \frac{x^2}{K_7 x^3 - K_8 x^2 + K_9 x + K_{10}} dx$; $I_5 = \int_0^L \frac{x}{K_7 x^3 - K_8 x^2 + K_9 x + K_{10}} dx$;

$I_6 = \int_0^L \frac{1}{K_7 x^3 - K_8 x^2 + K_9 x + K_{10}} dx$ — интегралы, не выражающиеся через

элементарные функции; $\gamma = \frac{2\pi}{l_1} (R - r_1)$ — угол развертки конусной по-

верхности пята; x — координата, отсчитываемая от центра большего основания конусной пята.

Эта формула получена в предположении, что давление смазки по наружному радиусу сечения, перпендикулярного к оси симметрии пята, равно давлению масла в канавке на том же радиусе.

Мощность, затрачиваемая на трение, определяется выражением [3]:

$$P = \frac{\mu_1^* \omega^2 S}{4\delta} (R + r_1)^2 \frac{\chi + \beta}{1 + \beta} + \frac{\pi \mu_2^* \omega^2}{2h} (r_1^4 - r_2^4) + \frac{\pi \mu_2 \omega^2}{2H} (r_2^4 - r_3^4), \quad (13)$$

где μ_1^* , μ_2^* — соответственно средняя вязкость масла в конусном и плоском зазорах подпятника; $S = z_n(a+b)l$ — общая площадь канавок и выступов пяты; b — ширина канавки; H — глубина центральной камеры; χ — отношение площади выступов к общей площади канавок и выступов пяты.

Первое слагаемое в этой формуле характеризует потери мощности на трение в осевом, а второе — в радиальном зазорах подпятника.

В соответствии с приведенными зависимостями (1)-(13) статические характеристики винтоканавочного подпятника определялись итерационным методом по алгоритму, состоящему из следующей последовательности действий:

1. Рассчитывается расход Q_k по формуле (5).
2. Рассчитывается давление на выходе из канавок p_1 по формуле (3).
3. Рассчитывается температура Θ_1' по формуле (8).
4. Рассчитывается вязкость $\mu_1 = \mu_0 e^{-\alpha(\Theta_1' - \Theta_0)}$ (первая итерация).
5. Рассчитывается средняя вязкость масла в радиальном зазоре

$$\mu_{\text{ср}} = \frac{\mu_1 + \mu_0}{2} \text{ (первая итерация).}$$

6. Рассчитывается расход $Q_{\text{ут}}$ по формуле (2).
7. Рассчитывается расход Q_2 по формуле (1).
8. Рассчитывается давление p_1 по формуле (4).
9. Рассчитывается температура Θ_1'' по формуле (9).
10. Рассчитывается среднекалориметрическая температура по формуле (7).
11. Рассчитывается значение средней вязкости по формуле (6).
12. Расчет повторяется по пунктам 1, 2, 3, 6-11 до тех пор, пока относительная погрешность расхода по канавкам Q_k на двух последовательных итерациях не станет меньше 5%.

13. Наконец, рассчитывается грузоподъемность подпятника по формуле (10) и потери мощности на трение по формуле (13).

Приведенный алгоритм используется для расчета статических характеристик подпятника при значениях радиального зазора δ , превышающих некоторое критическое значение $\delta_{\text{кр}}$. Это критическое значение зазора определяется в процессе расчета, при котором расход Q_2 обращается в нуль. При значениях $\delta < \delta_{\text{кр}}$ расчет указанных характеристик производится точно также как и в работе [3], но при заданном значении давления смазки в центре пяты.

Таким образом, разработана термогидродинамическая теория смазки и получены аналитические зависимости для статических характеристик винтоканавочных подпятников трехвинтовых насосов системы смазки судовых ДВС.

Результаты расчета и их анализ. Расчеты проводились применительно к подпятнику с многозаходной винтовой нарезкой на конусной поверхности пяты, установленному в трехвинтовом насосе ЗВ 63/25-1-45/6, ЗБ13, со следующими исходными данными: длина конусной пяты $L=35$ мм; радиус большего основания конуса пяты $R=22$ мм; угол конусности $\lambda = 7^\circ$; угол подъема винтовой нарезки на пяте $\phi=10^\circ$; глубина канавки $h_k=0,3$ мм; ширина канавки $a = 1,2$ мм; ширина выступа $b = 3$ мм; радиус меньшего основания конуса пяты $r_1=17,5$ мм; радиус центральной камеры $r_2=10$ мм; радиус осевого канала винта $r_3=5$ мм; глубина центральной камеры $H=5$ мм; коэффициент динамической вязкости масла $\mu_0=0,0225$ Па·с при температуре масла на входе $\Theta_0=25^\circ\text{C}$; произведение плотности на удельную теплоемкость масла $\rho c=0,176 \cdot 10^7$ Дж/(м³·°C); температурный коэффициент вязкости $\alpha=0,026$ 1/°C; коэффициент местного гидравлического сопротивления $k=1$; число заходов винтовой нарезки $z_H=5$; частота вращения ведущего вала трехвинтового насоса $n=1450$ об/мин; давление масла в центре пяты $p_2=0,63$ МПа; атмосферное давление $p_{\text{атм}}=0,101$ МПа.

Результаты расчетов расхода Q_k , давления p_1 и среднекалориметрической температуры Θ по формулам работы [3] при заданном значении осевого зазора $h=117$ мкм позволили определить критическое значение установочного зазора $\delta_{\text{кр}} \approx 40$ мкм (рис. 2,а). С превышением этого критического зазора статические характеристики рассчитывались по алгоритму, представленному в данной работе. Из представленной на рис. 2,а кривой для давления p_1 видно, что оно сохраняется практически неизменным при значениях $\delta < \delta_{\text{кр}}$. При таких неизменных значениях давления p_1 грузоподъемность винтоканавочного подпятника является наибольшей.

На рис. 2,б представлены зависимости расхода Q_k , давления p_1 и среднекалориметрической температуры Θ от величины осевого зазора h при установочном радиальном зазоре $\delta_0=10$ мкм. Они рассчитаны по формулам работы [3], но при заданном значении давления смазки в центре пяты $p_2=0,63$ МПа. Из представленной на рис. 2,б кривой для давления p_1 видно, что в диапазоне изменения установочного зазора h от значения 100 мкм до 250 мкм значение этого

давления практически не изменяется. Следовательно, в указанном диапазоне изменения установочного зазора грузоподъемность подпятника сохраняется практически неизменной.

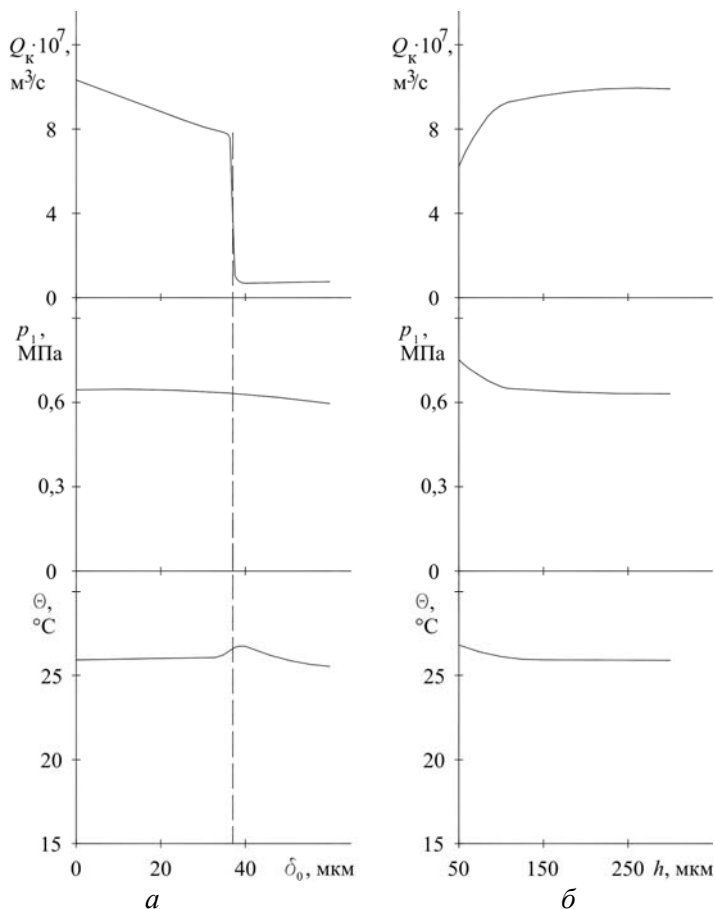


Рис. 2. Зависимость расхода Q_k , давления p_1 и температуры Θ от установочного зазора δ_0 при $h=117$ мкм (а) и от осевого зазора h при $\delta_0=10$ мкм (б)

На рис. 3 приведены зависимости грузоподъемности T от установочного радиального зазора δ_0 при значении осевого зазора $h=170$ мкм для подпятника с цилиндрической гладкой пятой (кривая 1) и винтоканавочного подпятника с конусной пятой (кривая 2). Видно, что применение винтоканавочного подпятника в трехвинтовом насосе является целесообразным.

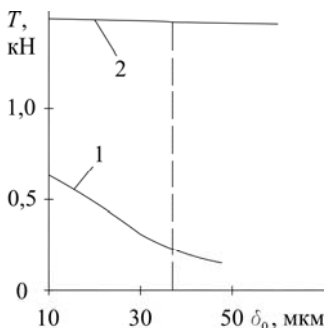


Рис. 3. Зависимость гидродинамической реакции смазки подпятника от установочного радиального зазора δ_0 при $h=170$ мкм: 1 — подпятник с цилиндрической пятой без нарезки; 2 — винтоканавочный подпятник с конусной пятой

На рис.4 представлена зависимость мощности P , затрачиваемой на трение, от величины радиального зазора δ_0 при установочном осевом зазоре $h=170$ мкм. Видно, что с ростом δ_0 до критического значения около 40 мкм мощность P , затрачиваемая на трение, резко снижается. Поэтому значение установочного радиального зазора в винтоканавочном подпятнике трехвинтового насоса следует выбирать близким к критическому, но не превышающему его (например, 30 мкм).

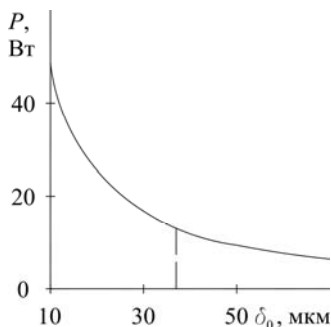


Рис. 4. Зависимость мощности, затрачиваемой на трение, от установочного радиального зазора δ_0 при $h=170$ мкм для винтоканавочного подпятника с конусной пятой

Таким образом, проведенные исследования уточняют и обобщают теоретические результаты, полученные ранее в работе [3], а также подтверждают возможность использования винтоканавочного подпятника в трехвинтовых насосах системы смазки судовых ДВС.

Выводы

1. Разработана термогидродинамическая теория смазки и получены аналитические зависимости для статических характеристик винтоканавочных подпятников.

2. Теоретически доказана целесообразность применения таких подпятников в трехвинтовых насосах системы смазки судовых ДВС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чиняев И.А. Роторные насосы (справочное пособие). Л.: Машиностроение, 1969. – 216 с.
2. Пат. № 52820 Україна, Упорний гідростатичний підшипник ковзання / Романовський Г.Ф., Хлопенко М.Я., Рогожін Б.А. (Україна). – № F16C25/02; Заявлено 10.10.2000; Опубл. 15.01.2003.
3. Хлопенко Н.Я., Кириченко А.С. Влияние утечек смазки на статические характеристики подпятника с винтовой нарезкой на конусной поверхности пяты // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький, 2009. – №4(54). – С. 97-102.

УДК 621.313.9

Савенко А.Е.
КГМТУ

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПАРОМА "ЕЙСК"

Судовая электроэнергетическая система паромы «Ейск» относится к многогенераторным электростанциям, в которых возникают обменные колебания мощности, приводящие к нежелательным последствиям [1]. Кроме того, на рассматриваемом судне явления, обусловленные обменными колебаниями мощности при параллельной работе дизель-генераторов, осложняются тем, что в основном ходовом режиме гребные двигатели получают питание через тиристорные преобразователи, которые сильно искажают форму токов и способствуют возникновению колебаний мощности. Эта проблема характерна для всех судовых электростанций, имеющих в своем составе от двух до семи дизель-генераторов. Для разработки системы управления многогенераторной судовой электростанцией, которая управляла бы всеми имеющимися регуляторами частоты вращения дизелей, от которых зависит распределение активной мощности, и регуляторами возбуждения генераторов, от которых зависит распределение реактивной мощности при параллельной работе [2], с целью устранения или сведения к минимуму обменных колебаний мощности целесообразно провести теоретические исследования на математической модели. Такая математическая модель, созданная на основе уравнений Парка-Горева, позволяет рассчитывать мгновенные значения фазных напряжений, токов, углов нагрузки, моментов, частот вращения параллельно работающих дизель-генераторов [3]. С целью идентификации разработанной математической модели и проверки ее достоверности был проведен пассивный эксперимент на пароме «Ейск», целью которого было снятие осциллограмм мгновенных значений фазных напряжений и токов генераторов, работающих в параллель, в различных эксплуатационных режимах. Для этого были проведены планирование и подготовка пассивного эксперимента, который проводился во время регулярного пассажирского сообщения между портом «Крым» и портом «Кавказ».

Рассмотрим подробнее электроэнергетическую установку паромы (рис. 1).

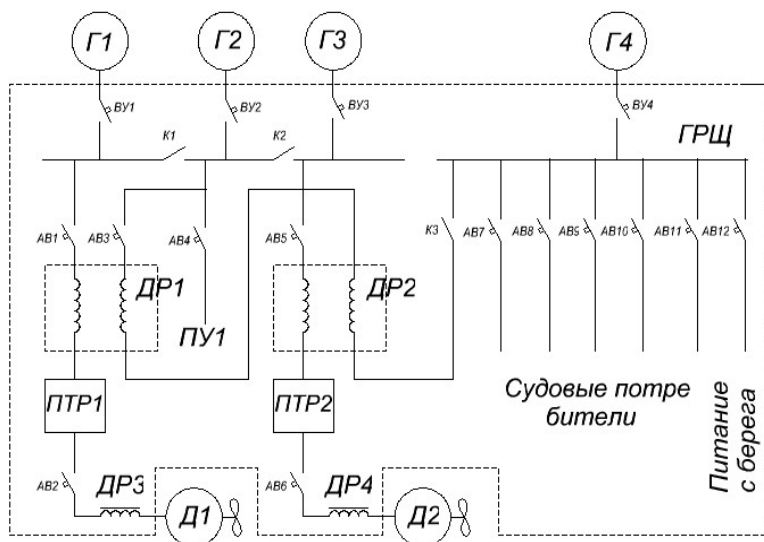


Рис. 1. Структурная схема ЕЭУ парома “Ейск”

Для парома проекта 10380 принята единая электроэнергетическая система с гребной электрической установкой (ГЭУ) переменного тока и отбором мощности на питание судовых потребителей от шин главных генераторов. Такая система позволяет уменьшить количество генераторов на судне, более полно и экономично использовать установленную мощность электроэнергетической установки, уменьшить количество применяемой аппаратуры и улучшить условия эксплуатации парома.

Вместе с тем, с целью обеспечения необходимого качества электроэнергии, отбираемой на питание судовых потребителей, потребовались специальные меры для уменьшения искажений формы синусоидальной кривой напряжения генераторов, возникающих при коммутации силовых тиристорных статических преобразователей ГЭУ. Для компенсации указанных искажений применены специально разработанные сдвоенные реакторы, одна из обмоток которых включена в цепь главного тока, а другая — в цепь отбора мощности. Сдвоенные реакторы за счет взаимной индукции компенсируют коммутационные провалы напряжения и тем самым улучшают качество электроэнергии, отбираемой на собственные нужды.

Питание двух ГЭД постоянного тока, работающих на ВФШ, с обслуживающими механизмами и оборудованием осуществляется от

трех бесщеточных дизель-генераторов переменного тока. От главных дизель-генераторов так же осуществляется отбор электроэнергии для питания судовых потребителей. В качестве главных источников электроэнергии в схеме ГЭУ парома приняты три дизель-генератора 6VD26/20-AL-2 с генераторами S450M6 800кВА, 390В, 50Гц, $\cos \varphi = 0.8$, 1184А. В агрегате 750кВА, 1110А.

Генераторы состоят из следующих основных узлов: трехфазный генератор с внутренними полюсами; трехфазный возбудитель с внешними полюсами; вращающаяся выпрямительная группа; устройство возбуждения с электронным регулятором напряжения.

При бесщеточном исполнении мощность возбуждения подводится индуктивной передачей к обмотке возбуждения постоянного тока генератора (ротор) так, что отпадают все контактные системы, подлежащие износу и техническому уходу. Для этого служит возбудитель, обмотка трехфазного тока (ротор) которого тоже расположена на валу генератора и соединена с обмоткой возбуждения генератора непосредственно проводами через вращающуюся выпрямительную группу.

Статор возбудителя имеет обмотку возбуждения постоянного тока, которая питается генератором через устройство возбуждения с электронным регулятором напряжения и по истечении процесса возбуждения, задействованного с помощью остаточного магнетизма, делает возможным работу генератора.

Схемой ГЭУ предусмотрены следующие режимы работы: 3 главных генератора 2ГЭД — ледовый режим полной мощности; 2 главных генератора → 2ГЭД — режим работы в чистой воде; 1 главный генератор → 2ГЭД — аварийный режим, обеспечивается схемой ГЭУ, но не является эксплуатационным.

Переход с одного режима работы ГЭУ на другой осуществляется путем изменения количества включенных в схему генераторов и может выполняться без перерыва в работе ГЭД.

Соответствие мощности ГЭУ режиму работы обеспечивается автоматически соответствующими изменениями в схеме регулирования ГЭУ при отключении или включении автоматических выключателей генераторов.

Включение генераторов на параллельную работу возможно методом автоматической точной синхронизации с помощью устройства УСГ или вручную с помощью синхроскопа или ламп.

Включение генераторов Г1 – Г3 на шины ГЭУ главного распределительного щита (ГРЩ) производится с помощью автоматических

выключателей В1 – В3 типа ВА74, которые также осуществляют защиту генераторов от коротких замыканий, перегрузки, минимальную защиту и защиту от обратной мощности.

ГЭУ парова двухвальная, каждый вал приводится во вращение ГЭД постоянного тока типа МП2-М-630-152-8-М3, 710 кВт, 440 В, 370/500 об./мин. ГЭД имеет принудительную вентиляцию от вентилятора типа «Наездник», воздухоохладитель, электростатический фильтр и центробежное реле скорости. Возбуждение ГЭД независимое, $U = 220$ В. Каждый ГЭД получает питание от своего тиристорного преобразователя ПТР1 / ПТР2 – типа КТЭ 1600/460 ЕВО, но на номинальный выпрямленный ток 1600 А, с плавным регулированием напряжения 460-0-460 В. Оба тиристорных преобразователя устанавливаются в ЦПУ и имеют по 3 секции с силовыми тиристорными мостами (шкаф силовой ШС) и по 1 секции управления (шкаф управления ШУ).

Изменение частоты вращения ГЭД производится изменением величины подводимого к ГЭД напряжения; реверс — изменением полярности напряжения на выходе тиристорного преобразователя при постоянном токе возбуждения ГЭД. Каждый тиристорный преобразователь подключен к шинам ГЭУ ГРЩ через автоматический выключатель типа ВА74 и сдвоенный реактор. Для уменьшения пульсаций в главной цепи постоянного тока установлены сглаживающие реакторы типа ФРОС-3-800.

Генераторы с одинаковым напряжением возбудителя должны преимущественно работать параллельно с уравнительным проводом, что и происходило во время проведения эксперимента. Возможно необходимое уравнивание статических сопротивлений при параллельной работе без уравнительного провода. Параллельное включение обмоток возбуждения всех возбудителей обеспечивает, независимо от состояния нагрузки, одинаковое напряжение возбудителя. Распределение активной мощности пропорционально номинальным мощностям ведет в обязательном порядке к соответствующему распределению реактивной мощности.

В качестве регуляторов скорости дизелей применены РН-30, предназначенные для автоматического поддержания заданной частоты вращения коленчатого вала двигателя при изменении нагрузки путем изменения количества топлива, подаваемого в цилиндры топливными насосами.

В состав измерительного комплекса при проведении эксперимента входил цифровой запоминающий осциллограф Owon HDS1022M,

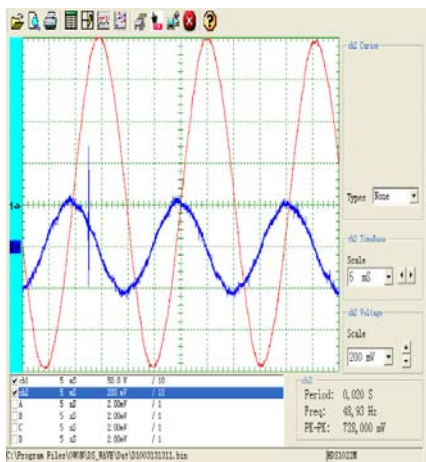


Рис. 2. Автономная работа ДГ, красная кривая — фазное напряжение, синяя — ток, наброс нагрузки 40 кВт

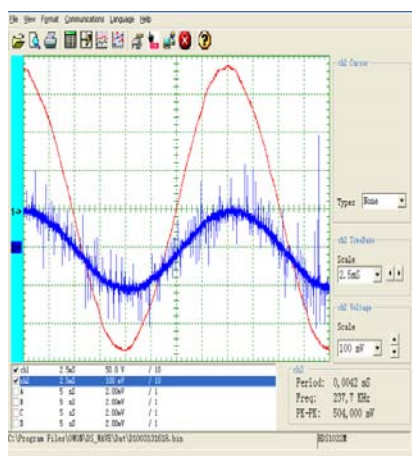


Рис. 3. Наброс нагрузки 60 кВт, работает ГД 2, фазное напряжение и ток

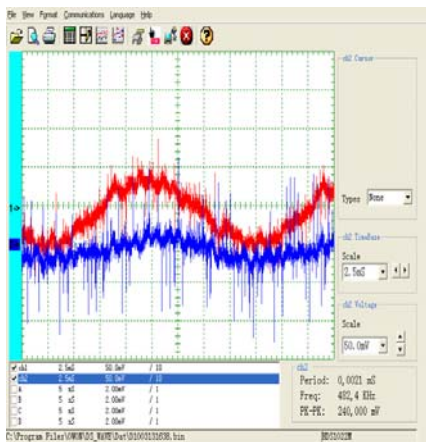


Рис. 4. ДГ 1 работает в параллель с ДГ 2, нагрузка по 50 кВт: красная кривая — ток ДГ 1, синяя — ток ГД 2

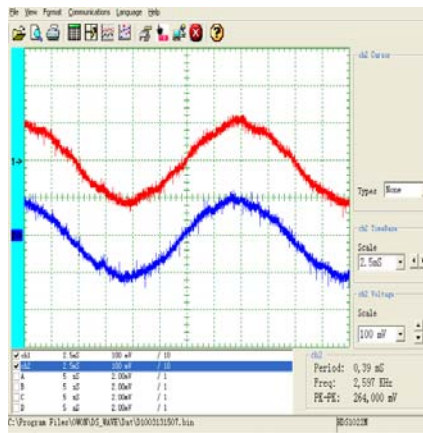


Рис. 5. ДГ 1 работает в параллель с ДГ 2, запуск подруливающего устройства, бросок тока до 500 А. красная кривая — ток ДГ 1, синяя — ток ГД 2

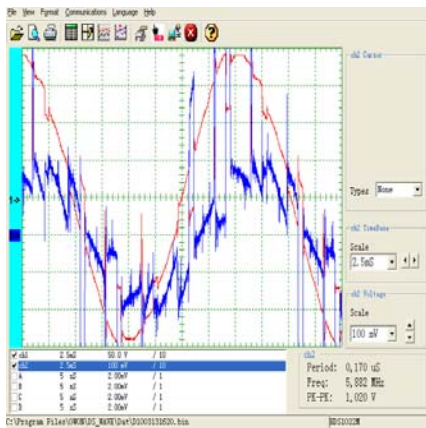


Рис. 6. Начало работы тиристорного преобразователя, пробный пуск до 100 А, красная кривая — фазное напряжение, синяя — ток ДГ 2

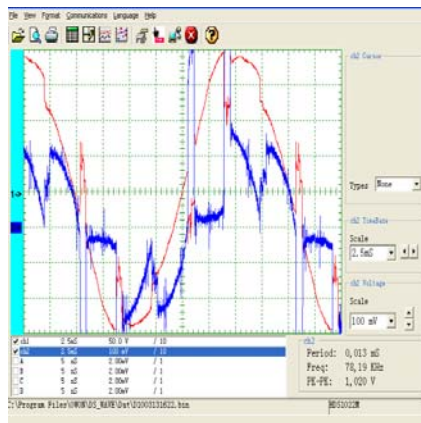


Рис. 7. ДГ 1 работает в параллель с ДГ 2 на гребные двигатели, рабочий режим гребных установок, ток 600 А, 300 об/мин, по 350 кВт, частота 49 Гц, 980 об/мин., красная кривая — фазное напряжение, синяя — ток ДГ 2

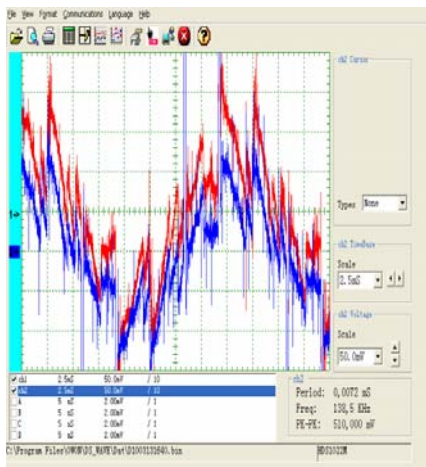


Рис. 8. ДГ 1 работает в параллель с ДГ 2, швартовка., токи генераторов. красная кривая — ток ДГ 1, синяя — ток ГД 2



Рис. 9. Параллельная работа ДГ 1 и ДГ 2, 550 А и 500 А, работа гребных двигателей, красная кривая — ток ДГ 1, синяя — ток ГД 2

имеющий два канала для исследования сигналов, с частотой дискретизации 100 МГц, который соединялся при помощи USB-интерфейса с персональным компьютером типа ноутбук. В качестве датчиков измеряемых величин применялись трансформаторы тока и напряжения, которые осуществляли гальваническую развязку и преобразовывали сигналы до допустимого для осциллографа уровня.

Наиболее интересные осциллограммы, которые были получены во время проведения эксперимента, приведены на рисунках 2-9.

Из анализа результатов эксперимента, видно, что в электроэнергетической установке парома “Ейск” присутствуют обменные колебания мощности при параллельной работе дизель-генераторов, причем при существующей системе возбуждения генераторов, которая была описана выше, эти колебания большей частью обусловлены работой регуляторов оборотов дизелей РН-30 и основной причиной этого являются имеющиеся там “люфты” и “сухое трение”. Таким образом, в ходе дальнейшей работы над совершенствованием системы управления параллельной работой многогенераторной судовой электростанцией планируется разработка метода идентификации параметров исследуемой системы на основе результатов, полученных в ходе данного эксперимента, выработать комплекс мер, направленных на уменьшение обменных колебаний мощности, опробовать их на имеющейся математической модели.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Вишневский Л.В., Козырев И.П., Савенко А.Е. Управление параллельной работой современных судовых многогенераторных электростанций // Судовые энергетические установки. -2007. – Вып. 19. – С. 87- 91 .
2. Вишневский Л.В., Савенко А.Е. Системы управления параллельной работой современных судовых многогенераторных электростанций // Рыбное хозяйство Украины. - 2007. - Вып. 48, 49. – С. 63-65.
3. Вишневский Л.В., Савенко А.Е. Моделирование судовых многогенераторных установок. // Матер. 15 междунар. конф. по автоматич. управлению "Автоматика 2008". – С 93- 95.
4. Судовая техническая документация парома “Ейск”.
5. Техническая документация осциллографа “Owon”.

УДК 621.431.74 – 242.44

Ханмамедов С.А., Пизинцали Л.В.
ОНМА, ОНМУ

СОВЕШЕНСТВОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРЕЙЦКОПФНЫХ ПОДШИПНИКОВ СУДОВЫХ МАЛОБОРОТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

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

Исследования особенностей работы крейцкопфных подшипников судовых дизелей показывают, что они значительный промежуток времени эксплуатируются в режиме граничной смазки при реверсивном трении с максимальной скоростью скольжения не выше 1,5м/с. При эксплуатации крейцкопфных подшипников в таком режиме граничной смазки их ресурс составляет 15 – 20 тыс. часов, чем и обусловлены дальнейшие работы по повышению долговечности подшипников, которые выполняется двигателестроительными фирмами в двух преимущественных направлениях. Одно направление это – совершенствование материала, из которого изготавливаются подшипники, а второе – улучшение свойств смазочных материалов [3,4]. Решение обоих задач подчинено адаптации работы подшипников в составе судовых дизелей, для обеспечения минимальные потери на трение (и таким образом сокращение затрат топлива) и минимизации величины износа подшипника (что приводит к сокращению затрат на обслуживание и ремонт).

Анализ последних достижений, показывает, что инженерия поверхности является одним из основных направлений, позволяющих решить задачу повышение ресурса работы крейцкопфных подшипников судовых дизелей.

Целью статьи является анализ влияния конструкции подшипниковых узлов, материалов на ресурс работы крейцкопфных подшипников судовых дизелей.

Решение проблемы.

На первом этапе решение данной задачи осуществлялось путем подбора металла, которым осуществляется заливка подложки классического крейцкопфного подшипника скольжения. Из большого множества металлов были выбраны *Pb, Sn, Zn, Cu* как металлы, при трении которых по стали в присутствии смазочных материалов обеспечивается устойчивый процесс трения. Конструкция такого подшипни-

ка приведена на рис. 1. При этом его работа возможна только со смазочными материалами, которые отвечают требованиям SAE.

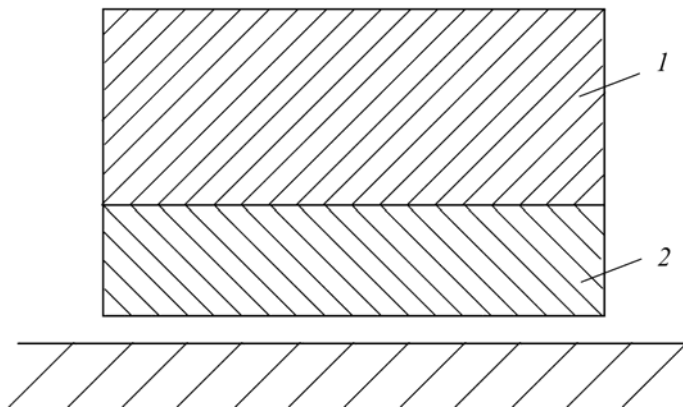


Рис. 1. Конструкция подшипника скольжения со сплошной заливкой рабочей поверхности: 1 – сталь; 2 – оловянно-свинцовый сплав

Ресурс крейцкопфного подшипника скольжения, приведенного на рис.1 ограничен и обычно составляет 10000 – 15000 час, что обусловлено с одной стороны циклической прочностью металла, а с другой — величиной предельно допустимого износа.

В процессе накопления соответствующего опыта эксплуатации таких подшипников практически одновременно ведущие двигателестроительные фирмы перешли на биметаллические подшипники, у которых оловянисто-свинцовый сплав наносился на стальную полосу, которая, являясь съемной деталью, позволила значительно упростить процесс эксплуатации двигателя.

На рис. 2 приведена конструкция вкладыша подшипника скольжения. Для этих вкладышей характерным является тот факт, что для улучшения адгезии антифрикционного сплава на стальную полосу наносится промежуточный слой меди. Начальный зазор между стальным валом и таким подшипником составляет обычно 100 – 150 мкм. При этом ресурс подшипника скольжения, приведенного на рис. 2, также ограничен временным фактором и обычно составляет 20000 – 25000 час, что обусловлено с одной стороны циклической прочностью металла, а с другой — величиной предельно допустимого износа подшипника.

Продолжительное использование подшипников с биметаллическими вкладышами в двигателях показало, что с течением времени

наблюдается диффузия меди в антифрикционный сплав и резкое изменение его физикомеханических свойств в частности потеря пластичности. В связи с этим конструкция вкладыша подшипника усложнилась, и между медью и антифрикционным сплавом появился слой никеля рис. 3.

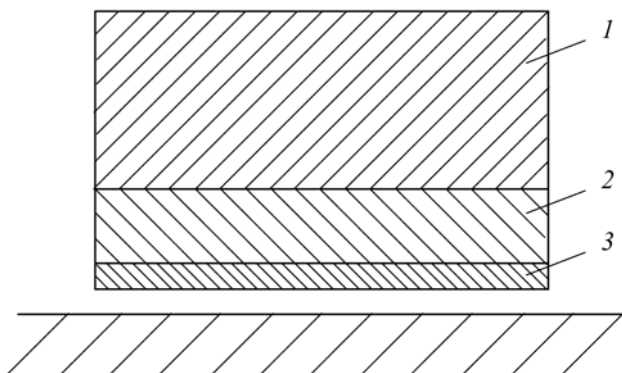


Рис. 2. Биметаллический вкладыш подшипника скольжения: 1 – сталь; 2 – медь; 3 – антифрикционный сплав

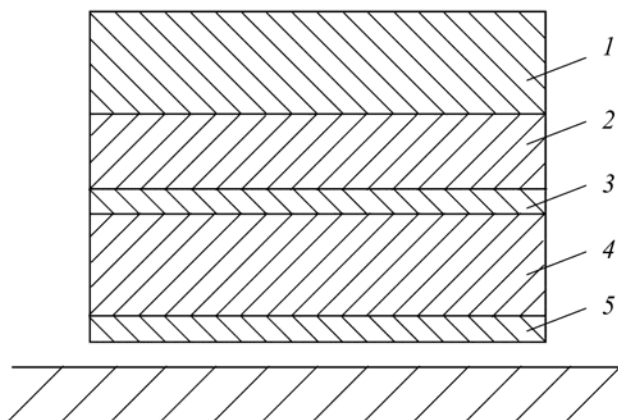


Рис. 3. Трехслойный вкладыш подшипника скольжения: 1 – сталь; 2 – медь; 3 – никель; 4 – антифрикционный сплав; 5 – приработочный слой (редкоземельный материалы)

Дальнейшее развитие крейцкопфных подшипников стало происходить под развитием методов и технологий приведенных ниже:

1. При формировании рабочего слоя вкладыша крейцкопфного подшипника стали использоваться технологии термического испа-

рения, ионно-лучевого и ионно-плазменного распыления, электроискровое легирование, химическое осаждение, лазерная обработка, ионная имплантация.

2. Сверхтвердые наноструктурные покрытия (в т.ч. многокомпонентные пленки на основе карбонитридов и боронитридов переходных металлов, кубического нитрата бора, алмазные, алмазосодержащие и углеродные алмазоподобные пленки).

В настоящее время ведутся исследования и поиски новых материалов, которые успешно работали бы в подшипниковых узлах судовых двигателей внутреннего сгорания.

Проведенные исследования [3] показали, что материал антифрикционного слоя подшипника оказывает значительное влияние на прилегающий пристенный слой смазочного материала. Молекулы масла пристенного слоя смазочного материала приобретает ориентационную упорядоченность. Толщина слоя в котором наблюдается ориентационной упорядоченности смазочных слоев достигает 20 мкм [4]. При этом в слое возникает молекулярное расклинивающее давление, по величине позволяющие уравновесить нагрузку, приходящуюся на подшипник. Необходимо также отметить, что в зависимости от типа структуры пристенного слоя изменяются и его триботехнические характеристики. Так, в биметаллических и трехслойных подшипниках (см. рис. 2, 3) в пристенном слое смазки реализуется планарная структура, обеспечивающая благоприятное, устойчивое протекание процесса трения с минимальным коэффициентом трения.

В то же самое время подшипники, выполненные на сплавах алюминия и цинка (см. рис. 2) в пристенном слое дают гомеотропную структуру.

В связи с этим конструкция вкладыша подшипника изменилась (рис. 4). Так, рабочая поверхность подшипниковых вкладышей фирмы «МИБА» состоит из параллельно чередующихся областей выполненных их разных металлов.

Такая конструкция подшипника позволяет получить в смазочном слое последовательно чередующиеся области с различной структурой. Такое чередование структуры в смазочном слое позволяет получить заданные триботехнические характеристики подшипника, а также существенно уменьшить боковую утечку смазочного материала.

В отличие от трехслойных вкладышей со сплошной заливкой рабочей поверхности мягким сплавом в этом подшипнике (рис. 4) мяг-

ким оловянно-свинцовым сплавом заполнены в нем параллельные канавки, перемежающиеся с полосами из алюминиевого сплава.

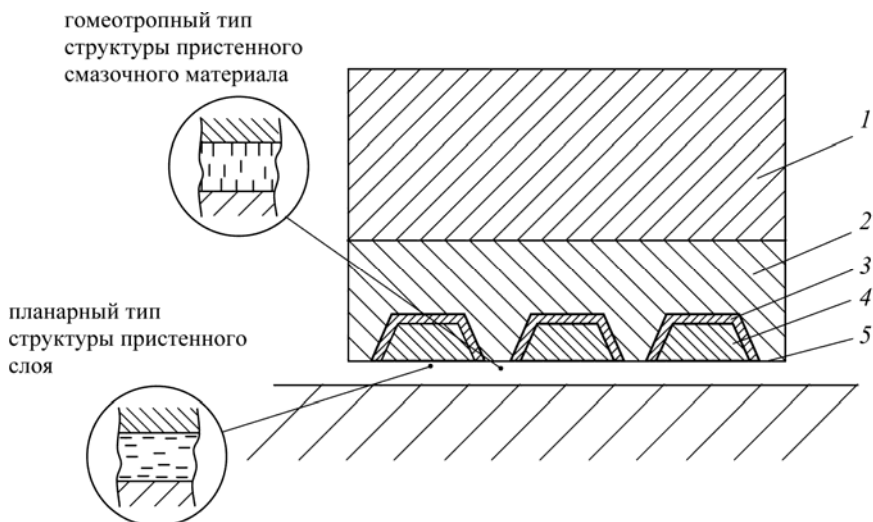


Рис. 4. Вкладыш подшипника скольжения фирмы типа «МИБА»: 1 – сталь; 2 – алюминий; 3 – никель; 4 – антифрикционный сплав; 5 – приработочный слой

Соотношение площадей чередующихся рабочих поверхностей — около 75% оловянно-свинцового сплава, 25% алюминия и 5% — никелевые перемычки между ними.

Результаты наблюдений за износом вкладышей подшипников судовых малооборотных двигателей показали следующее:

1. В зону трения попадают частицы различные по природе происхождения, которые условно можно разделить по их твердости на частицы с твердостью больше чем твердость антифрикционного слоя и соответственно – меньшей.

Поведение этих частиц в зоне трения следующее.

Мягкие частицы, если их размеры больше чем $2R_z$, деформируются сжатием при входе в зону трения и далее, за счет сил адгезии удерживаются, как правило, на поверхности вкладыша в этой же зоне на расстоянии порядка 20 мкм, в противном случае они прилипают к валу и проходят через зону трения, вызывая поверхностную деформацию антифрикционного слоя, и имеют вид правильной матовой полосы проходящей через всю зону трения вкладыша.

Размер этой полосы вдоль практически постоянен, что указывает на то, что в зазоре присутствует пленка величина расклинивающего

давления которой уравнивает нагрузку на подшипник. Величина давления в пленке имеет величину не зависящую от протяженности ее длины. Этот результат выходит за рамки известного предположения, высказываемого различными авторами о том, что давление в пленке должно подчиняться или быть близким к закону герцевского напряжения.

Мягкие частицы размера менее $2R_z$ удерживаются силами поверхностного натяжения и способствуют уменьшению силы трения до той поры пока этими частицами не будет заполнен объем между гребнями шероховатости далее эти частицы могут агрегатировать и вызывать деформацию материала подшипника при проходе через зону трения. Такие частицы, попадая в масло, не задерживаются фильтрами и находятся в масле во взвешенном состоянии

Твердые частицы, если их размеры больше чем $2R_z$, попадая в зону трения вызывают процесс микрорезания и являются основным источником изнашивания подшипника.

На твердых частицах размера менее $2R_z$ происходит адгезия продуктов разложения масла и далее они ведут себя как мягкие частицы «большого размера».

В крейцкопфном подшипнике с вкладышем, приведенном на рис. 4, возможность задиров по всей поверхности практически исключается, так как попадающие с маслом твердые включения легко вдавливаются в мягкий слой мягких областей и в них локализуются. Параллельная чередующаяся структура и наличие никелевых дамб ограничивает распространение аварийного износа вдоль оси (поперек канавок).

При этом сплавы подшипника обладают значительно большей коррозионной стойкостью в случае возникновения процессов коррозии и кавитации.

При эксплуатации состояние подшипников оценивают чисто визуально без применения измерительных средств. Так, если соотношение площадей изношенной и неизношенной превышает $\frac{1}{2}$ то, такой подшипник в ближайший срок его освидетельствования потребует замены. Появление трещин и выкрашивание отдельных канавок, если они не захватывают больших площадей, не являются критичными.

Подшипники имеющие рабочий слой, приведенные на рис. 4 имеют по сравнению с подшипниками трехслойными рис. 3, значительно больший ресурс. На рис. 5 приведены результаты эксплуата-

ционных испытаний трехслойных подшипников и подшипников с вкладышами фирмы «МИБА» на судовых двигателях серии. МС. Следует отметить, что одновременно с заменой вкладышей в масляной системе были установлены самоочищающиеся фильтры с глубиной очистки менее 10 мкм. Применение таких фильтров позволяет в рабочем слое вкладыша использовать материалы большей твердости.

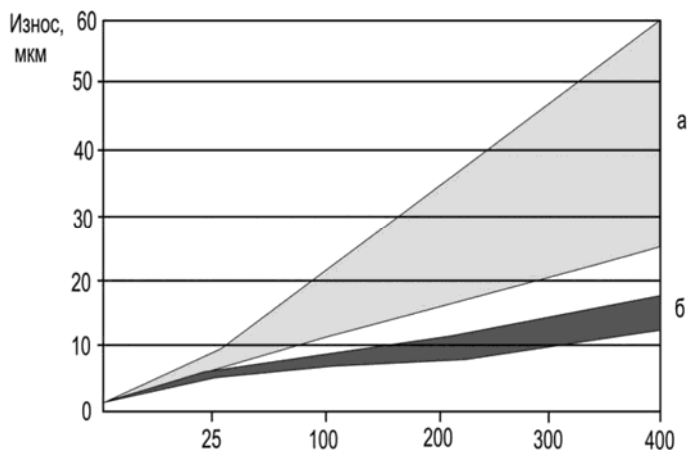


Рис. 5. Зависимость износа вкладыша подшипника от времени эксплуатации

В дальнейшем развитии крещкопфных подшипников отмечается уже применение более твердых металлов в сочетании с нанотехнологиями, которые позволяют улучшить физические и повышать эксплуатационные характеристики подшипников в несколько раз при относительно невысоких технологических затратах.

На рис. 6 приведен вкладыш крещкопфного подшипника изготовленного с применением нанотехнологии.

Основной особенностью данного подшипника является вакуумная ионная имплантация металлов алюминия и серебра (см. рис. 6) в стальной вкладыш [1, 2]. Вкладыш данной конструкции выполняется из более твердого материала (конструкционной стали) и как вкладыш фирмы «МИБА» имеет чередующиеся параллельные области двух типов на рабочей поверхности. Каждая из рабочих областей шириной 150 – 300 мкм получена путем в имплантирования в вакууме серебра и алюминия в рабочий слой вкладыша. Область, в которую имплантировано в вакууме серебро позволяет в пристенном смазочном слое получить планарную структуру смазочного слоя, а

область в которую имплантирован в вакууме алюминий позволяет в пристенном смазочном слое получить гомеотропную структуру смазочного слоя. Применение такой технологии позволяет управлять триботехническими характеристиками подшипника. Испытания имплантированных подшипников показали что они имеют на 5 – 10% меньшие потери на трение и до 50% повышенный ресурс. При этом отмечается снижение боковой утечки подшипника и снижение шумности его работы.

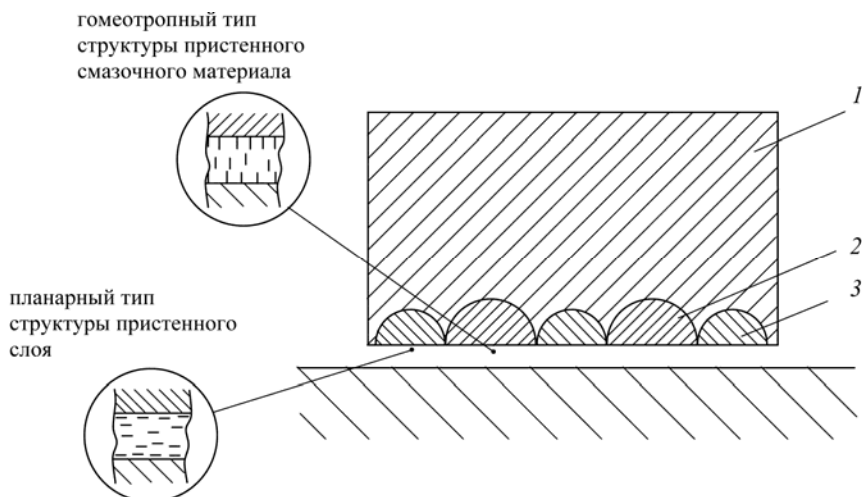


Рис. 6. Вкладыш подшипника скольжения, в рабочую поверхность которого имплантированы атомы алюминия и серебра: 1 – сталь; 2 – область, в которую имплантирован алюминий; 3 – область, в которую имплантировано серебро

Выводы.

Проведенные научно – исследовательские разработки по созданию крепйцкопфных подшипников нового поколения показали, что газодинамические и подшипники с электромагнитным подвесом позволяют без замены проработать 150 – 250 тыс. часов т.е в течение всего жизненного цикла судового двигателя внутреннего сгорания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ионная имплантация в полупроводники и другие материалы. Сб. статей. – М.: Мир, 1980. – 330 с.
2. Быковский Ю. Л., Неволин В. Н., Фоминский В. Ю. Ионная и лазерная имплантация металлических материалов. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 240 с.

3. Ханмамедов С.А., Заблоцкий Ю.В. Поповский Ю.М. Связь ориентационной упорядоченности в пристенных слоях со "смазочной способностью" // Вопросы физики формообразования и фазовых превращений. – Калинин: КГУ, 1989. С. 49 – 57.
4. Поповский Ю.М., Ханмамедов С.А., Сагин С.В. Влияние ориентационной упорядоченности в граничных смазочных слоях на триботехнические характеристики узлов трения // Судовая энергетика: научн.-техн. сб. – 1994. – Одесса: ОГМА. – 3. – С 26 – 27.

УДК 621.431.74 – 185.3

Добровольский В.В., Ханмамедов С.А.
ОНМА

ПОДГОТОВКА ВЯЗКИХ ТОПЛИВ СУДОВЫХ МАЛОБОРОТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В настоящее время одной из актуальных проблем для мирового судоходства является организация эксплуатации судовых энергетических установок на топливах, которые соответствуют требованиям ИМО. В настоящее время вступают в силу требования, которые ограничивают содержание серы в топливе.

Решениями ИМО были приняты документы, в которых указывается, что номинирование реологических характеристик топлива возлагается на судовладельцев, а Правило 18 Приложения VI возлагает определенную ответственность и на поставщиков топлива.

Среди принятых документов, которыми регламентируется характеристики топлив, является Директива Европейского Парламента 2005/33/ЕС по ограничению содержания серы в морском топливе

Эта Директива вводит следующие ограничения:

- с 11 августа 2006 года максимальное содержание серы в топливе, используемом в Балтийском море, не должно превышать 1,5% (так же, как и по Приложению VI к МАРПОЛ). Евросоюз (ЕС) обращает внимание на то, что после 11 августа 2006 года члены ЕС будут требовать строгого соблюдения требований Приложения VI к МАРПОЛ.
- с 11 августа 2006 года максимальное содержание серы в топливе, используемом пассажирскими судами на регулярных рейсах в порты или из портов ЕС, когда они находятся в территориальных водах Евросоюза, особых экономических зонах и районах контроля загрязнений, включая Северное море и Английский канал, не должно превышать 1,5%.
- с 11 августа 2006 года максимальное содержание серы 0,2% применимо только к используемому на территории ЕС морскому газойлю, вязкость и плотность которого попадает в пределы, установленные для марок DMX и DMA по стандарту ISO 8217:2005. Это требование будет действовать до 31 декабря 2007 года.
- с 1 января 2008 года до 31 декабря 2009 года максимальное содержание серы 0,1 % применимо к используемому на терри-

тории ЕС морскому газойлю, вязкость и плотность которого попадает в пределы, установленные для марок DMX и DMA стандартом ISO 8217:2005.

- максимальное содержание серы в морском дизельном топливе марок DMB и DMC, продаваемом на рынке стран-членов ЕС после 11 августа 2006 года, не должно превышать 1,5%. Смысл этого требования состоит в том, чтобы позволить использовать морское дизельное топливо в районах контроля выбросов SOx, если тяжелого малосернистого топлива не хватает.
- с 1 января 2010 года перестало действовать требование к максимальному уровню серы в морском газойле (марки DMA и DMX). Максимальное содержание серы в продаваемом на рынке стран ЕС морском газойле не должно превышать 0,1%. Содержание серы во всех сортах морского топлива, используемого судами у причалов портов ЕС и судами внутреннего плавания, не должно превышать 0,1 %>. Это относится к любому топливу, используемому в главных и вспомогательных двигателях и котлах. Это требование не распространяется на суда, стоящие у причала в соответствии с опубликованным расписанием менее двух часов, и суда, остановившие все двигатели и использующие береговое питание.

Практические последствия вступления в силу Директивы Европейского парламента 2005/33/ЕС:

- портнадзор (Port State Control) в странах Евросоюза включил Приложение VI к МАРПОЛ и Директиву Евросоюза ЕС 2005/33/ЕС в перечень судовых проверок, что привело к постепенному отказу при плавании в Европе содержания серы в топливе.
- судовладельцы, использующие морское дизельное топливо перешли на марки малосернистых топлив указанных в бункерных расписках и коммерческой документации (например, DMB или DMC по ISO 8217:2005).
- судовладельцы пассажирских судов, работающие на регулярных рейсах в портах ЕС, перешли к настоящему времени в пределах Евросоюза топливо с содержанием серы не более 1,5%.

Однако среди судовладельцев сложилось не совсем правильное представление о том, что после 1 января 2010 года максимальное

содержание серы в топливе, используемом в портах ЕС, хотя и не должно превышать 0,1%, то это не обозначает, что вязкость топлива при этом будет низкой. Так нефтеперерабатывающая промышленность перестраивает свое производство на выпуск сортов топлив с низким содержанием серы при его вязкости 180 сСт и выше.

Топлива для дизелей, соответствующие этим требованиям, получают из сырой нефти, которая перерабатывается в установках каталитического крекинга, висбрекинга и термического крекинга. При рассмотрении мирового рынка производства тяжелых топлив наблюдается непрерывный рост доли тяжелых топлив, получаемых из остаточных продуктов вторичных процессов. К сожалению, качество полученных тяжелых топлив ухудшается в силу того, что остатки вторичных процессов являются результатом многократной обработки нефти, а также благодаря чрезвычайно жестким условиям протекания процессов крекинга и висбрекинга. Остаточный продукт, который используется в современных дизелях, имеет вязкость более 180 мм²/с. В нем присутствуют тяжелые углеводороды со сложной структурой, непредельные углеводороды, склонные к полимеризации и образованию асфальтосмолистых соединений, а также сера, количественное содержание которой ограничено и составляет ~ 0,1-0,2 %.

Цель работы – определить величину потребления энергии системой топливоподготовки при работе двигателя на топливах соответствующих вышеизложенным требованиям.

Топливная система двигателя, рекомендованная СИМАС и установленная на большинстве судов, приведена на рис. 1. Ее конфигурация, в ближайшее время, будет оставаться такой же и в ней, будет осуществляться подготовка к сжиганию в двигателе новых сортов топлив.

Основные процессы, которые в ней протекают: отстой; фильтрация; сепарация; нагрев; распыливание топлива; дозирование подачи и синхронизация с движением поршня.

В настоящее время при эксплуатации этой схемы нет общепринятой концепции номинирования параметров работы ее элементов. Документы, регламентирующие подготовку топлива на судне, обычно состоят из инструкций завода строителя двигателя, изготовителя элементов топливной системы (насосов, фильтров, подогревателей), анализов топлива, а также рекомендаций по поддержанию температуры топлива в танках и перед ТНВД. Всего этого не достаточно для

определения затрат энергии системой топливо подготовки тяжелых высоковязких топлив. Поэтому при создании методики расчета затрат энергии системой топливо подготовки, необходимо провести анализ процессов протекающих во всех ее элементах.

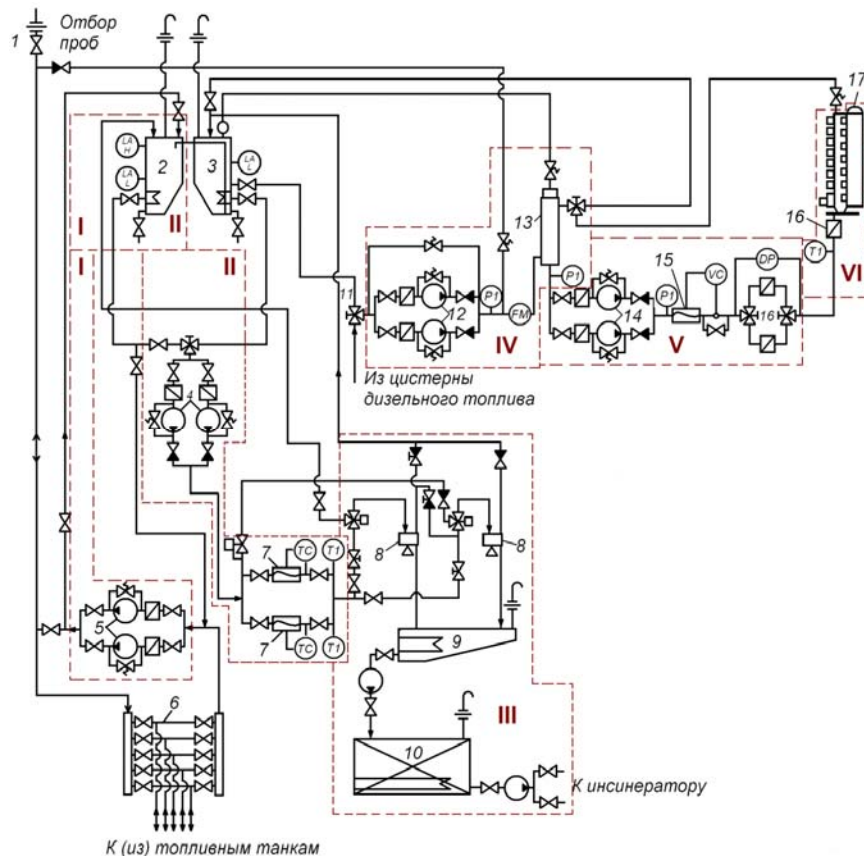


Рис. 1. Схема топливной системы двигателя, рекомендованная СИМАС: LA — реле уровня (Н — верхнего, L — нижнего; TS — терморегулятор; T1 — термодатчик; P1 — датчик давления; FM — расходомер; VC — вискозиметр

Топливную систему, нами предлагается, представить как шесть последовательно включенных, блоков соединенных короткими трубопроводами, каждый из которых содержит активные элементы позволяющие осуществлять управление процессами топливоподготовки.

Таким образом, процессы, протекающие в каждом из блоков, могут быть описаны известными физическими уравнениями, отобра-

жающими процессы протекающих в нем. Рассмотрим эти уравнения. Это, прежде всего уравнение неразрывности (сплошности) потока

$$Q = V_1 \sigma_1 = V_i \sigma_i = const, \quad (1)$$

где Q — объемный расход топлива, V_i — скорость движения топлива в i элементе блока, σ_i — сечение трубопровода в i элементе блока, m^2 .

Уравнение Бернулли

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \alpha \frac{V_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \alpha \frac{V_2^2}{2g} + h_f + \sum h_w, \quad (2)$$

где γ — удельный вес топлива, p_1, p_2 — давление топлива в сечении трубопровода 1 и 2, z_1, z_2 — геометрическая высота всасывания в сечении трубопровода 1 и 2, м, V_1, V_2 — средняя скорость топлива в сечении трубопровода 1 и 2, м/с, α — коэффициент кинетической энергии, g — ускорение свободного падения, h_w — общие потери напора в гидравлической системе, ν — кинематическая вязкость топлива, T — температура топлива h_f — коэффициент Кориолиса, который определяется по известной зависимости

$$h_f = \frac{64\nu}{V} \frac{l}{d^2} \frac{V^2}{2g}.$$

Первый закон термодинамики, определяющий количество тепла подведенного к топливу в рассматриваемом блоке,

$$W_i = c_i m_i (\Delta T_i), \quad i = 1, \dots, 6, \quad (3)$$

где W_i — количество тепла подведенного к топливу в i блоке; c — удельная теплоемкость топлива, ΔT — разность температур топлива.

Закон Джоуля, определяющий количество электрической энергии, подведенное к элементам блока:

$$W_{\Sigma i} = U_i I_i \cos \varphi, \quad i = 1, 6, \quad (4)$$

где W_i — количество электрической энергии, подведенное к элементам i блока, U — напряжение, I — сила тока, $\cos \varphi$ — угол сдвига между током и напряжением электроэнергии, потребляемой элементами блока.

Тогда суммарные энергетические затраты на подготовку топлива составят

$$W_{\Sigma} = W_{\Sigma i} + W_{mi}. \quad (5)$$

Решая уравнения (1) – (4) относительно T, p, ν , находим зависимости изменения параметров характеристик топлива по длине трубопровода, изображенные на рис. 2.

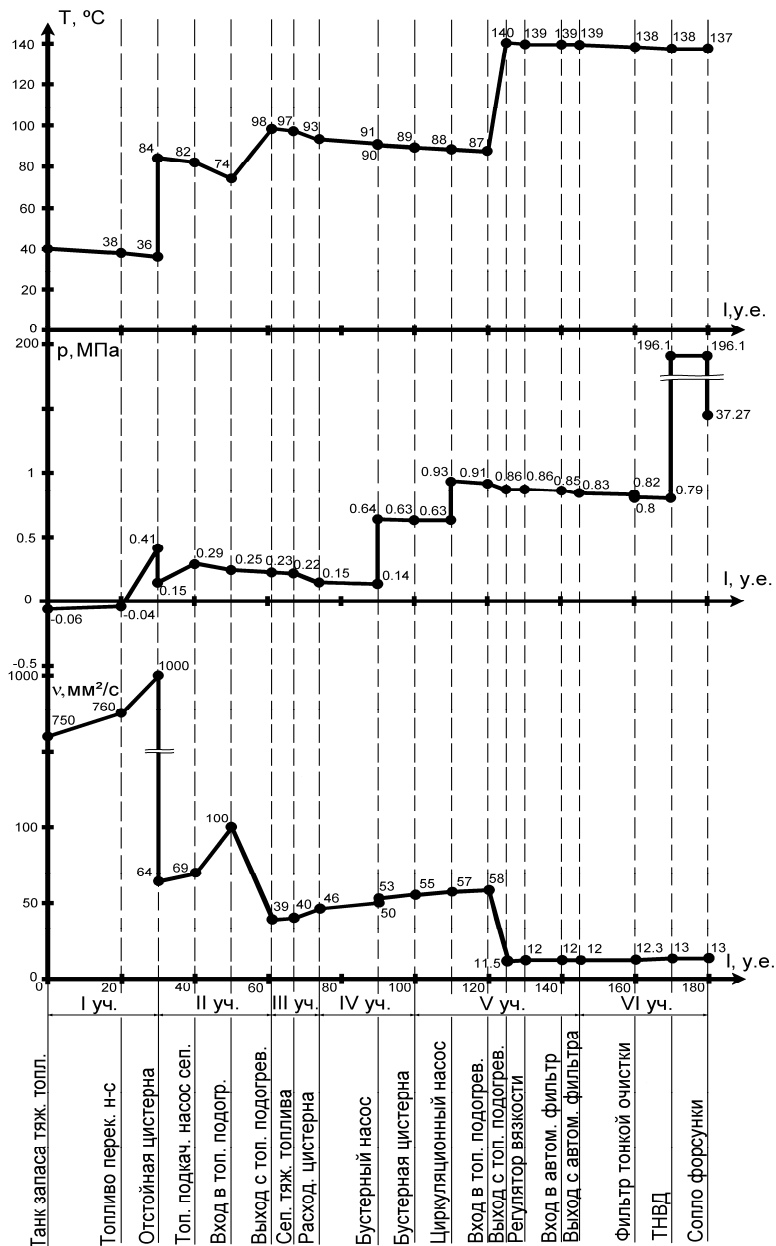


Рис. 2. Зависимости изменения основных параметров топлива по длине трубопровода

Однако в уравнения (1) – (3) входят зависимости вязкости топлива, находящегося в элементах топливной системы и удельной теплоемкости топлива от температуры.

В настоящее время отсутствует достоверная информация зависимостей теплоемкости и вязкости тяжелых топлив (вязкостью более $180 \text{ мм}^2/\text{с}$) от температуры в диапазоне $10\text{-}140^\circ \text{С}$. Поэтому, нами для исследования этих зависимостей были выполнены дополнительные исследования и прежде всего для того чтобы установить реологическую природу тяжелых топлив. Анализ известных источников [1] показал, что реологические свойства топлив могут быть описаны в рамках жидкокристаллического состояния [2, 3].

Измерения вязкости тяжелых топлив и их удельной теплоемкости в диапазоне температур от $10 - 140^\circ \text{С}$ поскольку данные величины должны быть использованы при решении уравнений (1) – (4). Так было установлено, что зависимость вязкости топлив от температуры немонотонна и обычно имеют два перелома. Первый перелом наблюдается при температуре $\sim 50^\circ \text{С}$, второй после, 70°С причем его положение зависит от вязкости топлива и месторождения нефти, из которой было получено топливо. С повышением вязкости топлива это перелом смещается в сторону высоких температур.

Вязкость топлива измерялась капиллярным вискозиметром [4], а удельная теплоемкость методом дифференциальной сканирующей калориметрии [5] в диапазоне температур $20\text{-}160^\circ \text{С}$. Результаты измерений теплоемкости и вязкости тяжелых топлив (вязкостью более $180 \text{ м}^2/\text{с}$) от температуры в диапазоне $20\text{-}160^\circ \text{С}$ приведены на рис. 4.

Полученные зависимости удельной теплоемкости и вязкости в диапазоне температур $20\text{-}160^\circ \text{С}$, позволили используя уравнения (1) – (5) рассчитать величину энергетических затрат на подготовку топлива. На рис. 4 приведены результаты расчета энергетических затрат на подготовку топлив различной вязкости по схеме СИМАС.

Испытания системы топливоподготовки были проведены на судне СМА CGM Yantian, дедвейтом 50855 т, на котором был установлен двигатель HSD MAN B&W K90MC-C, мощностью 36540 кВт, при его загрузке на 80% и секундном расходе топлива $1,435 \text{ кг/с}$.

В результате этих испытаний было установлено (рис. 4), что энергетические затраты на подготовку топлива совпадают с расчетными значениями найденными в результате решения системы уравнений (1).

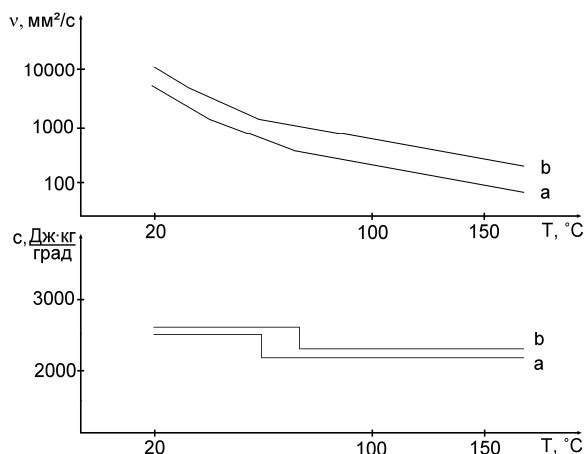


Рис. 3. Изменение теплоемкости и вязкости тяжелых топлив от температуры: а — топливо вязкостью $360 \text{ мм}^2/\text{с}$, б — топливо вязкостью $700 \text{ мм}^2/\text{с}$.

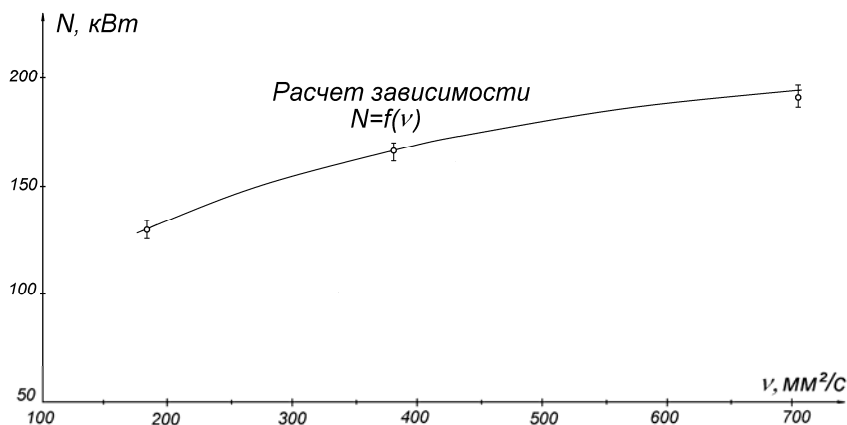


Рис. 4. Зависимость мощности, потребляемой топливной системой, от вязкости топлива двигателя HSD MAN B&W K90MC-C

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы и обобщения:

1. Измерение энергетических затрат на подготовку топлив вязкостью более $180 \text{ мм}^2/\text{с}$ показывает, что величина затрат составляет $1,5 - 2\%$ от мощности главного двигателя.
2. Предложенная модель системы топливоподготовки и система уравнений (5), описывающая основные процессы, протекающие в

топливной системе, позволяет определить энергетические затраты на подготовку топлива в зависимости от мощности двигателя с приемлемой для инженерной практики относительной погрешностью 3-5%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радченко О.П., Масленников А.А. Исследование реологии судового топлива // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2008. – Вып. 21. – Одесса: ОНМА. – С. 4 – 9.
2. Кардаш В.П., Ханмамедов С.А. Повышение эффективности эксплуатации судовых устройств // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2007. – Вып. 18 – Одесса: ОНМА. – С. 70 – 77.
3. Капустин А.П., Капустина О.А. Акустика жидких кристаллов // – М.: Наука, 1986. – 248 с.
4. Фукс Г.И. Вязкость и пластичность нефтепродуктов. – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. – 328 с.
5. Емелина А.П. Дифференциальная сканирующая калориметрия // Лаборатория химического факультета, МГУ. – 2009. – 42 с.

УДК 629.12

Завьялов А.А., Небеснов В.В.
ОНМА

РЕЖИМЫ РАБОТЫ ПРОПУЛЬСИВНОЙ УСТАНОВКИ СУДНА В УСЛОВИЯХ МЕЛКОВОДЬЯ

Рассматривая особенности режимов работы пропульсивной установки судна в условиях мелководья, следует дать обоснованное определение минимальных глубин, при которых, как показывают теоретические и экспериментальные исследования, начинается интенсивное увеличение сопротивления среды движению корпуса судна. Сопротивление корпуса судна при движении складывается из двух составляющих: сопротивления вязкостного трения корпуса о воду и волнового сопротивления. Причем вязкостное трение в основном зависит от величины скорости обтекания воды поверхности корпуса, и обычно ее значение для транспортных морских судов описывается квадратичной параболой зависимости от скорости хода судна.

Движение судна сопровождается образованием волн, на что затрачивается определенная энергия и, соответственно, это напрямую сказывается на увеличении сопротивления корпуса судна.

В условиях плавания судна с ограниченными глубинами и шириной судового хода характер и величина сопротивления движению судна значительно изменяются. При движении судна на мелководье скорость обтекания водой (встречный поток) поверхности корпуса возрастает и, соответственно, увеличивается величина сопротивления от вязкостного трения. Составляющая сопротивления от волнообразования также увеличивается.

Теоретические и экспериментальные исследования показывают [1], что на мелководье явление повышения сопротивления корпуса как от увеличения скорости встречного потока воды, так и волнообразования, зависит от числа Фруда по глубине, выраженного через относительную скорость движения судна

$$Fr = \frac{0,515 \cdot V}{\sqrt{gH}},$$

где V — скорость движения судна, узлы; g — ускорение силы тяжести, m/c^2 ; H — глубина фарватера, м.

При увеличении скорости движения судна, пока относительная скорость V не превышает значения $V = (0,35 \div 0,45) \sqrt{gH}$, составля-

ющие сопротивления вязкостного трения и волнообразования повышаются, так же как и при движении на глубокой воде.

Для транспортных морских судов при этом обычно соблюдается квадратичная зависимость величины сопротивления от скорости хода судна.

В дальнейшем в условиях ограниченного по глубине судового хода при увеличении относительной скорости больше этой величины начинает резко возрастать составляющая сопротивления от волнообразования. Это происходит вследствие преобразования системы движения сопутствующих корабельных волн, в результате чего на волнообразование вовлекаются дополнительные массы жидкости, и волновое сопротивление значительно увеличивается по сравнению с движением на глубокой воде с той же скоростью. При этом характер кривой зависимости величины сопротивления от скорости хода обнаруживает различную степенную закономерность при разных скоростях хода судна. На рис. 1 показан график зависимости сопротивления воды движению судна R от относительной скорости V и глубины под килем судна H [2].

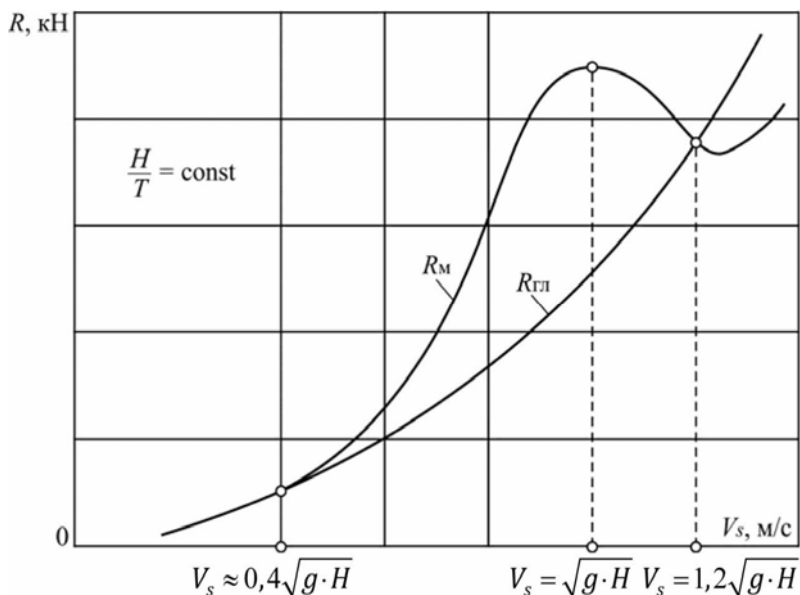


Рис. 1. Зависимость сопротивления воды движению судна от скорости хода на глубокой воде и при мелководье: R_M — сопротивления воды движению судна на глубокой воде, $R_{ГЛ}$ — сопротивления воды движению судна при мелководье

Наибольшая величина сопротивления движению судна на мелководье наблюдается при значении относительной скорости $V = \sqrt{gH}$ (критическая скорость на мелководье), т.е. $Fr = 1$. При этом система сопровождающих судно волн вырождается в одну большую поперечную волну, перемещающуюся перед носом судна. Аналогичная одиночная поперечная волна наблюдается и в кормовой оконечности судна (рис. 2). Одновременно с трансформацией волнообразования возникает дифферент судна на корму и возрастает его средняя осадка [3].

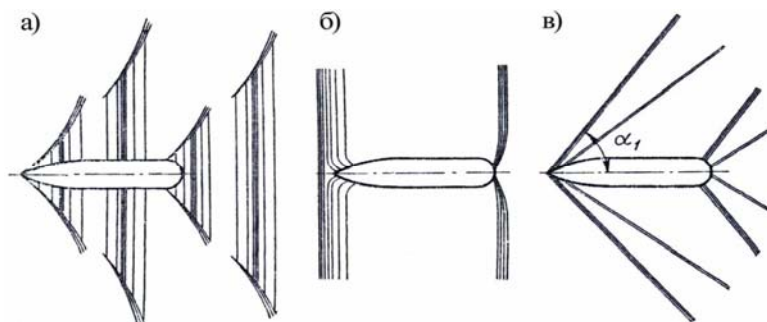


Рис. 2. Картина волнообразования при движении судна на мелководье: а — при $Fr_H < 1$; б — при $Fr_H \approx 1$; в — при $Fr_H > 1$.

Сопротивление движению судна на мелководье при сверхкритических скоростях уменьшается и примерно при $V = 1,2\sqrt{gH}$ становится равным сопротивлению на глубокой воде. При дальнейшем увеличении скорости сопротивление на мелководье становится меньше, чем на глубокой воде, вследствие уменьшения и исчезновения сопутствующих поперечных волн — основной причины повышения волнового сопротивления [2].

Рассматривая вопросы влияния ограниченного по глубине судового хода на увеличение сопротивления движению судна, следует, по-видимому, обратить внимание на понятие, что такое мелководье, т.е. определить минимальные глубины, при которых начинает влиять глубина под килем H на увеличение сопротивления движению судна. Как показано на рис.1, характер изменения сопротивлению движению судна на мелководье определяется величиной числа Фруда по глубине H , $Fr = V / \sqrt{gH}$. При значениях относительной скорости $V > 0,4\sqrt{gH}$ начинается резкое увеличение сопротивления дви-

жению судна, а менее этой величины сопротивление практически не отличается от такового на глубокой воде. Взяв эту величину относительной скорости V в узлах за исходную для определения минимальной глубины H под килем, при которой начинается влияние мелководья, получим следующее выражение

$$0,515V = 0,4\sqrt{gH}; \quad H = 0,67V^2/g.$$

Расчеты по определению, согласно этой формуле, минимальных глубин под килем в зависимости от скорости судна, при которых отсутствует влияние мелководья, приведены в таблице 1. На рис. 3 изображен график, показывающий границу между глубокой водой и мелководьем в зависимости от скорости движения судна.

Таблица 1. Минимальные глубины под килем, при которых отсутствует влияние мелководья, в зависимости от скорости судна

V , уз	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
H , м	17	21	25	29	33	38	43	49	55	61	68
V , уз	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
H , м	75	82	89	98	106	115	124	133	142	153	

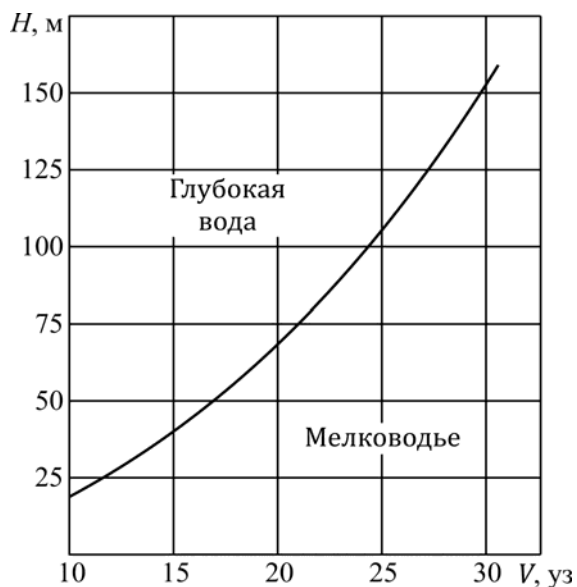


Рис. 3. График, показывающий границу между глубокой водой и мелководьем, в зависимости от скорости хода судна

В связи с тем, что в условиях плавания с ограниченным по глубине судовым ходом сопротивление движению корпуса судна значительно увеличивается, соответственно происходит утяжеление винтовой характеристики главного двигателя.

В качестве примера влияния мелководья на режим работы главного двигателя можно привести зависимость мощности главного двигателя N_e и скорости хода V от относительной глубины H/T , где T — осадка судна (рис. 4) [4].

По мере увеличения скорости хода влияние уменьшения относительной глубины H/T на величину мощности главного двигателя N_e существенно возрастает. Так, при скорости $V = 20$ уз. уменьшение относительной глубины от $H/T = 5,5$ до $H/T = 2,5$ приводит к увеличению требуемой мощности главного двигателя N_e в 1,75 раза. Для предотвращения возможной механической и тепловой перегрузки главного двигателя необходимо понизить частоту вращения с $n_{гд}$ до n_m не переходя ограничительных характеристик по тепловой и механической напряженности (рис. 5).

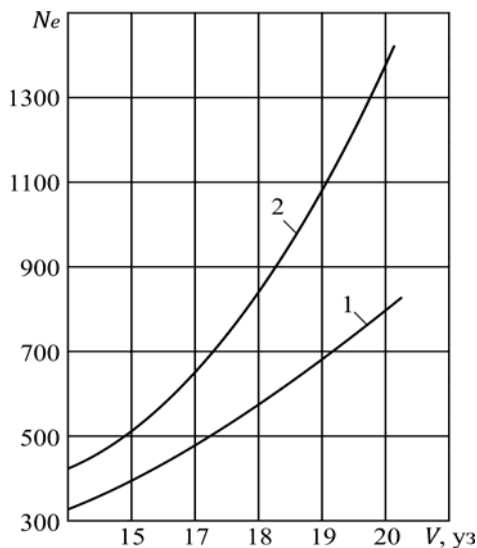


Рис. 4. Зависимость мощности главного двигателя N_e от скорости судна V при значении относительной глубины $H/T = 5,5$ (кривая 1) и $H/T = 2,5$ (кривая 2)

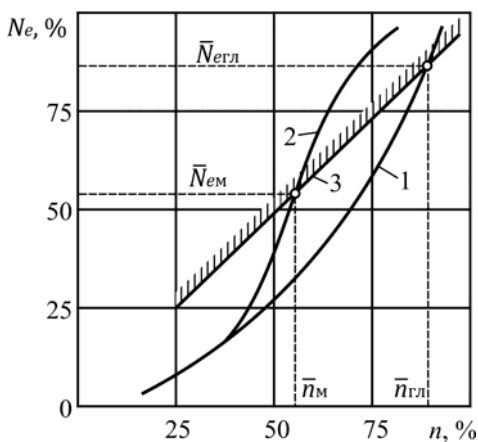


Рис. 5. Взаимодействие ГВ с ГД на мелководье: 1 — винтовая характеристика на глубокой воде; 2 — винтовая характеристика на мелководье; 3 — ограничительная характеристика

ВЫВОДЫ

Установлена формула для определения минимальных глубин под килем в зависимости от скорости судна, при которых отсутствует влияние мелководья.

Представлен график, показывающий границу между глубокой водой и мелководьем, в зависимости от скорости судна.

Приведена диаграмма, для определения критической частоты вращения исключающей возможную механическую и тепловую перегрузки главного двигателя при движении судна на мелководье.

Таким образом, сопротивление движению корпуса судна в условиях мелкого фарватера может привести к значительному "утяжелению" гребного винта, вследствие чего это неизбежно повлияет на величину нагрузки главного двигателя. для недопущения возможности перегрузки главного двигателя в этих условиях плавания необходимо установить режим его работы таким образом, чтобы избежать как механической, так и тепловой напряженности в деталях двигателя, используя для этой цели соответствующие ограничительные характеристики, рекомендованные дизелестроительным заводом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ходкость и управляемость судов. / Под ред. Б.Г. Павленко. – М.: Транспорт, 1991. – 347 с.
2. Взаимодействие элементов судового пропульсивного комплекса. Уч. пос. / Под ред. В.П. Мануйлова. – М.: ЦРИА "Морфлот", 1982. – 48 с.
3. Анфимов В.Н. и др. Судовые тяговые расчеты. – М.: Транспорт. 1970. – 224с.
4. Брук М.А., Рихтер А.А. Режимы работы судовых дизелей. – Л.: Судпромгиз, 1963. – 482 с.

УДК 629.12.06:628.84

Цюпко Ю.М., Абудура Салам
ОНМА

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ СУДОВЫХ СИСТЕМ КОМФОРТНОГО КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ФИЗИОЛОГИИ ЧЕЛОВЕКА

В 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 новой идеологии лежит принцип обеспечения индивидуального контроля тепловой среды и принцип подачи в зону дыхания конкретного потребителя «персонализированного» свежего воздуха».

Любое воздействие среды на организм вызывает, прежде всего, стресс-реакцию, которая выражается в увеличении уровня функционирования определенных систем организма (например, при физической нагрузке систем кровообращения и дыхания), одновременно включаются регуляторные системы, которые мобилизуют функциональные резервы. Важно отметить способность центральных механизмов регуляции обеспечивать реакции компенсации, т.е. при недостатке функциональных резервов одной из систем активизировать расход функциональных резервов другой, связанной с ней системы, что позволяет получить необходимый конечный результат различными путями. В этом плане полезным является представление об интеграле, объясняющее многопараметрический характер гомеостаза. Это обусловлено функциональным различным резервом каждой из систем, а также процессами адаптации и компенсации, протекающими при непосредственном участии центральных механизмов регуляции организма человека.

В работе [2] приведена разработанная математическая модель человека (1)

$$\begin{cases} c_{\text{я}} d(m_{\text{я}} t_{\text{я}}) = (M_{\text{я}} - Q_{\text{д}} - Q_{\text{об}}) d\tau \\ c_{\text{к}} d(m_{\text{к}} t_{\text{об}}) = (Q_{\text{об}} + M_{\text{об}} - Q_{\text{об}}^{\text{в}} - Q_{\text{об}}^{\text{од}}) d\tau \\ c_{\text{о}} d(m_{\text{о}} t_{\text{од}}) = (Q_{\text{од}}^{\text{од}} - Q_{\text{од}}^{\text{п}} - Q_{\text{од}}^{\text{н}}) d\tau \end{cases} \quad (1)$$

Температура тела человека поддерживается на относительно постоянном уровне, несмотря на колебания температуры окружающей среды. Это постоянство температуры тела носит название изотермической.

Температура органов и тканей, как и всего организма в целом, зависит от интенсивности образования тепла и величины тепловых потерь. Теплообразование происходит вследствие непрерывно совершающихся экзотермических реакций. Эти реакции протекают во всех органах и тканях, но неодинаково интенсивно.

В теле человека принято различать «ядро», температура которого сохраняется достаточно постоянной, и «оболочку», температура, которой существенно колеблется в зависимости от температуры внешней среды

При этом область «ядра» сильно уменьшается при низкой внешней температуре и, наоборот, увеличивается при относительно высокой температуре окружающей среды. Поэтому справедливо говорить о том, что изотермия присуща главным образом внутренним органам и головному мозгу. Поверхность же тела и конечности, температура которых может изменяться в зависимости от температуры окружающей среды, являются в определенной мере пойкилотермными. При этом различные участки поверхности кожи имеют неодинаковую температуру. Обычно относительно выше температура кожи туловища и головы (33-34 °С). Температура конечностей ниже, причем она наиболее низкая в удаленных отделах конечности.

Система уравнений (1) решалась численным методом Рунге - Кутта - Фельберга с регулируемым шагом интегрирования, позволяющим обеспечивать заданную точность решения.

Существующие решения по проектированию систем управления кондиционированием воздуха среды обитания[4,5], как правило, ограничиваются на уровне построения функциональных схем и рекомендаций по выбору типа регуляторов. Системы управления температурой и влажностью рассматриваются без учета их взаимовлияния; не учитывается влияние системы управления расходом воздуха на температуру и влажность; не в полной мере учитываются преимущества регулируемых асинхронных электроприводов для реализации системы расхода воздуха; недостаточно исследованы вопросы построения математической модели системы управления кондиционированием, что является необходимым условием для разработки и реализации современных способов управления.

Атмосфера обитаемого помещения, как объекта регулирования температуры и влагосодержания, является объектом с распределенными параметрами. Учитывая то, что управляющие воздействия по температуре и влажности являются сосредоточенными, при условии хорошего перемешивания воздуха в помещении с достаточной для инженерных расчетов точностью рассматривают помещение как объект со сосредоточенными параметрами [1-4, 6]. Исходными являются уравнения теплового и влажностного баланса помещения.

Возмущающее воздействие на самочувствие человека S достигалось путем изменения амплитуды и частоты колебания температуры воздуха поступающего в помещение из системы кондиционирования воздуха (рис. 1).

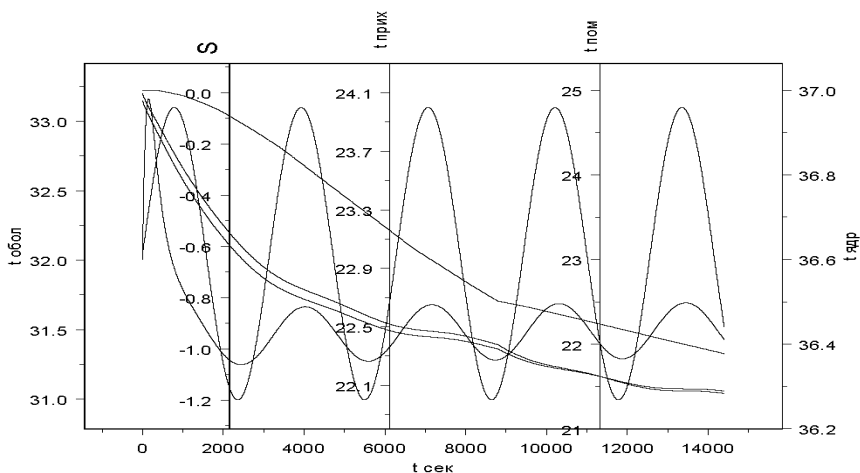


Рис.1. Температура приходящего воздуха 23°C ; амплитуда колебания температуры приходящего воздуха $\Delta T_{\text{PR}} = 1^{\circ}\text{C}$, частота колебания температуры приходящего воздуха $\omega_{\text{TPR}} = .002\text{ 1/c}$.

Таким образом, разработка системы управления параметрами воздушной среды носит комплексный характер, требующий разработки теплотехнических и подсистем управления температурой, влажностью и расходом воздуха с учетом современных энергосберегающих способов управления. Задача усложняется наличием большого количества возможных технологических схем обработки воздуха [7].

Анализ полученных результатов при математическом моделировании и статическими данными приведенные в работах Губернского Ю.Д. [3], Кощева С.В. [4], Кричагина В.И. [5] температуры ядра

$t_{я}$, средней температуры кожи t_k , частоты сердечных сокращений ω_s , мощности внутренних источников тепла организма человека M_T в зависимости от времени для различных параметров внешней среды, показал погрешность, приведенную на рис. 1 и 2, не превышающую 5-7 %.

Постоянство температуры тела у человека может сохраняться лишь при условии равенства теплообразования и тепловые потери всего организма. Это достигается с помощью физиологических механизмов терморегуляции. Терморегуляция проявляется в форме взаимного сочетания процессов теплообразования и теплоотдачи, регулируемых нейроэндокринными механизмами. Терморегуляцию принято разделять на химическую и физическую. Химическая терморегуляция осуществляется путем изменения уровня теплообразования, т. е. усиления или ослабления интенсивности обмена веществ в клетках организма. Физическая терморегуляция осуществляется путем изменения интенсивности отдачи тепла.

Химическая терморегуляция имеет важное значение для поддержания постоянства температуры тела, как в нормальных условиях, так и при изменении температуры окружающей среды. У человека усиление теплообразования вследствие увеличения интенсивности обмена веществ отмечается, в частности, тогда, когда температура окружающей среды становится ниже оптимальной температуры, или зоны комфорта. Для человека в обычной легкой одежде эта зона находится в пределах 18—20°C, а для обнаженного равна 28 °С.

У человека в обычных условиях потеря тепла путем тепло проведения имеет небольшое значение, так как воздух и одежда являются плохими проводниками тепла. Радиация, испарение и конвекция протекают с различной интенсивностью в зависимости от температуры окружающей среды. У человека в состоянии покоя при температуре воздуха около 20 °С и суммарной теплоотдаче, равной 419 кДж (100 ккал) в час, с помощью радиации теряется 66 %, испарения воды — 19 %, конвекции — 15 % от общей потери тепла организмом. При повышении температуры окружающей среды до 35° С теплоотдача с помощью радиации и конвекции становится невозможной, и температура тела поддерживается на постоянном уровне исключительно с помощью испарения воды с поверхности кожи и альвеол легких.

Для того чтобы было ясно значение испарения в теплоотдаче, напомним, что для испарения 1 мл воды необходимо 2,4 кДж

(0,58 ккал). Следовательно, если в условиях основного обмена телом человека отдается с помощью испарения около 1675—2093 кДж (400—500 ккал), то с поверхности тела должно испаряться примерно 700—850 мл воды. Из этого количества 300—350 мл испаряются в легких и 400—500 мл — с поверхности кожи.

Характер отдачи тепла телом изменяется в зависимости от интенсивности обмена веществ. При увеличении теплообразования в результате мышечной работы возрастает значение теплоотдачи, осуществляемой с помощью испарения воды. Так, после тяжелого спортивного соревнования, когда суммарная теплоотдача достигала почти 2512 кДж (600 ккал) в час, было найдено, что 75 % тепла было отдано путем испарения, 12 % — путем радиации и 13 % — посредством конвекции. Одежда уменьшает теплоотдачу. Потере тепла препятствует тот слой неподвижного воздуха, который находится между одеждой и кожей, так как воздух — плохой проводник тепла. Теплоизолирующие свойства одежды тем выше, чем мельче ячеистость ее структуры, содержащая воздух. Этим объясняются хорошие теплоизолирующие свойства шерстяной и меховой одежды. Температура воздуха под одеждой достигает 30 °С. Наоборот, обнаженное тело теряет тепло, так как воздух на его поверхности все время сменяется. Поэтому температура кожи обнаженных частей тела, намного ниже, чем одетых.

Температура кожи, а следовательно, интенсивность теплоизлучения и теплопроводности могут изменяться в результате перераспределения крови в сосудах и при изменении объема циркулирующей крови. На холоде кровеносные сосуды кожи, главным образом артериолы, сужаются: большее количество крови поступает в сосуды брюшной полости, и тем самым ограничивается теплоотдача. Поверхностные слои кожи, получая меньше теплой крови, излучают меньше тепла - теплоотдача уменьшается. При сильном охлаждении кожи, кроме того, происходит открытие артерий вен анастомозов, что уменьшает количество крови, поступающей в капилляры, и тем самым препятствует теплоотдаче.

Человек плохо переносит сравнительно невысокую температуру окружающей среды (32 °С) при влажном воздухе. В совершенно сухом воздухе человек может находиться без заметного перегревания в течение 2—3 ч при температуре 50—55 °С.

Таким образом, постоянство температуры тела поддерживается путем совместного действия, с одной стороны, механизмов, регули-

рующих интенсивность обмена веществ и зависящее от него теплообразование (химическая регуляция тепла), а с другой — механизмов, регулирующих теплоотдачу (физическая регуляция тепла). Реакции регулирования, обеспечивающие сохранение постоянства температуры тела, представляют собой сложные рефлекторные акты, которые возникают в ответ на температурное раздражение рецепторов кожи, кожных и подкожных сосудов, а также самой ЦНС. Эти рецепторы, воспринимающие холод и тепло, названы терморепцепторами. При относительно постоянной температуре окружающей среды от рецепторов в Центральной Нервной Системе (ЦНС) поступают ритмичные импульсы, отражающие их тоническую активность. Частота этих импульсов максимальна для рецепторов холода кожи и кожных сосудов при температуре 20-30° С, а для кожных тепловых рецепторов — при температуре 38-43° С. При резком охлаждении кожи частота пульсации в рецепторах холода возрастает, а при быстром согревании замедляются или прекращаются. На такие же перепады температуры тепловые рецепторы реагируют прямо противоположно. Тепловые и рецепторы холода ЦНС реагируют на изменение температуры крови, поступающих к нервным центрам.

Термическая чувствительность гипоталамуса была показана в экспериментах на не наркотизированных кроликах. Животным в область гипоталамуса вставляли специальные тепловые нагреватели. Оказалось, что повышение температуры на 0,41° С вызывает выраженную тепловую регулирующую реакцию, проявляющуюся в расширении сосудов уха. Такая реакция возникала при температуре окружающей среды 22-27° С. Когда же температуру среды снижали до 17-20° С, то для получения реакции расширения сосудов нагревание гипоталамуса нужно было увеличить на 0,84° С. Таким образом, понижение окружающей температуры, а следовательно, изменение характера температурного воздействия на рецепторы уменьшает тепловую чувствительность гипоталамуса. Участие гипоталамуса в терморегуляции обеспечивает взаимодействие восприятия сигналов об изменении температуры окружающей и внутренней среды.

Именно в гипоталамусе расположены основные центры терморегуляции, которые координируют многочисленные и сложные процессы, обеспечивающие сохранение температуры тела на постоянном уровне. Это доказывается тем, что разрушение гипоталамуса влечет за собой потерю способности регулировать температуру тела и делает животное пойкилотермным, в то время как удаление коры

большого мозга, полосатого тела и зрительных бугров заметно не отражается на процессах теплообразования и теплоотдачи.

Химическая терморегуляция (усиление теплообразования, мышечная дрожь) контролируется хвостовой частью гипоталамуса. Разрушение этого участка мозгового ствола у животных делает их неспособными переносить холод. Охлаждение животного после такой операции не вызывает дрожи и компенсаторного повышения теплообразования.

Физическая терморегуляция (сужение сосудов, потоотделение) контролируется передней частью гипоталамуса. Разрушение данной области — центра теплоотдачи — не лишает животного способности переносить холод, но после операции оно быстро перегревается при высокой температуре окружающей среды (так как поврежден механизм, обеспечивающий физическую терморегуляцию).

Центры теплообразования и центры теплоотдачи находятся в сложных взаимоотношениях и взаимное подавление друг друга. Тепловые регулирующие рефлексы могут осуществляться и спинным мозгом. Охлаждение спинного мозга животного, у которого этот отдел ЦНС отделен от вышележащих отделов перерезкой, вызывает мышечную дрожь и сужение периферических сосудов. Значение спинного мозга в терморегуляции состоит не только в том, что он является проводником сигналов, идущих от периферических рецепторов к головному мозгу, и влияний, поступающих от головного мозга к мышцам, сосудам и потовым железам, но и в том, что в спинном мозге находятся центры некоторых тепловые регулирующие рефлексов, имеющих, правда, несколько ограниченное регулирующее значение. Так, после перерезки ствола мозга ниже гипоталамических центров терморегуляции способность организма усиливать теплообразование и повышать интенсивность окислительных процессов на холоде резко понижается и не обеспечивает постоянной температуры тела. Равным образом после перерезки ствола мозга или отделения спинного мозга от продолговатого резко нарушается и физическая терморегуляция, поэтому при повышении окружающей температуры животное легко перегревается, так как одни спинальные термические регулирующие механизмы не способны обеспечить постоянство температуры тела.

Несмотря на то, что удаление коры большого мозга заметно не отражается на процессах теплообразования и теплоотдачи, неправильно делать вывод, что это образование не влияет на тепловой об-

мен. Эксперименты на животных и наблюдения на людях показали возможность условно-рефлекторных изменений теплопродукции и теплоотдачи, которые осуществляются корой большого мозга.

В осуществлении гипоталамической регуляции температуры тела участвуют железы внутренней секреции, главным образом, щитовидная и надпочечники.

Участие щитовидной железы в терморегуляции доказывается тем, что введение в кровь животного сыворотки крови другого животного, которое длительное время находилось на холоде, вызывает у первого повышение обмена веществ. Такой эффект наблюдается лишь при сохранении у второго животного щитовидной железы. Очевидно, во время пребывания в условиях охлаждения происходит усиленное выделение в кровь гормона щитовидной железы, повышающего обмен веществ и, следовательно, образование тепла.

Участие надпочечников в терморегуляции обусловлено выделением ими в кровь адреналина, который, усиливая окислительные процессы в тканях, в частности в мышцах, повышает теплообразование и суживает кожные сосуды, уменьшая теплоотдачу. Поэтому адреналин способен вызывать повышение температуры тела (выброс адреналина вызывающий гипертермию). Если человек длительное время находится в условиях значительно повышенной или пониженной температуры окружающей среды, то механизмы физической и химической регуляции тепла, благодаря которым в обычных условиях сохраняется постоянство температуры тела, могут оказаться недостаточными: происходит переохлаждение тела - гипотермия, или перегревание - гипертермия.

Гипотермия — состояние, при котором температура тела ниже 35° С. Быстрее всего гипотермия возникает при погружении в холодную воду. В этом случае вначале наблюдается возбуждение симпатической части автономной нервной системы и на уровне рефлексов ограничивается теплоотдача и усиливается теплопродукция. Последнему способствует сокращение мышц — мышечная дрожь. Через некоторое время температура тела все же начинает снижаться. При этом наблюдается состояние, подобное наркозу: исчезновение чувствительности, ослабление реакций на уровне рефлексов, понижение возбудимости нервных центров. Резко понижается интенсивность обмена веществ, замедляется дыхание, уменьшается частота сердечных сокращения, снижается сердечный выброс, понижается артериальное давление (при температуре тела 24-25° С оно может составлять 15-20 % от исходного).

При относительно кратковременных и не чрезмерно интенсивных воздействиях холода на организм изменений теплового баланса и понижения температуры внутренней среды не происходит. В то же время это способствует развитию простудных заболеваний и обострению хронических воспалительных процессов. В этой связи важную роль приобретает закаливание организма. Закаливание достигается повторными воздействиями низкой температуры возрастающей интенсивности. У ослабленных людей закаливание следует начинать с водных процедур нейтральной температуры (32°C) и понижать температуру на 1°C через каждые 2-3 дня. После прекращения тренировки закаливание исчезает, поэтому выполнение режима закаливания должно быть непрерывным. Эффект закаливания проявляется не только в случае водных процедур, но и при воздействии холодного воздуха. При этом закаливание происходит быстрее, если воздействие холода сочетается с активной мышечной деятельностью.

Гипертермия — состояние, при котором температура тела поднимается выше 37°C . Она возникает при продолжительном действии высокой температуры окружающей среды, особенно при влажном воздухе, и, следовательно, небольшом эффективном потоотделении. Гипертермия может возникать и под влиянием некоторых эндогенных факторов, усиливающих в организме теплообразование (тироксин, жирные кислоты и др.). Резкая гипертермия, при которой температура тела достигает $40\text{-}41^{\circ}\text{C}$, сопровождается тяжелым общим состоянием организма и носит название теплового удара.

Различают многие виды адаптации. Физиологической адаптацией называют достижение устойчивого уровня активности организма и его частей, при котором возможна длительная активная деятельность организма, включая трудовую активность в измененных условиях существования (в том числе социальных) и способность воспроизведения здорового потомства. Физиология исследует формирование и механизмы индивидуальной адаптации.

Каждая реакция адаптации имеет некую «стоимость», т. е. цену адаптации, за которую «платит» организм затратой веществ, энергии, различных резервов, в том числе защитных. Истощение этих резервов приводит к фазе исключения адаптации, для которой характерны состояние сдвигов гомеостаза, мобилизация вспомогательных физиологических систем, неэкономная трата энергии.

Если организм возвращается к исходным условиям, то он постепенно утрачивает приобретенную адаптацию, т. е. повторно адапти-

руется к исходным условиям. Повторная адаптация возможна. Если организм вновь окажется в неких условиях, к которым он был адаптирован. При этом в одних случаях способность к повторной адаптации может быть повышена, в других - понижена в зависимости от истощения или тренировок механизмов адаптации. Тренировка механизмов адаптации благоприятна для мобильности и стойкости адаптации. Готовность к адаптации и ее эффективность динамичны и зависят от многих факторов, в числе которых состояние здоровья, рациональное питание, режим сна и бодрствования, труда и отдыха, физическая активность и тренировка, закаливание, адаптирующие лекарственные средства (препараты повышающие адаптацию), воздействие гипоксии.

Описанные фазы неспецифической адаптации характеризуют активность реакций на адаптацию, которые должны быть дополнены еще и адаптивным поведением, целью которых является ускорение адаптации и уменьшение отрицательных влияний факторов на адаптацию.

В развитии большинства адаптации прослеживается два этапа: начальный — «срочная» адаптация, и последующий — «долговременная» адаптация. «Срочная» реакция адаптации развивается сразу с началом действия стрессора на основе готовых физиологических механизмов. Например, увеличение теплопродукции в ответ на воздействие холода или повышение легочной вентиляции при недостатке кислорода во вдыхаемом воздухе и т. д. «Срочная» адаптация мобилизует функциональные резервы и часто в неполной мере обеспечивает эффект адаптации.

«Долговременная» адаптационная реакция развивается постепенно в результате длительного или многократного действия на организм факторов внешней среды. Эта адаптация происходит на основе многократной «срочной» адаптации. В итоге накопления структурных и функциональных изменений организм приобретает новое качество — из неадаптированного превращается в адаптированный. Именно переход от «срочной» адаптации к «долговременной» делает возможной стабильную жизнь организма в новых условиях.

Адаптации значительно отличаются у разных людей скоростью и выраженностью в зависимости от индивидуальных особенностей каждого человека.

Организм как единое целое может существовать только при условии, когда составляющие его органы и ткани функционируют с

такой интенсивностью и в таком объеме, которые обеспечивают адекватное уравнивание со средой обитания. Управление, или регуляция, в живых организмах представляет собой совокупность процессов, обеспечивающих необходимые режимы функционирования, достижение определенных целей или полезных для организма результатов приспособления. Управление возможно при наличии взаимосвязи органов и систем организма. Процессы регуляции охватывают все уровни организации системы: молекула, субклетка, клетка, орган, системный, организм, над организм (популяционный, экологическая система, биосфера). Законы управления в сложных системах изучает кибернетика - наука об общих принципах управления в машинах, живых системах и обществе. Медицинская, физиологическая кибернетика изучает процессы управления в живых организмах.

Принципы управления. С позиций медицинской кибернетики, управление в живых организмах осуществляется управляющей системой. Она включает в себя датчики, воспринимающие информацию на входе (сенсорные рецепторы) и выходе (рецепторы исполнительных структур) системы, входные и выходные каналы связи (жидкие среды организма, нервные проводники), управляющее устройство (центральная нервная система), частью которого является запоминающее устройство (аппараты памяти). Информация, фиксированная в аппаратах памяти, определяет «настройку» системы управления на переработку определенных сведений, поставляемых через каналы связи.

Управление осуществляется с использованием двух основных принципов: 1) по рассогласованию (отклонению); 2) по возмущению.

Управление по рассогласованию предусматривает наличие механизмов, способных определить разность между задаваемым и фактическим значением регулируемой величины или функции. Эта разность используется для выработки регулирующего воздействия на объект регуляции, которое уменьшает величину отклонения. Примером такого управления является стимуляция образования глюкозы при уменьшении ее содержания в крови. Это уменьшение определяется клетками гипоталамуса, которые стимулируют выработку адренкортикотропного гормона в гипофизе. Последний усиливает образование глюкокортикоидов (кортизола) в надпочечниках. Кортизол стимулирует в печени образование глюкозы из аминокислот (глюко-

неогенез), что приводит к восстановлению нормального содержания глюкозы в плазме крови.

Управление по возмущению предусматривает использование самого возмущения для выработки, компенсирующего воздействия, в результате которого регулируемый показатель возвращается к исходному состоянию. Например, уменьшение парциального давления O_2 в атмосферном воздухе при подъеме на высоту является возмущающим воздействием для системы дыхания, обеспечивающей оптимальное для метаболизма содержание кислорода в крови. Увеличение частоты и глубины дыхания, скорости потока крови, количества эритроцитов в крови отражает процессы регуляции по возмущению, направленные на восстановление исходных показателей содержания кислорода.

Способы управления в организме. Основные способы управления в живом организме предусматривают запуск (инициацию), коррекцию и координацию физиологических процессов.

Нервный механизм управления предусматривает изменение физиологических функций под влиянием управляющих воздействий, передаваемых из центральной нервной системы по нервным волокнам к органам и системам организма. Нервный механизм является более поздним продуктом эволюции по сравнению с гуморальным, он более сложен и более совершенен. Для него характерна высокая скорость распространения и точная передача объекту регулирования управляющих воздействий, высокая надежность осуществления связи.

Нервный механизм в качестве средства управления, передачи информации использует потенциалы возбуждения (ПД, импульсы), которые объединяются в определенные паттерны («рисунки» возбуждения) по частоте, набору в «пачках», характеристикам межимпульсных интервалов и кодируют необходимую информацию. Показано, что паттерны возбуждений гипоталамических нейронов при формировании мотивации голода специфичны и существенно отличаются от столь же специфичных паттернов возбуждений нейронов, ответственных за формирование мотивации жажды.

Формы управления. Гуморальный и нервный механизмы предусматривают использование нескольких форм управления. Аутокринная, паракринная и гуморальная формы характерны для эволюционно более древнего механизма.

В основе нервного механизма управления лежит рефлекс — ответная реакция организма на изменения внутренней и внешней сре-

ды, осуществляемая при участии центральной нервной системы. Управление посредством рефлексов предусматривает использование двух форм.

Местные рефлексы осуществляются через ганглии автономной нервной системы, которые рассматриваются как нервные центры, вынесенные на периферию. За счет местных рефлексов происходит управление, например моторной и секреторной функциями тонкой и толстой кишки.

Атмосфера обитаемого помещения, как объекта регулирования температуры и влагосодержания, является объектом с распределенными параметрами.

Таким образом, разработка системы управления параметрами воздушной среды носит комплексный характер, требующий разработки теплотехнических и подсистем управления температурой, влажностью и расходом воздуха с учетом современных энергосберегающих способов управления. Задача усложняется наличием большого количества возможных технологических схем обработки воздуха[7].

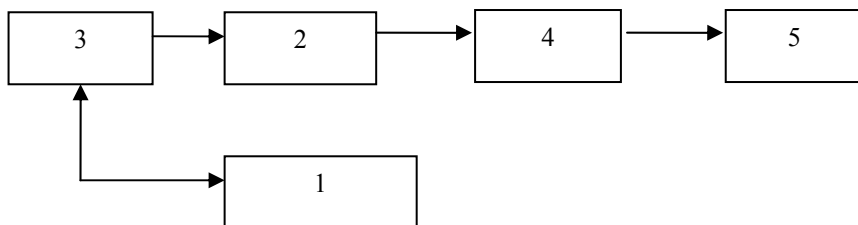


Рис.3. Система терморегуляции автономных одноместных жилых модулей: 1 – человек; 2 – волоконно-оптический пирометр[8]; 3 – трехкоординатное устройство слежения; 4 – вычислительный блок; 5 блок пьезоэлектрического привода

В системе [7], в режиме термоадаптации тепловизор с помощью устройства слежения постоянно определяет температуру кожного покрова человека, которая зависит от выполненной физической нагрузки в рабочей зоне, от психологического и эмоционального состояния человека. Полученная информация поступает на вычислительный блок, который вычисляет частоту пульса, внутреннюю температуру тела, дефицит энергии человека в результате выполненной физической нагрузки и т.д. Полученные данные обрабатываются в вычислительном блоке с помощью программ термоадаптации. На основе вычисленных данных, которые соответствуют необходимым

физиологическим и психологическим параметрам человек, осуществляются управлением блоком пьезоэлектрического привода. Последний, в свою очередь, влияет на регулирующие элементы устройства кондиционирования воздуха.

Это позволяет ускорить восстановительные процессы в организме человека, при этом уменьшается износ организма человека за счет экономии внутренних резервов организма.

Применение новой концепции управления климатом в судовых условиях в сочетании с новыми техническими реализациями первичных преобразователей может принести ощутимые выгоды в приложении, как в судовых условиях, так и вообще в плане сложных энергетических объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шафран Л.М., Голиков В.А. Микроклиматическая эффективность судовых систем КВ // Судостроение. – 1990. – №2. – С. 14-15.
2. Голиков В.А., Бурденко А.Ф., Цюпко Ю.М. Математическое моделирование процессов теплообмена организма человека с окружающей средой. // Судовые энергетические установки. – 2003. – Вып. 8. – Одесса: ОНМА. – С. 104 – 115.
3. Губернский Ю.Д., Корневская Е.И. Гигиенические основы кондиционирования микроклимата - М.: Медицина. – 1978. -247 с.
4. Кощев В.С., Кузнец Е.И. Физиология и гигиена индивидуальной защиты человека в условиях высоких температур. – М.: Медицина, 1986. – 256 с.
5. Кричагин В.И. Таблицы и графики для ориентировочной оценки теплового состояния организма // Гигиена и санитария – 1966. – №4. – С. 65 – 70.
6. Голиков В.А., Цюпко Ю.М., Просенюк В.В. Исследование судовых систем комфортного кондиционирования воздуха с распределенными параметрами // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2007. – Вып.20. – Одесса: ОНМА. – С.106-117
7. Патент №31702 от 25 апреля 2008 г. «Система терморегуляции автономных жилых модулей» Цюпко Ю.М., Голиков В.А., Просенюк В.В.
8. Цюпко Ю.М. Патент на корисну Модель, U2008043500 Волоконно – оптичний пірометр.-№37172 Заявл.07.04.2008; Опубл. 25.11.2008. бюл. №22.

УДК 629.12.06: 620.197.181

Абрамов В.А.
ОНМА

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЖИМОВ И ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРНЫХ ПРОТИВООБРАСТАЮЩИХ СИСТЕМ ПУТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КАРБОНАТНЫМ РАВНОВЕСИЕМ МОРСКОЙ ВОДЫ

Улучшению использования топливно-энергетических ресурсов и повышению эффективности работы судовой энергетической установки (СЭУ) в немалой степени способствует оптимизация работы судового теплообменного оборудования, устройств и различных систем, использующих морскую воду в качестве технологической жидкости.

За исключением химии воды, как таковой, одной из наиболее важных и сложных равновесных систем морской воды является карбонатная система, включающая двуокись углерода, уголекислоту и продукты ее диссоциации. Важнейшим показателем карбонатной системы является концентрация, а точнее активность водородных ионов (рН), характеризующая кислотные условия среды и непосредственно влияющая на многие химические процессы в морской воде [1, 2]. Возможность управления карбонатным равновесием морской воды, путем регулирования её величины рН, и, соответственно, перераспределения компонентов карбонатной системы, представляет научный и практический интерес, например при решении задач по предотвращению биологического обрастания и накипеобразования в элементах СЭУ, контактирующих с морской водой [3÷13].

Биологическое обрастание судовых водоприёмных устройств (водозаборных решеток, полостей кингстонных ящиков, приёмных фильтров), теплообменников и трубопроводов, через которые циркулирует забортная вода, вызывает рост гидравлического сопротивления, ухудшение теплопередачи и, как следствие, приводит к снижению эффективности и надёжности судового оборудования.

Удаление обрастателей из труб и теплообменников представляет собой трудоёмкий процесс, связанный с их демонтажем, частичной или полной разборкой и последующей очисткой от наростов обрастателей. Необрастающие покрытия, в частности, противообрастающие краски, содержащие токсины, широко используемые для наружных поверхностей (например, для корпусов судов) [3÷6], для

защиты от обрастания внутренних поверхностей труб и теплообменников не используются из-за сложности их нанесения, восстановления и краткого срока службы в судовых условиях.

Наиболее перспективными и рациональными являются профилактические мероприятия для предупреждения образования биологических обрастаний. Многообразие известных способов и устройств для защиты внутреннего контура судовой системы забортной воды от обрастания не лишают проблему актуальности, так как все они, в той или иной степени, обладают недостатками, ограничивающими их применение.

В настоящее время известны активные способы защиты от обрастания, которые, наряду с повышением эффективности защиты и увеличением срока службы, дают возможность управлять параметрами защиты, [3÷6, 10÷12, 14, 15]. К ним, в частности, относятся: защита ультразвуком; химическим способом, основанном на подаче к защищаемым поверхностям из специальных емкостей различного вида токсинов; физико-химическими способами (электрохимическими) с помощью электролиза морской воды при использовании растворимых или нерастворимых анодов; и, наконец, разработанный в ОНМА на кафедре СТЭ и ХТ, углекислотный способ, основанный на использовании отработавших газов СЭУ для насыщения ими морской воды, циркулирующей в судовой системе (до определенной величины рН), с целью предотвращения биологического обрастания [10÷12, 14, 15].

Механизм защитного действия при ультразвуковом методе обусловлен способностью ультразвуковых волн разрывать клетки и структуры животных и растительных организмов. Этот процесс происходит при достаточно высокой интенсивности ультразвуковых колебаний, при которых в воде образуются кавитационные пузырьки

Данные об эффективности ультразвуковой защиты противоречивы. В ряде случаев отмечался некоторый положительный эффект, однако, как показал опыт, в большинстве случаев этот метод малоэффективен и недостаточно экономичен. Поэтому широкого применения ультразвуковая защита на судах не получила из-за технических трудностей. В ЧМП этот способ защиты от обрастания судовых систем забортной воды не использовался.

Главный недостаток всех химических способов защиты от обрастания, с применением стойких и нестойких токсинов и органических растворителей, заключается, прежде всего, в загрязнении окружаю-

щей среды, а также необходимости приобретения и размещения этих веществ (как правило, зарубежных) на судне, что требует соблюдения специальных мер безопасности. Например, в ЧМП химический способ защиты использовался на судах типа «Лев Толстой» с применением противообрастающей жидкости «Амерсперс-280» фирмы «Амероид».

«Амерсперс-280» является химическим веществом, разработанным для предотвращения садки и развития микроорганизмов обрастателей в водоприемных устройствах, теплообменниках и трубопроводах системы забортной воды.

Согласно технологии, рекомендуется обрабатывать обрастающие объекты морской водой с концентрацией 10 мг/л жидкости «Амерсперс-280» в течение 100 минут через каждые три дня в прибрежных водах, включая стоянки судна, а также не реже одного раза в неделю при следовании судна на глубокой воде (в открытом море).

Дозировка препарата осуществляется в кингстонные ящики через трубопроводы продувания паром, манометровые отверстия или на приёмном трубопроводе насоса забортной воды.

Учитывая режим дозировки препарата и время работы насосов забортной воды, в период ввода препарата, расход препарата «Амерсперс-280» в год составляет:

- для донных и бортовых кингстонных ящиков машинного отделения (в среднем для 400 часов работы насосов забортной воды во время ввода препарата) – 1000 литров;
- для кингстонных ящиков систем охлаждения вспомогательных механизмов – 1100 литров;
- для кингстонных ящиков насосов забортной воды конденсатора кондиционеров и насоса забортной воды бассейна – 630÷650 литров;
- для ниш стабилизаторов качки – 180÷200 литров;
- для других нужд (по необходимости) – 15÷25 литров.

Таким образом, общий расход препарата оценивается величиной около 3000 литров в год.

Согласно каталогу цен фирмы «Амероид» стоимость одного литра препарата «Амерсперс-280», в период эксплуатации в ЧМП судов типа «Лев Толстой», составляла около 4-х ам. долларов. За год же эксплуатации одного судна только расходы на приобретение этого препарата (не считая монтажных работ и работ по обслуживанию системы предотвращения обрастания) составляли около 12000 ам.

долларов, что также можно отнести к недостаткам химических способов защиты от обрастания.

К активным способам защиты от обрастания относятся также электрохимические способы, при которых необходимое количество токсина выделяется непосредственно на борту судна в процессе работы системы защиты.

Известны следующие способы электрохимической защиты: анодное растворение токсичных металлов и электролизное хлорирование морской воды.

Преимущество способа растворения токсического металла, например, меди, заключается в возможности активного управления процессом электролиза и регулирование параметров защиты в соответствии с конкретными условиями эксплуатации. К недостаткам способа относятся расход дефицитных цветных металлов и необходимость периодической смены электродов.

В ЧМП этот метод защиты не использовался.

Следует отметить, что в ЧМП на судах типа т/х «Котовский» использовалась система, так называемой, антивегетативной обработки морской воды с целью предотвращения обрастания внутреннего контура судовой системы забортной воды фирмы «Дольди» (Италия).

Обработка морской воды заключалась в электролизации специального рассола (раствора хлорида натрия), приготавливаемого на судне в специальном растворном баке. В дальнейшем происходило растворение полученного таким образом газообразного хлора в небольшом количестве воды с помощью эжектора. Полученный раствор направлялся по специальным (коррозионностойким) трубопроводам в систему забортной воды для хлорирования, в заранее выбранные точки, с целью предотвращения биологического обрастания. Подвод раствора осуществлялся во всасывающие патрубки насосов забортной воды сверху вниз, т.е. самотёком, за счёт того, что растворный бак устанавливался в самой верхней части судна (в районе фальштрубы). Затем, обработанная таким образом морская вода распределялась по потребителям.

Недостатком такой системы является то, что для приготовления противообрастающего реагента (раствора газообразного хлора в воде) необходимо иметь на борту достаточный запас NaCl и осуществлять подготовку его оптимальных концентраций. Кроме того, технология подачи получаемого раствора на всасывание насосов забортной воды исключает возможность обработки поверхностей водоза-

борных решеток, полостей кингстонных ящиков приёмных фильтров, расположенных до всасывающего трубопровода обслуживающих насосов забортной воды. Впоследствии, из-за этих и других недостатков, система «Дольди» на судах указанной серии была демонтирована, а другие технические решения не были реализованы.

Экономически более выгодно применение способа электролизного хлорирования морской воды, основанного на использовании нерастворимых анодов. В результате электролиза морской воды в этом случае образуется токсичный для организмов обрастателей раствор активного хлора, в основном, гипохлорита натрия (NaClO). Генерируемый в электролизере из морской воды реагент подается в перфорированные распределители, установленные внутри каждого кингстонного ящика, и, истекая из них, перемешивается с основным потоком поступающей на судно забортной воды. В настоящее время этот способ получил достаточно широкое распространение на морских судах из всех известных способов защиты кингстонных ящиков, трубопроводов и другого оборудования СЭУ, контактирующего с морской водой, от биологического обрастания. Во многих странах налажено производство судовых электролизеров различного типоразмерного ряда и производительности. В ЧМП этот способ защиты использовался на некоторых балкерах зарубежной постройки.

Наряду с довольно высокой эффективностью электролизерных систем предотвращения обрастания, они все же не лишены недостатков, что требует решения задач по их усовершенствованию. Подробное описание, недостатки и пути усовершенствования этих систем будут подробно изложены ниже.

На кафедре СТЭ и ХТ ОНМА разработаны альтернативный способ и устройства для предотвращения биологического обрастания водозаборных решеток, внутренних полостей кингстонных ящиков, приёмных фильтров, теплообменников и других элементов СЭУ, входящих в контур судовой системы забортной воды [10÷12, 14,15].

Принцип действия разработанных и внедренных на судах технологий и устройств основан на подаче к поверхностям водозаборных решеток и в кингстонные ящики водогазовой смеси, с целью создания неблагоприятных гидрохимических условий для оседания и развития личинок обрастателей на защищаемых поверхностях. Водогазовая смесь получается в результате диспергирования в морской воде дымовых газов, отбираемых из выхлопных трактов СЭУ. При растворении в морской воде CO_2 и других компонентов, содержа-

щихся в продуктах сгорания, образуется водогазовая смесь, величина рН которой после диспергатора на $1,5 \div 2,0$ единицы ниже, чем рН исходной морской воды. При подаче этой смеси через специальные распределители, установленные внутри каждого кингстонного ящика, поток газовых пузырьков и подкисленной воды омывает поверхности водозаборных решёток и смешивается далее с основным потоком, поступающей на судно заборной воды, равномерно распределяясь по всему объёму кингстонного ящика. Обработанная таким образом вода поступает затем через приёмные клапан и фильтр в судовую систему заборной воды на технологические нужды. В результате перемешивания водогазовой смеси с основным потоком заборной воды, её величина рН уменьшается на $0,2 \div 0,4$ единицы, что приводит к созданию местных неблагоприятных гидрохимических условий для личинок обрастателей и, соответственно, резкому снижению их активности и прекращению оседания на защищаемых поверхностях, контактирующих с обработанной выхлопными газами морской водой. Это объясняется тем, что основные виды организмов обрастателей, избирательно выбирающие поверхность для оседания и последующего развития, могут активно существовать лишь в достаточно узком диапазоне величины рН морской воды, в пределах $8,0 \div 8,2$, и даже небольшое её уменьшение (за счёт увеличения кислотности воды при её обработке отработавшими газами СЭУ) влияет на их жизнедеятельность [$3 \div 6$, $10 \div 12$]. Т.е. при снижении величины рН проходящей через систему морской воды, даже на $0,2 \div 0,4$ единицы, личинки обрастателей (циприсовидная форма — конечная и наиболее устойчивая стадия развития личинок) уже не способны прикрепиться к субстрату (твёрдой поверхности) и затем превратиться во взрослые организмы, а уносятся потоком воды из системы через отливную выгородку за борт, не причиняя никакого вреда. Таким образом происходит репеллентное (отпугивающее) воздействие на личинки обрастателей, и при попадании за борт в чистую воду, они вновь восстанавливают свою жизнедеятельность, что является важным преимуществом (с экологической точки зрения) данного способа предотвращения обрастания, по сравнению с другими способами.

В разработанных устройствах в качестве диспергатора (смесителя) дымовых газов используется водогазовый эжектор, а распределителями реагента являются полые водозаборные решетки, выполненные из перфорированных труб, с отверстиями, просверленными с внешней (морской) стороны для истечения водогазовой смеси, и,

установленные в каждом из кингстонных ящиков вместо обычных штатных водозаборных решёток [14, 15].

Длительные испытания и последующая эксплуатация внедрённых на некоторых судах ЧМП устройств показали их достаточно высокую эффективность, экономичность (т.к. в качестве реагента используется «бросовое» сырьё — отработавшие газы СЭУ) и преимущества по сравнению с другими системами и устройствами предотвращения обрастания внутреннего контура системы забортной воды.

К сожалению, развал ЧМП и утрата почти всех судов пароходства, а также ряд других причин, прервали активное и широкое внедрение на флоте углекислотной технологии предотвращения обрастания элементов внутреннего контура системы забортной воды.

Но, тем не менее, положительные результаты, полученные при исследовании, разработке и внедрении этих способа и устройств, позволили наметить и решить ряд параллельных задач, направленных на совершенствование режимов и повышение эффективности эксплуатации ряда уже существующих систем и устройств и, в частности, широко применяемых в настоящее время на мировом флоте электролизерных систем предотвращения обрастания, путём управления карбонатным равновесием морской воды, используемой в них в качестве технологической жидкости, за счет изменения её величины рН. Рассмотрим пути реализации этой задачи более подробно.

Все существующие системы для электролизного хлорирования морской воды, с целью биологического обрастания, как правило, состоят из электролизера, источника питания и устройств для подачи реагента (в основном, гипохлорита натрия) к точкам его использования. Отличаются они производительностью, конструктивным исполнением, типом электродов, конструкцией распылителей и различными дополнительными устройствами.

Гипохлорит натрия – NaClO , называемый также «жавелевой водой», характеризуется содержанием в нем активного хлора, измеряемого в хлорометрических градусах. Это количество свободного хлора, которое при нормальных условиях (0°C , 0,1 МПа) имеет ту же самую окислительную способность, что и 1 кг продукта.

1 хлорометрический градус = 3,17 г Cl_2 на 1 кг продукта.

В ЧМП эксплуатировалось пять балкеров зарубежной постройки, имевших на борту постоянно действующие системы для электролиз-

ного хлорирования морской воды с целью предотвращения обрастания кингстонных ящиков, трубопроводов и других элементов и устройств системы заборной воды:

1. т/х «Капитан Трубкин» – тип установки MGPS R500–P;
2. т/х «Пётр Томасевич» – тип установки MGPS R700–P;
3. т/х «Василий Матузенко» – то же;
4. т/х «Капитан Полин» – то же;
5. т/х «Роман Кармен» – то же.

Тип установки: MGPS – Marine Growth Preventing System (морская обрастательно-предупредительная система).

Фирма-изготовитель: The Nippon Corrosion Engineering Co., LTD (является одним из основных мировых производителей судовых электролизных систем предотвращения обрастания).

Системы MGPS R500–P и MGPS R700–P аналогичны и отличаются друг от друга, прежде всего, производительностью и некоторыми комплектующими, входящими в состав систем.

Согласно описанию [16], система MGPS спроектирована так, что препятствует осаждению и развитию морских обрастателей в кингстонных ящиках, трубопроводах, конденсаторах, насосах и т.п. путём обработки воды производными хлора, образующимися при электролизе морской воды в электролизере. Ниже дано общее описание систем MGPS с конкретной схемой привязки к судовой системе заборной воды на т/х «Пётр Томасевич» (MGPS R700–P), приведенной на рис. 1, а режимы и характеристики работы систем MGPS R500–P и MGPS R700–P приведены в табл. 1, 2, 3, соответственно.

Собственно электролизер состоит из:

- выпрямителя, предназначенного для преобразования переменного тока в постоянный, который необходим для электролиза;
- электролитической камеры, представляющей собой герметичный резервуар с впускным и выпускным устройствами для входа и выхода морской воды. Перед выпуском из электролитической камеры предусмотрено устройство для удаления выделившегося водорода. Для улучшения стойкости и коррозионной сопротивляемости внутренняя поверхность электролитической камеры покрыта резиной, невосприимчивой к действию гипохлорита натрия и других хлорсодержащих компонентов;

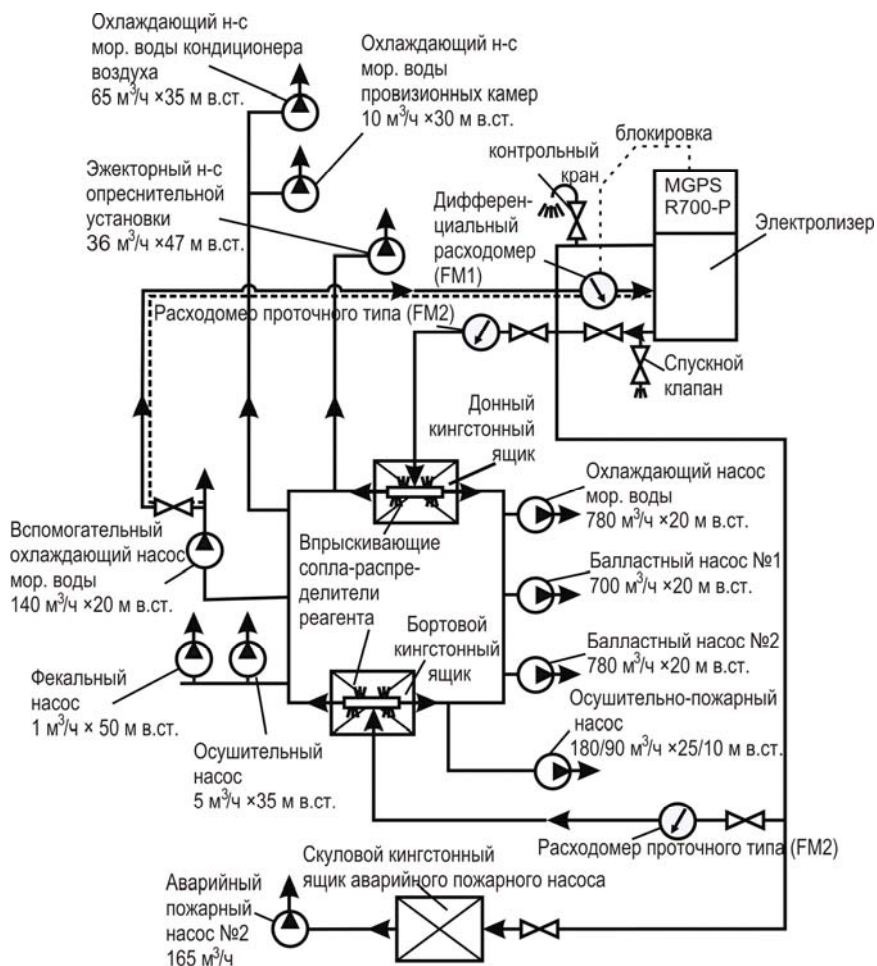


Рис. 1. Схема привязки морской обрабатывающе-предупредительной системы (MGPS R700–P) к судовой системе забортной воды судов типа т/х «Пётр Томасевич»

- комплекта электродов (две пары – по катоду аноду в каждой паре), установленных внутри электролитической камеры и присоединенных, соответственно, к отрицательному (катод) и положительному (анод) полюсам генератора тока. При электролизе морской воды аноды очень чувствительны к коррозии, а катоды – к накипи, т.е. отложениям продуктов электролиза. Поэтому анод представляет собой титановый

Таблица 1. Условия работы насосов морской воды на т/х «Пётр Томасевич»

Кингстонный ящик	Бортовой, донный и скуловой кингстонные ящики									
	Охл. н-с мор. воды	Вспом. охл. н-с мор. воды	Осушит. пож. н-с	Балласт. н-с	Авар. пож. н-с № 2	Эжекторный опреснителя	Охл. н-с мор. воды конд. воздуха	Охл. н-с мор. воды провизионных камер	Осушительный насос	Фекальный насос
Производительность насоса (м ³ /ч)	780×1	140×2	180/90×1	№1 700 №2 780	165×1	36×1	65×1	10×1	5×1	1×1
Условия работы	На ходу	0	X	X	X	0	0	0	Δ	Δ
	Манёвры	0	X	X	X	X	0	0	Δ	Δ
	Стоянка у причала	X	0	Δ	0	X	0	0	Δ	Δ
	Стоянка на якоре	X	0	Δ	X	X	Δ	0	Δ	Δ

где 0 – работа; X – стоп; Δ – периодическая (прерывистая) работа.

Таблица 2. Основные данные по работе системы типа MGPS R700–P

Условия работы	Расход обрабатываемой морской воды		Расход морской воды через электролитическую камеру		Ток электролиза		Концентрация хлора
	995 м ³ /ч	995 м ³ /ч	9,1÷10,5 м ³ /ч	–"	210 А	210 А	
На ходу	995 м ³ /ч	995 м ³ /ч	9,1÷10,5 м ³ /ч	–"	210 А	210 А	0,22 мг/л
Манёвры	995 м ³ /ч	995 м ³ /ч	–"	–"	210 А	210 А	0,22 мг/л
Стоянка у причала	915 м ³ /ч	915 м ³ /ч	–"	–"	210 А	210 А	0,22 мг/л
Стоянка на якоре	215 м ³ /ч	215 м ³ /ч	–"	–"	50 А	50 А	0,24 мг/л

стержень, покрытый тонким слоем платины (платинированный титан), а катод изготовлен из мягкой углеродистой стали, что облегчает в некоторой степени возможность удаления с него вредных отложений, образующихся в процессе электролиза морской воды;

- дополнительного оборудования, включающего в себя контрольные и предохранительные цепи для управления системой и её защиты от перегрузки или короткого замыкания.

Таблица 3. Спецификация морских обрастательно-предупредительных систем типа «MGPS R500–P» и «MGPS R700–P»

Параметр	MGPS R500–P	MGPS R700–P
Нормальный ток электролиза	150 А	210 А
Режим работы	постоянный	постоянный
Максимальная потребляемая мощность	3,0 кВт	4,1 кВт
Входные параметры (переменный ток)	440 В, 3 Ф, 60 Гц, 3,95 А	440 В, 3 Ф, 60 Гц, 5,6 А
Выходные параметры (постоянный ток)	12 В, 175 А	12 В, 240 А
Количество электродов	Два компл. — 4 шт.	Два компл. — 4 шт.
Вес установки	400 кг	450 кг
Фоб стоимость системы	160000 ам. долларов	180000 ам. долларов
Стоимость двух комплектов электродов (4 шт) (20 % от фобстоимости системы)	$16000 \times 2 =$ $= 32000$ ам. долларов	$18000 \times 2 =$ $= 36000$ ам. долларов

Электролизер и электроаппаратура управления смонтированы в едином шкафу, установленном на нижних плитах МКО возле мест водозабора.

В систему MGPS входят также пластифицированные изнутри трубопроводы подвода морской воды к электролизеру и отвода от него реагента, получающегося в результате электролиза, к точкам его использования (в каждый кингстонный ящик). Внутри кингстонных ящиков установлены впрыскивающие распределители (сопла), представляющие собой перфорированные трубы, для распределения

хлорсодержащих компонентов в поток поступающей на судно морской воды.

Для регулирования нормы потока воды в электролитическую камеру используется дифференциальный расходомер (FM1). Расходомер содержит микровыключатель для управления в соответствии с количеством воды, поступающей в электролизер. В случае, если количество забортной воды станет ниже установленного предела (см. табл. 2), соответствующий сигнал отключает электролизер, во избежание его поломки.

В системе также установлены два расходомера проточного типа (FM2) для регулирования потока реагента в кингстонные ящики, пропорционально количеству поступающей через них в судовую систему морской воды.

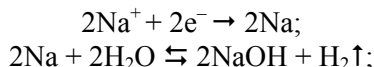
Потребные дозы хлора для предотвращения обрастания устанавливаются, согласно [16], с учётом хлорпоглощаемости воды и должны обеспечивать наличие остаточного хлора (порядка долей миллиграмма на 1 литр) на выходе из последних точек системы забортной воды. Как видно из табл. 2, потребные (начальные) концентрации хлора для системы MGPS R700–P рекомендуется поддерживать на уровне 0,31 мг/л.

Морская обрастательно-предупредительная система типа MGPS служит для непрерывного хлорирования поступающей на судно морской воды, с целью предотвращения обрастания судовой системы и входящих в неё элементов, а её нагрузка определяется режимом работы судна (на ходу, манёвры, стоянка у причала, стоянка на якоре), который определяет конкретный расход обрабатываемой забортной воды, поступающей в судовую систему (см. табл. 1, 2).

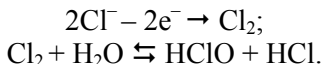
Морская вода (см. рис. 1) от нагнетальной линии насоса забортной воды поступает в электролитическую камеру электролизера, где электролизуется с образованием хлорсоставляющих компонентов. Генерируемый в электролизе из морской воды реагент подаётся в перфорированные распределители, установленные внутри каждого кингстонного ящика и, истекая из них, перемешивается с основным потоком поступающей на судно морской воды, препятствуя оседанию и последующему развитию организмов обрастателей в самих кингстонных ящиках, водоприёмных фильтрах, трубопроводах, теплообменниках и других элементах системы забортной воды.

При электролизе морской воды, представляющей собой в основном раствор хлорида натрия NaCl, происходят следующие реакции:

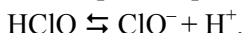
- на катоде –



- на аноде –



Одновременно протекает вторичная реакция



При этом сумму $\text{Cl}_2 + \text{HClO} + \text{ClO}^-$ принято называть свободным активным хлором.

Получающийся в результате реакции гидроксид натрия (NaOH) реагирует с соляной (HCl) и хлорноватистой (HClO) кислотами, образуя, соответственно, хлорид (NaCl) и гипохлорит натрия (NaClO). Суммарную реакцию можно записать в следующем виде



В интервале значений величины $\text{pH} = 5 \div 10$, что соответствует условиям электролизного хлорирования морской воды (величина pH морской воды находится в пределах $8,0 \div 8,2$), в воде присутствует смесь хлорноватистой кислоты (HClO) и гипохлорит-ионов (ClO^-). Соотношение между ними, как видно из рис. 2 [17], зависит от значения величины pH исходной морской воды. Чем ниже будет величина pH проходящей через электролизер морской воды, тем больше образуется недиссоциированных молекул хлорноватистой кислоты (HClO), обладающей наибольшим биоцидным

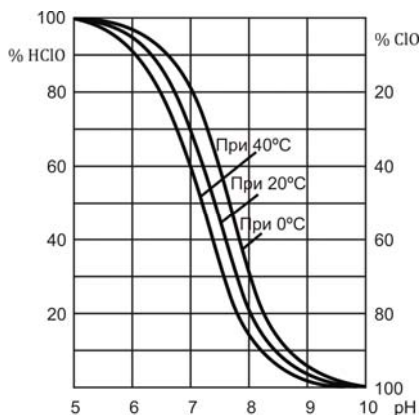


Рис. 2. Зависимость содержания хлорноватистой кислоты (HClO) и гипохлорит-ионов (ClO^-) от величины pH при электролизном хлорировании морской воды

действием, по сравнению с гипохлорит-ионами (ClO^-). Иначе говоря, чем выше значение величины pH , подаваемой в электролизер морской воды, тем большей должна быть концентрация хлора для обеспечения равного противообрастающего эффекта, при том же времени контакта. Поэтому электролизное хлорирование с целью

предотвращения биологического обрастания при повышенных значениях величины рН морской воды малоэффективно.

Кроме того, при электролизе морской воды, помимо основного процесса генерации хлорсоставляющих компонентов, происходит неизбежное образование вредных побочных химических продуктов, так называемых, катодных осадков – карбонатов и гидроокисей кальция и магния. Количество этих образований в процессе электролиза морской воды постепенно увеличивается во времени, что приводит к их отложению в межэлектродном пространстве (между анодом и катодом) и внутри электролитической камеры электролизера, вызывая закупорку впускных и выпускных каналов, а также падение электролизного тока и, соответственно, производительности установки (т.е. уменьшение количества генерируемых хлорсоставляющих компонентов), пропорционально связанной с величиной электролизного тока.

Естественно, что описанный выше побочный процесс является одним из главных недостатков электролизного метода хлорирования морской воды, с целью предотвращения обрастания. Поэтому электроды и камеру электролизера приходится периодически, через каждые 2-3 месяца, очищать от этих отложений. В эксплуатационных условиях очистка производится реже механическим способом (с демонтажем электролизера), а чаще с использованием предусмотренной в схеме системы, соответствующей линии для промывки электролизера и его трубопроводов растворами сильных кислот (например, раствором 5% HCl или ее зарубежным аналогом), с выводом электролизера в обоих случаях из действия. Это приводит к нарушению специального покрытия электродов, изготовленных из дефицитных металлов (в частности, анод изготовлен из платинированного титана) и вызывает их быстрый выход из строя.

Недостатком систем MGPS является также то, что подвод реагента через перфорированные распределители, установленные в каждом из кингстонных ящиков, не обеспечивают защиту от обрастания водозаборных решёток. Это объясняется тем, что при работе штатных насосов, основной поток забортной воды поступает на судно через водозаборные решётки и только в области кингстонного ящика смешивается с противообрастающим реагентом, истекающим из перфорированных распределителей, а полученная смесь направляется затем в систему забортной воды. Т.е. основной поток забортной воды, направленный от водозаборной решетки внутрь кингстонного ящика, не позволяет

реагенту достичь водозаборной решётки и обработать её поверхность, а, следовательно, и не обеспечивается предотвращение её обрастания.

Наряду с достаточно высокой эффективностью электролизерных систем предотвращения обрастания, к одному из перечисленных выше недостатков можно отнести также их высокую стоимость. Как видно из табл. 5, фоб-стоимость систем типа MGPS, согласно фирменным данным, составляет около 160000÷180000 ам. долларов, в зависимости от производительности установки. Причём, в эту стоимость не входит стоимость работ по дооборудованию судна, т.е. стоимость доковых, монтажных, трубопроводных и других работ, которая составляет около 30% от фоб-стоимости систем.

Наименее надёжным местом этих систем являются электроды электролизера. Стоимость всех электродов (аноде изготовлены из дефицитных материалов) по данным фирмы «Эколчелл», составляет от 20 % до 25 % от всей фоб-стоимости электролизерной системы типа MGPS. В связи с высокой стоимостью необходимого количества электродов (от 32000 до 36000 ам. долларов), которые при выходе из строя (при снижении электролизного тока более, чем в 4 раза) необходимо периодически менять (опыт эксплуатации судов ЧМП, на которых использовались противообрастающие системы типа MGPS, показал, что электроды необходимо менять практически через каждые 1÷2 года), представляется актуальной проблема поддержания электродов и электролитической камеры электролизера в чистоте на протяжении всего периода эксплуатации, продления общего срока службы электролизера и, соответственно, повышения эффективности работы электролизерной системы предотвращения обрастания в целом.

Таким образом, при использования электрохимического метода получения хлорсоставляющих компонентов для предотвращения биологического обрастания систем заборной воды, необходимо вести процесс электролиза в условиях, позволяющих максимально повысить эффективность использования хлора и его производных, исключить или сократить до минимума образование вредных побочных отложений на электродах и в электролитической камере электролизера, а также обеспечить предотвращение обрастания всех без исключения элементов системы заборной воды.

Целью настоящей работы является совершенствование режимов и повышение эффективности эксплуатации электролизерных систем предотвращения обрастания путем управления карбонатным равно-

весеи морской воды, используемой в этих системах в качестве технологической жидкости.

Подробное описание и проведенный анализ работы судовых электролизерных систем предотвращения обрастания типа MGPS, позволили наметить ряд технологических и конструктивных мероприятий для достижения поставленной цели.

Для решения этой задачи, прежде всего, в качестве распределителей противообрастающего реагента предлагается использовать полые водозаборные решётки (вместо обычных штатных решёток), которые в этом случае выполняются из перфорированных труб овального сечения (вместо ряда сплошных рёбер в обычной решётке, препятствующих попаданию в кингстонный ящик инородных предметов) почти как в известном устройстве, разработанном на кафедре СТЭ и ХТ ОНМА [14]. Но, в отличие от известного решения, где отверстия в перфорированных трубах каждой решётки для истечения реагента выполнены с внешней (морской) стороны (что приводит к смыву большей части реагента, истекающего из отверстий труб решётки, потоком набегающей вдоль борта воды, например на ходу или при рейдовой стоянке судна в районе с сильным течением), отверстия в перфорированных трубах модернизированных водозаборных решёток выполнены на боковых сторонах, а их оси направлены перпендикулярно основному потоку поступающей в кингстонный ящик заборной воды [18].

На рис. 3 изображена усовершенствованная таким образом водозаборная решётка, состоящая из установочной рамы 1, распределительного коллектора 2 и перфорированных труб-рёбер овального сечения 3. Причём отверстия 4 для выхода реагенты выполнены на боковых сторонах овальных труб 3 (меньшая ось которых находится в плоскости водозаборной решётки) и смещены по длине на половину шага перфорации ($0,5 S$) относительно расположенных рядом друг с другом труб 3.

Противообрастающий реагент поступает в распределительный коллектор 2 и перфорированные трубы 3, служащие, одновременно как для распределения реагента в поток поступающей в кингстонный ящик заборной воды, так и для предотвращения попадания инородных предметов в систему заборной воды. Выходя затем из отверстий 4, реагент омывает противоположно расположенные трубы водозаборной решётки и обрабатывает их поверхность, как в прозоре между трубами-рёбрами, так и с внешней и с внутренней

сторон каждой трубы одновременно. При работе циркуляционного насоса системы охлаждения (или любого другого насоса) противобрастающий реагент, выходящий из отверстий 4 и омывающий трубы-рёбра 3 водозаборной решётки, захватывается основным потоком поступающей на судно заборной воды, перемешивается с ней, равномерно распределяясь по всему объёму кингстонного ящика и далее, эта смесь направляется в судовую систему для использования на технологические нужды.

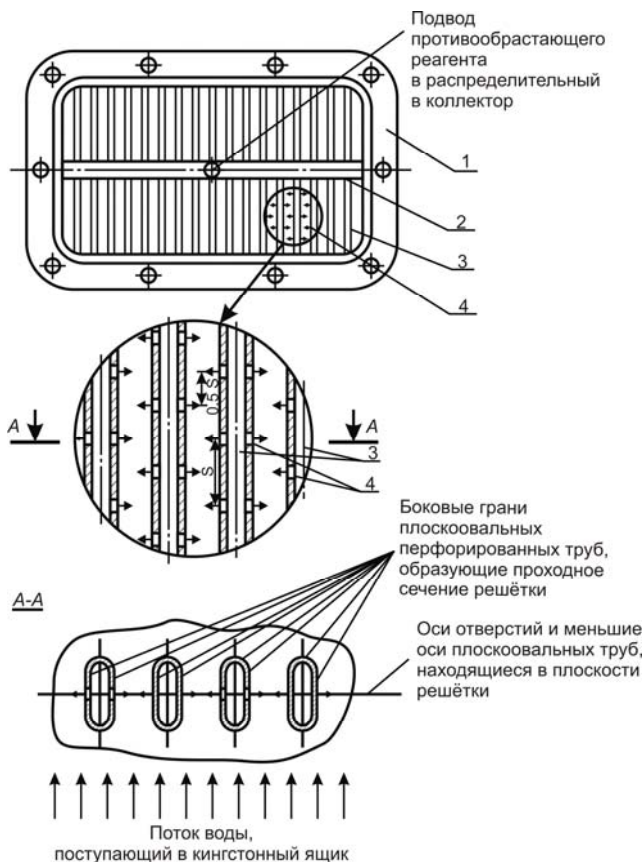


Рис. 3. Модернизированная трубчатая водозаборная решётка: 1 – установочная рама; 2 – распределительный коллектор; 3 – перфорированные трубы-рёбра овального сечения; 4 – отверстия для выхода реагента

Такая конструкция водозаборной решётки и, в частности, расположение отверстий 4 на боковых гранях овальных распределительных труб 3 позволяет:

- исключить смыв реагента, при наличии движения забортной воды вдоль решётки, за пределы водоприёмного устройства, т.е. за борт;
- обеспечить дополнительное механическое воздействие струй противоположающего реагента, выходящих из отверстий на поверхность противоположного ребра решётки (трубы-рёбра как бы обмывают друг друга);
- создать за счёт смещения отверстий перфорации на рядом расположенных трубах на половину шага сверления своеобразный «перекрыш», обеспечивающий гарантированную обработку реагентом всей наружной поверхности водозаборной решётки;
- произвести более качественное перемешивание противоположающего реагента с основным потоком воды, поступающей в кингстонные ящики;
- повысить, при подаче через перфорированные трубы водозаборной решётки пара, эффективность борьбы с обледенением и забиванием её проходных сечений льдом, т.к. струи пара поступают в места в наибольшей степени подверженные забиванию льдом, т.е. в прозоры – межрёберное (межтрубное) пространство водозаборной решётки. Кроме того, решётка подогревается паром также изнутри, что увеличивает эффективность борьбы с её обледенением.

И, наконец, для повышения эффективности эксплуатации электролизерных систем предотвращения обрастания, предлагается предварительно обрабатывать морскую воду двуокисью углерода (CO_2) или отработавшими газами СЭУ перед её поступлением в электролизер. Обработку воды газом ведут до достижения величины рН, равной величине рН равновесного насыщения морской воды карбонатом кальция (рНs), характерной для конкретной температуры и химического состава морской воды, проходящей через электролизер [8, 19]. В этом варианте система включает в себя два независимых элемента (модуля) – диспергатор, обеспечивающий насыщение морской воды двуокисью углерода (источником CO_2 может быть баллонная углекислота или отработавшие газы СЭУ, в зависимости от режима работы системы), и, собственно, электролизер, дополнительно насыщающий воду хлорсоставляющими компонентами.

Причем, первым по ходу воды устанавливается диспергатор CO_2 , а вторым – электролизер [20]. Перед введением в обрабатываемую

морскую воду отработавших газов СЭУ (в случае их использования в качестве источника CO_2), рекомендуется пропускать их через скруббер или барботажное устройство для предварительной очистки от твёрдых фракций, масла и несгоревших углеводородов. Принципиальная схема такой усовершенствованной комбинированной системы предотвращения обрастания приведена на рис. 5.

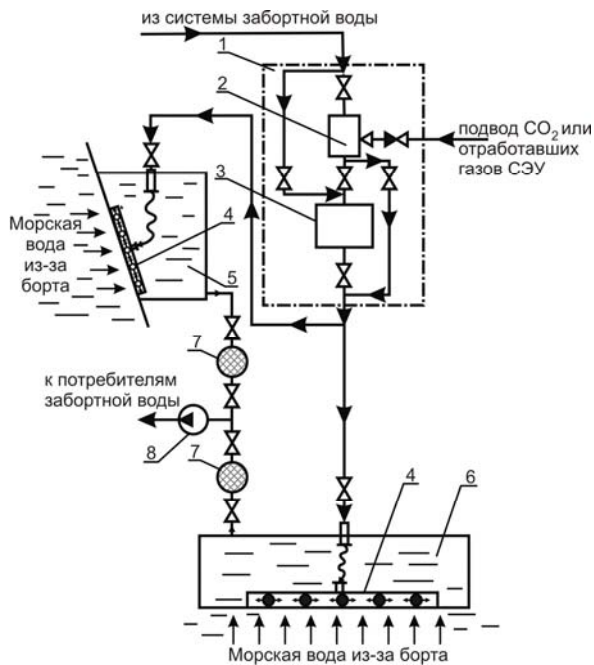


Рис. 5. Принципиальная схема судовой комбинированной системы предотвращения обрастания: 1 – источник противобрастающего реагента; 2 – диспергатор; 3 – электролизер; 4 – распределители реагента (трубчатые водозаборные решётки); 5 – бортовой кингстонный ящик; 6 – днищевой кингстонный ящик; 7 – приёмные фильтры; 8 – насос заборной воды

Система содержит источник предотвращающего обрастание реагента 1, состоящий из диспергатора двуокиси углерода 2 и электролизера 3, включённых последовательно. Двухмодульный источник противобрастающего реагента 1 соединен трубопроводами с трубчатыми перфорированными водозаборными решётками 4, выполняющими также и роль распределителей реагента и установленными, соответственно, в бортовом 5 и днищевом 6 кингстонных ящиках. Заборная вода из кингстонных ящиков подаётся к потребителям в

судовую систему через приёмные фильтры 7 насосом 8 для использования на технологические нужды.

Вода из системы заборной воды под давлением $0,3 \div 0,5$ МПа и расходом около $5 \div 10$ м³/ч проходит через двухмодульный источник очистного реагента 1, где последовательно насыщается сначала двуокисью углерода (или отработавшими газами СЭУ) в диспергаторе 2, а затем хлорсоставляющими компонентами в электролизере 3. В процессе насыщения морской воды СО₂ в диспергаторе 2 образуется угольная кислота (Н₂СО₃), повышающая кислотность и, соответственно, уменьшающая величину рН обрабатываемой морской воды до величины рН_с, поступающей далее в электролизер 3. Обработанная таким комбинированным способом морская вода подаётся через трубчатые перфорированные водозаборные решетки 4 (при истечении реагента из перфорированных труб-рёбер, происходит обработка реагентом всей поверхности самой водозаборной решётки) в кингстонные ящики 5 и 6, где перемешивается с основным потоком поступающей на судно заборной воды до защитной концентрации. Эта смесь подаётся затем через приёмные фильтры 7 насосом заборной воды 8 к потребителям в судовую систему, предотвращая таким образом биологическое обрастание омываемых поверхностей.

Режим обработки морской воды газом в диспергаторе перед её поступлением в электролизер может состоять из двух вариантов.

1. Режим насыщения морской воды в диспергаторе двуокисью углерода в количестве, обеспечивающем поддержание величины рН на уровне рН_с лишь в воде, проходящей через электролизер ($5 \div 10$ м³/ч).

В этом случае конструкция диспергатора наиболее проста, а в качестве источника СО₂ могут использоваться, как отработавшие газы СЭУ, так и баллонная углекислота из-за её малого расхода (около $2,5 \div 3,5$ мг/л). Расход технической углекислоты при этом составит около $300 \div 500$ г/сутки, в зависимости от количества воды, протекающей через электролизер, её температуры и химического состава (в частности от щёлочности и солёности морской воды). При проведении такого режима обработки морской воды, совместная и последовательная работа диспергатора и электролизера позволяют повысить эффективность работы усовершенствованной электролизерной системы предотвращения обрастания, по сравнению с известными системами:

- Насыщение морской воды двуокисью углерода перед её поступлением в электролизер до величины рН, равной равновесному насыщению морской воды карбонатом кальция (рНs), предотвращает образование вредных побочных продуктов электролиза (типа CaCO_3), как на самих электродах, так и на внутренней поверхности электролитической камеры, что в свою очередь предотвращает падение электролизного тока и, соответственно, исключает вероятность уменьшения количества генерируемых в электролизере хлорсодержащих компонентов;
- Предотвращается уменьшение проходных сечений впускного и выпускного клапанов электролитической камеры и исключается необходимость очистки электролизера от побочных отложений, что повышает его надёжность и срок службы;
- Предварительное подкисление морской воды двуокисью углерода повышает также эффективность использования активного хлора и его соединений, т.к. при более низких значениях рН воды, поступающей после диспергатора в электролизер, значительно увеличивается выход хлорсодержащих компонентов, обладающих наибольшим биоцидным действием, при той же нагрузке электролизера. Т.е. в процессе электролиза морской воды при более низких значениях рН увеличивается содержание в обработанной воде хлорноватистой кислоты (HClO) и уменьшается, соответственно, количество гипохлорит-ионов (ClO^-). Например, как видно из рис. 3, при 20°C и величине рН исходной воды, например, океанской, около $8,2 \div 8,3$, содержание хлорноватистой кислоты (HClO) после обработки этой воды в электролизере, будет находиться на уровне 15 %. Тогда как содержание гипохлорит-ионов (ClO^-) составит для данных условий около 85 %. После обработки воды в диспергаторе двуокисью углерода, перед её поступлением в электролизер, до величины $\text{pH}=7,4 \div 7,5$, находящейся на уровне рНs, характерной для океанской воды ($t=20^\circ\text{C}$, $\text{Щ}_0=2,4$ мг/экв-л, $S=35\%$) [8, 19], содержание HClO в реагентной смеси возрастёт приблизительно до 50 % (т.е. увеличится более, чем в 3 раза), а содержание ClO^- , соответственно, уменьшится до 50 %, что в итоге повысит эффективность предотвращения обрастания при использовании усовершенствованных систем. Это позволяет

использовать имеющуюся установку для обработки большого количества воды до необходимой защитной концентрации реагента, или значительно снизить электрическую нагрузку (для данного примера почти в 3 раза) при обработке заданного количества морской воды, проходящей через электролизер.

2. Режим обработки морской воды в диспергаторе двуокисью углерода в количестве, обеспечивающем насыщение до величины рНs всего объема используемой на судне воды (500÷1000 м³/ч), после смешивания обработанной в источнике реагента воды с основным её потоком, поступающим в кингстонный ящик.

В этом случае из-за значительного расхода СО₂ экономически целесообразно использовать только отработавшие газы СЭУ. При проведении этого режима, кроме перечисленных выше преимуществ, характерных для первого режима, появляются дополнительные:

- Подкисление всего объема поступающей на судно воды до величины рНs отработавшими газами СЭУ (которые сами являются противообрастающим реагентом в смеси с водой [10÷12, 14, 15]), дополняет и усиливает действие хлорсоставляющих компонентов, что снижает возможность явления «привыкания» у организмов обрастателей, по сравнению с обработкой воды одним реагентом и, таким образом, обеспечивает более эффективную защиту от обрастания. При такой комбинированной обработке всего объема забортной воды, поступающей в судовую систему, наблюдается, так называемый, синергетический эффект — возрастание эффективности действия смеси двух разных противообрастающих реагентов (насыщенная в диспергаторе отработавшими газами СЭУ морская вода до величины рНs и, одновременно, содержащая хлорсоставляющие компоненты защитной концентрации после обработки в электролизере) по сравнению с действием каждого из них. Иначе говоря, только совокупное и строго последовательное (диспергатор расположен перед электролизером по ходу движения обрабатываемой воды) использование двух модулей обеспечит положительный эффект, отличный от суммы эффектов, т.е. дополнительный эффект, который нельзя получить при использовании этих модулей в отдельности.

- Обработка всего объёма поступающей на судно воды отработавшими газами СЭУ позволяет вести борьбу с организмами обрастателей, осевшими и развившимися в период вынужденной остановки системы, за счёт невозможности построения ими раковин при величинах рН морской воды в системе, равных рНs, что приводит к их отмиранию и отпаданию с обрабатываемых поверхностей;
- Уменьшение величины рН всего объёма морской воды, используемой на технологические нужды, до величины рНs, приводит также к значительному снижению интенсивности процесса накипеобразования или полному его предотвращению в теплообменниках, включённых в контур системы забортной воды, что, в свою очередь, повышает эффективность их работы и всей СЭУ в целом.

Процесс диспергирования двуокиси углерода или отработавших газов СЭУ в морскую воду может осуществляться многими путями. Опыт эксплуатации на судах различных насыщающих устройств показал, что более универсальным, практически удобным и достаточно простым по устройству является водогазовый эжектор. Высокая удельная поверхность контактирующих при смешении в эжекторе фаз (морская вода–газ), определяет высокую интенсивность растворения CO_2 в воде. Эжектор может использоваться для диспергирования в морской воде, как технической двуокиси углерода, так и отработавших газов СЭУ, отсасываемых из любых удобных точек газовыхлопного тракта, что является его немаловажным преимуществом. Простая конструкция и возможность изготовления эжектора в судовых условиях позволяет рекомендовать его в качестве диспергатора газа при усовершенствовании существующих судовых электролизерных систем предотвращения обрастания. Принципиальная схема водогазового эжектора, с указанием определяющих размеров, и методика его расчета (для систем предотвращения обрастания различной производительности) приведены в [8, 9].

Необходимо также подчеркнуть, что источник противообрастающего реагента 1, состоящий из двух независимых модулей – диспергатора газа 2 и электролизера 3 (см. рис. 4), позволяет также использовать модернизированную систему не с двумя последовательно соединёнными и одновременно работающими модулями (диспергатор вначале, затем электролизер), а, при необходимости, по отдельности, используя или только обработку морской воды в диспергаторе

ре газами, с понижением её величины рН, или только насыщение воды, проходящей через электролизер, хлорсоставляющими компонентами. Это, тем не менее в обоих случаях обеспечит соответствующий противообрастающий эффект защищаемых объектов. Такая внештатная ситуация может возникнуть при выходе из строя одного из модулей или при проведении ремонтно-профилактических работ на одном из них. Для этого, как видно на рис. 4, в усовершенствованной системе предотвращения обрастания предусмотрены соответствующие байпасные (обводные) трубопроводы и запорная арматура.

Таким образом, простота и небольшая стоимость дооборудования существующих противообрастающих электролизерных систем, с целью их усовершенствования, низкие эксплуатационные расходы и высокая эффективность комбинированного способа обработки морской воды (насыщение CO_2 или отработавшими газами СЭУ и последующее электролизное хлорирование) делают перспективным использование на судах модернизированных противообрастающих систем, основанных на электролизном хлорировании морской воды. Это обеспечит более гарантированную защиту от обрастания водоприёмных устройств (водозаборных решёток, кингстонных ящиков, приёмных фильтров, запорной арматуры), трубопроводов, теплообменников и других элементов, входящих в систему забортной воды, и повысит эффективность работы всего судового оборудования и устройств, использующих морскую воду в качестве технологической жидкости, а в итоге, и всей судовой энергетической установки в целом.

Предполагаемые для использования технологические и конструктивные решения защищены соответствующими авторскими свидетельствами на изобретения [14, 15, 18, 20].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хорн Р. Морская химия./Р. Хорн – М.: Мир, 1972. – 400 с.
2. Химия океана (из серии океанология). – М.: Наука, 1979. – Т.1.: Химия вод океана. – 517 с.
3. Морское обрастание и борьба с ним: Сборник. / Пер. с англ. Под ред. В.Н. Никитина и Н.И. Тарасова. – М.: Воениздат, 1957.– 503 с.
4. Искра Е.В. Борьба с обрастанием трубопроводов / Е.В. Искра, Е.П. Турпаева, Е.Н. Булыгина // Технология судостроения. – 1962. – № 7. – С. 17-21.

5. Биологические основы борьбы с обрастанием: Сборник./Киев: Наукова думка, 1973. – 140 с.
6. Гуревич Е.С. Защита морских судов от обрастания / Е.С. Гуревич, Е.В. Искра, Е.П. Куцевалова – Л.: Судостроение, 1978. – 200 с.
7. Абрамов В.А. Углекислотный метод очистки от накипи и предотвращения её образования в судовых теплообменных аппаратах, работающих на морской воде / В.А. Абрамов, Ю.И. Боев, В.Ф. Коваленко, Б.И. Ляшенко, А.З. Бондарев // Современное состояние и перспективы развития СЭУ/ЛВИМУ им. адм. С.О. Макарова. – М.: В/О - «Мортехинформреклама», 1983. – С. 73-79.
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 от накипи и предотвращения её образования: Методическое пособие / Од. высш. инж. мор. уч.; подготовлено Ю.И. Боевым. – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1986. – 48 с.
10. Абрамов В.А. Разработка экологически безопасного способа предотвращения обрастания поверхностей в морской воде / В.А. Абрамов, В.А. Вагапов, Б.А. Павленко, Е.А. Яковлев, Ю.И. Боев // Охрана окружающей среды на морском транспорте. – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1990. – С.56-59. [ЮжНИИМФ].
11. Абрамов В.А. Анализ эффективности способов предотвращения обрастания в системах забортной воды, используемых на морских судах/В.А. Абрамов, Б.А. Павленко//Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 1998. – № 1. – Одеса: ОНМА. – С. 52-58.
12. Абрамов В.А. Разработка технологии предотвращения биологического обрастания водоприёмных устройств, трубопроводов и оборудования, входящих в контур судовой системы забортной воды/В.А. Абрамов, Б.А. Павленко // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2004. – № 10. – Одеса: ОНМА. – С. 68-77.
13. Абрамов В.А. Факторы, определяющие карбонатное равновесие природных вод, используемых в СЭУ / В.А. Абрамов,

- И.В. Логишев // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2007. – № 19. – Одеса: ОНМА. – С. 67-74.
14. Устройство для предотвращения обрастания судовых водоприёмных устройств и системы подачи забортной воды: А.с. № 1244878 СССР, МКИ В63В 13/00/В.Ф. Коваленко, Ю.И. Боев, В.А. Вагапов, В.А. Абрамов, Б.А. Павленко – № 3735680/27-11. Заявл. 13.03.1984. Оpubл. 1986, Бюл. № 26.
 15. Система защиты водоприёмных устройств от обрастания: А.с. №1482073 СССР, МКИ В63В 13/00/В.А. Абрамов, Ю.И. Боев, В.А. Вагапов, В.Ф. Коваленко, Б.А. Павленко – № 4291039/27-11. Заявл. 27.05.1987. Оpubл. 1989, Бюл. № 19.
 16. Спецификация, инструкция и руководство по эксплуатации морских обрастательно-предупредительных систем типов MGPS R500-P и MGPS R700-P: Техническая документация по т/х «капитан Трубкин» и т/х «Пётр Томасевич» / Черноморское морское пароходство (ЧМП); Архивная папка № 10 (80 и 80а).
 17. «Дегремон». Технические записки по проблемам воды: Пер с англ. В 2-х т. Т.1. / К. Барак, Ж. Бабен, Ж. Бернар и др. Под ред. Т.А. Калюхиной, И.Н. Чурбановой. – М.: Стройиздат, 1983. – 607 с.
 18. Устройство для предотвращения обрастания судовых водоприёмных устройств и системы подачи забортной воды: А.с. № 1630200 СССР, МКИ В63В 13/00 / В.А. Абрамов, Ю.И. Боев, В.А. Вагапов, В.Ф. Коваленко, Б.А. Павленко – № 4297726/11. Заявл. 27.05.1987. Оpubл. 1991, Бюл. № 8.
 19. Абрамов В.А. К вопросу о величине рН равновесного насыщения морской воды карбонатом кальция (рНs) / В.А. Абрамов // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2000. – № 5. – Одеса: ОНМА. – С. 5-10.
 20. Устройство для защиты от обрастания судовой конструкции: А.с. № 1372806 СССР, МКИ В63В 59/00, 13/00/ В.Ф. Коваленко, В.А. Абрамов, В.А. Вагапов, Ю.И. Боев, Н.Н. Зенькович, Б.А. Павленко, Е.А. Яковлев – № 4054111/40-11. Заявл. 04.09.1986. Оpubл. 1988, Бюл. № 5.

УДК 621.313.322.07

Тумольский А.П., Щербинин В.А.
ОНМА

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ СУДОВЫХ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Введение. В последнее время в связи со старением морского флота Украины и отсутствием средств на строительство новых, актуальным является реновация судов, при котором происходит полная или частичная замена оборудования с целью соответствия конвенциям и продления сроков эксплуатации. Актуальной становится проблема по модернизации устаревшего и изношенного оборудования.

Одной из текущих задач этой проблемы является повышение качества электроэнергии и потерь энергии в переходных процессах СЭЭС за счёт усовершенствования автоматических регуляторов напряжения (АРН).

Для этих регуляторов характерным является использование тиристорной технологии, которые включаются управляющим сигналом, подводимым к электроду и выключаются при переходе положительной полуволны тока. Такая схема принудительного выключения требовала сложной системы конденсаторной принудительной коммутации.

Без использования принудительной коммутации, а рассматриваемые выше тиристорные регуляторы являлись таковыми, тиристорный регулятор вносил дополнительную задержку на $1 - 0,5$ периода питающего напряжения, и величина задержки не была постоянной и зависела от угла открытия тиристора, что снижало быстродействие регулятора, привносило дополнительные сложности при анализе и синтезе и не давало возможности создать оптимальный регулятор приемлемого уровня сложности. Если к этому добавить что для выполнения обеспечения требуемой динамики переходных процессов регулятор необходимо проектировать с достаточным запасом форсировки напряжения возбуждения, а также учесть специфические требования, предъявляемые к приводным двигателям, то становится понятным сложность реализации высококачественных регуляторов напряжения работающего по принципу отклонения.

Поскольку объект является устойчивым, то теория автоматического управления (ТАУ), рекомендует два основных подхода к

управлению выходной величиной. Это регуляторы, работающие по принципу управления в функции отклонения регулируемой величины и регуляторы, работающие по принципу регулирования в зависимости от возмущения. Также возможно комбинированное использование указанных принципов. Однако в силу целого ряда причин в большинстве серийно выпускаемых АРН применяется либо принцип работы по возмущению (практически реализованный с использованием трансформатора фазового компаундирования ТФК), либо комбинированный принцип, но в которых канал регулирования по отклонению сравнительно маломощный и играет здесь вспомогательную роль. Данный тип регуляторов широко применяется в стационарной электроэнергетике, например регуляторы типа (ТР) [7], но так и не нашедшие должного применения в судовой энергетике в силу ряда причин. Хотя и подобные попытки предпринимались, в регуляторах судовых синхронных генераторов (СГГ) фирм ASEA, TYR, RADECONCAR.

Это связано с требованиями классификационных обществ и СЭС:

1. СГГ строятся с самовозбуждением.
2. Необходимость обеспечения в условиях самовозбуждения поддержания достаточной величины и длительности токов короткого замыкания для обеспечения работы селективной защиты.
3. Широкий диапазон изменения мощности (сброс - наброс) зачастую соизмеримой с мощностью генератора.

Как показывает практика при описании СГГ аperiodическим звеном 1-го порядка с постоянной времени T , при которой нагрузка изменяется от холостого хода до номинальной, изменяется в 3 и более раз. В этих условиях использование широко известных PID-регуляторов не позволяет в должной степени оптимизировать параметры переходного процесса, а успешно решить задачу можно лишь для одного нагрузочного режима.

Однако в настоящее время эти трудности могут быть преодолены в связи с широким распространением новых технологий: использование принудительно управляемых силовых полупроводниковых ключей (IGBT, IGST), применение комбинированных законов управления, реализованных с помощью микропроцессорной техники, применение цифровых микропроцессорных быстродействующих датчиков, что позволяет использовать практически безынерционные, принудитель-

но управляемые транзисторные ключи и избежать специфических искажений формы выходного напряжения (синусоиды).

Кроме того появление компьютерных систем моделирования MATLAB, MATCAD, позволяет исследовать регулятор на разных режимах что даёт возможность обеспечить анализ работы и осуществить синтез новых более совершенных регуляторов.

Целью работы является изучение процессов протекающих в тиристорном быстродействующем цифровом регуляторе напряжения ССГ реализующего комбинированный принцип управления с последующим этапом макетирования АРН на дизель-генераторном агрегате в лабораториях судовых энергетических установок.

Постановка задачи. Основной задачей исследования является разработка адекватной математической модели автоматического регулятора напряжения (АРН) с целью изучения ее в виртуальной среде MATLAB и проверка на соответствие правилам Регистра.

Результаты компьютерного моделирования в системе Matlab были заложены в действующий макет регулятора, который прошел апробацию в составе установки дизель-генератора кафедры СЭУ ОНМА.

На рис. 1 изображена модель системы с АРН, реализующей комбинированный принцип управления, который в режимах наброса нагрузки, соизмеримой с мощностью генератора, осуществляет регулирование напряжения возбуждения генератора по комбинированному закону регулирования. При достижении регулируемой величины пределов, определённых правилами классификационных обществ, регулятор включает канал управление по отклонению.

Согласно принципу максимума [1, 8, 9] для осуществления оптимального быстродействия управления объекта, описываемого системой дифференциальных уравнений n -го порядка, требуется $n - 1$ точек переключения, при этом управляющее воздействие принимает два значения U_{\min} и U_{\max} (релейное управление).

Учитывая, что СГ описывается в наиболее полном виде системой уравнения 5-го порядка, для осуществления оптимального управления требуется расчёт в режиме реального времени четырех точек переключения, что значительно усложняет синтез регулятора. Так как система реагировала бы даже на самые малые возмущения (к примеру, на быстро затухающие процессы в несколько миллисекунд, на переходные процессы, обусловленные, к примеру, трансформаторными ЭДС в статоре СГ).

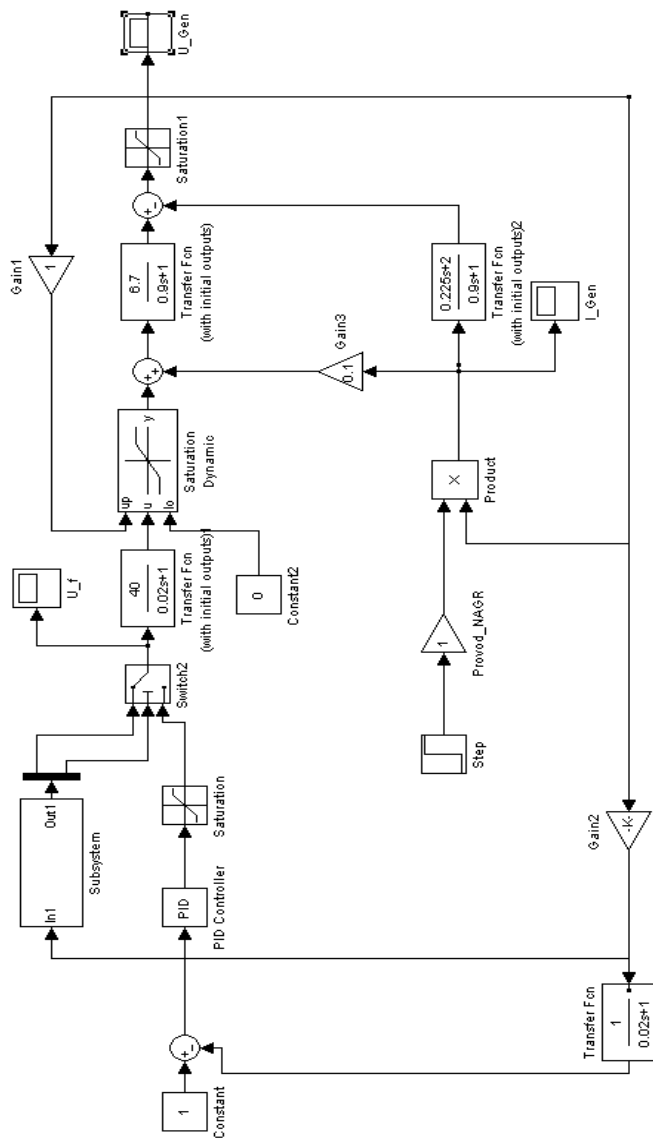


Рис. 1. Математическая модель цифрового регулятора, работающего по комбинированному принципу управления

В данной работе было ограничено число точек до двух с целью повышения помехозащищённости, что позволило оптимизировать процесс и упростить практическую реализацию регулятора.

Характер изменения $U_{\text{возб}}$ (напряжения возбуждения), в данном случае показан на рис. 4. Характер изменения $U_{\text{ген}}$ (напряжения генератора) приведен на рис. 2. Ток нагрузки отображён на рис. 3. Для сравнения был выбран PID-регулятор, модель которого изображена на рис. 5 – 8.

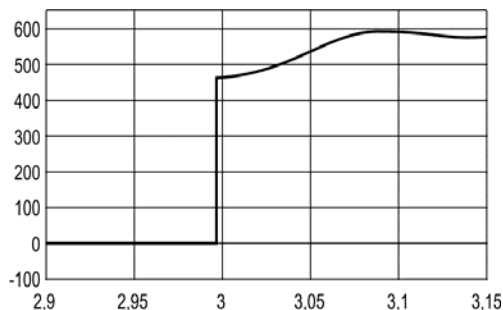


Рис. 2. Диаграмма тока нагрузки

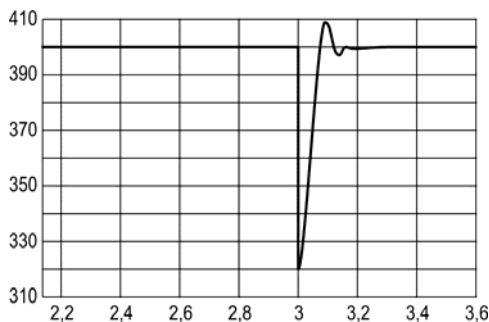


Рис. 3. Диаграмма выходного напряжения генератора при набросе нагрузки, равной мощности генератора

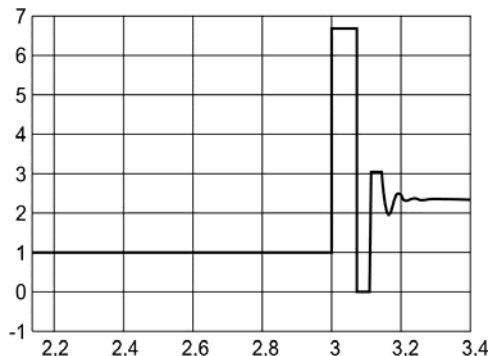


Рис. 4. Диаграмма токов возбуждения при работе регулятора, реализующего комбинированный принцип

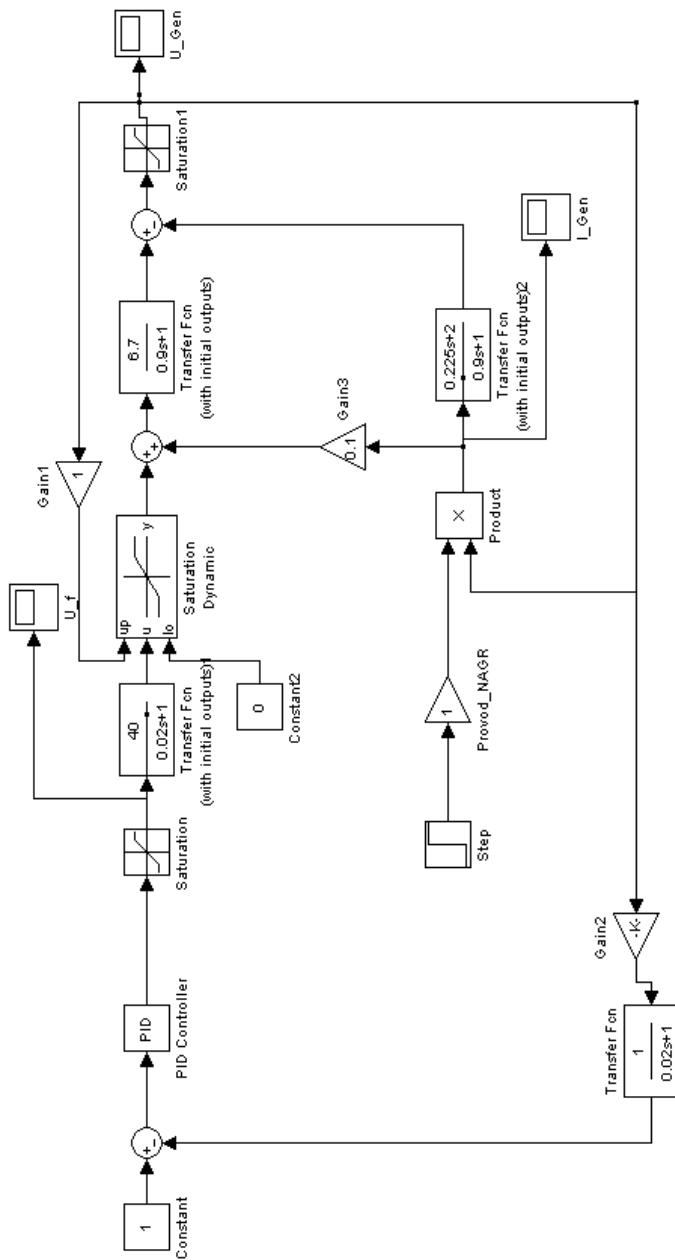


Рис. 5. Математическая модель цифрового регулятора работающего по принципу отклонения

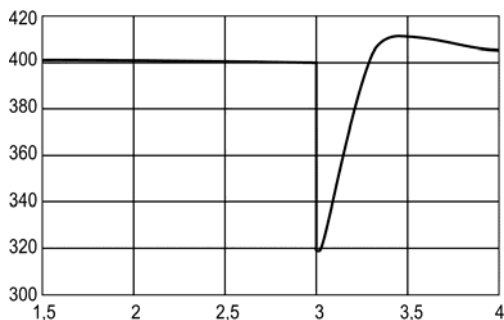


Рис. 6. Диаграмма выходного напряжения генератора при набросе нагрузки равной мощности генератора

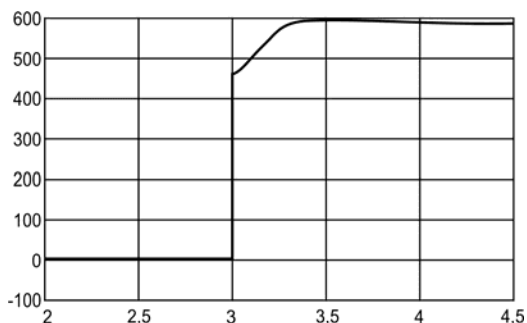


Рис. 7. Диаграмма тока нагрузки

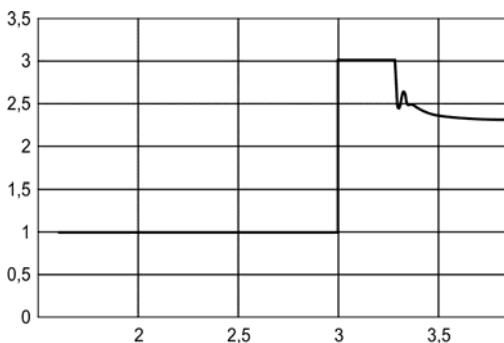


Рис. 8. Диаграмма токов возбуждения при работе регулятора по принципу отклонения

Сравнительный анализ переходных процессов показывает, что при использовании дополнительного канала по возмущению достигается значительное улучшение качества $U_{\text{ген}}$.

Выводы.

1. Использование быстродействующих ключей и микропроцессоров при реализации АРН судового дизель-генератора позволяет получить регулирование с заданным качеством и быстродействием.

2. Данный АРН позволяет регулировать напряжение генератора во всём диапазоне возможных нагрузок и практически исключает влияние величины нагрузки на время регулирования.

3. Существует возможность расширить при необходимости число каналов регулирования по возмущению (например тем пературы обмотки статора и т.д).

4. Усовершенствование АРН достигается с помощью применения современной элементной базы позволяющей реализовать комбинированный закон управления.

5. Время восстановления $U_{\text{ген}}$ до 2,5% $U_{\text{н}}$ сокращается с 0,25 до 0,065 с, а время, в течение которого наблюдается перерегулирование (0,5%) — с 1,5 с до 0,2 с.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фельдбаум А.А. Основы теории оптимальных автоматических систем. / А.А. Фельдбаум. – М.: Физматгиз, 1963.
2. Баранов А.П. Судовые автоматизированные электроэнергетические системы. – М.: Транспорт, 1988. – 328с.
3. Краснов В.В. Основы теории и расчета судовых электроэнергетических систем. / В.В. Краснов, П.А. Мещанинов, А.П. Мещанинов. – Л.: Судостроение, 1989. – 326 с.
4. Коноплев К.Г. Повышение качества электрической энергии в автономных электрических системах при импульсном регулировании. / К.Г. Коноплев. – Севастополь: Изд-во СВМИ, 2006. – 208 с.
5. Коваленко В.П. Автоматическое регулирование возбуждения и Устойчивость судовых синхронных генераторов. / В.П. Коваленко. – Л.: Судостроение, 1976. – 270 с.
6. Алексеев О.П. Автоматика электроэнергетических систем. / О.П. Алексеев, В.Е. Казанский, В.Л. Козис и др. – М.: Энергоиздат, 1981. – 479 с.
7. Веников В.А., Суханов О.А. Кибернетические модели электрических систем. / В.А.Веников, О.А. Суханов. – М.: Энергоиздат, 1982. – 327 с.
8. Веретеников Л.П. Исследование процессов в судовых электроэнергетических системах. Теория и методы. / Л.П. Веретеников. – Л.: Судостроение, 1975. – 375 с.
9. Петров Ю.П. Использование "принципа максимума" для нахождения оптимального закона регулирования синхронных машин // Электричество. – 1964. – № 10.

УДК 621.565.945

Тарик Хоссейн, Колиев И.Д.
ОНМА

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЯ СУДОВОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Испарителями для охлаждения воздуха в холодильных установках служат батареи непосредственного охлаждения и воздухоохладители. В обоих случаях воздух охлаждается в результате непосредственного контакта его с холодной поверхностью труб, внутри которых кипит хладагент, но при батарейном охлаждении циркуляция воздуха в охлаждаемом помещении естественная, а при охлаждении с помощью воздухоохладителей - принудительная.

Охлаждающие батареи могут состоять из гладких труб, оребренных труб, либо панельные. Каждый из этих типов батарей имеет свои преимущества и недостатки. Батареи из гладких труб имеют высокий коэффициент теплопередачи (почти в два раза больше, чем у оребренных труб), но они металлоемкие. В оребренных батареях металлоемкость в 2-2,5 раза, а емкость хладагента в 3-3,5 раза меньше, чем в гладкотрубных батареях, но меньше коэффициент теплопередачи. При панельных батареях из-за равномерного распределения воздуха поддерживается высокая относительная влажность до 96-98%, что значительно сокращает потери при усушке продуктов. Недостаток панельных батарей — повышенный расход металла, трудность очистки от снега со стороны потолка при оттайке потолочных батарей.

Воздушная система охлаждения получила широкое распространение по следующим причинам: происходит принудительное движение воздуха по всему охлаждаемому помещению, т.е. равномерное распределение температур; автоматическая оттайка; отвод талой воды за пределы охлаждаемого помещения; меньшая площадь поверхности охлаждения из-за высокого коэффициента теплопередачи. Воздухоохладители можно размещать как в охлаждаемом помещении, так и вне его.

К недостаткам воздушного охлаждения относятся: более высокая хладопроизводительность установки, связанная с необходимостью компенсации дополнительных теплопритоков, эквивалентных мощности электродвигателей вентиляторов и большая усушка продуктов.

Методика расчета воздухоохладителя состоит в следующем.

Принимаются исходные данные для расчета: $d_{\text{тр}}$ — диаметр труб; $\delta_{\text{тр}}$ — толщина труб; n_1 — число рядов труб по ширине; n_2 — число труб по глубине; s_1 — шаг труб по ширине; s_2 — шаг труб по глубине; $\delta_{\text{р}}$ — толщина ребер; $s_{\text{р}} = 2l_1 + \delta_{\text{р}}$ — шаг ребер; $h_{\text{р}}$ — высота ребра; $D_{\text{р}}$ — наружный диаметр ребра; $L_{\text{р}}$ — длина оребренной части трубы; $n = \frac{L_{\text{р}}}{S_{\text{р}}}$ — число ребристых элементов ребристой трубы; β —

коэффициент оребрения (ребра стальные, спиральные; расположение труб коридорное); V — расход воздуха, м³/ч, поступающего через воздухоохладитель; $t_{\text{ОН}}$ — температура воздуха на входе в воздухоохладитель; $\Delta t_{\text{В}} = t_{\text{БК}} - t_{\text{ВН}}$ — перепад температур.

Для выполнения расчета задаются искомыми температурами

$$t_{\text{ОК}} = t_{\text{ОН}} - (2 \div 4) \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{БК}} = t_{\text{ВН}} + 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Далее определяют следующие параметры и показатели:

- средние температуры, $^\circ\text{C}$, отдающей и воспринимающей теплоту сред:

$$t_{\text{о}} = \frac{t_{\text{ОН}} + t_{\text{ОК}}}{2};$$

$$t_{\text{в}} = \frac{t_{\text{ВН}} + t_{\text{БК}}}{2};$$

- ширину воздухоохладителя, м,

$$a = s_1 n_1;$$

- максимальное сечение воздухоохладителя, м²,

$$F_{\text{max}} = a L_{\text{р}};$$

- минимальную скорость движения воздуха в пучке, м/с,

$$w_{\text{min}} = \frac{V}{3600 F_{\text{max}}};$$

- минимальное сечение воздухоохладителя без учета инея ($\delta_{\text{ин}} = 0$), м²,

$$F_{\text{min}} = a L_{\text{р}} - \left(n_1 d_{\text{тр}} L_{\text{р}} + \delta_{\text{р}} n_1 n \frac{2h_{\text{р}}}{D_{\text{р}}} \sqrt{S_{\text{р}}^2 + D_{\text{р}}^2} \right);$$

- максимальную скорость движения воздуха без учета инея, м/с,

$$w_{\max} = \frac{V}{3600 \cdot F_{\min}};$$

- минимальное сечение с учетом инея $\delta_{\text{ин}} = 0,005$ м, м²,

$$F_{\min}^{\text{ин}} = aL_p - \left(n_1 (d_{\text{нр}} + 2\delta_{\text{ин}}) L_p + (\delta_p + 2\delta_{\text{ин}}) \sqrt{S_p^2 + (D_p + 2\delta_{\text{ин}})^2} \cdot n_1 n \frac{2h_p}{D_p + 2\delta_{\text{ин}}} \right);$$

- максимальную скорость движения воздуха с учетом инея, м/с,

$$w_{\max}^{\text{ин}} = \frac{W}{3600 \cdot F_{\min}^{\text{ин}}}.$$

Далее определяют следующее.

Коэффициент теплоотдачи конвекцией от воздуха к ребристой поверхности без учета влияния инея.

$$\alpha'_1 = 0,117 \frac{\lambda}{S_p^{0,28}} \cdot P_2^{0,35} \left(\frac{d_{\text{ТР}}}{S_p} \right)^{-0,54} \cdot \left(\frac{h_p}{S_p} \right)^{-0,14} \cdot \left(\frac{w_{\max}}{V} \right)^{0,72}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Коэффициент теплоотдачи конвекцией от воздуха к ребристой поверхности с учетом влияния инея при $\delta_{\text{ин}} = 0,005$ м и $\lambda_{\text{ин}} = 0,16$ Вт/(м²·К)

$$\alpha_1^{\text{ин}} = 0,117 \frac{\lambda}{S_p^{0,28}} \cdot P_2^{0,35} \left(\frac{d_{\text{ТР}}}{S_p} \right)^{-0,54} \cdot \left(\frac{h_p}{S_p} \right)^{-0,14} \cdot \left(\frac{w_{\max}^{\text{ин}}}{V} \right)^{0,72}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Задаются коэффициентом влаговываждения $\xi = 1,08$. Определяют коэффициент теплоотдачи с учетом влаговываждения и коэффициентом, учитывающего контакт трубы с ребром $\varepsilon = 0,9$,

$$\alpha' = \alpha'_1 \xi \varepsilon, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

$$\alpha^{\text{ин}} = \alpha_1^{\text{ин}} \xi \varepsilon, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Определяют приведенный коэффициент теплоотдачи с учетом термического сопротивления слоя инея:

$$\alpha_{\text{ПР}}^{\text{ин}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha^{\text{ин}}} + \frac{\delta_{\text{ин}}}{\lambda_{\text{ин}}}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Термическое сопротивление многослойной несущей стенки с учетом инея будет

$$R_{\Pi} = d_{n1} \sum_{i=1}^m \frac{1}{2\lambda_i} \cdot \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} = d_{n1} \left(\frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_{TP}}{d_{BH}} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_{TP}} \right),$$

где $d_{BH} = d_{TP} - 2\delta_{TP}$, м; $d_3 = d_{TP} + 2\delta_{ин}$, м.

Коэффициент теплоотдачи со стороны кипящего хладагента

$$\alpha_2 = (103,2 + 0,19t_0) \cdot q_B^{0,25}; \quad t_0 = t_B.$$

Удельная тепловая нагрузка $q_B = 2150 \text{ Вт/м}^2$, а с учетом инея $q_B = 1000 \text{ Вт/м}^2$.

Площадь несущей поверхности ребра

$$F_{P1} = 2\sqrt{(\pi D_p)^2 + (2l_1 + \delta_p)^2} h_p, \text{ м}^2;$$

Площадь наружной поверхности труб между ребрами

$$F_{\Pi1}^{MP} = \pi d_n 2l_1, \text{ м}^2.$$

Площадь наружной поверхности ребристого элемента

$$F_{PЭ1} = F_{P1} + F_{\Pi1}^{MP}, \text{ м}.$$

Площадь внутренней поверхности ребристого элемента

$$F_{PЭ2} = F_{\Pi2} = \pi d_{BH} (2l_1 + \delta_p), \text{ м}^2.$$

Коэффициент теплопередачи с учетом теплового сопротивления инея

$$K_{PЭ1}^{ин} = \frac{1}{\frac{F_{PЭ1}}{F_{\Pi1}} \left(\frac{1}{\alpha_{\Pi\Pi}^{ин}} + R_n \right) + \frac{F_{PЭ1}}{F_{\Pi2}} \frac{1}{\alpha_2}}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Коэффициент теплопередачи без учета инея

$$K_{PЭ1} = \frac{1}{\frac{F_{PЭ1}}{F_{\Pi1}} \left(\frac{1}{\alpha_1' \xi \varepsilon} + d_{\Pi1} \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} \right) + \frac{F_{PЭ1}}{F_{\Pi2}} \frac{1}{\alpha_2}}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)},$$

где $F_{\Pi1} = F_{PЭ1}$.

Массовый расход воздуха

$$G_B = \frac{V\rho}{3600}, \text{ кг/с}.$$

В дальнейшем ведется расчет воздухоохладителя с учетом инея. Количество теплоты, отведенное воздухоохладителем

$$Q = kF(t_0 - t_B), \text{ Вт},$$

где $F = n \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot F_{p\Delta_1}$, м².

Проверяется принятое значение удельной тепловой нагрузки

$$q_B = \frac{Q}{\pi d_{BH} n S_p}, \text{ Вт/м}^2.$$

По этой тепловой нагрузке определяется коэффициент теплоотдачи α_2 . Новое значение коэффициента теплоотдачи должно отличаться не более, чем на 5%.

Массовый расход хладагента через батареи воздухоохладителя

$$G_a = \frac{Q}{r}, \text{ кг/с}.$$

Число единиц переноса теплоты в элементе определяется по формуле

$$S_{\Delta} = \frac{kF_{\Delta}}{G_B L_B \eta_{ПО}}.$$

Отношение водяных эквивалентов при изменении агрегатного состояния среды, воспринимающей теплоту (хладагент), с одной стороны будет

$$A_{\Delta} = \frac{G_B \cdot L_B \cdot \eta_{ПО} \cdot \Delta t_B}{G_a \cdot r \cdot \eta_{ПВ}};$$

с другой стороны,

$$A_{\Delta} = \frac{\Delta t_B}{t_{OH} - t_B}.$$

Приравнявая эти выражения, определяют температуру воздуха на входе в воздухоохладитель t_{OH} .

Безразмерные температурные параметры

$$R' = \frac{t_{OH} - t_{OK}}{t_{BK} - t_{BH}}; \quad A = \frac{1}{R'}.$$

Температура воздуха на выходе из воздухоохладителя, °С,

$$t_{OK} = 2t_0 - t_{OH},$$

$$P = \frac{t_{BK} - t_{BH}}{t_{OH} - t_{BH}}.$$

Функция эффективности аппарата

$$\Phi_{\text{Э}} = pR'.$$

При известных температурах $t_{\text{ОН}}$, $t_{\text{ВН}}$ пересчитывают

$$t_{\text{ОК}} = t_{\text{ОН}} - (t_{\text{ОН}} - t_{\text{ВН}}) \cdot \Phi_{\text{Э}}, \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$t_{\text{БК}} = t_{\text{ВН}} + (t_{\text{ОН}} - t_{\text{ВН}}) \cdot A\Phi_{\text{Э}}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Разница между температурой, принятой для расчета и полученной, не должна превышать 5%.

Расчет воздухоохладителя производят также по тепловой нагрузке. Для этого необходимо определить площадь его теплопередающей поверхности, состояние выходящего воздуха и его расход. Для этого необходимо знать: тип устанавливаемого воздухоохладителя; потребный тепловой поток через воздухоохладитель; температуру и относительную влажность воздуха, поступающего в воздухоохладитель и температуру кипения хладагента t_0 .

В диаграмме $d-i$ строится процесс охлаждения и определяется температурно-влажностный режим работы воздухоохладителя.

Площадь теплопередающей поверхности воздухоохладителя будет

$$F = \frac{Q_0}{k \cdot \Delta t},$$

где Q_0 — тепловой поток через воздухоохладитель, определяемый тепловым расчетом, Вт; k — коэффициент теплопередачи воздухоохладителя, Вт/(м²К); Δt — разность температур между воздухом в охлаждаемом помещении и кипящим хладагентом при непосредственном охлаждении или средней температурой хладоносителя при рассольном охлаждении, °С.

По найденной площади теплопередающей поверхности подбирается один или несколько воздухоохладителей с учетом равномерного распределения воздуха по всему объему камеры.

Объемный расход воздуха

$$V_{\text{В}} = \frac{Q_0}{\rho(i_1 - i_2)},$$

где $V_{\text{В}}$ — объемный расход воздуха, м³/с; ρ — плотность воздуха при средней температуре воздуха, определяемая по психрометрической таблице или по диаграмме $d-i$; i_1 , i_2 — удельные энтальпии воздуха

на входе и на выходе из воздухоохладителя (определяются по диаграмме $d-i$), кДж/кг.

Изложенная методика расчета воздухоохладителя является универсальной. Она позволяет существенно улучшить его конструктивные параметры и повысить эффективность эксплуатации на судах.

Выводы.

1. Приведена методика расчета воздухоохладителя судовой холодильной установки методами конструктивного и теплового расчетов для сравнительного анализа и подбора воздухоохладителя.

2. Методика расчета приведена для определения оптимального варианта расчета воздухоохладителя и дальнейшего применения на практике. Конструктивный расчет воздухоохладителя необходим для определения габаритных показателей и поверхности охлаждения по расходу воздуха, температурным данным, диаметрам труб и данным ребер труб. Тепловой расчет воздухоохладителя необходим для определения поверхности охлаждения воздухоохладителя по тепловым нагрузкам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Колиев И.Д. Судовые холодильные установки: Учебное пособие. – Одесса: Фенікс, 2009. – 264 с.

2. Колієв Й.Д., Бузовський В.А. Суднові холодильні установки: Методичні вказівки до виконання дипломних проектів. – Одеса: ОНМА, 2010. – 76 с.

3. Чумак И.Г., Никульшина Д.Г. Холодильные установки. Проектирование: Учебное пособие для вузов. – К.: Вища школа. 1988. – 280 с.

УДК 621.436.004.1

Сагин С.В., Мацкевич Д.В.
ОНМА

**ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ГРАНИЧНЫХ СМАЗОЧНЫХ СЛОЕВ МАСЕЛ,
ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМАХ
СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ**

Поведение смазочного материала, находящегося в зоне трения, в большинстве классических работ рассматривается с позиции гидродинамической теории смазки, учитывающей только объемную вязкость смазочного материала. При этом предполагается, что природа поверхностей трения и их молекулярное взаимодействие с жидкостью, служащей смазкой, не изменяют свойств жидкости [1, 2].

Однако даже при большой толщине смазочного слоя и отсутствии скорости, смазочное действие зависит не только от объемных механических свойств смазки, но и от ее молекулярного взаимодействия с поверхностями трения. Таким образом, граничные слои существуют даже в состоянии покоя разделяющего детали пары трения смазочного материала, что является основной причиной понижения пусковых моментов.

Наибольшая эффективность действия поверхностных сил наблюдается в непосредственной близости к поверхности твердой фазы. По мере удаления от границы твердой подложки действие этих сил убывает, но, в определенных условиях (специальный материал твердой подложки, химический состав используемой жидкости и специальных добавок к ней) возможно увеличение их радиуса действия. Из этого вытекает утверждение, что толщина смазочной прослойки, соответствующей граничному трению, зависит от глубины, на которую распространяется в жидкости молекулярное действие твердой стенки.

Изучению физических аспектов граничного трения было посвящено большое количество работ. Граничный смазочный слой является таким типом смазки, которому не могут быть приписаны объемные характеристики смазочного материала, а его свойства определяются специфическим взаимодействием молекул смазки и твердого тела (в результате физической адсорбции, хемосорбции или химической реакции). Кроме того, в граничных смазочных слоях наблюдается ориентационная упорядоченность молекул смазки [3].

Влияние поля твердой фазы не ограничивается радиусом взаимодействия, охватывающим только первые молекулярные слои, а прямо или косвенно распространяется на молекулы адсорбционного слоя, находящиеся на расстоянии нескольких микрон от твердой поверхности. Слой смазочного материала, имеющий свойства жидкости и связанный межмолекулярными силами, под действием граничного молекулярного поля твердой фазы так изменяет свои свойства, что приобретает упругость формы, ранее отсутствовавшую, и при этом способен выдерживать высокие нормальные нагрузки, не разрушаясь. Это свойство «приобретенной упругости» является следствием одновременного действия двух категорий сил, которые действуют в граничных смазочных слоях, образованных на поверхности металлов — межмолекулярными (между молекулами слоя) и адсорбционными (между твердым телом и молекулами масла, находящимися на его поверхности).

Такие слои способны оказывать расклинивающее воздействие (эффект Дерягина), которое выражается в росте сопротивления слоя нормальной нагрузке по мере его утончения. Расклинивающее воздействие в пристенном слое действует в известной мере аналогично давлению в смазочном слое подшипников скольжения, препятствуя непосредственному контакту поверхностей. В то же время для их сдвига в тангенциальном направлении требуются весьма малые силы, что не увеличивает коэффициент трения.

Особое агрегатное состояние граничных слоев объясняется их особой ориентированной структурой. Более реально и полно ориентированные молекулы пристенных слоев необходимо называть жидкими кристаллами. Причем в зависимости от конкретных условий, граничный смазочный слой может представлять собой нематический или смектический жидкий кристалл. Первые характеризуются упорядоченностью электрического вектора молекул слоя, а вторые еще и упорядоченностью центра масс молекул.

Основными характеристиками ориентационной упорядоченности молекул в граничных слоях являются толщина слоя d_s и вектор-директор L , определяющий преимущественную ориентацию молекул в слое.

В настоящее время представления о жидкокристаллической природе граничного смазочного слоя являются общепринятыми и делаются попытки разработать теоретические основы граничной смазки для таких слоев.

Отдельные качественные характеристики пристенных слоев, указанные выше, имеют непосредственное применение в инженерной практике. Так, тип ориентации молекул в граничном смазочном слое непосредственно влияет на триботехнические процессы, а именно, планарная ориентация молекул способствует уменьшению силы трения между контактирующими поверхностями, а гомеотропная — уменьшению износа трущейся пары.

С триботехнической же точки зрения интерес вызывают пристенные слои смазочных материалов, образующиеся на металлических поверхностях в условиях трехфазной симметрично ограниченной системы (т.е., когда смазочный материал находится между двумя твердыми поверхностями в условиях металл – граничный слой – металл).

Эксперименты, проводимые по исследованию пристенных слоев на поверхности металла, показали, что толщина пристенного слоя может достигать 10 мкм. При этом, однако, испытаниям подвергались ароматические соединения, а не масла, применяемые в судовых системах смазки.

Таким образом, несмотря на довольно обширные работы по изучению свойств граничных слоев, исследования, объясняющие физические основы граничной смазки применительно к вопросам двигателестроения и эксплуатации судовых дизелей в целом и подшипников скольжения в частности, весьма малочисленны.

Смазочные материалы, имеющие одинаковые или близкие объемные свойства (вязкость, плотность, щелочное число и др.), могут заметно отличаться по триботехническим характеристикам. Эти отличия объясняются различными жидкокристаллическими характеристиками граничных смазочных слоев.

Традиционные экспериментальные методы изучения структурной упорядоченности вещества (такие как рентгенография, ядерный магнитный резонанс, а также методы, основанные на анизотропии магнитной восприимчивости или электрической поляризуемости) пригодны для исследований объемных образцов и неприменимы для изучения тонких пристенных слоев жидкости, образованных на твердых поверхностях. Для таких объектов наиболее перспективными являются оптические методы: изучение дихроизма в электронных спектрах молекул, определение оптической анизотропии пристенных слоев жидкости и метод нарушенного полного внутреннего отражения.

Рассмотрим основные принципы указанных оптических методов.

Дипольные моменты электронных переходов в молекулах имеют определенные направления (поляризованы) и поэтому в спектрах поглощения ориентационно упорядоченного ансамбля молекул для электронных полос наблюдается дихроизм поглощения (зависимость коэффициента поглощения от поляризации падающего света). Численное значение коэффициента поглощения для заданной поляризации зависит от степени ориентационной упорядоченности поглощающей среды. Для интенсивных полос поглощения коэффициент поглощения достаточно велик и поэтому можно надежно измерять поглощение тонких пристенных слоев. Используя метод исследования дихроизма поглощения, можно определить характеристики ориентационно упорядоченного пристенного слоя.

В тех случаях, когда интенсивные полосы поглощения лежат в труднодоступной части спектра, возможно проводить изучение ориентационной упорядоченности, используя метод «гость-хозяин», т.е. исследовать дихроизм поглощения примесных молекул. Метод заключается во внедрении (растворении) в ориентационно упорядоченной матрице «хозяина» молекул «гостя», размеры и форма которых соизмеримы с молекулами «хозяина».

Метод «гость» – «хозяин» позволяет однозначно определить тип и степень ориентационной упорядоченности примесных молекул, однако требует больших затрат времени на проведение эксперимента и обработку результатов.

В исследованиях характеристик граничных смазочных слоев, образованных смазочными материалами на металлической поверхности (например, слой масла на поверхности тонкостенного вкладыша подшипника скольжения судового среднеоборотного дизеля), наиболее подходящим методом изучения ориентационной упорядоченности является метод световода переменной толщины, с помощью которого можно производить измерения дихроизма поглощения примесных молекул и оптической анизотропии.

При этом, толщина пристенного слоя d_s и значение оптической анизотропии $\Delta n = n_o - n_e$ (n_o и n_e — соответственно показатели преломления обыкновенного и необыкновенного световых лучей) рассчитываются в представлениях интегральной оптики.

В проводимых экспериментах наименьшая ширина световода d составляла около 5 мкм и значительно превышала длину световой волны ($\lambda = 0,5 \div 0,6$ мкм). Это позволило проводить расчеты, исполь-

зую более простые и более наглядные представления лучевой оптики.

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

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

где D — оптическая плотность поглощающего вещества, которая равна

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

где l и d — соответственно длина и ширина световода; μ_s и μ_i — коэффициенты поглощения пристенных слоев и объемной жидкости в световоде; d_s — равновесная толщина ориентационно упорядоченных пристенных слоев жидкости.

Значение μ_s определяется взаимным расположением дипольного момента электронного перехода в молекуле и электрического вектора световой волны. Исследуя оптическую плотность световода в поляризованном свете, можно определить направление преимущественной ориентации молекул в слое — направление вектора директора L .

Для исследования дихроизма поглощения примесных молекул была собрана установка (рис. 1), базой которой являлся спектрофотометр «Спекорд М-40» 1, от выходной щели которого монохроматический луч проходил через поляризатор 2 и направлялся в световод 3, заполненный исследуемым материалом 4. Боковые поверхности световода выполнялись из стали ШХ-15 (прототип базовой стали современных подшипников скольжения) и отполировывались по высокому классу точности.

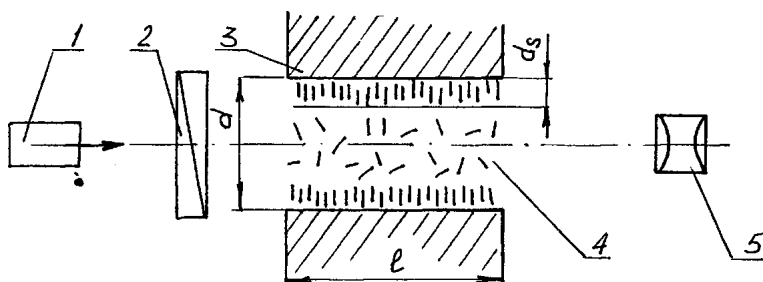


Рис. 1. Схема установки для исследования дихроизма поглощения примесных молекул

Ширина световода d изменялась в пределах $8 \div 30$ мкм и контролировалась микроскопически. На выходе из оптической системы помешалось фотоэлектрическое устройство 5, с помощью которого фиксировалась интенсивность света, прошедшего через световод. С помощью поляризатора можно было получать две поляризации падающего света: электрический вектор световой волны параллелен боковой поверхности световода (p -поляризация) или нормален к ней (n -поляризация). Для устранения менисковых эффектов передняя и задняя поверхности световода закрывались плоскими стеклянными пластинами. Поверхности световода и стеклянных пластин для исключения искажения получаемой информации предварительно очищались перегнанным бензином, парами эфира и пылью активированного угля.

Исследования дихроизма производились на длине волны, соответствующей максимуму полосы перехода примесных молекул, в качестве которых для алифатических жидкостей использовался краситель «Судан» (бензол-азобензол-азо-бета-нафтол), при концентрации $0,5 \div 3,0$ %.

Первоначально определялась зависимость интенсивности света, прошедшего через световод, заполненный чистой жидкостью, от его ширины, а затем производились аналогичные измерения для той же жидкости, но с введенными в нее примесными молекулами. Оптическая плотность D определялась соотношением

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

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.

Таким образом, с помощью вышеизложенного метода и последующей обработки экспериментальных результатов возможно получить информацию о параметре порядка, положении молекул и толщине граничного слоя для слоев, образованных на непрозрачных твердых подложках (металлах).

С помощью метода плоского световода переменной ширины можно также производить измерение оптической анизотропии граничного смазочного слоя.

Ориентационная упорядоченность молекул граничного смазочного слоя приводит к анизотропии их физических, в том числе опти-

ческих, свойств. В частности, такие упорядоченные фазы обладают оптической анизотропией, знак которой определяется типом ориентационной упорядоченности молекул, а величина зависит от степени ориентационной упорядоченности среды. Суть метода состоит в следующем.

Линейно поляризованный свет, проходя через оптически анизотропные ориентационно упорядоченные граничные смазочные слои жидкости, становится эллиптически поляризованным, что приводит к возникновению сдвига фаз δ между компонентами света, поляризованными параллельно и перпендикулярно плоскости падения световых лучей. Величина сдвига фаз пропорциональна ориентационной упорядоченности исследуемого материала и может измеряться с помощью экспериментальной установки, приведенной на рис. 2.

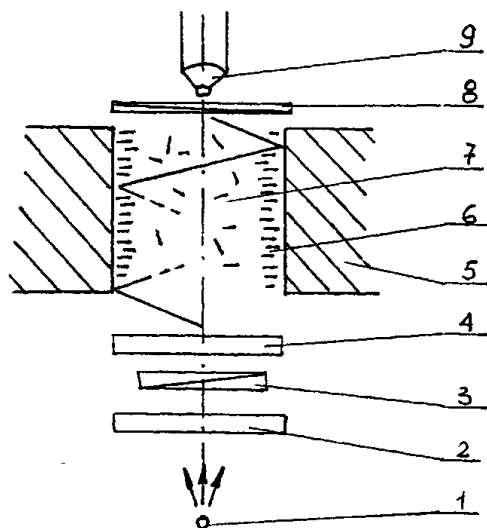


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для определения оптической анизотропии пристенных слоев

Исследуемый смазочный материал помещался во внутреннюю полость световода, образованного двумя параллельными плоскими полированными поверхностями (сталь ШХ-15). Ширина световода могла варьироваться в пределах $5 \div 100$ мкм и контролировалась микроскопически. Свет от источника (ртутной лампы ДРШ-100) 1 монохроматизировался фильтром 2 (с длиной волны $\lambda = 0,546$ нм), поляризовывался поляризатором 3 и слабо расходящимся пучком

направлялся на входной торец световода переменной толщины 5, предварительно проходя компенсатор 4. Световые лучи двигались в световоде по зигзагообразному пути, отражаясь от его стенок, и последовательно проходили ориентационно упорядоченные пристенные слои 6 и изотропную жидкость 7. Для исключения менисковых эффектов торцы световода прикрывались стеклами. Выходя из световода, свет попадал на анализатор 8 и далее направлялся в микроскоп 9. Боковые поверхности световода перед каждым измерением подвергались очистке пылью активированного угля, а стекла, используемые для прикрывания световода, обрабатывались кипящей хромовой кислотой, промывались бидистиллятом и высушивались.

Для определения сдвига фаз δ между компонентами E_p и E_s света, поляризованными параллельно и перпендикулярно плоскости падения световых лучей, для каждого фиксированного значения ширины световода определялся азимут погасания φ (угол поворота компенсатора от исходного положения, при котором интенсивность света на выходе минимальна). После чего величина δ находилась по выражению

$$\delta = \operatorname{arctg}(2 \sin 2\varphi).$$

При определении сдвига фаз, создаваемого оптически анизотропной граничной фазой, необходимо учитывать сдвиг фаз, вносимый в полученное значение из-за отражения от металлических стенок. Для этого предварительно производилось измерение сдвига фаз δ_b для световода с воздушным заполнением. После этого измерялся сдвиг фаз для световода, заполненного исследуемой жидкостью и вычислялось значение сдвига фаз δ_s , соответствующего оптической анизотропии пристенного слоя:

$$\delta_s = \delta - \frac{\delta_b}{n^2}, \quad (1)$$

где n — коэффициент преломления света в исследуемой среде.

Зависимость сдвига фаз δ от обратной ширины световода $1/d$ является линейной

$$\delta_s = \frac{2\pi}{\lambda} l d_s \Delta n_{cp} \frac{1}{d}, \quad (2)$$

где Δn_{cp} — усредненное значение оптической анизотропии пристенного слоя.

Решив (1) и (2) совместно, получим выражение для определения интегрального параметра $d_s \cdot \Delta n_{\text{ср}}$, характеризующего степень ориентационной упорядоченности пристенного слоя:

$$d_s \cdot \Delta n_{\text{ср}} = \frac{d\lambda}{2\pi l} \left(\delta - \frac{\delta_{\text{в}}}{n^2} \right), \quad (3)$$

где значения сдвига фаз при оптической анизотропии для световода, заполненного жидкостью δ и воздухом $\delta_{\text{в}}$, а также ширина световода d определяются экспериментально.

Существует методика определения типа ориентации молекул в пристенном слое (гомеотропно или планарно) с помощью измерений оптической анизотропии.

При гомеотропной ориентации ассиметричных (вытянутых) молекул жидкости в пристенном слое направление вектора-директора L и, соответственно, главной оптической оси анизотропного слоя, нормально боковым поверхностям световода. В этом случае, при повороте световода на $\pi/2$ вокруг оси, перпендикулярной световому лучу, взаимная перпендикулярность световых лучей и главной оптической оси сохранится неизменной и, поэтому, как величина сдвига фаз δ , так и значение параметра $d_s \cdot \Delta n_{\text{ср}}$ при таком вращении также не будет изменяться.

Иная картина в результате такого поворота световода в эксперименте будет наблюдаться при планарной ориентации молекул в рассматриваемом пристенном слое, при которой директор L и направление главной оптической оси параллельны поверхности твердой подложки. В этом случае, при повороте световода на $\pi/2$ взаимное расположение световых лучей и главной оптической оси пристенного слоя изменяется, а следовательно, изменяется значение сдвига фаз δ .

Таким образом, измерив оптические характеристики граничных смазочных слоев для судовых масел (как новых, так и находящихся в эксплуатации), можно делать выводы о его качественном состоянии (целесообразности применения в тех или иных трибоузлах, возможности дальнейшей эксплуатации, необходимости регенерации характеристик и т.д.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Большаков В.Ф., Решетников И.П., Яковенко В.Г. Рациональное использование природных ресурсов на морском транспорте. – М.: Транспорт, 1992. – 256 с.

2. Возницкий И.В., Пунда А.С. Судовые двигатели внутреннего сгорания. – СПб: МорКнига, 2010. – 260 с.
3. Сагин С.В., Поповский Ю.М., Гребенюк М.Н. Влияние ориентационной упорядоченности в граничных смазочных слоях на триботехнические характеристики узлов трения // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 1998. – № 1. – Одесса: ОГМА. – С. 102-104.

УДК 629.12.056: 621.431.74

Донской В.Г.
ОНМА

ОПТИМИЗАЦИЯ ОБЪЁМА ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО КОНТРОЛЯ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Качественный контроль судовой энергетической установки (СЭУ) из центрального поста управления (ЦПУ) требует информации о значениях нескольких сотен контролируемых величин. Практические трудности при обработке такого объёма контроля механиком-оператором очевидны (с точки зрения инженерной психологии и эргономики) и являются причиной ведущихся исследовательских работ по проблеме рациональной минимизации количественно-качественного состава контролируемых величин, выносимых в ЦПУ. Параллельно со сказанным остаётся и проблема аппаратурной реализации (обегающий контроль, мнемосхемы, АПС – аварийно-предупредительная сигнализация, приборы аналогово-цифровой индикации и т.п.)

Исследования по вышеупомянутой проблеме проводились на СЭУ отечественных транспортных теплоходов с главными малогабаритными дизелями (МОД) марки 6(7)ДКРН 74/160, которые показали, что каждая из контролируемых величин обладает определенной совокупностью неравноценных информационных признаков (свойств), которые могут быть ранжированы, например, следующим образом:

1. Динамическая характеристика контролируемой величины, влияние её на вероятность сложного аварийного события (необходимость остановки двигателя или перехода на условия аварийного режима).
2. Свойство контролируемой величины при «выбеге» за установленные пределы поля допуска качественно или количественно характеризовать признаки отказов элементов двигателя, её формирующих.
3. Характеристика изменения уровня технического состояния элементов или двигателя в целом с помощью измеряемых величин (параметров).
4. Способность контролируемой величины к саморегулированию в зависимости от изменения работы двигателя.
5. Определение степени загрузки двигателя (его механической или тепловой напряженности) по состоянию (величине) контролируемой величины.

6. Влияние изменения контролируемой величины на экономичность режима работы двигателя (на удельный эффективный расход топлива).
7. Свойство контролируемой величины характеризовать обеспеченность двигателя и его узлов рабочей средой в качественном и количественном отношениях.
8. Способность контролируемой величины характеризовать качество выработки энергии и некоторые другие информационные признаки.

Поскольку названные признаки (свойства) величин неравнозначимы, то контролируемые величины и формирующие их элементы СЭУ (двигателя) также неравнозначимы («разновесомы»). Если задаться определенным множеством элементов двигателя « F » и множеством формируемых ими контролируемых величин « L », то установив множество критериев сравнения их значимостей « Q », можно элементы и величины сравнить между собой по каждому критерию сравнения в отдельности или по некоторому обобщенному, установив, таким образом, отношения доминирования. При этом каждый из критериев сравнения должен быть качественным и вычислимым, а каждая его составляющая должна выражаться математически и меть понятный физический смысл. Так, например, для судового главного дизеля марки 6(7)ДКРН 74/160 было принято в качестве исходных данных: $F=72$; $L=102$, $Q=4$.

Рассмотрим валидность системы принятых для исследования технико-экономических критериев сравнения (K_1, K_2, K_3, K_4), приемлемых, на наш взгляд, для качественной оценки значимостей («весов») контролируемых величин.

Критерий K_1 — минимальное время безаварийного «выбега» контролируемой величины за пределы установленного поля допуска. Этот критерий характеризует динамические свойства объекта контроля и зависит от ряда факторов, важнейшими из которых являются: аккумулирующая способность объекта контроля (постоянная времени); величина возмущений (от 0 до 100%) внешних факторов, воздействующих на рабочий процесс двигателя; безопасный (безаварийный) диапазон (поле допуска) изменений контролируемой величины на экстремальных расчётных режимах эксплуатации двигателя.

Критерий K_1 , как известно из эксплуатации, тесно коррелирует с вероятностью отказа и возможностями механика-оператора свое-

временно вмешиваться в управление двигателем при отказе средств защиты или задержке ввода автоматического резерва. Известно также, что при классификации отказов объектов СЭУ по степени тяжести (ущерба) последствий всегда присутствует фактор времени, тесно коррелирующий с критерием K_1 . Очевидным является и то, что с увеличением K_1 уменьшается вероятность возникновения тяжелой аварии двигателя. Чем меньше критерий K_1 , тем более значима контролируемая величина (между этими понятиями обычно пропорциональная связь), что можно выразить такой зависимостью

$$\lambda_{jK_1} = K_{1j}^{-1} \left(\sum_{j=1}^L K_{1j}^{-1} \right)^{-1}, \quad (1)$$

где λ_{jK_1} — нормированная значимость j -ой величины контроля по критерию K_1 ; K_{1j} — абсолютное значение критерия K_1 для j -й величины контроля; L — перечень (множество) контролируемых величин.

Критерий K_{1j} может определяться расчетным путём или посредством обобщения статистических данных эксплуатации. Последний путь наиболее вероятен, ввиду влияния на K_{1j} множества различных технико-эксплуатационных факторов в их сложном взаимодействии.

Критерий K_2 — экономический.

Суммарная величина экономических потерь, связанных с восстановлением отказавших элементов двигателя, формирующих j -ю контролируемую величину, определяется выражением приведенных затрат

$$W_j = S_{1j} + S_{2j} + S_{3j} + E_H S_0, \quad (2)$$

где S_{1j} — трудозатраты на восстановление отказавших элементов двигателя, формирующих j -ю величину контроля; S_{2j} — стоимость расходуемых материалов и сменно-запасных частей по группе восстанавливаемых элементов двигателя, формирующих j -ю величину контроля; S_{3j} — потери (ущерб), связанные с простоем судна за периоды восстановительных операций по ремонту узлов и деталей двигателя (в море или у причала), формирующих j -ю величину контроля; E_H — нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений; S_0 — суммарная первоначальная стоимость отказавших элементов двигателя, формирующих j -ю величину контроля.

Нормализованная значимость j -й величины контроля по критерию K_2 определяется по выражению

$$\lambda_{jK_2} = W_j \left(\sum_{j=1}^L W_j \right)^{-1}. \quad (3)$$

Критерий K_3 — надёжностный.

В качестве критерия надёжности K_3 могут быть приняты такие показатели: вероятность отказа элемента двигателя за определенный промежуток времени; относительный коэффициент готовности или наработка на отказ. Наиболее удобным представляется (он же применен в рассматриваемом примере) групповой относительный коэффициент отказа, который может быть принят в качестве значимости контролируемой величины по критерию надёжности:

$$\lambda'_{jK_3} = n^{-1} \sum_{i=1}^f n_{ij}, \quad (4)$$

где n — общее количество отказов всех элементов двигателя за определенный интервал времени, формирующих исходное множество величин контроля; n_{ij} — число отказов i -го элемента двигателя за тот же интервал времени, формирующего j -ю величину контроля; f — число элементов двигателя, формирующих j -ю величину контроля.

Поскольку один и тот же элемент двигателя может формировать несколько контролируемых величин, то, естественно, что $\left(\sum_{j=1}^L \lambda'_{jK_3} \right) \neq 1$. Поэтому приведенная (нормированная) значимость контролируемой величины по критерию K_3 определяется по выражению

$$\lambda_{jK_3} = \lambda'_{jK_3} \left(\sum_{j=1}^L \lambda'_{jK_3} \right)^{-1}. \quad (5)$$

Критерий K_4 — информационный.

Причиной аварийного «выбега» контролируемой величины за пределы уставки (поля допуска) могут быть с различной вероятностью собственно двигатель (или его элемент), датчик, канал связи, преобразовательно-усилительное устройство или контролирующийся прибор.

Поэтому величина энтропии (степени неопределенности в причине аварийного выбега j -й величины) равна сумме частных энтропий названных компонентов. Вследствие сказанного представляется целесообразным моделировать информационный критерий j -й величины с точки зрения наибольшей априорной энтропии событий, их значимости по отношению к такому генеральному событию, как выход контролируемой величины за пределы установленного поля допуска (уставки). Для этой цели могут быть применены информационные критерии, в которых используют результаты операций измерения флюктуирующих величин и топологические методы определения функциональных связей между элементами двигателя и формируемыми величинами контроля. Интегральный информационный критерий Y_j может быть определен по выражению:

$$Y_j = Y_{cj} + Y_{эj} + Y_{mj}, \quad (6)$$

где Y_{cj} , $Y_{эj}$, Y_{mj} , соответственно, информационные критерии, учитывающие статистический (Y_{cj}), эвристический (семантический $Y_{эj}$) и метрологический (Y_{mj}) аспекты информации по j -й контролируемой величине.

Каждая составляющая критерия (6) имеет свою интерпретацию.

$$Y_{cj} = \sum_{i=1}^f \lambda_{0i} [P_i \log_2 P_i + (1 - P_i) \log_2 (1 - P_i)], \quad (7)$$

где λ_{0i} — обобщенная значимость («весомость») i -го элемента двигателя, формирующего j -ю величину; P_i — вероятность внезапного отказа i -го элемента двигателя, формирующего j -ю величину контроля; f — число элементов двигателя, формирующих j -ю величину контроля.

Критерий (7) содержит прагматическую характеристику (первый сомножитель) информации, определяющую ценность (значимость) количества информации, представленной статистической характеристикой (второй сомножитель).

В качестве λ_{0i} можно использовать выражение:

$$\lambda_{0i} = \lambda_{\phi i} \lambda_{Si} \lambda_{Qi}, \quad (8)$$

где $\lambda_{\phi i}$ — функциональная значимость i -го элемента в технической системе; λ_{Si} — экономическая значимость (по затратам на постройку и восстановление); λ_{Qi} — значимость по надежности.

Для определения функциональной значимости i -го элемента в технической системе (двигателя) $\lambda_{\phi i}$ могут быть использованы раз-

личные приёмы. Одним из них может быть графовый метод. В этом случае строится ориентированный граф доминирования или соответствующая ему квадратная матрица. При этом вершины графа соответствуют элементам двигателя, а ориентированные дуги — функциональным связям между ними. Если количество элементов двигателя F , то матрица имеет F^2 клеток, в каждую из которых заносится «1» (когда элемент двигателя превалирует по функционированию над сравниваемым) или «0» (при отсутствии такого доминирования). Для исключения нулевых рангов каждой вершине графа может быть придана петля, что делает отношения доминирования более ощутимыми. Ранг элемента двигателя r_i определяется суммой соответствующей строки матрицы, а приведенная (нормированная) значимость его по выражению

$$\lambda_{\Phi i} = r_i \left(\sum_{j=1}^F r_j \right)^{-1}. \quad (9)$$

Применение описанного приёма позволяет эксперту комплексно учитывать надёжностные, экономические и функциональные характеристики элемента двигателя для принятия решения о степени его «весомости» среди множества сравниваемых. Если $\lambda_{\Phi i}$ получены несколькими приёмами, то принимается среднее значение.

Определение λ_{Si} и λ_{Qi} в составе λ_{0i} производится по следующим выражениям:

$$\lambda_{Si} = (S_{\Pi i} + S_{B i}) \left[\sum_{i=1}^F (S_{\Pi i} + S_{B i}) \right]^{-1}, \quad (10)$$

где $S_{\Pi i}$ — стоимость постройки (изготовления и монтажа) i -го элемента двигателя; $S_{B i}$ — стоимость восстановления i -го элемента двигателя вследствие отказов за определенный (расчётный период времени).

$$\lambda_{Qi} = n_i \left[\sum_{i=1}^F n_i \right]^{-1}, \quad (11)$$

где n_i — число отказов i -го элемента двигателя за определенный (расчётный) период времени.

Критерий, учитывающий эвристический (экспертный) аспект информации, определяется по выражению:

$$Y_{\varphi j} = \sum_{\varphi=1}^z \lambda_{\varphi} \log_2 \{ \theta \}_u^{\varphi}, \quad (12)$$

где z — число условных иерархических уровней признаков, обуславливающих появление сложного события — «выбег» по j -й контролируемой величины за пределы поля допуска; φ — уровень графа — дерева связанных событий; $\{\theta\}_u^\varphi$ — число признаков θ в условном подмножестве φ -го уровня, характеризующих признак u -го события на $(\varphi - 1)$ уровне; λ_φ — значимость φ -го иерархического уровня событий (отказов элементов технической системы, «выбегов» контролируемых величин, включения резервных механизмов и т. д.)

Одна и та же первопричина любого φ -го уровня не должна быть связана более чем с одной первопричиной вышележащего уровня $(\varphi - 1)$. Такое допущение не всегда правомерно, но позволяет использовать критерий (12) для приближенных вычислений в инженерной практике. Если же пренебречь упомянутой условностью, то критерий (12) чрезмерно усложнится и не будет пригодным для практических расчётов.

Значение λ_φ можно получить по выражению:

$$\lambda_\varphi = 2(z + 1)^{-1}, \quad (13)$$

Критерий, учитывающий метрологический аспект информации, определяется по выражению:

$$Y_M = \log_2 \frac{V_{mj}}{|V_j|}, \quad (12)$$

где V_{mj} — максимально допустимое значение j -й величины; V_j — поле допуска (уставка) этой величины.

Критерий (14) позволяет получить априорно наибольшее количество информации, которое может дать j -я величина в результате её измерения. На стадии технического проектирования двигателя необходимо обоснованно задать V_j . Как видно из выражения (14), чем меньше V_j , тем больше Y_{mj} , а, следовательно, и значимее контролируемая величина, т.е. более вероятной становится необходимость в централизованном контроле.

С ростом надежности элементов двигателя имеет место уменьшение:

- критерия (7) за счёт уменьшения P_i и некоторого уменьшения λ_{0i} ;
- критерия (12) благодаря смещению элементов технической системы вверх по уровням графа-дерева (появится больше рав-

нонадёжных элементов); при этом $\log_2 \{\theta\}_u^{\Phi}$ существенно уменьшается, хотя λ_{Φ} незначительно возрастёт;

- критерия (14) из-за роста V_j , так как надежнее становится объект контроля и его элементы;
- критерия (6), использование его для расчета необходимого состава контролируемых величин совместно с критериями K_1, K_2, K_3 представляется допустимым.

Значимость j -й контролируемой величины по критерию K_4 может быть определена по выражению:

$$\lambda_{jK4} = Y_j \left(\sum_{j=1}^L Y_j \right)^{-1}, \quad (15)$$

где Y_j – см. выражение (6).

Критерии сравнения K_1, K_2, K_3, K_4 неравнозначимы из-за их разнородности. Поэтому средневзвешенная (комплексная) значимость j -й величины контроля в ряду сравнения может быть определена с учётом дифференциальной значимости этих критериев по выражению

$$\overline{\lambda}_j = \sum_{r=1}^q \lambda_{jr} \delta_r, \quad (16)$$

где λ_{jr} — значимость j -й величины по r -му критерию сравнения $\left(\sum_{r=1}^q \lambda_{jr} = 1 \right)$; q — количество критериев сравнения (K_1, K_2, K_3, K_4);

δ_r — «весомость» r -го критерия сравнения $\left(\sum_{r=1}^q \delta_r = 1 \right)$

Из данных технической литературы известно, что эксперты при оценке значимостей контролируемых величин сложных систем на первое место ставят надёжный критерий (K_3), на второе — экономический (K_2), на третье — информационный (K_4), а далее другие частные критерии, адекватные целям и объектам исследования. Поэтому в рассматриваемом случае критерий (K_1) поставлен на четвертое место по убыванию значимости.

В связи с упомянутым в расчетах по главному дизелю отечественных теплоходов 6(7)ДКРН 74/160 было принято: $\delta K_1 = 0,1$; $\delta K_2 = 0,3$; $\delta K_3 = 0,4$; $\delta K_4 = 0,2$.

Первый пробный анализ, основанный на использовании описанных критериев сравнения и их «весомостей», показал следующий результат.

В качестве исходного перечня контролируемых величин по судовому МОД марки 6(7)ДКРН 74/160 экспертным способом было назначено изначально для контроля 102 величины, формируемые 72 элементами двигателя. В результате исследования с помощью рекомендуемых критериев сравнения были определены средневзвешенные значимости контролируемых величин по выражению (16).

В ряду сравнения была вычислена наиболее значимая величина $\bar{\lambda}_{j\max}$ (виброакустический параметр двигателя – дизеля), с которой сравниваются средневзвешенные значимости остальных величин контроля.

С надежностью расчёта более 90 % к централизованному контролю могут быть отнесены величины, у которых $\bar{\lambda}_j = (0,1 \div 1,0) \bar{\lambda}_{j\max}$, а к местному — у которых $\bar{\lambda}_j < 0,1 \bar{\lambda}_{j\max}$.

В итоге, по главному двигателю 6(7)ДКРН 74/160 рекомендовано контролировать посредством централизованного контроля 42 величины (параметра), включая предписываемые правилами постройки и классификации судов. В практике эксплуатации отечественных теплоходов общее количество наименований контролируемых величин по главным двигателям и обслуживающим их системам колеблется в пределах 50÷75.

Заключение

1. Рассмотренная совокупность критериев сравнения ($K_1 \div K_4$) может быть использована для рациональной минимизации объёма контроля из ЦПУ множества разнородных величин многопараметрических объектов дизельных энергетических установок.
2. Решение об отнесении контролирующей величины к определенной сфере контроля рекомендуется принимать в соответствии со следующими экспериментально полученными стохастическими зависимостями: $\frac{\bar{\lambda}_j}{\bar{\lambda}_{j\max}} = (0,1 \div 1,0)$ — контроль централизованный; $\frac{\bar{\lambda}_j}{\bar{\lambda}_{j\max}} < 0,1$ — контроль мест-

- ный, эпизодический (не более одного раза в течение 12 часов функционирования объекта).
3. Применение описанной методики в техническом проектировании систем централизованного контроля позволяет проектировщикам более обоснованно назначать объёмы контроля, тем более сверхнормативные (сверх рекомендуемых Морским Регистром), если учитывать периодическое совершенствование конструкций механизмов и их узлов, изменение эксплуатационной надёжности и первоначальных капитальных вложений, динамику рабочих и экстремальных режимов и меняющиеся при этом потоки информации, поступающие к механика-оператору центрального поста управления (ЦПУ).
 4. Виды аппаратурной реализации контроля из ЦПУ представляют самостоятельную задачу и в настоящей работе не рассматриваются.
 5. Главной тенденцией проектирования объёмов централизованного контроля (равно как и автоматических защитных устройств) является антропоцентрическая, то есть поддержка механика-оператора в экстраординарных ситуациях, представление ему релевантной информации для упреждения тяжёлых отказов, существенно влияющих на безопасность мореплавания.

УДК 621.431.74

Слободянюк И.М., Молодцов Н.С., Голобородько В.Н.,
ОНМА

ВЛИЯНИЕ ИЗНОСА СОПРЯЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ЦПГ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПОСЛЕ РЕМОНТА

Повышение надежности судовых малооборотных дизелей (МОД) является важной задачей, так как они наиболее распространенные на транспортных судах.

Ресурс судовых дизелей после заводского ремонта определяется работоспособностью восстановленных сопряженных деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ) [1]. Однако до настоящего времени нет критериев, предъявляемых к технологиям ремонта в связи с изменившимися условиями эксплуатации деталей. Так, значительное увеличение мощности двигателей привело к изменению доминирующего вида изнашивания. Вместо коррозионного изнашивания в двигателях малой мощности в современных двигателях преобладает адгезионное изнашивание. Увеличение мощности привело к увеличению напряжений в уплотнительных кольцах. Появились новых факторы увеличивающие эти напряжения.

Малоизученным является влияние износа торцов канавок ГП и втулок цилиндров, а также мощности двигателя на скорость изнашивания и поломки первого уплотнительного кольца, испытывающего самые большие механические и тепловые нагрузки. Установление этих данных позволит увеличить долговечность судовых дизелей после ремонта путем выработки критериев предъявляемых к технологиям ремонта деталей.

Цель работы – исследование влияния величины и характера износа сопряженных деталей ЦПГ на процесс разрушения первого компрессионного кольца МОД.

На практике наблюдаются две основные причины отказов ЦПГ: износ торцов канавок головок поршней (ГП) и поломка уплотнительных колец. Как правило, эти две причины отказов рассматриваются отдельно, без учета влияния технического состояния всех сопряженных деталей на долговечность узла ЦПГ.

Поршневые кольца испытывают статические и динамические нагрузки, складывающегося из конструктивного изгибающегося усилия в цилиндре, нагрузки от давления газов, сил трения, действующим по окружности и торцам колец, а также от радиальных осевых колебаний.

Анализ литературы посвященной эксплуатации колец [2-5]. показывает, что главной причиной поломки колец является нарушение процессов смазывания сопряжения «втулка-кольцо» при движении поршня. Ухудшение условий смазывания, приводит к скачкообразному изменению силы трения приложенной к кольцу, адгезионному схватыванию и его разрушению [6].

Наибольшие нагрузки испытывает первое компрессионное кольцо при ударах во время сгорания топлива в области ВМТ, что приводит к значительному увеличению напряжения в кольце как в радиальном, так и в осевом направлении.

Анализ литературы по расчету напряжений в поршневых кольцах показывает, что в основном исследования посвящены расчету статических напряжений определяемых их собственной упругостью [2, 5-7]. При расчете напряжений в кольцах учитываются только силы нормального давления кольца на цилиндрическую втулку. Ухудшение параметров работы и уменьшение эффективного КПД двигателя в зависимости от величины износа сопряжения «компрессионное кольцо–канавка поршня» и от потери упругости и «залегания» колец исследовано в работе [5]. Влияние овальности цилиндрической втулки на увеличение динамических напряжений в поршневом кольце возникающих в радиальном направлении за счет прогиба кольца под действием газов в заколочном пространстве исследовано в работе [7].

При этом, величина изнашивания втулок цилиндров и характерные особенности износа канавок ГП как новых, так и после заводского ремонта вообще не учитываются при изучении напряжений в кольцах [3,5]. Потому важным и актуальным является определение и учет суммарных статических и динамических напряжений в первом поршневом кольце от величины износов цилиндрических втулок и канавок ГП. Необходима выработка рекомендаций по восстановлению работоспособности и повышению долговечности узла ЦПГ при заводском ремонте двигателя

Анализ работы поршневых колец показывает, что величину напряжений в поршневом кольце во время работы двигателя, можно представить как сумму:

- статических напряжений, зависящих от упругости кольца;
- динамических напряжений, возникающих при работе двигателя в результате действия всех прочих сил – нагрузки от давления газов, сил трения, действующим по окружности и торцам колец, а также от радиальных осевых колебаний.

Динамические напряжения, в свою очередь, можно представить как сумму напряжений в радиальном направлении, вызванных прогибом кольца во втулке, имеющей овальность и напряжений в осевом направлении от сил давления газа, трения и инерции.

При описании причин изнашивания и поломки ПК обычно рассматривают отдельно либо сопряжение «кольцо–канавка», либо «кольцо–втулка цилиндра» [5,7]. Такой подход не позволяет учесть взаимное влияние величины и особенностей износа сопряженных деталей ЦПГ на их ресурс. Быстрое изнашивание и характерная форма изношенного нижнего торца первой канавки головок поршней (рис.1) по нашему мнению, – одна из главных причин частых поломок верхнего компрессионного кольца. Впервые попытка учесть форму износа нижних торцов канавок на напряжения в кольце сделана в работе [8].

При увеличении общего износа торца канавки происходит увеличение степени изнашивания к периферии канавки, то есть, конусности, как показано на рис 1.

Замеры величины износа кольца дизеля МАН, при достижении предельно-допустимой величины зазора в канавках ($0,9 \div 1,1$ мм), показывают, что скорость изнашивания кольца в два раза меньше, чем канавки и составляет 0,2 мм, при изнашивании канавки 0,4-0,5 мм. (Величина установочного зазора 0,3- 0,34 мм.).

Заметим, что согласно судовой документации по эксплуатации дизеля, замеры величины зазора в канавке ГП в осевом направлении проводятся при обязательном достижении щупом дна канавки. Поэтому увеличенный осевой износ канавки к периферии ГП, то есть конусность, при эксплуатации не учитывается и в судовую документацию не заносится (рис. 1).

В отличие от существующих, предлагается подход, в котором рассматривается сопряжение из трех элементов «втулка цилиндра–кольцо–головка поршня».

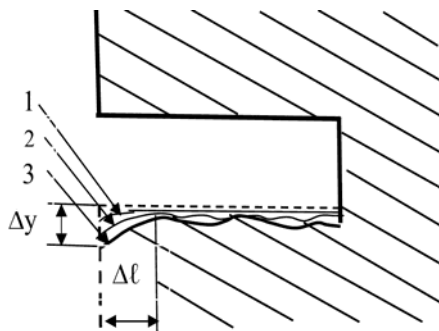


Рис 1. Профиль изнашивания нижнего торца верхней канавки ГП МОД: 1, 2, 3 Δy – увеличение осевого изнашивания при общем увеличении износа торца канавки; $\Delta \ell$ – глубина увеличенного износа перемычки.

В радиальном направлении:

- сила собственной упругости кольца, прижимающая его к рабочей поверхности цилиндра;
- давление газов со стороны заколочного пространства;
- сила трения на торце кольца о поверхность канавки ГП.

В осевом направлении:

- давление газов на верхний торец кольца P , прижимающее кольцо к нижнему торцу канавки;
- сила трения $F_{тр}$, всегда направленная в сторону обратную движения поршня;
- сила инерции F_i .

При ударе, во время сгорания топлива, увеличение момента силы происходит за счет увеличения плеча силы от 1 мм в новом цилиндре и новой головке поршня, до 10-12 мм в изношенных деталях ($\Delta d = 3-4$ мм износ втулки и $\Delta \ell = 5-7$ мм глубина увеличенного осевого износа перемычки ГП имеющей форму конуса (рис. 2).

Обследованием изношенных ГП и цилиндрических втулок в количестве более 230 штук установлено, что увеличение диаметра цилиндрической втулки в результате изнашивания находится в пределах 1÷5 мм, а увеличение осевого износа нижнего торца канавки достигает 30% глубины канавки и находится в пределах $\Delta u = 0,5 \div 1,50$ мм.

Наблюдением колец при эксплуатации дизелей, практически всех модификаций установлено, что на верхних кольцах около нижней кромки по всей длине поверхности кольца имеют блестящую полоску, что является результатом прогиба кольца в поперечном сечении от сил давления газов и деформации перемычек ГП.

Изнашивание нижнего торца перемычки в форме конуса приводит к увеличению момента силы давления газов при сгорании топлива. В зависимости от величины износа и конусности опорной поверхности этот момент силы может увеличиваться в несколько раз.

При расчетах механические свойства колец взяты из табл. 1.

Выполненные нами расчеты напряжений совпадают с расчетами выполненными методом конечных элементов в работе [8,9]. Например, при нормальном положении кольца в новой втулке и новой головке поршня эквивалентные динамические напряжения (механические и температурные) в радиальном направлении не превышают 22–25 МПа, а в осевом 25-30 МПа.

Расчеты напряженно-деформационного состояния кольца установленного в максимально изношенную канавку ГП возрастают в

несколько раз и могут превысить предел прочности чугуна в несколько раз.

Таблица 1. Характеристика материала колец фирмы "Дарос" [3].

Характеристика	Марка материала		
	R	RS	RAK
Материал	Нелегированный специальный чугун	Специальный легированный чугун	Специальный легированный чугун
Структура	Перлитная	Перлитная	Перлитная
Присадки	Нет	Медь, молибден, никель	Медь, ванадий титан
Модуль упругости, кг/мм ²	10500	11500	11500
Прочность на изгиб, МПа	500	550	550
Твердость по Бринеллю	195	205	210

Например, расчеты, выполненные методом конечных элементов, показывают, что при увеличении зазора между кольцом и канавкой до максимального (0,9 мм) при увеличении конусности канавки $\Delta u=0,50$ мм, суммарные напряжения в кольце увеличивались до 600-650 МПа, что превышает предел прочности чугуна. Это позволило определить максимально допустимую величину конусности, которая равняется $\Delta u=0,45$ мм. Изложенное выше подтверждается экспериментальными данными, полученными при подконтрольной эксплуатации дизеля МАН. На три поршня, имеющих разную степень и форму износа верхних канавок были установлены уплотнительные кольца ремонтного размера. Уже при обкатке, на двух поршнях произошла поломка верхнего кольца, несмотря на обильную, почти в два раза увеличенную подачу смазки, исключаяющую вероятность поломки колец из-за увеличения сил трения между кольцом и втулкой.

При увеличении выработки втулки напряжение в кольце увеличивается и при изнашивании на $\Delta d = 3$ мм поломка колец возможна уже при $\Delta u=0,40$ мм.

Особый интерес представляют крэйцкопфные двигатели в которых наблюдается неравномерный износ по окружности торца канавки. Известно, что увеличенный износ канавки и втулки цилиндра происходит в направлении левый борт–корма [8].

Обследованием 28 штук изношенных головок поршней «Бурмейстер и Вайн» на парамах т/х «Герои Плевны» и т/х «Герои Шипки», поступивших на ремонт, установлено следующее. На всех ГП нижние торцы канавок покрыты гальваническим хромом, то есть эти детали поступили в ремонт впервые. Сплошной слой хрома на нижних торцах первых двух канавок сохранялся по правому борту, в то время как по левому борту хромовое покрытие было в виде небольших пятен, либо вообще отсутствовало. Замеры конусности канавок показали, что по правому борту она составляет 0,1-0,15 мм, в то время когда левый борт-корма из-за катастрофического изнашивания конусность в несколько раз больше и увеличивается одновременно с общим изнашиванием нижнего торца. Максимальное значение конусности достигало 1,5 мм.

Замерами твердости изношенных нижних торцов канавок установлено, что она составляет HRC 40-42, в то время когда гальванический хром имеет твердость более HRC 70.

Отсюда следует, что повышение твердости упрочненного слоя нижних торцов канавок при ремонте является существенным фактором повышения работоспособности не только головок поршней но и поршневых колец.

Второй вывод заключается в следующем. Толщина хромового покрытия, ограниченная появлением и ростом дендритов, составляет 0,25 мм и определяет ресурс ГП. Для увеличения долговечности как новых, так и ремонтируемых ГП кроме высокой твердости необходимо увеличить толщину упрочненного слоя до 1,2-1,5 мм. Это позволит не только увеличить ресурс ГП, но также увеличить долговечность поршневых колец за счет уменьшения конусности торцов, а следовательно уменьшению динамических напряжений в них.

Выводы.

Износ канавок ГП и втулки цилиндра значительно увеличивают динамические напряжения в первом уплотнительном кольце, приводящем к их ускоренному изнашиванию и разрушению. В зависимости от величины износа деталей, динамические напряжения могут увеличиваться и на порядок превышать теоретический предел прочности.

Основной вклад в динамические напряжения в кольце дает неравномерный износ нижней опорной поверхности канавок ГП (имеющий форму конуса);

Критерием потери работоспособности поршневых колец ГП из-за их функционального отказа (поломки), является величина осевого износа периферии торцов нижних перемычек ГП на величину 0,45 мм по отношению к плоскости перемычки.

Причиной ускоренного изнашивания и формы изнашивания канавок ГП в форсированных дизелях является недостаточная твердость нижних торцов канавок ГП, а также малая глубина упрочнения (например, толщина гальванического хрома 0,25 мм).

Твердость и глубина упрочненного слоя нижних торцов верхних канавок ГП являются параметрами, позволяющими управлять ресурсом уплотнительных колец судовых дизелей.

Для уменьшения вероятности поломок поршневых колец в форсированных дизелях необходима разработка технологии ремонта и упрочнения торцов канавок ГП, обеспечивающая твердость поверхности HRC54-57 (и более) и глубину упрочненного слоя не менее $1,2 \div 1,5$ мм.

При повторном поступлении на ремонт ГП у которых твердость нижних торцов канавок HRC54 и более, а глубина упрочнения 1,5-2 мм рекомендуется выполнить шлифование торца, а работоспособность детали восстановить установкой уплотнительных колец ремонтного размера.

При проведении плановых осмотров и моточисток надо проводить измерение профиля износа нижнего торца первой перемычки с занесением данных в судовую документацию для учета при определении остаточного ресурса цилиндропоршневой группы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сторожев В.П. Причины и закономерности постепенных отказов основных триботехнических объектов энергетической системы судна и повышения их ресурса. – Одесса, 2001. - 341 с.
2. Семенов В.С. Теплонапряженность и долговечность цилиндропоршневой группы судовых дизелей. – М.: Транспорт, 1977. – 182 с.
3. Возницкий И.В. Практические рекомендации по смазке судовых дизелей. – СПб., 2005. –135с.
4. Ханмамедов С.А., Слободянюк Д.И. Особенности процессов трения поршней компрессоров холодильных машин. Мат. 1-й междунар. науч.-техн. конф. "Холод в энергетике и на транс-

- порте: современные проблемы кондиционирования и рефрижерации". – Николаев: НУК, 2008. – С. 271.
5. Элементы системы автоматизированного проектирования ДВС. Под ред. д-ра техн. наук, проф. Р.М. Петриченко. – Ленинград, 1990. 326 с.
 6. Устинов А.Н. Исследование поршневых колец дизелей. – Изд. Саратовского ун-та, 1974. – 124 с.
 7. Энглиш К. Поршневые кольца. – М.: Машгиз, 1962. – т 1.
 8. Харин В.А., Подушкин С.И., Николаев Б.Е., Дальман М.С., Флориантская М.В. Повышение работоспособности головок поршней двигателей МАН K8Z70/120E // Морской транспорт. „Судоремонт”. – 1988. – Вып. 15 (604). – С. 1-16.

РЕФЕРАТЫ

УДК.629.123

Коллегаев М.А., Карьянский С.А., Маслов В.А., Осташко Е.А. Совершенствование земснарядов путем модернизации технологического процесса обработки пульпы // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2010. – № 26. – Одесса: ОНМА. – С. 57-67.

Рассмотрена новая технология сепарации грунтовой пульпы в условиях работы земснаряда. Описаны результаты теоретических и натурных экспериментов. Приведены основные судовые технологические схемы монтажа сепаратора грунта.

Ил. 7. Библ. 5.

Kolegaev M.A., Karyanskyi S.A., Maslov V.A., Ostashko E.A. Dredgers' Improvement by Means of Technological Process Modernization of Pulp Refinement // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2010. – No 26. – Odessa: ONMA. – P. 57-67.

A new technology for soil pulp separation in dredger's work conditions in the paper considered. The results of theoretical and physical experiments are described. There are indicated ships primary technological schemes for soil separator development.

Fig. 7. Bibl. 5.

Корх М.В. Управління самостійною та індивідуальною роботою курсантів (студентів) // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2010. – № 26. – Одесса: ОНМА. – С. 110-115.

У статті обґрунтовується процес управління самостійною та індивідуальною роботою курсантів (студентів) протягом навчання у ВНЗ.

Бібл. 8.

Korkh M.V. Control of unsupervised and private work of cadets (students) // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2010. – No 26. – Odessa: ONMA. – P. 110-115.

Necessity of accounting students' typological peculiarities in the process of the direction independent and individual work in the article is substantiated.

Bibl. 8.

УДК 621.822

Хлопенко Н.Я., Кириченко А.С. Статические характеристики винтоканавочного подпятника // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – Вып. 25 – Одесса: ОНМА. – 2010. – С. 116-125.

Разработана термогидродинамическая теория смазки и получены аналитические зависимости для статических характеристик винтоканавочных подпятников.

Ил. 4. Библ. 3.

Khlopenko N.Y., Kyrychenko A.S. Static Characteristics of an Axial Bearing with Screw Cutting // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2010. – No 26. – Odessa: ONMA. – P. 116-125.

The thermohydrodynamic theory of greasing is developed and analytical dependences for static characteristics of an axial bearing with screw cutting are received.

Fig. 4. Bibl. 3.

УДК 621.313.9

Савенко А.Е. Результаты экспериментального исследования режимов работы судовой электроэнергетической системы парома "Ейск" // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – Вып. 25 – Одесса: ОНМА. – 2010. – С. 126-132.

Рассмотрена электроэнергетическая установка парома "Ейск", приведены результаты экспериментальных исследований и анализ ее работы в различных режимах.

Ил. 9. Библ. 5.

Savenko A.Y. Results of Working Modes Experimental Research of "Yeysk" Ferry Electric Power Plant // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2010. – No 26. – Odessa: ONMA. – P. 126-132.

Electric power plant of "Yeysk" ferry is considered; results of experimental researches of its work at various modes are resulted and analyzed.

Fig. 9. Bibl. 5.

УДК 621.431.74-242.44

Ханмамедов С.А., Пизинцали Л.В. Совершенствование эксплуатационных характеристик крещкопфных подшипников судовых малооборотных дизелей // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – Вып. 25 – Одесса: ОНМА. – 2010. – С. 134-142.

В хронологической последовательности рассмотрено совершенствование эксплуатационных характеристик изменением конструкции и используемых антифрикционных материалов в крещкопфных подшипниках судовых малооборотных двигателей.

Ил. 6. Библ. 4.

Khanmamedov S.A., Pizintsali L.V. Perfection of Crosshead Bearing Characteristics of Low-Speed marine Diesel Engine // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2010. – No 26. – Odessa: ONMA. – P. 134-142.

In chronological sequence, consider improving the performance of the change of design and materials used in antifriction bearings in the cross-head marine low-speed engines.

Fig. 6. Bibl. 4.

УДК 621.431.74 – 185.3

Добровольский В.В., Ханмамедов С.А. Подготовка вязких топлив судовых малооборотных двигателей // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – Вып. 25 – Одесса: ОНМА. – 2010. – С. 153-161.

Определены энергетические затраты на подготовку высоковязких топлив которые соответствуют требованиям Директивы Европейского Парламента 2005/33/ЕС.

Ил. 4. Библ. 5.

Dobrovolsky V.V., Khanmamedov S.A. High Viscosity Fuel Preparation of Low Speed Diesels // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2010. – No 26. – Odessa: ONMA. – P. 153-161.

Expenditure of energy for preparation of high viscosity fuels that meet the demands of European Parliament Directive 2005/33/EC was determined.

Fig. 4. Bibl. 5.

УДК 629.12

Завьялов А.А., Небеснов В.В. Режимы работы пропульсивной установки судна в условиях мелководья // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – Вып. 25 – Одесса: ОНМА. – 2010. – С. 162-167.

Рассматриваются особенности режимов работы пропульсивной установки судна в условиях мелководья. Дано обоснование и расчет минимальных глубин мелководья. Показан практический метод определения допустимого режима работы главного двигателя без перегрузки в этих условиях.

Табл. 1. Ил. 5. Библ. 4.

Zavyalov A.A., Nebesnov V.V. Working Modes of Ship Propulsion System in Shallow Water Conditions // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2010. – No 26. – Odessa: ONMA. – P. 162-167.

The features of working modes of ship propulsion system in shallow waters are considered. The minimal depth is validated and calculated. Practical method of estimation acceptable working mode of main diesel in such conditions without overloading is presented.

Tabl. 1. Fig. 5. Bibl. 4.

УДК 629.12.06:628.84

Цюпко Ю.М., Абудура Салам Новые подходы к проектированию судовых систем комфортного кондиционирования воздуха с точки зрения физиологии человека // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – Вып. 25 – Одесса: ОНМА. – 2010. – С. 162-167.

Анализ физиологических аспектов человека в процессах теплообмена в судовых системах кондиционирования воздуха и их экспертиза позволили уточнить и получить патент №31702 от 25.04.2008 «Система теплового контроля автономных модулей жилья» и патент «Волокно – оптический пирометр» №37172 с 7.11. 2008

Ил. 3. Библ. 8.

Tsyupko Y.M., Abudura Salam New Approaches to Designing Ship Systems for Comfortable Air Conditioning from the Point of View of Physiology of a Person // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2010. – No 26. – Odessa: ONMA. – P. 162-167.

The Analysis of physiological aspects of the person in the processes of thermo exchange in ship air conditioning systems and their examination has allowed to elaborate and get a patent №31702 from April 25, 2008 "System of thermal control of autonomous habitation modules" and zaten "Fiber-optical pyrometer" №37172 from November 7, 2008.

Fig. 3. Bibl. 8.

УДК 629.12.06: 620.197.181

Абрамов В.А. Совершенствование режимов и повышение эксплуатационной эффективности судовых электролизерных противообрастающих систем путем

управления карбонатным равновесием морской воды // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – Вып. 25 – Одесса: ОНМА. – 2010. – С. 75-100.

Проведен подробный анализ работы систем предотвращения обрастания, основанных на электролизном хлорировании морской воды. Предложен ряд технологических и конструктивных решений по усовершенствованию судовых электролизных систем с целью повышения их эксплуатационной эффективности. Табл. 3, Ил. 5, Библ. 20.

Abramov V.A. Modes Perfection and Increase of Operational Effectiveness of Shipboard Electrolytic Cell Antifouling Systems by Sea Water Carbonate Equilibrium Control // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2010. – No 26. – Odessa: ONMA. – P. 75-100.

The work of antifouling systems based on electrolytic sea water chlorination is analyzed in details. A number of technologic and constructive decisions on improvement of shipboard electrolytic systems aiming the increase of their operational effectiveness. Tabl. 3, Fig. 5, Bibl. 20.

УДК 621.313.322.07

Тумольский А.П., Щербинин В.А. Усовершенствование регуляторов напряжения для судовых синхронных генераторов // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2010. – № 26. – Одесса: ОНМА. – С. 101-108.

Исследованы особенности работы управляемого и не полностью управляемого силового каскада. Произведен сравнительный анализ АРН, реализующих PID-закон регулирования и комбинированного АРН с каналом управления по отклонению в виде канала форсировки и дефорсировки возбуждения.

Рис. 8. Библ. 9.

Tumolsky A.P., Shcherbinin V.A. Perfection of Voltage Regulators for Marine Synchronous Generators // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2010. – No 26. – Odessa: ONMA. – P. 101-108.

Operation features of controlled and semicontrolled power cascade were investigated, the method of support for keeping necessary short-circuit currents by the deviation principal with the help of additional bloc in an excitation system were investigated. Automatic load governor with PID-regulating law and combined one with the command link by deviation in the form of forcing and deforcing excitation channel were compared. Mathematical models and the results of modeling are presented.

Fig. 8. Bibl. 9.

УДК 621.565.945

Тарик Хоссейн, Колиев И.Д. Методика расчета воздухоохладителя судовой холодильной установки // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2010. – № 26. – Одесса: ОНМА. – С. 109-115.

Предложены методики конструктивного и теплового расчета воздухоохладителя судовой холодильной установки и дан сравнительный анализ.

Библ. 3

Tarik Hossein, Koliyev I.D. Analytical Methods for Computing the Ship Air-Cooler Device // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2010. – No 26. – Odessa: ONMA. – P. 109-115.

The analytical methods for computing the heat balance for ship air-cooler device are suggested and comparison of methods is done.

Bibl. 3.

УДК 621.436.004.1

Сагин С.В., Мацкевич Д.В. Оптические характеристики граничных смазочных слоев масел, применяемых в циркуляционных системах судовых дизелей // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2010. – № 26. – Одесса: ОНМА. – С. 116-125.

Рассмотрены методы оптического определения характеристик смазочных материалов, используемых в циркуляционных системах судовых дизелей. Предложен вариант диагностирования состояния смазочного материала по его оптическим характеристикам.

Ил. 2. Библ. 3.

Sagin S.V., Matskevich D.V. Optical Characteristics of Lube Oil Boundary Layers Used in Circulation Lubrication Systems of Marine Diesels // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2010. – No 26. – Odessa: ONMA. – P. 116-125.

The methods of optical estimation of boundary layer characteristics of lube oils used in circulation lubrication systems of marine diesels are considered. The variant of lube oil state diagnosing by its optical characteristics is suggested.

Fig. 2. Bibl. 3.

УДК 629.12.056: 621.431.74

Донской В.Г. Оптимизация объема централизованного контроля судовой энергетической установки // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2010. – № 26. – Одесса: ОНМА. – С. 126-135.

Методика по рациональной минимизации объемов централизованного контроля многопараметрических объектов энергетических установок судов.

Donskoy V.G. Optimization of Centralized Inspection Degree of Marine Power Plant // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2010. – No 26. – Odessa: ONMA. – P. 126-135.

The method of rational minimization of centralized inspection degree of multivariate objects of marine power plant is considered.

УДК 621.431.74

Слободянюк И.М., Молодцов Н.С., Голобородько В.Н. Влияние износа сопряженных деталей цилиндропоршневой группы на долговечность судовых МОД. // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2010. – № 26. – Одесса: ОНМА. – С. 136-144.

Представлены результаты исследования влияния износа сопряженных деталей цилиндропоршневой группы – головок поршней и цилиндрических втулок на напряжения и поломку верхнего поршневого кольца судовых МОД. Разработаны рекомендации по ремонту головок поршней, повышающих надежность цилиндропоршневой группы.

Ил. 2. Библ. 9.

Слободянюк И.М., Молодцов Н.С., Голобородько В.Н. Влияние износа сопряженных деталей цилиндропоршневой группы на долговечность судовых МОД. // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2010. – No 26. – Odessa: ONMA. – P. 136-144.

Представлены результаты исследования влияния износа сопряженных деталей цилиндропоршневой группы – головок поршней и цилиндрических втулок на напряжения и поломку верхнего поршневого кольца судовых МОД. Разработаны рекомендации по ремонту головок поршней, повышающих надежность цилиндропоршневой группы.

Fig. 2. Bibl. 9.

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 оформлять стилем Заголовок 1, кегль 11 пт, без переноса, все прописные, интервал: перед — 8 пт, после — 2 пт.

Иллюстрации, подготовленные в графических редакторах, дополнительно прилагаются на 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: seu@ma.odessa.ua

Судовые энергетические установки:
научно-технический сборник.
Выпуск 26.

Подписано к печати 27.11.2010. Формат 60×84/16.
Уч.-изд. л. 8,30. Тираж 100. Зак. № И-7-12-47.

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