Міністерство освіти і науки України
Одеська національна морська академія

Одеське відділення інституту морської техніки, науки і технології
(Великобританія)

МАТЕРІАЛИ

Науково-технічної конференції на тему
" МОРСЬКИЙ ТА РІЧКОВИЙ ФЛОТ: ЕКСПЛУАТАЦІЯ І РЕМОНТ"

24.03.2015 – 25.03.2015

Частина 1

Одеса – 2015

Матеріали науково-технічної конференції " Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт ", 24.03.2015 – 25.03.2015. Частина 1. – Одеса: ОНМА, 2015. –261 с.

Матеріали публікуються згідно з поданими авторами оригіналами.

© Одеська національна морська академія, 2015

ЗМІСТ

ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ 6

Миюсов М.В. Перспективы подготовки офицеров торгового флота в Украине 6

Голиков В.А., Голиков В.В. Особенности управления информацией оператором транспортной эргатической системы 14

ДВИГУНИ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ 20

Половинка Э.М., Ткач Ю.И. Образование оксидов азота в дизелях и метод каталитического редуцирования NO_x в отработавших газах 20

Половинка Э.М., Ткач Ю.И. Характеристики впрыскивания топливно-воздушной смеси системой топливоподачи судового среднеоборотного дизеля 30

Половинка Э.М., Карпилов Ю.А. Гидродинамика аккумуляторных систем топливоподачи дизелей 39

Половинка Э.М. , Яковенко А.Ю. Метрология рабочих процессов в дизелях 45

Половинка Э.М., Мартынов С.В. Изменение характеристики впрыскивания гибридной системы на режимах нагрузочной характеристики 53

Tatsiuk O.D., Agopyan A.S., Zaharkevich S.V., Polovinka E.M. Simulation modeling of diesel's workflows 61

Ермошкин Н.Г., Сапига В.В. Комплексное воздухоочистительное устройство для корабля класса фрегат 69

Шевченко Н.И., Аболешкин С.Е. Совершенство технического обслуживания СЭУ 78

Шевченко Н.И., Аболешкин С.Е. New generation of diesel engines 83

Заблоцкий Ю.В. Исследование эксплуатационных характеристик судовых среднеоборотных дизелей при использовании сернистых топлив 86

Мацкевич Д.В. Регенерация эксплуатационных свойств углеводородных жидкостей в процессе эксплуатации 89

Сагин С.В. Аналитические зависимости, определяющие процессы трения в подшипниковых узлах судовых дизелей 94

Семенов А.В. Современные тенденции в обеспечении оптимальных режимов смазывания судовых дизелей с повышенным ходом поршня 97

Ермошкин Н.Г., Сапига В.В. Методика расчета влажностной системы очистки газовоздушного тракта газотурбинного двигателя 101

Кирис А. В., Левченко Н.А. Совершенствование способов предотвращения загрязнения моря нефтью 103

Абрамов В.А. Повышение эффективности очистки судовых теплообменников от накипных отложений 107
Гаврилкин О. Е. Очистка выхлопных газов судовых энергетических установок 117
Гарагуля Б.А. Профилирование рабочих лопаток газовых турбин..... 124
Анфіногентов В.В., Анфіногентов В.В. Визначення кількості нафти, що потрапляє в морське середовище з суден..... 128
Караняга Д.Ю, Калюжный В.О. Влияние параметров надувочного воздуха на работу судового дизеля. 131
Ярошенко В.М., Подмазко А.С. Об эффективности использования рекуперативных процессов в холодильных циклах..... 133
Подмазко А.С., Ярошенко В.М. Оценка способности воздуха ассимилировать влагу в увлажнительных устройствах СКВ..... 138
Колиев И. Д. Методы опреснения морской воды..... 141
Кардашев Д.Л., Артеменко Е.С., Горелов А.С. Коллапс компрессионных поршневых колец малооборотных дизелей 155
Артеменко О.С. Отримання нанопорошків парофізичним методом. Перспективи їх застосування для покращення роботи суднових механізмів 159
Лалетин Е.Л. Установление базовых показателей качества судовых дизелей 165
Кротенко Г.В. Техническое использование центробежных сепараторов на судах..... 168
Козицький С. В. Отримання нанопорошків оксиду алюмінію газодисперсним методом 172
Латиш О.М. Отримання нанопорошків механічними методами 177
Опришко М.О. Огляд підходів і методів ергономічного проектування і устаткування ходового містка 179
Швец А.И. Получение нанопорошков химическими методами..... 183
*Кардашев Д.Л.*Электронная энергетическая структура графена 188
Дулдиер А.П. Феноменологический подход к оценке цветовых параметров процесса горения 189
Кобзарь В.М. Анализ существующих методов очистки теплообменных поверхностей 192
Кирнос А.С. Мисов В.Д. Исследование систем топливоподачи средне- и высокооборотных дизелей с применением эллеменотов матиматического моделирования 199
Вассерман А.А., Мальчевский В.П. Термодинамическое поведение смеси хладагентов R50/R744 205

Бузовский В.А., Чижевский Р.А. Изменение параметров рабочего процесса судового малооборотного дизеля при работе по винтовой характеристике 211
Черниш І.І., Даниленко В.В. Вплив коефіцієнта залишкових газів на робочі параметри дизеля 215
Черниш І.І. , Халиду С. Вплив температури наддувного повітря на робочі параметри і роботу дизеля 217

СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ ТА ІНШОМОВНА ПІДГОТОВКА СУДНОВИХ ІНЖЕНЕРІВ 219
Корх М.В. Застосування комп'ютерної технології для розв'язання прикладних задач нарисної геометрії 219
Корх М.В. Визуализация пространственных моделей в системе AutoCAD – одна из форм развития пространственного мышления курсантов (студентов) 221
Богомолов О.С. Усвоение иноязычной лексики 224
Козак С.В. Использование мультимедийных средств для обучения ESP 227
Кузнецова О.С. Подготовка курсантов к сдаче теста CES(Seagull) 230
Gutsal P. The firefighting equipment onboard vessels 232
Baranov D. Flag of convenience (foc) 234
Troyanov A., Kozak S.L. Safety at sea 235
Korpusov I. Marine waste heat recovery systems 241
Шалёв А. С. Обучение английскому при помощи Скайп. Окно возможностей 245
Zhukov P. Refrigerating plants on LPG carriers 247
Chyhrin R., Koblik V.V. Alternative methods of ship propulsion 248
Nikulina Elena L The Marlins Test of Spoken English 252
Dubtsov Y., Kuznetsova O.S. Main characteristics of four stroke engine 255

ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ

УДК 378.4 (477.74)

д.т.н., проф. Миюсов М.В. – ректор ОНМА

Перспективы подготовки офицеров торгового флота в Украине

Ситуация на глобальном рынке морских перевозок и рынке морского труда. На протяжении последних десятилетий население нашей планеты продолжает неуклонно расти. За период с 1960 по 2015 год население Земли выросло в 2,4 раза и на начало 2015 года превысило 7,2 млрд. человек, в течение 2015 года оно увеличится на 83 млн. человек. Ежегодный прирост населения за этот период колебался в диапазоне от 1,11 до 2,11 процентов и в 2014 году составил 1,13 процентов [1]. Рост населения планеты является одним из основных факторов увеличения объемов мировой торговли. Судоходство обеспечивает международную торговлю и мировую экономику в качестве наиболее эффективного, безопасного и экологичного средства перевозки грузов в глобальном масштабе. В соответствии с информацией Международной морской организации морской транспорт обеспечивает около 80 процентов всех глобальных перевозок. За 2013 год объем перевозок морем возрос на 3,8 процента и составил приблизительно 9,6 млрд. тонн. Несмотря на периодические кризисные явления в экономике за период с 1990 до 2015 года мировой объем внешней торговли вырос более чем в три раза, а морской торговли в 2,4 раза [2]. После годового роста на 4,1 процента в 2013 году, дедвейт мирового флота достиг в общей сложности 1,69 миллиардов тонн в январе 2014 года. На балкеры приходится 42,9 процента от общего тоннажа, нефтяные танкеры – 28,5 процентов и контейнеровозы – 12,8 процентов [2, 3]. Что касается будущих поставок судов, в течение 2013, в первый раз с момента экономического и финансового кризиса портфель заказов остановил тенденцию к снижению и слегка увеличился на большинство типов судов.

В соответствии с опубликованным 11 июня 2014 года годовым отчетом Manning 2014 Annual Report [4] существующая в настоящее время ситуация с нехваткой офицерского состава среди моряков, по прогнозам, ухудшится, а риски влияют на прибыль перевозчиков. Владельцы и менеджеры нуждаются в моряках, они хотят опыта, знаний и качества. Тем не менее, они не имеют ресурсов для финансирования существенного роста заработной платы. В последние годы владельцы и менеджеры были в значительной степени сосредоточены на низких фрахтовых ставках, которые приводили к низкой прибыли. Расходы на оплату труда стали естественной мишенью для сокращения расходов, будучи самой большой составляющей в судовых эксплуатационных расходах. Набор офицеров направлен на поиск источников поставки с наименьшими затратами. По оценкам Drewry в настоящее время предложение по офицерскому составу составляет 610 000 при дефиците 19000 сотрудников. Этот дефицит, по прогнозам, вырастет до 21700 к 2018 году, учитывая, что потребность составит дополнительно 38500 офицеров к этому вре-

мени. "В то время как заработная плата рядового состава (экипажа), как правило, следует стандартным условиям Международной федерации работников транспорта (ITF), заработок офицеров в большей степени определяется рынком", пояснил управляющий директор Drewry Nigel Gardiner. "Расходы на рабочую силу подпадают под новое повышенное давление с целью «выжимать» прибыль, так как владельцы не в состоянии поднять фрахтовые ставки выше". Следует иметь в виду, что большинство моряков получает зарплату в долларах США. При пересчете в национальную валюту, доходы моряков, как правило, хорошо сравнивать с другими профессиями. Нехватка офицеров остается актуальной, особенно среди старших инженерных кадров и для специализированных судов, таких как танкеры LNG", предупредил Gardiner [4].

Международная морская организация объявила «Морское образование и подготовку» темой Международного дня моря в 2015 году. "Эффективные стандарты обучения остаются основой для надежной и безопасной судоходной отрасли, которая нуждается в сохранении качества, практических навыков и компетенции квалифицированных человеческих ресурсов", сказал генеральный секретарь IMO господин Sekimizu, добавив, что темой Всемирного дня моря в 2015 году предоставляется возможность подчеркнуть важность для всех, не только в судоходной отрасли, того, чтобы было достаточным количество и качество морского образования и подготовки кадров для удовлетворения потребностей сектора, в настоящее время и в будущем. Без качественной рабочей силы, мотивированных, обученных и квалифицированных моряков, соответствующим международным стандартам, морская индустрия не может развиваться [5]. Форум, который мы проводим сегодня, в полной мере соответствует инициативе Международной морской организации и поддержан генеральным секретарем IMO господином Koji Sekimizu.Page Content

Роль Украины в кадровом обеспечении глобальных морских перевозок. По данным BIMCO/ISF и Drewry Украина входит в пятерку мировых лидеров по количеству офицеров на мировом рынке труда [6, 7]. Значительное количество ведущих судоходных компаний мира имеют свои представительства, кадровые агентства в Украине, прежде всего, в Одессе. Деятельностью, связанной с трудоустройством моряков, в Украине занимаются более 300 компаний. Подавляющее количество украинских моряков работает в иностранных судоходных компаниях. В соответствии с информацией, предоставленной Инспекцией по вопросам подготовки и дипломирования моряков Украины, по состоянию на март 2015 года в Государственном реестре документов моряков Украины зарегистрировано 88260 (в марте 2013 года – 79712) действующих дипломов (сертификатов компетентности), выданных командному составу, и 132790 (в марте 2013 года – 110978) сертификатов, выданных рядовому составу. Общее количество сертификатов, командного и рядового состава, выданных морякам в Украине составляет 221050 (в марте 2013 года – 190699). Кроме того, дополнительно в реестре зарегистрированы сертификаты 4500 офицеров портового флота и 33300 сертификатов моряков разных

профессий (кроме квалифицированных матросов и мотористов). При этом следует учитывать, что один моряк может иметь более одного диплома или сертификата, например, сертификаты вахтенного механика и электротехнического офицера или матроса и моториста одновременно.

Профессия моряка в Украине является престижной и финансово привлекательной. Средняя заработная плата в Украине по состоянию на начало 2014 года составляла около 400 долларов США в месяц, по состоянию на начало 2015 года – около 200 долларов США в месяц, а по состоянию на март 2015 года – менее 150 долларов США в месяц. За 2015 год средняя заработная плата в национальной валюте незначительно выросла, однако в долларовом эквиваленте упала более чем в два раза, а за период с января 2014 по март 2015 года – в 3 раза. Заработная плата моряков обычно зафиксирована контрактами в долларах США или в евро, поэтому девальвация национальной валюты Украины не ударила по морякам, а сделала работу в море еще больше мотивированной. Следует отметить, что более половины курсантов, обучающихся в морских учебных заведениях, обучаются бесплатно за счет средств государственного бюджета. Для граждан Украины, которые сами оплачивают свое обучение, стоимость обучения в национальной валюте увеличилась в соответствии с официальным индексом инфляции за 2014 год (24,9 процентов), однако в валютном эквиваленте – существенно уменьшилась.

Система образования и дипломирования моряков сегодня. Система подготовки и дипломирования моряков в Украине приведена в полное соответствие требованиям Конвенции ПДНВ и Кодекса ПДНВ с учетом Манильских поправок. В частности, программы подготовки, реализующие стандарты компетентности уровней эксплуатации и уровня управления новой редакции Кодекса ПДНВ, реализуются в морских высших учебных заведениях начиная с 2012 года.

Подготовку специалистов по плавательным специальностям в соответствии с требованиями Конвенции и Кодекса ПДНВ в Украине ведут 7 высших учебных заведений (и их структурные подразделения), в том числе:

Одесская национальная морская академия (ОНМА), в состав которой входят: Азовский морской институт (в городе Мариуполь), Измаильский факультет, Мореходный колледж технического флота и Мореходное училище имени А.И. Маринеско в Одессе, Академия военно-морских сил имени П.С. Нахимова (АВМС), которая базировалась в городе Севастополь, преобразована в факультет военно-морских сил ОНМА в Одессе;

Херсонская государственная морская академия (ХГМА), в состав которой входит Морской колледж;

Киевская государственная академия водного транспорта имени гетмана Петра Конашевича-Сагайдачного (КГАВТ), в состав которой входят структурные подразделения в городах Измаиле, Николаеве;

Национальный университет кораблестроения (НУК), город Николаев, машиностроительный институт (только судомеханическая специальность);

Одесский национальный морской университет (ОНМУ), судомеханический факультет (только судомеханическая специальность);

Одесское мореходное училище рыбной промышленности (ОМУ РП);

Херсонское мореходное училище рыбной промышленности (ХМУ РП).

Морские учебные заведения, расположенные в Крыму (Керчь и Севастополь) в настоящее время находятся под юрисдикцией России. Часть студентов переведена в другие учебные заведения, расположенные на континентальной части Украины. Морской администрацией Украины в лице Министерства инфраструктуры также одобрено 42 учебно-тренажерных центра, которые оказывают услуги по курсовой подготовке моряков в соответствии с требованиями Конвенции ПДНВ и Кодекса ПДНВ. Все морские учебные заведения Украины, внедрили систему управления качеством в соответствии со стандартом ISO 9001:2008. Соответствующий аудит на постоянной основе осуществляется классификационными обществами. Кроме того, Министерство образования и науки Украины издало приказ от 09 декабря 2011 года № 1141, в соответствии с которым все морские учебные заведения обязаны внедрить системы стандартов качества в соответствии с правилом I/8 Конвенции ПДНВ.

Сегодня Украина входит в «белый список» Международной морской организации государств, в которых в полном объеме выполняются требования Конвенции и Кодекса ПДНВ. Подписаны меморандумы о признании дипломов (сертификатов) моряков Украины с 53 государствами-членами Международной морской организации в соответствии с правилом I/10 Конвенции ПДНВ. Кроме того, система подготовки и дипломирования моряков в Украине одобрена Европейской Комиссией на основании результатов периодических инспекций, проводимых Европейским агентством по безопасности на море (EMSA) на соответствие требованиям Директивы Европейского парламента и Совета Европейского Союза [8, 9].

В процесс подготовки и дипломирования моряков вовлечены Министерство образования и науки (в части реализации программ подготовки, обеспечивающих достижение необходимых стандартов компетентности), Министерство здравоохранения (в части медицинского освидетельствования), а также Министерство инфраструктуры Украины, которому поручены функции Морской администрации.

Характерная особенность украинской системы подготовки и дипломирования моряков – обязательность наличия «образовательной» степени (degree), полученной в результате успешного окончания формальной образовательной программы, для получения определенного диплома на право занятия командной должности на судне. В Украине действуют специальные правила, которые определяют порядок присвоения званий морякам. На сегодняшний день полномочия по утверждению этих правил даны Министерству инфраструктуры Украины. В соответствии с этими правилами, получение дипломов (сертификатов компетентности), соответствующих уровню эксплуатации или уровню управления Кодекса ПДНВ, возможно только при достижении соот-

ветствующей степени высшего образования. Программы морского высшего образования обеспечивают реализацию модельных курсов IMO, а также включают в себя необходимую практическую подготовку как обязательную компоненту [10].

Программы морского образования объединяют как компоненты, которые ведут к приобретению требуемых профессиональных умений, так и компоненты, которые обеспечивают знания и понимание основ соответствующих наук, понимание принципов действия оборудования и технологических процессов, развитие познавательных навыков. Благодаря этому достигается высокий уровень компетентности украинских моряков и формируются способности к «владению ситуациями» и принятию решений в непредвиденных ситуациях и в условиях ограниченных ресурсов. Общая структура программы подготовки морских офицеров приведена на рис. 1.

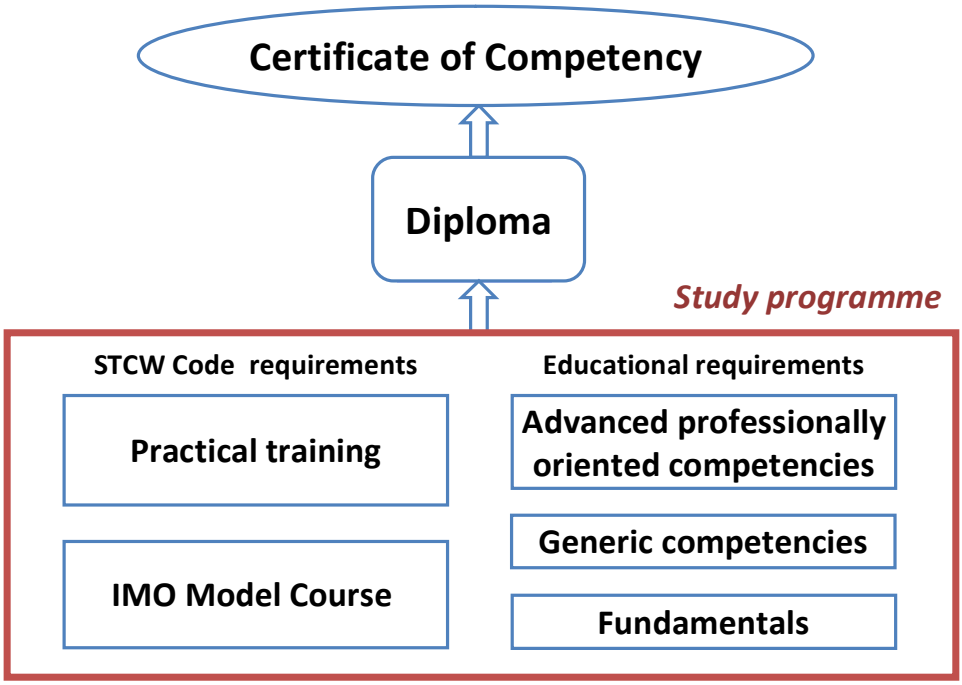


Рис. 1. Общая структура программы подготовки морских офицеров

Соответственно, подготовка офицеров осуществляется в морских высших учебных заведениях. Подготовка базируется на государственных и отраслевых стандартах высшего образования, которые сформированы с учетом всех требований Конвенции ПДНВ и Кодекса ПДНВ.

Методическое сопровождение подготовки морских офицеров осуществляется Методологической комиссией по морскому и речному транспорту. Эта комиссия функционирует на базе Одесской национальной морской академии. Комиссия занимается разработкой и усовершенствованием отраслевых стандартов подготовки, выработкой рекомендаций в части имплементации стандартов Международной морской организации, организацией взаимодействия морских высших учебных заведений с Морской администрацией. Контроль за деятельностью морских учебных заведений осуществляется Ми-

нистерством образования и науки Украины, Государственной инспекцией учебных заведений Украины, а также Морской администрацией. Присвоение выпускникам морских высших учебных заведений званий лиц командного состава морских судов, дающих право на получение дипломов (сертификатов компетентности) уровня эксплуатации Кодекса ПДНВ, производится внешними квалификационными комиссиями, которые формируются Инспекцией по подготовке и дипломированию моряков, которая входит в сферу управления Министерства инфраструктуры Украины.

Новый Закон Украины «О высшем образовании». С сентября 2014 года вступил в силу новый Закон Украины «О высшем образовании». Закон вводит целый ряд существенных изменений в систему высшего образования, направленных на сближение с Европейским пространством высшего образования и обеспечения качества.

Одним из наиболее значимых нововведений является изменение в структуре степеней высшего образования. В частности, Закон предполагает прекращение в ближайшем будущем подготовки выпускников с присвоением степени «специалист» и степени «младший специалист». Последний набор на такие программы планируется в 2016 году. В целом, новый Закон устанавливает следующую иерархию степеней высшего образования: младший бакалавр, бакалавр, магистр (профессиональной или научной направленности), доктор философии, доктор наук. При этом, Закон предусматривает для степени бакалавра достижение результатов обучения, которые предполагают способность к управлению сложными техническими действиями или проектами, управление группами людей и их профессиональным развитием. Ранее такие результаты обучения предусматривались для степени «специалист». Следует ожидать, что степень бакалавра станет на рынке труда наиболее распространенной (основной) степенью для выпускников, занимающихся профессиональной «неакадемической» деятельностью. Фактически, выпускники со степенью бакалавра должны будут занимать на рынке труда позиции, которые ранее занимались в основном выпускниками со степенью «специалист».

На сегодняшний день степень бакалавра является в Украине «базовой» степенью высшего образования, которая позволяет выпускникам «достигать сертификатов компетентности» уровня эксплуатации Кодекса ПДНВ, а также позволяет поступать на программы следующего цикла высшего образования и развивать карьеру морского офицера до уровня управления Кодекса ПДНВ.

С учетом сложившейся в Украине традиционной системы подготовки и дипломирования моряков, наиболее соответствующими стандартам компетентности уровней эксплуатации и управления Кодекса ПДНВ в новой структуре высшего образования можно считать степени бакалавра и магистра. Однако, следует ожидать, что многие выпускники, строящие свою карьеру как морские офицеры, не будут продолжать обучение на втором цикле высшего образования (обучение по магистерским программам). Скорее всего, для таких выпускников степень бакалавра станет их высшей (финальной)

степенью высшего образования, однако они могут претендовать на максимально возможное развитие своей профессиональной морской карьеры.

Система подготовки и дипломирования моряков должна реагировать на такие изменения в структуре высшего образования и должна предусматривать возможность достижения бакалаврами последующих квалификаций и дипломов (сертификатов компетентности) высшего уровня (капитана и старшего механика).

Предложения по стандартам дипломирования. Вследствие изменений в структуре высшего образования в национальные правила дипломирования моряков также должны быть внесены поправки. Новые правила должны предусматривать, как и ранее, целостную структуру подготовки и дипломирования моряков, базирующуюся на морских высших учебных заведениях, а также возможность постепенного достижения морскими офицерами новых компетентностей и соответствующих новых квалификаций. Скорее всего, будущие Правила не будут предполагать обязательность степени магистра для достижения сертификата компетентности на уровне управления Кодекса ПДНВ. В то же время, необходимые для старших офицеров результаты обучения и уровень компетентности не могут быть достигнуты в рамках только бакалаврской программы, которая ведет к сертификату компетентности на уровне эксплуатации.

Новым подходом к обеспечению надлежащего уровня компетентности морских офицеров должны стать программы повышения квалификации, которые должны реализовываться на базе морских высших учебных заведений. Такие программы должны обязательно предшествовать присвоению звания, соответствующего уровня управления Кодекса ПДНВ. Эти программы должны иметь достаточный для приобретения необходимых знаний и понимания объем теоретической подготовки, но могут ориентироваться только на профессиональные компетентности и не вести к новой степени высшего образования.

Предлагаемая система подготовки и дипломирования может быть иллюстрирована диаграммами на рис. 2. На диаграммах отображено возможное развитие карьеры для палубных офицеров и судовых механиков. Первый диплом (сертификат компетентности) вахтенного офицера (в соответствии с правилом II/1 или III/1 Конвенции ПДНВ) может быть получен после окончания бакалаврской программы и 12-месячной практической подготовки. Для получения диплома (сертификата компетентности) следующей ступени в соответствии с правилом II/2 или III/2 Конвенции ПДНВ (старшего помощника капитана или второго механика) необходим 18-месячный стаж плавания (национальные требования), а также предполагается обязательное окончание соответствующей магистерской программы или расширенной программы повышения квалификации и экзамен в государственной квалификационной комиссии. Для достижения диплома (сертификата компетентности) капитана или старшего механика в соответствии с правилом II/2 или III/2 Конвенции ПДНВ необходим 18-месячный стаж плавания (национальные требования) на

предшествующей позиции уровня управления и соответствующий экзамен в государственной квалификационной комиссии. Предлагаемая схема, как и в настоящее время, предусматривает обязательное обучение по краткосрочным программам повышения квалификации. Такая схема организации подготовки и сертификации морских офицеров позволит адаптироваться к новому Закону Украины «О высшем образовании», сохранить все положительные качества национальной системы подготовки и обеспечить высокий уровень компетентности моряков и безопасности мореплавания.

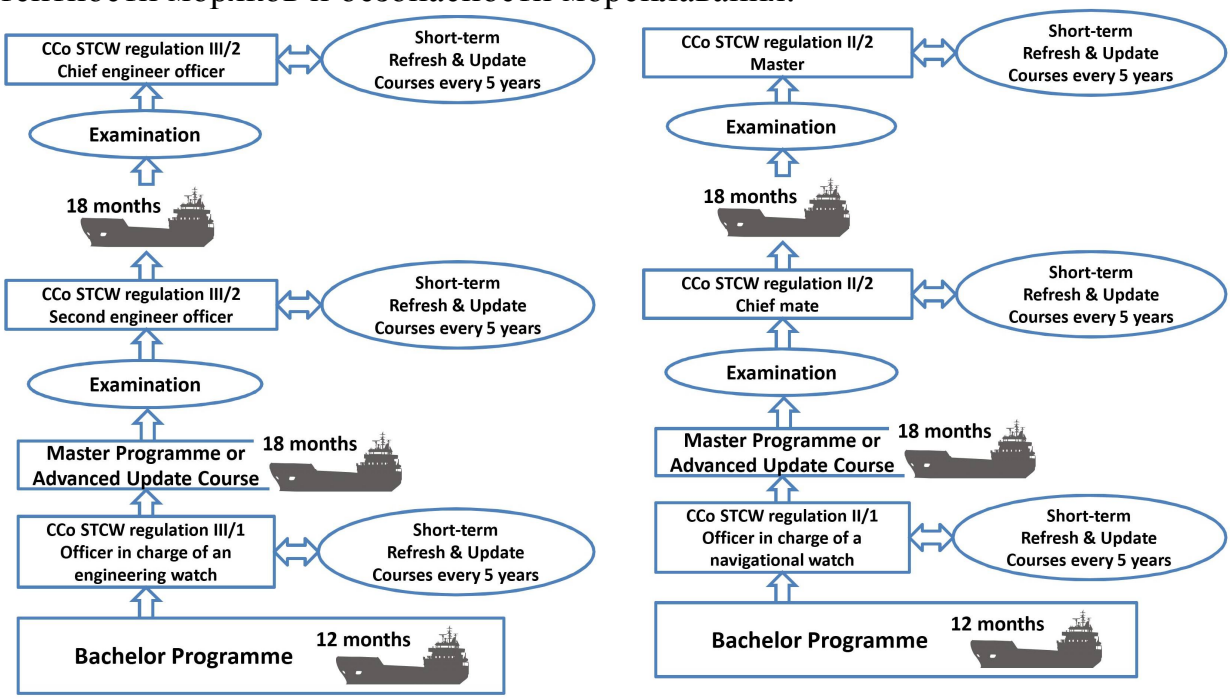


Рис. 2. Рекомендуемая система подготовки и дипломирования судовых офицеров

Перспективы развития морского образования в Украине. Опыт развития морского образования и подготовки моряков в Украине за последнее десятилетие показал, что украинские моряки, прежде всего офицеры, успешно конкурируют на международном рынке труда. Растет привлекательность морской профессии для молодежи, увеличивается количество украинских моряков на мировом флоте, развиваются высшие учебные заведения, тренажерные центры, расширяется рынок услуг по трудоустройству моряков. Такая динамика развития стала возможной благодаря взаимодействию судоходных компаний, крюинговых компаний и кадровых агентств с учебными заведениями. Ключевым звеном в этом сотрудничестве являются «кадетские программы», обеспечивающие практическую подготовку курсантов на борту. Не менее важным является развитие материальной базы учебных заведений с помощью судоходных и крюинговых компаний. За последние годы значительную помощь Одесской национальной морской академии оказали компании *V.Ships, MSC Ship Management, OSM, Bernhard Schulte Shipmanagement, Mitsui O.S.K. Lines, Nordic Hamburg* и другие. Инвестиции в людей способны обеспечить эффективность и безопасность судоходства. Только совмест-

ными усилиями можно вооружить выпускников соответствующими теоретическими знаниями и практическими навыками, необходимыми для успешного старта и дальнейшего карьерного роста.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. http://countrymeters.info/en/World.

2. Review of Maritime Transport 2014 / Report by the UNCTAD secretariat. – New York and Geneva: UN, 2014. – 120 p. http://unctad.org/en/pages/PublicationWebflyer.aspx? publicationid=1068.

3. http://unctadstat.unctad.org/.

4. Manning – 2014: Annual Report // Drewry Publishing. – London, 2014. http://www.drewry.co.uk/news.php?id=275.

5. 'Maritime education and training' to be World Maritime Day theme for 2015. IMO News. - Issue 3. 2014. - P.9.

6. Manpower 2010 Update: The world demand for and supply of seafarers// BIMCO/ISF. – 2010. – 117 p.

7. Manning – 2010/11: Annual Report // Drewry Publishing. – London, 2010.– 56 p.

8. Directive 2008/106/EC of the European Parliament and of the Council on the minimum level of training of seafarers// Official Journal of the European Union.– No. L323. – 3.12.2008. – P. 33-61.

9. Directive 2012/35/EU of the European Parliament and of the Council of 21 November 2012 amending Directive 2008/106/EC on the minimum level of training of seafarers// Official Journal of the European Union.– No. L343. – 14.12.2012. – P. 78-105.

10. Miyusov M. World shipping and maritime education standards// II International Forum on Seafarer's Education Training and Crewing. Official Catalogue.– Odessa, 2014, April, 23-24.– P. 37-48. http://www.etc-odessa.com/en/past_events_april_2014.htm.

УДК 519

Голиков В.А. – проректор по научной работе ОНМА, д.т.н., профессор,
Голиков В.В. – к.т.н., с.н.с., доцент ОНМА.
Одесская национальная морская академия

Особенности управления информацией оператором транспортной эргатической системы

Постановка проблемы в общем виде связана с безопасностью судоходства.

Безопасность представляет свойство динамических систем, которое сформировалось на принципах устойчивости, саморегуляции и целостности. Это позволяет явлению, процессу или событию (объекту) сохранять свою сущность и поддерживать основные характеристики (адекватность) в услови-

ях неадекватности, т.е. целенаправленного, разрушительного влияния как внутри, так и снаружи объекта.

Во время морских и речных перевозок материальных ценностей их целостность и сохранность, как и самого судна, необходимо гарантировать. Гарантированная безопасность транспортного процесса – решающее условие отсутствия угрозы или опасности, которое достигается путем борьбы за безопасность. Цель борьбы заключается в создании ситуации или области ситуаций, которые могут быть достигнуты при функционировании эргатических систем за определенный промежуток времени.

Для этого такая система априори должна обладать надежностью, т.е. внутренним (потенциальным) свойством сохранять свои наилучшие эксплуатационные показатели в течение фиксированного времени: вероятность безотказной работы или среднее время безотказной работы. Понятие событие в теории надежности трактуется как одноразовый акт. Событие при многоразовых повторных актах накапливает внутреннюю энергию, поэтому для разрушения системы достаточно создания единой катастрофической ситуации, при которой накопленная или подведенная событием/ми к объекту энергия начнет совершать работу.

В отличие от теории надежности в основу безопасности эргатической системы положена потребность в наблюдении за динамическими процессами, а не осуществление контроля за отдельными событиями в системе, так как каждое отдельно взятое событие может привести к опасным результатам.

Анализ результатов последних исследований в области безопасности судоходства, а также расследований и экспертиз аварий, аварийных событий, случаев и ситуаций указывает на конечную неопределенность понятия «человеческий фактор». Об этом свидетельствуют заключения комиссий по расследованию аварий, согласно которым в 95 ÷ 97% случаев аварий и аварийных происшествий с судами, вина возлагается на деятельность операторов по логике: есть человек – есть «человеческий фактор» и наоборот. Такая неопределенность в понятиях является настораживающей и требует более четких пояснений о роли оператора (судоводителя или механика) в удовлетворении потребности по наблюдению за динамическими процессами и управлением ситуациями.

Система профессиональной подготовки операторов эргатических систем базируется преимущественно на знаниях классической физики: линейной модели мирового пространства [Германа Минковского (1908)], имеющего четыре линейных измерения пространства – времени, в которой объекты представляются геометрической или материальной точками. Поэтому в процессе развития теории жестких систем появились весьма условные простейшие динамические модели изучаемые в общетехнических дисциплинах, которые учитывают только элементарные взаимосвязи между природными факторами с очень небольшим набором данных в сравнении с огромным массивом, которым оперируют морские специалисты.

Сложные модели обычно используются в стратегическом планировании по принятию решений, а попытки их исследования методами нелинейной динамики, анализ устойчивости, живучести, способности к саморегулированию показали ограниченность физикалистского подхода .

С развитием «вероятностных» подходов, характерных для теории надежности, и сценарного подхода к теории гибких систем, появилась возможность управления событиями посредством создания благоприятных ситуаций, например, погодными условиями при выборе безопасного пути судна.

Попытки использования тренажерной техники для прогноза событий также вызывают трудности принципиального характера связанные с ограниченностью имитационных моделей и способностью оператора принимать в расчет 5÷7 меняющихся во времени величин параметров объекта. Поэтому в настоящее время на первый план выходит информация, которая представляет материальную силу, способную кардинально изменить свойства объекта, лишив его тех свойств, которыми он обладал бы при нормальном течении событий.

С учетом отмеченного, актуальными остаются подходы к проблемам обеспечения наблюдательности за динамическими процессами и управления информацией о событиях путем создания ситуаций в судовых эргатических системах при подготовке операторов к действиям в неадекватных условиях.

Целью настоящего исследования стало повышение эффективности судовых эргатических систем путем гармонизации деятельности оператора при реализации функций наблюдаемости за объектами и ситуационного управления информацией (событиями).

В задачи исследования входило:

– установление профессиональной пригодности будущих операторов эргатических систем;

– анализ характера наблюдения оператора за работой машинных систем;

– изучение особенностей управления информацией в сложных системах.

Изложение основного материала исследования начинается с формирования у человека внутренней стратегии. При профессиональном отборе будущих моряков следует учитывать отношение различных типов людей к жизненной энергии времени, живущих прошлым, настоящим, будущим и вечным, которое влияет на ошибки внутренней стратегии человека.

К типичным ошибкам человека по отношению к: прошлому являются обожествление, игнорирование, забывчивость и борьба с наследием прошлого (преследование, снос памятников, сожжение книг и др.); настоящему – обожествление сиюминутной выгоды или удовольствия, выпадение с погружением в прошлое или грезы о будущем; будущему – прожектерство или пребывание в грезах, игнорирование грядущей перспективы и пребывание в настоящем, обожествление доктрины прогресса.

В процессе подготовки будущих судовых операторов необходимо выработать у них стратегическое понимание т.е. правильное отношение к понятию времени:

– из прошлого следует научиться брать наилучшие знания, сохранять преемственность, извлекать уроки для настоящего и будущего, не превращая прошлое в идола или кумира;

– в настоящем осуществлять правильный и наилучший выбор направления действий;

– в будущем уметь соединять будущее с настоящим, используя энергию вечного (природы).

В процессе подготовки морских операторов следует учитывать, что один и тот же человек в различных природных условиях растет и развивается по-разному.

В современном представлении человек как индивид (оператор, наблюдатель) обладает хроносемантической системой, которая включает, по крайней мере, три равнозначные разновидности внутреннего времени:

– физиологическое, как биологический объект с биологическими ритмами;

– психологическое, как объект, обладающий психикой;

– осознанное – поскольку психика человека отражается в его сознании.

Первые две разновидности внутреннего времени предназначены для получения информации о событиях будущего интуитивно – без обращения сознания к рациональному мышлению, в то время как третья разновидность внутреннего времени основана на обращении к рациональному мышлению при выборе и принятии решений.

Поэтому очень важной проблемой остается установление взаимосвязи между информацией, памятью и мыслью человека-оператора в процессах наблюдения за внешней средой и управлением событиями при осуществлении морских перевозок для формирования ситуаций.

Внутреннее виртуальное пространство – время человека содержит в себе информацию о системе событий, в общем случае, не связанных с ним ни прямо (события его жизни), ни косвенно (события, с которыми он соприкасается на протяжении своей жизни). По своей сути, виртуальное пространство (память) является отражением объективного пространственно-временного мира, представленного непрерывными и неразрывными явлениями и процессами, а его событийное содержание представлено на бессознательном уровне в виде системы психических феноменов (редких, необычных явлений). В обычном понимании эта система представляет «интуитивную проскопию» с алгоритмами ситуаций и способами интуитивного мышления в виде процедур обращения сознания к памяти с запросом и последующим закодированным ответом. Декодировка ответа (вспоминания) представляет отдельную процедуру с «механизмами» доступа к памяти (в виде «системного структурного следа» или «ретикулярной формации») для достижения физического, математического или исторического понимания событий определяющего мира, относящихся к будущему.

Результатом профессиональной подготовки судовых операторов является способность непрерывного решения задач следующего характера:

– управления процессами микро и нано секундного масштаба;
– практически мгновенного доступа к информационным объектам;
– обеспечения непрерывности функционирования большинства информационных объектов;
– многократного возрастания информационной насыщенности из прошлого (опыт морской практики, правила, нормы, инструкции, резолюции и т.д.);
– многовариантность и гибкость моделей времени в различных производственных ситуациях.

Прежде чем приступать к операторской деятельности следует знать ряд постулатов:
– чем больше информации, тем меньше смысла;
– избыточная информация превращается в дезинформацию, притупляя память;
– степень скорости информации прямопропорциональна интенсивности забвения;
– чем больше человек гонится за временем, тем меньше его остается;
– время, набирающее скорость, не имея промежутков, пауз, лишает человека
творческой жизни или смысла существования;
– вследствие нервного перенапряжения наступает физическое и психическое;
истощение, апатия и утрата самозащитных свойств организма;
– вне покоя нет свободы, вне свободы невозможно творчество.

Приступая к наблюдению для обнаружения, идентификации и сопровождения (сохранения динамической стойкости)динамических процессов эргатической системы, следует знать особенности ее системного гомеостаза связанного с сохранением интегративного (общего) качества функционирования.

К особенностям характера наблюдения оператором за работой машинных систем относится тот факт, что их классические пространственно-временные линейные модели не предполагают наличие наблюдателя так как в конечных выводах теории или эксперимента наблюдатель обычно не фигурирует, лишая физику «человеческого лица».

В современной науке различают три вида наблюдателей: физического, психологического и осознанного. Физический наблюдатель как «абсолютный хозяин области материального мира» может находится в области одной координатной системы. Область нахождение физического наблюдателя может перемещаться относительно других наблюдателей. Психологический наблюдатель может не только находиться в отдельной области пространства и перемещаться относительно других наблюдателей, но и имеет такие человеческие качества как логику, память, общительность для получения информации и наделяется или не наделяется физическими «материальными» свойствами. Осознанный наблюдатель обладает способностью накапливать и откладывать

в сознании некие новые черты своего характера по наблюдению за собой со стороны, оценивая себя и свои поступки путем мышления.

Методологической базой процедуры наблюдения является известные этапы системного анализа, наиболее ответственным из которых остается первый, когда из пространственно-временного мира выбирается объект и предмет исследования. Конечной целью процедуры наблюдения является недопущение вхождения динамических процессов, контролируемых эргатической системой, в зону бифуркаций, а тем более системный кризис, когда дальнейшее существование системы становится под сомнение. Эффективность наблюдения связана с динамической стойкостью, т.е. инвариантностью основных характеристик системы от внешних воздействий.

Методологической базой управления событиями является иерархический подход к информации о событиях с учетом их неравномерности и дискретности в физикалистском понимании, а также энергетической интенсивности самого события, которые требуют привлечения дополнительных резервов и ресурсов.

Вторым аспектом управления событиями является внутреннее пространство-время оператора, которое требует синергетического подхода, т.е. синхронизации информации о событиях со способностью оператора ее понять, проанализировать и сравнить с известными событиями, сформировать сценарным методом с использованием теории гибких систем ситуационный алгоритм (сценарий) безопасных действий и его реализовать.

Таким образом, гарантированная безопасность эргатической системы обеспечивается на принципах информированности, определенности и реализуемости с использованием иерархического, детерминистского и синергетического подходов, на базе теории жестких и гибких систем для поддержания системного гомеостаза, которым управляют знающие, понимающие, умеющие и опытные люди, принимающие и способные реализовывать адекватные сценарии (решения) в неадекватных условиях плавания.

Из сказанного напрашивается вывод о том, что:

- неадекватный (отправленный алкоголем или наркотиками, уставший или больной) оператор – потенциальный преступник;
- игнорирующий правила, нормы, инструкции, рекомендации и наставления оператор – нарушитель;
- не способный адекватно наблюдать и управлять системой в неадекватных условиях оператор - «ремесленник», действия которого проявляются в «человеческом факторе»;
- адекватно действующий в неадекватных условиях оператор – «мастер».

УДК 629.123

д.т.н., проф. Половинка Э.М., Ткач Ю.И.
Одесская национальная морская академия

Образование оксидов азота в дизелях и метод каталитического редуцирования NO_x в отработавших газах

Систематические исследования физико-химических процессов генерации $N0_x$ в двигателях внутреннего сгорания, в топочных устройствах котлов и в печах различных нагревательных устройств были начаты только в конце 50-х годов прошлого столетия в связи с опасностью образования смога в городах с высокой концентрацией промышленности и автомобильного транспорта, хотя присутствие оксидов азота в продуктах сгорания органического топлива было обнаружено еще в 19 веке.

Источником оксидов азота может быть молекулярный азот воздуха, используемого в качестве окислителя при горении, или азотсодержащие компоненты топлива. В связи с этим принято делить оксиды азота на воздушные и топливные. Воздушные, в свою очередь, можно разделить на термические, образующиеся при высоких температурах за счет окисления молекулярного азота атомарным кислородом (механизм Зельдовича) , и так называемые "быстрые" оксиды азота, образующиеся в зоне сравнительно низких температур в результате реакции углеводородных радикалов с молекулой азота и последующего взаимодействия атомарного азота с гидроксилом OH.

Относительная роль трех источников образования $N0_x$ зависит от температурного уровня в зоне горения, от содержания связанного азота в топливе, а также от некоторых параметров процесса сгорания.

Выпускные газы ДВС содержат оксиды азота (оксид NO и в небольших количествах диоксид NO2 , суммарное количество которых принято обозначать NOx). В цилиндре двигателя внутреннего сгорания (ДВС) образуется в основном NO. Главным источником NO является окисление атмосферного (молекулярного) азота. Если топливо содержит значительное количество соединений азота, то оно служит дополнительным источником NO. Бензины содержат ничтожное количество соединений азота. В дизельных топливах их больше, но обычное содержание не имеет принципиального значения для образования NO.

Соотношение указанных вредных выбросов (ВВ) зависит от типа двигателя и условий его эксплуатации. Обычно их количество составляет: NO_x – от 500 до 1000ppm (чнм) или 20г/кг топлива [1].

Как правило, концентрации рассмотренных ВВ в выпускных газах двигателей внутреннего сгорания отличаются от величин, определяемых исходя из предположения, что реакции их образования и разложения достигли химического равновесия. Оксид азота NO образуется по всему объёму высокотемпературных газообразных продуктов сгорания (ГПС) за фронтом пламени в

процессе химических реакций, в которых участвуют атомы и молекулы азота и кислорода. При этом состояние химического равновесия не достигается. Чем выше температура ГПС, тем выше скорость образования NO. Т.к. ГПС охлаждаются во время хода расширения, реакции образования NO останавливаются («замораживаются»). Концентрация уже образовавшегося NO при этом остаётся избыточной, намного превышающей его количество, которое соответствует равновесному состоянию при параметрах выпуска.

Как указывалось выше, ВВ соединений азота, состоящие из оксидов азота (NO) и диоксидов (NO2) обычно объединяют как NOx. В цилиндре ДВС образуется в основном NO. Основными реакциями, в результате которых в зонах с приблизительно стехиометрическим соотношением количества топлива и воздуха из молекулярного (атмосферного) азота образуется NO (с параллельным образованием свободных атомов азота), являются следующие:

$O + N_2 = NO + N$ (1)

$N + O_2 = NO + O$ (2)

$N + OH = NO + H$ (3)

Весь процесс часто называют механизмом Зельдовича.

Скорость образования NO в результате реакций (1)-(3) определяется уравнением

$$\frac{d[NO]}{dt} = k_1^+[O][N_2] + k_2^+[N][O_2] + k_3^+[N][OH] -$$
$$-k_1^-[NO][N] - k_2^-[NO][O] - k_3^-[NO][H]$$

где в квадратных скобках подставляются концентрации веществ в молях на кубический сантиметр. Реакции, прямая для формулы (1) и обратные для формул (2) и (3), проходят с потреблением большого количества энергии. Поэтому скорость образования NO в большой степени зависит от температуры.

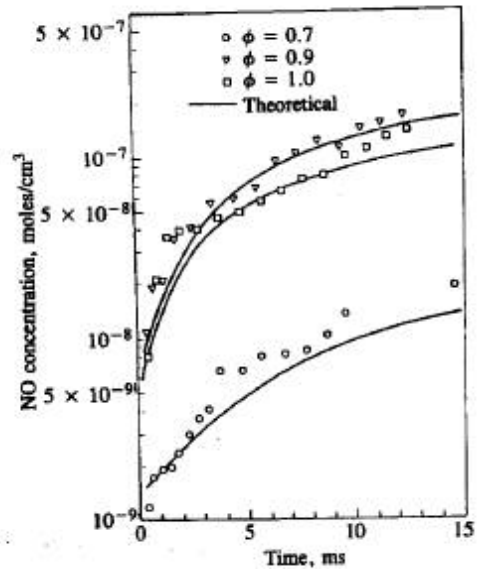
Начальная скорость образования NO может быть записана в виде

$$\frac{d[NO]}{dt} = \frac{6 \bullet 10^{16}}{T^{1/2}} \exp\left(\frac{-69,090}{T}\right)[O_2]_e^{1/2}[N_2]_e$$

где $[\ ]_e$ обозначает концентрацию вещества, соответствующую равновесному состоянию.

Свидетельством того, что рассматриваемая модель образования NO соответствует реальности при условиях в цилиндре дизеля являются результаты исследований сгорания при высоком давлении, проведенные с помощью бомбы. В качестве горючего использовались смеси водорода с воздухом и горючего газа с воздухом.

Часть данных сопоставлены с полученными с помощью рассмотренной кинетической схемы на рис.1. Совпадение результатов хорошее.



Анализ химически равновесного состояния показывает, что в газах при обычной температуре пламени, соотношение NO_2/NO в дизелях может достигать 10 – 30% от всех азотосодержащих веществ.

Рис. 1. Экспериментальные и расчётные предельные концентрации NO за пламенем в эксперименте с цилиндрической бомбой высокого давления для смеси H_2 –воздух (φ – соотношение воздух/топливо)

Вероятным механизмом образования NO_2 является следующий. NO, образующийся в зоне пламени быстро превращается в NO_2 благодаря реакции

$$NO + HO_2 = NO_2 + OH. \quad (4)$$

Затем происходит превращение NO_2 в NO

$$NO_2 + O = NO + O_2 \ . \quad (5)$$

Эти взаимные превращения происходят до тех пор, пока NO_2, образовавшийся в зоне пламени, не будет охлаждается путём смешивания с более холодным газом.

Быстрые оксиды азота. Приведенный выше механизм образования оксида азота описывает гомогенный процесс, происходящий в зоне за фронтом пламени, после завершения процесса горения предварительно перемешанной горючей смеси с коэффициентом избытка воздуха $\alpha > 1{,}0$.

Дополнительными исследованиями было установлено, что во фронте пламени углеводородов за весьма короткий промежуток времени образуется оксид азота по механизму, отличному от предложенного Зельдовичем [2] .

Было высказано предположение о наличии в зоне с большим содержанием горючих компонентов следующих реакций:

$$N_2 + CH \rightleftarrows HCN + N;$$

$$N + OH \rightleftarrows H + NO.$$

Эти реакции протекают достаточно энергично даже при температуре 1600К, когда образование термических оксидов азота практически не происходит.

Обнаруженный оксид азота был назван "быстрым" в связи с тем, что скорость его образования в узкой зоне фронта пламени весьма велика.

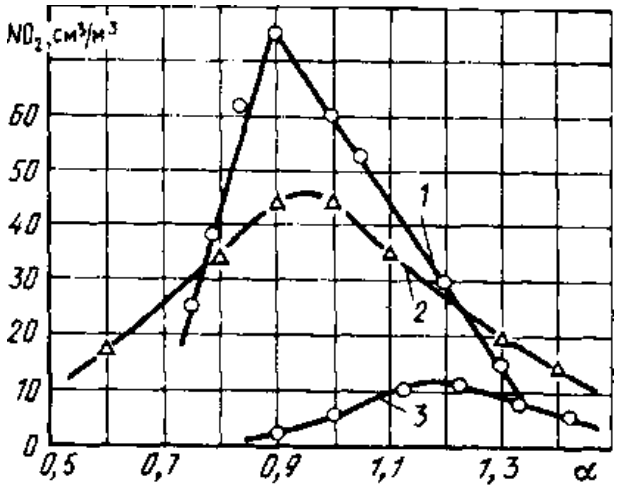


Рис. 2. Выход оксидов азота во фронте пламени: метана (1), оксида углерода (2) и водорода (3)

На рис. 2 приведены результаты опытов, проведенных при сжигании метана, оксида углерода и водорода в широком диапазоне избытков воздуха. Приведенные графики показывают, что при анализе процессов сгорания необходимо считаться с образованием оксидов азота во фронте пламени. Расчеты показали, что для пламени природного газа минимальная концентрация быстрых оксидов азота составляет примерно 75 мг/м^3.

Международные нормы содержания оксидов азота NOx в отработавших газах судовых дизелей регламентируются конвенцией MARPOL Annex VI – Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships , представленными графически на рис.3.

В соответствии с правилами эмиссия NOx всех судовых дизелей, установленных на судах, построенных 1 января 2016 г. или позже, не должна превышать пределов, предусмотренных третьим уровнем (Tier III), при работе в зонах контроля выбросов NOx - NOx emission control area (NOx ECA) - , установленных до 2016 г . В зонах этого типа, назначенных позже, нормы обязательны с момента установления зон. Для двигателей с частотой вращения ниже 130 об/мин уровень Tier III составляет 3,4 г/кВт-ч. При работе вне NOx ECA двигатели должны соответствовать уровню, составляющему 14.4 г/кВт-ч. Для двигателей с частотой вращения более 130 об/мин этот предел ещё меньше.

Одним из основных методов уменьшения содержания NO_x в выпускных газах судовых дизелей до уровня требований Tier III является метод избирательного (селективного) каталитического редуцирования- Selective catalytic reduction (SCR).

Согласно схеме, разработанной фирмой MAN – Diesel & Turbo (рис. 4), уменьшение содержания NO_x достигается в результате каталитического процесса в ректоре SCR, установленном в газовыпускном трубопроводе после дизеля [3].

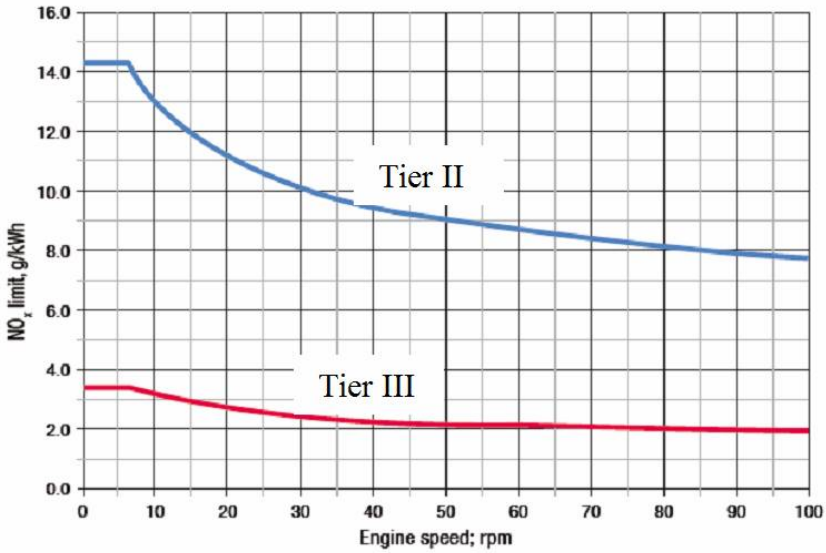


Рис. 3.Предельные нормы эмиссии NOx в соответствии с MARPOL Annex VI

В реакторе происходит каталитическое разложение NO_x на азот и воду путём добавления аммиака. Каталитический процесс в реакторе осуществляется в блоках имеющих многочисленные каналы, для увеличения поверхности контакта реагентов.

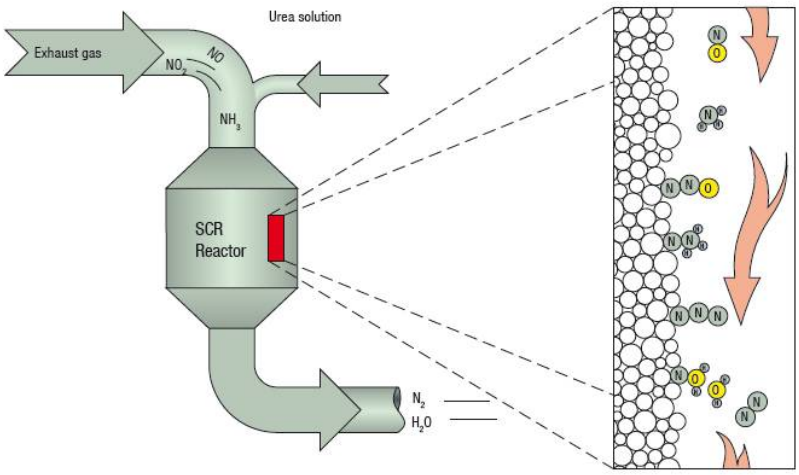


Рис. 4. Система SCR

Уменьшение содержания NO_x происходит в результате химических реакций протекающих по следующей схеме:

$$4NO + 4NH_3 + O_2 \rightarrow 4N_2 + 6\,H_2O$$
$$2NO + 2NO_2 + 4NH_3 \rightarrow 4N_2 + 6H_2O$$
$$2NO_2 + 4NH_3 + O_2 \rightarrow 3N_2 + 6H_2O$$

Из соображений безопасности, аммиак обычно добавляется в систему в виде жидкой мочевины, которая разлагается на аммиак и углекислый газ при впрыскивании в испаритель:

$$(NH_2)_2CO_{(aq)} \rightarrow (NH_2)_2CO_{(s)} + x\,H_2O_{(g)}$$
$$(NH_2)_2CO_{(s)} \rightarrow NH_{3(g)} + HNCO_{(g)}$$
$$HNCO_{(g)} + H_2O_{(g)} \rightarrow NH_{3(g)} + CO_{2(g)}$$

Основным параметром, влияющим на процесс в SCR, является температура газов на входе. Нижний температурный предел определяется по содержанию серы в топливе и возможным образованием сернистой кислоты в газах. При температуре ниже 320ºС (температурный предел зависит от типа катализатора), сернистая кислота нейтрализуется аммиаком. При этом образуется высоковязкий бисульфат аммония NH_4SO_4, который может накапливаться в элементах SCR. В то же время, если температура выпускных газов поддерживается на уровне выше 350ºС, эта реакция подавляется. Если содержание серы в топливе ниже 0,1%, то достаточно поддерживать температуру не ниже 310ºС. При понижении давления выпускных газов температурный порог также может быть понижен.

Минимально необходимые для предотвращения образования бисульфата аммония температуры приведены на рис.5, отражающем взаимосвязь между содержанием серы и давлением выпускных газов. Показаны кривые высокого (HP 4.0 бара) и низкого (LP 1.5 бара) давления.

С другой стороны, температура не должна быть слишком высокой, т.к. при этом возрастает количество SO_3 , образующегося в катализаторе. SO_3 реагирует с водой с образованием серной кислоты, которая появляется в виде белого дымка аэрозоля. Другой нежелательной реакцией, также ограничивающей верхний температурный предел для работы SCR является окисление NH_3 , происходящее при достижении температуры в 500ºС, т.е. требуется большее количество NH_3 взамен окисленного. Наконец, материал катализатора начинает спекаться при температуре свыше 500-550 ºС. Температура зависит от материала и результатом такого перегрева является потеря каталитической активности.

Другими словами, для обеспечения надёжной работы SCR необходимо поддерживать температуру выпускных газов в определённом температурном диапазоне.

SCR процесс, проиллюстрированный на рис 6, осуществляется в системе SCR, которая состоит из двух основных компонентов: комбинированного испарителя – смесителя и реактора SCR. В испарителе происходит подготовка к каталитическому процессу путём впрыскивания раствора мочевины, который испаряется и смешивается с выпускными газами. Подготовленные таким образом газы направляются в реактор SCR где происходит уменьшение содержания NO_x.

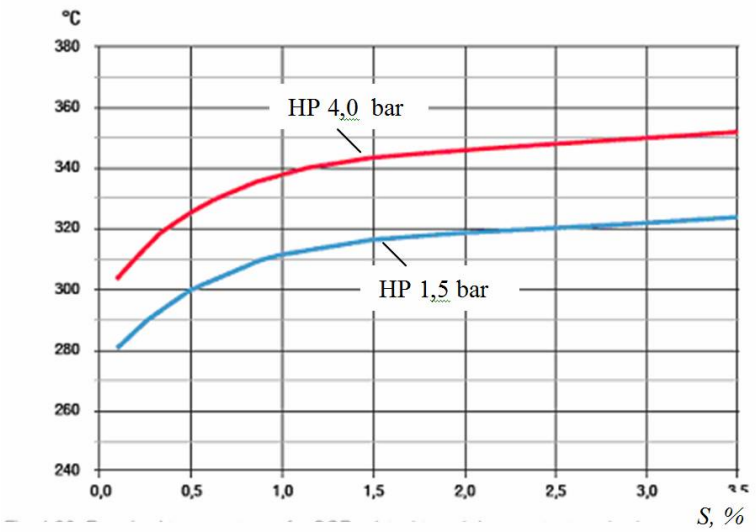


Рис. 5. Рабочие температуры ОГ в системе SCR

Т.к. процесс в SCR требует относительно высокого давления, то реактор обычно устанавливается на линии высокого давления, т. е. перед газотурбонагнетателем (ГТН). В зависимости от нагрузки, перед ГТН температура на 50 - 175 ºС выше, чем после него.

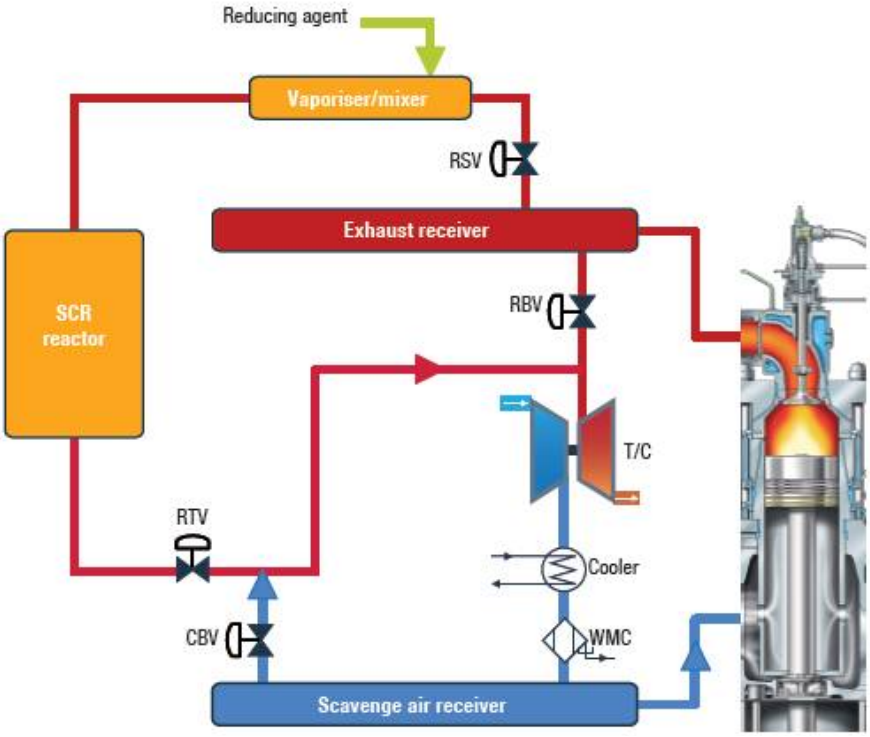


Рис. 6. Схема системы SCR: Vaporizer/mixer – испаритель - смеситель, SCR reactor – реактор SCR,

RSV(reactor sealing valve) – запорная задвижка реактора , RBV(reactor bypass valve) – перепускная задвижка реактора, RTV(reactor throttle valve) – дроссельная задвижка реактора, CBV(cylinder bypass valve) – перепускная задвижка цилиндров, Exhaust receiver - ресивер отходящих газов, T/C – турбина/компрессор, Cooler - воздухоохладитель, WMC() - , Scavenge air receiver – ресивер продувочного воздуха.

Во время работы в режиме Tier II, система SCR отключена запорной задвижкой реактора (RSV) и дроссельной задвижкой (RTV). Перепускная задвижка реактора (RBV) открыта и выпускные газы проходят напрямую в газотурбонагнетатель. Система SCR вводится в работу открытием задвижек RSV и RTV, и закрытием RBV.

Несмотря на размещение реактора SCR перед турбиной, при малых нагрузках температура выпускных газов обычно ниже оптимальной. Для повышения температуры устанавливают перепускной трубопровод из ресивера продувочного воздуха на вход турбины. Перепуск управляется с помощью перепускной задвижки цилиндра, CBV. При открытии перепуска количество воздуха поступающего в цилиндры уменьшается, что позволяет сохранить давление продувочного воздуха на прежнем уровне, и, как следствие, повышается температура выпускных газов. Это позволяет поддерживать температуру выше нижнего рекомендуемого уровня. Но следует иметь в виду, что перепуск цилиндров повышает удельный расход топлива в зависимости от требуемого повышения температуры газов.

На рис. 7 проиллюстрирован диапазон нагрузок при котором перепуск должен быть открыт для поддержания нужной температуры для процесса в SCR. Проиллюстрирована зависимость от содержания серы в топливе, когда перепуск должен быть открыт в более широком диапазоне нагрузок при использовании топлив с высоким содержанием серы. Также отражена зависимость диапазона нагрузок от температуры на входе в турбину, которая изменяется в связи с типом и конструкцией дизеля. Необходимый диапазон шире для дизелей с относительно низкими температурами на входе в турбину по сравнению с более высокими.

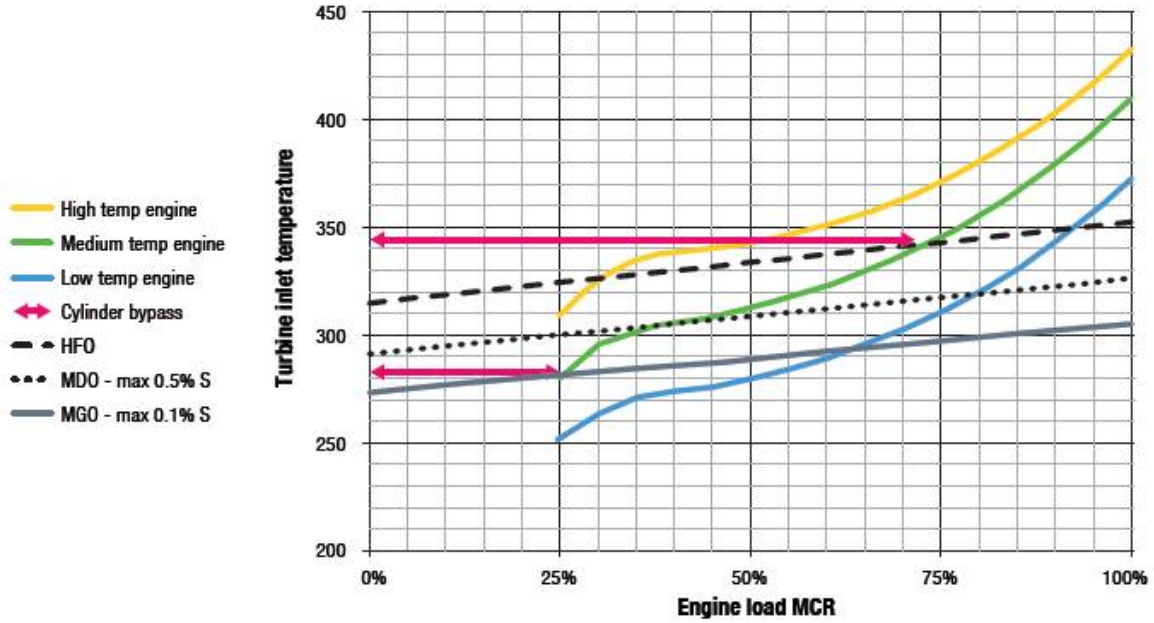


Рис. 7. Зависимость оптимальных температур для процессов SCR от температур на входе в турбину:

Engine load MCR – нагрузка дизеля в процентах от максимальной длительной мощности, Turbine inlet temperature – температура на входе в турбину, High temp engine – двигатели с высокой температурой, Medium temp engine – двигатели со средней температурой, Low temp engine – двигатели с низкой температурой, Cylinder bypass – открыт перепуск цилиндров, HFO, MDO, MGO – марки топлива.

При низких нагрузках, ниже 10 – 15% максимальной длительной мощности в зависимости от модели двигателя и содержания серы впрыск мочевины осуществляется для предотвращения отложений в системе SCR при пониженных температурах.

Так как реактор SCR и испаритель имеют значительную теплоёмкость вследствие размеров и массы их компонентов, температура выпускных газов после реактора возрастает очень медленно после включения в работу SCR и во время разгона двигателя. В этом случае газотурбонагнетатель не может обеспечить достаточное количество надувочного воздуха и необходимо включать вспомогательные воздуходувки. Мощность вспомогательных воздуходувок должна быть увеличена приблизительно в 2,8 раза по сравнению со стандартным вариантом для обеспечения достаточного давления продувочного воздуха для работы дизеля при нагрузке в 100%.

В некоторых случаях необходимо предусмотреть перепуск для турбины. Например, когда теплоотдача от системы SCR к выпускным газам весьма велика во время снижения нагрузки дизеля. В этом случае повышенная энергия выпускных газов вызывает излишне высокое давление продувочного воздуха, не соответствующее текущей нагрузке дизеля. Это устраняется открытием перепуска для турбины.

Процесс SCR при низком давлении Если содержание серы в топливе снижено до 0,1% или ниже, то температура процесса SCR может быть снижена. В этом случае может быть выбран вариант для газов низкого давления, которым предусмотрено размещение SCR после газотурбонагнетателя, что даёт дополнительные возможности при установке SCR.

Ссистема SCR низкого давления, приведенная на рис. 9, состоит из трёх основных элементов: реактора SCR, смесителя (AIG – ammonia injection grid – со встроенной решёткой впрыска) и установки расщепления (DCU – decomposition unit). DCU устанавливается между выходом из реактора и входом в смеситель и состоит из вентилятора, нагревателя (с горелкой) и испарителя. Реагент для уменьшения NO_x впрыскивается в испаритель для создания паров аммония, которые с помощью вентилятора нагнетаются в смеситель и далее в реактор SCR.

Даже при использовании малосернистых топлив, температура всё же слишком низка для процесса SCR, особенно при низких нагрузках дизеля и холодной погоде. Для повышения температуры выпускных газов до нужного уровня, перепускается часть выпускных газов со стороны высокого давления (перед турбиной) на сторону низкого давления. Перепуск управляется с помощью перепускной задвижки выпускных газов – Exhaust Gas Bypass valve

(EGB). В результате перепуска возрастает удельный расход топлива в зависимости от требуемой температуры выпускных газов.

Несмотря на очень низкое содержание серы, не удаётся избежать образования некоторого количества бисульфата аммония (ABS). Одним из методов разбавления и устранения бисульфата аммония является использование установки расщепления (DCU) для нагрева и вовлечения в циркуляцию через реактор достаточного количества газов для устранения бисульфата аммония.

Stack – вертикальный газовыпускной трубопровод; Blower - вентилятор; Burner - горелка ; Vaporiser - испаритель; Exhaust gas receiver – ресивер выпускных газов; Reducing agent – реагент для уменьшения содержания NO_x; Scavenge air receiver – ресивер продувочного воздуха- остальные обозначения те же, что на рис. 6 .

Влияние SCR на утилизационный котёл Настоятельно рекомендуется установить перепуск на утилизационный котёл и использовать его при работе SCR во избежание образования отложений бисульфата аммония (ABS) в проточной части котла из-за низкой температуры выпускных газов в котле. Причем отложения значительны даже при низком содержании серы в топливе.

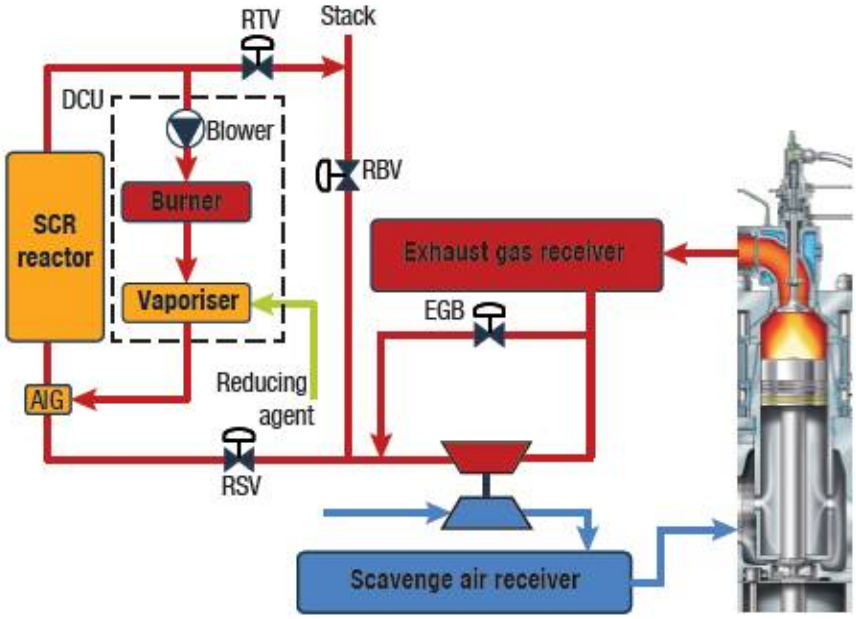


Рис. 8. Схема системы SCR низкого давления:

Даже, в случае применения специальных устройств для уменьшения и удаления отложений в проточной части котла фирма MAN – Diesel & Turbo рекомендует использовать перепуск котла при работе SCR во избежание уменьшения сечения газовыпускного тракта в результате отложений в котле из-за отказа упомянутых устройств.

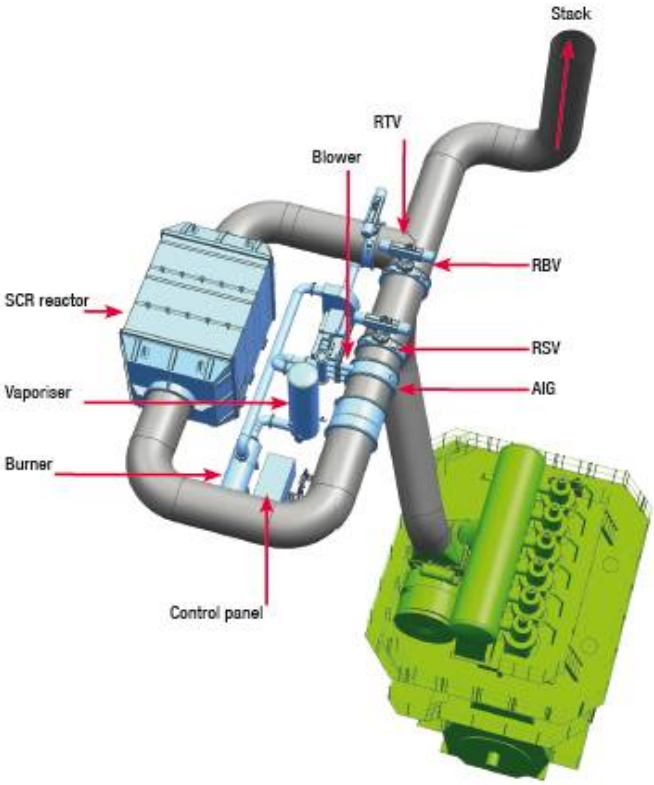


Рис. 9. Компоновка системы SCR низкого давления- обозначения те же, что на рис.6.

В качестве примера конструктивного исполнения на рис. 9 представлена схема системы SCR фирмы Досан (Doosan). Система соединена с выпускным трубопроводом дизеля на выходе из турбины, что облегчает её компоновку.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Heywood , John B. Internal combustion engine fundamentals.-Mc-Craw series in mechanical engineering, 1988 .- p. 930
2. Котлер В. Р.Оксиды азота в дымовых газах котлов.- М.: Энергоатомиздат, 1987. - 144 с: ил. (Б-ка теплоэнергетика). ISBN S-283-00013-3
3.MAN B&W Two-stroke Marine Engines. Emission Project Guide for MARPOL Annex VI Regulation.- 3rd Edition, 2014.- p. 62

УДК 621.431.74

д.т.н., проф. Половинка Э.М., Ткач Ю.И.
Одесская национальная морская академия

Характеристики впрыскивания топливно-воздушной смеси системой топливоподачи судового среднеоборотного дизеля

В связи с высокими ценами на топливо, а также ужесточениями экологических требований к выбросам производители ищут резервы для улучшения

экономических и экологических показателей своих дизельных двигателей. Как один из методов — применение различных присадок к топливу.

Применение газов как присадки к топливу представляет большой интерес. В работе [2] рассмотрена насос-форсунка типа PTD фирмы Cummins, которая получила название эмульсионной из-за того, что в ее открытый распылитель после окончания впрыскивания неизбежно попадает воздух из цилиндра двигателя. Присутствие подогретых газов в смеси с топливом под плунжером следует считать одним из факторов, обеспечивающих в широком диапазоне режимов работы высококачественное распыливание первой порции топлива благодаря расширению пузырьков воздуха на выходе из сопловых отверстий. Другой, особенностью аппаратуры PT является ступенчатый впрыск топлива вследствие сжимаемости топливовоздушной смеси в начале процесса впрыскивания.

Свистулой А.Е. [1] представлены результаты исследования топливной аппаратуры дизеля с использованию воздуха в качестве присадки к топливу. Воздух подводился непосредственно в подигольную полость распылителя форсунки. При оптимальном значении количества присадки удалось снизить удельный расход топлива на 4 - 5%, а также улучшить экологические показатели. Авторы отмечают, что резервы повышения индикаторного КПД дизеля необходимо искать в интенсификации процессов смесеобразования и сгорания.

Таким образом изучение гидродинамических процессов в топливной аппаратуре дизелей при впрыскивании топливно-воздушных смесей является актуальной задачей.

В лаборатории кафедры судовых энергетических установок ОНМА ведется работа по экспериментальному исследованию впрыскивания топливно-воздушной смеси системой топливоподачи судового среднеоборотного дизеля.

Экспериментальная установка рис. 1 состоит из безмоторного стенда (ТНВД типа ЧН 25/34 с приводом от электродвигателя постоянного тока, трубка высокого давления (ТВД) и закрытая форсунка) и системы подвода воздуха в канал форсунки.

Источником воздуха является баллон, максимальное рабочее давление в котором - 150 бар, баллон подпитывается вручную с помощью компрессора. В канал форсунки воздух проходит через электромагнитный клапан (рис 2 и 3), который управляться при помощи блока управления (БУ) и ЭВМ. Блок управления подачей воздуха предусматривает задание двух параметров: момента подачи сигнала открытия клапана и продолжительность его действия — углов смещения и удержания: φ_c и φ_y. Алгоритм ориентирован на использование в качестве начального значения φ_c контрольной метки датчика угла поворота. Оба параметры могут задаваться как в угловых, так и временных единицах.

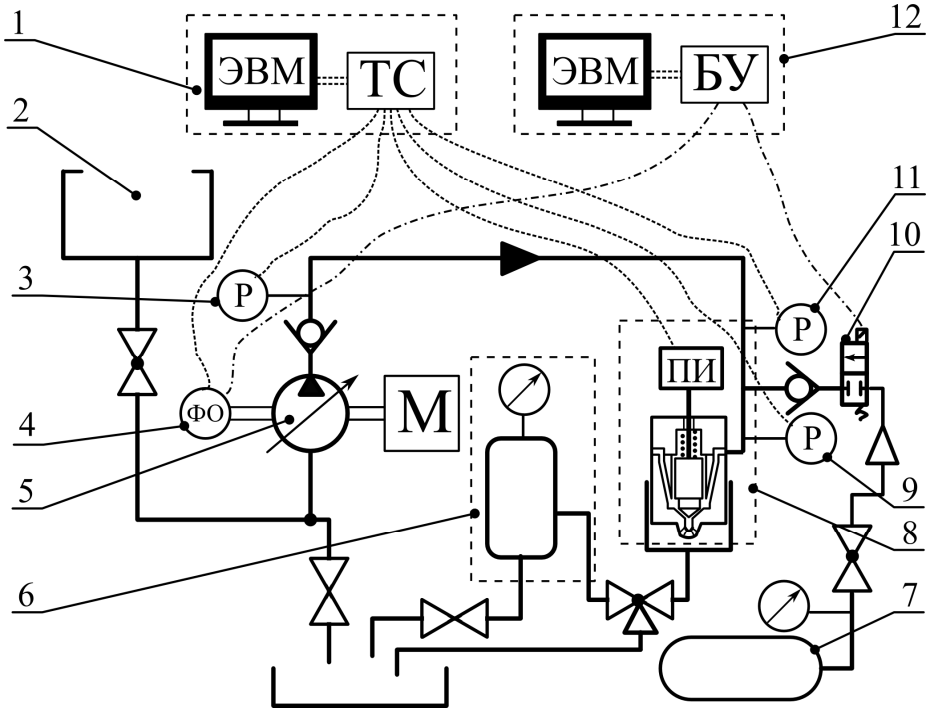


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки.

1- система сбора данных; 2 - бак с дизельным ; 3, 9, 11 - тензометрические датчики давления; 4 - фазовый отметчик и датчик поворота вала насоса; 5 - ТНВД и мотор; 6 - система контроля состава смеси; 7 - баллон со сжатым воздухом; 8 - форсунка; 10 - электромагнитный клапан; 12 - система управления.

Электромагнитный клапан построен на базе электро-гидравлической форсунки фирмы Bosch от дизельного двигателя Multijet 2.8 автомобиля Iveco. Оригинальная гайка форсунки была заменена на модифицированную, установлен невозвратный клапан для предотвращения попадания топлива в воздушную систему.

Система сбора данных состоит ЭВМ и тензометрической станции, построенной на базе модуля АЦП LTR11 фирмы L-Card. К тензометрической станции подключены следующие датчики: давления в штуцере насоса, давления на входе в форсунку, давления в канале форсунки, датчик подъема иглы форсунки, фазовый отметчик, сигнал от системы управления электромагнитным клапаном. В качестве датчиков давления использованы тензометрические датчики, датчик подъема иглы форсунки — фотоэлектрический, фазовый отметчик — индуктивный. Программное обеспечение LGraph2 позволяет просматривать графика изменения параметров в режиме реального времени, а также сохранять в память ЭВМ.

Давление в штуцере насоса — $P_н$, давление на входе в форсунку — $P_{фвх}$, давление в канале форсунки после места подачи воздуха — $P_{фк}$ регистрируются тензометрическими датчиками, величина подъема иглы (ПИ) — фото датчиком, фазовый отметчик (каждые 60 град. п.р.в.) — это индуктивный датчик. Все эти сигналы, а также сигнал на управление подводом воздуха подаются на тензометрическую станцию и выводятся на ЭВМ.

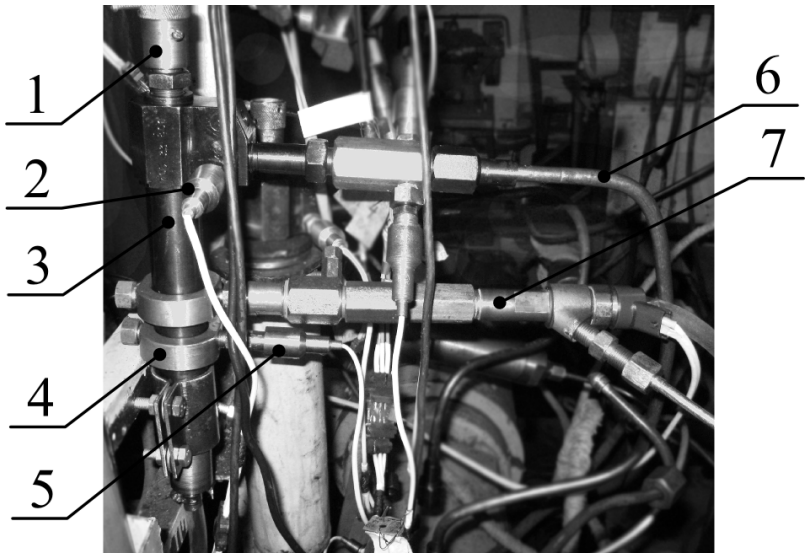


Рис. 2. Форсунка с дополнительным оборудованием:

1 - датчик подъема иглы форсунки, 2 - датчик давления в начале форсунки, 3 - корпус форсунки, 4 - монтажное кольцо, 5 - датчик давления в канале форсунки, 6 - линия высокого давления (ЛВД), 7 — электромагнитный клапан для подвода воздуха.

Для анализа процесса впрыскивания ТВС был проведен эксперимент с варьированием давления подъема иглы форсунки P_O на следующих уровнях: 0 бар, 30 бар, 50 бар, 70 бар, 90 бар, на двух режимах скоростной характеристики системы: при номинальной частоте вращения распределительного вала n_p = 250 об/мин и минимальной n_p = 50 об/мин. Положение рейки ТНВД выбрано: M = 15 мм. Сравнивались характеристики системы при работе на ТВС и ЧТ.

Давление воздуха в баллоне во время эксперимента составляло $P_{возд} \approx$ 132...128 бар. Настройки управления подачи воздуха: смещение φ_c = 150º п.р.в., удержание φ_y = 10º п.р.в. Соответствующие осциллограммы представлены на рис. 4 и 5.

Сигнал открытия воздушного клапана (напряжение на обмотку электромагнита) поступает при φ = -64° п.р.в. условной шкалы, приведенной на рис.3. Начинается подъем давление в системе на участке, прилегающем к точке подвода воздуха на расстоянии 30 мм от датчика $P_{фк}$, на участке около датчика P_H давление начинает подниматься с запаздыванием 2° п.р.в. Подъем иглы форсунки происходит с запаздыванием $\Delta\varphi_c$ = 4° п.р.в.. Начало подачи ТНВД соответствует $\varphi_{НПН}$ = -20° п.р.в. условной шкалы.

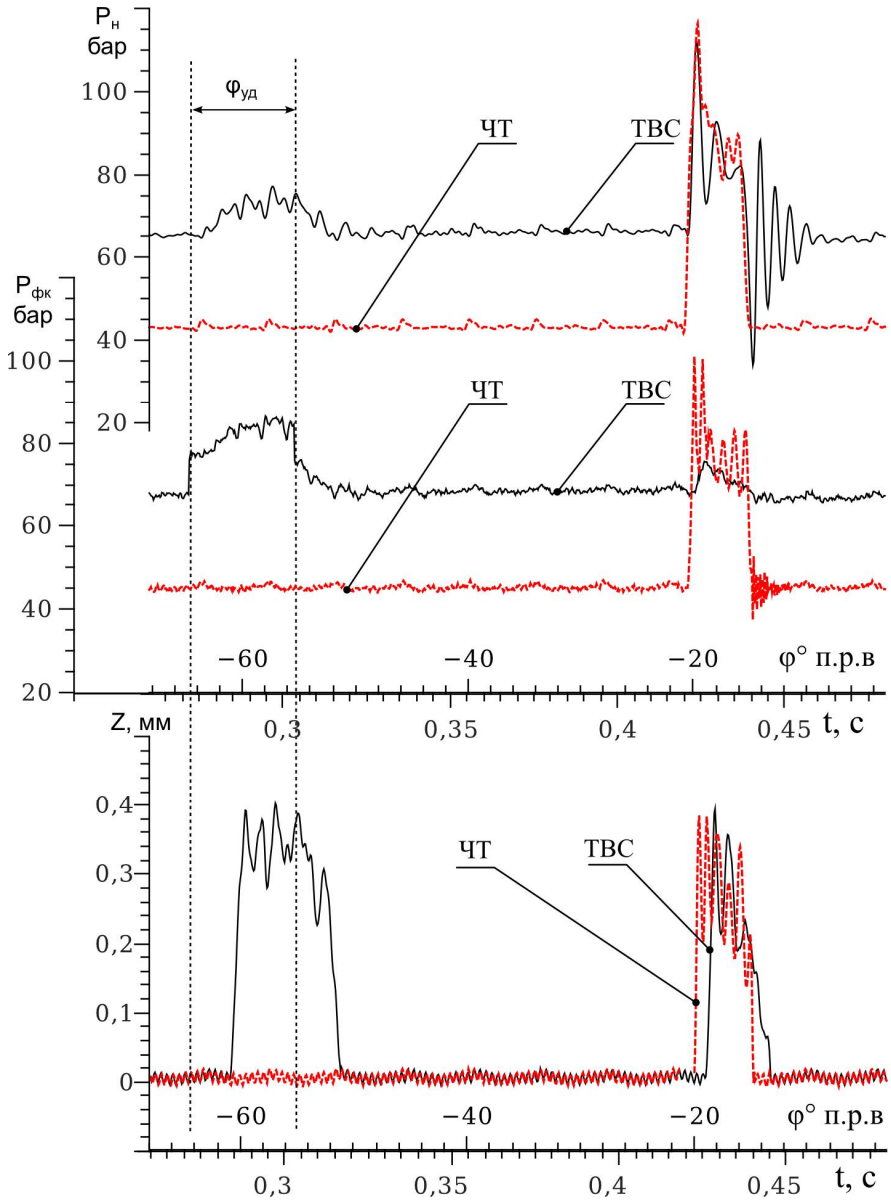


Рис. 3. Совмещенные осциллограммы процесса топливоподачи при работе ТА на чистом топливе (ЧТ) и при подводе воздуха в канал форсунки (ТВС)

$n_р$=50 об/мин; $P_о$ = 70 бар, $P_в$ = 125 бар

При работе системы на режиме номинальной скоростной характеристики сигнал открытия воздушного клапана поступает при φ = -66° п.р.в. условной шкалы, приведенной на рис.4. Подъем давление в системе на участке, прилегающем к датчику $P_{фк}$ начинается практически мгновенно, на участке около датчика P_H изменение давление оценить не удается. С запаздыванием $\Delta\varphi_c$ = 10° п.р.в. происходит подъем иглы форсунки. Начало подачи ТНВД соответствует $\varphi_{НПН}$ = -20° п.р.в. условной шкалы.

После отсечки у насоса наблюдается колебательный процесс, частота составляет f = 105 Гц , амплитуда ΔP_H = 78 бар, при увеличении затяжки иглы форсунки амплитуда имеет тенденцию к увеличению.

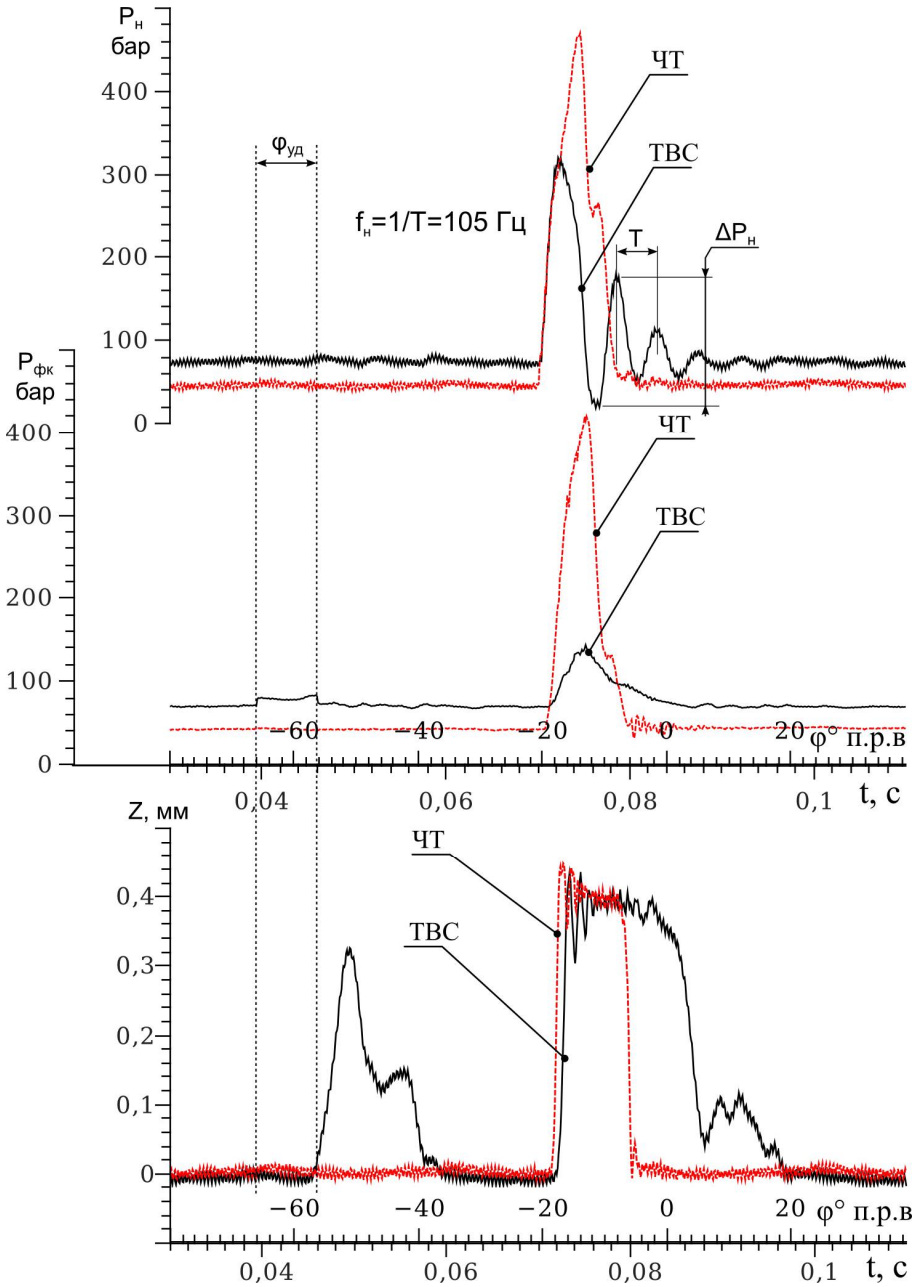


Рис. 4. Совмещенные осциллограммы процесса топливоподачи при работе ТА на чистом топливе (ЧТ) и при подводе воздуха в канал форсунки (ТВС)

$n_р$=250 об/мин; $P_о$ = 70 бар, $P_в$ = 120 бар

Значения максимального давления у насоса, в канале форсунки, угла начала подачи форсунки для серии экспериментов приведены ниже в таблицах 1, 2 и 3.

Анализируя приведенные данные можно увидеть, что при работе системы с подводом воздуха максимальные давления снизились. Так давление у насоса $P_н$ снизилось в среднем на 35% на при частоте вращения кулачкового вала $n_р$ = 250 об/мин и на 25% при $n_р$ = 50 об/мин; давление в канале форсунки $P_{фк}$ снизилось на 75% и 30% соответственно.

Таблица 1. Максимальное давление топлива у насоса $P_н$

Давление подъема иглы форсунки P_o , бар	Величина максимального давление, бар			
	n_p = 50 об/мин		n_p = 250 об/мин	
	ЧТ	ТВС	ЧТ	ТВС
0	40	29	385	240
30	67	50	418	275
50	94	72	450	300
70	103	95	460	320
90	130	138	470	463

Таблица 2. Максимальное давление топлива в канале форсунки $P_{фк}$

Давление подъема иглы форсунки P_o , бар	Величина максимального давление, бар			
	n_p = 50 об/мин		n_p = 250 об/мин	
	ЧТ	ТВС	ЧТ	ТВС
0	32	9	335	35
30	55	34	360	75
50	74	54	400	106
70	87	74	420	138
90	120	110	420	408

Таблица 3. Угол начала подачи форсунки $\varphi_{НПФ}$

Давление подъема иглы форсунки P_o , бар	Величина максимального давление, бар			
	n_p = 50 об/мин		n_p = 250 об/мин	
	ЧТ	ТВС	ЧТ	ТВС
30	20	18,6	18,6	16,5
50	19,6	18,6	19,4	17,7
70	20,4	19,7	19,5	18,1
90	18,8	18,7	16,5	16

Из осциллограмм выше и таблицы 3 видно, что угол начала впрыска $\varphi_{НПФ}$ смещается в сторону верхней мертвой точки (ВМТ). Это происходит из-за того, что часть энергии прямой волны расходуется на сжатие воздуха в системе, так как газ имеет значительно большую сжимаемость, как следствие скорость распространения возмущений (скорость звука) снижается.

Общий угол впрыскивания $\varphi_{ВПР}$ режиме n_p = 50 об/мин при различных значениях затяжки иглы форсунки изменился незначительно, а на режиме n_p = 250 об/мин наблюдалось увеличение $\varphi_{ВПР}$ во всех случаях в 2 и более раза (рис. 5).

Следующим этапом стала стала оценка состава смеси. Для этого распылитель форсунки был установлен переходник с помощью которого ТВС после распылителя отводилось в герметичную емкость заранее известного объема (рис. 1(6)), давление в которой контролируется манометром. Массовый состав рассчитываем исходя из количества топлива поступившего в емкость за отрезок времени и давления воздуха в емкости.

Так как максимальное давление в емкости ограничено значением 0,5 бар в эксперименте настройки управления подачей воздуха были изменены: смещение φ_c = 120° п.р.в., удержание φ_y = 2° п.р.в. Эксперимент был проведен при давлении затяжки иглы форсунки 70 бар, на двух режимах скоростной характеристики системы: при номинальной частоте вращения распределительного вала n_p = 250 об/мин и минимальной n_p = 50 об/мин. Осциллограммы процессов можно видеть на рисунке 5.

В результате измерения цикловой подачи было определено, что подвод топлива в канал форсунки не влияет на ее величину. Цикловая подача составила 1,37 г/цикл. Массовая доля воздуха X в ТВС для n_p = 50 об/мин составила X= 2,26%, при n_p = 250 об/мин — X= 0,56%, то есть с увеличением частоты вращения, при тех же настройках подачи воздуха, массовое содержание его X уменьшилось.

Нужно отметить изменения произошедшие при уменьшении времени подачи воздуха. Общий угол впрыскивания $\varphi_{ВПР}$ стал меньше, так при n_p = 250 об/мин он стал лишь на 30% больше штатного режима. Максимальное давление в системе также выросло. Сравнение максимальных давлений в системе при двух различных значениях угла удержания включения электромагнитного клапан подачи воздуха приведены в таблице 4.

Колебательный процесс у насоса имеет такой же характер, амплитуда ΔP_H = 45 бар, частота колебаний f = 186 Гц.

Таблица 4. Сравнение давлений в ТА при разных углах удержания $\varphi_{уд}$

	Величина максимального давление, бар			
	n_p = 50 об/мин		n_p = 250 об/мин	
	$\varphi_{уд}$ = 10 град.п.р.в.	$\varphi_{уд}$ = 2 град.п.р.в.	$\varphi_{уд}$ = 10 град.п.р.в.	$\varphi_{уд}$ = 2 град.п.р.в.
$P_н$	95	107	320	320
$P_{фк}$	74	90	138	260

Практически во всех случаях можно отметить, что максимальные давления у форсунки и у насоса значительно снизились, что говорит о снижении нагруженности привода насоса.

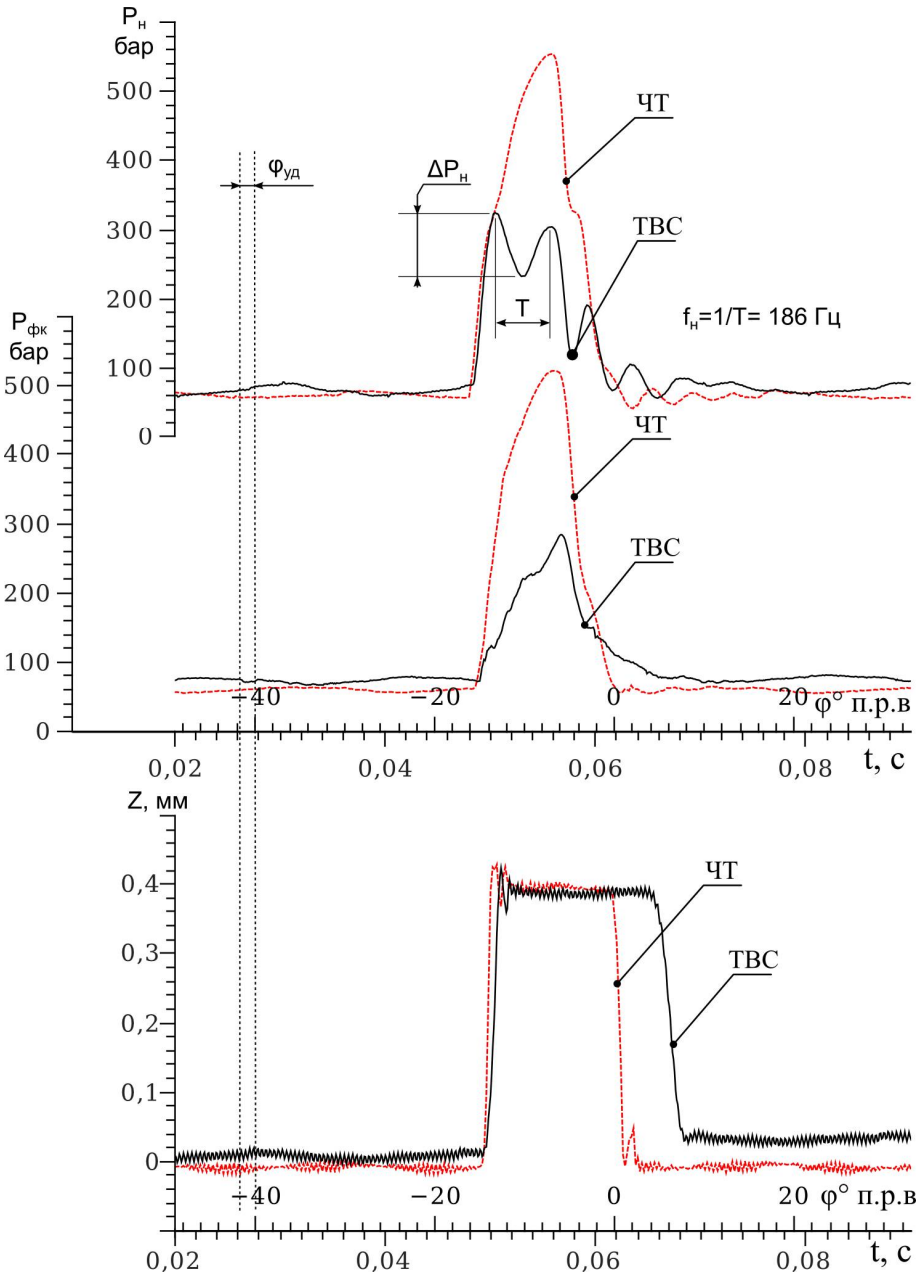


Рис. 5. Совмещенные осциллограммы процесса топливоподачи при работе ТА на чистом топливе (ЧТ) и при подводе воздуха в канал форсунки (ТВС)

$n_р$=250 об/мин; $P_о$ = 70 бар, $P_в$ = 125 бар

Выводы:

Общий угол впрыскивания зависит от режима. При угле удержания подачи воздуха в 10° .п.р.в $\varphi_{ВПР}$ значительно превышает значения при работе на ЧТ, при частоте вращения 50 об/мин: 120 — 200% штатного, при частоте вращения 250 об/мин: 200 - 300% штатного. Посадка иглы вялая. При угле удержания подачи воздуха в 2° .п.р.в общий угол впрыскивания на режиме n_p = 50 об/мин был таким же как и при работе на ЧТ, а на режиме n_p = 250 об/мин 145% штатного, посадка иглы стала четкая.

Подвод воздуха сильно влияет на характеристики среды в ЛВД, скорость звука падает, угол начала впрыска смещается в сторону ВМТ на 2-4° град.п.р.в.

Качественные изменения в гидродинамике заключатся в наличии значительных по амплитуде колебаний в штуцере насоса. Амплитуда зависит от количества воздуха, давления затяжки иглы.

Подвод воздуха в канал форсунки не влияет на цикловую подачу.

В качестве дополнительного эффекта применения ТВС в рассмотренной конфигурации топливной аппаратуры является возможность организации многофазного впрыскивания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матиевский Д.Д. Свистула А.Е. Повышение экономичности и снижение вредных выбросов дизеля воздействием на рабочий процесс присадки газа к топливу / Ползуновский альманах №2/2000 Алтайского государственного технического университете им. И.И. Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000.
2. Вихерт М. М., Мазинг М. В. Топливная аппаратура автомобильных дизелей: Конструкция и параметры. — М.: Машиностроение, 1978.—176 с.

УДК 662.758.3:629.063.6

д.т.н., проф. Половинка Э.М., Карпилов Ю.А.
Одесская национальная морская академия

Гидродинамика аккумуляторных систем топливоподачи дизелей

Современные требования в отношении влияния двигателей внутреннего сгорания на экологию окружающей среды заставляют конструкторов и исследователей искать методы уменьшения количества выбросов вредных веществ в атмосферу. Основными токсичными веществами, выбрасываемыми современными дизелями являются твердые частицы (сажа, оксиды серы SO_2, тяжелые углеводороды), оксиды азота (NO_X), монооксид углерода (CO), углеводороды (CH). В настоящее время нормируются выбросы частиц, NOx, CO, CH, а также дымность отработанных газов. Согласно Marpol Annex VI, максимально допустимые выбросы NOx для судовых дизелей приведены на (рис. 1). [1].

Для одновременного снижения уровня эмиссии вредных веществ и расхода топлива необходима оптимизация работы основных узлов и агрегатов дизеля, и в том числе топливоподающей системы (ТПС).

Наиболее широкие возможности при решении этой задачи обеспечивают аккумуляторные топливные системы. В настоящее время ведутся интенсивные опытно-конструкторские и исследовательские работы в области совершенствования данного типа систем топливоподачи. Одним из конструктивных решений является повышение давления впрыскивания за счет дополнительного его увеличения в форсунке с мультипликатором давления (APCRS - Amplified-pressure Common Rail System). [3, 4]

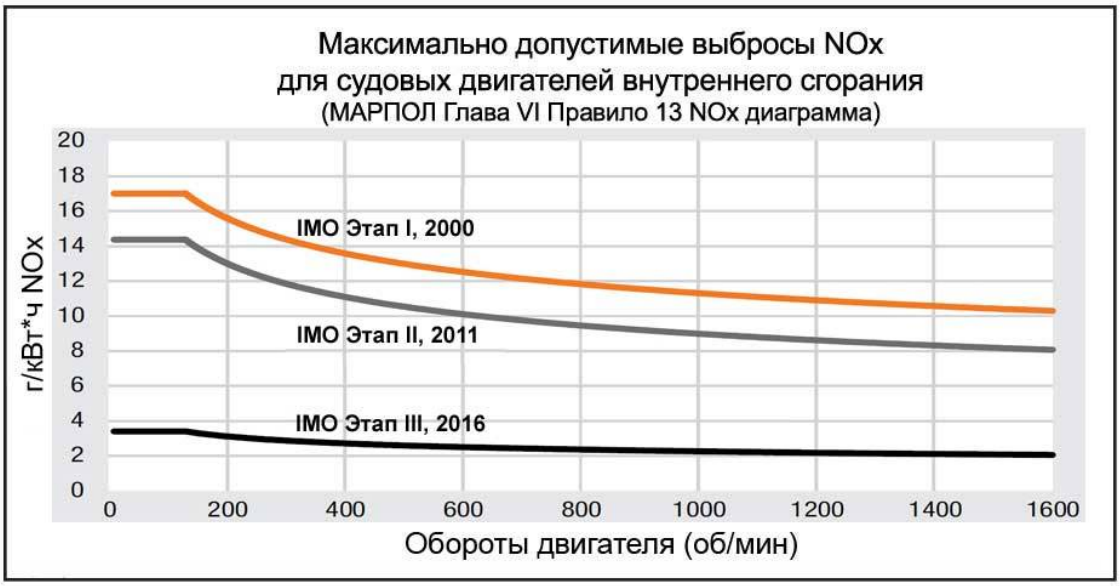


Рис. 1. Максимально допустимые выбросы NOx для судовых дизелей

Рассматриваемая топливная система (рис.2) способна формировать рабочие параметры основного впрыска (ОВ) в виде прямоугольной, треугольной и ступенчатой конфигурационных зависимостей от времени. При различных режимах работы ДВС используются разные формы ОВ, гарантирующие лучшие результаты по эмиссии и расходу топлива. Также система обладает широкими возможностями регулирования впрыска за счет наличия индивидуальных клапанов регулирования высокого давления (ИКРВД). [2]

В состав систем входит аккумулятор 2, соединенный с форсункой с помощью трубопроводов 3 и 4, через ИКРВД 5. ИКРВД 11 имеет трубопровод для слива. Система управляется электронным блоком управления 1 и пьезоэлементом 12.

Для моделирования гидромеханических процессов в рассматриваемой ТПС принимались следующие допущения:

- течение топлива в трубопроводах считается одномерным;
- рассматриваемые рабочие процессы – изотермические;
- давления в аккумуляторе, линии низкого давления (ЛНД) и цилиндре двигателя – постоянные;
- не учитывается трение движущихся частей;
- гидродинамические процессы в трубопроводах одномерны;
- скорость звука и плотность дизельного топлива в трубопроводах постоянны;
- топливо однофазно.

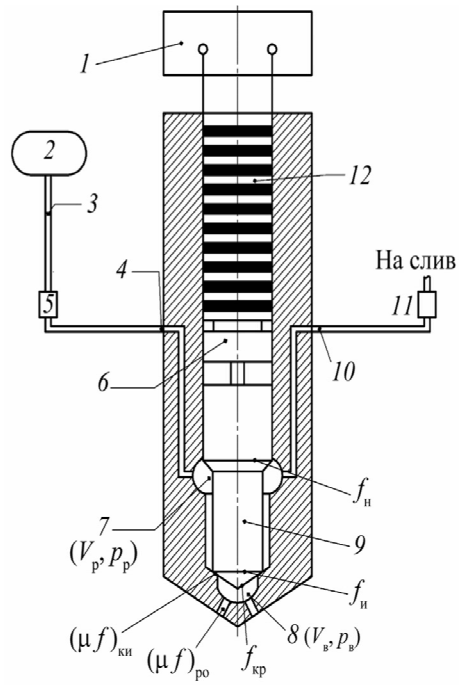


Рис. 2. Расчётная схема универсальной ТПС для дизеля:

1 – электронный блок управления (ЭБУ); 2 – аккумулятор; 3, 4 и 10 – первый, второй и третий трубопровод; 5 и 11 – ИКРВД1 и ИКРВД2; 6 – мультипликатор перемещения; 7 и 8 – камера и «колодец» распылителя; 9 – игла; 12 – пьезоэлемент

Уравнения течения топлива в трубопроводах решаются методом Д′Аламбера с учётом гидродинамического трения:

$$\begin{cases} p(x,t) - p_0 = e^{-kt}\left[F\left(t - \dfrac{x}{a}\right) - W\left(t + \dfrac{x}{a}\right)\right]; \\ u(x,t) - u_0 = \dfrac{1}{a\rho} e^{-kt}\left[F\left(t - \dfrac{x}{a}\right) + W\left(t + \dfrac{x}{a}\right)\right], \end{cases} \quad (1)$$

где t – время; ρ – плотность топлива; u – скорость течения топлива в трубопроводе; p – давление топлива; a – скорость звука в топливе; x – координата рассматриваемого сечения трубопровода от его начала; $F\left(t - \frac{x}{a}\right)$ и $W\left(t + \frac{x}{a}\right)$ – прямая и обратная волна давления в трубопроводе; p_0 и u_0 – остаточные от предыдущего впрыска давление и скорость топлива в трубопроводе; k – фактор гидравлического сопротивления трубопровода.

Уравнение массового баланса решается с учетом закона Бернулли, а также учитывается зависимость коэффициента сжимаемости и плотности топлива от давления по эмпирическим зависимостям.

Математические модели были реализованы в среде Matlab/Simulink.

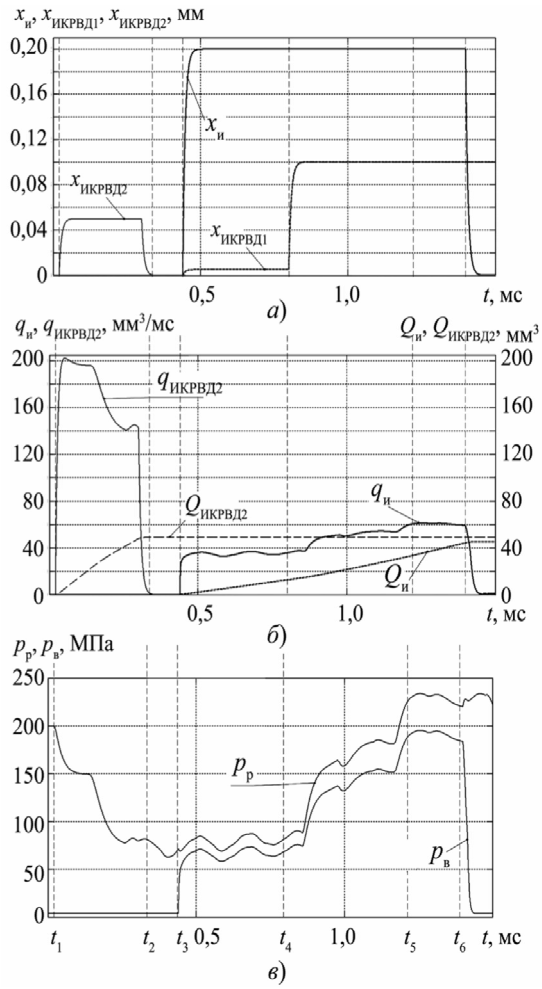


Рис. 3. Диаграммы рабочего процесса ТПС для ОВ ступенчатой формы:

а – перемещения иглы $x_и$, ИКРВД1 $x_{икрвд1}$ и ИКРВД2 $x_{икрвд2}$;
б – дифференциальные $q_и$, $q_{икрвд2}$ и интегральные $Q_и$, $Q_{икрвд2}$ характеристики соответственно при впрыске топлива и управлении через ИКРВД2;
в – давления в кармане распылителя $p_р$ и под конусом иглы $p_в$

Расчёт проводился для ОВ трёх форм: ступенчатой, треугольной и прямоугольной. Результаты расчёта приведены в виде диаграмм рабочего процесса ТПС.

Рассмотрим формирование ОВ ступенчатой формы (рис. 3). Давление в камере распылителя форсунки (см. рис. 2) после предыдущего впрыска будет близко к давлению в аккумуляторе, поскольку цикл впрыска заканчивается при максимальном давлении. Для формирования пониженного давления в камере распылителя открывается индивидуальный клапан регулирования высокого давления (ИКРВД) 2, при этом ИКРВД1 закрыт. Длительность нахождения в открытом состоянии и проходное сечение ИКРВД2 определяют давление начала впрыска (см. рис. 3, *а* и *в*, участок t_1–t_2).

В момент времени t_3 начинается подъём иглы. При этом давление в камере распылителя будет уменьшаться, поскольку ИКРВД1 закрыт. Чтобы этого не случилось, одновременно с подъёмом иглы приоткрывается ИКРВД1, проходное сечение которого выбирается так, чтобы давление в камере рас-

пылителя не менялось. Таким образом, формируется «первая ступенька» характеристики впрыска (см. рис. 3, *б*, участок t_3–t_4).

В момент времени t_4 ИКРВД1 открывается ещё значительнее для формирования «второй ступеньки». Давление в камере распылителя, а, следовательно, и давление впрыска, начинает увеличиваться, достигая через некоторое время горизонтального участка с максимальным давлением впрыска (см. рис. 3, *б*, участок t_5–t_6). Наклон кривой давления впрыска зависит от проходного сечения ИКРВД1 и скорости его открытия.

В момент времени t_6 начинается «посадка» иглы на её опорную поверхность распылителя. Поскольку она управляется непосредственно пьезоэлементом (через мультипликатор перемещения), «посадка» происходит очень быстро. Впрыск окончен.

На рис. 3, *б* приведены расходные характеристики на впрыск и управление давлением (утечки на слив через ИКРВД2). По сравнению с известными аккумуляторными ТПС с непосредственным управлением иглой [6, 7], добавились расходы на управление давлением, что снижает гидравлическую эффективность ТПС и является своеобразной «платой» за возможность управлять давлением впрыска.

Для формирования ОВ треугольной формы применяется другой алгоритм управления. Начальное давление устанавливается с помощью ИКРВД2 так же, как и для ступенчатого ОВ (рис. 4, *а* и *в*, участок t_1–t_2). В момент времени t_3 открывается игла, и одновременно с ней ИКРВД1. Наклон характеристики впрыска определяется скоростью открытия ИКРВД1. Давление впрыска растёт, пока не достигает максимального значения (см. рис. 4, *в*, участок t_3–t_4). В нужный момент игла закрывается, впрыск окончен.

При создании ОВ прямоугольной формы ТПС работает как обычная система Common Rail с непосредственным управлением иглой, т.е. без управления давлением. ИКРВД1 находится только в открытом состоянии, а ИКРВД2 – в закрытом. Диаграммы рабочего процесса ТПС для впрыска прямоугольной формы приведены на рис. 5. По сравнению с другими формами ОВ, у прямоугольного впрыска гидравлическая эффективность выше, поскольку нет утечек топлива на слив через ИКРВД2 (см. рис. 5, *б*).

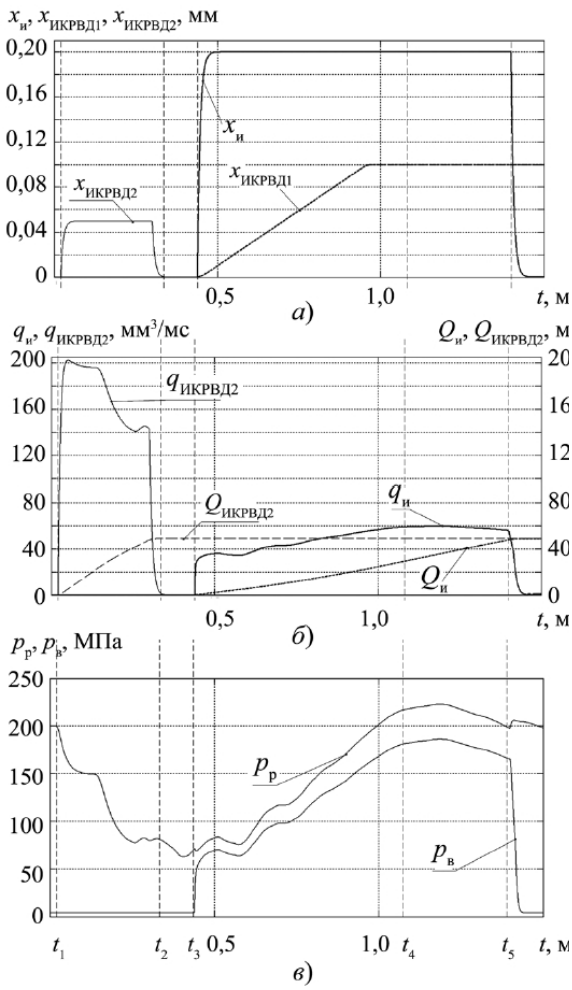


Рис. 4. Диаграммы рабочего процесса ТПС для ОВ треугольной формы

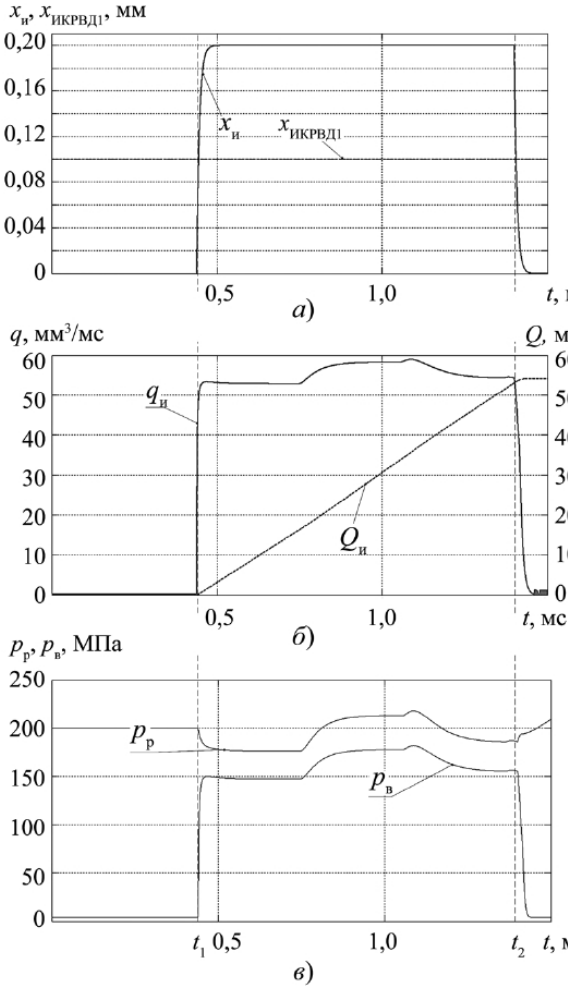


Рис. 5. Диаграммы рабочего процесса ТПС для ОВ прямоугольной формы:

а – перемещение иглы $x_и$;

б – дифференциальные $q_и$ и интегральные $Q_и$ характеристики при впрыске топлива;

в – то же, что на рис. 4

Выводы:

Представлен вариант аккумуляторной системы топливоподачи с возможностью регулирования впрыска прямоугольной, треугольной и ступенчатой конфигурационных зависимостей от времени, что достигается за счёт изменения двух дополнительных пьезоэлектрических клапанов с регулируемыми проходным сечением и скоростью открытия и позволяет добиться более расширенных возможностей для работы дизеля в современных экологических рамках. Рассмотрена математическая модель на базе решения Д′Аламбера, а также проведено имитационное моделирование. Полученные законы впрыскивания обеспечивают совершенствование рабочего процесса и повышения эксплуатационных характеристик дизелей. Из недостатков рассмотренной системы можно отметить снижение гидравлической эффективности форсунки вследствие дополнительного слива топлива через ИКРВД2 для установки

начального давления впрыска. Рассматриваемая ТПС имеет аналогичные с двухаккумуляторными системами [5, 8, 9] возможности, но при этом не требует установки дополнительного аккумулятора.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. MARPOL 73/78 Annex VI Marine Diesel Engine Requirements // http://www.epa.gov/oms/regs/nonroad/marine/ci/f99038.pdf
2. Погуляев Ю.Д., Байтимеров Р.М., Наумов В.Н. «Расчетное исследование новой системы топливоподачи для дизеля» // http://www.sdmpress.ru/
3. Leonhard R., Parche M., Alvarez-Avila C. [et al.]. Pressure-amplified Common Rail System for Commercial Vehicles // MTZ woldwide. 2009. Vol. 70. № 5. p. 10–15.
4. Kruger W., Kleffel J., Dietrich P. [et al.]. 10.7-l Daimler HD Truck Engine for Euro VI and TIER 4 // MTZ woldwide. 2012. Vol. 73. № 12. P. 4–10.
5. Seebode J. Dieselmotorische Einspritzratenformung unter dem Einfluss von Druckmodulation Nadelsitzdrosselung: Dissertation von Doktor-Ingenieur. Universitat Hannover. 2004. 124 p.
6. Sch ppe D., Z lch S., Hardy M. [et al.]. Delphi Common Rail System with Direct Acting Injector // MTZ woldwide. 2008. Vol. 69. № 10. P. 32–38.
7. Theobald J., Schintzel K., Krause A. [et al.]. Fuel injection system key component for future emission targets // MTZ woldwide. 2011. Vol. 72. № 4. P. 4–9.
8. Tanabe K., Kohketsu S., Mori K. [et al.]. Innovative Injection Rate Control with Next Generation Common Rail Fuel Injection System // FISITA World Automotive Congress F2000A055. Seoul, 2000. 8 p.
9. Stegemann J., Meyer S., Rolle T. [et al.]. Injection System for Fully Variable Control of the Shape // MTZ worldwide. 2004. Vol. 65. № 2. P. 13–16.

УДК 621.431.74

Половинка Э.М. , Яковенко А.Ю.
Одесская национальная морская академия

Метрология рабочих процессов в дизелях

В докладе рассматривается ряд разработок в области исследования быстропеременных процессов дизелей.

Одним из методов определения фаз впрыскивания топлива является запись вибрации трубопровода высокого давления с последующей частотной обработкой сигнала [1]. Для регистрации используется накладной датчик давления топлива .

В частности, такой способ использован для контроля углов начала впрыскивания $\varphi_н$ при работе четырёхтактного шестицилиндрового двигателя с

частотой вращения 800 об/мин. Вибрационный сигнал, записанный на топливной трубке высокого давления с частотой 20000 Гц представлен на рис.1.

В результате обработки получены амплитудно-частотные характеристики, гармоники первого и второго порядка которых показаны на рис. 2. Поскольку гармоники второго и более высокого порядка не оказывают существенного влияния на генерирование вибрации, для оценки угла начала впрыскивания учтена только гармоника первого порядка. При обработке данных получено значение $\varphi_н = 20\ ^o$ ПКВ , что соответствовало норме.

Таким образом, вибрационный сигнал, генерируемый форсункой при впрыскивании топлива, служит исходной информацией для определения амплитудно-фазовых характеристик колебательного процесса. Используя первую гармонику, можно определить момент и угол $\varphi_н$ начала впрыскивания. Данная методика является развитием средств безразборной диагностики и исследования процессов в системах дизелей.

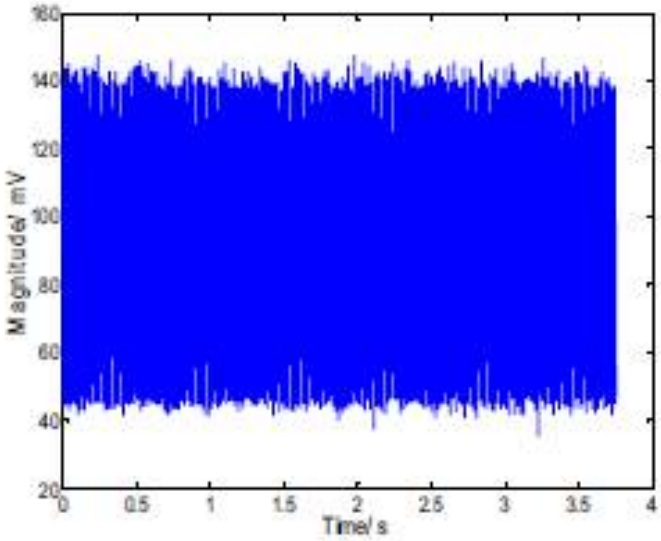


Рис. 1. Вибросигнал форсуночного трубопровода

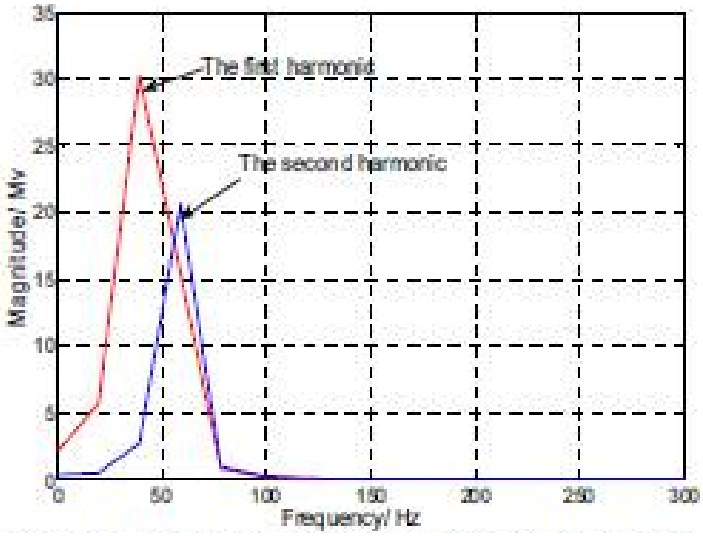


Рис. 2. Амплитуды первой и второй гармоник

Для регистрации давления топлива и момента начала впрыскивания может быть использована деформация рычага привода насос-форсунки, на котором размещается полумост 1 из тензодатчиков розеточного типа [2] ,

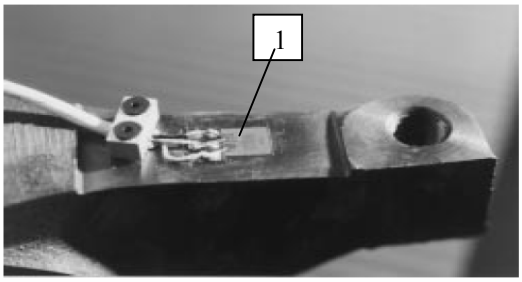


Рис.3. Тензодатчик (1) давления топлива на рычаге привода насос-форсунки.

расположенных под углом 90° (рис.3). При этом была обеспечена температурная компенсация. Полученные значения усилия корректировались с учётом сопротивления пружины.

Идея использования в качестве первичных преобразователей конструктивных элементов топливной аппаратуры призвана обеспечить оптимальную реализацию методов контроля процессов топливоподачи.

Представленные в данном материале проработки выполнены на базе топливной аппаратуры среднеоборотного судового дизеля ЧН25/34.

Для реализации такого подхода выбрано давление топлива в ТНВД, как один из наиболее информативных параметров процесса впрыскивания. Среди деталей, приемлемых к использованию в качестве комбинированного датчика, предпочтение отдано шпильке крепления привода ТНВД.

Общий вид ТНВД с приводом, представлен на рис.4.

Была выполнена предварительная проработка комплектации измерительной системы с комбинированным датчиком, на базе шпильки («шпилька-датчика» - «Ш-Д»).

Проведена оценка метрологических параметров измерительного комплекса, включающего деформируемый элемент, тензометрический преобразователь (проволочный тензодатчик), тензометрический усилитель и регистрирующий блок (гальванометры в составе светолучевого осциллографа). Все элементы системы соответствуют условиям регистрации давления топлива в ТНВД.

Конструктивная проработка шпильки для монтажа тензорезисторов представлена на рис. 5.

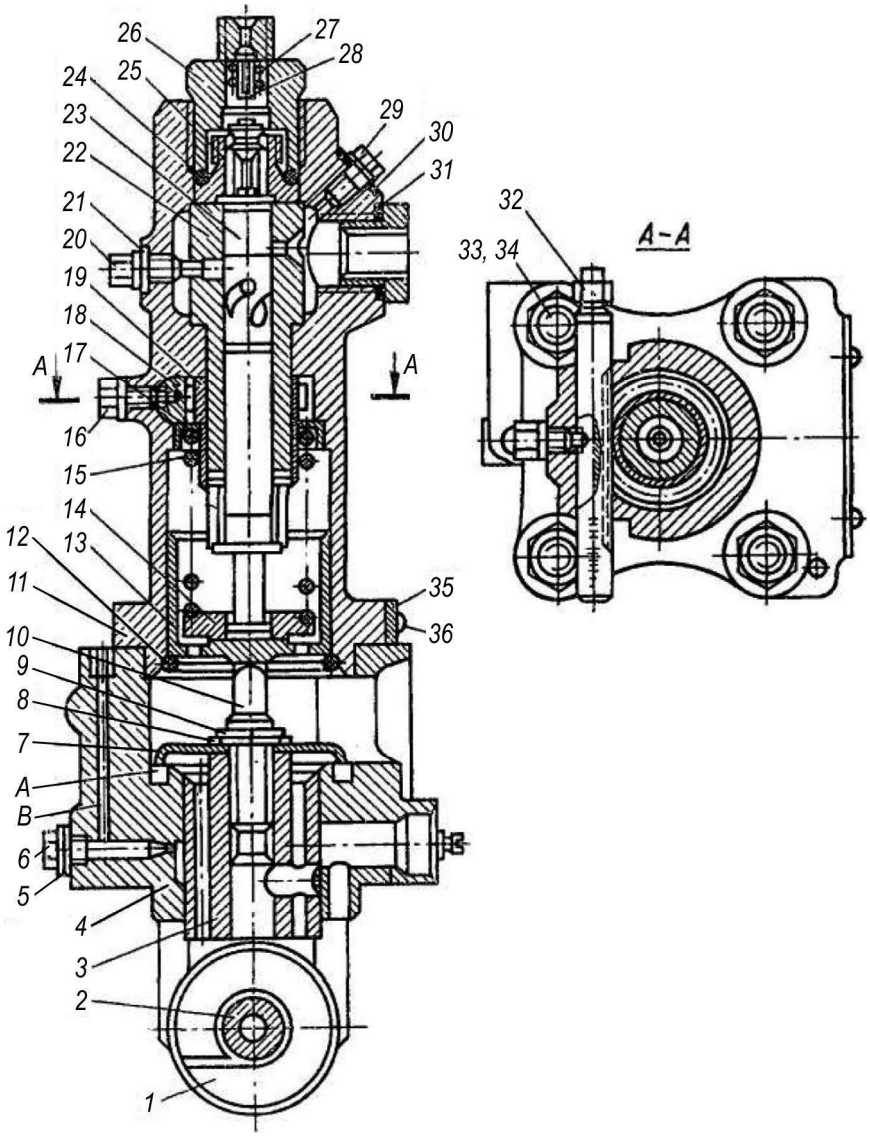


Рис. 4. Топливный насос высокого давления с приводом: 1 – ролик, 2 – ось, 3 – ползун, 4, 11 – корпус, 5, 21, 30, 31 – прокладка, 6, 29 – пробка, 7 – топливоотражатель, 8 – шайба, 9 – контргайка, 10 – толкатель, 12 – стопорное кольцо, 13 – стакан, 14 – нижняя тарелка, 15 – пружина плунжера, 16, 20 – болт, 17 – верхняя тарелка, 18 – рейка, 19 – шестерня, 22 – втулка плунжера, 23 – плунжер, 24 – уплотнительное кольцо, 25 – нагнетательный клапан, 26 – нажимной штуцер, 27 – пружина, 28 – ограничитель, 32, 33 – гайка, 34 – шпилька, 35 – фирменная табличка, 36 – заклепка

Общий вид комбинированного датчика, подготовленного к испытаниям дан на фотографии рис. 6.

На фотографии рис. 7 показан ТНВД с «Ш-Д» на безмоторном стенде.

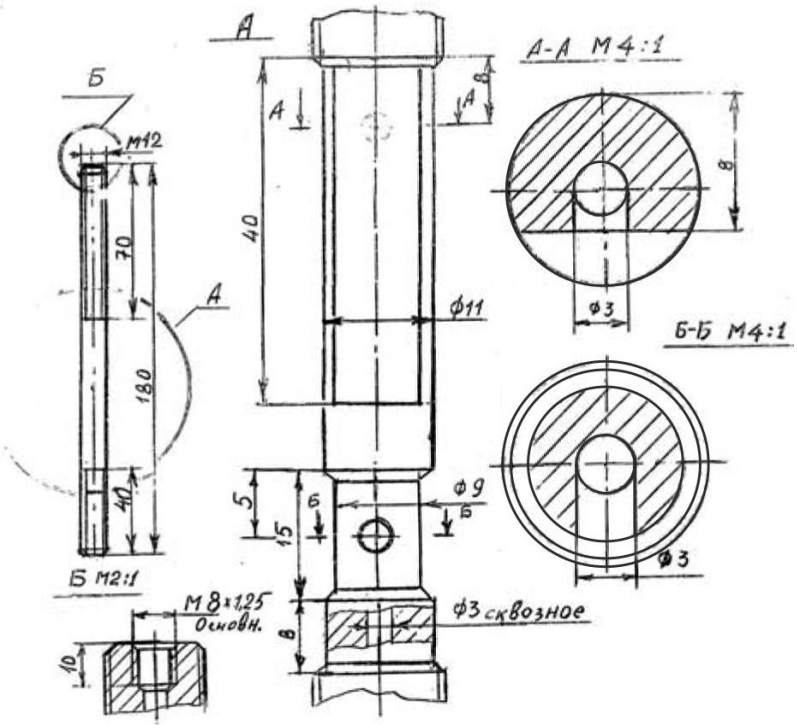


Рис. 5. Шпилька, препарированная для монтажа тензорезисторов

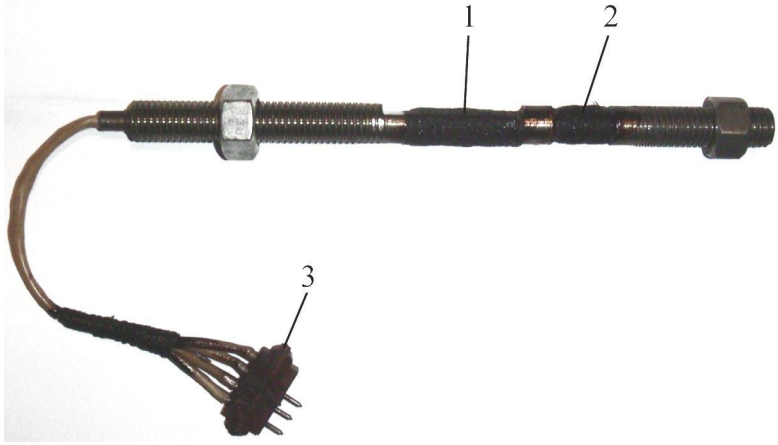


Рис. 6. Препарированная «шпилька-датчик»: 1-активные датчики, 2- компенсационные датчики, 3- электрический разъем

В ходе испытаний проведено осциллографирование давления топлива двумя датчиками : обычным тензометрическим, установленным на штуцере ТНВД и «Ш-Д». Копии осциллограмм представлены на рис. 8-12.

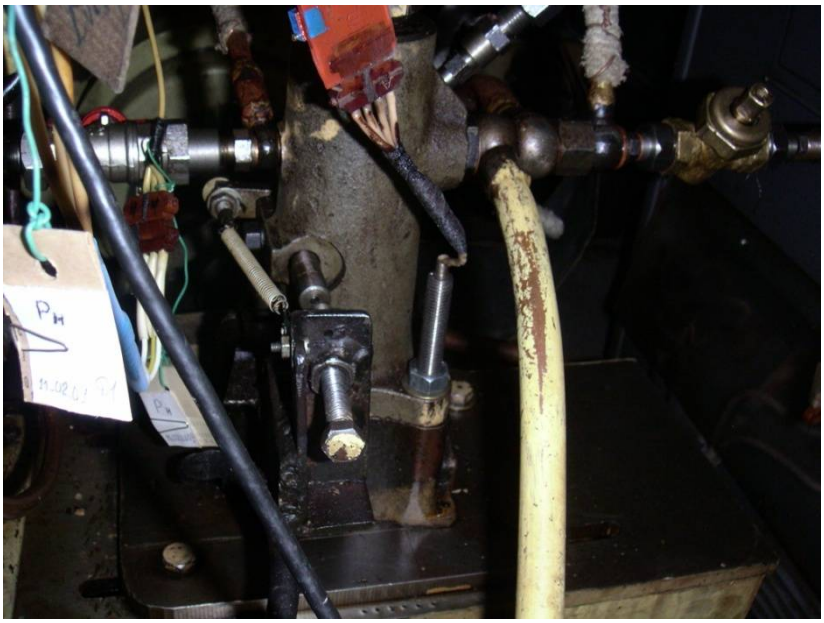


Рис. 7. Датчик давления топлива («Ш-Д») на ТНВД безмоторного стенда

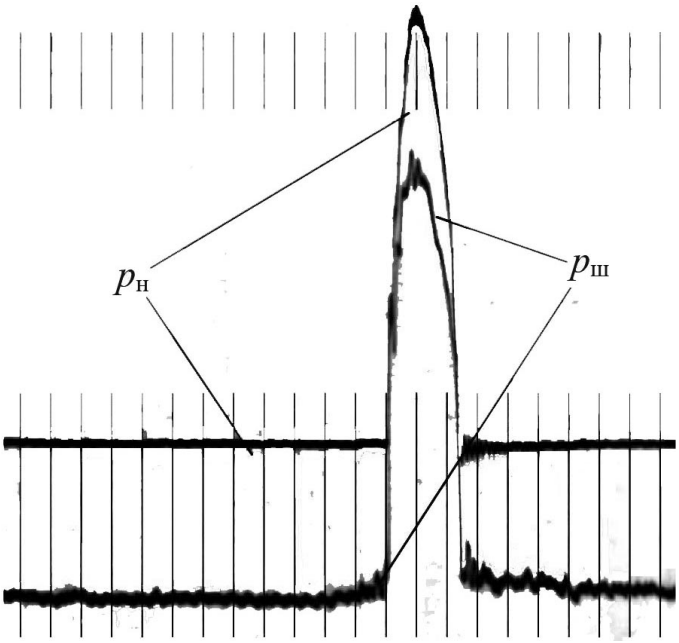


Рис.8. Осциллограмма топливоподачи при $n_р$ =46 об/мин, m = 27

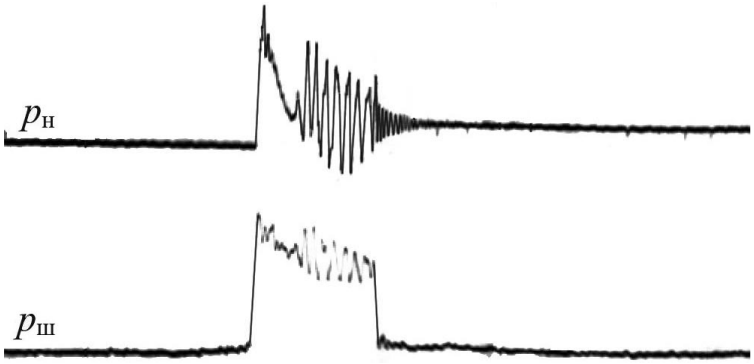


Рис.9. Осциллограмма топливоподачи при $n_р$ =33 об/мин, m = 32

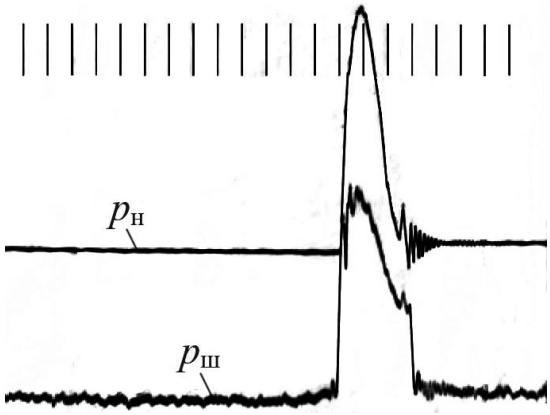


Рис.10. Осциллограмма топливоподачи при $n_р$=49 об/мин, m = 32

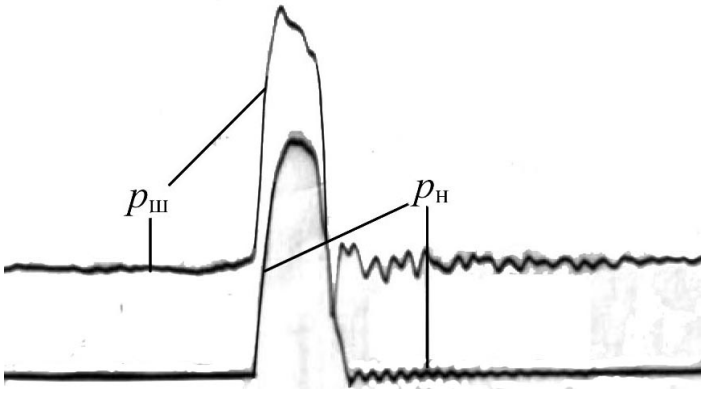


Рис.11. Осциллограмма топливоподачи при $n_р$=248 об/мин, m = 32

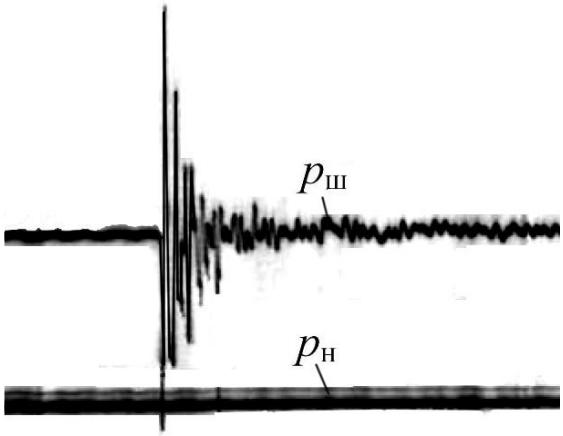


Рис.12. Осциллограмма вибрации стенда

Режимы, на которых проводились испытания, соответствуют полному диапазону рабочих частот топливной аппаратуры двигателя. Как указано на осциллограммах, он составил 33-248 об/мин

Визуальный анализ кривых давления топлива в насосе $p_н$ и деформации $p_ш$, записанной «Ш-Д», свидетельствует о приемлемой для практики информативности последней.

Сопоставляя кривые $p_н$ и $p_ш$, примем в качестве базовой запись с помощью датчика давления. Обратимся к процессам, представленным на осциллограммах рис. 8 и 11 с крайними частотами вращения распредвала. На этих режимах наблюдался стабильный процесс топливоподачи.

В обоих случаях можно отметить реакцию «Ш-Д» на появление дополнительной нагрузки в начале движения плунжера ТНВД. Этому отрезку на осциллограмме соответствует незначительный подъём кривой. Быстрый рост давления фиксируется обоими датчиками синхронно. На переднем фронте обеих кривых ($n_р$ =46 об/мин рис. 8) заметны наложенные колебания, более существенные у $p_ш$. При частоте вращения $n_р$ =248 об/мин (рис. 11) кривые гладкие.

Участок максимальных давлений характерен колебаниями на линии «Ш-Д», отсутствующими у $p_н$. Задний фронт особенностей не имеет. Кривая «Ш-Д» несколько полнее в верхней части. По окончанию топливоподачи, как и следовало ожидать, у кривой «Ш-Д» виден участок разгрузки, приходящийся на период обратного хода плунжера. При этом в случае $n_р$ =248 об/мин наблюдается обратный пик (ниже базового уровня).

Близкий к описанному имеет вид осциллограмма для $n_р$ =49 об/мин, приведенная на рис. 10.

Что касается дробной работы системы впрыскивания (рис. 11), то различие в кривых более существенно. Естественно полагать, что система, элементом которой является «Ш-Д», оказывает демпфирующее действие, сглаживая реакцию на изменение давления топлива. При этом, однако, частота сохраняется. Форма линий $p_н$ и $p_ш$ отличается существенно.

При анализе условий работы «Ш-Д» логично предположить, что комбинированный датчик воспринимает деформацию корпусных деталей стенда. Для проверки данного положения записана обоими датчиками вибрация стенда после ударного нагружения плиты, на которой смонтированы подшипники распредвала. Приложенная нагрузка значительно превышает динамическую составляющую рабочих усилий.

Эта осциллограмма (рис. 12) подтверждает предварительную оценку метрологических особенностей «Ш-Д». Действительно, если линия $p_н$ никак не отражает колебания стенда после удара, то кривой $p_ш$ записана интенсивная затухающая вибрация. И хотя, как указано выше, интенсивность нагрузки гораздо выше рабочей, влияние деформации стенда на «Ш-Д» очевидно.

Проведенные испытания и анализ полученных данных позволяет сделать следующие основные выводы.

В качестве базовой детали для создания комбинированного датчика высокого давления топлива в ТНВД может быть использована шпилька крепления его привода.

На режимах стабильного впрыскивания датчик давления и датчик деформаций имеют близкие метрологические характеристики. На этих режимах можно использовать «Ш-Д» для эксплуатационного контроля.

При испытаниях системы топливоподачи с помощью «Ш-Д» можно, кроме того, регистрировать нагрузки в приводе ТНВД.

При дробном впрыскивании топлива запись с помощью «Ш-Д» существенно отличается от процесса, фиксируемого в ТНВД, из-за демпфирующего действия деталей, связанных с передачей усилий от давления топлива на шпильку.

В качестве дополнительного побочного результата можно, предварительно, рекомендовать использование «Ш-Д» для записи вибрации двигателя в месте установки комбинированного датчика при отключении топливоподачи либо в периоды между впрыскиванием топлива.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhiqiang Wang . Study on Fault Diagnosis of Fuel Injection Based on Vibration Signal Analysis of High-pressure Fuel Injection Pipe\\ Applied Physics Research.- vol. i,no.2.- p. 102-106: http://www.ccsenet.org/journal/index.php/apr/ article/ viewFile/4198/3635
2. Dennis N. Assanis, Zoran S. Filipi, Scott B. Fiveland and Michalis Syrimis A predictive ignition delay correlation under steady-state and transient operation of a direct injection diesel engine .-W. E. Lay Automotive Laboratory University of Michigan 1231 Beal Avenue Ann Arbor, MI 48109-2121, 11 pgs .-http://me.engin.umich.edu/autolab/Publications/ Adobe/ P1999_ 01.PDF

УДК 621.431.74

Половинка Э.М., Мартынов С.В.
Одесская национальная морская академия

Изменение характеристики впрыскивания гибридной системы на режимах нагрузочной характеристики

В современном двигателестроении продолжается поиск путей совершенствования традиционных топливных систем. Процесс топливоподачи (ТП) оказывает определяющее воздействие на смесеобразование и сгорание и, следовательно, показатели рабочего процесса дизеля.

Управление начальным (остаточным) давлением, интенсификация процесса ТП, сокращения периода впрыскивания являются, по мнению многих специалистов, одними из значимых методов воздействия на ТП. Если говорить об интенсификации процесса при постоянной цикловой подаче, то повышение давления повлияет на продолжительность впрыскивания.

Одним из возможных методов совершенствования процесса ТП является электронно-управляемые системы, где осуществляться независимое регулирование всех показателей процесса ТП (продолжительность и давление впрыска, протекания характеристики впрыска, угла опережения цикловой

подачи). Выбор этих параметров осуществляется В соответствии с частотным и нагрузочным режимом работы дизеля, условиями окружающей среды и сортом применяемого топлива [1, 2].

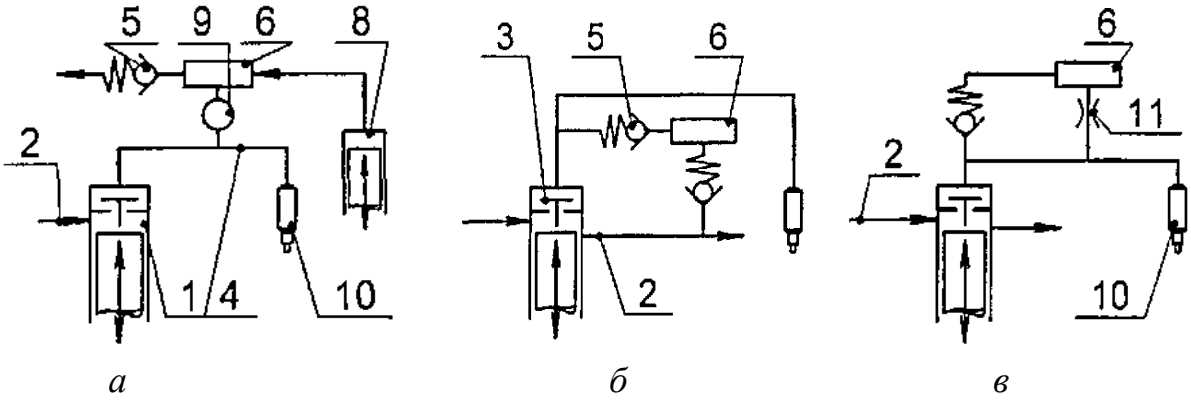


Рис. 1. Конструктивные схемы систем топливоподачи с возможностью регулирования начальных условий: а - создание начального давления происходит с помощью плунжерной пары дополнительного насоса; б, в – посредствам штатной секции высокого давления.

1 - топливный насос высокого давления; 2 - полость низкого давления; 3 - нагнетательный клапан; 4 - нагнетательная магистраль; 5 - перепускной клапан; 6 - аккумулятор; 8- дополнительный насос; 9 - распределитель; 10 - форсунка; 11 - дросселирующий элемент; 12 - мембрана; 13 - перепускной канал; 14 - регулятор давления.

Особого внимания заслуживают методы, позволяющие регулировать начальные условия в нагнетательной магистрали в межцикловой период [3].

Конструктивные схемы систем, позволяющих формировать начальные условия, показаны на рис. 1.

Дополнительный насос 8 (или штатная секция нагнетания) создает давление в аккумуляторе 6 (рис. 1, *а*). Уровень давления в нем регулируется клапаном 5, а созданием $P_{нач}$ в нагнетательной магистрали управляет распределитель 9. Возможен случай без использования аккумулятора, когда происходит непосредственное заполнение нагнетательной магистрали в межцикловой период.

Для переходных режимов характерна неравномерность создаваемого $P_{нач}$ при изменении частоты вращения из-за смещения фазового положения импульса отсечки перед клапаном. Это определяет необходимость дополнения системы аккумулирующим объемом 6 (рис. 1, *б*), что повышает стабильность показателей в условиях неустановившихся режимов работы. Давление в аккумуляторе может создаваться при помощи дополнительного источника, либо за счет импульса отсечки.

На рис. 1,*в*, представлена система, где топливо, подаваемое плунжером, поступает одновременно к форсунке 10 и в аккумулятор 6. Между циклами впрыскивания аккумулятор через дроссель 11, сечение которого может быть различным, заполняет нагнетательную магистраль.

В ОНМА проводятся работы по поиску процессов ТП и их конструктивной реализации, обеспечивающих расширение возможностей традиционных систем с привлечением дополнительных элементов с гибкой системой управления. Описание системы дано в [4]. Представленные в докладе материалы содержат данные по испытаниям гибридной системы впрыскивания топлива (ГСВТ) на режимах нагрузочной характеристики при выходе рейки ТНВД *m* - 3, 10, 17, 24 и 31 *мм* и двух частот вращения - 50 и 250 *об/мин* распредвала.

Эксперименты выполнены на безмоторном стенде (БМС) ЧН 25/34. Подача топлива из аккумуляторного модуля (АМ) производилась межцикловой период. Штатная система СОД сообщается с аккумуляторной системы топливоподачи (АСТ), имеющей независимый ТНВД с электроприводом. Подвод топлива из аккумуляторного блока в канал форсунки происходит на расстоянии приблизительно 120 *мм* от топливного кармана.

Соединение базовой системы топливоподачи (БСТ) и АМ производится путем открытия управляющего клапана (УК) на базе форсунки с электрогидравлическим управлением при помощи компьютерного управления [4]. АМ включает в себя топливный насос высокого давления (ТНВД), аккумулятор большого объема, аккумулятор малого объема и соединительные трубки высокого давления (ВД). Угол начала подачи управляющего сигнала или угол включения $\varphi'_{вкл}$ = 60° *п.р.в.* от опорной метки начала отсчета МНО и угол удержания $\varphi'_{уд}$ = 20° *п.р.в.*; давление затяжки иглы форсунки 115 *бар*; давление в аккумуляторной рампе около 160 *бар*. Данная величина является переменной т.к. из топливной рампы происходит подача топлива к форсунке, игла подрывается и давление падает на 5 – 10 *бар*, в зависимости от режима.

На рис. 2 и 4 представлены параметры работы ГСВТ с выходом рейки *m* = 24, частотами вращения *n* = 50 и 250 *об/мин*, где параметры, описывающие АМ обозначены штрихом «′» и величины без специальных меток - количественные характеристики БСТ. Параметры, описывающие работу ГСВТ были приняты следующие: i'_z, i – количество подъемов иглы форсунки при ТП из АМ и основном впрыскивании; $z'_д$ – процентная доля подъема иглы от максимального при основном впрыскивании; $\varphi'_{впр}$, $\varphi_{впр}$ – общий угол впрыскивания по кривой ПИ при включении аккумуляторного модуля и штатной системы ТП соответственно; $\varphi'_{зпи}$ - угол задержки подъема иглы после подачи управляющего импульса; $\varphi'_к$, $\varphi_к$ – угол поворота распредвала между двумя пиками - период времени по углу поворота между двумя колебаниями - подъемами иглы; $\varphi'_п$ – угол между посадкой иглы и его подъемом в колебательном процессе; $\tau'_{впр}$, $\tau_{впр}$ – общее время впрыскивания по кривой ПИ при включении аккумуляторного модуля и штатной системы ТП соответственно; $\tau'_{зпи}$ -время задержки подъема иглы после подачи управляющего импульса; $\tau'_к$, $\tau_к$ – угол поворота распредвала между двумя пиками - период времени по углу поворота между двумя колебаниями - подъемами иглы; $\tau'_п$ – время между посадкой иглы и его подъемом в колебательном процессе; $p_{фmax}$, $p'_{фmax}$ – максимальное давление впрыскивания при основной подаче и подаче топлива из АМ, $\Delta p'_{акк}$ – величина изменения давления в аккумуляторе; $\Delta p_ф$; $\Delta p'_ф$ –

амплитуды изменения давления форсунки, при основном впрыскивании и работе АМ соответственно, рисуноки 2 и 4; $+\Delta p_ф$, $+\Delta p'_ф$ – возрастание давления в канале форсунки относительно линии остаточного давления при основном впрыскивании и при работе АМ соответственно; $-\Delta p_ф$, $-\Delta p'_ф$, – падение давления форсунки относительно линии остаточного давления при основном впрыскивании и работе АМ соответственно; $H'_к$ – частота колебаний иглы форсунки при подаче топлива из АМ.

На рис. 2 представлена работа системы при выходе рейки ТНВД m = 24 на номинальном режиме. Начальное состояние системы характеризуется величиной остаточного давления $p_{ост}$, изображенной на кривой $P_ф$, и состоянием аккумулятора $p_{ак}$. Также производится запись угла поворота (кривя - «обороты») и положение иглы форсунки ПИ. Началом процесса является подача управляющего сигнала к управляющему клапану (УК) – кривая Упр. Кривая $P_{ак}$ - изменения давления в системе с топливной рампой, показана ниже кривой $P_ф$.

Начальным откликом на подачу управляющего сигнала (УС) является нарастание давления в системе высокого давления. Из осциллограммы видно, что давление в канале форсунки начинает подниматься практически одновременно с получением системой управляющего сигнала на открытие клапана. И за период времени $\tau'_{зпи}$ = 6,48 *мс* давление в системе превышает величину затяжки иглы форсунки, после чего игла поднимаемся, и топливо поступает к распылителю.

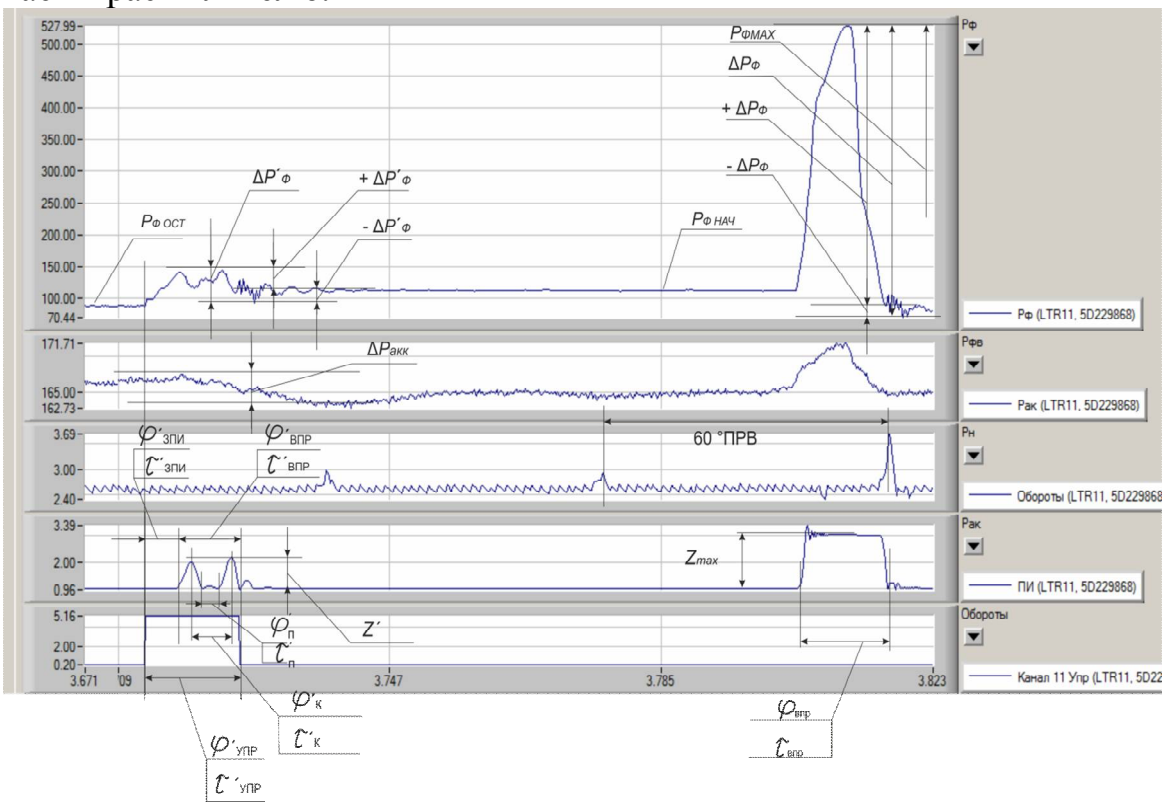


Рис. 2 – Осциллограмма впрыскивания топлива ГСВТ на режиме m = 24 мм и n = 250 об/мин

Максимальное давление в форсунке соответствует моменту начала подъема иглы штатного распылителя, что приводит к падению давления, как в штатной системе, так и в аккумуляторном блоке. Игла форсунки не достигает упора и после падения давления, вызванного расходом топлива через распылитель, она садится. Далее процесс повторяется. Для начала следующего цикла впрыскивания потребовалось время $\tau'_{п}$, что почти в двое меньше $\tau'_{зпи}$. После затухания второго колебания видно небольшое подвпрыскиванием топлива. Процесс впрыскивания продолжается до момента прекращения управляющего воздействия на клапан. В этот момент происходит разобщение системы.

Для представленного режима частота появления колебаний $H'_{к}$ = 150 *Гц*. Так при увеличении выхода рейки штатного ТНВД частота колебаний, вызванных сообщением БСТ с АМ, снижается.

После окончания впрыскивания заметно увеличивается остаточное давление $p_{ост}$ в системе, которое является начальным $p_{нач}$ для последующего цикла, рис. 3. Увеличение давления перед началом цикла позволяет эффективно воздействовать на топливоподачу при основном впрыскивании.

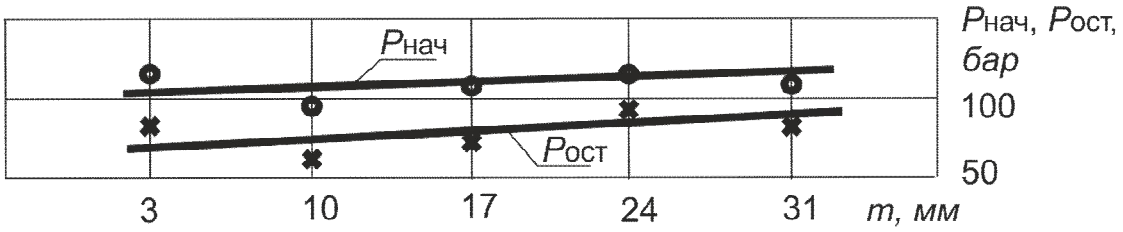


Рис. 3. Зависимость остаточного рост и начального рнач давления от выхода рейки m, при n = 250 об/мин

При этом, на кривой $P_{ак}$ видно снижение давления приблизительно на 5 бар и дальнейшее нарастание до основного впрыскивания. Однако можно сказать, что до первого пика на кривой $P_{ф}$, в аккумуляторе значительных изменений не наблюдается. После появления возмущения в БСТ, давление в аккумуляторной модуле начинает постепенно снижаться и продолжает падать даже после посадки иглы. После происходит наполнение АМ от ТНВД аккумуляторного блока. И в момент основного впрыскивания наблюдается увеличение давления в аккумуляторном блоке (АБ), что возможно свидетельствует о пропускании управляющим клапаном топлива при накатывании кулака на ролик штатного ТНВД. Однако после окончания подачи топлива штатным ТНВД давление в аккумуляторной системе снижается приблизительно до его величины перед основным циклом ТП.

Пропускание топлива УК можно объяснить малым давление со стороны запирающей полости клапана, которое равно давлению в аккумуляторе. А при ТП из штатного ТНВД давление впрыскивания достигает величины более 500 *бар*, что, видимо достаточно для того чтобы преодолеть усилие со стороны полости запирания.

На рис. 4 представлена работа ГСВТ по нагрузочной характеристике с выходом рейки штатного ТНВД m = 24 *мм* и частотой вращения n = 50.

При данных условиях работы системы появляется возможность детально рассмотреть процесс ТП после подачи управляющего сигнала (УС) на УК. Так после появления УС (рис. 4, канал управления) видно, что давление в системе высокого давления (СВД) БСТ начинает расти без задержки по времени.

Начальное давление по отношению к остаточному растет в среднем на 25 бар. Это является важным для формирования кривой впрыскивания при основной подаче.

Максимальное давление впрыскивания при основной подаче $p_{\text{фmax}}$ возрастает по нагрузочной характеристике, рис. 6. Из рисунка видно, что при снижении частоты вращения распредвала максимальное давление впрыскивания значительно снижается.

Длительность впрыскивания по углу поворота распред вала $\varphi_{\text{впр}}$ и время впрыскивания $\tau_{\text{впр}}$, при основной подаче, растет по мере увеличения выхода рейки (рис. 6). Что также характерно для систем не включающих АМ. Наблюдается незначительный рост задержки подъема иглы форсунки $\tau'_{\text{зпи}}$ на частичных режимах (50 об/мин), но на более высоких скоростях данное явление не проявляется.

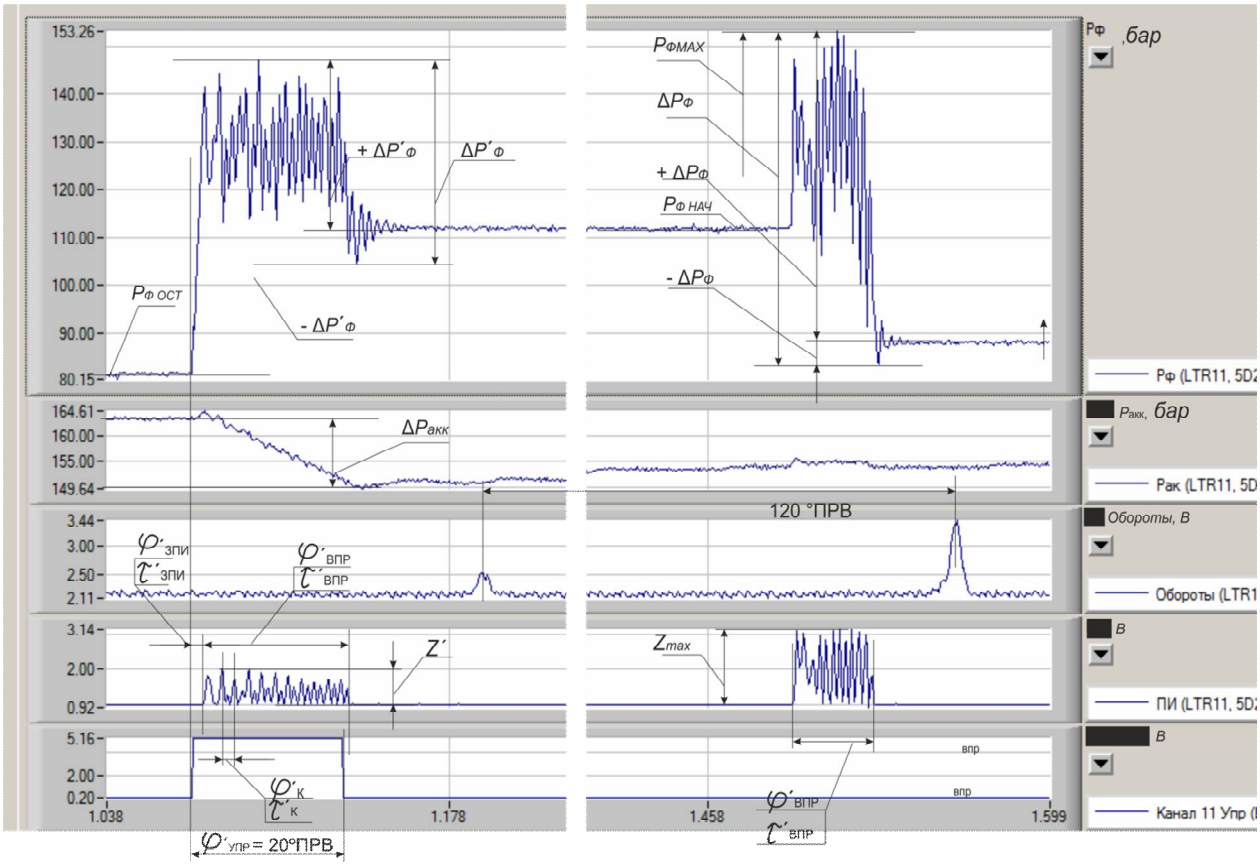


Рис. 4. Исследование работы ГСВТ по нагрузочной характеристике, выход рейки m = 24 мм, частота вращения n = 50

Детально рассмотрев снятые режимы, можно сказать, что выход рейки не имеет определяющего воздействия на длительность впрыскивания по углу поворота $\varphi'_{впр}$ и периоду впрыскивания $\tau'_{впр}$, но снижаются с ростом частоты вращения, рис. 6. Колебания в системе высокого давления, которые генерирует ТП из АМ, характеризуются стабильным количеством подъемов, около 11, для 50 *об/мин*. Хотя период колебаний $\tau_к$ при повышении рейки растет. Рост $\tau_к$ происходит от 5,2 *мс* до 5,8 *мс*. Но на номинальном режиме работы период колебаний постоянный и равен около 8,5 *мс*.

После первого подъема иглы, начинается колебательный процесс высокой частоты с нарастанием давления. Частота колебаний $H'_к$ для данного режима и режимов работы системы с выходом рейки *m* менее 24 *мм* составляет приблизительно 190 *Гц*. Но уже в рассмотренном режиме работы, (рис. 4) между колебаниями появляются промежуточные всплески, усиливающиеся к концу цикла, рис. 5.

После первого колебания, игла садится на седло и через короткий период времени, примерно равный периоду колебаний, находится в покое. Между вторым и третьим колебанием игла совершает незначительное перемещение, которое возрастает с каждым последующим колебанием. В конце ТП из АМ промежуточные колебания равны основным. При выходе рейки m = 31 мм частота колебаний увеличивается почти в 2 раза до 370 Гц.

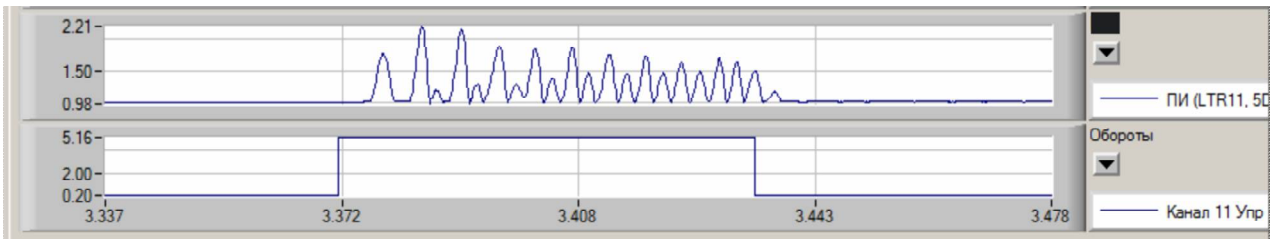


Рис. 5. Колебания иглы форсунки на частичных режимах при 50 об/мин выходе рейки m = 24 мм

Цикл впрыскивания из аккумуляторного блока продолжается до момента прекращения управляющего воздействия на клапан. В этот момент происходит разобщение системы.

В штатной системе процессы представляют собой колебательные изменения давления и, в определенной мере, синхронное перемещение иглы форсунки.

Процентная доля подъема иглы $z'_д$, при подаче топлива из АР, от максимального, при основном впрыскивании, не характеризуется заметным изменением с ростом рейки и равно около 50% от основной подачи, для номинального режима.

При основной подаче топлива, на малых оборотах и данной затяжке иглы форсунки, также генерируются колебания высокой частоты, усиливающиеся с увеличением выхода рейки. Рост количества колебаний при основной подаче *i* можно объяснить увеличением объема топлива подаваемого к форсунке,

а также и ростом максимального давления впрыскивания, что обусловлено снижением угловой скорости вала. Режимы ТП с рейкой *m* = 3 и 10 *мм* представляют низкоамплитудный затухающий процесс.

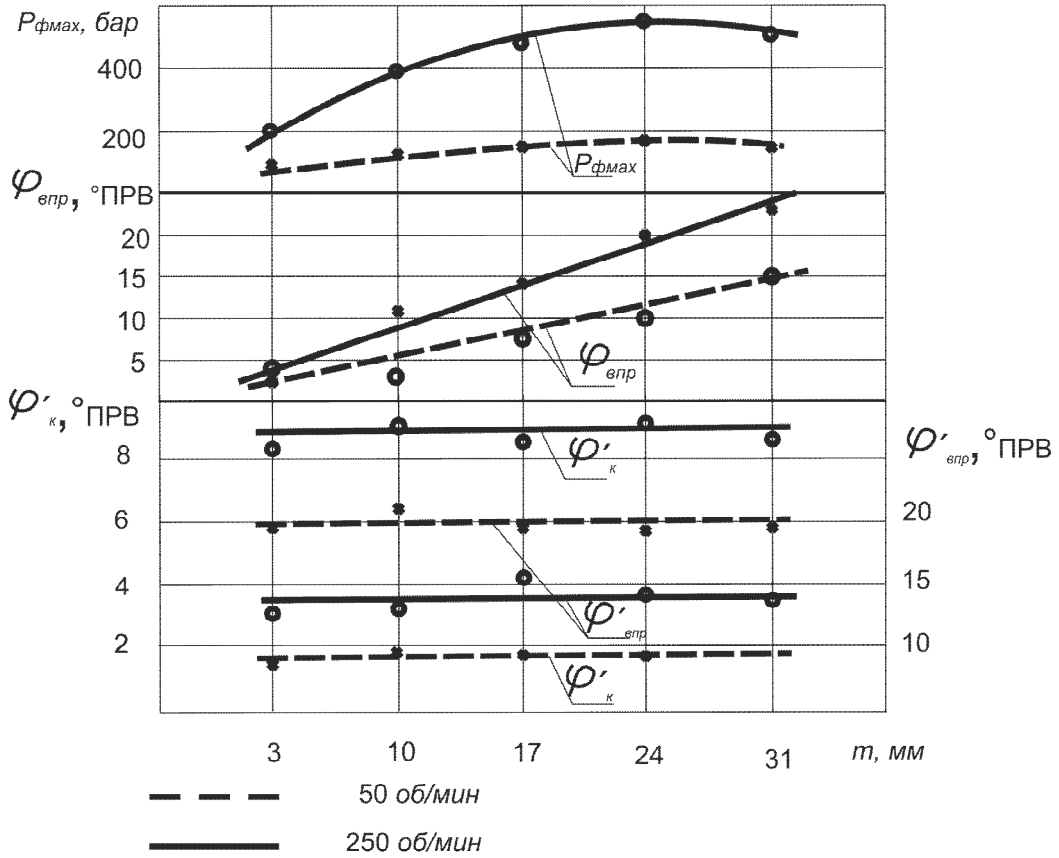


Рис. 6. График зависимостей параметров ТП ГСВТ на нагрузочной характеристике дизеля ЧН 25/34, при 50 и 250 об/мин и давлении затяжки иглы форсунки p_0 = 115 бар, давление в аккумуляторе $p_{акк}$ = 160 бар

Выводы

Использование ГСВТ с аккумуляторным модулем позволяет эффективно воздействовать на процесс топливоподачи путем регулирования остаточного давления. При подаче топлива из аккумуляторного блока удается повысить начальное давление на 25 – 30 *бар*.

Применение электрогидравлического управляющего клапана в ГСВТ дает возможность осуществлять многофазное впрыскивание топлива на различных этапах цикловой подачи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Огнев И.В., Улучшение показателей рабочего процесса дизеля интенсификацией впрыска топлива: Диссертация на соискание ученой степени КТН. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ им. Ползунова, 2003. – 183с.

2. Иващенко Н. А., Вагнер В.А., Грехов Л.В. Дизельные топливные системы с электронным управлением: Учебно-практическое пособие. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ им. Ползунова, 2000. – 111., ил.

3.Черныш А.Г., Система топливоподачи дизеля с регулируемым начальным давлением в нагнетательной магистрали: Диссертация на соискание ученой степени КТН. - Волгоград: Изд-во ВГТУ, 2005. – 123с.

4. Половинка Э. М., Мартынов С. В. Процесс впрыскивания ГСВТ на режимах автономного использования аккумуляторного блока: Научно технический сборник № 34. – Одесса: Изд-во ОНМА, 2014. - стр. 103

УДК 621.431.74

Tatsiuk O.D., Agopyan A.S., Zaharkevich S.V., Science advisor: Polovinka E.M.

Simulation modeling of diesel's workflows

Computer Aided Engineering or CAE simulation, is a method of virtually proving a product or design. Various approaches can be used, including Multibody Dynamics Simulation[1], Finite Element Analysis, or a combination of both. The design is modeled, often starting with Computer Aided Design - CAD data, and then virtually tested to verify that the design will function as expected under defined operating conditions. The results from the simulation provide insight into the behavior of the design and help engineers make design changes and improvements..

Why use CAE simulation? Simulation used to be exclusively the domain of large aerospace and automotive companies. However, these days, with powerful inexpensive computers, and affordable easy-to-use software, simulation is being undertaken by more and more small-to-medium sized companies in a wide variety of industries [2]. Reduce physical testing and save money Manufacturing costs money and testing can also be very expensive. Besides saving time, reducing the testing overhead by using simulation to verify your designs will also mean that you will be able to significantly reduce the expense of manufacturing and testing prototypes, which could amount to a considerable cost saving.

CAE tools are very widely used in the automotive industry. In fact, their use has enabled the automakers to reduce product development cost and time while improving the safety, comfort, and durability of the vehicles they produce. The predictive capability of CAE tools has progressed to the point where much of the design verification is now done using computer simulations rather than physical prototype testing. CAE dependability is based upon all proper assumptions as inputs and must identify critical inputs (BJ). Even though there have been many advances in CAE, and it is widely used in the engineering field, physical testing is still used as a final confirmation for subsystems due to the fact that CAE cannot predict all variables in complex assemblies (i.e. metal stretch, thinning).

The example of application workarea and sample model of diesel engine can be seen in the figure 1

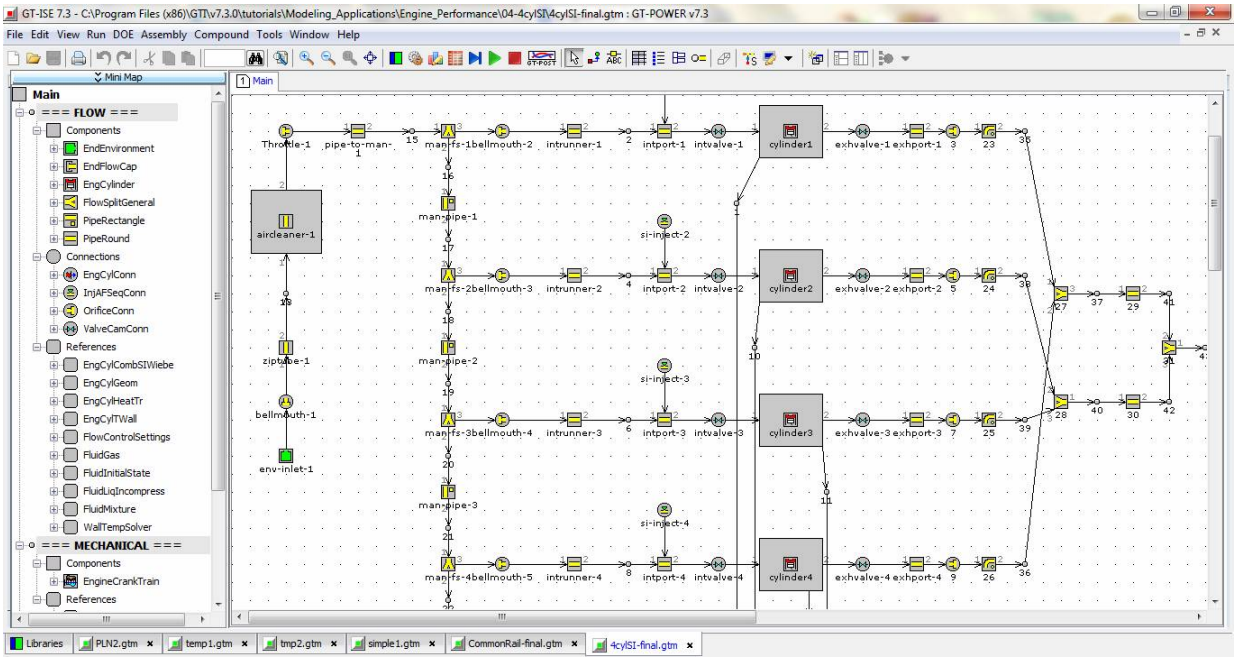


Fig. 1 GT-POWER main window

As determination of accuracy of calculations made by this program we can use the data showed on 4th International Conference on Energy Sustainability. In that project GT-SUITE was used to determinate the emissions of NOx of 4-stroke diesel engines[4].

Crank angle dependent fuel injector sac pressure profiles have been measured during combustion tests and used as fuel jet inputs in the combustion modeling to predict injected fuel mass and fuel jet velocity as a function of time. In each emissions test, an in-cylinder pressure profile was measured and used for combustion model calibration to assure a correct burn rate profile was predicted and the exhaust emissions prediction was based on a calibrated burn rate profile which closely resembled the one measured in the test. Engine emissions, which include NOx, HC, CO, and CO_2, measured at various engine speeds and loads were compared to those predicted by the combustion simulations. In GT-Power, combustion refers to the transfer of a defined amount of fuel mass and air from an unburned zone to a burned zone in an engine cylinder, the release of chemical energy in the fuel-air mixture and the calculation of species and concentrations that result. During compression, combustion, and expansion processes in the cylinder, the combustion rate is controlled by the burn rate, the rate at which fuel and air molecules are transferred to the burned zone from the unburned zone and begin to participate in the chemical reactions. The total injected fuel mass is divided into five radial zones and a certain number of axial zones.

Each zone contains subzones for liquid fuel, unburned vapor fuel and entrained air, and burned gases. As the liquid fuel is injected into the cylinder, the fuel entrains air and begins to evaporate, thus forming the unburned subzone. he outer zones entrain air more quickly than the inner zones, thus decreasing their velocity

more quickly due to momentum conservation and resulting in less penetration distance as can be seen in figure 2.

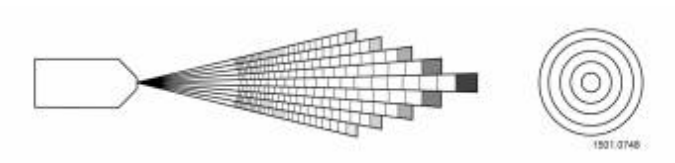


Fig.2 Fuel jet breakup into radial and axial zones in a DIJet model

The zonal temperature is calculated by the injected fuel temperature, entrained air temperature, and the effect of fuel evaporation. The zonal fuel-to-air ratio is determined by the vapor fuel mass and entrained air mass in each unburned subzone. When the combination of cylinder pressure, zonal temperature, and fuel-to-air ratio becomes combustible, the fuel in the unburned subzone ignites and results in changes of temperature and composition. All combustion products are then moved to the burned subzone. The fuel injection pressure profile, pressure versus crank angle, required by the GT-Power DIJet model is the pressure profile in the injector sac which is a small volume inside the injector between the plunger and the spray nozzles. Figure 3 shows a typical fuel injection nozzle of a diesel engine . The fuel injector sac pressure is difficult to measure due to difficult accessibility, very high pressure, and high frequency response required. With the fuel pump system that the test engine uses, two absolute pressure transducers in a pressure range of approximately 2000 bar were used to measure fuel pressures at two different points, fuel pump end and nozzle holder end, along the injection line. The pressure and velocity in the injector sac area were computationally determined by the pressures measured at these two points.

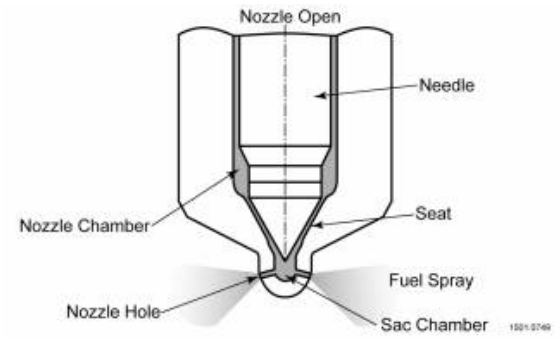


Fig. 3 Illustration of a fuel injection nozzle of a diesel engine

Comparison between the simulation-predicted and testmeasured emissions data shows relatively good agreement for the NO x emissions. In addition, the CO2 predictions were generally within a factor of two, but the results for CO and HC could differ by more than an order of magnitude under the conditions tested. This might be due to the fact that the predictive combustion simulation DIJet modeling is primarily developed in the GT-Power to predict the burn rate and NOx emis-

sions. In this simulation approach, the NOx emissions are predicted using Extended Zeldovich mechanism, while the rest of emissions are primarily calculated using equilibrium chemistry. The emissions data, shown in tables 1 and 2, show that the GT-Power combustion simulations tend to over-predict the emissions concentrations of HC, CO, and CO_2.

Specifications of diesel engine used in emissions testing

Engine Type	Single-Cylinder, 4-Cycle Diesel Engine
Combustion System	Direct Injection System
Bore	86 mm
Stroke	70 mm
Displacement Volume	406 cm3
Continuous Output	6.6 kW
Rated Speed	3600 RPM
Compression Ratio	19.3
Fuel Injection Pressure	196 bar

The obtained results are presented in following tables.

Table 1. Comparison between test-measured and simulation-predicted emissions for No. 2 diesel fuel at engine speed of 2200 rpm

Engine speed (rpm)	Torque (Nm)	NO_x (ppm)	CO (ppm)	HC (ppm)	CO_2 (ppm)	A/F	O_2 (%vol)	Lambda	Injected fuel mass per cycle (mg)
2200	2.5	92 (81)	300 (5030)	20 (96)	26400 (32985)	95.7	17.64	6.57	6.622
2200	5	104 (132)	400 (4842)	22 (70)	36600 (61610)	67.6	16.35	4.62	11.982
2200	7.5	119 (155)	700 (5747)	24 (51)	48800 (81534)	47.2	14.16	3.22	16.119
2200	10	150 (130)	6300 (7482)	29 (3)	73600 (105972)	28.3	9.83	1.95	21.42

(Note: emissions concentration values included in parentheses are simulation-predicted results.)

Table 2. Comparison between test-measured and simulation-predicted emissions for No. 2 diesel fuel at engine speed of 2600 rpm

Engine speed (rpm)	Torque (Nm)	NO_x (ppm)	CO (ppm)	HC (ppm)	CO_2 (ppm)	A/F	O_2 (%vol)	Lambda	Injected fuel mass per cycle (mg)
2600	2.5	67 (74)	400 (10681)	24 (287)	26200 (32725)	105	17.85	7.25	7.774
2600	5	99 (100)	500 (9951)	24 (192)	41600 (54304)	59.8	15.5	4.23	11.528
2600	7.5	129 (116)	1100 (7840)	24 (46)	61000 (95367)	42.9	13.5	2.93	18.936
2600	10	146 (120)	3800 (10824)	25 (40)	92600 (100302)	28.1	9.78	1.93	20.557

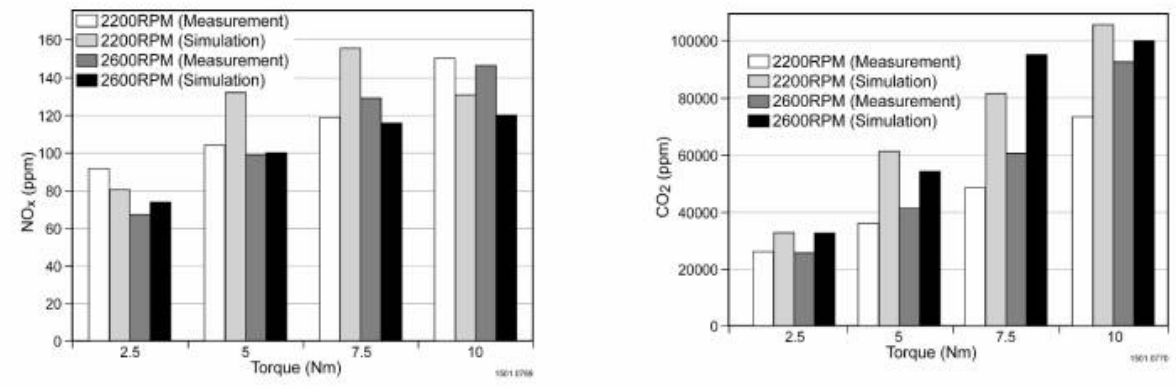


Fig. 4 Test-measured and simulationpredicted NOx and CO_2 emissions concentrations

As another example we can use research in spray and combustion characteristics.

With the growing emphasis on environmental protection and the increasingly stringent emission regulation, researchers must improve the shortcomings of diesel engine . The key to solve this problem is to research and improve the factors which affected DI diesel are the combustible mixture formation, the location of ignition, the length of ignition delay, regularity of heat release and the formation mechanism of harmful emissions.

Using multi-dimensional numerical to assist stimulated calculation of spray and combustion processes in diesel engine can understand the process of mixture formation and combustion, it has great significance in cognizing the combustion efficiency and cognizing the formation mechanism of emission, and it will also help diesel engine adapted to the requirements of increasingly stringent emission regulation. This paper focused on a DI diesel which has bias combustion chamber and the position of fuel injector is bias opposite at the combustion chamber, software FIRE was used to three-dimension simulation analyze its spray and combustion processes. Software FIRE is engine CAE software developed by AVL company.

Essential parameters of the experimental diesel are shown in Table 3.

Turbulence broken eddy model was chosen as combustion model. Combustion model can be used to simulate the change, ignition, turbulence combustion of components, and the formation reaction of gas phase contaminants and particulates. In numerical simulation of chemo-motive force reaction process, average chemical reaction rate is the center issue. Combustion speed is determined by the scale of molecules mixing rates of the eddies which contain reactants or high temperature products

The DI diesel engine spray combustion flow field which was received by simulation, as is shown in the Figure 5. The fuel injection nozzle which the orifice cone angle is 140o starts to spray oil at the time of 3oCA BTDC, and in the calculation process, researchers consider those factors included the evaporation, crushing, impingement, gas turbulence of oil droplets.

Table 3. Parameter Values of Engine Structure and Operation

Parameter Values of Engine Structure		**Parameter Values of Operation**	
Type of Engine	DI Diesel Engine	Rotating Speed	1600r/min
Cylinder Bore	100mm	Formula for Fuel	$C_{12}H_{26}$
Piston Stroke	127mm	Fuel Delivery per Cycle per Cylinder	1.56×10^{-5}kg
Connecting Rod Length	241mm	Temperature of Fuel Injection	353K
Combustion Chamber Volume	44.1ml	The beginning Time of Oil Injection	3°CA BTDC
Compression Ratio	17.5	The ending Time of Oil injection	21°CA ATDC
Type of Nozzle	Port Fuel Injector	Spray Cone Angle	5°
Orifices Number	6	Initial Temperature of In-cylinder	340.6K
Initial Pressure of In-cylinder	237.5 KPa	Swirl Ratio	1.125

During the whole injection process, the changes of sprayer can be separated into two steps: from the orifice spraying to the stronger of core of spray body, until a transition point stopped which is the core end, and these time equivalent to ignition delay; after that the size of the core of spray body remain unchanged basically, outside the transition point the front part of oil mist continued spread until it hit the wall and then change the direction of movement. From (b), (c) , (d) , (e) , (f) in Figure 5, we can find that in addition to the range of the core of spray body is basically unchanged, and also the changing rate of speed is very low after ATDC. At the axis of the core of spray body, the speed of oil mist is the fastest, but the oil mist outside of the core mix with air forming into combustible mixture because of the influence of air friction making the speed of mist reduced. In the front part of oil mist, the circumferential flow of air makes oil drops deviate along with the direction of the circumferential flow and spread into larger areas. Due to the resistance of the wall, the front parts of oil mist which reach combustion chamber wall first produce the flow along the wall around. Most of the oil mist flooded to the bottom of combustion chamber, along the wall, and kept going forward. The heave of the bottom of combustion chamber helped mixing the air of it with the oil mist, while the small fraction flooded upward to the gap of the piston. After injection in 24oCA ATDC (Figure 5 (g), (h)), the speed at the end of the extension of the front part of the oil mist is fastest, because of the influence of reverse squish, the mixture in combustion chamber extrude and further mix with air in cylinder.

Most NOx in-cylinder in diesel engine was formatted at 10o CA after starting of combustion, after top dead center, along with the acceleration of diffusion fuel, the heat release rate was rising fast, and the mean temperature of in-cylinder and the production rate of NOx also increased rapidly; Up to the ATDC

at 40o CA, the heat release rate having descended dramatically to a lower position begins falling slowly. After the average temperature in-cylinder arrives at the highest temperature as well, it gradually descends. At this moment, although NOx generation still remains the increasing trend, the increasing amount is very small. The production rate of NOx has remained undamentally unchanged, after 50o CA ATDC and achieved the freezing temperature of NOx.

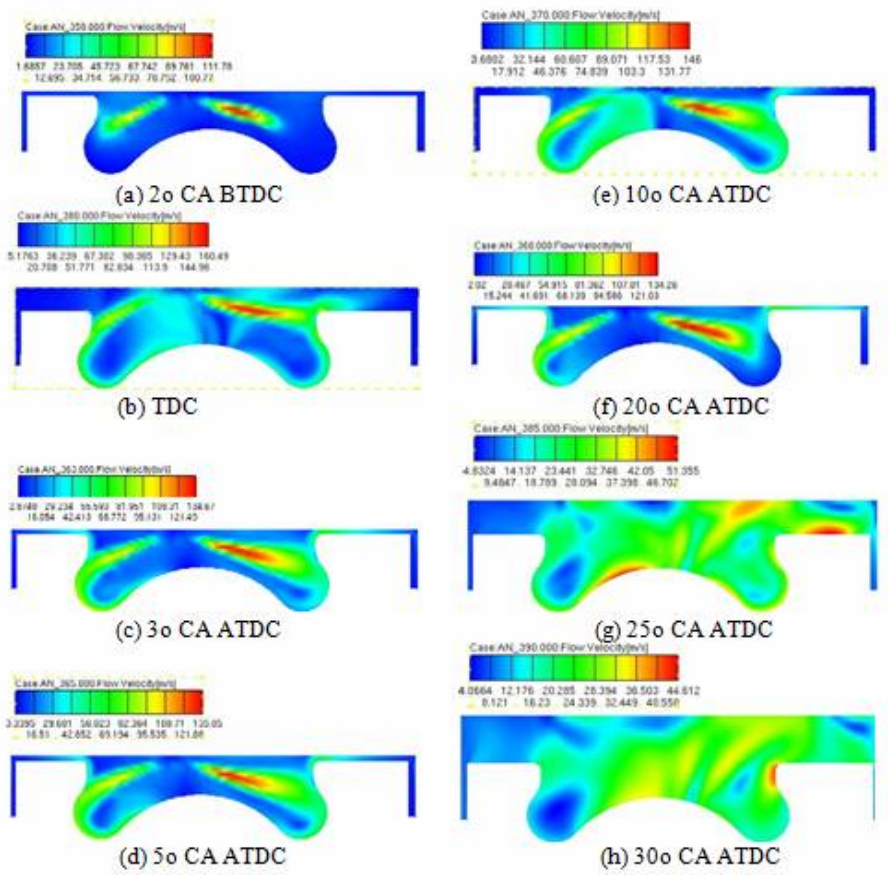


Fig. 5. The Flow Field of Diesel Engine in Different Crank Angle Positions

As shown of Figure 6, the peak value of soot formation was emerged after the oil injection finished, between 30o ~ 35o CA ATDC. In the crank angle afterward, the fuel spray have been cut apart by the

entrainment air, oil droplets were surrounded by the high tempreture combustion products of premixed combustion, high tempreture and the subsequent mix facilitated the oxidation of soot, the soot that formed at the beginning of combustion gradually reduced and dissipated. The soot formed after is hard to get oxidation, because it is close to the end of combustion and the tempreture of expansion stroke in-cylinder decended, so did the soot which was left at the main combustion timing can't get oxidation.

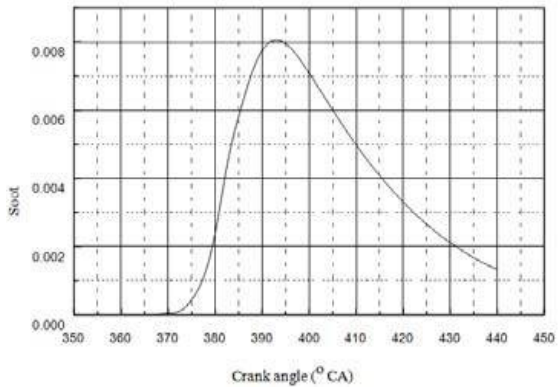


Fig. 6. Soot Process Graph of Generation

As shown of Figure 7, the analog computation result and the test result are basically the same, and both of them have tow peak values. The first crest is because of the premixed combustion which formed from the fire after the ignition delay, and the piston compressed caused the rise of pressure in-cylinder when reached TDC; the piston downward and expand rapidly at ATDC, the dramatical decline of pressure in cylinder shapes wave hollow. Diffusion combustion accelerates along with the consistent oil injection, the pressure of in-cylinder began to rise and formed the second crest.

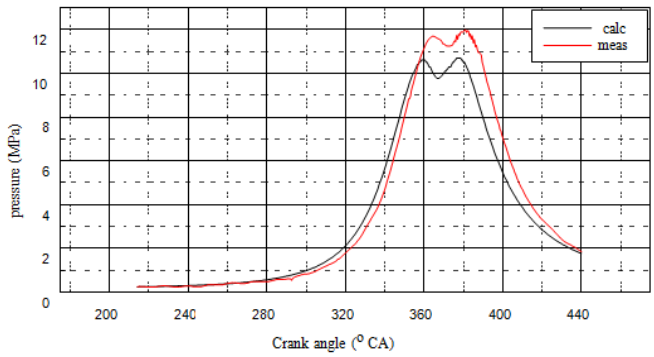


Fig. 7. The Contrast of Indicator Diagram

CONCLUSION

In this work was shown that using of CAE is a new step ahead in the field of researching of the different machinery. It provides you a wide variety of tools to make it: from the similar design up to the deep research in most fields of diesel work. The GT-SUITE was presented in this work as one of the most powerful tools of a such type. It is well known by big developers and has approved its usability in years.

As you can see from the described text calculated data is actually really close to experimental one. Undoubtedly it can and should be used not only by worldwide companies but also by young and perspective scientists who cannot afford to pay for expensive experiments. Such programs can be hard to master, but benefits from it totally cost the time consumed for learning it.

As for the research of NOx reduction GT-SUITE calculations were correct and have provided necessary data. In the carbon oxides there was big inaccuracy due to less simulation compability in current version.

Another CAE product, AVL- FIRE, helped us to research NOx emissions in diesel, and results were accurate and allowed to make deeper research.

REFERENCES

1. American Journal of Applied Sciences 5 (6): 610-617, 2008 ISSN 1546-9239
2. http://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_engineering
3. Gamma Technologies, 2004. GT-POWER User's Manual Version 6.1, Gamma Technologies Inc.
4. Combustion emissions modeling and testing of conventional diesel fuel, Proceedings of the ASME 2010 4th International Conference on Energy Sustainability ES2010 May 17-22, 2010, Phoenix, AZ USA
5. PM emissions and NOx-reduction due to water in fuel emulsions in marine diesel engines, Norwegian University of Science and Technology Department of Marine Technology
6. Simulation Research on the Spray and Combustion Characteristics in A DI Diesel Engine, Wenming Cheng, Wei Peng, Hui Xie

УДК 6295.064-843.8

Ермошкин Н.Г., Сапига В.В.
Одесская национальная морская академия

Комплексное воздухоочистительное устройство для корабля класса фрегат

В процессе эксплуатации судовых (корабельных) газотурбинных установок (далее, ГТУ) проточные части осевых компрессоров и турбин газотурбинных двигателей (далее, ГТД) подвергаются загрязнению. Появление загрязнений в виде отложений солей, обусловлено рядом причин, в первую очередь, воздух вблизи водной поверхности насыщен взвешенными частичками морской воды. Во-вторых, при движении судна (далее под понятием «судна» будет пониматься и боевой корабль) в сложных гидрометеорологических условиях (особенно небольшого водоизмещения, до 1200 т) происходит процесс интенсивного заноса частиц воды, в виде брызг, в воздухоприемные устройства. В данном случае на процесс интенсификации заноса частиц воды, оказывает особенности работы ГТД, как объекта, требующего больших расходов воздуха (к примеру, ГТД UGT 6000 – массовый расход отработавших газов составляет 32,5 кг/с).

Следующий вид отложений, связан с заносом маслянистых веществ в проточные части компрессоров и турбин, попадающих в одном случае вместе со смесью воздуха и продуктов сгорания топлива через воздухоприемное устройство, а в другом, случае обусловлены нарушением функционирования системы суфлирования ГТД и особенностями работы различных конструктивных схем уплотнений масляных полостей опор компрессоров. В третьем случае, образования отложений, в виде нагара, на сопловых и рабочих лопатках турбин высокого и низкого давления связано с нарушением процесса горения топливовоздушной смеси в камере сгорания двигателя, обусловленные различными эксплуатационными факторами. Появление на лопатках компрессора и турбин отложений уменьшает сечение межлопаточных каналов, приводит к нарушению геометрии профилей и вызывает коррозию деталей. В следствие чего изменяются характеристики турбин и компрессоров, приводящие к снижению запаса по помпажу для последнего. Смещение точки устойчивой работы компрессора на линии рабочих режимов к ограничительной линии (границе помпажа) приводит к снижение его расходных и мощностных характеристик (рис. 1). В конечном итоге ведет к появлению признаков неустойчивой работы компрессоров (вращающий срыв, сам помпаж), а в наихудшем случае приведет к выходу из строя ГТД и установки в целом.

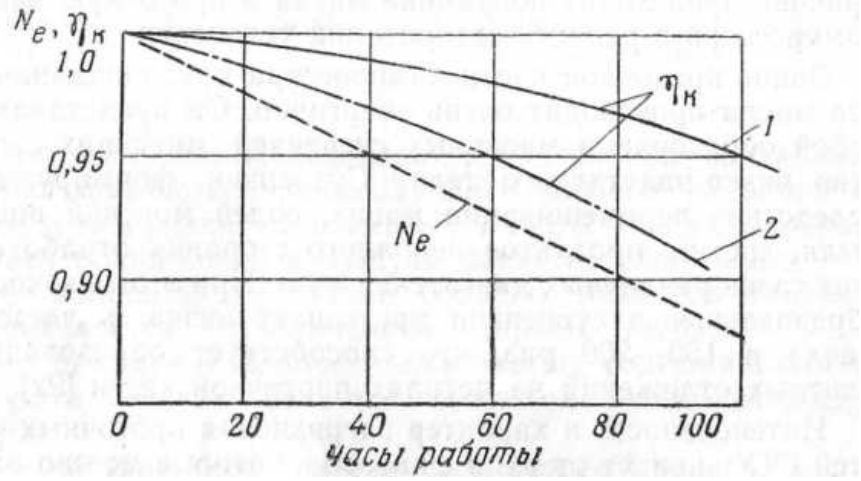


Рис. 1. Изменения КПД компрессора и мощности ГТУ в зависимости от времени работы без удаления отложений из проточной части:
1 - *ГТУ типа «Гатрик»;* 2 - *ГТУ танкера «Орис»*

Согласно экспериментальных данных при подаче в ГТД «Proteus» компании Rolls-Royce Group plc вместе с воздухом одной части соли на 5 млн. частей воздуха мощность двигателя за 5 часов работы снизилась на 20 - 25 %. А при эксплуатации ГТУ-20 из-за заноса проточных частей турбин солевыми отложениями, попадавшими в них при очистке компрессоров, КПД турбин упал с 0,88 до 0,78.

Загрязнение проточной части турбин вынудило разработчиков газотурбинных двигателей искать пути решения данной проблемы. Решение данной научно-прикладной проблемы развивалось по двум основным направлениям:

разработка методов и средств очистки воздуха перед его поступлением в проточную часть ГТД и разработка и внедрение технических решений (устройств), позволяющих в условиях корабля проводит очистку проточных частей от загрязнений.

Созданные к настоящему времени конструктивные и разработанные организационные мероприятия снизили остроту проблемы загрязнения проточных частей ГТД (рис. 2). Но современные требования по энергоэффективности коммерческих судов, а применительно к боевым кораблям – вопросы обеспечения «скрытности», требуют от исследователей поиска новых решений по совершенствованию существующих средств или разработки принципиально новых подходов к вопросам снижения загрязнения проточных частей современных ГТД.

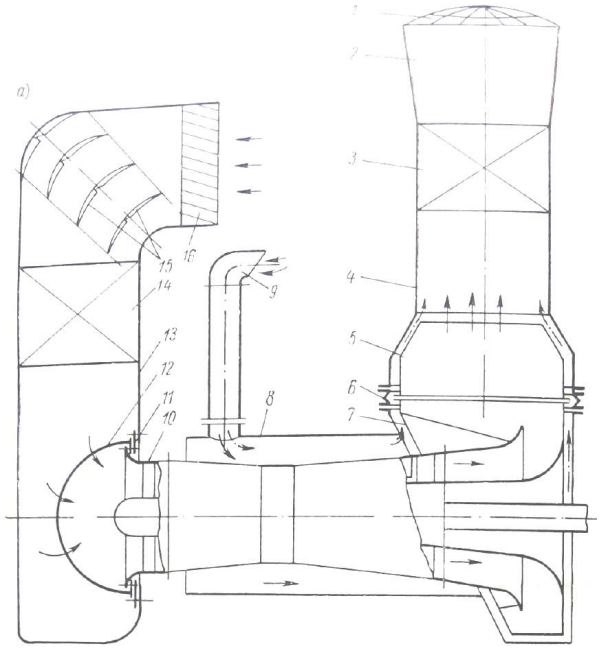


Рис. 2. Состав воздухоприемных и газоотводных трактов ГТУ (разработка пректов 60-70 гг. XX столетия:

1- решетка газохода; 2 – диффузор газохода; 3 – шумопоглотитель выхлопа; 4 – патрубок газохода; 5 – сопловой патрубок; 6 – компенсатор тепловых расширений; 7 –колено газохода; 8- тепло-звукоизолирующий кожух ГТД; 9 – патрубок подвода охлаждающего воздуха; 10- входное устройство; 11 – диафрагма; 12 – защитная сетка; 13 - воздухоприемная шахта; 14 – шумопоглотитель; 15 - лопатки водоотделительного устройства; 16 – входная жалюзийная решетка

Учитывая современные требования, предъявляемые к энергоэффективности судна и как следствие к его энергетическому оборудованию, а так же вступивший в действие в 2012 году европейский стандарт для воздушных фильтров (EN779:2012), устанавливающий новые требования по качеству очистки атмосферного воздуха - требуют комплексного подхода. В качестве комплексного подхода (при практической реализации) по нашему мнению, как для строящихся кораблей (судов) так и находящихся в эксплуатации ви-

дится в целесообразности внедрения (установки) комплексного воздухоочистительного устройства (далее, КВОУ) и оптимальных алгоритмов выполнения технологических операций по очистке проточной части корабельных (судовых) газотурбинных установок.

Исходя из существующих схемных решений комплексных воздухоочистительных устройств морских судов, а так же учитывая специфические требования, предъявляемые к боевому кораблю нами предлагается перспективная конфигурация КВОУ (рис. 3).

В состав перспективного КВОУ для корабля класса фрегат входит:

двухступенчатый сепаратор, сочетающий в себе секцию инерционного сепаратора и коалесцирующих фильтров (панелей), предназначенные для удаления каплей воды и аэрозолей из потоков воздуха поступающего на вход газотурбинного двигателя. Компанией «Premaberg Manufacturing Limited» (Великобритания), проектирующей и изготавливающей данный фильтрационные элементы предусмотрены конфигурация типа А и В. Конфигурация фильтроэлемента типа В совместно с коагулирующим фильтром PC1, применяется на кораблях, эксплуатирующийся в условиях высокой влажности атмосферного воздуха и используется в ГТУ, в которых скорость течения атмосферного воздуха в воздухоприемной шахте не превышает 5 м/с. В обеих конфигурациях типа А и типа В, PC1 панель-коагулятор может быть заменена на PC2 панель, обеспечивающую более высокую степень очистки атмосферного воздуха. Опыт эксплуатации двухступенчатых сепараторов на корветах класса Visby военно-морских сил Швеции подтвердил высокую эффективность данного фильтрационного элемента КВОУ с коагулирующей панелью PC2.

С целью исключения повторного захвата частичек воды, поступающим на вход ГТД атмосферным воздухом двухступенчатые сепараторы должны оборудоваться эффективной системой отвода дренажа. Система отвода дренажей должна спроектирована с учетом эксплуатации боевого корабля в экстремальных гидрометеоусловиях (рис. 4).

Рис. 4. Различные варианты исполнения системы отвода дренажей

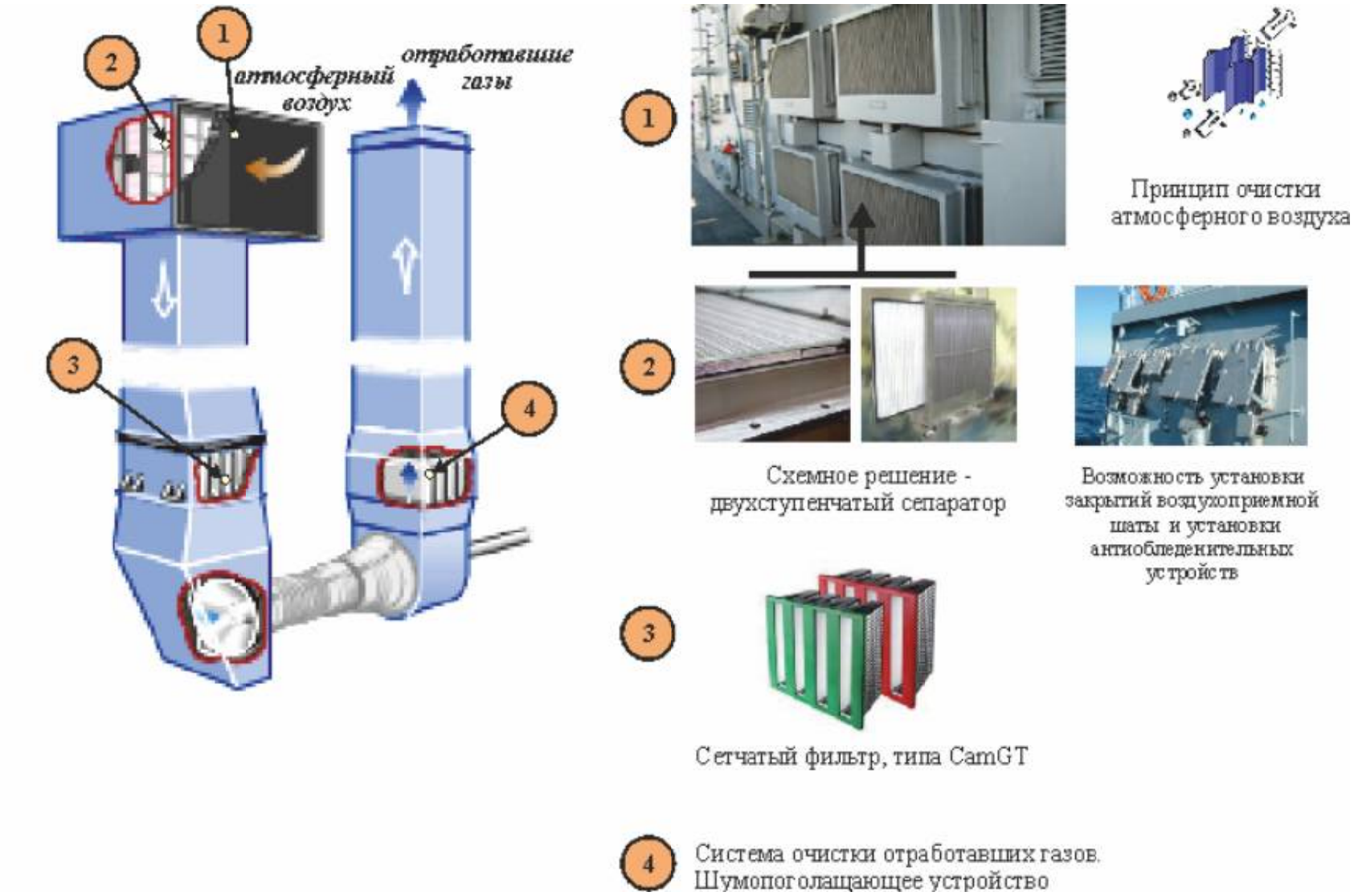


Рис. 3. Перспективная схема комплексного воздухоочистительного устройства для корабля класса фрегат

Отдельно, хочется остановиться на системе очистки воздуха, реализованные в виде инерционных сепараторов

Учитывая тот факт, что наиболее сложным для процесса сепарации является случай малого содержания соли в морской воде, так как показатель эффективность сепарации существенно зависит от диаметра капель. При большом содержании соли в морской воде возникает следующая проблема - отводе ее из сепаратора.

Таким образом, основными требованиями к инерционным сепараторам в процессе исследований следует отнести:

- обеспечение улавливания всех частиц воды, содержащиеся во взвешенном состоянии в атмосферном воздухе, диаметром до 10 мкм;
- гидравлическое сопротивление должно быть менее 400 Па;
- толщина инерционного сепаратора должна составлять ≤ 100 мм.

В качестве прототипа одноступенчатого инерционного сепаратора было выбрано изделие компании «*Premaberg Manufacturing Limited*». Английская компания «*Premaberg Manufacturing Limited*», является одной из ведущих в мировом судостроении, специализирующейся более 40 лет на разработке и производстве систем фильтрации, используемых для защиты корабельных ГТД установленных как на кораблях и судах Королевских ВМС так и на кораблях более 40 иностранных военно-морских флотов. Компания «*Premaberg Manufacturing Limited*» помимо поставок систем фильтрации на суда военного назначения, осуществляет поставку своей продукции для коммерческих морских судов, круизных судов, морских нефтяных и газовых платформ.

При создании математической модели, авторами исследований [8] приняты следующие допущения:

- течение в канале плоское;
- капли не взаимодействуют друг с другом и не оказывают влияние на течение в канале;
- при столкновении капли со стенкой канала происходит ее захват;
- скорость на входе в канал ограничивается 6 м/с для капель воды диаметром от 2 до 20 мкм.

Расчетная схема инерционного сепаратора представлена на рис. 3.1.

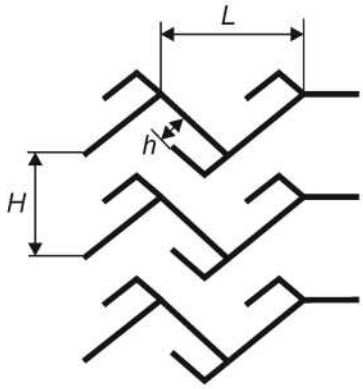


Рис. 3.1. Схема инерционного сепаратора

Инерционный сепаратор представляет зигзагообразный канал высотой H с периодом зигзага L, в котором на гребнях зигзагообразной поверхности расположены три влагоулавливающих элемента высотой h. Поток разгоняется в зигзагообразном канале и разворачивается при каждом повороте канала более чем на 900. В такой организации течения непосредственно участвуют влагоулавливающие элементы, передние кромки которых заставляют поток дополнительно разворачиваться и ускоряться.

В качестве программного обеспечения, используемого при моделировании процессов течения атмосферного воздуха в одноступенчатом инерционном сепараторе, был взят программный продукт ANSYS Fluent, обладающий широкими возможностями для физического моделирования указанных процессов.

Выявление закономерностей в процессах турбулентного течения атмосферного воздуха в одноступенчатом инерционном сепараторе основано на решении системы уравнений сохранения количества движения, массы и энергии для характерных участков гидравлического тракта инерционного сепаратора. С целью замыкания исходной системы уравнений, дополним последнюю известной k – ε моделью турбулентности.

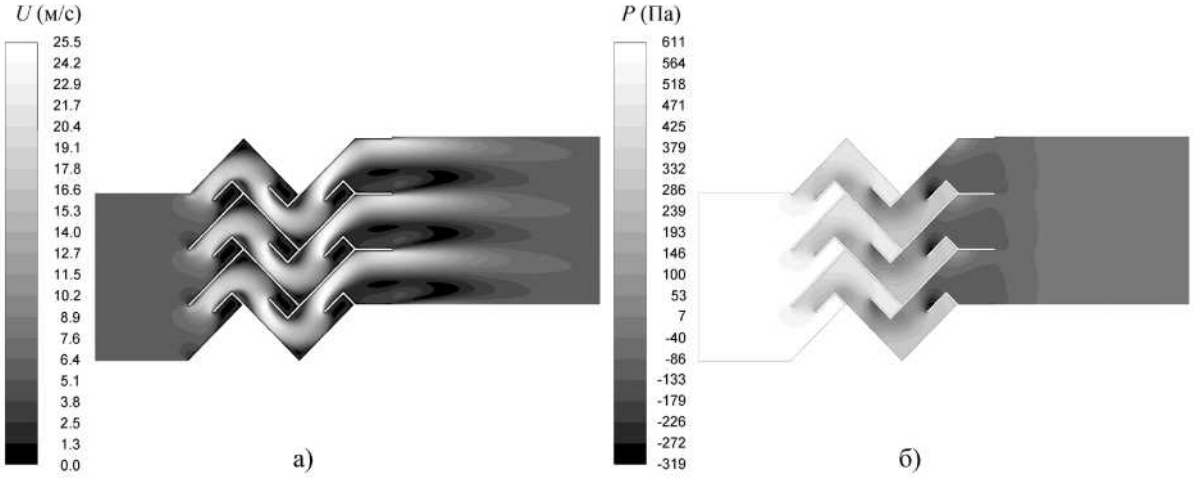


Рис. 3.2 Поле скоростей (а) и избыточного давления (б) в инерционном сепараторе

(при скорости воздуха и капель 6 м/с на входе в сепаратор, высота зигзагообразного канала H = 30 мм, период зигзага L = 60 мм, высота влагоулавливающих элементов h = 8 мм, толщина сепаратора - 110 мм)

Как видно из рис. 3.2 при повороте потока образуются отрывные зоны, в которых поток замедляется и создается вихревое движение. Особенно большая отрывная зона расположена на выходе из канала. Ее размер обусловлен высотой последнего влагоулавливающего элемента и наклоном зигзага канала. Наличие отрывных зон приводит к дополнительному гидравлическому сопротивлению. Анализ изменения поля давления (рис. 3.2) указывает на то что для протекания потока через канал со скоростью 6 м/с, на его входе требуется дополнительное избыточное давление. Это давление компенсирует

гидравлическое сопротивление канала и равно максимальному избыточному давлению на его входе, 611 Па. Распределение давления позволяет оценить максимальные силовые нагрузки на стенки канала. В среднем они составляют до 400 Па. Наиболее нагруженным элементом конструкции является влагоулавливающий элемент на выходе сепаратора. На нем нагрузка достигает 600 Па.

На рис. 3.3 представлена графическая эффективности коэффициента сепарации Eff от диаметра капель. При диаметре более 10 мкм эффективность достигает 100%, а капли диаметром менее 6 мкм практически не улавливаются (рис. 3.4).

Рис. 3.3. Эффективность сепарации капель воды в инерционном сепараторе с 3 и 5 влагоулавливающими элементами

Капли диаметром более 15 мкм улавливаются, в основном, в первом влагоулавливающем элементе, 100% сепарацию обеспечивают уже первые два элемента. Радиусы разворота потока и скорости на втором и третьем элементах почти одинаковые, и если капля прошла мимо второго элемента, то она не задержится и на третьем. Увеличение числа элементов (при соответствующем увеличении длины канала) позволяет повысить эффективность сепаратора лишь для капель, сепарация которых чуть меньше 100%.

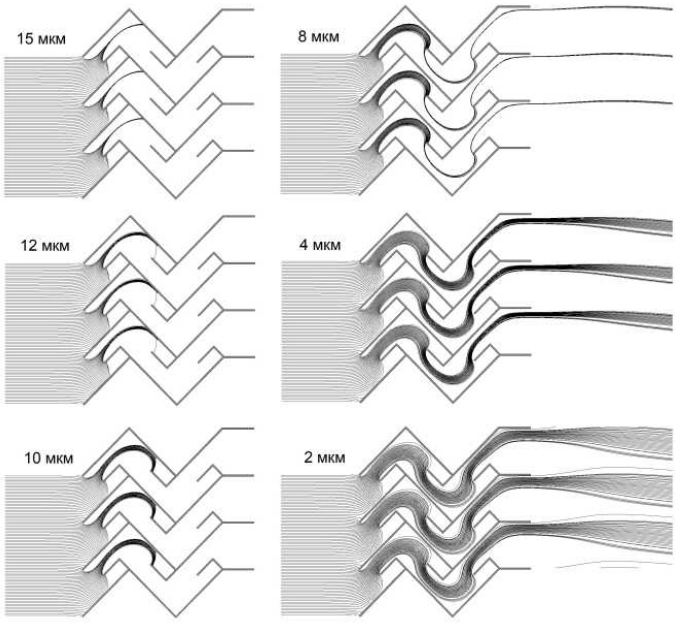


Рис. 3.4. Траектории сферических капель воды диаметром 2, 4, 8, 10, 12, 15 мкм в инерционном сепараторе

Представленные графические зависимости на рис. 3.2 – 3.4, указывают на то, одноступенчатый инерционный сепаратор компании «Premaberg Manufacturing Limited» может в приемлемом для корабельных газотурбинных

двигателей диапазоне гидравлических потерь давления обеспечить сепарацию капель воды диаметром более 8 мкм (при потерях 400 Па) или более 12 мкм (при потерях 200 Па).

На основании данных исследований установлено, что основным параметром оптимизации их эффективности является гидравлическое сопротивление канала сепаратора.

Опыт эксплуатации газотурбинных установок V94.2 компании Siemens и их лицензионных версий (ГТЭ-160), показал, что ежегодные потери по топливу и электроэнергии для установки V94.2 в зависимости от перепада давления в системе фильтрации могут составлять 326841 евро и 447227 евро соответственно (в ценах на 2009 г.) на каждые 100 Па. Следовательно, при такой эффективности фильтров перепад давления должен быть максимально снижен, поскольку эксплуатационные расходы на каждые 100 Па будут значительно выше стоимости нового фильтра.

1.Сетчатый фильтр типа CamGT.

Принцип, заложенный при создании механических воздушных фильтров, заключается в том, что удаление частиц из воздуха происходит вследствие контакта частицы с поверхностью волокон фильтрационного материала и оседания на них.

Физика процесса, контакта частицы с волокнами фильтрационного материала, основана на следующих явлениях (эффектах): просеивание, захват, диффузия, инерционное разделение и электростатическое притяжение. Первые из этих явлений, используются в механических фильтрах и зависят от размера частиц. Электростатическая фильтрация происходит за счет накопления электрического заряда фильтрующей средою во время технологической операции в производственном процессе.

Сетчатый фильтр типа CamGT компании «Camfil International AB» адаптирован к условиям работы при высоких значениях относительной влажности воздуха. Степень очистки по EN 779:2002 – F7, F9. Степень очистки по EN 1822 – H10. Рекомендуемый конечный перепад давления – 600 Па. Сетчатый фильтр типа CamGT, обеспечивает максимальный расход атмосферного воздуха до 5100 м3/ч. Давления разрыва фильтрующего материала более 7500 Па.

По требованию заказчика, комплексное воздухоочистительное устройство для корабельных ГТУ может дополнительно оборудоваться закрытиями воздухоприемных шахт (рис. 3) и антиобледенительными устройствами.

Выводы и рекомендации по дальнейшему исследованию

Проведенный сравнительный анализ разработанных и используемых конструктивных средств, направленных на предотвращения загрязнения проточной части газотурбинного двигателя морского назначения, позволил выявить резервы повышения энергоэффективности современного боевого корабля за счет совершенствования конструктивных и организационно-технических мероприятий снижающих остроту данной научно-прикладной задачи.

Решение научной-прикладной задачи, снижения загрязнения проточной части газотурбинного двигателя морского применения, необходимо вести в нескольких направлениях. К первому направлению, относится мероприятия направленные на совершенствование двухступенчатой системы очистки, включающей в свой состав инерционные сепараторы и сетчатые фильтры. Создание концепции построения бортовой промывочной станции и алгоритмов технологических операций, разработанных для проведения очистки проточной части газотурбинного двигателя от загрязнений является вторым направлением решения данной задачи.

Интегрирование в перспективную систему удаленного мониторинга канала контроля перепада давления на фильтрах воздухоочистительного устройства и параметров контроля «чистоты» проточной части газотурбинного двигателя, позволит использовать концепцию технического обслуживания двигателя «по состоянию».

УДК 621.431.74

Шевченко Н.И., Аболешкин С.Е.

Совершенство технического обслуживания СЭУ

Что такое оценка рисков?

Под оценкой рисков подразумевается выявление возникающих в процессе труда опасностей, определение их величины и значимости возникающих рисков. Оценка рисков является наиболее эффективным превентивным мероприятием. При оценке рисков учитываются не только неблагоприятные события и несчастные случаи, происшедшие ранее, но и опасности, пока не вызвавшие неблагоприятных последствий. Распознавание факторов опасности и вреда

Таким образом, оценка рисков позволяет выявить опасности, свойственные данной работе,прежде чем они вызовут несчастный случай или причинят иной вред работнику.Оценка рисков является непрерывным и систематическим процессом. Она проводится поэтапно, с учетом ранее выявленных опасностей (рис. 1). Основой для оценки рисков служит выявление опасностей, возникших во время работы. Если эти опасности нельзя полностью устранить, следует оценить их риск для здоровья и безопасности работников. На основе оценки можно принять обоснованные решения по повышению безопасности. Чтобы оценка рисков действительно приводила к повышению безопасности труда на практике, необходимо на основе полученных данных определить приоритеты повышения безопасности труда. Самыми эффективными мерами являются меры по полной ликвидации наиболее выраженных опасностей. Предполагаемые меры должны быть конкретными и выполнимыми. Постоянство оценки рисков предполагает также оценку эффективности внедренных мероприятий, постоянное наблюдение за рисками и взаимодействие с работниками, подверженными рискам.

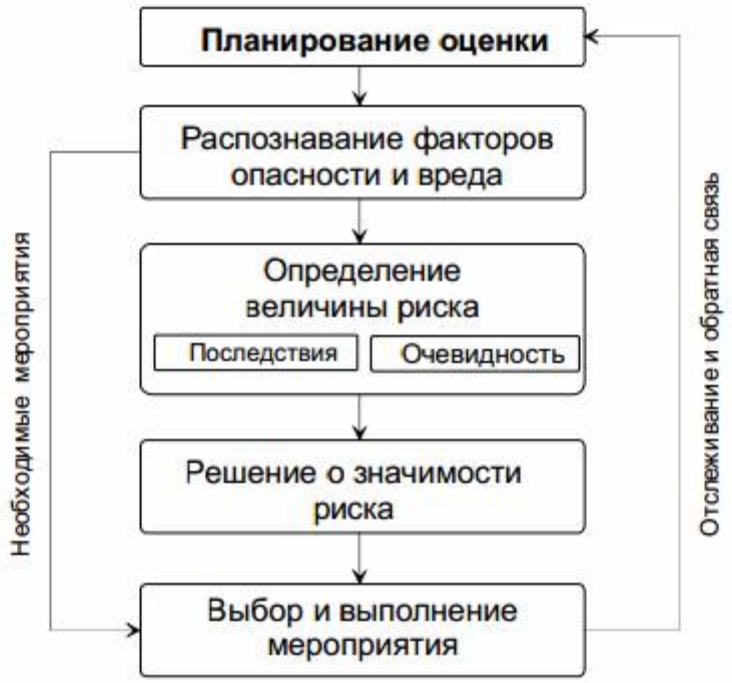


Рис.1. Этапы оценки управления рисками

Признаки хорошо проведенной оценки рисков.

Хорошая оценка рисков организуется работодателем. К ней привлекаются различные подразделения организации в соответствии со своими заданиями. Хорошая оценка рисков основана на принципе Р-С-Р, иными словами, в ней участвуют работодатель, специалисты и работники. Оценка, производимая сторонними специалистами, должна осуществляться совместно с работниками работодателя. Привлечение собственного персонала должно активно сопровождаться его информированием о ходе выполнения и результатах оценки рисков. Хорошо выполненная оценка рисков отражает действительное положение, а ее результаты отражают реальные условия труда и трудового процесса. Во время оценки рисков необходимо выполнять все ее мероприятия объективно и адекватно. Ранее внедренные мероприятия по управлению рисками учитываются в той части, в какой они соответствуют действительности. Например, оценка величины риска, причиняемого шумом, должна учитывать эффективность мероприятий по предотвращению шума лишь в той части, в какой мероприятия на самом деле выполнены. Хорошая оценка рисков является систематической. Оценка рисков сделана хорошо, если в ней систематически распознавались опасности и оценивались риски для самых главных производственных процессов (рабочих операциях). Оценка рисков должна охватывать все значительные зоны рисков. Оценку нужно делать так, чтобы наиболее выраженные и обширные зоны рисков контролировались бы наиболее тщательно. Оценка общего характера должна дополняться возможно более подробными уточнениями и разъяснениями. Хорошая оценка рисков отражает наиболее острые проблемы (нужды) обеспечения безопасности труда. Определение величины риска нужно выполнять так, чтобы были вы-

делены наиболее выраженные и значимые с точки зрения обеспечения безопасности риски. С другой стороны, при оценке рисков надо выделять и те риски, по отношению к которым не требуются специальные мероприятия или дополнительные разъяснения. Результаты оценки должны быть использованы при разработке конкретных мероприятий по управлению рисками. Хорошая оценка рисков должна носить профилактический характер. Она основывается на имеющихся данных организации о рисках и ранее происшедших опасных ситуациях, несчастных случаях, а также недавних инцидентах. Помимо архивных данных учитываются потенциальные опасности, которые пока не проявились, но возникновение которых в процессе работы вероятно. Также оценивается достаточность внедренных ранее мероприятий по безопасности труда. Хорошая оценка рисков является практичной. Главная ее задача осуществить ясные и выполнимые мероприятия для повышения безопасности труда. К хорошему использованию результатов оценки рисков относится и то, что они внедряются в соответствии с установленными законодательством методами в виде множества форм реализации, в том числе, например, включаются в инструктажи по охране труда. Хорошая оценка рисков должна быть документированной. Результаты оценки рисков и решения по ним представляются в письменном виде. Документы следует сопровождать информацией о выполнении мероприятий. Выполненные мероприятия свидетельствуют о результативной оценке рисков.

Для снижения вероятности аварий при эксплуатации оборудования постоянно изыскиваются принципиально новые методологические подходы. Особую популярность получила формализованная оценка безопасности – FSA (Formal Safety Assessment). Методология FSA, разработанная Международной морской организацией, представляет собой структурированную и систематизированную методику повышения безопасности путем использования оценок рисков и экономии. В общем виде реализация FSA включает пять этапов: идентификация опасностей; анализ риска; определение способов управления риском; оценка стоимости и экономии при принятии определенных способов управления риском; рекомендации по принятию решений. При реализации методологии FSA можно использовать процессы имитационного моделирования. Их главное преимущество – возможность прогнозировать изменение надежности во времени, т.е. с ростом наработки при случайных вариациях исходных данных. В настоящее время значительное внимание уделяется проблеме исследования остаточной прочности деталей с трещинами. Это связано с тем, что получение новых запасных частей непосредственно от производителя часто оказывается невозможным в данный момент или экономически нецелесообразным из-за слишком высокой цены на эти детали. Обобщая результаты публикаций по этой проблеме, можно отметить следующее: во-первых, около 80 % всех отказов машин, аппаратов и конструкций возникает по причине накопления в них различного рода повреждений, включая трещины. Во-вторых, трещины в деталях машин являются неизбежными, на их зарождении и развитии базируется механизм усталостного раз-

рушения. В-третьих, на основе анализа развития трещины, начиная с самых малых размеров, можно составить теоретическую модель, позволяющую оценить ресурс детали как число циклов, необходимое для прохождения трещины всего пути до разрушения детали. Несмотря на то что такие модели представлены в общем виде, они дают возможность оценить ресурс конструкции и определить исходя из этого периодичность технического обслуживания. Принципиальные особенности алгоритма по определению остаточной долговечности деталей судовых ДВС с трещинами вытекают из механики линейно-упругого разрушения. На этой основе разработана методика по определению остаточной долговечности деталей с трещинами при циклическом нагружении и с учетом меняющейся нагрузки . В данной методике изложены результаты расчета шатуна с трещиной, для которого определена остаточная долговечность, оцененная числом циклов, а также двигателя 8NVD48A с трещиной опорного бурта блока цилиндров. На основе расчетов сделан вывод о том, что трещина не представляет опасности для прочности цилиндрового блока, поэтому возможна его эксплуатация без устранения трещины. Поскольку детали ДВС часто представляют собой довольно сложные конструкции, разработанная методика нуждается в дальнейшей экспериментальной проверке. Однако применение методологии FSA с использованием процессов имитационного моделирования позволяет оценивать риски и при той доле неопределенности, которая заложена в методику в качестве принятых допущений. Наиболее серьезные из них касаются скорости роста трещины при действии циклических напряжений, где используется уравнение Пэриса, являющееся результатом обобщения большого количества экспериментальных данных с определенным статистическим разбросом. Существует также опасность прогноза «вперед», когда параметры реальной эксплуатации могут отличаться от принятых в расчетах. Кроме того, известно, что характеристики сопротивления усталости материала являются случайными величинами. Их разброс объясняется различиями в микроструктуре и свойствах поверхностного слоя, которые связаны со случайными вариациями металлургических, термических и механических факторов. Напряжения, действующие в деталях ДВС, также имеют случайную природу, что обусловлено нестабильностью параметров рабочего процесса вследствие колебаний цикловой подачи топлива (даже у исправного двигателя) ,степени сжатия, частоты вращения и т.д. В этих случаях можно говорить о вероятности того, что выполненные расчеты будут подтверждены в эксплуатации, и об оценке риска при принятии решения о продолжении эксплуатации детали с трещиной. Обычно такая эксплуатация носит ограниченный характер, например, на время перехода до ремонтной базы или до следующего освидетельствования. В связи с этим очень важно определить, что действительный ресурс детали с трещиной не будет меньше того, который задан в часах или в циклах нагружения. Вероятностная трактовка основывается на статистических законах распределения случайных величин. Для технологических отклонений обычно характерен нормальный закон распределения, а параметром распределения может слу-

жить коэффициент вариации V. Примеры охватывают два принципиальных случая. Первый, когда под действием нагрузок трещина продолжает расти и определена остаточная долговечность t этой детали. Второй, когда трещина не будет развиваться, и двигатель можно эксплуатировать до следующего освидетельствования без ее устранения в детали. Рассмотрим применение методологии FSA относительно к этим случаям. Для первого варианта следует отметить, что долговечность t (в часах или циклах нагружения) – это только математическое ожидание, относительно которого действительное значение tд может отклоняться как в большую, так и в меньшую сторону, причем довольно значительно. Это отклонение характеризуется законом распределения со своими параметрами. Следовательно, при наработке детали tр воздействие случайных факторов приводит к тому, что остаточный ресурс tост= tд–tр также является случайной величиной и может не превышать заданный (будущий) период эксплуатации tзад. Таким образом, можно найти вероятность отказа детали Р с трещиной на заданный период эксплуатации. Решение основано на проведении Nисп статистических испытаний, в результате которых определяется, сколько раз (Nн.и) заданный период эксплуатации tзад оказался больше остаточного ресурса, определенного с заданным значением V.

Тогда вероятность отказа: $P = \frac{N_{н.и}}{N_{исп}}$.

Выполним оценку риска эксплуатации шатуна с трещиной. Известно: начальный размер трещины a1 = 0,1 мм; критический размер, при котором происходит неуправляемое развитие трещины и разрушение детали, акр = 0,82 мм; остаточный ресурс после обнаружения трещины длиной 0,1 мм оценивается в 345 000 циклов. Последнюю величину можно рассматривать как математическое ожидание остаточного ресурса. Критическому размеру трещины соответствует не момент разрушения детали, а только начало ускоренного роста трещины, однако если принимать tзад = t, то при любом симметричном законе распределения вероятность отказа составит 50 %. Поэтому примем, что tзад = 340 000 циклов, что несколько меньше момента достижения критического размера трещины. При использовании гипотезы о нормальном законе статистические испытания при V = 0,01 и Nисп = 100 000 показали, что вероятность отказа составила 7,65 %. Согласно методологии FSA оценка риска выполняется по формуле R = P*C , где C – степень тяжести последствий нежелательного события. Далее следует процедура оценки приемлемости риска. С использованием матриц и так называемых диаграмм FN определяется допустимость риска и намечаются мероприятия по его уменьшению при неблагоприятном прогнозе. Во втором случае последовательность действий несколько иная. Выполним оценку риска эксплуатации дизеля с трещиной у опорного бурта блока цилиндров. Из расчетов [5] известны пороговый коэффициент интенсивности напряжений Kmin = 12,13 и фактическое значение K = 3,8. Эти величины можно также рассматривать как математическое ожидание значений соответствующих коэффициентов интенсивности напряжений.

Тогда в каждом статистическом испытании значения коэффициентов «разыгрываются» раздельно и сравниваются между собой. Отказ наступает в том случае, если в процессе испытаний значение коэффициента интенсивности К превышает значение Kmin. Далее подсчитывается число отказов Nн.и и определяется вероятность отказа. При использовании гипотезы о нормальном законе распределения, статистические испытания при коэффициенте вариации V = 0,01 и Nисп = 100 000 показали, что вероятность отказа равна нулю. Следовательно, можно сделать вывод, что риск эксплуатации двигателя с трещиной опорного бурта блока цилиндров до следующего освидетельствования отсутствует. Однако при V = 0,3, т.е. большом разбросе влияющих значимых факторов (но еще достаточном для использования гипотезы о нормальном законе распределения), риск уже возникнет: вероятность отказа P составляет 1,46 %. Но это можно уже отнести не к влиянию допущений, заложенных в методику расчетов, а к действию других случайных факторов, связанных, например, с особо неблагоприятными условиями эксплуатации. Таким образом, формализованная оценка безопасности FSA позволяет перейти от детерминированного прогноза остаточного ресурса к вероятностной его оценке. А это является исходной информацией для принятия мотивированных решений при управлении рисками эксплуатации судовых двигателей.

УДК 621.431.74

Шевченко Н.И., Аболешкин С.Е.
Одесская национальная морская академия

New generation of diesel engines

Introduction

The size of container vessels has beensteadily increasing in recent years, exploiting the advantages of economiesof scale. The increase in container vesselsize during the past 30 years has, in fact,been remarkable. At the beginning of the1980's, container vessels were typically inthe order of 4000 TEU. By the mid 2000's,container vessels in excess of 10,000 TEUwere being built. Currently the largestcontainer vessels on order are 18,000TEUin size. Global trade expansion, together with developments such as the Panama Canal expansion (New Panamax maximum dimensions: Length 365.8 m, breadth 48.8m, draught 15.2 m), better port and port handling facilities and modern shipbuilding technological capabilities, have all contributed to the development of modern large and ultra large container vessels. In recent years, emission regulations, market conditions, and increasing fuel prices have forced vessel designers and engine manufacturers to research and develop efficient solutions in all aspects of vessel and engine design. Large container vessels can be considered as "green vessels", since the fuel consumption per TEU transported is lower compared to smaller size container vessels. The large cargo capacity of these vessels, also results in a favourable EEDI (Energy Efficiency Design Index) value.

The Wartsila X92

The Wartsila X92 is a two-stroke diesel marine engine designed to provide efficient propulsion power to this new generation of large and ultra large container vessels. The combination of a large bore, long stroke, and low shaft speeds, together with the advanced proven common-rail technology, results in an engine with particularly high efficiency and excellent environmental performance. The new engine provides different tuning capabilities for providing optimum fuel consumption under different operating load profiles, such as part and low load. Very low, stable running speeds at 12% of nominal speed can be achieved. Engine parameters (power & rpm) have been selected providing flexibility in selection of different design speeds together with the increased propeller diameters. While in the past the selected design speed has been approximately 25 knots and higher, lately the preferred design speed has been reduced to 23-24 knots, and even lower.

The comparison in size between the Wartsila X92 and the RT-flex96C-Bengines is shown in Figure 4.

The slightly larger size of the Wartsila X92, in terms of breadth and height, can be attributed to the longer stroke.

Vessel and Propeller design

The efficiency of a vessel can be increased by adapting a larger propeller diameter along with optimized aft hull lines. The larger the propeller diameter, the lower the resulting optimum rpm for a specific design speed. Hence, the engine must be able to provide the required lower rpm. As a general rule, the lower the design speed of a vessel the lower the resulting optimum rpm for a specific propeller diameter. Conversely, lower propeller loading results in the possibility of having a propeller with a reduced number of blades, and this means an increase in the optimum rpm. For lower design speeds, a propeller with 5 blades might be a possible solution. Cavitation and vibration are issues that have to be considered during the design and selection of the propeller.

Fuel consumption calculation of a 13,000 TEU container vessel The main engine's fuel consumption has been calculated in order to show the benefits of the modern Wartsila X92 engine. Calculations of the daily fuel consumption at a continuous service rating (CSR) at 90% of the contracted maximum continuous rating (CMCR), and calculations based on an assumed sailing profile (variable engine loading), were performed. In all cases i.e. 21, 23, and 25 knots, the Wartsila X92 can provide the necessary power with one less cylinder than the RT-flex96C-B.

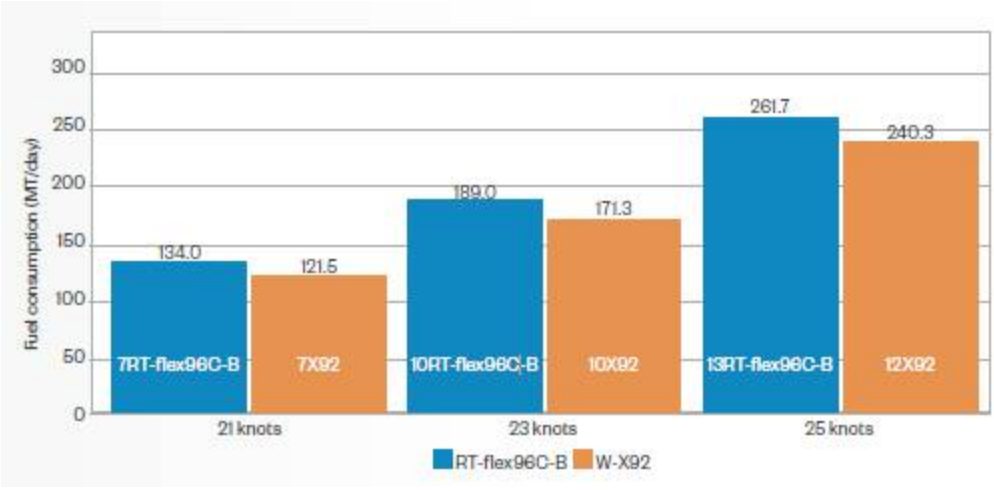


Fig. 6 – Propulsion of 13,000TEU container with different numbers of cylinder versions

of X92 and RT-flex 96 C-B versions engines, and 5- and 6-blades propellers

The same number of cylinders gives better fuel consumption due to the higher resulting de-rating. The X92 has approximately 2% more power per cylinder compared to the RT-flex96C-B. For this case study, the power difference due to the different number of propeller blades (5 or 6) has been assumed to be the same. Also, the propeller diameter has been chosen to correspond to 70% of the Tdes, i.e. 10.2 m. Theoretically even larger propeller diameters could be fitted.

The improved daily fuel consumption can be attributed to the following factors:

1) the larger propeller resulting in improved hydrodynamic efficiency
2) engine efficiency together with the common rail concept
3) higher resulting de-rating.

The daily fuel consumption for the different design speeds and engines is illustrated in Figure 7.

Conclusion

The increase in demand for large and ultra large container vessels is expected to continue and even increase further. Environmental legislation, such as the EEDI, together with high fuel prices and variable market conditions, has created the need for highly efficient solutions that offer owners and operators valuable operational flexibility.The new X92 is a modern 2-stroke low-speed main engine. It is highly suitable for providing optimum propulsion power to modern container vessels of 8,000TEU and more in size. It can provide savings in fuel consumption in the order of approximately 10% compared to previous solutions.

УДК 621.436

Заблоцкий Ю.В.
Одесская национальная морская академия

Исследование эксплуатационных характеристик судовых среднеоборотных дизелей при использовании сернистых топлив

Одной из важнейших проблем, возникающих при эксплуатации судовых энергетических установок, является повышение надежности и долговечности двигателей внутреннего сгорания, количество и модельный ряд которых постоянно увеличивается [1]. В последние годы значительно усовершенствовались все судовые дизели, в том числе и среднеоборотные (СОД). В связи с этим изменились требования к качеству топлива, а также стало в большей степени проявляться влияние его эксплуатационных характеристик на эффективность топливоиспользования. Эксплуатационные свойства топлива влияют не только на энергетические и экономические параметры работы судового дизеля, но и непосредственно определяют его хранение, транспортировку, перекачку, подачу, а также развитие рабочего процесса.

Наиболее общими характеристиками качества топлива, которые в определенном сочетании характеризуют его вышеперечисленные эксплуатационные свойства, являются вязкость; плотность; содержание механических примесей, воды, смол; фракционный структурный состав; температура вспышки; теплота сгорания; массовая доля общей серы. Стремление судовладельцев и чартерных компаний к снижению эксплуатационных затрат, приводит к максимально возможному использованию в судовой энергетике высоковязких сортов топлива с низкой стоимостью. При этом данные топлива характеризуются повышенным удельным весом и высоким содержанием сернистых соединений. Среди определяемых соединений серы находятся: элементарная сера, сероводород и группа с невысоким молекулярным весом – меркаптаны, сульфиды и дисульфиды, которые наиболее коррозионно активны и вызывают коррозию и усиленное смолообразование в топливной аппаратуре.

В современных судовых СОД с целью снижения эксплуатационных расходов используются высоковязкие топлива с максимально допустимым содержанием серы. Основными топливами для судовых СОД являются топлива дизельное маловязкое MDO (Marine Diesel Oil) с вязкостью 50 мм2/с; моторное средневязкое HFO180 (Heavy Fuel Oil) – с вязкостью 180 мм2/с; моторное тяжелое HFO 380 – с вязкостью 380 мм2/с. При особых условиях работы используют аналогичные марки топлива с пониженным содержанием серы HFO180-LS (Low Sulfur) и HFO380-LS.

Структурный состав топлива также оказывает свое влияние на такой параметр, как его смазывающая способность, которая оценивается по величинам износа, критической нагрузке заедания металлов и сил трения (коэффициента трения). В ряде случаев более важной для практики характеристикой топлива является его противоизносные свойства, а не смазочная способность. Это объясняется тем, что для многих агрегатов (топливных, гидравлических),

работающих в среде низкомолекулярных углеводородных жидкостей (масла или топлива), более важна защита их от повышенного износа, чем некоторое снижение мощности привода вследствие уменьшения сил трения [2].

Основным узлом дизеля, в котором может эффективно использоваться смазывающая способность топлива, является его топливная аппаратура, в частности плунжера топливных насосов высокого давления (ТНВД) и распылители форсунок. Для углеводородных жидкостей соблюдается следующее правило: улучшение противоизносных свойств приводит к улучшению смазывающей способности. Но из этого правила есть исключения, прежде всего, при граничном трении, которые характерны именно для ТНВД. В этом случае определяющую роль играют особые «квазикристаллические» свойства топлива, которые зачастую не описываются расчетными методами, а определяются экспериментально [2].

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

Учитывая изложенное, целью работы являлось определение влияние структурного состава топлива (в частности содержания сернистых соединений) на эксплуатационные и экономические параметры работы судового дизеля, а также на техническое состояние его топливной аппаратуры высокого давления.

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

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

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

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

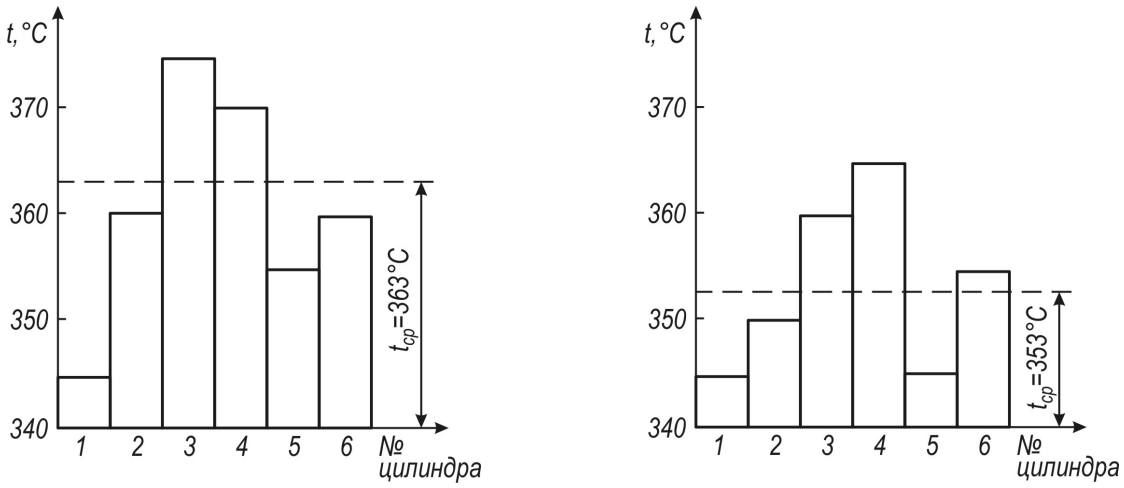
При использовании топлив с повышенным содержанием серы в его структурном составе возрастает температура газов перед ГТН, а вместе с ней и тепловые нагрузки на весь дизель.

Возрастание степени рассогласования величины максимального давления сгорания по цилиндрам дизеля свидетельствует как о повышении триботех-

нических потерь в элементах топливной аппаратуры дизеля, так и худшем распыливании топлива.

Таблица 1. Влияние топлив различного структурного состава на эксплуатационные характеристики работы судового дизеля

Марка топлива	Содержание серы в топливе, S, % по массе	Средняя температура газов перед ГТН, tср, оС	Максимальное отклонение температуры газов перед ГТН от среднего значения, %	Максимальное давление сгорания, pz, МПа	Отклонение максимального давления сгорания от среднего значения, %	Удельный эффективный расход топлива, be, г/(кВт·час)
MDO	0,1	350	2,3	13,1	1,05	186
HFO180-LS	0,5	353	2,7	13,1	1,14	192
HFO180	1,1	355	2,95	13,2	1,37	194
HFO380-LS	1,6	360	3,25	13,15	1,78	197
IFO380	2,8	363	3,3	13,2	1,9	199



а) б)

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

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

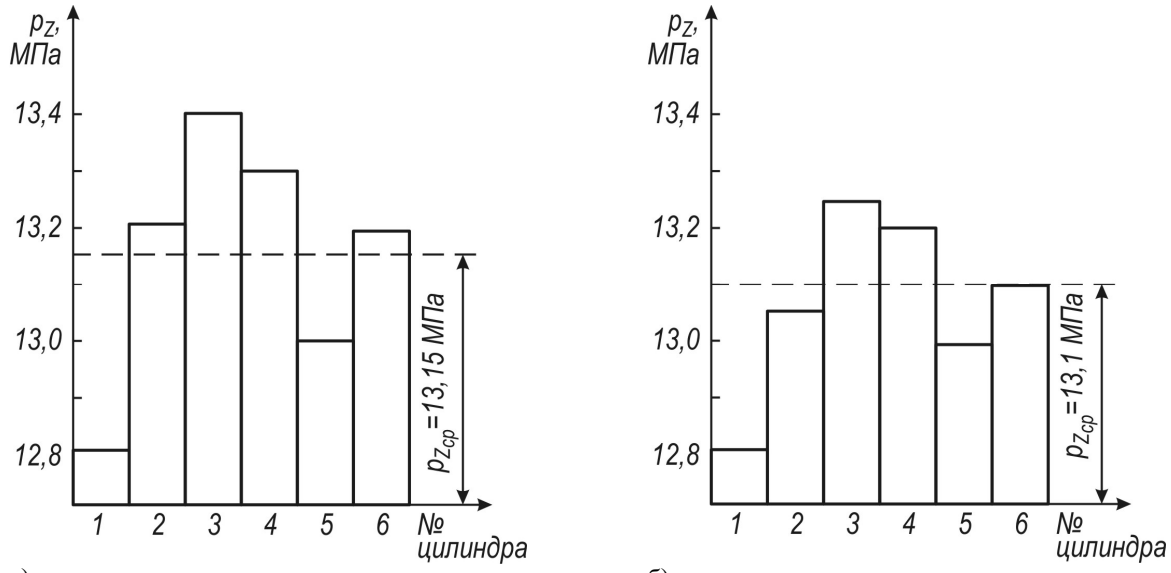


Рис. 2. Рассогласование максимального давления сгорания по цилиндрам судового дизеля S6A2 при работе на различных топливах:

а – высоковязкое HFO380; б – средневязкое с низким содержанием серы HFO180-LS

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конкс Г.А., Лашко В.А. Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта. – М.: Машиностроение, 2005. – 512 с.
2. Мацкевич Д.В., Заблоцкий Ю.В. Определение смазочной способности дизельных топлив // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2011. – № 28. – Одесса: ОНМА. – С. 145–153.

УДК 621.436.004

Мацкевич Д.В.
Одесская национальная морская академия

Регенерация эксплуатационных свойств углеводородных жидкостей в процессе эксплуатации

Одним из показателей работы судовых двигателей внутреннего сгорания, определяющим его эффективную и безотказную работу, считается надёжность. Мощным средством достижения необходимого уровня надёжности судового дизеля и систем, обеспечивающих его работу, является организация процесса их эксплуатации, базирующаяся на научном подходе. В ней особая роль принадлежит диагностированию, по результатам которого определяется действительное техническое состояние объекта технического диагностирования и характер его изменения во времени.

Судовые дизели (как главные, так и вспомогательные) относятся к наиболее сложным объектам диагностирования. В то же время безопасность эксплуатации судовой энергетической установки в первую очередь зависит именно от надежности их функционирования.

Надежная и экономичная эксплуатация судовых технических средств требует всемерного внимания к осуществляемому на судах контролю качества и поддержанию эксплуатационных характеристик нефтепродуктов. Требования, предъявляемые к качеству топлив и масел, могут быть выполнены только при условии систематического контроля их эксплуатационных свойств.

Целью исследований являлось определение влияния деструктирующих факторов на структурный состав углеводородных жидкостей (топлива и масла, использующихся в судовых энергетических установках), а также поиск варианта регенерации их анизотропных (жидкокристаллических) свойств.

Основной целью контроля качества нефтепродуктов является исключение работы судовой энергетической установки на некондиционных топливах и маслах. При этом учитывается, что проверка качества нефтепродуктов в первую очередь необходима по тем показателям, которые в наибольшей степени подвержены изменению при транспортировке, бункеровке и хранении, а также непосредственно в процессе эксплуатации судовой энергетической установки. Такими показателями, прежде всего, являются содержание в топливах и маслах воды и наличие механических примесей.

Неоднократно указывалось, что углеводородные жидкости (как топливо, так и масло) обладают анизотропными свойствами, которые наиболее характерно проявляются в области малых толщин [1, 2]. Как известно, наименьшие значения масляной и топливной пленок наблюдаются в парах трения вал–вкладыш и плунжер–втулка. Надежная эксплуатация этих трибосопряжений обеспечивает длительную безаварийную работу судовых дизелей.

Целью работы являлось изучение возможности регенерации анизотропных свойств топлива и масла, использующихся при эксплуатации судовых дизелей, для обеспечения заданного уровня их надежности.

Попадание частичек воды и механических примесей в топливо или масло ухудшает их триботехнические характеристики и приводит к повышенному износу топливной аппаратуры и вкладышей подшипников коленчатого вала. Такое поведение углеводородных жидкостей можно объяснить деструкцией его слоев, примыкающих к рабочим поверхностям пары трения. Активные части молекул углеводородной жидкости (имеющей цепное строение [3]), захватываются частичками механических примесей и воды, вызывая частичную или полную деструкцию граничного слоя (рис. 1).

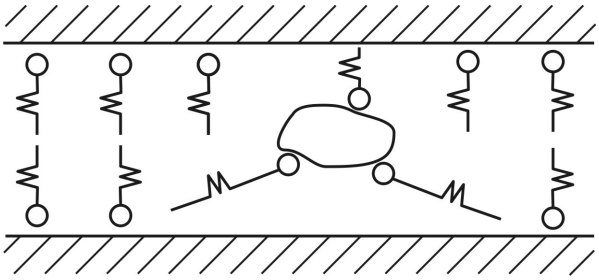


Рис. 1. Деструкция граничных слоев углеводородных жидкостей

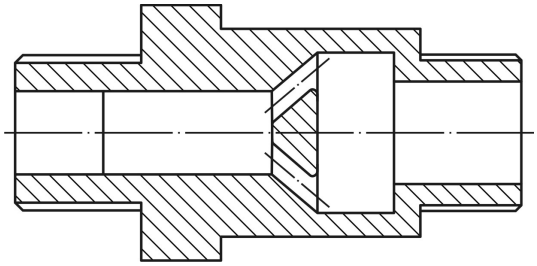


Рис. 2. Упрощенная схема гидродинамического активатора

Удаление подобных примесей в судовых системах подготовки топлива и масла производится с помощью сепараторов и фильтров, однако данные методы обеспечивают требуемое качество топлива или масла лишь на определенных участках, а перенасыщение ими судовых систем приводит к повышению затрат энергии. В связи с этим, эффективным представляется способ, позволяющий регенерировать анизотропные свойства топлива или масла, сущность которого заключается в следующем.

Гидродинамический активатор (рис. 2) состоит из группы сопел Лаваля, проходя через которые топливо или масло увеличивает свою кинетическую энергию. Одновременно с этим увеличивается кинетическая энергия частиц механических примесей и воды, находящихся в нем. На выходе из камеры топливо ударяется с металлической цилиндрической поверхностью. Энергия удара частично идет на разрыв слабых связей между молекулами топлива и примесями, а также на разрушение самих твердых частиц и частично рассеивается в активаторе.

Таким образом, установив энергию удара выше энергии связи, представляется возможным освободить молекулы топлива от посторонних адгезионных связей и тем самым регенерировать способность топлива к образованию структурированных граничных слоев на поверхности пары трения плунжер–втулка топливного насоса высокого давления.

С целью снижения энергетических затрат на работу активатора топлива и повышение его эффективности, процесс удара топливной струи о внутреннюю металлическую поверхность осуществляется под углом, равным 45°. Прежде всего, отметим, что наступление разрушения частицы обусловлено касательным напряжением. Величина касательного напряжения зависит от угла удара частицы. Наибольшее касательное напряжения в частице возникает при ударе под углом 45°. Таким образом, перепад давлений на устройстве, вызывающем разрушение частиц, в случае реализации удара потока под углом 45°, также будет наименьший.

Испытания гидродинамического активатора топлива выполнялись как на лабораторном стенде, так и в составе судовой топливной системы. Исследования проводились для разных сортов судового топлива: маловязкого MDO, средневязкого IFO 180 и IFO 180-LS, тяжелого IFO 380 и IFO 380-LS. Измерялись триботехнические характеристики топлива. Параллельно производились измерения ориентационной упорядоченности граничных слоев топлива

с помощью структурно-чувствительного метода двойного лучепреломления [4], а также производилось определение силы трения и интенсивности изнашивания в паре плунжер–втулка, согласно методики, предложенной в [1].

Результаты исследований приведены в таблице 1, а также на рис.3 и 4.

В таблице 1 обобщены данные экспериментов по определению силы трения Fтр, интенсивности изнашивания Ih и комплексного оптического параметра (Δn·d) для исследуемых топлив до и после обработки гидродинамическим активатором.

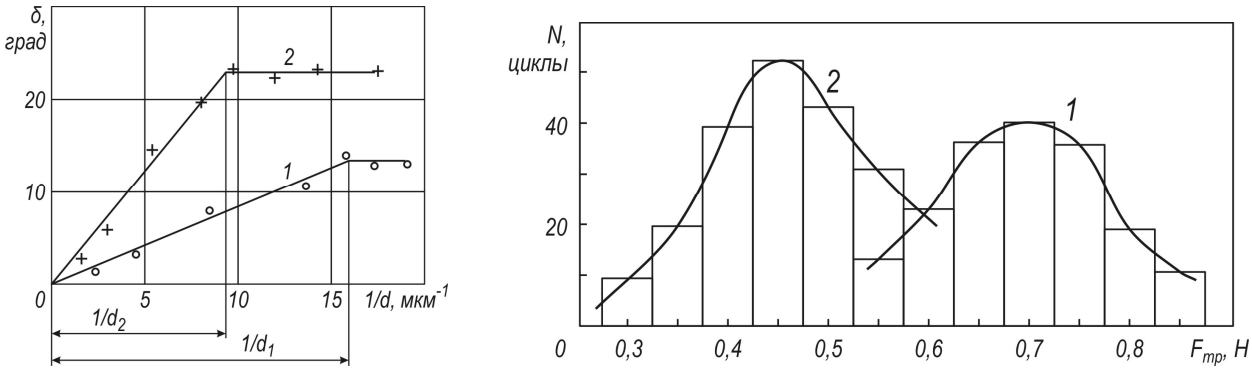
Таблица 1. Результаты исследований

Наименование топлива	(Δn·d)×105, мкм		Ih, условные единицы (1,0 – отсутствие износа)		Fтр, Н	
	до обработки в активаторе	после обработки в активаторе	до обработки в активаторе	после обработки в активаторе	до обработки в активаторе	после обработки в активаторе
MDO	9,8	11,0	3,1	2,6	0,42	0,25
IFO 180-LS	6,4	7,5	4,6	3,8	0,72	0,45
IFO 180	5,2	6,1	5,4	4,9	1,13	0,75
IFO 380-LS	4,0	4,9	6,8	6,1	1,45	1,16
IFO 380	3,6	4,2	8,2	7,1	1,81	1,27

На рис. 3, а приведена зависимость δ=f(1/d), определяющая степень ориентационной упорядоченности молекул в граничном слое, а также толщину граничного смазочного слоя. Здесь под δ понимается оптическая характеристика, а под d – толщина смазочного слоя. Как указывалось в [3, 5], наклон первоначального участка этой зависимости прямо пропорционален степени упорядоченности молекул, а точка перегиба соответствует удвоенной толщине граничного слоя. Таким образом, обработка топлива гидродинамическим активатором повышает оба этих значения, способствуя регенерации его анизотропных свойств.

На рис.3, б приведена гистограмма сил трения в паре плунжер–втулка, полученных в результате лабораторных исследований. Из рис. 3, б видно, что сила трения в указанном сопряжении при работе на активированном топливе ниже, чем на топливе, не подвергшемся обработке. Это также свидетельствует об уменьшении деструктирующего действия воды и механических примесей после гидродинамической активации и повышении регенеративных характеристик топлива.

Данные лабораторных исследований были подтверждены для судового дизеля Hanshin 6LF58 и его топливной системы.



а) б)

Рис. 3. Изменение толщины граничного смазочного слоя (а) и силы трения в паре плунжер–втулка (б) для средневязкого топлива IFO 180-LS: 1– до, 2 – после обработки в гидродинамическом активаторе

При использовании топлива, прошедшего обработку в активаторе, уменьшился износ в парах плунжер–втулка и игла–направляющая распылителя. Общее увеличение ресурса работы элементов топливной аппаратуры высокого давления было оценено следующими значениями: топливный насос высокого давления 23±7%, распылитель форсунки 12±7%. Параллельно с топливной системой, гидродинамический активатор устанавливался в системе циркуляционного масла указанного двигателя. Качественные показатели данных испытаний совпадали с вышеизложенными.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мацкевич Д.В., Заблоцкий Ю.В. Определение смазочной способности дизельных топлив//Судовые энергетические установки: науч. -техн. сб. – 2011. – № 28. – Одесса: ОНМА. – С. 145–153.
2. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В. Влияние анизотропных жидкостей на работу узлов трения судовых дизелей//Проблеми техніки: науково-виробничий журнал. – 2012. – № 4. – Одеса: ОНМУ. – С.68–81.
3. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. – М.: Физматиз, 1963. – 472 с.
4. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В. Определение триботехнических характеристик поверхностей по степени упорядоченности пристенных слоев углеводородных жидкостей//Проблеми техніки: науково-виробничий журнал. – 2011. – № 3. – Одеса: ОНМУ. – С.78–88.
5. Алтоиз Б.И., Поповский Ю.М. Физика приповерхностных слоев жидкости. – Одесса: Астропринт, 1996. – 152 с.

УДК 621.436

Сагин С.В.
Одесская национальная морская академия

Аналитические зависимости, определяющие процессы трения в подшипниковых узлах судовых дизелей

В процессе работы судовых дизелей в их подшипниковых узлах (крейцкопфном, мотылевом, рамовом, а также в сопряжении поршень – втулка цилиндра) наблюдаются режимы жидкостного трения и трения при граничной смазке [1]. Как правило, эти режимы взаимосвязаны, и при эксплуатации двигателя внутреннего сгорания происходит переход от одного режима трения (а, соответственно, и смазывания) на другой. Исключением могут считаться лиши установившиеся режимы работы подшипников скольжения мощных малооборотных дизелей, работы которых происходит на эффекте «масляного клина». Другие же трибосопряжения, и особенно пары поршень – втулка цилиндра и вал – вкладыш подшипников скольжения судовых среднеобортных дизелей работают в режиме граничной смазки.

Трение при жидкостной смазке проявляется в достаточно толстой пленке смазывающего вещества, разделяющей контактирующие поверхности. В результате замеры внешнего трения при непосредственном контакте тел внутренним трением (вязкостью) разделяющего их слоя жидкости, уменьшаются сопротивление трения и скорость изнашивания поверхности. При жидкостном трении давление смазочного материала уравновешивает внешнюю нагрузку, сила трения при жидкостной смазке не зависит от природы сопрягаемых поверхностей.

Ньютоновский закон переноса количества движения применительно к гидродинамическому трению двух коаксиальных цилиндров, разделенных слоем вязкой жидкости, был открыт Н. П. Петровым, создавшим основы гидродинамической теории смазки [2]. Согласно этому закону, сила трения F двух смазанных цилиндров пропорциональна коэффициенту внутреннего трения жидкости η, соответствующему данной температуре, пропорциональна величине поверхности S взаимного прикосновения трущихся твердых тел и пропорциональна первой степени относительной скорости u этих тел на их поверхностях прикосновения; она обратно пропорциональна сумме, состоящей из толщины слоя h смазывающей жидкости и из суммы отношений коэффициента внутреннего трения к коэффициентам внешнего трения$\mu_ж$ жидкости при данной температуре:

$$F = \eta \frac{Su}{h + \frac{\eta}{\mu_ж^{/}} + \frac{\eta}{\mu_ж^{//}}}.$$

Теория жидкостного трения следует из уравнений потока Навье-Стокса (уравнений, описывающих динамическое равновесие элемента жидкости)

$$\rho\frac{du}{dt}=X-\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial x}\left[\mu\left(2\frac{\partial u}{\partial x}-\frac{2}{3}\mathrm{div}w\right)\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\mu\left(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[\mu\left(\frac{\partial w}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial z}\right)\right],$$

$$\rho\frac{dv}{dt}=Y-\frac{\partial p}{\partial y}+\frac{\partial}{\partial y}\left[\mu\left(2\frac{\partial v}{\partial x}-\frac{2}{3}\mathrm{div}w\right)\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[\mu\left(\frac{\partial v}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial y}\right)\right]+\frac{\partial}{\partial x}\left[\mu\left(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right],$$

$$\rho\frac{dw}{dt}=Z-\frac{\partial p}{\partial z}+\frac{\partial}{\partial z}\left[\mu\left(2\frac{\partial w}{\partial z}-\frac{2}{3}\mathrm{div}w\right)\right]+\frac{\partial}{\partial x}\left[\mu\left(\frac{\partial w}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial z}\right)\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\mu\left(\frac{\partial v}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial y}\right)\right],$$

$$\frac{\partial\rho}{\partial t}+\frac{\partial(\rho u)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho v)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho w)}{\partial z}=0,$$

где w – вектор скорости с проекциями u, v, w на соответствующие оси координат x, y, z;

p – давление;

ρ – плотность;

μ – коэффициент вязкости;

X, Y, Z – проекции вектора массовой силы K на координатные оси;

и уравнения сохранения массы, иначе называемого уравнением неразрывности потока

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0.$$

На основании этих уравнений Рейнольдс вывел уравнение (носящее теперь его имя), которое обычно применяется при рассмотрении практических случаев жидкостного трения, обеспечивающего масляный зазор в различных парах трения в различных условиях.

Его дифференциальное уравнение описывает движение трехмерного жидкостного слоя в следующих направлениях движения – линейное перемещение (ось X), толщина слоя (ось Y), ширина зоны контакта (ось Z) показывает:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(h^3\frac{\partial p}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(h^3\frac{\partial p}{\partial z}\right)=6\mu\left(\left(U_o+3U_1\right)\frac{\partial h}{\partial x}\right). \qquad (1)$$

где: h(x, z) – функция, определяющая величину зазора в данной точке;

p – давление масла в зазоре;

Uo и U1 – скорости движения поверхностей, ограничивающих зазор.

Существуют лишь приближенные решения, основанные на упрощающих допущениях для этого фундаментального уравнения. Оно предполагает ньютоновские характеристики текучести и ламинарное течение, несжимаемость и постоянную вязкость среды, а также малые силы инерции частиц жидкости во время ускорения в сужающемся зазоре.

Согласно уравнению (1), эффективная вязкость жидкости и ее скорость в смазочном зазоре ответственны за образование несущей смазочной пленки. Толщина и динамическое давление смазочной пленки являются результирующими параметрами.

Жидкостная смазка является оптимальной для узла трения с точки зрения потерь энергии, долговечности и износостойкости. Однако, при тех жестких условиях, в которых эксплуатируются исследуемые элементы подшипниковых узлов, реализовать ее на всех режимах их работы не представляется возможным. Как уже было показано многими авторами [1, 3], изнашивание любых узлов трения обусловлено наличием в процессе их контактного взаимодействия граничного режима смазывания.

При трении в режиме граничной смазки жидкостная пленка смазочного материала разделяет трущиеся поверхности, а способность смазочного материала снижать трение и износ, а также препятствовать заеданию в трибосопряжении, определяется его способностью образовывать на рабочих поверхностях прочные граничные слои адсорбционного или химического происхождения.

Трение при граничной смазке определяется также склонностью контактирующих материалов к схватыванию на ряде фактических микронеровностей, на которых может быть разрушен граничный слой смазки. В этих местах может возникнуть сухое трение окисных пленок или даже ювенильных поверхностей.

Согласно модели граничного трения, предложенной Ф.Л. Боуденом, сила трения

$$F_{тр} = \left[\tau_г \beta + \tau_м (1-\beta)\right] A_{тр},$$

где $\tau_г$ и $\tau_м$ – прочность на срез соответственно граничного слоя и более мягкого из металлов;

Атр – площадь зоны трения;

β – доля поверхности контакта, покрытия граничным слоем.

Согласно теории граничного трения А.С. Ахматова – Б.В. Дерягина [4]

$$F_{тр} = \mu_{тр}(N_0 + N) = \mu_{тр} S (P_0 + P),$$

где $\mu_{тр}$ – коэффициент трения по Б.В. Дерягину;

N – нормальная нагрузка, Па;

S – площадь истинного контакта, $м^2$;

P – удельная сила молекулярного взаимодействия, $Н/м^2$.

Таким образом, сила трения Fтр зависит от молекулярного прилипания (адгезии) поверхностей μтрSP и является функцией давления μтрN.

Граничный слой образуется в результате взаимодействия активных элементов смазочного материала с металлом поверхностей трения. Активным компонентом смазочного материала могут быть как специально введенные в

него присадки, так и примеси технологического происхождения, продукты окисления и т.д. При этом, существенное значение имеет активизация физико-химических процессов взаимодействия смазочного материала с поверхностью металлов в процессе трения. Разрушение граничного слоя также может быть вызвано большой пластической деформацией поверхностей в сопряженном контакте.

Таким образом, работоспособность узла трения при граничной смазке определяется соотношением двух идущих одновременно процессов – образования и разрушения граничного слоя. Соотношения между скоростями этих процессов характеризуют наступление того или иного этапа процесса трения при граничной смазке. Формальным признаком наступления нового этапа является достижение соответствующей переходной температуры.

В качестве основных выводов отметим следующее.

Процессы передачи механической энергии в судовых дизелях происходят при гидродинамическом и граничном смазывании контактируемых поверхностей, при этом происходит циклический переход из режима гидродинамического в граничный режим трения.

Процесс образования смазочного слоя на поверхностях трения (в парах вал – вкладыш подшипника и поршень – втулка цилиндра) сопровождается явлениями адсорбции, адгезии и химической модификации.

При математическом описании процессов изнашивания пар трения судовых дизелей необходимо учитывать законы гидродинамической и граничной смазки, а также явление анизотропии прочностных свойств граничного смазочного слоя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника. – М. : Машиностроение, 1989. – 328 с.
2. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. – М. : Физматгиз, 1963. – 472 с.
3. Сагин С.В. Триботехнические процессы, протекающие в топливной аппаратуре высокого давления судовых дизелей // Проблеми техніки: Науково-виробничий журнал. – 2013. – № 2. – С. 33-42.
4. Дерягин Б.В., Чураев Е.В. Поверхностные силы. – М. : Наука, 1983. – 400 с.

УДК 621.436.004

Семенов А.В.
Одесская национальная морская академия

Современные тенденции в обеспечении оптимальных режимов смазывания судовых дизелей с повышенным ходом поршня

В последнее время на судовых двигателях появились новые системы смазки цилиндровых втулок от разных производителей. Мировыми лидерами

в производстве данных систем являются следующие производители: Wartsila (система RPLS); MAN B&W система (LUBECS); Hans Jensen.

Анализ подходов названных выше производителей к решению задач качественного функционирования систем цилиндровой смазки позволяет проследить современные тенденции в обеспечении оптимальных режимов смазки современных судовых дизелей с повышенным ходом поршня.

Основные конструкторские решения, разработанные фирмой Wartsila относительно смазывания цилиндро-поршневой группы дизелей сводятся к следующим позициям. Система RPLS подачи цилиндрового масла через невозвратные клапана под высоким давлением и включает в себя отдельную систему гидравлического масла для привода в действие гидравлического активатора с помощью соленоидного клапана (рис.1).

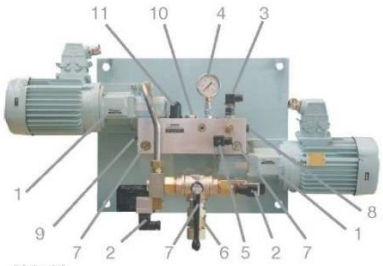


Abb.14
Bauteile des Ölversorgungsaggregat SA/B

Pos.	Benennung	
1	Zahnradpumpen UD	M/P1, M/P2
2	Druckschalter Eingangsdruck	P3, P4
3	Drucktransmitter Systemdruck	P1
4	Manometer Systemdruck	M
5	Drucktransmitter Leckageöl	P2
6	Rückschlagventile	RV1, RV2, RV3
7	manuelles Ölumschaltventil	WV
8	Absperrschraube Betriebszustand NO = offen *(2 Umdrehungen offen)*	SV1
9	Absperrschraube Betriebszustand NC = geschlossen	SV2
10	Sicherheitsventil	DB1
11	Druckbegrenzungsventil	DB2
12	Druckentlastungsschraube	SV3

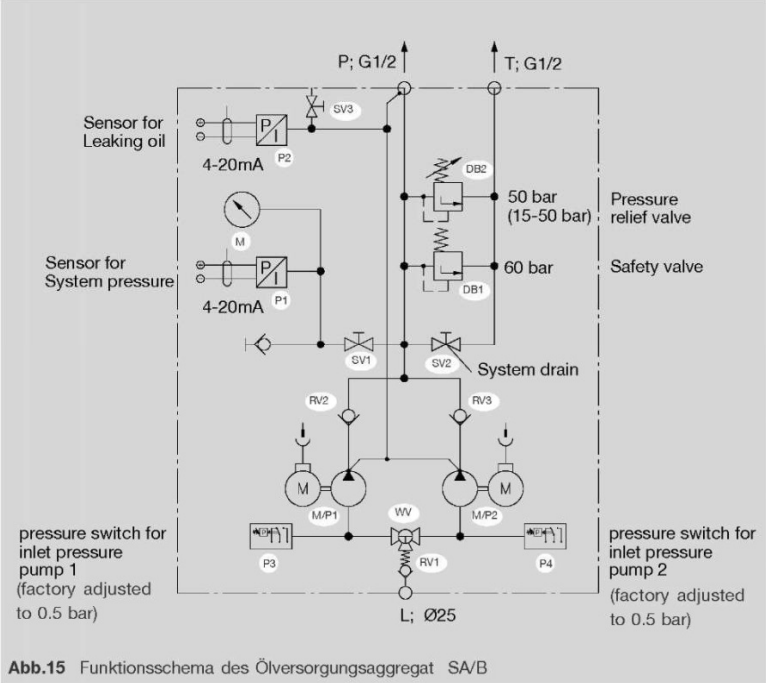


Abb.15 Funktionsschema des Ölversorgungsaggregat SA/B

Рис.1 Функциональное построение системы гидравлического масла фирмы Wartsila

Кроме того, в состав системы RPLS входят система определения положения коленчатого вала двигателя и впрыска масла в точно указанный момент с учетом частоты вращения коленчатого вала, нагрузки и заданной подачи (задается процессором).

Система цилиндрового смазывания RPLS, разработанная фирмой Wartsila, обеспечивает решение следующих задач:

контроль направления впрыска;

впрыск цилиндрового масла в точно указанное время процессором с учетом положения цилиндровых колец в соотношении:

40%-верхние кольца;

40%-нижние кольца;

20%-юбка поршня.

Фирма MAN B&W разработала систему LUBECS, которая обеспечивает подачу цилиндрового масла через невозвратные клапана под высоким давлением путем впрыска в каждую контрольную точку плунжерами цилиндрового лубрикатора, установленного на каждый цилиндр. Схема такой системы показана на рис. 2.

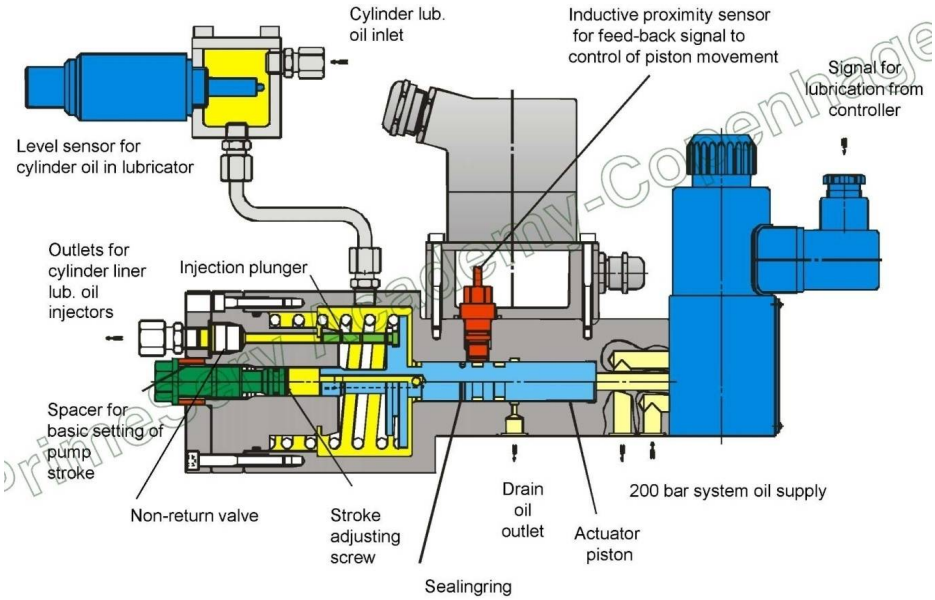


Рис.2. Системы смазывания LUBECS фирмы MAN B&W

Система цилиндрового смазывания LUBECS, разработанная фирмой MAN B&W, как и Wartsila решает эти же задачи аналогичным способом: впрыск цилиндрового масла в точно указанное время процессором без точного распределения по верхним, нижним кольцам поршня.

Система смазывания фирмы Hans Jensen традиционно обеспечивает подачу цилиндрового масла через невозвратные клапана под высоким давлением, при этом подача цилиндрового масла производится не в поршневые кольца, а в надпоршневое пространство, вверх на втулки с закручиванием потоков цилиндрового масла (SWIRL принцип).

В настоящее время ведущие производители судовых двигателей ведут усиленно разработки для своих систем смазывания цилиндро-поршневых групп, во многом отталкиваясь своих инженерных разработок, но основное это опыт эксплуатации судовых дизелей в морских условиях. Системы контроля и регулировки подачи цилиндрового масла постоянно и регулярно обновляются (через программное обеспечение) и фирмы постоянно контролируют выполнение этих требований.

В настоящее время судовые пропульсивные комплексы эксплуатируются на малых (50% MCR) и сверхмалых (<50% MCR) нагрузках судовых двигателей.

Режимы малых нагрузок на двигателях фирмы WARTSILA привели к следующим проблемам цилиндро-поршневой группы:

холодная коррозия втулок;

повышенный износ втулок и повреждение цилиндровых колец.

В настоящий момент фирма WARTSILA дает следующие рекомендации для решения этих проблем:

постоянные инспекции поршневых колец и цилиндровых втулок;

не менее, чем один раз в три дня увеличение нагрузки до 70% MCR и больше на один-два часа для избавления от твердых депозитов и несгоревших остатков топлива (набор нагрузки должен выполнятся постепенно)

замена системы цилиндровой смазки на RPLS систему

установка системы MAPEX (Monitoring & maintenance, Performance, Enhancement with expert knowledge)

Система MAPEX определяет в реальном времени:

наблюдение за стабильностью масляной пленки цилиндровых втулок;

активация сигнализации в случае местного перегрева втулки;

наблюдение за температурой охлаждающей воды и сигнализация в случае выхода параметров из установленных режимов;

информирование в случае выхода из строя одной или нескольких форсунок;

наблюдение за температурой надувочного воздуха и сигнализация в случае выхода из установленных режимов.

Рассматриваемые проблемы в режимах малых нагрузок судовых дизелей выявленные фирмой MAN B&W:

холодная коррозия втулок (особенно отметим длинноходовые двигатели)

частичный вынос металла в замках и повреждения поршневых колец и повреждение цилиндровых колец.

MAN B&W выработаны следующие рекомендации:

постоянные инспекции поршневых колец и цилиндровых втулок;

не менее, чем один раз в два дня увеличение нагрузки до 50%MCR и больше на один-два часа для избавления от твердых отложенией и несгоревших остатков топлива;

замена систем цилиндровой смазки на LUBECS систему;

особое внимание обратить на ACC фактор (adaptive cylinder oil control) в настройках и регулировках подачи цилиндрового масла на втулки.

Анализ систем цилиндрового смазывания фирмами Wartsila (система RPLS), MAN B&W (LUBECS), Hans Jensen позволяет проследить ход инженерной мысли разработчиков систем и сводится к определению общих решений и тенденций в системах:

установка невозвратных клапанов перед поступлением цилиндрового масла в цилиндр;

использование системы гидравлического привода (гидравлический актуатор) дозирующих насосов (Lubricators Hydraulic Units);

обеспечение точного впрыска цилиндрового масла в точно указанный момент центральным процессором (контроллером) с учетом оборотов, нагрузки двигателя и количества масла заданного для каждой системы (в обязательном порядке включает в себя датчик положения коленчатого вала);

обеспечение экономии цилиндрового масла за счет пропусков ходов поршня.

Общие рекомендации по оптимизации процессов смазывания цилиндро-поршневой группы сводятся к следующему:

постоянные инспекции цилиндровых колец и втулок;

увеличение рабочей температуры охлаждающей воды зарубашечного пространства на 5…10°С цилиндровых втулок (в пределах допустимым заводом изготовителем);

не менее, чем один раз в два дня увеличение нагрузки до 50%MCR (70%MCR) и более на один-два часа для избавления от несгоревших остатков топлива (набор нагрузки должен выполняться постепенно);

постоянный контроль над количеством подачи цилиндрового масла при переходе на разные по содержанию серы топлива. Регулировка должна осуществляться от большей подачи к меньшей малыми шагами с постоянными инспекциями цилиндровых колец и втулок и отталкиваясь от анализов масла в подпоршневых пространствах (MAN B&W) или MAPEX (WARTSILA);

контроль качества распыления топлива (форсунки);

контроль распределения нагрузки по цилиндрам.

Современные условия эксплуатации судовых двигателей требуют высокой квалификации и опыта инженерного плавсостава. В случае выявления проблем во время работы, с состоянием цилиндро-поршневой группы старший механик обязан немедленно информировать фирму производитель и принять все возможные меры и действия для предотвращения и остановки процесса ухудшения состояния двигателя, при этом отталкиваясь не только от рекомендаций фирм-производителей, но и личного опыта.

УДК 621.432.082:629.5.064

к.т.н., проф. Ермошкин Н.Г., Сапига В.В.
Одесская национальная морская академия

Методика расчета влажностной системы очистки газовоздушного тракта газотурбинного двигателя

Анализ опыта эксплуатации газотурбинных двигателей (далее, ГТД) морского применения, свидетельствует о том, что потери от загрязнения газовоздушного тракта двигателя составляют 70 - 85% от всех потерь. Загрязнение газовоздушного тракта ГТД в процессе эксплуатации помимо изменения параметров двигателя на спецификационных режимах приводит к увеличению удельного расхода топлива, что снижает показатели энергоэффективность современного судна (корабля). Учитывая высокую степень конструктивного совершенства ГТД морского применения, а так же их подверженность к изменениям условий эксплуатации (параметры атмосферного воздуха и качества топлива) нами определены резервы повышения энергоэффективности судовой (корабельной) энергоустановки за счет совершенствования конструк-

тивных и организационно-технических мероприятий направленный на снижения загрязнения газовоздушного тракта двигателя.

В настоящее время снизить остроту указанной проблемы позволили мероприятия по очистки и подготовки циклового воздуха (атмосферного воздуха) с использованием различных воздухоочистительных устройств (далее, ВОУ). Проведенный сравнительный анализ систем фильтрации циклового воздуха показал, что основным параметром оптимизации их эффективности является гидравлическое сопротивление. Так опыт эксплуатации газотурбинных установок V94.2 компании Siemens, показал, что потери КПД и мощности в двигателе составляют 0,05 и 0,15% соответственно на каждые 100 Па перепада давления в фильтре [1]. При этом усложнение системы фильтрации циклового воздуха приводит к высоким значениям перепада давления в ВОУ, что резко снижает эффективность ГТД [2]. Поэтому актуальным становится второе направление решения этой проблемы – совершенствование влажностной системы очистки газовоздушного тракта ГТД.

На базе газотурбинного двигателя, установленного на корабле класса «фрегат», нами разработана модель влажностной системы очистки газовоздушного тракта двигателя и методика ее расчета, как наиболее перспективная с точки зрения ее эффективности и возможности применения в условиях как боевого корабля так и судна. В модели влажностной системы очистки газовоздушного тракта ГТД используется явление гидрогазовой эрозии загрязнений на поверхности элементов проточной части двигателя. Явление гидрогазовой эрозии приводит к разрушению загрязнений при движении жидкой дисперсной фазы в воздушно-газовом потоке рабочего тела при работе двигателя.

Разработанная модель и методика расчета влажностной системы очистки газовоздушного тракта ГТД морского применения позволит научно-обоснованно определять характеристики и параметры перспективной судовой (корабельной) промывочной станции и получить оптимальный алгоритм промывки газовоздушного тракта двигателя, обеспечивающий заданное качество очистки при минимальных эксплуатационных затратах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маскрофт Ф. Воздушные фильтры для ГТУ: оптимальный выбор / Ф. Маскрофт // Турбины и дизеля. – 2008. - № 6. – С. 18-21

2. Вышинский В.В. Расчетные исследования эффективности воздушных фильтров судовых газотурбинных двигателей /В.В. Вышинский, А.Г. Наливайко// Труды МФТИ. Аэрогидромеханика. – 2014. – Т. 6, № 1. – С. 81-91

УДК 629.5.064

Kupuc А. В., Левченко Н.А.
Одесская национальная морская академия

Совершенствование способов предотвращения загрязнения моря нефтью

Накапливающиеся в процессе эксплуатации морских и речных судов льяльные нефтесодержащие воды подлежат удалению за борт. В крупных портах действуют стационарные специализированные очистные сооружения, осуществляющие прием судовых сточных вод- станции очистки балластных вод (СОБВ).

Обычно на СОБВ применяются статический отстой, флотационное отделение нефтепродуктов и реагентная обработка воды. Качество очистки нефтесодержащих вод при флотации в основном определяется закономерностями растворения воздуха, его выделением из пересыщенного раствора, а также движением водовоздушной смеси во флотационной камере. Важное значение приобретает совместная работа всех узлов, обеспечивающих протекание перечисленных процессов.

Количество воздуха, участвующего во флотации, является одним из факторов, обеспечивающих высокую эффективность процесса - его недостаток или избыток снижает эффект удаления загрязнителя. При наиболее распространенном способе подачи воздуха во всасывающий трубопровод насоса через эжектор обычно наблюдается недостаток подсасываемого воздуха, так как его количество, в лучшем случае, составляет 5% количества перекачиваемой жидкости. Кроме того, режимные параметры и конструктивные характеристики напорных баков, как правило, обеспечивают растворение лишь 16-35% всего количества подаваемого воздуха.

Добиться увеличения количества растворенного в загрязненной жидкости воздуха можно повышением давления в напорных баках и совершенствованием их конструкции. Однако, эффективность флотации при этом повысится только в случае, если геометрические характеристики дроссельного устройства и условия выпуска воды во флотатор окажутся гидродинамически благоприятными для протекания процессов выделения воздуха и флотационного удаления загрязнителей. При напорной флотации процесс выделения пузырьков газа из пересыщенного раствора определяется закономерностями образования новой фазы.

Достижение остаточной концентрации нефтепродуктов, равной 10 мг/л в очищенной воде перед ее реагентной обработкой, может быть достигнуто только в результате подачи на флотацию дополнительного количества воздуха, что предложено осуществлять при помощи использования эжекторного дросселирования очищаемой воды.

Экспериментально исследованы три варианта дросселирования насыщенной в напорном резервуаре минерализованной воды:

а) при помощи клапана;

б) при помощи эжектора с подачей в него воздуха (эжекторное дросселирование);

в) при помощи эжектора, используемого вместо дроссельного клапана без подачи в него воздуха.

Анализ полученных данных по размерам пузырьков воздуха показал следующее:

1. Давление перед дроссельным клапаном, определяющее и скорость дросселирования, оказывает влияние, как на размер выделяющихся | пузырьков воздуха, так и на их разброс по крупности.
2. Изменение диаметра пузырьков в свою очередь приводит к изменению их количества.
3. Работа экспериментальной установки по варианту б) показала незначительное увеличение среднего диаметра совокупности пузырьков воздуха, выделяющегося и вводимого при помощи эжектора;
4. Качественное диспергирование воздуха наблюдалось при увеличении количества всасываемого через эжектор воздуха до 0,1 объемного расхода водовоздушной смеси.

В Одесском порту, в связи с отсутствием нефтесодержащего балласта, мощность СОБВ снизилась с 48000 $м^3$/сут до 300. Соответственно внедрена новая технология очистки нефтесодержащих вод, включающая последовательный отстой в динамических и статических отстойниках, нагрев стоков с последующими фильтрованием через рукавный фильтр, ультрафильтрационную установку и фильтры с угольной загрузкой.

В небольших же портах (как и в случае необходимости сдачи на очистку небольшого количества нефтесодержащих вод с маленьких судов) целесообразно иметь в наличии плавсборщики с очистными модулями, обеспечивающими требуемое качество очистки сточных вод для возможности их прямого сброса в акваторию. Для морских акваторий, относящихся к водоемам рыбохозяйственного значения, допустимая концентрация нефтепродуктов в сбросе не должна превышать значение 0,05 мг/л. Поэтому разработка способов и технических средств защиты морей, рек от загрязнения в результате нерациональной эксплуатации судовых энергоустановок является актуальной задачей.

Используемые в судовых установках технологические схемы очистки нефтесодержащих вод можно разделить на две группы:

системы очистки с фильтрами коалесцирующего типа (типа «Фрам», «Фрамарин», «GSF», «М10», «Сарекс», «СКМ с фильтром ФДН-М», «УСФА»). Достигаемая степень очистки - 10 мг/л остаточного нефтесодержания в сточной воде;

эти же системы очистки, дополненные аппаратами тонкой доочистки стоков (типа «ПП Матис», «Гидропур», «Аквамарин», «TEIFA», «HP 1625-73», «УСГК- 0,4», «СКМ-2», «УКФ»). Достигаемая степень очистки - 5 мг/л остаточного нефтесодержания.

В первом случае используется комбинация методов тонкослойного отстаивания и коалесценции на специальных загрузках. Во втором случае перечисленные методы дополняются фильтрованием через зернистые абсорбционные загрузки. При этом реализуется общий принцип последовательного увеличения внешней стесненности потока, которая обеспечивает извлечение все более мелких частиц загрязнителей и повышение качества очистки воды.

Находящееся в эксплуатации судовое сепарационное оборудование в большинстве случаев удовлетворяет требованиям действующей конвенции, т.е. нефтесодержание льяльной воды, прошедшей очистку, не превышает 15 мг/л. Для соблюдения экологической чистоты морского района, в котором производится сброс нефтесодержащих балластных вод, концентрация нефтепродукта в водах принимающего водоема, как уже было отмечено, не должна превышать 0,05 мг/л.

Единственным доступным способом достижения такой низкой остаточной концентрации нефтепродуктов в месте сброса является начальное разбавление льяльной воды, необходимая кратность которого достигается выбором скорости хода судна. Такие рекомендации для условий сброса нефтесодержащих вод через донное отверстие приведены в [1].

Рекомендации для сброса льяльных вод через бортовое отверстие приведены в [2], где показано, что в результате начального разбавления льяльных вод с исходной концентрацией нефтепродуктов 15 мг/л, снижение концентрации до значения 0,05 мг/л в месте сброса обеспечивается при скорости движения судна более 6 узлов.

Однако важной проблемой остаётся разработка технологии глубокой доочистки сточных вод, обеспечивающей остаточное содержание нефтепродуктов до значения 0,05 мг при эксплуатации судна в акватории порта или прибрежных водах.

Развитие научных исследований во этом случае должно быть направлено на разработку новых способов глубокой доочистки, сочетающих физико-химические (реагентные) и микробиологические методы, а также повышение эффективности использования существующих способов извлечения загрязнений.

В современных реагентных технологиях очистки нефтесодержащих сточных вод, образующихся при эксплуатации плавсредств, широко применяются ПАВ различных классов, которые разрушают водонефтяные эмульсии, что способствует выделению из них нефтепродуктов. Перспективность этих органических соединений заключается в том, что они входят в состав моющих композиций, с помощью которых в судовой практике осуществляются процессы дегазации топливных танков, очистки двигателей, танков и другого оборудования от нефтепродуктов и жировых отложений.

Таким образом, на флоте применяются комплексные технологии, в которых ПАВ используются как в качестве моющего средства, так и в качестве реагента для очистки образующихся в результате мойки водонефтяных эмульсий от нефти.

Применение ПАВ в качестве моющих и очищающих реагентов основано на их свойстве изменять смачиваемость водой поверхностей различных твердых тел (при определенных условиях и концентрациях ПАВ). В процессах мойки и обезжиривания поверхностей наиболее эффективными являются препараты на основе катионных (КПАВ) и неионогенных (НПАВ) поверхностно-активных веществ.

Анализ опыта применения различных ПАВ показал, что повышенный интерес вызывают НПАВ, например "Аквамар 2000", которые обладают не только хорошими эмульгирующими, смачивающими и моющими свойствами, но и, что самое важное, способностью к эффективному биохимическому распаду. Так оказалось, что с помощью КПАВ нельзя обеспечить глубокую очистку нефтесодержащих стоков, так как обработанный моечный раствор практически не обладает потенциальной способностью к биологическому распаду.

Для оценки перспективности применения препарата «Аквамар 2000» выполнен комплекс исследований по изучению его поведения в пресной и морской воде, взаимодействия с нефтесодержащими стоками по оценке токсичности растворов препарата и продуктов его разложения при наличии и отсутствии в них нефтепродуктов.

На основании результатов исследований определены оптимальные условия разрушения нефтепродуктов до концентраций, позволяющих отведение очищенных вод в акваторию или канализацию, в зависимости от исходных концентраций загрязнителя и препарата, времени их контакта, продолжительности аэрации.

Теоретически обосновано предположение о том, что процесс разрушения нефтепродуктов в воде в присутствии «Аквамар 2000» происходит за счет процессов солюбилизации их мицеллами НПАВ с последующим аэробным окислением углеводородных цепей бактериями, находящимися в воде акватории и воздухе. Присутствие активаторов, растительных экстрактов и органических кислот, содержащихся в препарате, ускоряет процесс биодеструкции.

Полученные результаты положены в основу технологии глубокой доочистки нефтесодержащих сточных вод, обеспечивающей остаточное нефтесодержание на уровне 0,05 мг/л. Указанная технология внедрена в Одесском морском торговом порту в виде очистного модуля, установленного на плавсборщике ПС-368.

Разработанная технологическая схема предусматривает трехступенчатый отстой, сепарационное отделение нефтепродуктов и реагентную обработку с последующим динамическим отстоем и сбросом очищенного стока в акваторию. Для интенсификации процессов глубокой очистки в систему на стадии динамического отстоя подавался сжатый воздух.

При испытаниях судового варианта осуществления технологического процесса установлено, что:

1)время трехступенчатого отстоя должно составлять 35 ч и 32 ч в зимний и летний периоды года соответственно;
2)расход воздуха для аэрирования воды в цистерне доочистки должен составлять 0,65 нм3 на 1 м3 обрабатываемого стока;
3)концентрация нефтепродуктов в стоке, поступающем на доочистку, не должна превышать 5,0 мг/л;
4)соотношение концентраций препарат - нефтепродукт должно поддерживаться в интервале 40 : 1 ÷100 : 1.

В заключение следует отметить, что количество воздуха, участвующего в аэрации, является одними из факторов, обеспечивающих эффективность процесса. Недостаток или избыток воздуха, как и применяемый способ аэрации, может снизить качество очистки. В данном случае, за счет оптимизации количества подаваемого воздуха (по нашему мнению расход в количестве 0,65 $м^3$ на 1 $м^3$ воды является завышенным) можно повысить эффективность очистки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукиных Н.Л. Оценка возможного загрязнения районов массового j промысла нефтесодержащими сбросами. Сб. НТО им. акад. А.Н.Крылова, 1980, вып. 315, с. 47-51.

2.Kupuc А.В., Важговский Н.В. Расчет кратности начального разбавления балластных вод при их сбросе в море с танкеров. Межотраслевая НТК. Проблемы эксплуатации, ремонта и проектирования специальных систем танкеров (15018 сент. 1982 г.). Тезисы докладов, Владивосток, РВВИМУ, 1982, с. 108-111.

УДК 621.187.32(088.8):541.123.38:621.182.44

Абрамов В.А.
Одесская национальная морская академия

Повышение эффективности очистки судовых теплообменников от накипных отложений

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

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

В работе [1] были также проведены поисковые экспериментальные исследования по растворимости мелкокристаллического карбоната кальция

($CaCO_3$), как основного компонента накипных отложений, в растворах сульфаминовой кислоты малых концентраций при повышенных давлениях CO_2 в сосуде-реакторе, создаваемых баллонной двуокисью углерода.

Полученные результаты показали, что растворимость $CaCO_3$ в растворах сульфаминовой кислоты увеличивается с повышением давления CO_2, а наибольшая растворимость карбоната кальция наблюдается при поддержании давления CO_2 в сосуде-реакторе на уровне 0,2 МПа. Это указывает на перспективность метода очистки от накипи, основанного на этом принципе, и проведения более глубоких исследований с целью дальнейшего усовершенствования режимов очистки и последующего внедрения их в практику технической эксплуатации флота.

Для достижения этой цели предлагается использовать эффект выделения газов (в частности CO_2) из их пересыщенных растворов — эффект пневмошока. Выделение газов из их пересыщенных растворов — широко распространенное явление [2]. Так, при снижении давления над природными газированными или искусственно полученными минеральными водами, немедленно начинается образование газовой фазы. Пересыщенный же раствор газа в жидкости может быть получен предварительным ее насыщением под давлением с последующим изменением параметров состояния газового раствора например, при резком сбросе давления.

Механизм рассматриваемого интенсифицированного способа очистки предполагается следующим.

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

Таким образом, стабилизация величины pH на равновесном уровне должна свидетельствовать о прекращении процесса химического растворения накипи и по ней определяется момент начала второго этапа очистки, заключающегося в резком сбросе давления в теплообменнике, путем сообщения внутренней полости теплообменника с зоной пониженного давления, напри-

мер с атмосферой [3]. На этом этапе начинает действовать вторая составляющая раствора - его избыточное газосодержание. Сброс давления вызывает немедленное пузырьковое газовыделение из раствора и, в первую очередь, в местах дефектов накипи и под ее слоем, т.е. там, куда проник газонасыщенный раствор. Высвобождающийся газ не может свободно улетучиваться из пор, ввиду их относительно сложной формы и малых размеров, он накапливается в них в виде пузырей, по мере выделения CO_2 из раствора, и, наконец, он прорывает себе путь, разрушая структуру накипи. Причем разрушение накипи происходит по плоскостям спайности кристаллов, т.е. в потенциально слабых местах. Здесь же зарождаются и начинают развиваться усталостные трещины, приводящие к дальнейшему разрушению накипи и ее отслаиванию от поверхности нагрева после такой обработки.

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

Кроме того, очистку дополнительно можно интенсифицировать следующим образом. После резкого сброса давления возможно повторное его повышение путем отсечения теплообменника от зоны пониженного давления и быстрого его сообщения вновь с зоной повышенного давления (например с баллоном со сжатой CO_2), повторяя затем такие быстрые знакопеременные изменения давления многократно [4]. Повторное повышение давления, воздействуя на образующиеся пузырьки, начинает противодействовать их росту, вынуждая вновь растворяться содержащийся в пузырьках газ. Процесс, набирая скорость, идет в обратном направлении и, наконец, пузырьки схлопываются, что приводит к возникновению ударно-волновых воздействий микрообъемов моющей жидкости на накипные отложения. Процесс разрушения накипи в итоге прогрессирует, так как в области образования и последующего схлопывания газовых пузырьков возникают многократно повторяющиеся импульсы механического напряжения, приводящие к усталости и разрушение этих участков накипи.

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

Это вызывает периодическое вскипание моющей жидкости (в первую очередь у поверхности нагрева) при снижении давления до уровня атмосферного давления и, соответственно, прекращение процесса кипения — при последующем повышении давления в теплообменнике до первоначально установленного значения, но не выше значения рабочего давления в теплообменнике. Такая обработка приводит к еще большему разрушению накипи генерируемыми на поверхности нагрева паровыми пузырьками. Продолжительность такой обработки выбирают экспериментально для каждого конкретного случая.

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

Полученные ранее данные позволили конкретизировать методику дальнейших экспериментальных исследований с учетом количества и величины определяющих факторов.

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

- избыточное давление CO_2 – P_{CO_2} (МПа);
- концентрация сульфаминовой кислоты – $C_к$ (%);
- температура моющего раствора — t (°C).

Исследования проводились с использованием многофакторного планирования эксперимента [5]. Исходные данные, т.е. область определения и интервалы варьирования каждого фактора, координаты нулевой точки эксперимента и соответствующие им кодированные значения факторов представлены в таблице.

Таблица. Исходные данные многофакторного планирования эксперимента

Факторы	Уровни факторов					Интервал варьирования
	-1,215	-1	0	+ 1	+ 1,215	
$\tilde{X}_1$ (P_{CO_2}, $МПа$)	0	0,02	0,11	0,20	0,22	0,09
$\tilde{X}_2$ ($C_к$, %)	0	0,20	1,10	2,00	2,20	0.90
$\tilde{X}_3$ (t,°C)	27,5	35,0	70,0	105,0	112,5	35.0

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

При проведении экспериментальных режимов использовались отрезки трубок (длиной 0,2 м и наружным диаметром около 0,04 м). покрытых с на-

ружной стороны плотным слоем натуральной карбонатной накипи толщиной до 2,5 мм.

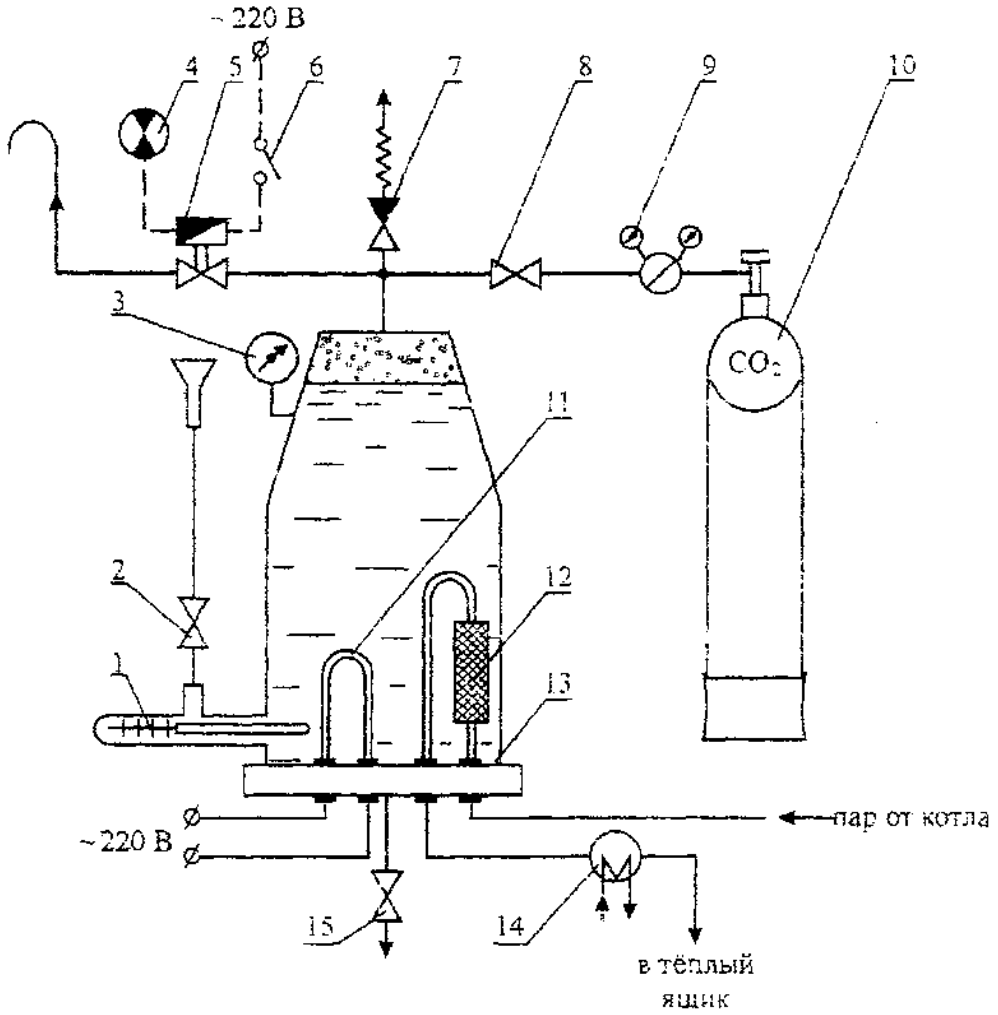


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 — термометр; 2 — клапан для заливки моющего раствора; 3 — манометр; 4 — сигнальная лампочка; 5 — электромагнитный клапан сброса давления; 6 — тумблер подачи питания на электромагнитный клапан; 7 — предохранительный клапан; 8 — клапан подачи СО2 в сосуд-реактор; 9 — газовый редуктор; 10 — баллон с CO_2; 11 — электрический нагреватель; 12 — опытная трубка, покрытая накипью; 13 — сосуд-реактор; 14 — конденсатор отработавшего пара; 15 — клапан слива раствора из сосуда и отбора проб воды на анализ

Эксперимент проводился в следующем порядке.

Заготовленные образцы трубок с накипью перед началом каждого опыта высушивались, взвешивались, и определялось потенциальное количество накипи, покрывающей трубку. После монтажа опытного образца сосуд заполнялся моющим раствором с заданной концентрацией сульфаминовой кислоты. Затем, при необходимости, исходя из алгоритма разработанной программы, от газового баллона в сосуд подавалась СО2, в результате чего в нем повышалось давление до требуемого уровня. После выдержки накипи в моющем растворе до момента стабилизации величины pH, что контролировалось с помощью универсального иономера ЭВ-74, путём открытия и закрытия

электромагнитного клапана производили серию циклов «резкий сброс давления до атмосферного с последующим его повышением до первоначального уровня». В случае проведения эксперимента, в ходе которого присутствует фаза кипения раствора, паром, пропускаемым через трубку, раствор подогревали до температуры, превышающей температуру насыщения при атмосферном давлении. После окончания каждого из опытов, трубки высушивали при температуре не ниже 110° С и взвешивали. По разности веса трубки до и после эксперимента определяли количество удаленной накипи, приведенное к 1 л моющего раствора (S_{CaCO_3} , г/л).

Экспериментальные результаты трех параллельных опытов при каждой строке матрицы планирования (в работе не приводится) усреднялись. После обработки экспериментальных данных было получено уравнение регрессии, состоящее из значимых эффектов

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

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

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

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

Для удобства практического использования при проведении эксплуатационных очисток, по уравнению регрессии построены основные графические зависимости количества удаленной накипи (S_{CaCO_3} , г/л) от концентрации сульфаминовой кислоты (Ск, %) для различных условий (в присутствии CO_2 и без нее, с вскипанием и без вскипания моющего раствора и т.п.), представленные на рис. 2.

Полученное уравнение регрессии и графики на рис.2 можно использовать при расчете режимов эксплуатационных очисток теплообменных аппаратов предложенными методами. Для этого необходимо было решить очередную задачу – разработку конкретных рекомендаций по использованию предложенных усовершенствованных режимов очистки судового теплоэнергетиче-

ского оборудования от эксплуатационных отложений в практике технической эксплуатации флота.

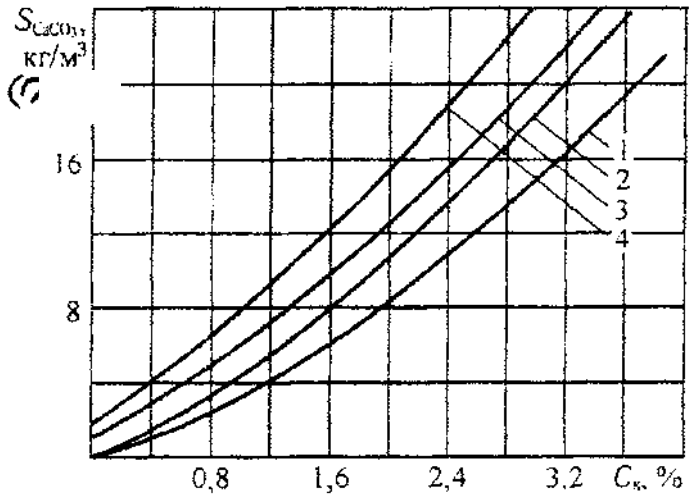


Рис. 2. Зависимость количества удалённой накипи от концентрации сульфаминовой кислоты при различных условиях многофакторного эксперимента: 1 – при 35 °С с использованием одних растворов сульфаминовой кислоты; 2 – при 105°С (с фазой вскипания) растворов сульфаминовой кислоты; 3 – при 35 °С с использованием растворов сульфаминовой кислоты и CO_2 при давлении 0,2 МПа (со сбросами и повышениями давления); 4 – при 105 °С (с фазой вскипания) растворов сульфаминовой кислоты и при давлении CO_2 равном 0,2 МПа (со сбросами и повышениями давления)

Предлагаемые ниже рекомендации основаны на результатах проведенных исследований и на использовании при эксплуатационных очистках слабых растворов сульфаминовой кислоты при повышенных давлениях CO2, с осуществлением многократных резких сбросов и повышений давления в теплообменнике, а также с периодическим осуществлением фазы вскипания моющего раствора (при сбросах давления), что собственно и интенсифицирует процесс удаления накипных отложений с теплообменных поверхностей по сравнению с обычной химической очисткой.

Принципиальная схема дооборудования теплообменника для осуществления интенсифицированной очистки от накипи представлена на рис. 3.

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

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

где B — количество накипи в теплообменнике, кг; δ — средняя толщина слоя накипи, мм; F — поверхность нагрева теплообменника (по паспорту или справочнику, м^2); γ = 2500 кг/м^3 — плотность накипи.

Зная объем воды в теплообменнике (V, $м^3$) и количество находящейся в нем накипи (В, кг), по их соотношению (В / V= S_{CaCO_3} , г/л) и по полученному уравнению регрессии или графикам на рис. 2 определяют необходимую концентрацию сульфаминовой кислоты ($С_к$, %), достаточную для одноразового приготовления моющего раствора. Для этого предварительно выбирают тот или иной способ проведения очистки в зависимости от конкретных условий и возможностей на данный период (1 — с использованием только растворов сульфаминовой кислоты; 2 — с использованием сульфаминовой кислоты и фазой периодического вскипания моющего раствора; 3 — с использованием растворов сульфаминовой кислоты при повышенных давлениях CO_2 и с периодическими сбросами и повышениями давления; 4 — с использованием растворов сульфаминовой кислоты при повышенных давлениях CO_2 и периодическими вскипаниями моющего раствора при сбросах давления).

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

$$Gк = 10VСк ,$$

где Gк — количество сухой сульфаминовой кислоты (100%), необходимой для приготовления моющего раствора нужной концентрации, кг; V — водяной объем теплообменника, $м^3$; Ск — необходимая концентрация сульфаминовой кислоты, %.

Интенсифицированную очистку рекомендуется осуществлять следующим образом (см. рис. 3).

После полного заполнения теплообменника 1 водой закрывают секущие клинкеты 8, изолируя таким образом водяной объем теплообменника от штатных систем. Готовят моющий раствор, для чего растворяют в растворном баке 12 расчетное количество сухой сульфаминовой кислоты и, открывая затем клапаны 11 и 13, запускают рабочий насос 21, обеспечивая циркуляцию воды через теплообменник. Приоткрывая клапан 20, подают маточный раствор кислоты на всасывание рабочего насоса 21. После подачи всего раствора в контур циркуляции закрывают клапаны 20 и 13 и открывают клапаны 14, обеспечивающие прохождение воды через водогазовый эжектор 15. Убедившись по мановакууметру 16 в нормальной работе эжектора (т.е. создании вакуума во всасывающей камере), открывают невозвратно-запорный клапан 19 и редуктором 17 на баллоне с CO_2 устанавливают давление подачи углекислого газа к эжектору порядка 0,03-0,05 МПа. Таким образом производят насыщение моющего раствора двуокисью углерода. Продолжительность насыщения определяют временем трех-четырёхкратной замкнутой циркуляции раствора через теплообменник, исходя из производительности рабочего насоса и количества воды в теплообменнике.

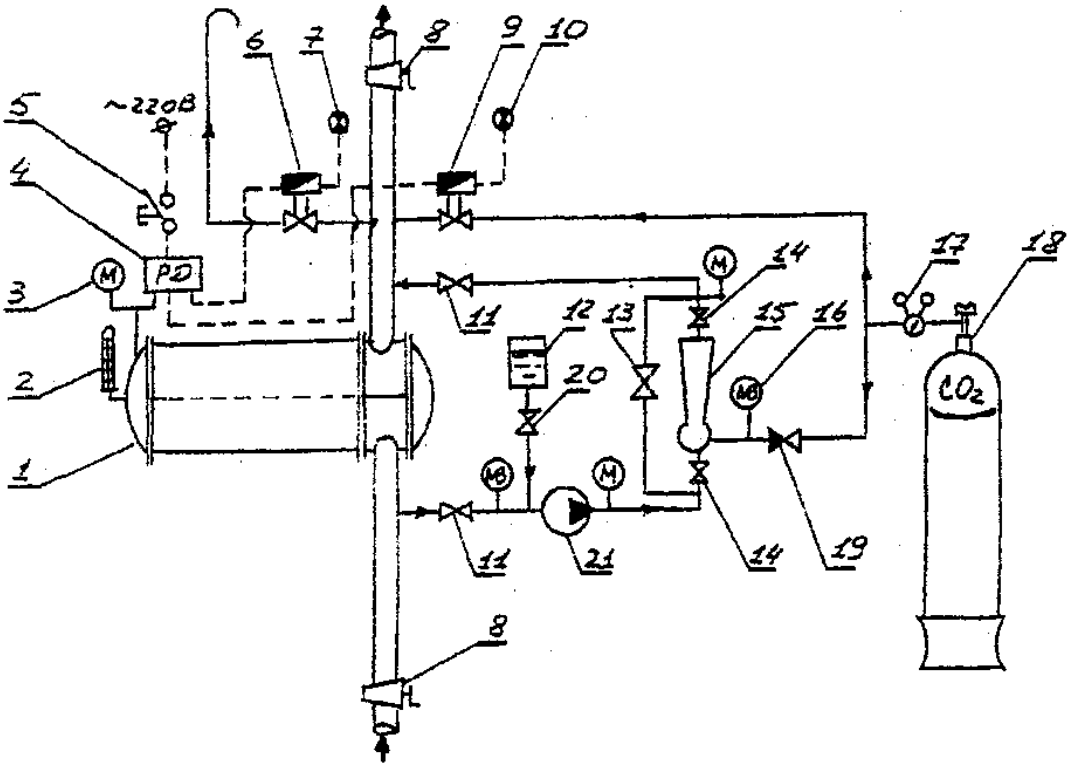


Рис. 3. Принципиальная схема установки интенсифицированной очистки теплообменника от накипи: 1 — теплообменный аппарат; 2 — термометр; 3 — манометр на теплообменнике; 4 — реле давления; 5 — тумблер для подачи питания на реле давления; 6 — электромагнитный клапан для сообщения теплообменника с атмосферой; 7 — сигнальная лампочка клапана сброса давления: 8 — секущие клинкеты; 9 — электромагнитный клапан для сообщения теплообменника с баллоном со сжатой CO_2; 10 — сигнальная лампочка клапана подачи CO_2; 11 — клапаны для подключения насыщающей установки к теплообменнику; 12 — бак для приготовления моющего раствора; 13 — байпасный клапан; 14 — клапаны для отключения эжектора от контура циркуляции; 15 — водогазовый эжектор; 16 — мановакуумметр эжектора; 17 — газовый редуктор; 18 — баллон с CO_2; 19 — невозвратно — запорный клапан для подвода CO_2 к эжектору; 20 — клапан для подвода моющего раствора на всасывание рабочего насоса; 21 — рабочий насос очистной установки.

Затем останавливают рабочий насос 21 и редуктором 17 устанавливают давление подачи CO_2 в теплообменник на уровне 0,2 МПа, но не выше рабочего давления в теплообменнике. Контроль давления в теплообменнике производят по манометру 3.

Повышение давления CO_2 интенсифицирует процесс растворения накипи с одновременным образованием раствора с избыточным газосодержанием. Теплообменник выдерживают при этом давлении до стабилизации величины pH газонасыщенного моющего раствора (ориентировочно 3-4 часа). Величина pH при этом контролируется по индикаторной бумаге.

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

Таким образом, при подаче питания на реле давления 4 происходит открытие электромагнитного клапана 6, сообщающего теплообменник с атмо-

сферой, что приводит к резкому сбросу давления в теплообменнике до давления окружающей среды. За этим следует мгновенное газовыделение из моющего раствора и в первую очередь в местах дефектов накипи, что вызывает ее частичное разрушение и отслаивание от поверхности нагрева. В момент достижения в теплообменнике уровня давления окружающей среды закрывается электромагнитный клапан 6 и тут же открывается клапан 9. сообщающий теплообменник с баллоном 18 со сжатой CO_2. Происходит резкое повышение давления в теплообменнике до первоначально установленного значения, что вызывает схлопывание образовавшихся газовых пузырьков, приводящее к ударному воздействию микрообъемов моющей жидкости на накипные отложения. Этот процесс сопровождается дальнейшим обширным разрушением накипи. Затем вновь происходит открытие клапана 6 и так далее многократно.

Таким образом, после включения тумблера 5 процесс разрушения накипи осуществляется без участия обслуживающего персонала, т.е. в автоматическом режиме. Моменты открытия соответствующих электромагнитных клапанов можно контролировать при этом по сигнальным лампочкам 7 и 10.

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

После полной очистки теплообменника от накипи прекращают нагрев моющего раствора и выключают тумблер 5. что приводит к закрытию электромагнитных клапанов 6 и 9. Затем открывают секущие клапаны 8 и промывают теплообменник водой от штатного циркуляционного насоса для удаления отработавшего раствора и осколков разрушенной накипи.

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

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов В. А. Накипеобразование в судовых теплообменниках, методы их очистки и растворимость $CaCO_3$ в растворах сульфаминовой кислоты при повышенных давлениях CO_2 //Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб.- 2013. - №31. – Одесса: ОНМА. – С.5-24.
2. Перепёлкин С. Е. Газовые эмульсии /С. Е. Перепёлкин, В. С. Матвеев. – Л.: Химия, 1979. -200с.
3. Способ очистки теплообменника от накипи: А.с. №1499086 СССР, МКИ F28G 9/00, B08B 3/08/ В.А. Абрамов, Ю. И. Боев, В. А. Вагапов, В. Ф. Коваленко, И. А. Станкевич, Б. А. Павленко - №4300731/31-12. Заявл. 24.06.1987. Опубл. 07.08.1989, Бюл. №29.
4. Способ очистки теплообменника от накипи: А.с. №1747850 СССР, МКИ F28G 9/00/ В.А. Абрамов, В. Ф. Коваленко, В. Н. Скрипник - №4783403/12. Заявл. 17.01.1990. Опубл. 15.07.1992, Бюл. №26.
5. Михайлов В. И. Планирование эксперимента в судостроении / В. И. Михайлов, К. М. Федотов. – Л.: Судостроение, 1978. – 160 с.

УДК 629.5.064

Ст. преп. Гаврилкин О. Е.
Одесская национальная морская академия

Очистка выхлопных газов судовых энергетических установок

Проблема чистоты атмосферы возникла вместе с появлением промышленности и транспорта, работающего на нефти. В течение предыдущих столетий загрязнение воздуха носило местный характер.

Дым сравнительно редких заводских, автомобильных, паровозных и пароходных труб почти полностью рассеивался на большом пространстве. Быстрый и повсеместный рост промышленности и транспорта в XX веке привел к такому увеличению объемов и токсичности выбросов, которые уже не могут быть растворены в окружающей среде до концентраций, безвредных для человека, животного и растительного мира.

Интенсивное развитие судоходства на водных путях привело к строительству качественно нового флота: с мощными энергетическими установками, высокими грузоподъемностью, пассажировместимостью и скоростью. Массовая эксплуатация такого флота сопровождается ростом его воздействия на окружающую среду.

Судовая эмиссия как источник антропогенного воздействия по различным оценкам насчитывает до 14% всей эмиссии от ископаемых видов горючего и 16% всей эмиссии серы от сжигаемых продуктов нефти. Ситуация осложнилась широким внедрением на флоте тяжелых сортов топлива с содержанием серы до 3,5%.

Уже сейчас в таких странах как Швеция, Финляндия и США нормы по выбросу вредных ингредиентов настолько ужесточены, что возможности выполнения соответствующих требований только за счет организации рабочего процесса двигателей внутреннего сгорания (ДВС) практически исчерпали свой резерв. Дальнейшее развитие в данном направлении без применения устройств по очистке отработавших газов (ОГ) становится весьма трудновыполнимым.

Одновременное снижение вредных веществ и дымности в ОГ требует различные, подчас не совместимые между собой мероприятия, что существенно затрудняет решение проблемы снижения вредных продуктов ОГ.

Рациональное решение проблемы обработки ОГ возможно при использовании комплекса прогрессивных устройств и узлов.

В систему комплексной очистки газов (СОГ) может входить: каталитический фильтр-преобразователь топлива (КФПТ), узел озонирования водотопливной эмульсии (ОВТЭ), узел рециркуляции ОГ и жидкостный контактный аппарат.

Очистка газов от диоксида серы

Для очистки отходящих газов от диоксида серы предложено большое количество хемосорбционных методов, применение нашли только некоторые из них. Это из-за того, что объёмы отходящих газов велики, а концентрации SO_2 в них малы, газы характеризуются большой температурой и значительным содержанием пыли. Для абсорбции могут быть использованы вода, водные растворы и суспензии солей щелочных и щелочноземельных металлов.

Абсорбционные методы очистки.

Недостатки абсорбционных методов очистки газов от диоксида серы привели к разработке процессов, основанных на использовании твердых хемосорбентов – путем их введения в пылевидной форме в топки и (или) газоходы теплоэнергетических агрегатов. В качестве хемосорбентов могут быть использованы известняк, доломит или известь. Для увеличения активности хемосорбентов, подавления процесса окисления SO_2 в SO_3 и решения некоторых других задач наряду с поглотителем диоксида серы вводят ряд специальных добавок в виде дешевых неорганических солей, оксихлорида меди, оксида магния и других веществ.

Наряду с хемосорбентами в качестве агентов для связывания диоксида серы могут быть использованы некоторые оксиды металлов.

Сухие процессы санитарной очистки газов от диоксида серы обеспечивают возможность реализации обработки газов при повышенных температурах без увлажнения очищаемых потоков, что позволяет снизить коррозию аппаратуры, упрощает технологию газоочистки и сокращает капитальные затраты на нее. Наряду с этим они обычно предусматривают возможность циклического использования поглотителя и (или) утилизацию продуктов процесса очистки газов.

К сухим способам относят также каталитическое окисление диоксида серы (и поглощение диоксида серы адсорбентами).

Методы каталитической и термической очистки газов. Разработанная технология каталитической очистки отходящих газов от диоксида серы основана на принципе окисления SO_2 в SO_3, используемом в производстве серной кислоты нитрозным (башенным) либо контактным методом.

Очистка газов от сероводорода

Сероводород содержится как примесь в топливе. Топочные газы, содержащие сероводород, очень коррозионно активны.

Для очистки газов от сероводорода применяются различные хемосорбционные методы.

(Хемосорбционные методы применяют для одновременной очистки от оксидов серы и азота). В качестве сорбента используют соединения меди, которые поглощают оксиды серы. Процесс проводят в кипящем слое при 400-450 С.

Сероуглерод малоактивен при обычной температуре, поэтому хемосорбционные методы его извлечения из воздуха малоэффективны. Газы, содержащие CSz и COS, подвергают конверсии до HzS с применением железохромового катализатора при 400 - 500 С или медного при 600 С. Затем образующийся H2S поглощают щелочными растворами. (Однако для очистки газов, содержащих CS2 и COS, наиболее экономичны абсорбционные методы.)

Вакуум-карбонатные методы. В этих методах сероводород поглощается из газов водным раствором карбоната натрия или калия. Затем раствор регенерируют нагреванием под вакуумом, охлаждают и снова возвращают на абсорбцию.

Если производится регенерация раствора без рекуперации сероводорода, то раствор нагревают в регенераторе и из него воздухом обдувают сероводород.

Фосфатный процесс. Для абсорбции сероводорода фосфатным методом применяют растворы, содержащие 40 – 50% фосфата калия.

Из раствора сероводород удаляют кипячением.

Мышьяково-щелочные методы. В зависимости от абсорбента эти методы разделяются на мышьяково-содовый и мышьяково-аммиачный.

Очищаемый газ поступает в абсорбер, где происходит его очистка от сероводорода. Далее насыщенный сероводородом раствор перекачивают через теплообменник, где он нагревается до 40°С и затем поступает на регенерацию. В регенератор подают сжатый воздух, который барботирует через раствор. После окисления кислородом воздуха и отделения серы, которая всплывает вместе с пузырьками воздуха в сепараторе, раствор возвращают на абсорбцию. Серу отделяют на вакуум-фильтре.

На интенсивность абсорбции влияет концентрация мышьяка в поглотителе и pH раствора.

Технологические схемы и аппаратура мышьяково-содового и мышьяково-аммиачного способов идентичны.

Процесс «Stretford». В этом процессе сероводород абсорбируют щелочным раствором

(pH = 8,5–9,5), содержащим кроме карбоната натрия эквимолекулярное количество ванадата натрия-аммония и антрахинон – 2,6–2,7 – дисульфоната (АДА). Кроме того, к раствору добавляют натрий-калиевую соль винной кислоты, чтобы ванадат не выпадал в осадок.

Достоинством процесса является возможность исключить очень токсичные арсениты.

Железо-содовый метод. В этом процессе для поглощения используют взвесь гидроксидов двух- и трехвалентного железа Суспензию приготавливают смешением 10%-го раствора Na_2 CO_3 с 18%-м раствором железного купороса.

Метод позволяет достичь степени очистки более 80%.

Щелочно-гидрохиноновый метод. Сущность методе заключается в поглощении сероводорода щелочными растворами гидрохинона. При регенерации растворов выделяются элементная сера и тиосульфат натрия. Гидрохинон является катализатором. Чем выше концентрация хинона в растворе, тем активнее раствор. Метод состоит из следующих стадий: взаимодействие сероводорода с карбонатом натрия (содой); окисление гидросульфида натрия хиноном (окисленная форма гидрохинона); регенерация соды; регенерация хинона.

Метод позволяет очищать газ от начального содержания сероводорода.

Абсорбция этаноламинами. В этих методах сероводород и диоксид углерода поглощаются растворами моноэтаноламина или триэтаноламина.

Адсорбционные методы очистки. Наиболее глубокую очистку газов от H_2 S обеспечивают адсорбционные методы с использованием гидроксида железа, активного угля, цеолитов и других поглотителей.

Процесс очистки газов от H_2 S гидроксидом железа, используется давно. При прохождении газа через слой гидроксида железа H_2 S поглощается. Одновременно образуется некоторое количество FeS. Присутствующий в очищаемом газе кислород окисляет сульфидную серу с образованием гидроксида железа.

Очистку проводят при близком к атмосферному давлении и температуре 28–30°С.

Рекуперацию серы из отработанного поглотителя обычно проводят путем его обжига, направляя образующиеся в этом процессе газы в сернокислотное производство.

Эффективным поглотителем H_2 S является активный уголь. Высокая экзотермичность процессов окисления H_2 S при значительных концентрациях его в очищаемых газах обусловливает интенсивный разогрев слоя поглотителя и связанный с этим риск возгорания активного угля. В этой связи использование активного угля для очистки газов от H_2 S обычно ограничивают.

Очистка газов от оксидов азота

Для абсорбции оксидов азота используют воду, растворы щелочей и селективные сорбенты, кислоты и окислители.

Для интенсификации процесса используют катализатор. Степень очистки может достигать 97%.

Абсорбция щелочами. Для очистки газов применяют различные растворы щелочей и солей.

Селективные абсорбенты. Для очистки газов от NO при отсутствии в газовой фазе кислорода могут быть использованы растворы $FeSO_4$, FeCl, Na_2 S_2 O_3, $NaHCO_3$.

Раствор $FeSO_4$ является наиболее доступным и эффективным поглотителем. В качестве абсорбента могут быть использованы и травильные растворы, содержащие $FeS0_4$. Поглотительная способность раствора зависит от концентрации $FeSO_4$ в растворе, температуры и концентрации NO в газе.

Адсорбция оксидов азота.

Как абсорбционные, так и адсорбционные приемы поглощения слабо окисленных нитрозных газов малоэффективны.

В промышленной практике очистки отходящих газов от оксидов азота использование адсорбентов весьма ограничено.

Эффективными поглотителями NO_2 являются активные угли, но их недостаток в том, что при контакте с газом они нагреваются и возможно воспламенение и взрыв. Возможно использование других адсорбентов: селикогели, алюмогели и др.

Методы каталитической и термической очистки газов. Для обезвреживания газов от оксидов азота применяют высокотемпературное каталитическое восстановление – процесс происходит при контактировании нитрозных газов с газами-восстановителями на поверхности катализаторов; селективное каталитическое восстановление – используемый восстановитель реагирует с NO_x и почти не взаимодействует с находящимся в газах кислородом; разложение гетерогенными восстановит елями – процесс может проходить как с использование катализатора, так и без использования его.

Очистка газов от оксида углерода

Для очистки газов от диоксида углерода используют абсорбцию или промывку газа жидким азотом. Абсорбцию проводят также водно-аммиачными растворами закисных солей ацетата, формиата или карбоната меди.

Абсорбция оксида углерода медь-алюминий-хлоридными растворами. Этот метод применяют при наличии в газе кислорода и больших количеств диоксида углерода. Процесс основан на химической абсорбции оксида углерода раствором смешанной соли тетрахлорида меди и алюминия в различных ароматических углеводородах с образованием комплекса с оксидом углерода.

Предварительно осушенный газ подают в абсорбер, который орошается регенерированным раствором. Насыщенный оксидом углерода раствор, вы-

ходящий из абсорбера, подогревают до 100°С и направляют в промежуточный десорбер, где поддерживают давление 0,25 МПа. Десорбер орошают регенерированным раствором для поглощения СО, выделяющегося при десорбции. Частично регенерированный раствор после теплообменника поступает в регенератор, где регенерируется при 135–180°С. Затем раствор охлаждают и подают в отстойник, из которого направляют в абсорбер и десорбер. Выделенный из газовых потоков растворитель (толуол) возвращают в систему приготовления раствора.

Методы каталитической и термической очистки газов. Для окисления СО используют марганцевые, медно-хромовые и содержащие металлы платиновой группы катализаторы. В зависимости от состава отходящих газов в промышленности применяются различные технологические схемы очистки.

Скруббер, как и газоочиститель, являются наилучшими средствами очистки отработанного воздуха, как и очистки ОГ и удаления ядовитых и сильно пахнущих веществ. В скруббере газ приводится в интенсивный контакт с мелко распределенными водяными каплями или другими очищающими жидкостями, в потоках встречного направления, так что это приводит к очистке/отмывке паровой фазы. Чем больше площадь поверхности между моющей жидкостью и очищаемым газом и чем меньше размер водяных капель, тем эффективнее очистка. Как правило, очищающая жидкость рециркулируется для экономии воды и уменьшения стока.

Как показали исследования, наибольший эффект для осаждения продуктов сгорания достигается при размере капель диаметром около 0.02мм. Разработаны и производятся серийно форсунки для фильтрующих систем дизельных генераторов и судовых двигателей. Созданные форсунки позволили добиться оптимального смешения раствора и выхлопных газов, а следовательно, хорошего осаждения примесей в фильтрационных системах.

С помощью газоочистителя из отработанного газа могут быть удалены следующие компоненты:

Водорастворяемые вещества будут растворены.

Пыль будет осаждена.

Гидролизируемые вещества будут разложены.

Водяной пар конденсируется.

Результатом мокрой очистки являются дезактивация, удаление ядов, удаление пыли, удаление влаги, конденсация, а также удаление сильно пахнущих веществ - для защиты окружающей среды. В особенности, водяные загрязнения очень хорошо удаляются из газа. Во многих случаях, при адсорбции субстанций из газа промывочная жидкость может быть загрязнена. Растворенные вещества - это обычно кислые или щелочные химикалии, как, например, HCl, угарный газ или аммиак NH_3. С помощью интегрированного в очиститель нейтрализатора, возможно поддержание нейтральных pH-величин и таким образом, удаление ядов. Кроме того, низкокислая промывочная жидкость для щелочных газокомпонентов еффективнее, и низкощелочная промывочная жидкость действеннее для кислых газокомпонентов.

Финский линейный оператор Finnlines в мае 2014 подписал контракт с Wartsila на поставку и установку систем очистки выхлопных газов для шести своих судов, плавающих в Балтийском и Северном морях.

Переоборудование судов осуществляется в связи со вступлением в силу строгих экологических норм по содержанию выбросов оксида серы (SOx) с января 2015 года.

(*Для справки: согласно Приложению VI Конвенции MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships), которая принималась под эгидой Международной морской организации (ИМО), с 2015 года в регионах особого контроля выбросов серы (SECA), к которым относятся Балтийское и Северное моря, планируется ограничить максимальный уровень ее содержания в судовом топливе до 0,1 процента. Международная морская организация (ИМО), куда входят 169 государств-членов, отвечает за повышение надежности и безопасности судоходства в области международной торговли и за предотвращение загрязнения моря с судов.)*

Выбор скрубберных систем от Wartsila позволит судам Finnlines по-прежнему работать на мазуте и при этом соответствовать новым экологическим требованиям. Очистные системы Wartsila будут также соответствовать новым нормам по водоочистке.

На каждом из шести судов будет установлено по одному комплекту интегрированной системы очистки, соединенной с двумя главными двигателями. Очистное оборудование будет поставлено в ноябре и декабре этого года. Кроме того, Wartsila будет оказывать техническую поддержку Finnlines на этапе монтажа систем.

Finnlines выбрала скрубберные системы Wartsila незамкнутого цикла (OLSS), которые используют морскую воду для удаления серы из выхлопных газов. При такой системе не требуется использование химических веществ, поскольку природная щелочность морской воды нейтрализует кислоту, возникающую при реакции оксидов серы с водой.

Wartsila является крупнейшим поставщиком на рынке скрубберных систем для судоходной индустрии. В портфеле заказов компании 100 ед. скрубберов для 51 судна, уже установленных или ожидающих поставки. Финская корпорация является первым производителем, чья система очистки выхлопных газов получила сертификацию ИМО от классификационных обществ Det Norske Veritas, Germanischer Lloyd и Bureau Veritas.

Новые круизные суда будут иметь дизель-генераторы 9L32/44CR и 12V32/44CR, обеспечивающие суммарную выходную мощность 23 520 кВт. На двигателях будет установлена система впрыска MAN Diesel & Turbo с общим нагнетательным трубопроводом, позволяющая работать как на тяжелых, так и на дистиллятных видах топлива. Использование системы Альфа Лаваль PureSOx, предназначенной для очистки выхлопных газов от оксидов серы, обеспечит судам соответствие нормативам по выбросам серы при работе на тяжелых видах топлива (HFO). Система PureSOx позволяет удалить более 98% содержащихся в выхлопных газах оксидов серы.Fincantieri и Viking

Ocean Cruises решили установить систему PureSOx с замкнутым рабочим циклом, в которой используется раствор пресной воды с каустической содой в качестве реагента-восстановителя.

УДК 621.165-226.1(043)

Гарагуля Б.А.
Одесская национальная морская академия

Профилирование рабочих лопаток газовых турбин

Мировой опыт эксплуатации транспортных судов с ГТУ показал, что эти установки более эффективны по сравнению с дизельными и паротурбинными на быстроходных (со скоростью хода более 20-25 уз) и крупнотоннажных (водоизмещением более 35-40 тыс. тонн) судах [1].

Перспективность ГТУ как судового двигателя в значительной степени определяется возможностью достигнуть высокой экономичности при дальнейшем совершенствовании проточной части турбин и компрессоров, особенно в связи с созданием жаростойких материалов. При температуре 900—950° С экономичность ГТУ будет выше, чем большинства построенных ПТУ, а при температуре 1200° С она может превосходить экономичность ДВС.

Одной из возможностей повышения эффективности ГТУ является совершенствование элементов проточной части турбины низкого давления (ТНД). Последняя ступень ТНД является одним из наиболее сложных и ответственных элементов турбины, существенно влияющим на ее надежность, экономичность и, по сути, характеризует технический уровень турбиностроения.

Рабочие лопатки при вращении, кроме центробежных и изгибающих усилий, испытывают действие периодических сил, вызывающих колебания лопаток. При наличии резонанса возможна поломка лопаток, ведущая к одной из наиболее серьезных аварий турбин. Для того, чтобы избежать резонансных колебаний, рабочие лопатки связывают бандажной лентой (первые ступени ТНД) или связной проволокой в пакеты по 6–12 лопаток (последние ступени ТНД, рис. 1).

Отверстие под связную проволоку уменьшает эффективную площадь поперечного сечения лопатки, поэтому для компенсации потерянной площади необходимо выполнять местное утолщение в виде усиливающего пояса.

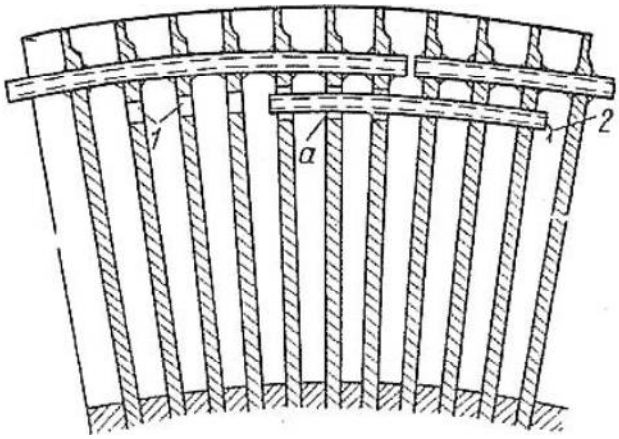


Рис. 1. Крепление рабочих лопаток в пакеты связной проволокой

Поперечное сечение лопатки в зоне, где обычно устанавливаются связи, представляет собой слабо прочную пластину с незначительно меняющейся толщиной вдоль образующей профиля.

Основной положительный эффект компенсации утраченной площади через отверстия дает доля площади усиливающего пасха непосредственно в зоне отверстия. Это обстоятельство и привело к стремлению сосредоточить как можно большую массу пояса ближе к области отверстия.

Геометрия профиля в зоне проволочного отверстия должна определяться при выполнении следующего условия: масса усиливающего пояса должна быть сосредоточена в зоне, близкой к отверстию, и, таким образом, в максимальной степени компенсировать ослабление сечения.

С точки зрения улучшения газодинамики данной зоны рабочей лопатки были рассмотрены два варианта профиля с утолщением [3, 4]. На рис. 2. представлены два варианта профилей, а на рис. 3. приведены зависимости относительных расчетных коэффициентов профильных потерь $\overline{\zeta}_{пр} = \zeta_{пр2} / \zeta_{пр1}$ (для исходного профиля – кривая 2 и для нового — $\zeta_{пр1}$ от числа Маха M_{w2t}, определенного при относительной теоретической скорости за решеткой $M_{w2t} = c_{2t} / a$ (где a – скорость звука) при шаге решетки 84,2 мм. Такой шаг решетки имеет место на расстоянии от корня 0,64 длины лопатки. Это расстояние соответствует нижнему значению диапазона возможного размещения проволочной связи, диктуемого условиями виброустойчивости. Именно на этом расстояния у рабочей лопатки последней степени расположена проволочная связь в судовых турбинных двигателях типа UGT-2500 мощностью 18600 кВт, а расчетное значение M_{w2t} достигает в указанных турбинах величины 1,0–1,1. Поэтому новый профиль и был спроектирован на трансзвуковой режим.

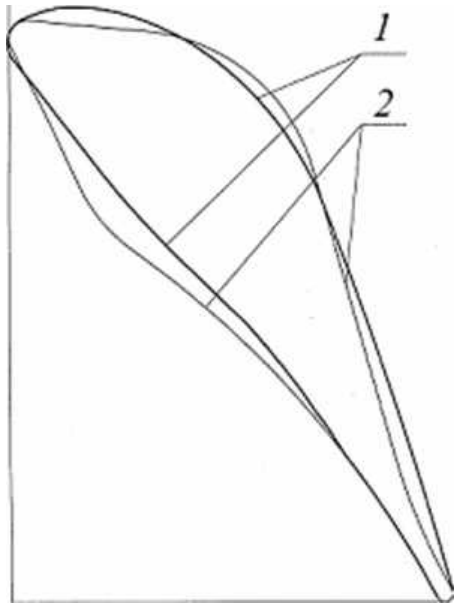


Рис. 2. Форма профилей рабочей лопатки для зоны с проволочным отверстием

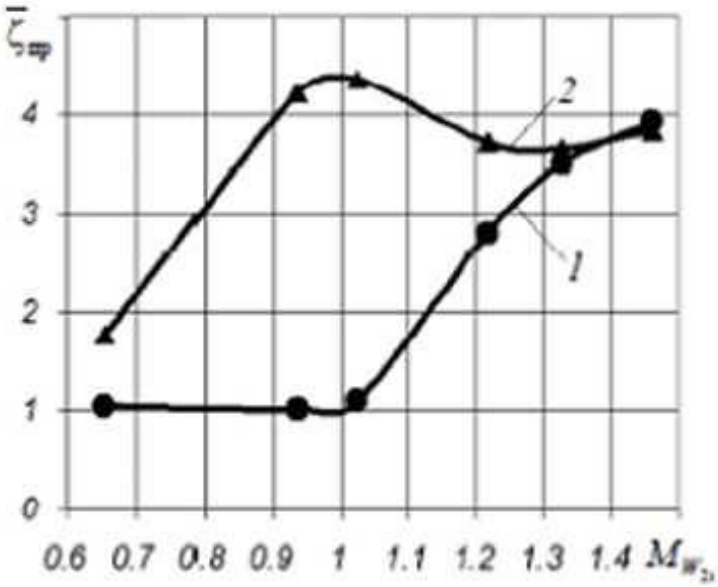


Рис. 3. Зависимость относительного коэффициента профильных потерь от M_{w2t}

Результаты исследования решетки обычных профилей (V) и двояковыпуклых различной модификации (I–IV, рис. 4) приведены на рис. 5 [5].

Важным достоинством двояковыпуклого профиля является перемещение максимума изгибающих напряжений с входной кромки, где по многим причинам приходится ожидать концентрацию напряжений, на вершину выступа на стороне давления. Утолщенная входная часть двояковыпуклого профиля устойчиво обтекается при переменном угле входа. Например, для решетки профилей 1 изменение коэффициента потерь энергии в диапазоне чисел Маха при изменении угла атаки от + 20 ° до -10 ° С не превышает $\Delta\zeta_{пр} = 1{,}5\%$.

В опытах исследовалась серия из пяти решеток профилей с одинаковым относительным шагом, эффективным углом выхода, одинаковым скелетным углом входа, одинаковой формой стороны разрежения (с большой разницей на входной области в решеток обычного типа V) и неизменным исходным участком на стороне давления.

По своим характеристикам выбрана решетка типична для зоны $\bar{l} = 0{,}6 \div 0{,}75$ предельных лопаток быстроходных турбин.

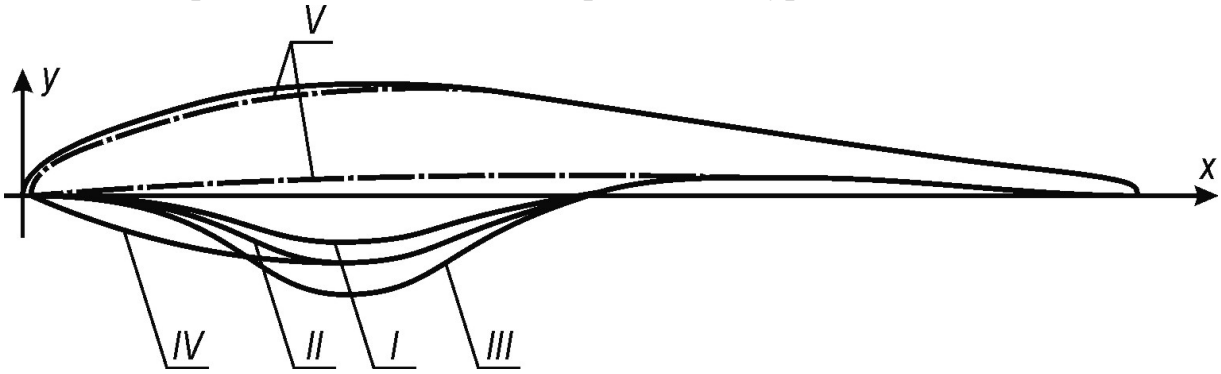


Рис. 4. Исследованные виды профилей.

I, II, III - двояковыпуклые профили: I -; II - 0,16; III - 0,19;
IV - каплевидный профиль,; V - обычный профиль.

Как видно из рис. 5, профили отличались только формой стороны давления: обычной - вогнутой (профиль V); вогнутой с выступом переменной величины $\Delta y_{\text{макс}}/b = 0{,}14$; 0,16; 0,19 (двояковыпуклые профили I-III); каплевидной - профиль IV с $\Delta y_{\text{макс}}/b = 0{,}16$. Исследования проводились на воздушной и паровой аэродинамических трубах в диапазоне чисел $M_{2\text{т}} = 0{,}4 \div 1{,}35$ при числах $\text{Re} = 0{,}7 \div 2{,}1 \cdot 10^6$.

На рис. 5 приведены зависимости коэффициента профильных потерь и угла выхода $\beta_{2\text{п}}$ от числа Маха $M_{2\text{т}}$ всех пяти решеток. Сравнение этих данных показывает, что только решетка V (исходный профиль) характеризовалась повышенным потерями энергии. Для остальных решеток в диапазоне $M_{2\text{т}} = 0{,}5 \div 1{,}35$ коэффициент профильных потерь составляет $\zeta_{\text{пр}} = 3 \div 4\%$.

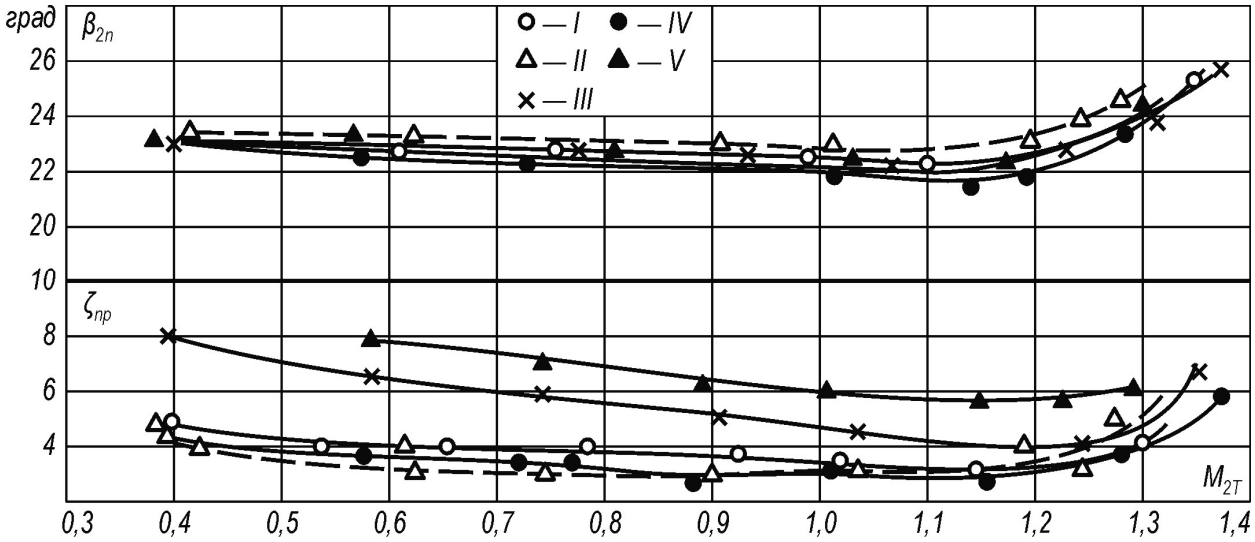


Рис. 5. Зависимости профильных потерь энергии $\zeta_{\text{пр}}$ и угла выхода потока $\beta_{2\text{п}}$ от числа Маха $M_{2\text{Т}}$.

Сравнение двух вариантов лопатки, из которых первый был обычного типа, а второй имел в верхней половине двояковыпуклые профили, показало, что повышение КПД степени за счет улучшения обтекания входной части лопатки с двояковыпуклыми профилями составляет более 3%.

При разработке конструкции рабочей лопатки последней ступени применено аэродинамически эффективное профилирование зоны установки связной проволоки (усиливающего пояса), что позволило снизить уровень профильных потерь энергии по сравнению с исходным профилем более, чем в 4 раза.

Изгибающие напряжения от паровых усилий в двояковыпуклые профили уменьшились: например, в сечении $\overline{l} = 0{,}65$ от корня на входной кромке на 42% по сравнению с напряжениями в обычном варианте.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маслов В.В. Энергетические установки судов будущего // «Судостроение», №3, 2008 г., с. 19–25.
2. Зайцев В. И. и др. Судовые паровые и газовые турбины. - Транспорт, 1981.-312 с.
3. Сухінін В. П. Концентрація напружень в зоні бандажних отворів лопаток парових турбін / В. П. Сухінін , Р. М. Меллеровіч , Р. М. Герман / / «Пробл. міцності». - 1990 . - No 8 . - С. 34-37 .
4. Субботовіч В. П. Розрахунок двомірного течії в міжлопатковому каналах соплових і робочих решіток турбін / В. П. Субботовіч , А. Ю. Юдін / / Там же. - 2006 . - No 5 . - С. 43-46 .
5. Исследование турбинных решеток с двояковыпуклыми профилями. Трояновский Б.М., Майорский Е.В., Гарагуля Б.А. // «Теплоэнергетика», №10, 1981, с. 75-78.

УДК 621.165-216.1(041)

К.т.н. Анфіногентов В.В., Анфіногентов В.В.
Одесская национальная морская академия

Визначення кількості нафти, що потрапляє в морське середовище з суден

Щорічно більше 8000 танкерів перевозять морськими шляхами близько 2600 млн. т нафти й нафтопродуктів наносячи при цьому екологічний збиток навколишньому природному середовищу, головним чином за рахунок забруднення світового океану нафтою. Зазначене негативно позначається не тільки на флорі й фауні, але й на людях. Близько 500 млн. чоловік щорічно в тім або іншому ступені страждають від хвороб, викликаних забрудненням акваторій. Стійкі нафтові плівки, що покривають поверхню морів й океанів порушують обмін теплом, вологою й газами між гідросферою й атмосферою і, таким чином, негативно впливають на фізико-хімічний склад нижньої атмосфери Землі.

До особливостей процесу морського транспортування нафти слід віднести різні аварійні події з танкерами , які призводять до того , що в море може потрапити за рік до 300 тис.т. нафти, що становить 6,0-10 % всіх нафтових забруднень , що потрапляють у світовий океан [1,2].

У сформованій практиці обліку великих нафтових розливів прийнято фіксувати розливи об'ємом 5000 барелів (приблизно 700 т) і більше. Розподіл таких інцидентів по роках для нафтоналивних суден здійснює Міжнародна асоціація незалежних власників танкерів. Таким чином, для цього джерела забруднення моря нафтою існує достовірна база даних.

Дані літературних джерел про кількісну оцінку забруднення морської середи нафтою в результаті судноплавства взагалі і зокрема технологічних

операцій танкерів (скидання нафтовмістної миючої і баластної води) досить застарілі і суперечливі. По даним Академії наук США (1973 р.) і ІМО (1981 р.), наведеним в [2], кількість нафти в зазначених скидах оцінюється, відповідно, в 1080 тис. т й 709 тис. т. Така різниця в оцінках в 1,5 рази може бути пов'язана з тим, що до 1973 р. на танкерному флоті баласт приймався виключно в забруднені нафтою вантажні танки після вивантаження судна.В подальші роки згідно з вимогами конвенції МАРПОЛ 73/78 почалось виділення на існуючих суднах танків чистого та ізольованого баласту з числа вантажних танків,а далі, починаючи з 1996 р., заміна цих суден новими суднами з танками ізольованого баласту. Сьогодні світовий танкерний флот складається з двокорпусних суден, обладнаних танками ізольованого баласту. На таких суднах утворення нафтовмістного баласту неможливо, крім того для двокорпусних суден характерно значне зменшення кількості нафтозалишків після вивантаження і як результат цього – зниження нафтовмісту миючої води.

Що стосується суднових льяльних вод, то дані про їх внесок в забруднення моря нафтою також є застарілими. З тих пір значно змінилися конструкції ущільнень дейдвуда, сальників насосів, інших вузлів і механізмів, що дозволило істотно понизити витоки води , нафтопродуктів і в результаті зменшити добове накопичення льяльних вод.

Таким чином, на цей час відсутні достовірні дані про кількість нафти,що потрапляє в море із зазначених експлуатаційних джерел забруднення світового океану. Це свідчить про необхідність їх уточнення з метою виявлення найбільш потужних джерел і визначення заходів по зменшенню скидів з ними нафти в море. Робота в цьому напрямку базується на наступних вихідних даних.

В теперішній час в світовому океані плавають судна більше 150 країн, їх чисельність у 2012 р. склала 48197 одиниць, сумарний дедвейт 1462 млн. тонн, а середній вік – 16,7 років. З них 8200 суден є танкерами з загальним дедвейтом 420млн. тонн. Таким чином, середній дедвейт танкерів складає 51200 тонн, а суден інших типів – близько 30000 тонн.

Середньодобове накопичення льяльних вод в залежності від типу, віку і водотоннажності судна визначалось згідно з методичними вказівками, розробленими на основі сучасних досліджень і наведеними в [3]. Так, для середньостатистичного судна, що не є танкером, дедвейтом 30000 т слід орієнтуватися на середньодобове накопичення нафтовмістних льяльних вод в обсязі 2,7 м^3, тоді для мирового флоту таких суден обсяг накопичення цих вод складе біля 39,4 млн. м^3 на рік. Добове накопичення нафтовмістних льяльних вод для танкера дедвейтом 51200 т. складає 4,7 м^3, а річний обсяг накопичення для всіх танкерів – 14,1 млн. м^3.

Таким чином, загальний обсяг скиду з суден мирового флоту всіх типів попередньо очищених нафтовмістних льяльних вод складає 53,5 млн. м^3.

Враховуючи, що сучасне суднове сепараційне обладнання має забезпечувати очистку цих вод до норми не більше 15 млн$^{-1}$, слід очікувати, що в море

разом з очищеними льяльними водами потрапляє щорічно біля 800 тонн нафтопродуктів(з танкерів -211т., з суден інших типів – 591т.).

При мийці всіх вантажних відсіків танкера обсяг миючої води визначається місткістю відстійних танків, яка згідно з вимогами Конвенції МАРПОЛ повинна бути не менш 3,0% вантажомісткості судна. Кількість води можна зменшити за рахунок часткового заповнення відстійних танків, однак це знизить тривалість динамічного відстою миючої води, що може викликати погіршення якості її очищення від часток нафтопродуктів. Таким чином, загальна місткість відстійних танків суден мирового танкерного флота складає 12,6 млн. $м^3$.

Згідно з очисною здатністю метода гравітаційного розділення нафтоводяних сумішей, середній нафтовміст скидаємой за борт миючої води після відстою приймається рівним 100 $млн^{-1}$. Виходячи з цього, а також з припущення, що на кожному танкері мийка всіх вантажних відсіків здійснюється як мінімум один раз на рік, можна прогнозувати,що в море разом з миючою водою щорічно потрапляє біля 1260 т. нафти (рис. 1).

Аналіз вищенаведеного призводить до таких висновків:

1.Танкери є основними забруднювачами моря нафтою. Експлуатаційні скиди нафти з них складають 71% від сумарних експлуатаційних скидів нафти суднами всього мирового флота.

2.Скид нафти з миючою водою танкерів є найбільш вагомим експлуатаційним джерелом забруднення , на його долю приходиться 61% від загальної кількості нафти, що скидається в море. Скиди нафти в море з очищеною льяльною водою всіх суден мирового флота складають 39%.

3. Зменшення нафтовмісту скидаємої в море миючої води є найбільш дієвим заходом, спрямованим на зниження рівня забруднення морського середовища нафтою з танкерів.

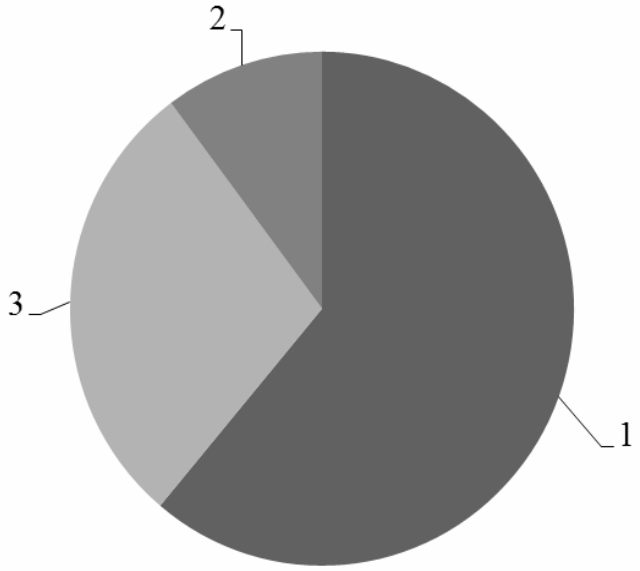


Рис. 1. Кількість нафти, що щорічно скидається в море з суден, т.
1 - з очищеною миючою водою танкерів –1260 т;
2 - з очищеною льяльною водою танкерів –211т ;
3 - з очищеною льяльною водою інших суден – 591 т.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пшенин В. Аварийные потери нефти / Пшенин В. // Морской флот.– 1966. – №1. – С. 11-12.
2. Нунупаров С.М. Предотвращение загрязнения моря судами /Нунупаров С.М. – М.: Транспорт, 1979. – 336 с.
3. Истомин В.И. Комплексная очистка судовых нефтесодержащих вод / Истомин В.И. – Изд. Сев. НТУ, 2004. – 201 с.

УДК 629.12.06

Караняга Д.Ю, рук. ст. преп. Калюжный В.О.

Влияние параметров надувочного воздуха на работу судового дизеля.

Способы борьбы с NOx

При введении международных норм на выбросы экологически вредных веществ возникла необходимость выбрать достаточно эффективный метод их снижения. Борьбу с выбросами можно вести первичными методами, влияя на рабочие процессы дизелей таким образом, чтобы уменьшить количество веществ, которые образуются в цилиндрах, которые влияют на экологию. Но таким способом мы уменьшаем КПД двигателя, потому что происходит негативное влияние на процесс сгорания топлива. Также эти способы уменьшения эмиссии NOx дороги и экономически не выгодны, потому что изменение конструкции двигателя приводит к снижению эффективности двигателя.

Вторичные методы направлены на удаление вредных выбросов из выпускных газов и осуществляются вне цилиндра двигателя.

Рассматриваемые технические мероприятия, которые относятся к первичным методам, можно подразделить на следующие основные группы:

изменение параметров наддувочного воздуха и коэффициента избытка воздуха;

уменьшение температуры наддувочного воздуха с одновременным увеличением давления наддувочного воздуха и коэффициента избытка воздуха приводит к снижению выбросов NOx;

уменьшение давления надувочного воздуха с одновременным снижением температуры сгорания приводит к снижению выбросов NOx;

Следует отметить, что перечисленные способы снижения эмиссии NOx приводят к некоторому ухудшению экономических характеристик двигателя, потому что происходит снижение термического КПД цикла. Применяемые способы позволяют в значительной мере снизить содержание в выпускных газах экологически опасных веществ. Однако, какое-то их количество образуется и выбрасывается вместе с газами в окружающую среду. Это, в первую очередь, окислы азота NOx, серистый и серный ангидрид SO_2 и SO_3 и твердые агломераты неполного сгорания топлива и масла в виде сажи.

Таким образом повышение экологических показателей роботы судовых дизелей совершенствованием организации процессов сгорания. Решение этой проблемы может осуществляться в нескольких направлениях. Одним из такими направлений может быть: измененииение параметров надувочного воздуха.

Снижение максимальной температуры сгорания топлива Tz

Одним из вариантов снижения максимальной температуры цикла сгорания топлива в дизеле рассматриваетса снижение температуры воздушного заряда, который поступает в цилиндр. Экспериментально доказано, что низкая температура воздуха в цилиндре в начале и конце сжатия обусловливает увеличение периода задержки воспаления топлива и, как следствие, рост максимального давления цикла pz и снижения температуры газов, которые отходят.

Негативные температуры воздуха в ресивере влекут, в связи с увеличением плотности воздуха, рост подачи турбокомпрессоров (Gк и давлению наддува Рк). С одной стороны, это благоприятно отражается на массе свежего заряда воздуха в цилиндрах и соответствующем увеличении индикаторного КПД рабочего цикла. В итоге увеличивается среднее эффективное давление Ре и уменьшается удельная затрата топлива ge.

С другой стороны, низкие температуры воздуха в цилиндре в начале и концы сжимания обусловливают увеличение периода задержки воспаления топлива и, как следствие, существенный рост максимального давления цикла pz. Это при этом, в современных двигателях pz = 15 ÷ 18 МПа может оказаться достаточно опасным для прочности дизеля и работоспособности его подшипников. Фирма "Вяртсиля" прибегает к больше экономического решения - при избыточном повышении давления к удалению части воздуха из ресивера. Подача холодного воздуха в цилиндр позволит применять этот способ в соединении с рециркуляцией части газов, которые отработали, в цилиндр компрессора

Повышение максимальной температуры сгорания Tz увеличивает диссоциацию CO_2 и H_2O с образованиям CO и H_2, в результате чего увеличивается ge. Поэтому желательно уменьшение Tz при том же ge. В дизелях из ТК применения охлаждения наддувочного воздуха уменьшает Tz, что приводит к увеличению соотношений CO_2/CO и H_2O/H_2, а в результате — к снижению ge. При этом уменьшается также количество NOx в ОГ.

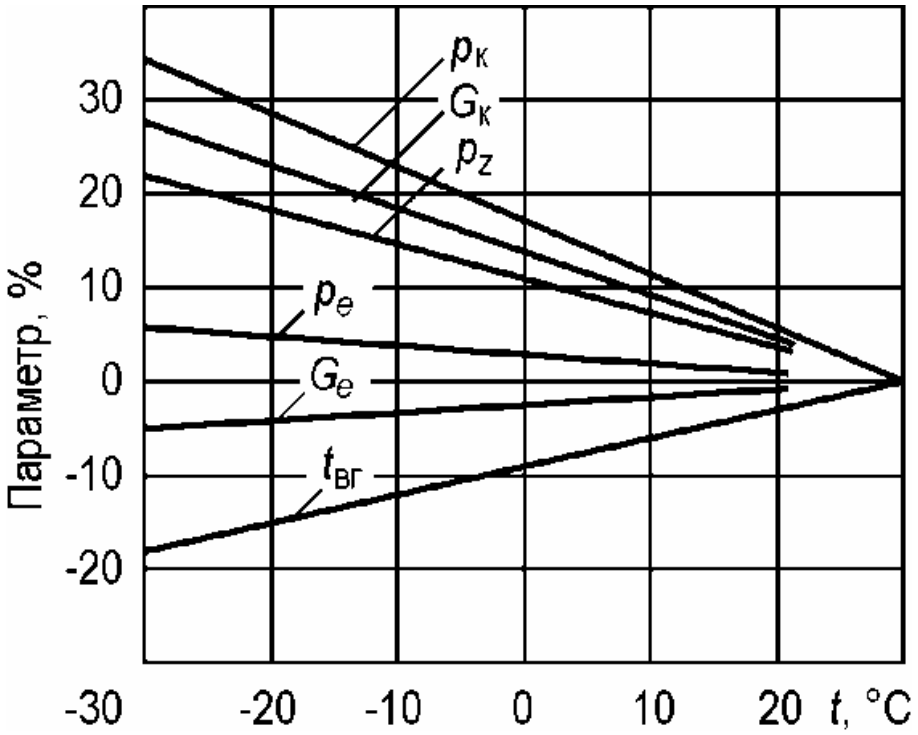


Рис. 1 - Зависимость параметров дизеля от температуры внешнего воздуха при его заборе на ГТК из палубы

УДК.621.57

Ярошенко В.М., Подмазко А.С.
Одесская национальная морская академия

Об эффективности использования рекуперативных процессов в холодильных циклах.

Одним из методов повышения эксплуатационной надежности судовых холодильных установок является применение рекуперативных теплообменников (РТО) , которые обеспечивается внутрицикловой теплообмен между жидким холодильным агентом высокого давления и паром или парожидкостной смесью низкого давления. Это, прежде всего относится к холодильным установкам небольшой производительности, рабочими телами которых являются преимущественно фреоны.

Как известно, применение РТО имеет место в небольших холодильних установках, в которых отсутствует дополнительное оборудование, используемое для разделения и перегрева паров холодильного агента (отделители жидкости, сепараторы, переохладители, промежуточные сосуды и др.). Кроме того эксплуатационная целесообразность РТО снижается в холодильных машинах с герметичными и безсальниковыми компрессорами, в которых перегрев пара обуславливается теплотой электродвигателя.

Практическая реализация рекуперативных процессов прежде всего обеспечивает так называемый «сухой ход» компрессора вследствие перегрева паров холодильного агента на всасывании и соответствующее до испарение жидкого холодильного агента, который аккумулируется в каплях масла.

Кроме того, дополнительное переохлаждение холодильного агента высокого давления в РТО перед адиабатическим дросселированием способствует более эффективному заполнению испарительной системы жидким холодильным агентом низького давления, за счет уменьшения количества баластного пара в процессе дросселирования. Это обуславливает также повышение удельной холодопроизводительности цикла.

Если с эксплуатационной точки зрения использование РТО в некоторых случаях является безспорным, то с точки зрения энергетической эффективности это далеко не так. Для некоторых холодильних агентов (например, аммиак) перегрев пара на всасывании существенно повышает работу сжатия, а следовательно снижает холодильный коефициент цикла [1].

Для большинства других холодильних агентов влияние рекуперативних процессов на холодильный коэффициент не является однозначным. В зависимости от термодинамических параметров холодильного цикла и свойств холодильного агента, рекуперативне процессы могут способствовать, как повышению так и снижению холодильного коэффициента.

Однако, с увеличением перегрева паров перед компрессором , возрастает температура конца сжатия хладагента, что обусловливает рост работы цикла, а иногда лимитирует надежную эксплуатацию компрессора и холодильной установки в целом. Рост температуры конца сжатия может обусловливаться

повышением температуры внешней среды и, как следствие, температуры конденсации, повышенным перегревом пара при всасывании хладагента или при ухудшении технического состояния компрессорного оборудования и попадания в циркуляционный контур хладагента воздуха и других примесей.

При этом резко снижаются энергетические характеристики машины и эксплуатационные характеристики масел, что может обусловливать аварийную остановку. Температуры конца сжатия для большинства холодильных агентов является ограниченными, например, для аммиака максимальная температура равняется 150 °С, для фреона 22 - 150 °С. Особенно это имеет отношение к холодильных систем, эксплуатируемых в тропических условиях, а также судовых холодильных установок, внешние условия эксплуатация которых зависят от районов плавания.

Ведущими фирмами, выпускаемыми холодильное оборудование, предлагаются разные варианты реализации эксплуатационной надежности и устойчивости холодильных машин в экстремальных условиях работы[3].

Одним из вариантов снижения температуры конца сжатия может рассматриваться так называемый цикл Джимбальвио [2] с впрыском жидкого хладагента высокого давления. В такой схеме процесс сжатия хладагента сопровождается внутренним охлаждением, что обусловливает реализацию не адиабатного процесса сжатия хладагента. Процесс сжатия можно рассматривать по аналогии с политропным процесом.

С развитием компрессостроения и созданием спиральных компрессоров

фирмой Copeland предложена уникальная возможность практической реализации холодильного цикла, в котором одновременно применяется

принцип рекуперативного теплообмена и впрыск холодильного агента в компрессор. Схема установки и соответствующий холодильный цикл показаны на рис. 1 и 2.

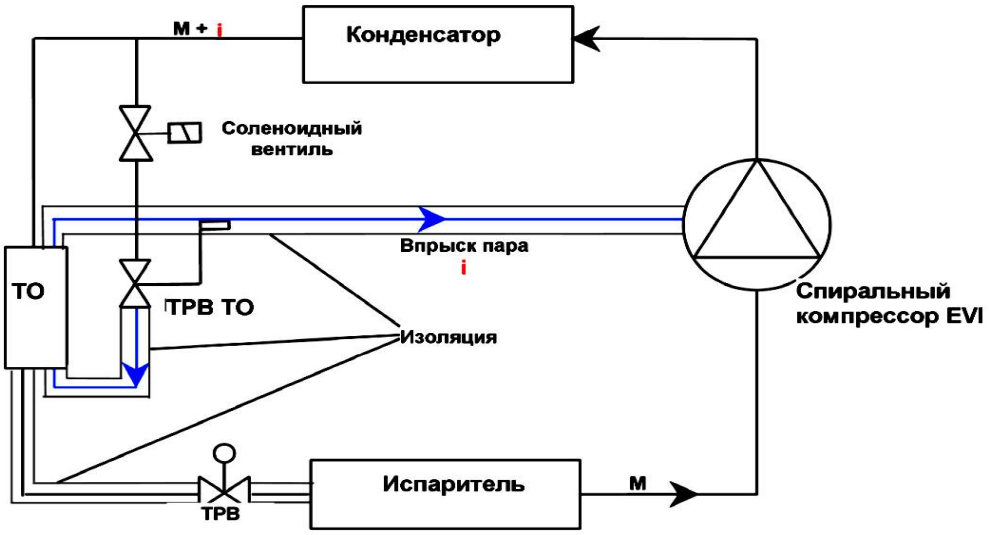


Рис.1.- Принципиальная схема холодильной машины с РТО

На рис. 1 показана схема холодильной установки с рекуперативным теплообменником (РТО, который иногда его называют экономайзером).

Спиральный компрессор комплектуется специальным патрубком впрыска пара, который подключается к РТО, что позволяет утилизировать теплоту, отводимую от жидкого холодильного агента при его переохлаждении, для снижения температуры нагнетания и экономии работы сжатия.

РТО предназначен для дополнительного переохлаждения хладагента перед его поступлением в испаритель, что , в итоге, обеспечивает прирост холодопроизводительности всей системы и увеличивает степень заполнения испарителя жидкостью. Часть хладагента, поступившая после адиабатического дросселирования в теплообменник, испаряется и впрыскивается в компрессор при промежуточном давлении,что обеспечивает охлаждение сжимаемых в компрессоре паров хладагента, снижая в итоге температуру нагнетания. Схема обеспечивает рост холодопроизводительности системы и ее эффективность. Эти характеристики будут расти с увеличением степени сжатия.

На рис.2. в диаграмме lgP - h показан условный цикл холодильной машины с РТО, что позволяет его рассматривать как цикл двохступенчатого сжатия с промежуточным охлаждениям. Это обстоятельство свидетельствует о том, что удельная работа сжатия несколько снижается по отношению к одноступенчатому сжатию. Условные обозначения приведены в таблице.

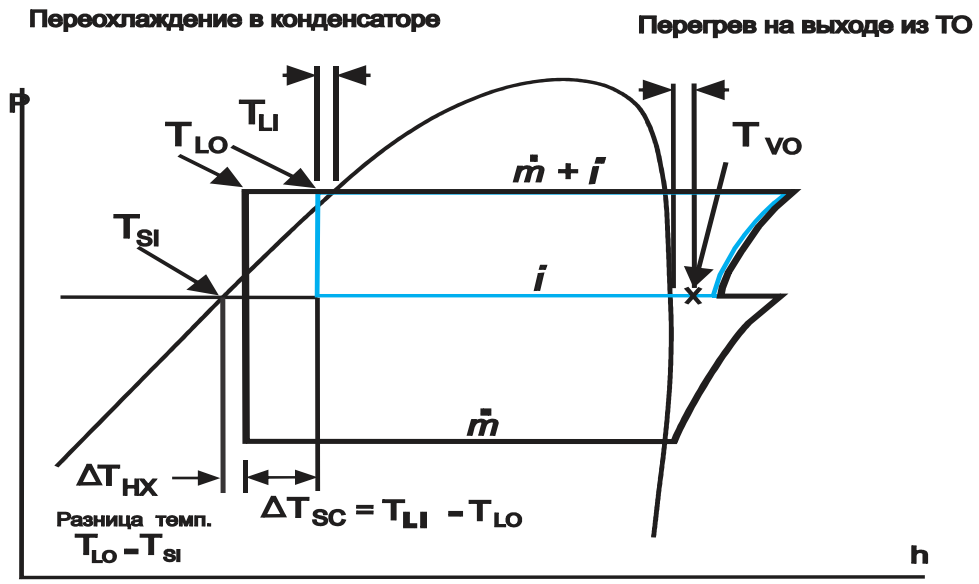


Рис. 2.- Цикл холодильной машины с РТО

Удлинение изобары кипения в испарителе обеспечивает рост разницы энтальпий, что, в свою очередь, приводит к повышению холодопроизводительности системы в целом и снижает количество баластного пара, поступающего в испаритель после дросселирования. Несмотря на то, что впрыск пара увеличивает мощность, потребляемую компрессором, эффективность цикла растет, поскольку рост холодопроизводительности за счет переохлаждения превышает рост потребляемой мощности.

Для оптимальной работы РТО рекомендуется производить отбор жидкого хладагента из основного потока жидкости после конденсатора и до теплообменника. ТРВ регулирует количество жидкости, предварительно переохлажденной в конденсаторе, подаваемой в теплообменник для парообразования. Минимальное переохлаждение жидкого хладагента в конденсаторе необходимо для устойчивой работы ТРВ, поскольку гарантирует отсутствие пара на входе в ТРВ, который может вызвать нестабильную работу вентиля.

В качестве РТО, как правило, выбирается пластинчатый теплообменник, оптимальный эффект переохлаждения в котором обеспечивается при противоточном направлении потоков .

Для того, чтобы гарантировать оптимальную теплопередачу, теплообменник следует располагать вертикально и выход пара должен находиться в верхней части теплообменника.

Ключевым параметром, определяющим типоразмер теплообменника, является температура насыщенной жидкости при промежуточном давлении (T_{si}). Её числовое значение для каждого компрессора индивидуально и , как правило, определяется по общепризнанным методикам расчета промежуточного давления в двухступенчатых циклах.

Таблица- Условные обозначения параметров цикла

Символ	Наименование
T_C	Температура конденсации
T_{LI}	Температура жидкости на входе в ТО
T_{LO}	Температура переохлажденной жидкости на выходе из ТО
P_I	Промежуточное давление
T_{SI}	Температура насыщенной жидкости на пограничной кривой при промежуточном давлении
T_{VO}	Темпеоатура перегретого пара на выходе из ТО
T_{VI}	Темпеоатура паоа (жидкости на парообразование) на входе в ТО
M	Массовый расход через испаритель
I	Массовый расход пара на впрыск в компрессор
ΔT_{HX}	Разница температур жидкости на выходе из ТО и насыщенной жидкости на пограничной кривой при промежуточном давлении
ΔT_{SC}	Переохлаждение жидкости в ТО

После определения промежуточного давления (температуры T_{si}) задаются переохлаждением жидкого хладагента в конденсаторе (примерно 5К), недорекуперацией в теплообменнике (примерно 5К) или разницей между температурой жидкого хладагента на выходе из ТО и температурой T_{si} и перегревом пара на выходе из ТО (примерно 5К). Приведенные рабочие параметры системы являются оптимальными для нее и, в то же время, обеспечивают её надежность и функциональность. Зная эти значения, можно определить производительность (кВт) необходимого теплообменника и, соответственно, его типоразмер. Типоразмер теплообменника следует подбирать для конкретных условий эксплуатации с учетом необходимого запаса, обеспечивающего покрытие полного рабочего диапазона системы

Холодильные установки большой мощности, как правило, комплектуются компрессорами в составе компрессорных станций. Схема компрессорной станции показана на рис.3 и возможна как с индивидуальным теплообменником для каждого компрессора, так и с одним общим теплообменником для всех компрессоров.

В случае применения общего теплообменника, соленоидный вентиль (СВ) следует устанавливать на трубопроводе впрыска пара индивидуально для каждого компрессора.

Особое внимание следует уделять конструкции и работе узла теплообменника и терморегулирующего вентиля (ТРВ) и его работе и при полной и при частичной нагрузке. При частичной нагрузке в общем теплообменнике требуется обеспечить хорошее распределение и скорость движения хладагента для обеспечения возврата масла.

Необходимо учитывать, что соленоидные вентили, трубопроводы впрыска пара и коллектор (коллекторы) должны быть достаточного размера для обеспечения минимальных потерь давления. В то же время, их конструктивное расположение должно быть выполнено таким образом, чтобы предотвратить замасливание коллектора.

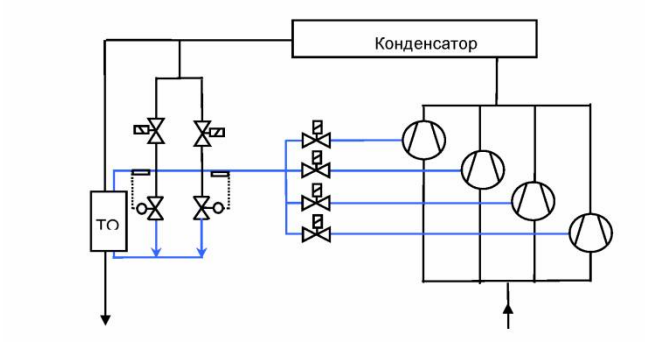


Рис.3 - Схема компрессорной станции РТО с двумя ТРВ различной производительности

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гемелев Ю.А., Мнацаканов Г.К. Энергетическая эффективность теоретических регенеративных циклов компрессионных холодильных машин на современных холодильных агентах. В сб. холодильная техника и технология, вып. 60, 1999, стр. 90 -94.
2. Кошкин Н.Н., Пекарев В.И. Теоретический анализ эффективности цикла при сжатии пара по пограничной кривой. В сб. Исследования по термодинамике. Из-во «Наука», М. 1973.,стр. 187-190.
3. Каталог фирмы DWM COPELAND.www. Copeland.com.

УДК 62-533.6:62-541.2:681

Подмазко А.С., Ярошенко В.М.
Одесская национальная морская академия

Оценка способности воздуха ассимилировать влагу в увлажнительных устройствах СКВ

В процессе эксплуатации судна температура и давление воздуха в помещениях изменяются, он насыщается различными парами, газами, влагой, пылью. Чтобы обеспечить нормальные условия для работы и отдыха судового экипажа и пассажиров, в жилых и служебных помещениях судна необходимо поддерживать постоянным «качественный» состав воздуха.

Подачу свежего воздуха в помещения и удаление из них загрязненного на большинстве судов обеспечивают системы вентиляции. Однако температуру, влажность, чистоту, подвижность и давление воздуха в оптимальных пределах на судах наилучшим образом поддерживают системы кондиционирования воздуха (СКВ).

По назначению СКВ подразделяют на комфортные, регулирующие параметры воздуха в жилых помещениях судна, и технические, регулирующие

параметры воздуха в служебных помещениях и грузовых отсеках. Содержание кислорода в воздушной среде судовых помещений изменяется незначительно и практически не влияет на самочувствие людей.

В зависимости от способов обработки воздуха СКВ бывают централизованные, автономные и комбинированные. Централизованные СКВ обрабатывают воздух в центральной климатической станции, из которой он забирается вентиляторами и распределяется по соответствующим помещениям. В качестве увлажнительных устройств в СКВ используются камеры орошения, регулярные насадки, парогенераторы и т.п. Цель данной работы - оценить, насколько воздух, проходящий через увлажнительное устройство, может воспринять влагу при различных сочетаниях температур и массовых расходов воды и воздуха. Исходя из анализа тепловых и влажностных балансов «воздух – вода» были получены следующие данные, которые представлены на рисунках 1 – 3.

Согласно рисункам 1 – 2, температура воздуха на входе составляла 20 °С (▲), 25 °С (●) и 30 °С (♦).

Для соотношения расходов $G_в$ / C_w, были рассмотрены два варианта:

Вариант №1: C_w = 0,1 кг/с = const; $G_в$ / C_w = 0,5; 1; 2; 4.

Вариант №2: $G_в$ = 0,1 кг/с = const; $G_в$ / C_w = 0,5; 1; 2; 4.

Как видно из рис.2, приращение влагосодержания воздуха, проходящего через увлажнительное устройство существенно зависит от температуры воды (чем выше температура, тем больше приращение); соотношения массовых расходов воздуха и воды (чем меньше соотношение, тем больше приращение) и мало зависит от параметров (температура и влагосодержание) воздуха, поступающего в увлажнительное устройство.

Согласно рисунку 3 влагосодержание воздуха на входе в увлажнительное устройство составляло 0,009 кг/кг (▲) и 0,003 кг/кг (●).

В случае, когда массовый расход воздуха остается постоянным, а изменяется массовый расход воды (вариант № 2), приращение влагосодержения зависит только от температуры воды (рис. 3). Это вполне объяснимо, поскольку во всех случаях ($G_в$ / C_w = 0,5; 1; 2; 4) количества воды достаточно для увлажнения воздуха.

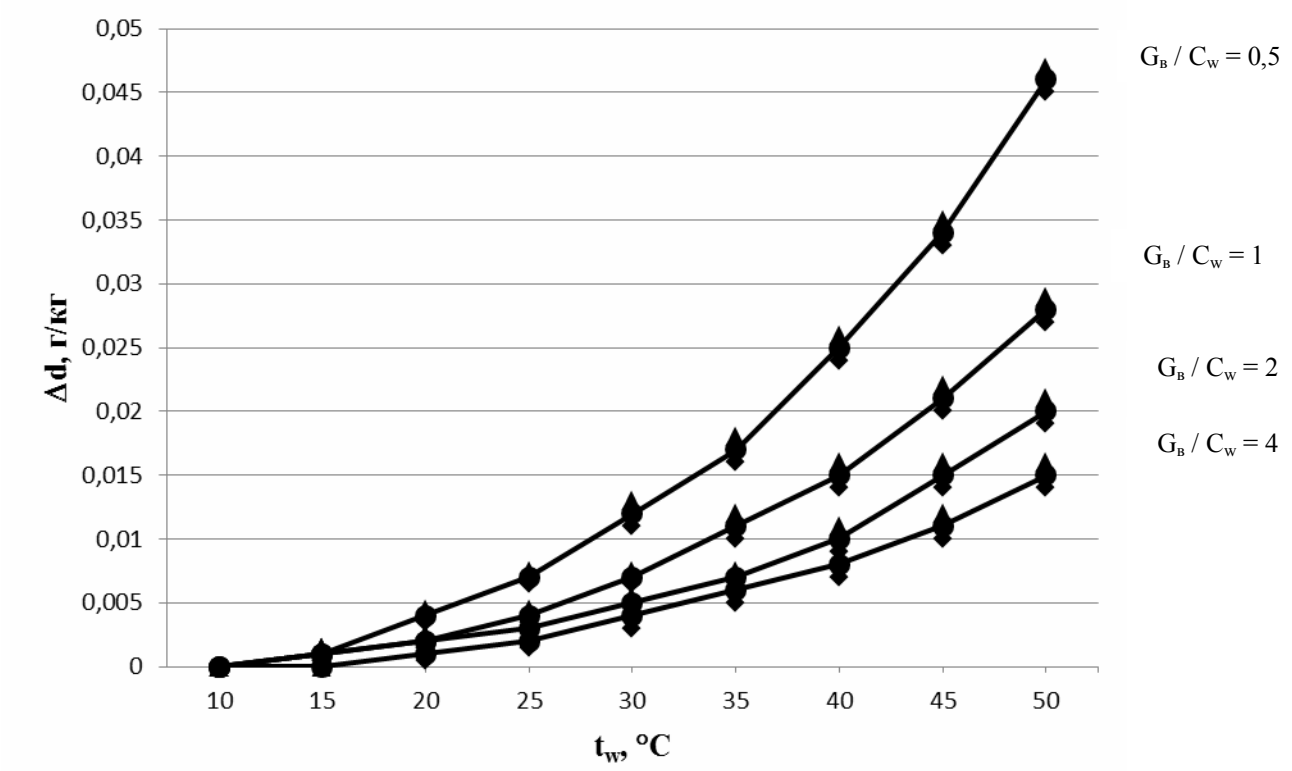


Рис.1 Зависимость приращения влагосодержания воздуха от температуры воды для различных соотношений массовых расходов воздуха и воды $G_в$ / C_w при $d_в$ = 0,003 кг/кг

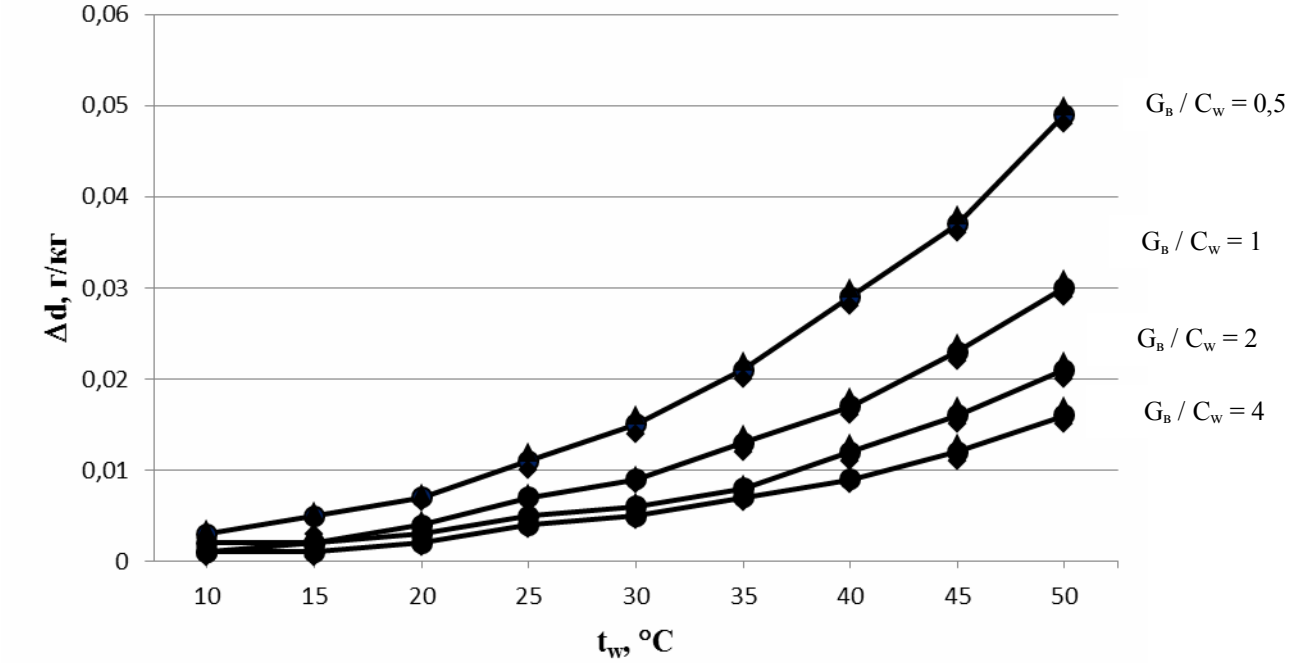


Рис. 2 Зависимость приращения влагосодержания воздуха от температуры воды для различных соотношений массовых расходов воздуха и воды $G_в$ / C_w при $d_в$ = 0,009 кг/кг

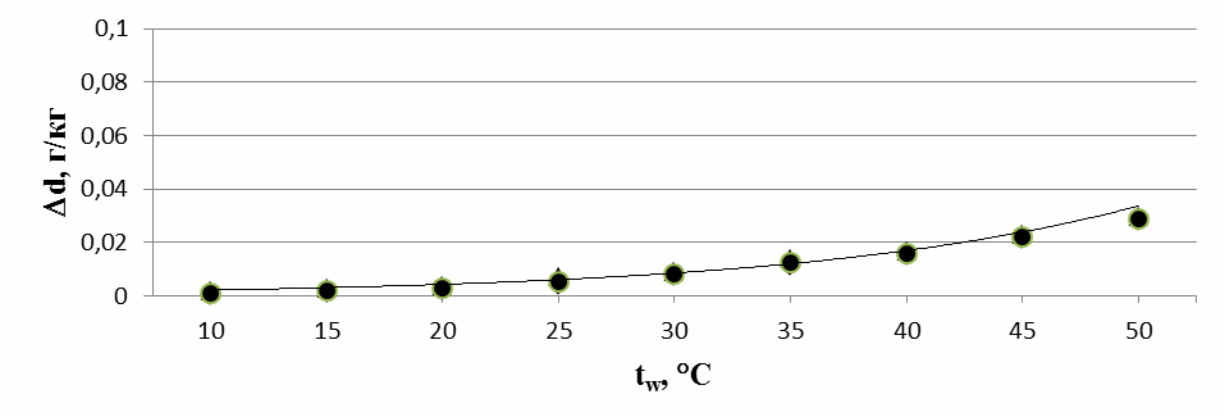


Рис. 3 Зависимость приращения влагосодержания воздуха от температуры воды для различных соотношений массовых расходов воздуха и воды $G_в$ / C_w

Выводы

1. Проведенные исследования позволили установить, насколько повышается влагосодержание воздуха, проходящего через увлажнительное устройство, при варьировании параметров сред: вода-воздух.

2. Возможность воздуха максимально воспринять влагу существенно зависит от соотношения массовых расходов воды и воздуха, температуры воды, и мало зависит от параметров (температура и влагосодержание) входящего воздуха в увлажнительное устройство.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриева Г.Б. Гидродинамика и массообмен в структурированных насадках из гофрированных листов / Г.Б. Дмитриева // – Иваново, 2008. - 225 с.
2. Пеклов А.А. Кондиционирование воздуха / А.А.Пеклов, Т.А. Степанова // - Киев, "ВИЩА ШКОЛА",1978. - 328 с.

УДК 628.165

Колиев И. Д.
Одесская национальная морская академия

Методы опреснения морской воды

Глобальной проблемой человечества в новом тысячелетии становится проблема получения пригодной для питья пресной воды. Дефицит пресной воды остро ощущается на территории более 40 стран, расположенных в засушливых областях земного шара и составляющих около 60% всей поверхности суши. Мировое потребление воды в начале XXI века достигло 120-150·109 м^3 в год. Растущий мировой дефицит пресной воды может быть скомпенсирован опреснением солёных (солесодержание более 10 г/л) и солоноватых (2-10 г/л) океанических, морских и подземных вод, запасы которых составляют 98% всей воды на земном шаре.

Пресная вода является ценной составной частью морской воды. Нехватка пресной воды все больше ощущается в индустриально развитых странах, как США и Япония, где потребность в пресной воде для бытовых нужд, сельского хозяйства и промышленности превышает имеющиеся запасы. В таких странах, как Израиль или Кувейт, где уровень осадков очень низок, запасы пресной воды не соответствуют потребностям в ней, которые возрастают в связи с модернизацией хозяйства и приростом населения. В дальнейшем человечество окажется перед необходимостью рассматривать океаны как альтернативный источник воды.

Россия по ресурсам поверхностных пресных вод занимает первое место в мире. Однако до 80% этих ресурсов приходится на районы Сибири, Севера и Дальнего Востока. Всего около 20% пресноводных источников расположено в центральных и южных областях с самой высокой плотностью населения и высокоразвитыми промышленностью и сельским хозяйством. Некоторые районы Средней Азии (Туркмения, Казахстан), Кавказа, Донбасса, юго-восточной части РФ, обладая крупнейшими минерально-сырьевыми ресурсами, не имеют источников пресной воды. Вместе с тем ряд районов нашей страны располагает большими запасами подземных вод с общей минерализацией от 1 до 35 г/л, не используемых для нужд водоснабжения из-за высокого содержания растворенных в воде солей. Эти воды могут стать источниками водоснабжения только при условии их дальнейшего опреснения.

Важным параметром морской воды при опреснении является солёность, под которой подразумевается масса (в граммах) сухих солей (преимущественно NaCl) в 1 кг морской воды. Средняя солёность вод мирового океана постоянна и составляет 35 г/кг морской воды.

Наряду с NaCl в морской воде содержатся K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Sr^{2+}, Br^-, F^-, H_3BO_3, которые можно получать из морской воды в промышленных масштабах (Таблица). Среди других веществ, содержащихся в морской воде в концентрациях от 1 млн. д. до 0,01 млн. д., встречаются литий (Li), рубидий (Rb), фосфор (P), йод (J), железо (Fe), цинк (Zn) и молибден (Mo). Кроме этих элементов в морской воде обнаружено около 30 других элементов в более низких концентрациях.

Высокая концентрация солей делает морскую воду непригодной для питьевых и хозяйственных целей. Поэтому её необходимо опреснять, т.е. проводить обработку с целью снижения концентрации растворённых солей до 1 г/л. Опреснение воды может осуществляться химическими (химическое осаждение, ионный обмен), физическими (дистилляция, обратный осмос или гиперфильтрация, электродиализ, вымораживание) и биологическими методами с использованием способности некоторых фотосинтезирующих водорослей избирательно поглощать NaCl из морской воды.

За последние годы были также предложены новые альтернативные методы опреснения морской воды за счёт воздействия ультразвуком, акустическими, ударными волнами, электромагнитными полями и др.

Таблица Химические вещества, содержащиеся в морской воде в концентрации выше 0,001 г/кг (1 млн. д.) по весу

Химическое вещество	Содержание, г/кг морской воды	Концентрация, моль/л морской воды
Хлориды Cl^-	19,35	0,55
Натрий Na^+	10,76	0,47
Сульфаты SO_4^{2}-	2,71	0,028
Магний Mg^{2+}	1,29	0,054
Кальций Ca^{2+}	0,412	0,010
Калий K^+	0,40	0,010
Диоксид углерода CO_2	0,106	$2,3 \cdot 10^{-3}$
Бромиды Br	0,067	$8,3 \cdot 10^{-4}$
Борная кислота H_3BO_3	0,027	$4,3 \cdot 10^{-4}$
Стронций Sr^{2+}	0,0079	$9,1 \cdot 10^{-5}$
Фториды F^-	0,001	$7 \cdot 10^{-5}$

Многообразие существующих методов получения пресной воды объясняется тем, что ни один из них не может считаться универсальным, приемлемым для данных конкретных условий. Характеристики методов опреснения, получивших наибольшее практическое применение, приводятся ниже.

Химическое опреснение

При химическом способе опреснения в морскую воду вводят специальные осаждающие реагенты, которые при взаимодействии с растворёнными в ней ионами солей (хлориды, сульфаты), образуют нерастворимые, выпадающие в осадок соединения. Вследствие того, что морская вода содержит большое количество растворенных веществ, расход реагентов весьма значителен и составляет примерно 3—5% количества опресненной воды. К веществам, способным образовывать нерастворимые соединения с ионами натрия (Na^+) и хлора (Cl^-), относятся соли серебра (Ag^+) и бария (Ba^{2+}), которые при обработке солёной воды образуют выпадающие в осадок хлористое серебро (AgCl) и сернокислый барий ($BaSO_4$). Эти реагенты дорогостоящие, реакция осаждения с солями бария протекает медленно, соли бария токсичны. Поэтому химическое осаждение при опреснении воды используется очень редко.

Дистилляция

Дисцилляция воды (перегонка) основана на различии в составе воды и образующегося из нее пара. Процесс осуществляется в специальных дистилляционных установках – опреснителях путем частичного испарения воды и последующей конденсации пара. В процессе дистилляции более летучий компонент (низкокипящий) переходит в паровую фазу в большем количестве, чем менее летучий (высококипящий). Поэтому при конденсации образовавшихся паров в дистиллят переходят низкокипящие, а в кубовый остаток — высококипящие компоненты. Если из исходной смеси отгоняется не одна фракция, а несколько, дистилляция называется фракционной (дробной). В зависимости от условий процесса различают простую и молекулярную дистилляцию.

Дистилляционная опреснительная установка состоит из испарителя 1, снабженного теплообменным устройством для подвода к воде необходимого количества теплоты; нагревательного элемента 2 для частичной конденсации пара, выходящего из испарителя (при фракционной дистилляции); конденсатора 3 для конденсации отбираемого пара; насоса 4; сборников дистиллята 5 и кубового остатка 6 (рис. 1).

Современные дистилляционные опреснители подразделяются на одноступенчатые, многоступенчатые с трубчатыми нагревательными элементами, или испарителями, многоступенчатые с мгновенным вскипанием и парокомпрессионные.

Многоступенчатый испаритель (рис. 2) состоит из ряда последовательно работающих испарительных камер с трубчатыми нагревательными элементами. Нагреваемая солёная вода движется внутри трубок нагревательного элемента, греющий пар конденсируется на внешней поверхности. При этом нагрев и испарение воды в первой ступени осуществляются паром рабочего котла, работающего на дистилляте; греющим паром следующей ступеней служит вторичный пар предыдущей испарительной камеры. Данная установка способна вырабатывать около 0,9 т пресной воды на 1 т первичного пара. Расход тепла на получение 1 кг пресной воды в одноступенчатом дистилляционном опреснителе составляет около 2400 кдж.

В опреснителях с мгновенным вскипанием (рис. 3) солёная вода проходит последовательно через конденсаторы, встроенные в испарительные камеры, нагреваясь за счёт тепла конденсации, затем поступает в главный подогреватель и нагревается выше температуры кипения воды в первой испарительной камере, где происходит процесс кипения. Затем пар конденсируется на поверхности трубок конденсатора, а конденсат стекает в конденсатор и насосом откачивается потребителю. Неиспарившаяся вода перетекает через гидрозатвор в следующую камеру с более низким давлением, где она снова вскипает, и т.д. Рекуперация тепла фазового перехода в многоступенчатом опреснителе позволяет снизить расход тепла по сравнению с одноступенчатым дистилляционным опреснителем на 1 кг пресной воды до 250—300 кдж.

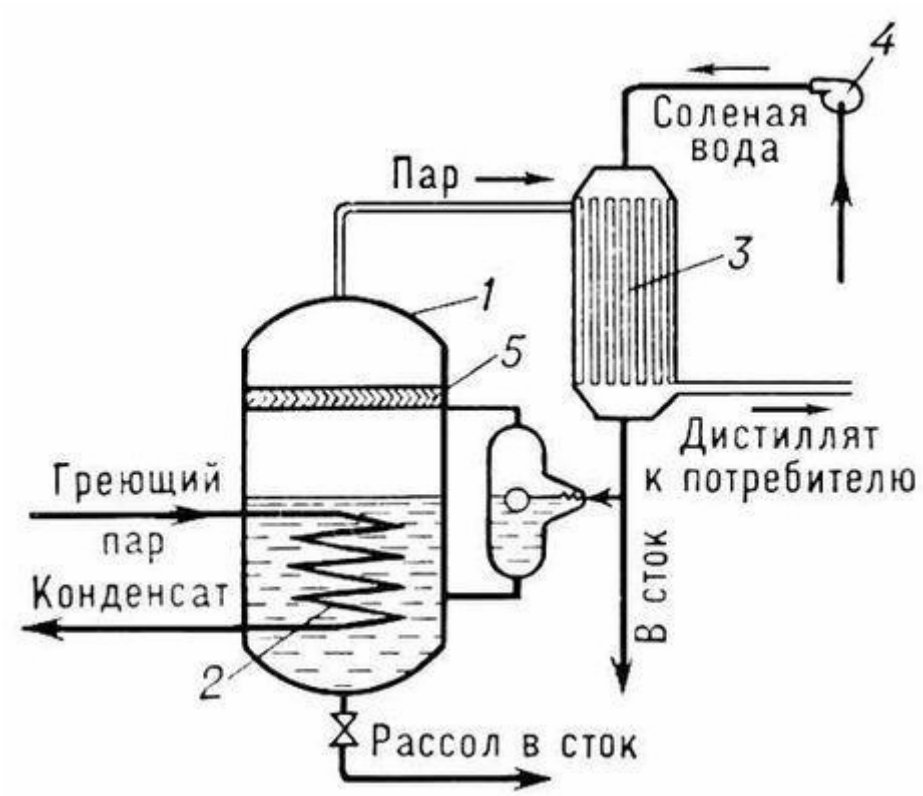


Рис. 1. Схема одноступенчатого дистилляционного опреснителя:
1 — корпус испарительной камеры; 2 — нагревательный элемент;
3 — конденсатор; 4 — насос; 5 — сборник дистиллята.

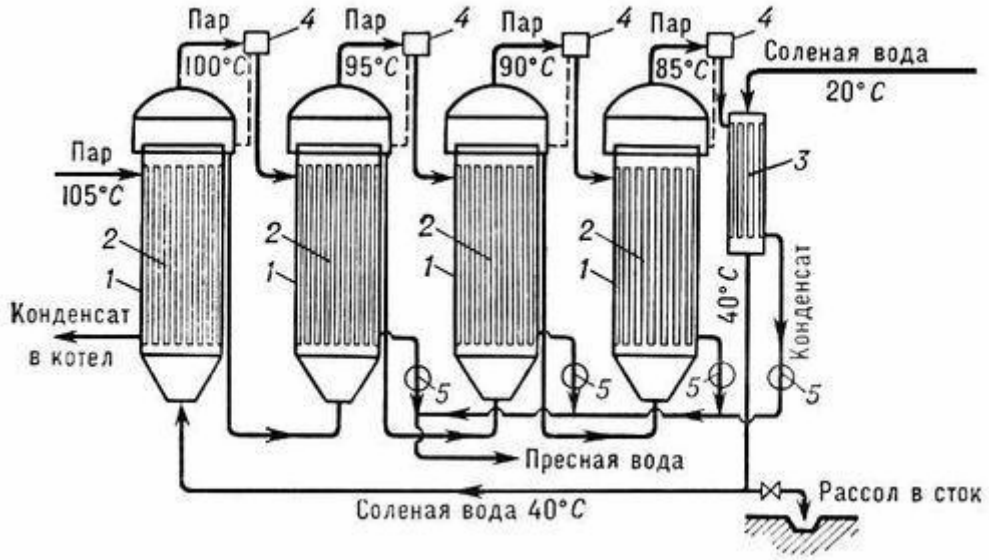


Рис. 2. Схема многоступенчатого дистилляционного опреснителя с трубчатыми нагревательными элементами: 1 — испарительные камеры 1, 2, 3 и 4-й ступеней;
2 — трубчатые нагревательные элементы; 3 — концевой конденсатор;
4 — брызгоулавливатель; 5 — насос.

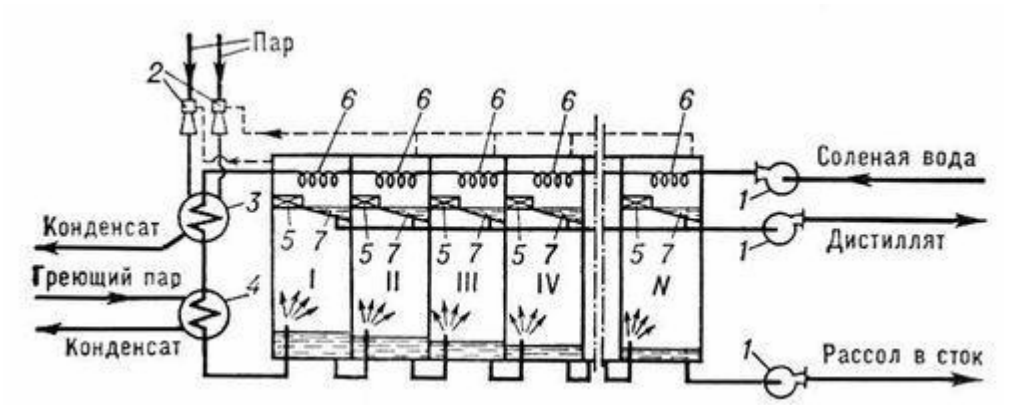


Рис. 3. Схема многоступенчатого дистилляционного опреснителя с мгновенным вскипанием: I, II, III, IV и N — камеры испарения; 1 — насос; 2 — паровой эжектор; 3 — конденсатор эжектора; 4 — подогреватель; 5 — брызгоулавливатель; 6 — конденсатор; 7 — поддон для сбора конденсата.

Основным преимуществом многоступенчатых дистилляционных опреснительных установок является то, что на единицу первичного пара можно получить значительно большее количество обессоленной воды. Так при одноступенчатом испарении на 1 т первичного пара получают около 0,9 т опресненной воды, а на установках, имеющих 50-60 ступеней – 15-20 т опресненной воды. Удельный расход электроэнергии в дистилляционных установках составляет 3,5-4,5 кВт час/м^3 дистиллята.

Затраты при осуществлении любого варианта процесса дистилляции связана с большими затратами тепловой энергии, составляющими 40% от стоимости получаемой воды (если проводить дистилляцию в вакууме, температура кипения воды понижается до 60^{0}С и дистилляция требует меньших тепловых затрат). В качестве источников тепловой энергии используются атомные и тепловые электростанции. Сочетание дистилляционной установки с тепловой электростанцией на минеральном или ядерном топливе, так называемая многоцелевая энергетическая установка, позволяет обеспечить промышленный район всеми видами энергетических услуг по минимальной себестоимости при наиболее рациональном использовании топлива. В пустынных южных районах и на безводных островах применяются солнечные опреснители; которые производят в летние месяцы около 4 л воды в сутки с 1 м^2 поверхности, воспринимающей солнечную радиацию.

Эффективность работы дистилляционных испарителей ограничена образованием накипи в системе циркуляции горячего рассола. По мере выпаривания морской воды из дистилляционного опреснителя, раствор соли становится более концентрированным, и в конечном итоге осаждается на стенках аппарата в виде накипи из солей жёсткости, состоящих, главным образом, из хлоридов и карбонатов кальция ($CaCO_3$, $CaCl_2$) и магния ($MgCO_3$, $MgCl_2$), что ухудшает теплопроводность стенок теплообменника, приводит к разрушению труб и теплообменного оборудования. Это требует применения специальных антинакипных добавок, что существенно увеличивает энергозатраты

на проведение дистилляции до 10 кВт час/м^3 обессоленной воды. Поэтому в последние годы предложены другие способы опреснения морской воды, которые не связаны с необходимостью ее испарения и конденсации.

Ионный обмен

Метод основан на свойстве твёрдых полимерных смол разной степени сшивки, ковалентно связанных с ионогенными группами (иониты), обратимо обмениваться ионами растворённых в воде солей (противоионы).

В зависимости от заряда иониты подразделяются на положительно заряженные катиониты (H^+) и отрицательно заряженные аниониты (OH^-). В катионитах – веществах, аналогичным кислотам, анионы представлены в виде нерастворимых в воде полимеров, а катионы (Na^+) подвижны и обмениваются с катионами растворов. В противоположность катионитам, аниониты - по химической структуре основания, нерастворимую структуру которых образуют катионы. Их анионы (обычно гидроксильная группа OH^-) способны обмениваться с анионами растворов.

Процесс ионообменного опреснения воды заключается в последовательном прохождении воды через неподвижный слой ионита в периодическом процессе или противоточным движением воды и ионита в непрерывном процессе (рис. 4). В этом процессе катионы и анионы солей обрабатываемой воды последовательно связываются с ионитами, в результате происходит её обессоливание. Соотношение ионита, анионита и катионита обычно составляет от 1:1 до 1,5:1,0 по массе.

Кинетика ионного обмена включает 3 последовательные стадии: перемещение сорбируемого иона к поверхности глобулы ионита (1), ионный обмен (2), перемещение вытесняемого иона внутри глобулы ионита и от его поверхности в растворе (3).

На скорость ионного обмена влияют следующие факторы: доступность фиксированных ионов внутри каркаса ионита, размер гранул ионита, температура, концентрация раствора. Общая скорость процесса ионного обмена определяется совокупностью процессов, происходящих в растворе

(диффузия противоионов к грануле и от гранулы ионита) и в ионите (диффузия противоионов от поверхности к центру гранулы ионита и в обратном направлении; обмен противоионов ионита на противоионы из раствора). В условиях, приближенных к реальным условиям очистки воды, лимитирующим фактором, определяющим скорость ионного обмена, является диффузия ионов внутри гранулы ионита.

Обменная способность ионообменных смол постепенно снижается, и, в конечном итоге, исчерпывается. В этом случае требуется регенерация раствором кислоты (катионит) или щелочи (анионит), что восстанавливает исходные химические свойства смол. Катионит регенерируется 5%-м раствором серной кислоты, которую пропускают последовательно через катионит до появления кислой реакции. Удельный расход серной кислоты 55—60 г/г-экв. сорбированных катионов. Анионит регенерируется раствором 5%-ной

кальцинированной соды или едкого натра с удельным расходом 70-75 г на 1 г-экв. задержанных анионов.

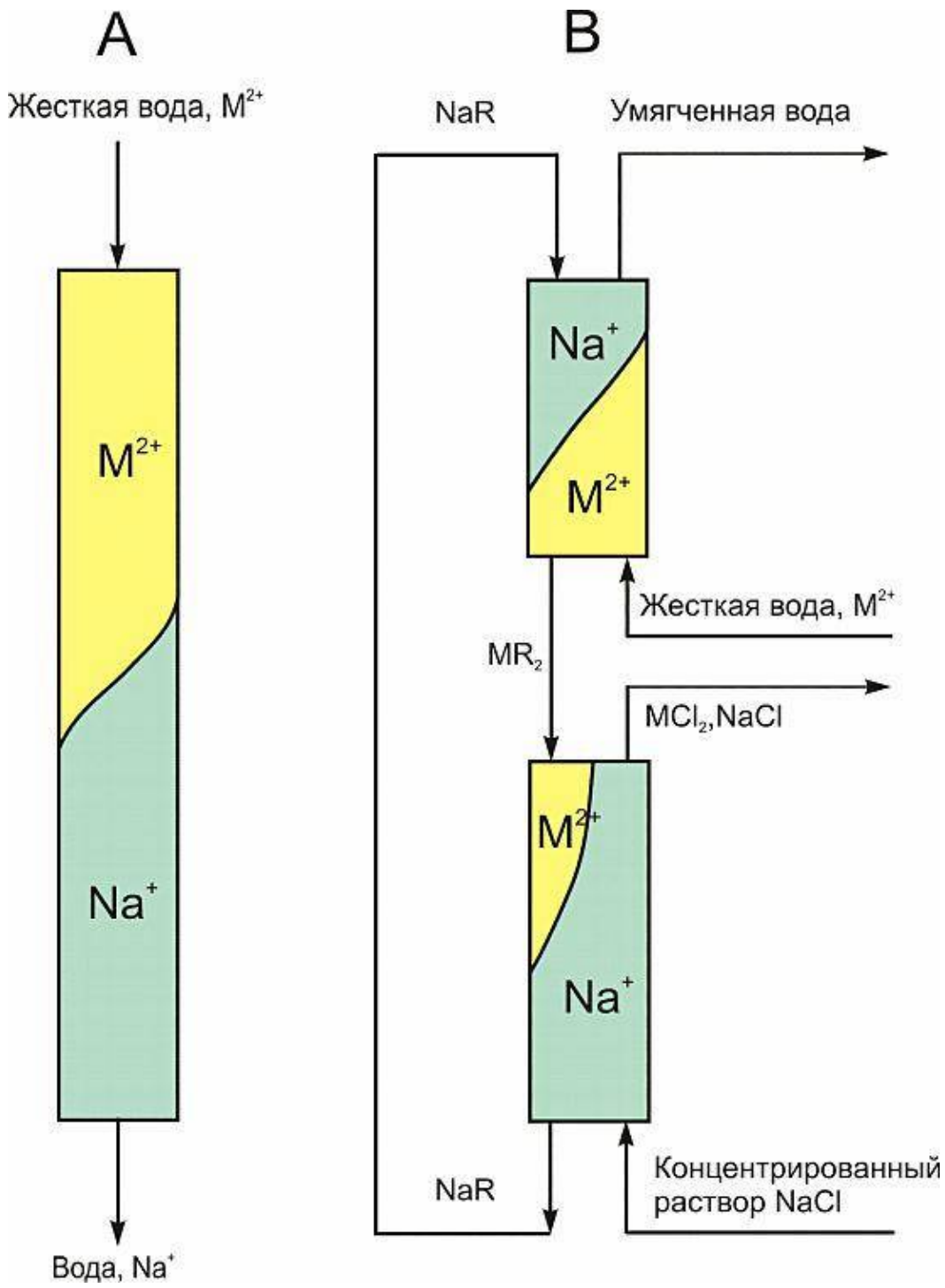


Рис. 4. Схемы ионообменного опреснения воды ($M^{2+} = Ca^{2+}$, Mg^{2+}) на неподвижном слое ионита (а) и в противотоке (б) с движущимися слоями ионита (NaR, MR_2) и потоками воды

Ионный обмен применяется для получения обессоленной и умягчённой воды в тепловой и атомной энергетике и в промышленности; в цветной металлургии - при комплексной гидрометаллургической переработке руд, в

пищевой промышленности, в медицинской промышленности при получении антибиотиков и и других лекарственных средств, а также для очистки сточных вод в целях организации оборотного водоснабжения. В настоящее время также разрабатываются ионообменные методы комплексного извлечения из океанской воды ценных минералов.

Промышленные аппараты для реализации ионного обмена подразделяются на 3 группы: установки типа смесителей-отстойников, установки с неподвижным и подвижным слоями ионита. Аппараты первого типа чаще всего используют в гидрометаллургии. В аппаратах с неподвижным слоем ионита исходные и обессиленные растворы подаются в одном направлении (поточные схемы) или в противоположных (противоточные схемы). Такие аппараты используются для ионообменной очистки растворов, при умягчении и обессоливании морской воды. В непрерывно действующих противоточных аппаратах подвижный ионит перемещается сверху вниз под действием силы тяжести. Конструктивно противоточные аппараты подразделяются на 3 группы: со взвешенным или кипящим слоем ионита, с непрерывным движущимся слоем ионита и с движущимся раствором через ионит.

В зависимости от заданной степени обессоливания воды проектируют одно-, двух и трех ступенчатые ионообменные установки. Остаточное солесодержание при одноступенчатом ионообменном опреснении составляет 20 мг/л. Для получения воды с солесодержанием до 0,5 мг/л применяют установки с двухступенчатой схемой H^+ - и OH^- – ионирования.

Ионообменный способ опреснения воды имеет ряд достоинств: простота оборудования, малый расход исходной воды на собственные нужды (15—20% производительности установки), малый расход электроэнергии, малый объем сбросных вод.

Недостаток ионообменного метода — сравнительно высокий расход реагентов, технологическая сложность процесса, который лимитируется исходным уровнем солесодержания обрабатываемой воды, определяющегося экономическими затратами. Рентабельность ионного обмена при опреснении воды обычно ограничивается исходным содержанием растворенных солей 1,5—2,5 г/л. Однако при необходимости, когда себестоимость воды не играет существенной роли, этим методом можно опреснять воду с достаточно высоким солесодержанием.

Обратный осмос

При опреснении воды методом обратного осмоса морскую воду пропускают через полупроницаемые мембраны под воздействием давления, существенно превышающего разницу осмотических давлений пресной и морской воды (для морской воды 25-50 атм.). Такие мембраны изготавливаются из полиамида или ацетата целлюлозы и выпускаются в виде полых волокон или рулонов. Через микропоры этих мембран могут свободно проникать небольшие молекулы воды, в то время как более крупные ионы соли и другие примеси задерживаются мембраной.

Обратный осмос используется в нашей стране с начала 1970 годов в различных технологиях очистки воды от примесей, в том числе для опреснения воды. Современные промышленные установки обратного осмоса включают фильтр тонкой очистки воды, систему реагентной подготовки, насос высокого давления, блок фильтрующих модулей, блок химической промывки.

В установках по опреснению воды методом обратного осмоса трубы изготавливают из пористого материала, выложенного с внутренней стороны пленкой из ацетата целлюлозы, выполняющей функции полупроницаемой мембраны. Опреснительная установка состоит из множества аналогичных труб, уложенных параллельно друг другу, через которые насосом высокого давления (5—10 Мн/м^2, или 50—100 бар) непрерывно прокачивается морская вода, а отводится два потока —обессоленная - пермеат, и вода с концентрированными солями - концентрат, которая сливается в сток (рис. 5). Поток пресной воды через мембрану пропорционален приложенному внешнему давлению. Максимальное давление определяется собственными характеристиками обратноосмотической мембраны. При слишком высоком давлении мембрана может разорваться, забиться присутствующими в воде примесями или пропускать слишком большое количество растворенных солей. При слишком низком давлении процесс замедляется.

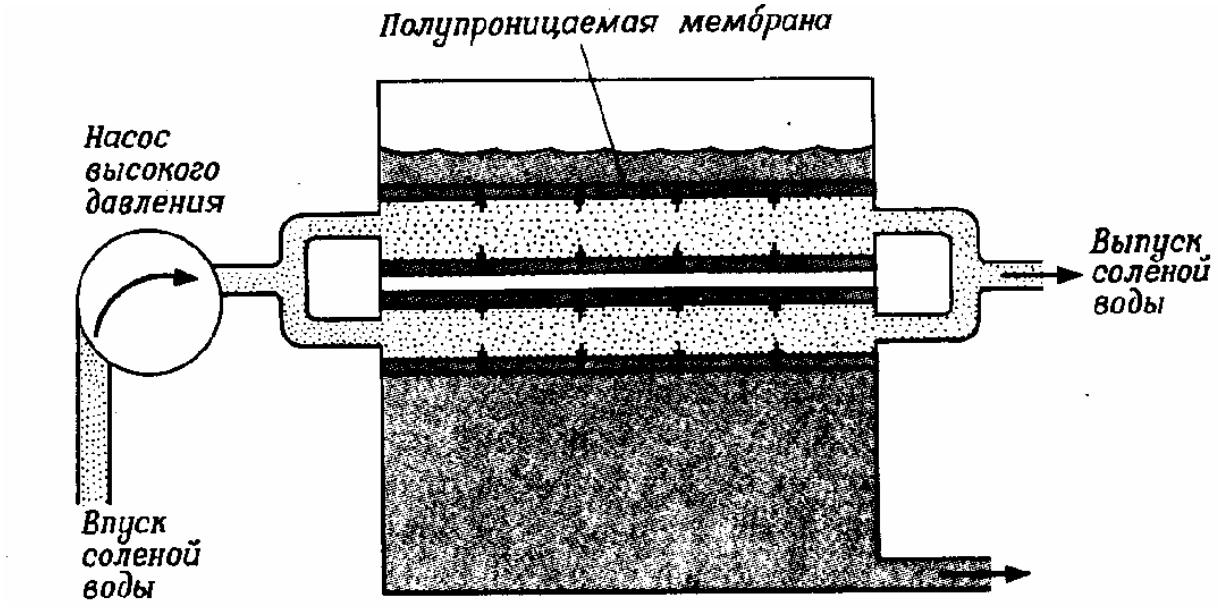


Рис. 5. Схема процесса опреснения воды методом обратного осмоса

Обратный осмос обладает существенными преимуществами по сравнению с другими методами опреснения воды: энергетические затраты сравнительно невелики, установки конструктивно просты и компактны, работа их может быть легко автоматизирована. Управление системой обратного осмоса осуществляется в полуавтоматическом и автоматическом режиме. Для уменьшения образования нежелательных отложений солей в полостях труб применяются ингибиторы осадкообразования. Для снятия осадков солей с поверхности мембран используется система химической промывки. Для кон-

троля качества очистки воды и значения pH — проточные измерители солесодержания и pH-метры. Контроль расхода пермеата и концентрата осуществляется проточными расходомерами.

Степень опреснения воды и производительность мембраны по опресненной воде зависят от различных факторов, прежде всего от общего солесодержания исходной воды, а также солевого состава, давления и температуры. Так, при опреснении соленой воды из скважины, содержащей 0,5% растворенных солей, при давлении 50 атм в течение суток удается получить приблизительно 700 л пресной воды с 1 $м^2$ мембраны. Поскольку для получения большой площади поверхности необходимо очень много тонких труб, процесс обратного осмоса не находит широкого применения для получения больших количеств пресной воды. Однако этот процесс представляется весьма перспективным, если в будущем будут разработаны улучшенные низконапорные высокоселективные энергосберегающие мембраны, особенно для опреснения соленой воды из скважин. Эта вода имеет более низкую концентрацию растворенных солей по сравнению с морской водой, что позволяет проводить ее опреснение при более низких давлениях.

Электродиализ

Данный процесс мембранного разделения основан на способности ионов растворённых в воде солей перемещаться через мембрану под действием градиента электрического поля. При этом катионы перемещаются по направлению к отрицательному электроду (катоду), а анионы движутся в противоположном направлении к положительно заряженному электроду (аноду). Катионы и анионы разделяют, используя специальные проницаемые для ионов ионоселективные мембраны. В результате в ограниченном мембранами объёме, происходит снижение концентрации солей.

Ионоселективные мембраны, применяемые для электродиализа, изготовляют из термопластичного полимерного материала (полиэтилен, полипропилен) и ионообменных смол (КУ-2, ЭДЭ-10П и др.) в виде гибких листов прямоугольной формы. Они имеют большую механическую прочность, высокую электропроводность и высокую проницаемость для ионов. Кроме того, они обладают высокой селективностью и низким электросопротивлением, которое составляет от 2 Ом/$см^2$ до 10 Ом/$см^2$ на единицу поверхности ионообменной мембраны. Срок службы мембран в среднем 3-5 лет.

Электродиализные опреснители представляют собой многокамерные аппараты фильтр-прессового типа, состоящие из камер, ограниченных с одной стороны катионитовой, с другой — анионитовой мембранами, разделяющими объём аппарата на множество полостей. Камеры размещены между катодом и анодом, к которым подведён постоянный электрический ток (рис. 6).

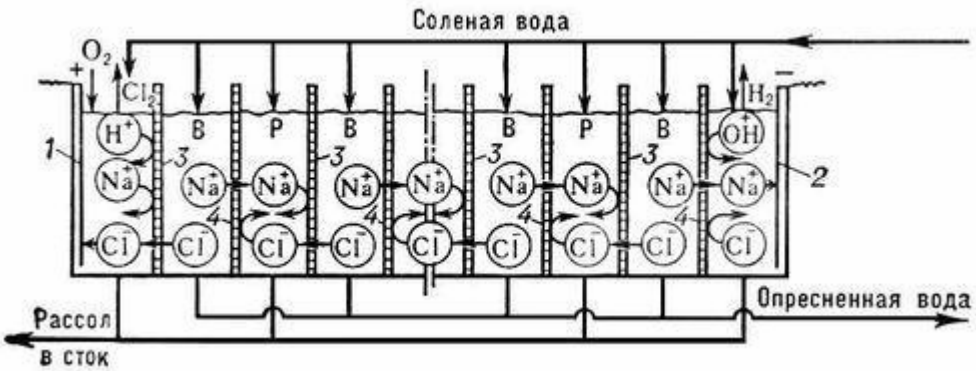


Рис. 6. Схема многокамерного электродиализного опреснителя: 1 — анод; 2 — катод; 3 — анионитовая мембрана; 4 — катионитовая мембрана; В — опресняемая вода; Р — рассол.

Опресняемая вода поступает в опреснительные камеры, где под действием электрического поля катионы и анионы растворённых в воде солей движутся в противоположных направлениях к катоду и аноду соответственно. Поскольку катионитовые мембраны проницаемы в электрическом поле для катионов, но непроницаемы для анионов, а анионитовые мембраны проницаемы для анионов, но непроницаемы для катионов, в опреснительных камерах происходит селективное разделение определённых типов ионов солей. При этом удаляемые из воды соли концентрируются в рассольных камерах, откуда они удаляются вместе с промывочной солёной водой.

Расход электроэнергии на опреснение воды электродиализом зависит от исходного солесодержания опресняемой воды (2 вт·ч на 1 л при опреснении воды с солесодержанием 2,5—3 г/л и 4—5 вт· ч на 1л при опреснении воды с содержанием солей 5—6 г/л). Выход пресной воды в электродиализных установках составляет 90-95%.

В нашей стране получили распространение электродиализные опреснительные установки серии ЭДУ (ЭДУ-5, ЭДУ-50, ЭДУ-100, ЭДУ-1000), производительностью от 5 до 1000 м3 пресной воды в сутки. Они применяются для опреснения морской воды при получении питьевой и технической воды, при обессоливании сточных вод гальванического производств (гальванических стоков), для концентрирования сточных вод, содержащих ценные компоненты (например, драгоценные металлы), перед последующим извлечением этих компонентов. Чаще всего процесс электродиализа применяют для обессоливания воды, содержащей не более 10 г/л растворённых солей. В этом случае процесс электродиализа является более экономичным по сравнению с обратным осмосом и дистилляцией. При помощи электродиализа можно также концентрировать растворы. Благодаря этому электродиализ применяется при выделении хлористого натрия (NaCl) и других солей из морской воды. Электродиализ применяется также для предочистки воды для теплоэнергетических установок.

Преимуществом электродиализа по сравнению с обратным осмосом является то, что в этом процессе используются термически и химически более

стойкие мембраны, что позволяет проводить процесс опреснения воды при повышенных температурах.

Замораживание

Данный метод основан на том, что в естественных природных условиях лед, образующийся из морской воды, является пресным, поскольку образование кристаллов льда при температуре ниже температуры замерзания происходит только из молекул воды (явление криоскопии). При искусственном медленном замораживании соленой морской воды вокруг центров кристаллизации образуется пресный лед гексагональной игольчатой структуры со средней плотностью 930 кг/м^3. При этом в межигольчатых каналах концентрация раствора и его плотность, повышаются, и он, как более тяжелый, по мере замораживания оседает вниз. При последующей сепарации, промывки и таянии кристаллического льда образуется пресная вода с содержанием солей 500-1000 мг/л NaCl.

Замораживание морской воды проводят в кристаллизаторах (контактные, вакуумные, с теплообменом через стенку) в условиях непосредственного контакта охлаждаемого раствора с хладагентом – газообразным или жидким.

Для лучшего опреснения морского льда применяется фракционное плавление при температуре 20°С с промывкой и сепарацией кристаллов льда от маточного раствора методами фильтрования, гидравлического прессования и центрифугирования.

Данный метод применяется для концентрирования непищевых продуктов, для опреснения морской воды, концентрирования и разделения химических растворов и др. Он достаточно прост и экономичен, но требует сложного оборудования и энергоёмок. Поэтому на практике он используется чрезвычайно редко.

В нашей стране разработан газогидратный метод опреснения воды, который по аппаратурному оформлению аналогичен замораживанию со вторичным хладагентом. Этот метод основан на способности некоторых углеводородных газов (пропан, циклопропан, бутан, изобутан, этилен, фреон-31, фреон-40 и др.) при определенных температуре и давлении образовывать при взаимодействии с водой соединения клатратного типа (газогидраты) общей формулы $M \cdot nH_2O$ (М — молекула гидратобразующего газа), с их последующей сепарацией от рассола и плавлением. В зависимости от природы газа и условий проведения процесса, газогидраты образуются из 46 молекул воды и 6 (газогидраты I) или 8 молекул (газогидраты II) газа.

Принципиальные основы газогидратного метода опреснения воды заключаются в следующем: в замораживаемую соленую воду вводят гидратобразующий газ и после формирования кристаллической фазы (газогидрата) ее отделяют от рассола, образовавшегося в результате отбора от исходной соленой воды части молекул H_2O, расходованных на образование газогидрата; кристаллы газогидрата отмывают от рассола, плавят и получают пресную воду. Выделившийся при плавлении газогидрата газ может быть рекуперирован.

Обладая всеми преимуществами контактного вымораживания, газогидратный метод выгодно отличается более высокой температурой проведения процесса, что позволяет уменьшить энергетические затраты и потери холода в окружающую среду.

Разновидностью этого метода является опреснение морской воды с помощью попутного газа из смеси бутана с пропаном. Замораживаемую морскую воду обрабатывают попутным газом; содержащие воду кристаллогидраты углеводородов образуют твёрдую кристаллическую фазу (одна молекула пропана присоединяет 17 молекул воды). Застывшую кристаллическую массу затем разделяют. Для этого достаточно снизить давление и несколько повысить температуру: углеводороды улетучиваются, остается пресная вода. После улавливания и ожижения углеводороды возвращаются в цикл.

Необходимо подчеркнуть, что при выборе метода опреснения воды следует уделять внимание наличию в морской воде дейтерия в виде тяжелой воды D_2O. Соотношение между тяжёлой и обычной водой в природных водах составляет 1:5500. Разные природные воды содержат различное содержание дейтерия. Обычная водопроводная вода содержит около 100 г дейтерия на тонну воды, а морская вода от 130 до 150 г дейтерия на тонну воды.

Физико-химические свойства тяжёлой воды отличаются от таковых для обычной воды. Молекулярная масса D_2O на 10% превышает массу H_2O. Такая разница приводит к существенным различиям в физических, химических и биологических свойствах тяжёлой воды. Тяжёлая вода кипит при 101.44^0 С, замерзает при $3,82^0$С, имеет плотность при 20^0С 1,105 г/см^3, причём максимум плотности приходится не на 4^0С, как у обычной воды, а на $11,2^0$С (1,106 г/см^3). Большая прочность связи D-O, чем H-O, обусловливает различия в кинетике реакций тяжелой и обычной воды. Подвижность дейтерия D^+ меньше, чем подвижность протия H^+, константа ионизации тяжёлой воды в 5 раз меньше константы ионизации обычной воды. Химические реакции и биохимические процессы в D_2O значительно замедлены. В смесях тяжёлой воды с обычной водой с большой скоростью происходит изотопный обмен:

$H_2O + D_2O = 2\ HDO$.

Тяжёлая вода в высоких концентрациях токсична для организма. Для животных клеток предельная концентрация ^2H_2O составляет 25 об. %, для клеток растений – 50 об. %, для простейших – 70-80%. Поэтому целесообразно проводить тщательный контроль изотопного состава получаемой пресной воды.

Таким образом, выбор метода и технологии опреснения воды зависит от предъявляемых к воде требований по качеству и солесодержанию, а также технико-экономических показателей. В зависимости от реализуемого способа опреснения воды применяются различные типы опреснительных установок. Дистилляционные опреснительные установки (однокорпусные и многокорпусные, по способу опреснения - парокомпрессионные и солнечные) применяются при опреснении морской воды и солёных вод с высоким солесодержанием до 35 г/л. Опреснение морской воды электродиализом и гиперфильт-

рацией (обратным осмосом) экономично при солесодержании 25 г/л, ионным обменом - менее 25 г/л. Из всего объёма получаемой в мире опреснённой воды 96% приходится на долю дистилляционных опреснительных установок, 2,9% - электродиализных, 1% - обратноосмотических и 0,1% - на долю замораживающих и ионообменных опреснительных установок.

Главная задача опреснения воды заключается в том, чтобы проводить процесс с минимальной затратой энергии и минимальными расходами на оборудование. Это требование важно потому что страна, которая вынуждена в большей мере полагаться на опресненную воду, должна выдерживать экономическую конкуренцию с другими странами, располагающими более обширными и дешевыми источниками пресной воды.

Проектные разработки показывают, что транспортировка пресной воды из естественного источника даже на расстояние до 400—500 км дешевле опреснения только для небольших водопотребителей. Оценка прогнозных эксплуатационных запасов солоноватых и соленых подземных вод в засушливых районах с учетом удаленности большинства из них от естественных пресноводных источников позволяет сделать вывод о том, что опреснение является для них единственно возможным и экономически оправданным способом водообеспечения.

Применяемые в технике опреснения соленых вод методы могут быть эффективно использованы для возвращения природе использованной воды, не ухудшающей состояния пресных водоемов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Мосин О.В. "Физико-химические основы опреснения морской воды" // Сознание и физическая реальность, 2012, № 1, с. 19-30.

УДК 621.822-242.3.001.573:004.43

Кардашев Д.Л., Артеменко Е.С., Горелов А.С.
Одесская национальная морская академия

Коллапс компрессионных поршневых колец малооборотных дизелей

Постановка проблемы. Практика и опыт эксплуатации судовых дизелей, показывает, что надежность судовых дизелей в значительной степени зависит от скорости изнашивания верхних компрессионных поршневых колец (ПК). Ресурс верхних поршневых колец значительно ниже долговечности других деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ), потому что в процессе работы они испытывают значительные механические и тепловые нагрузки.

Одним, из мало изученных явлений, которые возникают в процессе эксплуатации дизелей есть вибрация поршневых колец, которая приводит к поломкам ПК и сопровождается заусенцами и повышенным сносом цилиндровой втулки (ЦВ), прорывом газов в пространство картера двигателя, пониже-

нием мощности двигателя и увеличением расходов топлива и масла. Таким образом, исследование вибрационного состояния ПК является актуальным как для судоходных компаний, так и дизелестроительных и судоремонтных предприятий.

Анализ последних исследований и публикаций. Основы теории поршневого кольца предоставлены в роботе Б.Я. Гинцбурга [1]. Среди заграничных исследователей можно также отметить К. Енглиша, П. Дайкса, М. Евейса. Вопросом устранения вибрационного разрушения ПК посвящены экспериментальные исследования мировых судостроительных фирм. Наше внимание привлекли работы [2,3], поскольку в них частично рассматриваются радиальные вибрации ПК только для середнеобертових двигателей [2] и продольное движение поршневого кольца в поршневой канавке (кепи) [3].

Нерешенные части проблемы. Малооборотные двигатели с частотой вращения коленного вала до 120 об/хв (2гц) имеют значительный диаметр поршня от 35 до 108 см, потому собственные частоты колебаний поршневых колец могут попадать в рабочей диапазон. Не решенными остаются условия возбуждения и демпферування вынужденных колебаний ПК.

Целью исследования является оценка собственных частот свободных радиальных колебаний компрессионных колец, учета возбуждающих сил и условий демпферування вынужденных колебаний, ПК для малооборотных дизелей.

Основные результаты исследования. Как известно, основное назначение компрессионных колец - обеспечение уплотнения между камерой сгорания и картером. При сносе поршневого кольца растет прорыв газов в картер, который уменьшает мощность двигателя, увеличивает димнисть отработанных газов, увеличивает возможность коррозии поверхностей, которые контактируют с выхлопными газами, ухудшает пусковые свойства двигателя. Верхнее компрессионное кольцо во время работы дизеля испытывает напряжение сжатия от давления отработанных газов, напряжение изгиба, вибрационные нагрузки и трение о втулку цилиндра и поршневую канавку.

Собственные частоты. Задача нахождения собственных частот возникает при рассмотрении движений поршневого кольца вблизи вибрирующей поверхности цилиндровой втулки разделенных слоем масла. Собственные частоты колебаний цилиндровой втулки очень высоки. Но при вибрации корпуса двигателя эти колебания передаются без изменения через жидкость (модуль объемной упругости составляет порядку 1300 -1700 Мпа) и влияют на движение поршневого кольца. При совпадении собственных частот кольца и змушуючеи силы со стороны цилиндровой втулки возможно возникновение резонансных явлений.

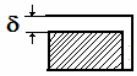
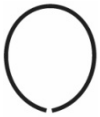
Результаты расчета собственных частот трех первых форм радиальных колебаний поршневых колец для наиболее распространенных двигателей фирмы MAN B&w для поршней разного диаметра приведены в таблице 1. Поперечный перерез считался прямоугольном размеры которого приведены во втором столбике (в скобках -минимальна допустимая радиальная ширина

кольца). В третьем столбике приведен минимальный и максимальный допустимый вертикальные зазоры между поверхностью ПК и верхней поверхностью поршневой канавки.

Можно видеть, что частоты первой формы колебаний для колец диаметром 70,90 и 98 см попадают в область двойной рабочей частоты малооборотного двигателя (приблизительно 4 Гц). Поэтому нужно дополнительное исследование на предмет возможности возникновения резонанса. Частоты высших форм колебаний лежат за пределами рабочего диапазона двигателя.

Модель колебательной системы. Вообще, любая колебательная система, на которую действуют, возмущая внешние силы, в частности тела, которое осуществляет колебательные движения состоит из упругих и диссипативных элементов (не всегда линейных). На рисунке 1 показана физическая модель и ее схематический аналог. В модели не учитывалась кинетика протекания газа в заколечном пространстве.

Таблица 1.Результаты расчету собственных частот трех первых форм радиальных колебаний поршневого кольца.

Диаметр поршня D, см	Размеры поперечного сечения ПК bxh, мм	Допустимый вертикальный зазор δ, мм	Резонансная частота, Гц	Резонансная частота, Гц	Резонансная частота, Гц
			1 форма	2 форма	3 форма
					
35	12,5(10,0)x9,5	0,3-0,5	8,0	22,7	43,6
50	17,2(14,2)x12,4	0.36-0.87	5,4	15,3	29,4
60	20,2(17,0)x14	0,4-0,6	4,4	12,5	23,9
70	23,3(20,3)x15,9	0,42-0,92	3,7	10,6	20,3
90	28(24)x19,4	0,47-0,97	2,7	7,7	14,8
98	30,5(26)x22,8	0,6-1,0	2,5	7,1	13,6

Упругие элементы. В качестве упругих элементов можно выделить: слой масла, который разделяет поверхности ЦВ и ПК, объем отработанных газов, которые проникают в заколечном пространство за счет "лабиринтного эффекта", та упругость поршневого кольца. Упругость жидкости намного превышает упругости газа и ПК. При определении жесткости "газовой" пружины мы считали, что процесс ее сжатия был изотермическим. Жесткости поршневого кольца и "газовой" пружины можно считать соединенными последовательно.

Диссипативные элементы. В частности упругости масло и газ обладают диссипативными свойствами, но коэффициент демпфирования жидкости намного превышает коэффициент угасания газа. Поэтому последним можно пренебрегать. Коэффициент демпфирования жидкости рассчитывалась по закону Пуазейля для проникновения ламинарии масла между верхней и нижней поверхностями поршневого кольца и соответствующими поверхностями поршневой канавки

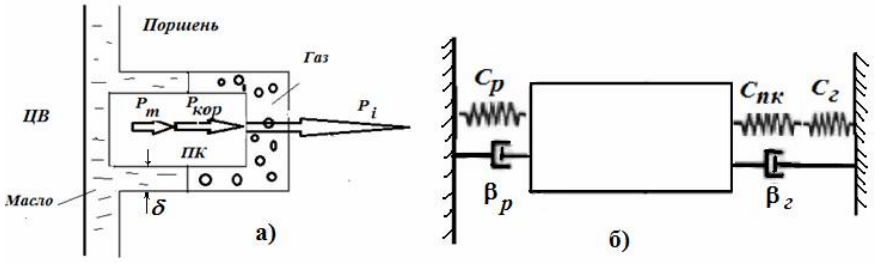


Рис. 1. Модель колебательной системы: а) физическая, бы) схематическая.

Вынуждающие силы. Для крейцкопфних двигателей нормальная составляющая сил давления газов и инерции действует на подшипник крейцкопфного механизма и передается на параллели. Поэтому силами, которые возбуждают вынужденные колебания ПК есть: сила притяжения, которая зависят от угла наклона корпуса дизеля; сила инерции Кориолиса, которая зависит от угловой скорости раскачивания дизеля та сила инерции, которая зависит от углового ускорения корпуса дизеля при его раскачивании. Эти силы зависят от частоты (но двойной частоты) вращения коленчатого вала двигателя. Амплитуды этих сил небольшие (приблизительно равняются силе упругости ПК) и зависят от положения поршня относительно цилиндровой втулки.

На рисунке 2 приведены результаты расчета коэффициента динамичности системы для поршневого кольца диаметром 90 см в зависимости от величины вертикального зазора д между поверхностью ПК и верхней поверхностью поршневой канавки. Минимальный зазор для нового кольца равняется 0,47 мм, а максимально допустимый 0,97 мм (табл.1).

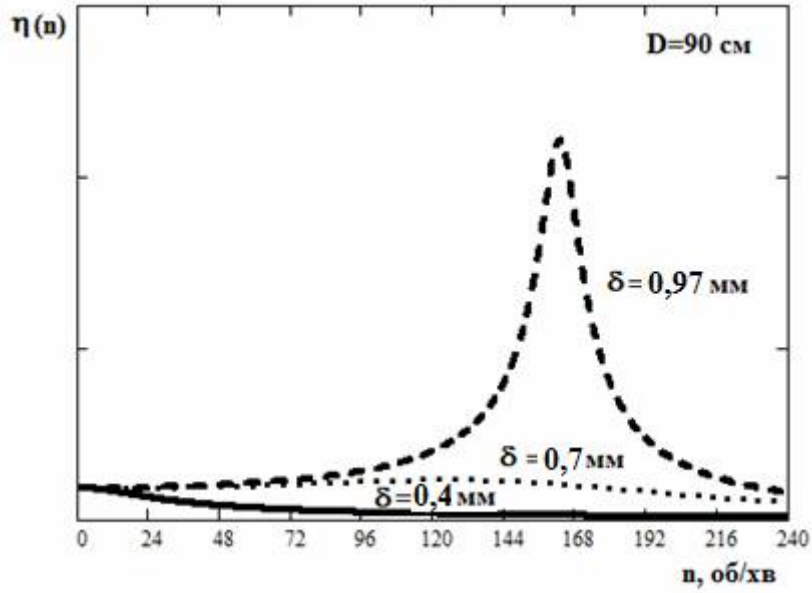


Рис. 2. Коэффициент динамической радиальных колебаний ПК.

Из этого рисунка можно видеть, что величина этого зазора является управляющим параметром, при больших значениях которого вероятность возникновения резонансных радиальных колебаний ПК значительно увеличивается. Другим параметром является радиальная ширина поршневого кольца. При его уменьшении, в результате износа, уменьшается упругость

поршневого кольца, и вследствие этого уменьшается и частота его собственных радиальных колебаний.

Выводы. Анализируя выше изложено, можно сделать следующие выводы:

- При увеличении вертикального зазора между горизонтальными поверхностями ПК и поршневой канавки вероятность возникновения резонансных радиальных колебаний увеличивается;
- Уменьшение радиальной ширины ПК уменьшает частоту собственных радиальных колебаний которая может угодить в диапазон максимальной длительной мощности двигателя;
- При обзоре состояния ПК нужно обращать внимание на допустимые значения вышеприведенных параметров.

Вопросы возникновения вибраций поршневых колец нуждаются в последующем рассмотрении с более детальным учетом действующих факторов, который поможет в поисках путей увеличения их ресурса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гинцбург Б.Я. Теория поршневого кольца / Б. Я. Гинцбург. М.: Машиностроение, 1979. - 247 с.

2. Загайко С.А. Имитационное моделирование изнашивания поршневого кольца двигателя внутреннего сгорания / Вестник УГАТУ, Машиностроение, тепловые двигатели, т.11, №2(29).- С.84-89.

3. Мяконьков М.Б. Совершенствование технологии нанаесения износостойких покрытий на поршневые кольца судовых дизелей с учетом вибрационного и напряженно-деформированного состояния / Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук, 05.08.05 "Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные); 05.08.04. "Технология судостроения и судоремонта,организация судостроительного производства", Санкт Петербург, 2012, Усл.-печ.л.1,16.- С.20

4. Сур'янов М.Г., Дащенко О.Ф., Білоус П.О., Оборський Г.О. Теоретичні основи динаміки машин. - Одеса: Астропринт, 2008. - 416 с.

УДК 539.51

Артеменко О.С.
Одесская национальная морская академия

Отримання нанопорошків парофізичним методом. Перспективи їх застосування для покращення роботи суднових механізмів

Вступ

Прогресивні технології багаторазово підвищують термін служби механізмів та їх окремих складових елементів. У цьому випадку машини зстійкими до спеки, корозії і фізичного зносу покриттями мають більш широкий ресурс роботи.

На даний час перспективними є розробки наноструктурних покриттів, що забезпечують виробу високі міцність, ударну в'язкість, корозійну стійкість, радіопрозорість, жаростійкість.

Останніми роками найбільший розвиток отримали процеси синтезу і конденсації з газової фази для здобуття нанопорошків, що обумовлене можливістю контролю теплового режиму і гнучкішого управління дисперсністю і чистотою продукту, що синтезується.

Метод конденсації з газової фази полягає в тому, що тверде тіло випарюють шляхом підведення енергії, створюють пересичену пару, з якої поступово конденсуються частки малого розміру. Пересичену пару можна отримати різними дорогами: випаром мішені за допомогою електронного променя, лазерного променя, магнетронним розпиленням, за допомогою дугового розряду і інших методів, що наводять до широкої різноманітності розмірів часток, їх форм і хімічних складів.

За такою технологією отримані нанопорошки кремнію, бору, оксидів титану, цирконію, алюмінію, нітрид, карбіди і карбонітріди кремнію і діборід титану з розміром часток від 20 до 600 нм . полум'ї. Їм можна отримувати багатокомпонентні з’єднання. Зокрема, отримані нанопорошки SiO2, TiO2, Al2O3, ZrO2.

Методи, які пов’язані з утворенням на поверхні матеріалів нанорозмірних структур умовно поділяють на дві великі групи: основані на фізичних та хімічних процесах.

Технології, засновані на фізичних процесах.

Методи фізичного осадження з парової фази.Методи фізичного осадження з парової фази. Дана група методів часто позначається англійською абревіатурою PVD (Physical Vapour Deposition).Ця група методів об'єднана загальною схемою нанесення покриття і використанням вакууму (РИС.2). Спочатку матеріал для покриття переводиться із стану, що конденсує, в стан пари, потім проводиться його транспортування до підкладки (матеріалу на який наноситься покриття), де відбувається осадження матеріалу покриття з парової фази і формування покриття. Використання вакууму полегшує переклад матеріалу в парову фазу.

Класифікація методу усередині групи визначається використовуваним поєднанням способів випару, транспортування і осадження. Дана група методів дозволяє отримувати складно леговані порошки, причому сплави заданого складу можна отримувати як випаром заздалегідь легованого матеріалу, так і одночасним випаром окремих компонентів.

Рис..1. Зразкова класифікаційна схема наноорієнтованих технологій обробки поверхні

Розмір часток отримуваних порошків залежно від різновиду методу і технологічних параметрів може складати від 5 до 100 нм. Залежно від вигляду процесу випару можна виділити наступні різновиди методів:

Термічний випар.
Розпилення розплаву.
*Ударне розпилення розплаву.*ошок механічному подрібненню.
Електрогідродинамічне розпилення розплаву.
Катодне і магнетронное розпилення.
Іонне плакирование (осадження)
Іонна імплантація
Іонно-променеве перемішування.

Розмір часток отримуваних порошків залежно від різновиду методу і технологічних параметрів може складати від 5 до 100 нм. Залежно від вигляду процесу випару можна виділити наступні різновиди методів. До недоліків можна віднести складність та велику вартість технологічного та контролюючого обладнання.

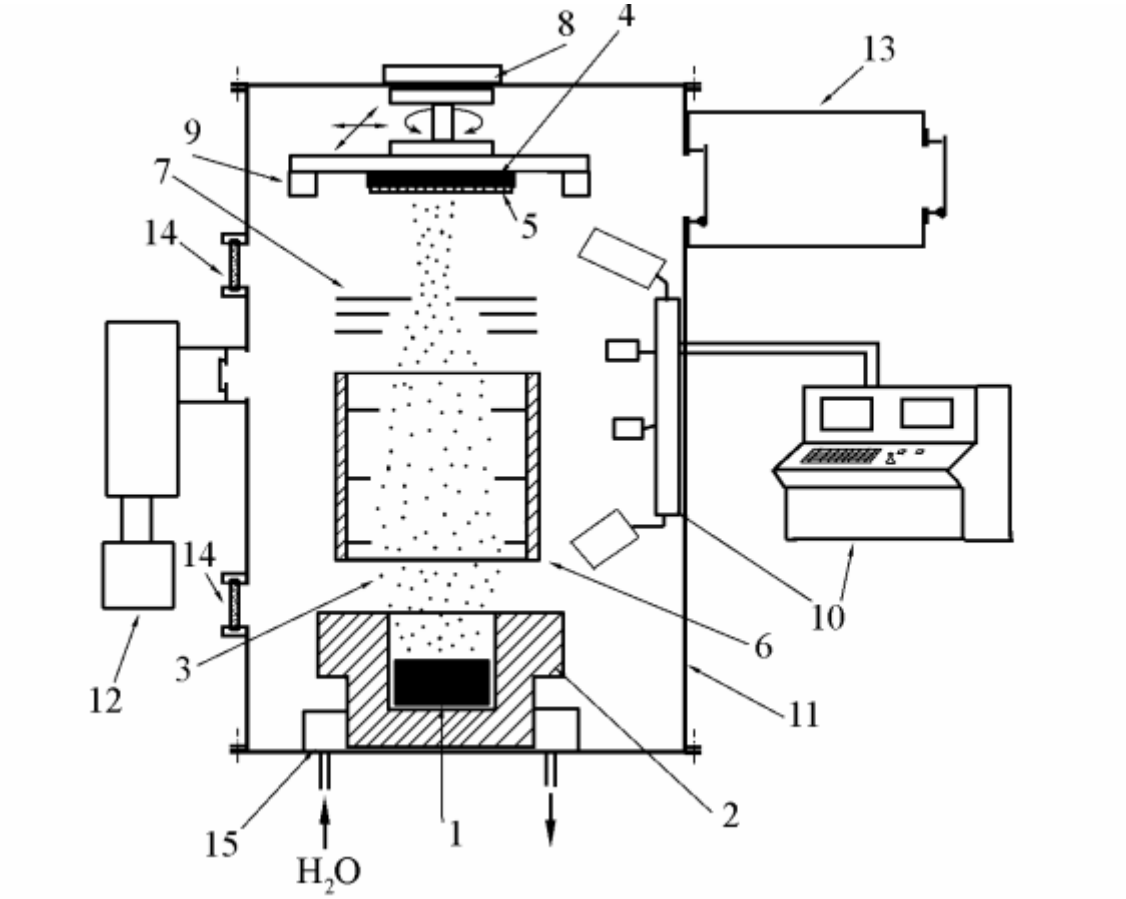


Рис.2. Типова схема установки для нанесення покриття PVD-методом:

1- матеріалу для покриття, 2- системи перекладу матеріалу в парову фазу, 3- потоку речовини, що випарувалася, 4- підкладки, 5- покриття, що формується, 6- системи транспортування матеріалу покриття в паровій фазі до підкладки, 7- системи фокусування (і сканування) потоку речовини, що осідає на підкладку, 8- системи закріплення підкладки і її контрольованого переміщення, 9- системи регулювання температури нагріву підкладки, 10- системи управління і контролю технологічними параметрами (температура підкладки, швидкість перекладу матеріалу в парову фазу, тиск в камері, швидкість осадження покриття, товщина покриття і ін.), 11- вакуумна камера, 12- системи створення і підтримки високого вакууму (система вакуумних засувок, форвакуумных і високовакуумних насосів, азотна пастка і ін.), 13- шлюзова камера і система подачі і зміни підкладок, 14- оглядові контрольні вікна, 15- системи охолоджування.

Технології, засновані на хімічних процесах.

Хімічне осадження з парової фази (CVD). Дана група методів заснована на осадженні плівок на поверхню нагрітих деталей із з'єднань металів, що знаходяться в газоподібному стані. Осадження, як правило, проводять в спеціальній камері при зниженому тиску за допомогою використання хімічних реакцій відновлення, піролізу, диспропорціонування. У ряді випадків можуть використовуватися реакції взаємодії основного газоподібного реагенту з додатковим. Найчастіше як такі з'єднання використовують карбонилы, галогени, металоорганічні сполуки. Наприклад, галогеніди металів відновлюються воднем до металу з утворенням з'єднання галогенів з воднем, а карбонилы за допомогою реакції піролізу розкладають

на метал і окисел вуглецю. Найбільш оптимальне протікання хімічних реакцій відбувається найчастіше при температурах 500÷1500оС. Тому оброблювані деталі нагрівають до цих температур, що забезпечує локалізацію хімічної реакції в поверхні деталей, а також оптимальне протікання процесу, високі властивості покриття і хорошу адгезію. Утворення покриття відбувається шляхом послідовного нашарування осідаючого матеріалу. Їх поділяють на два основних метода:

Осадження з використанням плазми тліючого розряду.

«Іонноактивованє хімічне осадження з парової фази».

Високі температури процесу можуть також активізувати процеси твердофазной або газофазній дифузії елементів між покриттям і підкладкою. З одного боку це робить негативний вплив на механічні властивості і структуру підкладки, а з іншою викликає додаткові проблеми у разі потреби здобуття наноструктурного стану самого покриття.

Метод CVD забезпечує здобуття покриттів товщиною 1.20 мкм із швидкістю 0,01.0,1 мкм/хв. Метод можна використовувати для нанесення покриття на внутрішні поверхні трубок і отворів. Окрім металевих плівок можна отримувати також плівки з бору, бориду, вуглецю, карбідів, нітриду, оксидів, кремнію і силіцидів. Основним недоліком CVD-метода є необхідність нагріву деталей до високих температур.

Перспективи застосування у суднобудівній галузі.

На даний час практично реалізовано кілька типів наноматеріалів, які успішно використовуються для підвищення зносостійкості деталей машин та механізмів.

Необхідними умовами здобуття порошків газофазним методом є зсув реакції від рівноважного стану, створення умов для високої швидкості утвореня зародків нової фази при малій швидкості їх росту. Відомий метод здобуття ультрадисперсних порошків (УДП) Zr02 високотемпературним парофазним методом. Діоксид цирконію широко використовується у виробництві вогнетривів, пігментів, абразивів, твердих електролітів, матеріалів електронної техніки. Кожна сфера застосування висуває свої вимоги до його фізико-хімічних властивостей. Але найбільш істотними і загальними в порошковій технології є вимоги до фазового складу, чистоти і дисперсності, які неабиякою мірою залежать від методу здобуття матеріалів.

Захист матеріалів. У ряді випадків для надійного функціонування виробів необхідно забезпечити високі водо- і масловідштовхувальні властивості їх поверхні. Прикладами таких виробів можуть служити автомобільні стекла, скління літаків і кораблів, захисні костюми, стінки резервуарів для зберігання рідин, будівельні конструкції і тому подібне У цих цілях розроблено покриття на основі наночасток оксиду титану з розмірами 20-50 нм і полімерного єднального. Дане покриття різко знижує змочуваність поверхні водою, рослинною олією і спиртними розчинами.

До перспективних та успішних досліджень застосування нанопорошків можна віднести дослідження GeneralElectric (США). Ця компанія проводить

випробування зносостійких нанопокриттів Cr3C2/NiCr і нових термобар'єрних покриттів на газотурбінних лопатках. Перші демонструють збільшення твердості на 16—63% і зносостійкості в 1,5—2 рази в порівнянні з традиційними крупнозереними матеріалами.

Одним з напрямків підвищення працездатності вузлів тертя двигунів внутрішнього згоряння є використання ультрадисперсних порошків (УДП) м'яких металів - частіше мідних сплавів, зокрема, оловянистой бронзи - в моторних маслах. УДП вводяться в масла у складі так званих металлоплакирующих препаратів, застосування яких викликано прагненням розробників цих препаратів отримати режим безізносності тертя, що супроводжується ефектом металлоплакірованія - утворенням на поверхні найтоншої плівки компонентів УДП.Встановлено [3], що добавки УДП оловянистой бронзи в моторне масло при роботі дизеля в умовах, коли ефект металлоплакірованія не реалізується, знижують питому ефективну витрату палива. Однак підвищення ефективного ККД відбувається не за рахунок зниження тертя в дизелі, так як механічний ККД залишається практично нечутливим до наявності бронзового УДП в маслі, а за рахунок збільшення індикаторного ККД.Таким чином намагаються добитися підвищення ефективного ККД, та захистити від зносу двигунів внутрішнього згоряння будь-якого типу, безпосередньо в процесі їх експлуатації.

Слід зазначити, що на комерційному ринку в даний час найширше представлені такі наноматеріали, як нанопорошки металів і сплавів, нанопорошки оксидів (кремнію, заліза, сурми, алюмінію, титану), нанопорошки ряду карбідів, вуглецеві нановолокна, фуллереновые матеріали.

Вплив малих добавок фуллереновой сажі на антифрикційні і протизнос властивості ПТФЕ Слід зазначити, що присутність фуллерена С60 в мінеральних мастилах ініціює на поверхнях контртіл утворення захисної фуллерено-полномерной плівки товщиною — 100 нм. Освічена плівка захищає від термічної і окислювальної деструкції, збільшує час життя вузлів тертя в аварійних ситуаціях в 3-8 разів, термостабільність мастил до 400—500?С і здатність вузлів тертя, що несе, в 2-3 рази, розширює робочий інтервал тисків вузлів тертя в 1,5-2 рази, зменшує час приробленння контр тіл.

Заключення.

Використовуючи розмірний чинник можна значно розширити можливості вживання існуючих неорганічних матеріалів. Наноструктурні металеві, керамічні, полімерні і інші матеріали мають значно вищі міцнісні властивості, що дозволяє створювати принципово нові пристрої, конструкції і прилади з такими експлуатаційними властивостями, які недосяжні при використанні традиційних матеріалів. Проте до цих пір невирішеним залишається питання низької пластичності наноматеріалів. Обмеження у використанні наноматеріалівполягає у тому, що матеріали з нанорозмірним зерном відрізняються крихкістю.Слід чекати, що результати подальших

досліджень дозволять створити високоміцні матеріали з достатньою пластичністю.

Отже, дослідження і розробки безпосередньо пов'язані зі створенням і реалізацією новітніх продуктів і технологій, відносяться дочисла найважливіших і актуальних напрямів розвитку науки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Наноматериалы, нанопокрытия, нанотехнологии: учеб. пособие / Н. А. Азаренков, В. М. Береснев, А. Д. Погребняк [и др.]. – Харьков : ХНУ им. В. Н. Каразина, 2009. – 209 с.

2. Конспект лекцій з дисципліни «Інноваційні процеси в інженерії поверхні» для студентів за напрямом 050504 «Зварювання» Київ, – 2012 р.

3. Крылов Д. А., Цветков Ю. Н. Эффективностьпримененияпрепаратов, содержащихвысокодисперсный порошок бронзы, в качестве добавок в моторные масла дизелей – Материалымеждународнойнаучно-практическойконференции «Водный транспорт России: инновационный путь развития». 6–7 октября2010 г. Том 2. – СПб.:СПГУВК, 2011. – С. 296–303.

4. http://www.rusnano.com/

5. http://www.region.irks.ru/page17.html

УДК 621.431.74:658.562.018:519.2

Лалетин Е.Л.

Установление базовых показателей качества судовых дизелей

При определении комплексного показателя качества продукции машиностроения, в частности судовых малооборотных дизелей, посредством средней арифметической [I] возникает проблема обоснованного выбора базовых показателей. Для этой цели ниже предлагается использовать теорию распределения крайних членов выборки [2]. Такой подход предполагает, что распределение вероятностей максимальных либо минимальных значений исследуемых показателей качества x подчинено двойному показательному закону

$$P(x)=exp(-e^{-y}) \qquad (I)$$

или

$$P(x) = 1-exp(-e^{y}), \qquad (2)$$

где y - нормируемое отклонение исследуемых максимумов или минимумов,

$$y = a(x - q) \quad \text{при} \quad a>0; \qquad (3)$$

q – некоторая константа.

Формулы (1,2) используются соответственно для максимальных и минимальных значений исследуемых величин.

Теоретическую зависимость (3) нормированных отклонений от значений исследуемых максимумов или минимумов используем для построения прогнозирующей прямой. Задаваясь определенной вероятностью и используя построенную зависимость, можно получить базовое значение показателя качества, соответствующее этой вероятности. Иными словами, можно с вероятностью *P* утверждать, что данный показатель качества не будет хуже соответствующего этой вероятности значения, которое принимается за базовое.

В качестве примера приведем расчет базового значения цилиндровой эффективной мощности судовых малооборотных дизелей. Основой для расчета послужила представительная выборка данных по 55 сериям основных, распространенных на морском флоте двигателей. Номинальные значения мощности двигателей можно считать крайними членами выборки, так как эксплуатационная мощность составляет 0,8 - 0,9 номинальной.

Расчетные данные удобно представлять в виде таблицы. Имеющиеся выборочные значения эффективной цилиндровой мощности $N_{ец} = X_к$ (в мегаваттах) располагают в ранжированный ряд (таблица, второй столбец).

Далее для каждого *k* -го члена ранжированного ряда рассчитывает вероятность распределения максимального члена по формуле

$P(xk) = k/(N+1)$,

где *k* - I, 2, ..., *N*;

N = 55 - общее число членов ранжированного ряда.

k	X_k	X_k^2	$P(x_к)$	$Yк$
I	0,368	0,135	0,018	-1,391
2	0,419	0,176	0,036	-1,201
3	0,427	0,182	0,054	-1,071
4	0,442	0,195	0,071	-0,973
5	0,442	0,195	0,089	-0,883
53	2,944	8,667	0,946	2,891
54	2,944	8,667	0,964	3,306
55	3,018	9,108	0,982	4,008
Всего	67,490	113,281		

Рассчитанные значения $P(x_k)$ записываем в таблице (четвертый столбец). По таблицам [2] находят соответствующие этим вероятностям значения Y_k (пятый столбец таблицы), которые необходимы для графического построения прогнозирующей прямой.

Координатную сетку графика строят следующим образом (см.рис.1). На вертикальной оси откладывается значения нормированных отклонений *y*. Параллельно этой оси строится дополнительная нелинейная шкала вероятностей распределения максимальных членов $P(x) = exp(-e^{-y})$ путем двойного логарифмирования этого равенства [2]:

$$Lg(-lg\,P(x)) = -ylge + lglge = -0{,}434y - 0{,}362.$$

На горизонтальной оси откладываются максимальные значения членов вариационного ряда (эффективной мощности). Затем на графин наносятся точки, соответствующие экспериментальной зависимости $x_k = f(y_k)$, являющейся, как видно из рисунка, линейной.

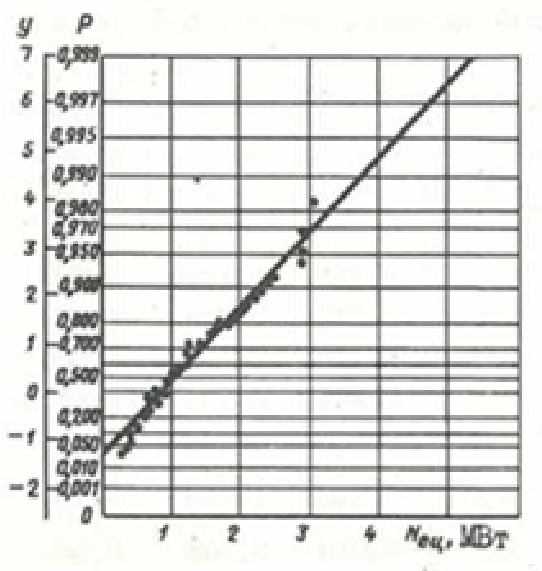


Рис.1 - Прогнозирующая прямая для определения бозового значения цилиндровой мощности судовых дизелей

Для нахождения уравнения прогнозирующей прямой вначале определяем среднее арифметическое $\bar{x}$ и выборочное среднее квадратическое отклонение S_x по формулам

$$\bar{x} = \sum_{k=1}^{N} x_k / N = 1,227;$$

$$S_x = \sqrt{\left(\sum_{k=1}^{N} x_k^2 - \frac{\left(\sum_{k=1}^{n} x_k \right)^2}{N} \right) / N} = 0,745.$$

Затем по таблицам [2, табл.10.5.2] определяем, при N =55, вспомогательные теоретические значения: Y = 0,550 и G55 = 1,168.

Уравнение прогнозирующей прямой, в соответствии с (3), запишем в виде

$$x = q + \frac{y}{a}.$$

Параметры a и y находятся из выражений:

$$1/a = S_x/G_N = 0,638; \; q = \bar{x} - Y_N / a = 0,876$$

После подстановки значений a и q получаем:

$$x = 0,638 \quad y + 0,876.$$

Это уравнение используем для построения прогнозирующей прямой (см. рис.1). Задаваясь вероятностью $P = 0,999$, находим соответствующее ей значение $N_{ец} = 5,3 МВт$, которое принимаем за базовое.

Предлагаемая методика позволяет выработать единый подход к выбору базовых значений показателей, что делает возможным сопоставление уров-

ней качества судовых малооборотных дизелей различных типоразмеров и модификаций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика оценки уровня качества продукции с помощью комплексных показателей и индексов. - М.: Изд. ВНИИС, 1984.

2. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики. - М.: Наука, 1979.

УДК 621.431.74-73

Кротенко Г.В.
Одесская национальная морская академия

Техническое использование центробежных сепараторов на судах

При эксплуатации СЭУ значение сепаратора исключительно велико. Высокоскоростные центробежные сепараторы, позволяющие увеличить ускорение силы тяжести в тысячи раз, являются естественным решением в системах топливоподготовки. Современные суда немыслимы без сепараторов, обеспечивающих очистку циркуляционного масла. Океанские суда с применением сепараторов увеличивают свой полезный тоннаж и уменьшают пожарную опасность, беря вместо больших запасов относительно небольшое количество технических масел, подвергая их во время плавания судов очистке и восстановлению.

Рассмотрим работу судового сепаратора фирмы ALFA LAVAL. Барабан сепаратора приводится во вращение от электродвигателя с помощью привода, включающего фрикционную муфту и ременную передачу. Барабан сепаратора крепится на верхнем конце оси, установленной в подшипниках и поддерживаемой специальными составными пружинами. Работа сепаратора проходит следующим образом. При закрытом барабане неочищенное топливо поступает в барабан по центральному неподвижному патрубку и проходя через каналы нижнего распределителя, поступает в пакет тарелок барабана. Здесь происходит очистка топлива. Вода и шлам, как более тяжёлые фракции, под действием центробежных сил перемещаются к периферии барабана в шламовую камеру 1, а чистое топливо движется к центру барабана и откачивается неподвижным разделительным диском 4 (насажен на центральный патрубок) в выходной патрубок. Скопившаяся вода из шламовой камеры поступает в водоотводящую камеру, откуда с помощью водоотделительной трубки 3 поступает в выходной патрубок. Принцип действия водоотделительной трубки может быть представлен следующим образом. Вращающийся поток воды, двигаясь с большой скоростью, скользит по

концу трубки, которая в установившемся режиме не подвижна и через отверстие на конце трубки вытесняется в выходной патрубок.

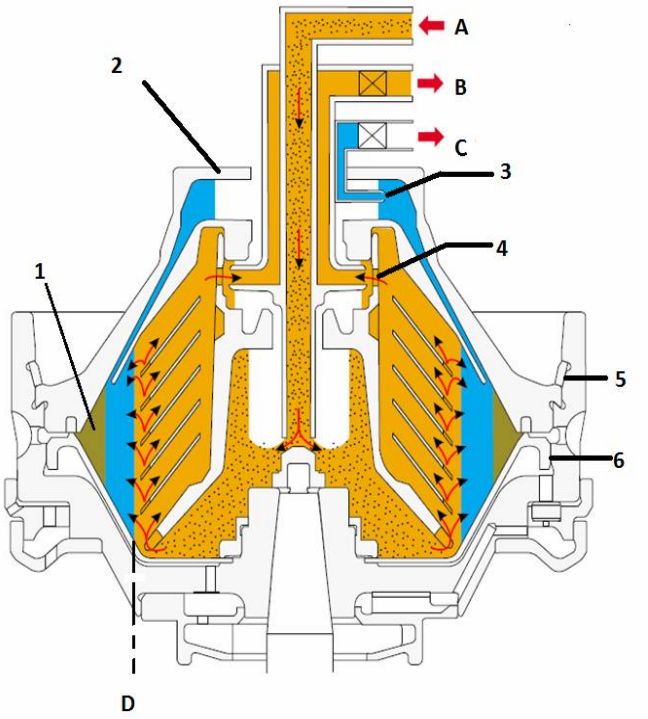


Рис. 1. Поперечный разрез барабана сепаратора: A — вход неочищенного топлива; B — выход очищенного топлива; C — выход воды; D — нейтральный слой; 1 — шламовая камера; 2 — колпак барабана; 3 — водоотделительная трубка; 4 — разделительный диск для удаления топлива; 5 — замковое стопорное кольцо; 6 — гибкое подвижное дно

Принцип действия водоотделительной трубки может быть представлен следующим образом. Вращающийся поток воды, двигаясь с большой скоростью, скользит по концу трубки, которая в установившемся режиме не подвижна и через отверстие на конце трубки вытесняется в выходной патрубок. Положение трубки на границе потока воды определяется гидродинамическим равновесием вращающихся масс топлива и воды. В результате этого она постоянно находится “на поверхности” вращающегося потока воды.

При установившемся процессе сепарирования в барабане создаётся так называемый "нейтральный слой" — условная цилиндрическая поверхность раздела фаз топлива и воды. Обычно диаметр этой поверхности соответствует положению водоотделительной трубки, т.е. "нейтральный слой" может смещаться или к центру барабана, или к его периферии. Положение "нейтрального слоя" зависит от гидродинамического равновесия трёх потоков, поступающего топлива и выходящих потоков чистого топлива и воды. Граница топлива и воды также напрямую зависит от разницы плотностей воды и топлива, температуры, вязкости, расхода и давлений воды и очищенного топлива на выходе из барабана сепаратора.

Современные высокоскоростные сепараторы имеют автоматическую систему выгрузки твердой фазы. Внутри барабана имеется механизм с гидравлическим приводом (рабочая жидкость – вода), обеспечивающий периодиче-

ское открытие и закрытие каналов выгрузки непосредственно вовремя вращения барабана.

Требования конвенции MARPOL являются приоритетными для судоходства, а повышение экологических требований к выбросам с судов является современной тенденцией. В соответствии с резолюцией IMO в международных водах разрешается сливать очищенную льяльную воду с содержанием нефтепродуктов не более 15 ppm. В ряде регионов мира национальными или региональными органами власти установлены дополнительные, еще более жесткие законодательные ограничения и, по мере возрастания экологических проблем, могут быть установлены еще более жесткие ограничения. Поэтому ведущие производители сепарационной техники разработали технологию очистки льяльных, вод используя центрифугирование.

Например, компания GEA Westfalia Separator разработала установку для очистки льяльных вод «BilgeMaster». Предложенная фирмой Alfa Laval система «PureBilge» используя только механическое воздействие, может обрабатывать большие объемы льяльной воды с производительностью до 5000 л/ч. Даные системы, сертифицированны в соответствии с резолюциями IMO MERC.107 (49) и USCG., получен сертификат регистра DNV подтверждающий качество очищенной воды не более 5PPM.

Действующая в статических системах сепарации естественная сила гравитации (нагрузка 1g) в таких динамических системах может быть увеличена в тысячи раз. Реализуемое в данных системах усилие составляет 6000g (при частоте вращения ротора 8000 об/мин) и обеспечивает эффективность разделения воды, твердых частиц и частиц нефтепродуктов. В сепарационных каналах пакета тарелок происходит слияние и укрупнение капель нефтепродукта и флокуляция твердых частиц. Кроме того, гироскопический эффект жидкости, вращающейся с высокой скоростью внутри барабана сепаратора, нивелирует воздействие килевой и бортовой качки.

Схема работы установки «PureBilge» следующая: Питающий насос с частотно-регулируемым приводом подает нефтесодержащую воду из танка хранения или емкости аналогичного назначения с льяльной водой в систему PureBilge. После пропускания через фильтр грубой очистки, задерживающий крупные частицы, содержащиеся в подаваемой смеси, жидкость проходит через теплообменник, в котором она нагревается до необходимой для обеспечения оптимальной эффективности сепарации температуры (обычно до 60–70 °С). После достижения заданных параметров технологического процесса (температуры подаваемой смеси, давления подачи и скорости вращения сепаратора) трехходовой распределительный клапан направляет поток в секцию сепарации. Если значение какого-либо отдельного параметра не соответствует заданному, клапан направляет поток обратно на рециркуляцию в танк хранения льяльной воды. Подаваемый поток льяльной воды обрабатывается в высокоскоростном центробежном сепараторе, из которого отделенные нефтепродукты и эмульсии непрерывно отводятся через соответствующий выпускной канал. Частицы твердой фазы, собирающиеся на периферии

барабана сепаратора, выгружаются без прерывания рабочего процесса через заранее установленные промежутки времени и направляются в резервуар для сбора шлама или нефтяных отходов. Встроенный водяной насос, или напорный диск, непрерывно откачивает очищенную воду из барабана сепаратора через соответствующий выпускной канал. Дальнейшее направление обработанной льяльной воды зависит от концентрации оставшихся в ней нефтепродуктов, которая постоянно измеряется в точке изокинетического отбора проб специальной системой контроля. При уровне содержания нефтепродуктов ниже допустимого значения (диапазон задаваемых возможных значений 0–15 ppm), очищенную воду можно сбрасывать непосредственно за борт или закачивать в накопительный танк для очищенной воды, откуда ее можно откачать позже. Если же концентрация выше допустимой, то смесь возвращается на повторную обработку – предпочтительно в «чистую» секцию танка-отстойника.

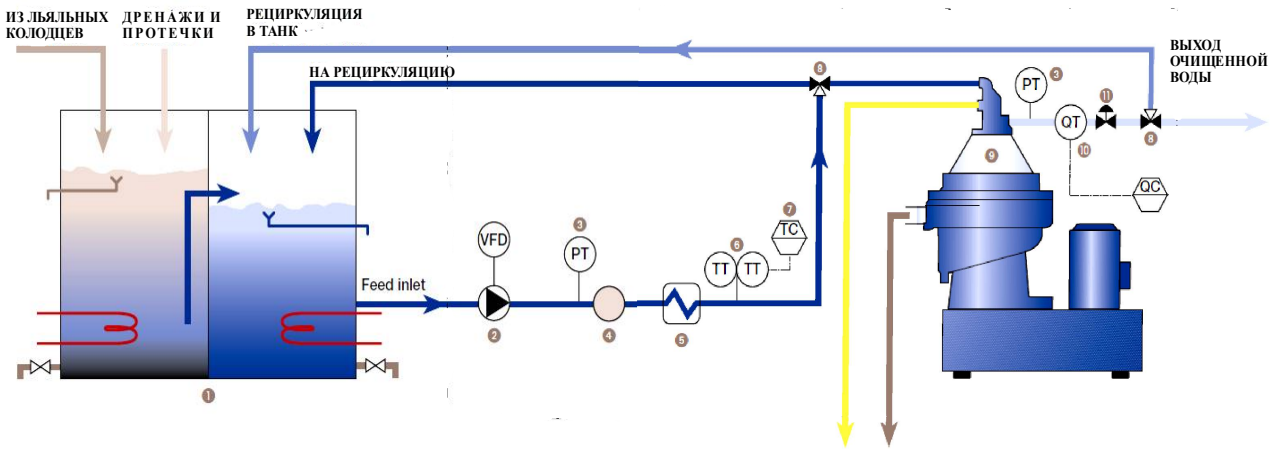


Рис.3 Схема работы установки «PureBilge»

1 - Двухсекционный танк-отстойник для льяльной воды; 2 - Питающий насос с частотно регулируемым приводом; 3 - Датчики давления; 4 - Фильтр грубой очистки; 5 - Устройство предварительного нагрева; 6 - Датчики температуры; 7 - Регулятор температуры; 8 - Трехходовые распределительные клапаны; 9- Высокоскоростной центробежный сепаратор BWPX 307; 10 - Устройство контроля концентрации нефтепродуктов в воде; 11 - Регулирующий клапан постоянного давления.

Выводы: Благодаря использованию высокоскоростных центробежных сепараторов очистка льяльных вод происходит в одноступенчатом режиме, даже при сильном волнении на море или при наличии стойких эмульсий. Центрифугирование позволяет уменьшить содержание нефтепродуктов в воде до уровня менее 5 ppm. Кроме того, в системе не используются химические реагенты, и она не требует интенсивного технического обслуживания, в отличие от традиционных систем с применением фильтров и статических коагуляторов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

www.alfalaval.ru

УДК 546.621

Козицький С. В.
Одесская национальная морская академия

Отримання нанопорошків оксиду алюмінію газодисперсним методом

Вступ

Нанотехнології - це способи створення нанорозмірних структур, які надають матеріалам та пристроям нові, а іноді просто незвичайні властивості [1]. Справа в тому, що така наночастинка складається всього лише з декількох тисяч атомів, тому всі вони виявляються близько до поверхні, на кордоні із зовнішнім світом, і енергійно з ним взаємодіють. Зі зменшенням розміру часток зростає їх поверхнева енергія і тому змінюються фізичні властивості речовини. Так оксид алюмінію Al_2O_3 є абразивним матеріалом і його наявність у парах тертя зумовлює абразивне зношування, а нанооксиду алюмінію покращує масильні та протизнасні властивості мастильних матеріалів.

Поверхнева енергія наноматеріалів

Проведемо оцінку поверхневої енергії [2], коли з одної сферичної частинку характерним розміром d_1 = 6 мкм утворимо N сферичних наночастинок з характеним розміном d_2 = 15 нм. Оскільки об'єм зберігається, то маємо наступне рівняння для визначення кількості N наночастинок

$$\frac{1}{6}\pi d_1^3 = N\frac{1}{6}\pi d_2^3,$$

Звідкіля отримуємо

$$N = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^3 = \left(\frac{6\cdot 10^{-6}}{15\cdot 10^{-9}}\right)^3 = 400^3 = 6{,}4\cdot 10^7 \qquad (1)$$

Оскільки поверхнева енергія пропорційна сумарній поверхні, то легко підрахувати відносне збільшення поверхневої енергії, в результаті дроблення

$$\frac{\Delta W}{W_1} = \frac{N\cdot\sigma\cdot\pi d_2^2 - \sigma\cdot\pi d_1^2}{\sigma\cdot\pi d_1^2} = N\cdot\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 - 1$$

де σ - поверхневий натяг матеріалу твердої частинки.

Підсавляючи значену для N, отримуємо

$$\frac{\Delta W}{W_1} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^3\cdot\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 - 1 = \frac{d_1}{d_2} = 399 \qquad (2)$$

Отже, в результаті переходу від використання присадок мікронних розмірів до присадок нанорозмірних у сотні раз збільшується поверхнева енергія матеріалу. Площа поверхні частинок достатньо велика і складає величину порядка 100 квадратних метрів на один грам нанопорошків. Робоча концентрація нанодисперсних порошків в маслі двигуна після введення становить

0,05–0,06%, що в сотні разів менше інших при використанні присадок мікронних розмірів.

Оскільки процес впровадження матеріалу присадок у пари тертя визначається поверхневою енергією, то стає зрозумілим переваги використання наноприсадок. За рахунок розвиненої поверхні напорошки мають дуже великі поверхневу енергію, що зумовлює нерівноважний стан при взаємодії нанопорошків з деталями. В результаті процеси самоорганізації [2] приводять до значного зменшення шорсткості та утворення плакувальної плівки, що має високу контактною міцність і пластичність, гарну теплопровідність, при низьких швидкостях збільшує фактичну площу контакту, знижує коефіцієнт тертя й зношування, захищає поверхні від схоплювання.

Метод газодисперсного синтезу отримання напорошків

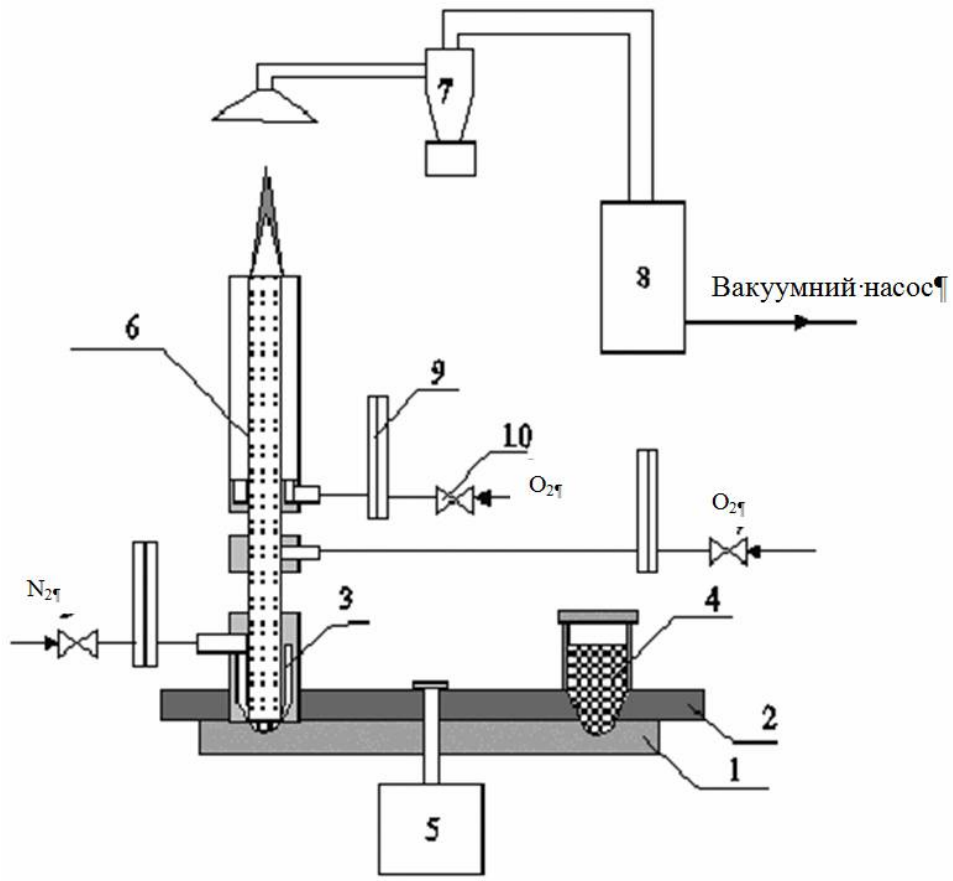
При горінні порошків металів можуть утворюватися наночастки оксидів металів. Для цієї мети необхідно використовувати стаціонарні ламінарні пилові полум’я. Реактор на основі факелу дозволяє істотно змінювати умови синтезу цільових продуктів шляхом варіації характеристик газосуспензії (головним чином концентрацій пального і окисника). При певних режимах горіння порошків металів у потоці окислювача, виникає режим, коли полюм'я саме себе підтримує і переходить до стаціонарного режиму, коли і відбувається синтез нанопрошків.

Блок-схема пристрій для отримання пилового полум'я металевих часток приведена на мал. 1 [3]. Дозатор 3 утворений двома щільно прилеглими металевими дисками 1 та 2, які насаджені на одну вісь. Верхній диск (2) служить для кріплення блоку розпилу, пальника 6 і бункера з порошком 4. Нижній диск 2 за допомогою електродвигуна 5 обертається із заданою кутовою швидкістю відносно верхнього диска. На його верхній площині є кільцева вибірка, яка при обертанні диска заповнюється порошком металу з бункера. Шар порошку поступає до отвору блоку розпилу, розпилюється високошвидкісним потоком газу (повітря), що поступає через кільцеву щілину, і подається в циліндричну трубку пальника. Кількість порошку, що виноситься газом, регулюється зміною швидкості обертання нижнього диска дозатора.

Газова суспензія металевих часток на виході з коаксіального пальника підпалюється за допомогою пропанового пальника. Після встановлення на зрізі пальника стаціонарного двофазного факела газовий запалювальний факел відключається.

Змінювати умови горіння газової суспензії часток металу у факелі можна шляхом варіації макроскопічних параметрів: масової концентрації часток пального у газовій суспензії, концентрації кисню в супутнім потоці газу окислювача, розміру часток (дисперсії) пального, початкової температури газової суспензії, виду газу, що переносить частинки, тощо. Для отримання порошків оксидів різних металів зазвичай використовуються промислові порошки металів з середнім діаметром часток d = 2-5 мкм. Чистота

нанопорошків оксидів, отриманих методом газодис-персного синтезу, безпосередньо пов'язана з чистотою початкової сировини.



Мал. 1 – Схема реактора газодисперсного синтезу1, 2 - система подачі; 3 - блок розпорошення; 4 - бункер з порошком;5 - електродвигун; 6 - пиловий пальник; 7 - циклон; 8 - фільтр з тканини; 9 витратомір; 10 - газова магістраль.

Отримання оксидів металів методом газодисперсного синтезу

Джерелом отримання наночасток оксидів металів Al_2O_3 за методом газодисперсного синтезу є ламинарный двофазний факел, в якому порошок металу згорають у газоподібному окиснику в самопідрумуючому режимі.

Реактор на основі заздалегідь перемішаного факелу дозволяє істотно змінювати умови синтезу цільових продуктів шляхом варіації характеристик газосуспензії (головним чином концентрацій пального і окисника), економічний з точки зору витрачання окисника (як газ, що несе, може використовуватися повітря), але вимагає вживання спеціальних заходів для запобігання проскакуванням полум'я в систему подачі газосуспензії.

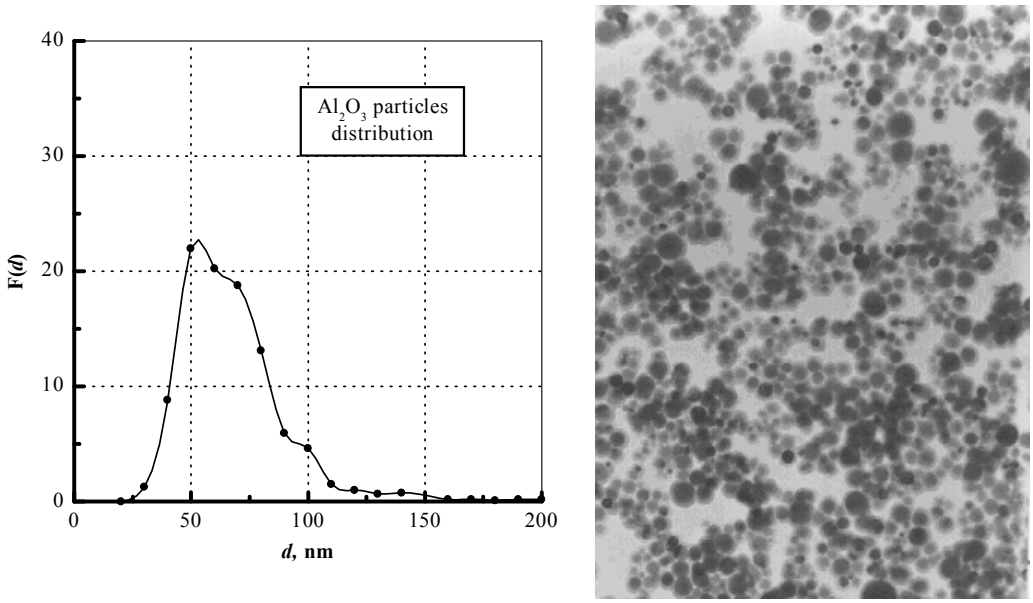
Для отримання наночасток необхідно щоб частки металу горіли з утворенням продуктів в газовій фазі, тобто в парофазному або газофазному режимі. Парофазний механізм горіння часток реалізується, коли температура часток досягає температури кипіння металу, що виконується для Al. Хімічна реакція може протікати через газоподібні субоксиди, в об'ємі, що оточує частку, утворені судокисли доокислюються до повних оксидів, тобто має місце газофазний режим горіння.

На мал. 2 наведені характерні розподіли наночасток оксидів металів за розмірами і зовнішній вигляд часток за фотографіями з електронного мікроскопу.

Фізичні параметри нанопорошків оксиду алюмінію

За даними рентгенофазного аналізу (90-95)% окислу алюмінію відноситься γ – модифікацію, яка має гексагональну структуру. Залишок містить суміш кристалічних фаз β і δ фази, а абразивної α – фази (структури алмазу) з точістю, з якою провенено рентгенофазний аналіз (0,5%) не виявлено.

У нанодисперсному порошоку триоксид алюмінію $\{Al_2O_3\}$ в зонах тертя при значних навантажень відбувається розрив зв'язків алюміній-кисень і атоми алюмінію заміщають атоми заліза на поверхні, утворюючи поверхневий шар, що представляє собою твердий розчин з іншою пластичністю. У поверхневому шарі металу утворюються оксиди і карбіди алюмінію і заліза, що зміцнюють його зносостійкість.



Мал. 2. Розподіл часток по розмірах і зовнішній вигляд нанооксиду алюмінію : диференціальний розподіл по розмірах часток Al_2O_3; та - фотографія наночасток Al_2O_3 (збільшення x20000)

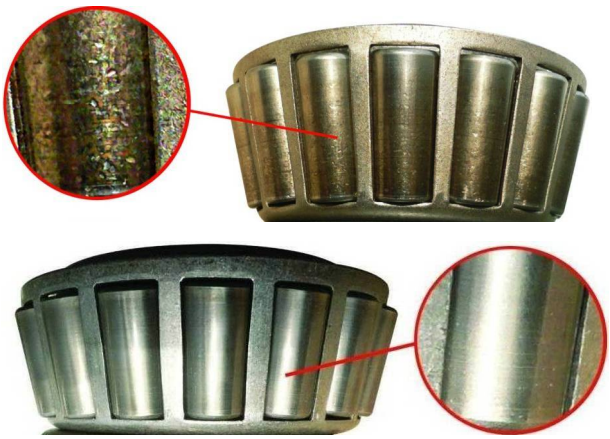
При введенні нанодисперсному порошоку триоксид алюмінію $\{Al_2O_3\}$ в масляну систему двигунів внутрішнього згоряння наступають наступні позитивні ефект [7]:

Модифікуються поверхні тертя, знижується швидкість зносу сполучених деталей;

Продовжується термін служби моторного масла.

На мал. 3 наведені результати випробувань на реальному двигуні при високих навантаженнях підшипника: вгорі підшипник, який експлатувався 1000 годин з використанням стандартних присадок до мастильного матеріалу, а внизу такий самий підшипник при експлуатації протягом 6000 голин з вико-

ристання присадки 30 мг нанопрошку оксиду алюмінію на 1 літр мастильного матеріалу.



Мал. 3. Зношування підшипників кочення: вгорі підшипник після 1000 годин експлуатації, внизу з використанням нанопорошку Al_2O_3 після 6000 годин експлуатації

Висновки:

Нанопорошки найближчим часом знайдуть широке застосування при експлуатації суднових механізмів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛИТЕРАТУРИ

1.Новіков О. Нанотехнології в Україні / Винахідник і раціоналізатор. – 2009. - № 11-12. – С. 43-45.

2.Козицький С. В., Золотко А. Н. Молекулярна фізика. Підручник. – Одеса: Астропринт, 2011. – 352 с.

3. Poletaev N. I., Zolotko A. N., Florko A.V., Vovchuk J. I., Nazarenko A.A. Chemical Engineering – A Key Technology Serving Mankind. Nurnberg, Germany, Proceding of 3-rd European Congress of Chemical Engineering. – Nurnberg, 2001. – P. 124-125

4. Poletaev N. I., Vovchuk J. I. Particularities of the Laminar Flame / Internation Conference on Combustion and Detonation Zel'ldovich Memorial, 2004, Moskow, Russia: Proceedings – Moskow, 2004. – P. 11-15

5. Dorioshenko Ya.A., Poletaev N. I. About possibility of metal oxide spinal nanopowders by method of gas-dispersed synthesis / 32-nd Internation Symposium on Combustion, August 3-8, Montreal, Canada: MCGill University. – Montreal, 2008. – W4P010

6. Dorioshenko Ya.A., Poletaev N. I., Vishniakov V. I. Dispersion of dust size in the hlasma of aluvminium dust flame / Physics of Plasmas. – 2009. – V.16. – 094504

7.НІАЦ "Н і Н" / Нанотехнології. - Електрон. форум. - 2008. – 16.04.

УДК 621.762

Ст. викл.Латиш О.М.
Одеська національна морська академія

Отримання нанопорошків механічними методами

Подрібнення матеріалів механічним шляхом в млинах різного типу широко використовувалося і до епохи нанотехнологій. Проте слід враховувати, що при дробленні до великих часток витрата енергії пропорційна обсягу тіла яке подрібнюється, а при отриманні наночастинок робота подрібнення пропорційна головним чином площі утвореної поверхні. Тому в даному випадку потрібне використання млинів високої потужності - аттритори і сімолойеров. Це високоенергетичні подрібнювальні апарати з нерухомим корпусом - барабаном і мішалками, які передають рух кулям в барабані. Швидкість обертання мішалок може досягати 3000 об / хв. Аттритори мають вертикальне розташування барабана, сімолойери - горизонтальне. Подрібнений матеріал розмелюють кулями, на відміну від інших типів подрібнюючих пристроїв, відбувається головним чином не за рахунок удару, а за механізмом стирання. Ємність барабанів в установках цих двох типів досягає 400-600 л.

Механічним шляхом подрібнюють метали, кераміку, полімери, оксиди, крихкі матеріали. Ступінь подрібнення залежить від виду матеріалу. Так, для оксидів вольфраму і молібдену отримують розміри частинок близько 5 нм, для заліза - близько 10 ... 20 нм. Різновидом механічного подрібнення є механосинтез, або механічне легування, коли в процесі подрібнення відбувається взаємодія подрібнених матеріалів з отриманням подрібненого матеріалу нового складу. Так отримують нанопорошки легованих сплавів, інтерметалідів, силіцидів і дісперсноупрочненних композитів з розміром часток 5 ... 15 нм.

Головню перевагою способу є те, що за рахунок взаємодиффузії у твердому стані тут можливе отримання «сплавів» таких елементів, взаємна розчинність яких при використанні рідкофазних методів дуже мала. Як приклад можна відзначити сплави заліза і міді.

Позитивною стороною механічних способів подрібнення є порівняльна простота установок і технологій, можливість подрібнювати різні матеріали і отримувати порошки сплавів, а також можливість отримувати матеріал у великій кількості.

До недоліків методу відносяться можливість забруднення подрібнювального порошку матеріалами яки приймають участь в подрібнені, а також труднощі отримання порошків з вузьким розподілом частинок за розмірами і складності регулювання складу продукту в процесі подрібнення.

При отриманні наночастинок будь-яким методом виявляється ще одна їх особливість - схильність до утворення об'єднань частинок. Такі об'єднання називають агрегатами і агломератами. В результаті при визначенні розмірів наночастинок необхідно розрізняти розміри окремих частинок (кристалітів) і

розміри об'єднань частинок. Різниця між агрегатами і агломератами не є чітко визначеною. Вважається, що в агрегатах кристаліти більш міцно пов'язані і мають меншу міжкристалічну пористість, ніж у агломерату.

Інший поширений механічний метод одержання порошків наночастинок - диспергування розплавів потоком рідини чи газу. Це високопродуктивний процес, який легко здійснити за безперервною схемою і автоматизувати, він економічний і екологічний. Цим методом отримують порошки металів і сплавів Fe, Al, Cu, Pb, Zn, Ti, W та ін.

Диспергування перегрітих розплавів, в яких міжатомні зв'язку вельми слабкі, призводить до утворення досить однорідних як за складом, так і за розмірами частинок, ступінь кристалічності яких можна варіювати, змінюючи швидкість їх охолодження. Зазвичай швидкість охолодження коливається від 103 до 108 градусів за секунду в залежності від конкретного методу. Якщо при розпиленні металів вона перевищує 106 градусів в секунду, то утворюються швидкозагартовані повністю аморфні порошки, з яких виготовляють унікальні матеріали.

В даний час найбільш поширений відцентровий метод одержання металевих порошків. Розплав металу розпорошується за допомогою диска, що обертається зі швидкістю більше 20000 об / хв. Залежно від способу реалізації відцентрового методу процеси плавлення і розпилення можуть бути суміщені або розділені.

Один з різновидів диспергування розплавів - спінінгування. У цьому методі тонка струмінь розплавленого металу набризкується на охолоджуваний барабан, який обертається в інертній атмосфері. Структура отверділого металу або сплаву визначається швидкістю потоку рідини, частотою обертання барабану і їх взаємним розташуванням. Утворені аморфні сплави містять кристалічні включення, розмір яких становить кілька десятків нанометрів. Подібні сплави володіють підвищеними механічними властивостями.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛИТЕРАТУРИ

1. Ч. Пул, Ф. Оуэнс Нанотехнологии М.: Техносфера, 2004. – 328 с.
2. Наноматериалы, нанопокрытия, нанотехнологии: Учебное пособие/Н25 Азаренков Н. А., Береснев В. М., Погребняк А. Д., Маликов Л.В., Турбин П. В. – Х.: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2009. – 209 с.
3. Глинчук М. Д., Рагуля А. В. Нанофероїки, 2010. – 314 с.
4. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурированные материалы. М.: Академия, 2005. – 192 с.
5. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М.: Физматлит,2005. – 416 с.

6. Суздалев И. П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М.: КомКнига, 2006. – 592 с.

УДК 30.17+39.4

Опришко М.О.
Одеська національна морська академія

Огляд підходів і методів ергономічного проектування і устаткування ходового містка

З ергономічної точки зору ходовий місток розглядається як єдиний комплекс, призначений для управління рухом судна і його маневрами. Ходовий місток включає рульову рубку і крила містка. До складу рульової рубки даний час зазвичай входить зона роботи штурмана, яка до 60-х рр. виділялася в окреме приміщення - штурманську рубку.

Основне призначення рульової рубки - створення сприятливих умов для роботи людини. Вона повинна захищати від негоди, виключати відволікаючі фактори (сліпучі промені сонця, звуки,що не відносяться до роботи та ін.), забезпечувати хорошу видимість за курсом і по бортах судна, допускати вільний перехід з борту на борт з виходом на крила ходового містка. Численні прилади і пульти судноводіння, спостереження, зв'язку та управління необхідно зручно розмістити в рульовій рубці, забезпечивши до них вільний доступ. За допомогою цих приладів вахтовий виконує свої обов'язки, серед яких, як найбільш важливі, виділяються:

- управління судном шляхом впливу на головні двигуни, рульове та інші пристрої і механізми (вибір курсу і швидкості, маневрування, швартування та ін.);
- навігація - визначення місця судна і прокладка курсу на морських навігаційних картах;
- зв'язок з суднами, береговими постами, а також внутрішньосуднова;
- забезпечення безпеки плавання і вживання заходів з порятунку судна в разі аварії, пожежі або пробоїни.

Щоб ефективно виконувати настільки широке коло обов'язків, судноводій повинен мати достатньо повну інформацію про стан судна, його механізмів, систем і пристроїв. Тому на приладах і пультах судноводіння, спостереження, зв'язку і управління розміщується до 200 індикаторів (шкали, табло, сигнальні лампи) і безліч різних ручних маніпуляторів (тумблерів, вимикачів та ін.).

В якості активної ланки СЧМ вахтовий виконує цикл сприйняття - переробка інформації - прийняття рішення - дія. Наслідки дії сприймаються ним за сигналами, що інформують про результати дії. Ці сигнали знову переробляються після повторного сприйняття.

Компонування приладів та їх індикаторів в пультах полегшала роботу вахтового, дозволила обмежити його переміщення по рубці, значно підвищила

естетичні властивості приміщення. У відповідності з основними напрямками роботи судноводія створюються пульти:

- управління судном;
- навігації;
- зовнішнього зв'язку, контролю стану суднових приміщень та дистанційного керування засобами пожежогасіння.
- Пульт керування судном часто називають головним пультом управління. Він має в своєму складі наступні секції:
- управління головним двигуном, підрулюючим і якірним пристроями;
- засобів безбатарейного зв'язку з центральним постом управління, розташованим в машинному відділенні;
- засобів гучномовного зв'язку з робочими зонами носового і кормового швартовних комплексів;
- авторульового, встановлюваного в діаметральній площині судна;
- засобів індикації глибини і швидкості;
- засобів контролю за станом основних технічних систем судна.

Залежно від розмірів рубки пульт управління судном встановлюють або безпосередньо у лобової переборки, або на деякій відстані в корму від неї, достатньої для вільного проходу судноводія (останній варіант краще). Навігаційний пульт розміщують в центрі рубки або в її кормовій частині, на відстані не менше 1 м від кормової переборки. Він включає в себе індикатори радіонавігаційних систем ближньої і дальньої дії, секції електронавігації (планшетом автопрокладчика), радіопеленгатора. Штурманский стіл розташовують так, щоб штурман під час роботи був звернений обличчям у напрямку руху судна і міг вести спостереження по курсу судна і його бортах. На столі передбачається пристрій для кріплення навігаційних карт. По всій довжині штурманського столу нижче рівня його робочої поверхні встановлюють штормові поручні. У темний час доби робоче місце вахтового штурмана (штурманський стіл і навігаційний пульт) відокремлюється від іншої частини рубки світлозахисними відкидними щитами і шторами. Стіл для прокладки шляху судна має підсвічування від світильників з регульованою силою світла і світлофільтрами, що виключають появу відблисків у поле зору штурмана. Пульт зовнішнього зв'язку включає радіостанцію, телетайп, управління світловою та звуковою сигналізацією. Пульт контролю стану суднових приміщень та безпеки судна включає прилади пожежної безпеки, автомати подачі сигналу тривоги і лиха, прилади контролю сигналізації, самописець ехолота, барометр, барограф та ін.

Важливим кроком у вирішенні завдання підвищення безпеки мореплавання стала передача обробки всієї інформації, що надходить до електронно-обчислювальної машини, створення на її основі комплексних систем автоматизації процесів судноводіння, здатних виконувати безперервне числення шляху з періодичною корекцією за даними радіонавігаційних систем, прокладку шляху на карті, обчислення елементів зближення зустрічних суден і

оцінку ступеня небезпеки цього зближення, рішення задачі разходження із зустрічними судами та ін. У разі застосування автоматизованого навігаційного комплексу штурман виконує операції початкового введення даних (насамперед координат точки відходу судна), установку і заміну карт на автопрокладувачі. За штурманом зберігаються функції контролю за навігаційним комплексом та управління судном.

При великій ширині судна істотне значення набувають крила ходового містка. Розроблено секції пульта, що встановлюються на крилах містка, з елементами управління, дублюючими елементи пультів, розташованих в рульовій рубці (наприклад, управління швартовних операцій, дистанційного автоматичного управління та ін.).

Останнім часом велику увагу при обладнанні робочого місця приділяють обліку фізіологічних особливостей людини. Для опори спини рульового встановлюють бар'єр з регульованою висотою. Для вахтового штурмана встановлюють обертове крісло з регульованим по висоті сидінням і підпряжним ременем.

До недавнього часу вважалося, що в рульовій рубці встановлювати сидіння недоцільно, оскільки при одноманітності навколишнього оточення вахтовий в нічний час може заснути під монотонний шум моря і суднової енергетичної установки. В даний час ставлення до цього питання змінилося, так як ергономічні дослідження показали більшу ефективність роботи оператора в положенні «сидячи».

Висота пульта дозволяє вахтовому вести спостереження через вікно рубки. Сучасна рульова рубка забезпечує панорамний огляд по горизонту не менше 240 °. Вікна рубки роблять максимально можливого розміру, проміжки між ними скорочені до 130-150 мм. Лінія вікон звільняється від приладів. Окантовка ілюмінаторів забарвлюється в колір переборки, щоб не відволікати уваги судноводія. Конструкція ілюмінаторів передбачає можливість очищення скла від дощових крапель, снігу і льоду. Рубка має не менше трьох вікон, забезпечених електрообігрівом, склоочисниками і сонцезахисними фільтрами. Верхні половини дверей рубки, провідні на крила містка, роблять засклеными. В іншому випадку судоводитель змушений часто виходити на крила містка або тримати двері відкритими. Світильники і сигнальні лампи в рубці розташовують так, щоб світлові промені не були спрямовані в бік вікон і не створювали відблисків на склі, так як їх можна помилково прийняти за вогні об'єктів, що знаходяться за курсом. Основні поверхні в рубці - підволока, палуби, переборки, пульти роблять матовими, слабо відображаючими падаючі на них промені світла. При розміщенні обладнання рубки дотримується принцип функціонального угруповання приладів, при цьому враховують їх важливість, частоту застосування, зручність сприйняття і раціональність освітлення. Візуальні індикатори розташовують так, щоб найбільш важлива інформація легко виділялася серед менш важливою і була максимально зрозумілою. Органи управління роблять доступними і простими в обігу.

З ергономічної точки зору дуже важливо враховувати психологічне навантаження оператора інформацією. Так як тривала напруга м'язів очей викликає втому і погіршення сприйняття сигналів, переважно застосування приладів, у яких замість шкал дані показання типу «нормально», «дуже багато» «занадто мало». У ряді випадків, особливо при видачі граничної або заздалегідь встановленої інформації, звукові індикатори переважніше зорових: латентний період слухової індикації менше зорової у 1,5-2 рази. Слухова індикація сприймається на значно більшій відстані, ніж зорова.

Слід уникати яскравого і контрастного освітлення приладових щитків і пультів управління, оскільки це викликає швидке стомлення очей. Рекомендується регульоване підсвічування приладів підняти червоним світлом. Для несучих нічну вахту в рульовій рубці важлива швидка переадаптация до темряви і світла. Тому неприпустимо, щоб перед вахтовим знаходилася велика кількість яскраво освітлених приладів. Штучне освітлення рубки забезпечується світильниками з розсіювачами з форменого оргскла. Світильники вбудовують в зашиття підволока безпосередньо над робочим місцем.

В денний час умови роботи вахтового в рульовій рубці несприятливі через великі яскравості контрастів при чергуванні спостереження об'єктів поза і всередині рубки. Для пом'якшення цих контрастів колір поверхонь, що знаходяться в полі зору вахтового при спостереженні за навколишнім оточенням (лобова і бічна переборки, підволока), приймається близьким до кольору моря і неба. Палуба рубки може бути нейтрального сірого кольору. Вона покривається нековзною мастикою або килимом.

Стомлюваність судноводія під час вахти може бути знижена завдяки створенню комфортних умов праці. Тому приміщення ходового містка слід забезпечувати системою кондиціонування повітря, що допускає індивідуальне регулювання. Крім того, необхідно вживати заходів для того, щоб шум на ходовому містку не перевищував 50 дБ. Велике значення надається стандартизації рульових рубок. Наявність стандартизованих рульових рубок на всіх судах не вимагало б перенавчання судноводія при переході з судна на судно.

Якщо органи управління, контролю і сигналізації розташовані інакше, ніж на судах, де відпрацьовувалися навички, то відпрацьовані навички в нових умовах можуть привести або до затримки в діях, або до неправильних дій. Крім того, типізація планувань рубок дозволила б спростити і здешевити проектування, будівництво та ремонт судна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. http://www.shipinterior.ru/ergonomika/primery_ucheta_trebovanij_ergonomiki/ergonomicheskij_podxod_k_proektirovaniyu/

2. Адамчук В.В. Эргономика / В.В. Адамчук – М. : Издательство «Юнити-Дана»,1999. – 254с.

3. Зеленин М.П. Эргономика на морском транспорте / М.П.Зеленин – М. : Издательство «БАНТО», 1999. – 388с.

4. Рунге В.Ф. Эргономика и оборудование интерьера / В.Ф. Рунге М. : Издательство «Архитектура-С», 2006. – 160с.

УДК 620.18

Швец А.И.
Одесская национальная морская академия

Получение нанопорошков химическими методами

В последнее время значительное внимание уделяется получению нанодисперсных материалов, в частности – нанопорошков. Это вызвано тем, что в этом состоянии проявляются особые свойства вещества (магнитные, оптические и др.), которые не характерны для объемных материалов и обусловлены, в первую очередь, связями между атомами.

Поэтому получение и исследование нанопорошков является важным задачей в создании техники нового поколения.

К числу нанодисперсных материалов относят объекты, которые имеют «наноразмер», хотя бы в одном направлении – кристаллы, пленки, трубки.

Методы получения нанопорошков весьма разнообразны. Эти методы можно классифицировать по принципу изменения размера частиц в ходе синтеза:

- диспергационные методы (основаны на диспергировании исходных материалов),
- конденсационные методы (основаны на получении наночастиц из систем, в которых вещества диспергированы на молекулярном или атомном уровне),
- газофазные,
- жидкофазные,
- твердофазные.

В любом случае результат зависит от первоначального метода получения химического соединения.

Рассмотрим некоторые эти методы.

1) Метод разложения

Нанопорошки простых оксидов можно получить таким простым способом как разложение термически нестойких солей (нитратов, сульфатов и др.) и гидроксидов. Когда эти вещества разлагаются, то выделяются газообразные продукты. Это приводит к диспергированию твердого продукта реакции. Как правило, чем ниже температура проведения процесса, тем мельче частицы образующегося оксида. Поэтому наиболее мелкодисперсные оксиды получаются при разложении гидроксидов, т.к. температура их разложения, в ряде случаев, обычно ниже, чем солей.

Как следует из литературных источников, самые мелкие частицы оксида никеля (5 нм) получаются при разложении гидроксида никеля при температуре 220ºС. При разложении нитрата при 350ºС образуется порошок с размером зерен 40 нм, а при разложении ацетата при 375ºС – порошок NiO со средним размером частиц 23 нм (Рис.1).

Таким образом, этот простой метод, не требующий никакого оборудования, кроме печи, позволяет получать нанопорошки простых оксидов с размером (однако трудно контролируемым) частиц порядка единиц-десятков нанометров.

2) Методы конденсации

Эти методы основаны на получении наночастиц из систем, в которых вещества уже диспергированы на атомном или молекулярном уровне, т.е. из растворов и газовой фазы.

2.1. Растворные методы

Химические методы на основе растворных технологий являются трехстадийными: приготовление прекурсора; обезвоживание; отжиг.

Эти методы разделить на следующие группы: (1) методы, которые основаны на различных вариантах смешения исходных компонентов; (2) методы, которые основаны на различных вариантах удаления растворителя; (3) методы сжигания.

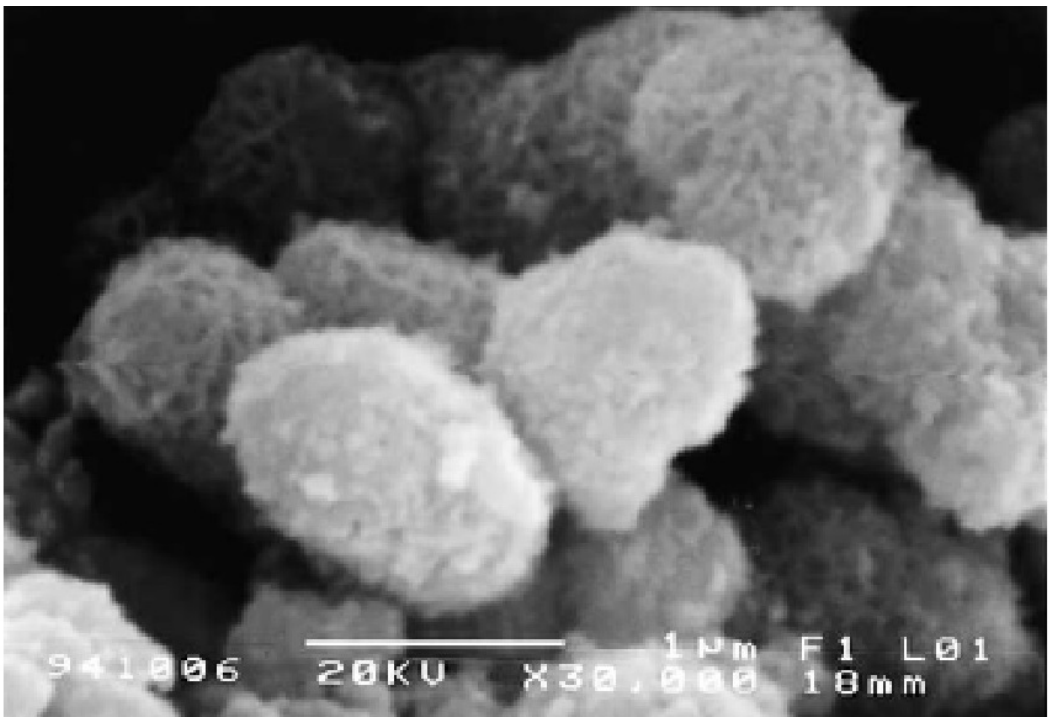


Рис. 1. Структура порошка окиси никеля NiO, полученного разложением нитрата никеля.

2.1.1. Методы смешения исходных компонентов

Пример синтеза сложного оксида этим методом - получение $Mg_4Nb_2O_9$.

В качестве исходных веществ использовали гексагидрат нитрата магния $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, оксид ниобия Nb_2O_5 и гидроксид натрия.

Nb_2O_5 растворяли в минимальном количестве плавиковой кислоты (HF) при нагревании После этого раствор охлаждали до комнатной температуры

$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$. растворяли в дистиллированной воде. Затем растворы смешивали в необходимых соотношениях и добавляли водный раствор щелочи до pH = 12, при котором обеспечивалось полное осаждение гидроксидов. После фильтрования раствор промывали водой несколько раз и высушивали в печи при 100ºС в течение 12 часов. Полученное соединение отжигали при 750ºС в течение 6 часов. После этого был получен твердый продукт – $Mg_4Nb_2O_9$ со средним размером зерен 150 нм (рис. 2.)

В качестве достоинства метода следует отметить его чрезвычайную доступность (не требуется никакой сложной дорогостоящей аппаратуры). Однако этим методом получаются порошки с размером зерен не менее сотни нанометров; получение частиц меньшего размера невозможно.

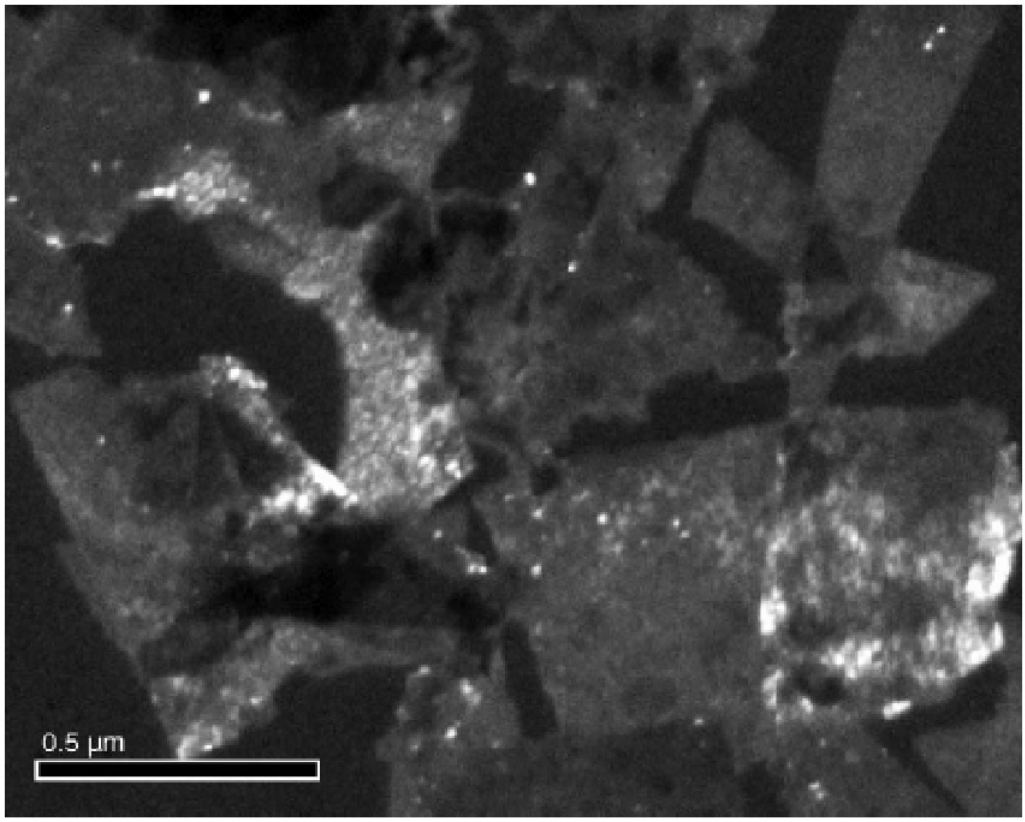


Рис. 2. Изображение $Mg_4Nb_2O_9$, полученного методом осаждения из водного раствора и отожженного при 750ºС.

2.1.2. Золь – гель метод

Широкое распространение получили методы синтеза материалов из специально приготовленных коллоидных растворов на основе оксидов или реже – сульфидов металлов.

Коллоидные системы состоят из очень мелких частиц (10 – 100 ангстрем), которые при высушивании по-разному распределяются в пространстве, и, таким образом, можно получить самые разнообразные по свойствам материалы. Так, если нанести слой коллоидного раствора оксида на тонкую органи-

ческую пленку, а затем высушить его и сжечь пленку в кислороде, то можно получить пористую мембрану для очистки жидкостей фильтрацией.

2.1.3. Гидротермальный метод

Сущность гидротермальный метода заключается в нагревания солей, оксидов или гидроксидов металлов в виде раствора или суспензии при повышенной температуре (обычно до 300ºС) и давлении (около 100 МПа). При этом в растворе или коллоидной системе происходят химические реакции, приводящие к образованию продукта реакции – простого или сложного оксида.

Гидротермальным методом был проведен синтез нанокристаллических порошков различных модификаций ZrO_2 и TiO_2 с размерами частиц от 3 до 30 нм; $CaWO_4$ с размером частиц 20-40 нм.

Гидротермальный метод получил широкое развитие в последнее десятилетие благодаря сравнительной простоте и дешевизне (из оборудования необходим только автоклав) и возможности получения практически монодисперсных нанопорошков с размером частиц в единицы нанометров.

2.1.4. Метод быстрого термического разложения прекурсоров в растворе

Метод основан на быстром охлаждении сверхкритических (как правило, водных) растворов, в результате чего из пересыщенного раствора выкристаллизовывается осадок с частицами наноразмеров. Сверхкритические растворы получают растворением солей (обычно нитратов) металлов в воде с последующем их нагреванием под давлением в автоклаве. Температура проведения процесса 350ºС, давление - 3,0 -100 МПа, время от 4 до 6 с. После этого раствор попадает в приемник, который охлаждается дистиллированной водой при атмосферном давлении. Время снятия пересыщения (время перехода сверхкритического водного раствора в докритический) составляет 10^{-5} – 10^{-7} сек. В результате этого происходит практически мгновенная кристаллизация вещества из раствора. Метод является крайне неравновесным. Резкое снятие давления приводит к быстрому образованию многочисленных зародышей продукта реакции и препятствует росту кристаллов, что приводит к формированию частиц Fe_2O_3 и ZrO_2 с размерами 25- 27 нм.

В сверхкритических растворах протекает реакции гидролиза:

$2Fe(NO_3)_3 + 3H_2O = Fe_2O_3 + 6HNO_3$,

$ZrO(NO_3)_2 + H_2O = ZrO_2 + 2\ HNO_3$,

однако частицы оксидов не кристаллизуются, т.к. они хорошо растворимы в азотной кислоте так как реакции обратимы.

При резком уменьшении давления и температуры происходит кристаллизация частиц оксида железа (или оксида циркония) до размеров нанометров.

2.1.5. Распылительная сушка

Распылительная сушка - это из перспективных путей получения активных мелкодисперсных порошков.

Суть метода состоит в том, что смесь растворов солей, переведенная посредством ультразвукового распылителя в состояние аэрозоля с размером частиц 0,5 – 0,8 мкм, переносится газом – носителем в горячую камеру или плазменную струю, где происходит мгновенное (полное или частичное) разложение частиц; образовавшийся оксидно-солевой продукт собирают на фильтре.

Распылительную сушку используют для получения и порошков, и пленок.

Вариант данного метода успешно применяется на многих производствах для получения оксида железа из хлоридных растворов.

Высокая температура способствует мгновенному разложению нитратов, при этом образуется большое число зародышей (центров кристаллизации) продукта, поэтому получается очень мелкодисперсный продукт с размером зерен около 10 нм.

ВЫВОДЫ

1. Способ получения нанопорошков определяются как их химическим составом, так и промышленным назначением.

2. Наиболее простые химические методы получения сложных оксидов, которые не требуют сложного аппаратурного обеспечения – методы осаждения, сжигания и золь-гель метод.

3. Свойства нанопорошков чрезвычайно сильно зависят от метода их получения (даже независимо от брутто-состава и содержания примесей).

4. Промышленная технология получения нанопорошков с заданными свойствами есть предмет конкуренции, что является основным препятствием на пути расширения круга применения наноструктурированных материалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мелихов И.В. Тенденции развития нанохимии // Российский химический журнал. 2002 (5). Т. XLVI. С. 7 – 14.

2. Коленько Ю.В., Бурухин А.А., Чурагулов Б.Р., Олейников Н.Н., Муханов В.А. Синтез гидротермальным методом нанокристаллических порошков различных кристаллических модификаций ZrO_2 и TiO_2. // Журн. неорганической химии. 2002. Т.47. № 11. С.1755 –1762.

УДК. 621.315.592

Кардашев Д.Л.
Одесская национальная морская академия

Электронная энергетическая структура графена

Уникальность свойств графена в настоящее время хорошо известна и в значительной степени теоретически объяснена. Графен, связанный с подложкой и, как правило, сформированный на ней, называется эпитаксиальным. В качестве подложек чаще всего выступают кристаллы 6H-SiC{0001} и 4H-SiC{0001}. Это связано с тем, что термодесорбцией атомов кремния с его поверхности можно создать пленку графена. Результат такого процесса зависит от того, с какой грани карбида кремния (Si- или C-грани) осуществлялось удаление атомов кремния. При использовании в качестве Si-грани карбида кремния, монослой графена отделен от подложки слоем, ковалентно связанным с подложкой. В большинстве исследований получают монослой графена, слабо связанный с C-гранью подложки. Одним из вариантов эпитаксиального графена можно считать так называемый квазисвободный (quasi-free standing) графен. Для его создания зачастую прибегают к интеркалированию под внешний углеродный слой чужеродных атомов (например, атомарного водорода), которые разрывают ковалентные связи между первым и вторым слоями.

Одной из основных характеристик графенового листа является плотность электронных состояний (ПЭС). Знание ПЭС позволяет судить о наличии или отсутствии щели в электронном энергетическом спектре, что определяет тип проводимости графена.

Для определения локальной плотности электронных состояний (ЛПЭС) в гексагональным монослое (графене) был использован метод функций Грина с полуэмпирическим одноэлектронным гамильтонианом сильной связи, учитывающим все существенные двухцентровые взаимодействия между ближайшими атомами. Структуру графена моделировалась решеткой Бете сохраняющей гексагональное расположение соседних атомов. Гамильтониан сильной связи задавался в базисе одной s - и двух p_x, p_y-атомных орбиталей.

Данный подход позволяет получить аналитические выражения для диагональных элементов функции Грина, сумма мнимых частей которых, определяет локальную плотность электронных состояний.

Плотность состояний, рассчитанная нашим методом, хорошо согласуется с результатами работы [1], в которой ПС определялась методом сильной связи для кластера содержащего 200 атомов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Опенов Л.А., Подливаев А.И ФТП, 46(2), 210 (2012).

УДК 629.123-621.182

Дулдиер А.П.
Одесская национальная морская академия

Феноменологический подход к оценке цветовых параметров процесса горения

Феноменологический подход к оценке параметров процесса горения базируется на известной зависимости характеристик скалярной структуры концентрации и температуры компонентов в потоке газовоздушной смеси от «восстановленной» концентрации топлива [1]

$$z = \frac{St \cdot c_m - c_в + 1}{1 + St},$$

где c_m и $c_в$ – концентрации топлива и воздуха; St - стехиометрический коэффициент горения. Величина z – являет собой концентрацию топлива при всех изменениях агрегатного состояния - испарения, смешения и химических реакций с момента подачи в зону горения до момента полного сгорания.

При малых отклонениях от термодинамического равновесия процесс горения протекает с высокой скоростью и локализуется в очень узких пространственных областях, положение которых определяется условиями смешения топлива и воздуха.

При многостадийной организации процесса смешения топлива и воздуха режимы горения в указанных областях могут существенно изменяться.

Равновесное состояние области горения определяется условием $z = z_s$. Изменение z определяет основные особенности горения – бедное при $z < z_s$ и богатое при $z > z_s$.

Решение задачи, полученное в работе [1, с.207-209], позволило определить, что при $z > z_s$ реализуется режим горения с избытком топлива, а при $z \to z_s$ - с избытком воздуха.

Как известно, цвет пламени зависит от концентрации сажи, одного из промежуточных компонентов в указанной области процесса горения. Недостаток научной информации о процессах образования и горения сажи приводит к недооценке её значимости как основной составляющей излучения в объеме пламени при изменении режимов горения. Однако, имеющиеся экспериментальные данные о прямой зависимости выхода сажи от конкретных условий протекания процесса, распределения концентрации топлива z [2], а также температуры позволяют восполнить известный недостаток информации для задач описания цветовых параметров [3].

В работе [4] было предложено определять концентрацию сажи по экспериментальной зависимости от «восстановленной» концентрации топлива. Согласно полученных данных интенсивное образование сажи происходит при изменении коэффициента избытка воздуха $0{,}25 < \alpha < 1$.

Правомочность такого подхода подтверждается результатами исследований, приведенными в работе [2].

Исходя из условия бесконечно большой скорости реакции, распределение температур и концентраций компонентов (в том числе сажи), определяющих структурные характеристики процесса, может быть представлено в виде специальной диаграммы для универсальной функции от «восстановленной» концентрации топлива.

Учитывая, что «восстановленная» концентрация топлива однозначно связана с величиной коэффициента избытка воздуха α

$$z = \frac{1}{1+\alpha\ St},$$

с учетом полученных в работах [2,4] экспериментальных данных зависимости концентрации сажи от коэффициента избытка воздуха, можно определить, что образование и выгорание сажи на диаграмме соответствует диапазону «восстановленной» концентрации топлива $0{,}12 < z < 0{,}2$.

На рис.1 представлена диаграмма, полученная по результатам расчетов для мазутов.

Указанные значения координат цветности процесса горения соответствуют пункту 2.6.8. [5, с.135] “Контроль качества горения должен производиться по цвету пламени в топке… Пламя в топке должно быть прозрачным, а его цвет - соломенно-желтым или ярко-оранжевым”.

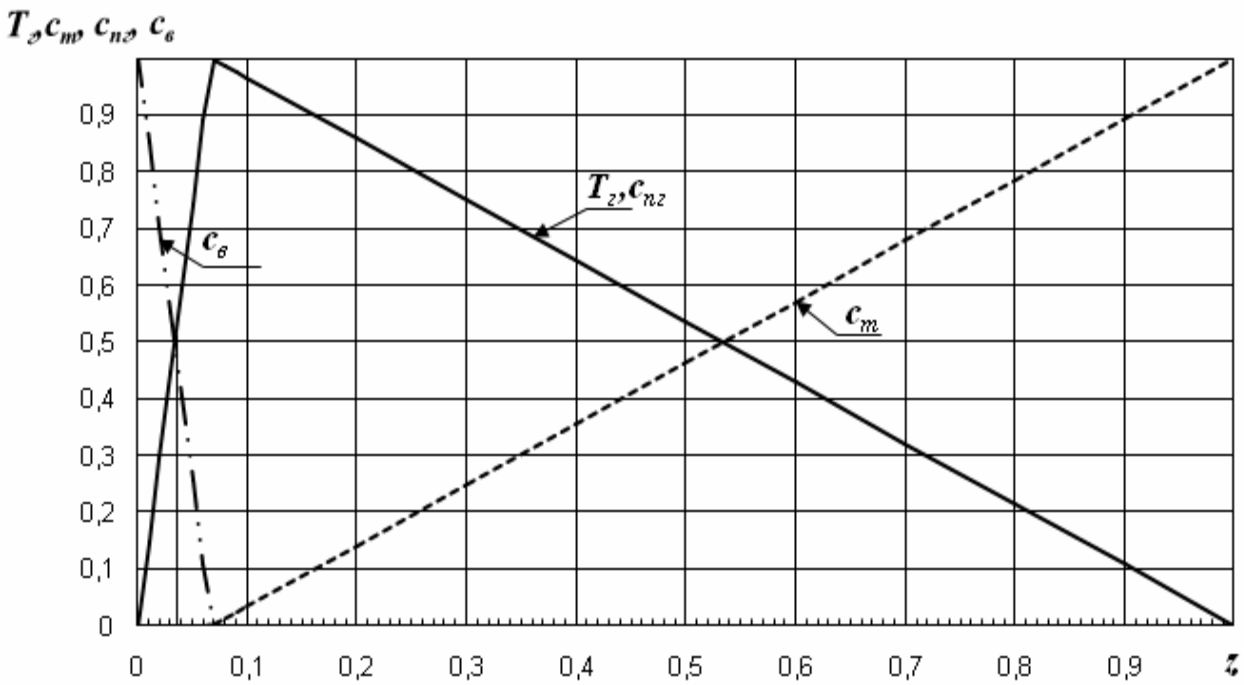


Рис.1 Зависимость концентраций компонентов и температуры от «восстановленной» концентрации топлива

Действительное значение температуры горения оценивают по теоретической температуре с помощью пирометрического коэффициента, который как видно из диаграммы, в указанном диапазоне образования сажи принимает значения $0{,}85 \div 0{,}95$.

Теоретическая температура горения мазутов, применяющихся в судовых котельных установках, составляет 2065 ÷ 2155 ^{o}C (средняя 2100 ^{o}C). Как следствие, температура излучения сажи изменяется в диапазоне значений 2300 ÷ 2600 ^{o}К.

Проведенные расчеты цветности пламени позволили определить, что, как видно из рисунка 2, указанные значения температур и концентрация сажи светло-желтому цвету пламени в диапазоне координат цветности X = 0,47 ÷ 0,49 и Y= 0,417 ÷ 0,419 по международной системе классификации цвета XYZ.

Указанные значения координат цветности процесса горения соответствуют пункту 2.6.8. [5, с.135] “Контроль качества горения должен производиться по цвету пламени в топке… Пламя в топке должно быть прозрачным, а его цвет - соломенно-желтым или ярко-оранжевым”.

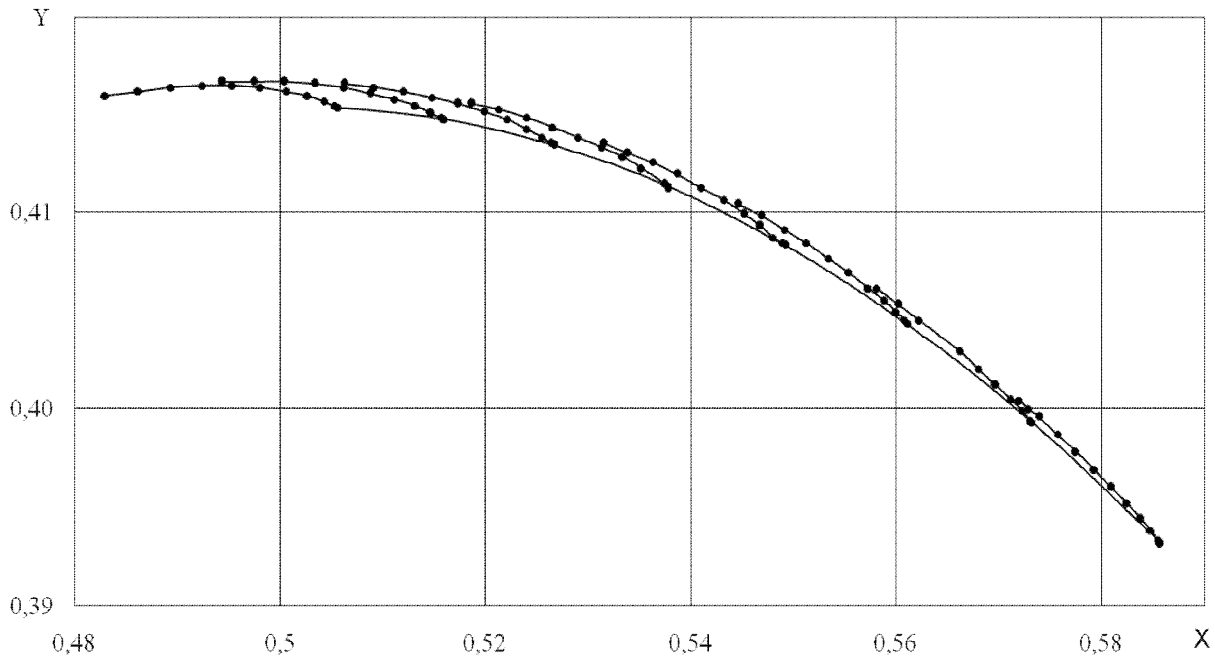


Рис.2 Диаграмма цветности процесса горения

Разработанный феноменологический подход к оценке цветовых характеристик базируется на их зависимости от скалярной структуры процесса, определяемой по «восстановленной» концентрации топлива. Полученные значения координат цветности процесса горения показывают влияние концентрации сажи и температуры, как основных компонентов процесса горения, на формирование его цветовых характеристик.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов В.Р., Сабельников В.А. Турбулентность и горение.- М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат.лит, 1986.- 288 с.

2. Бакиров Ф.Г., Захаров В.М., Полещук И.З., Шайхутдинов З.Г. Образование и выгорание сажи при сжигании углеводородных топлив. - М.: Машиностроение, 1989. - 128 с. ISBN 5-217-00663-3
3. Дулдиер А.П. Цветовые характеристики пламени как показатель качества сжигания топлива // Автоматизация судовых технических средств: науч. – техн. сб. –2004.- Вып. 9.- Одесса: ОНМА. – с.31-36.
4. Го Ж.П., Фэйт Г.М. Спектральные и радиационные характеристики турбулентных диффузионных факелов ацетилен-воздух.- Жур.общ. амер. инж. Сер. Теплопередача, 1988, N4, с.136-139.
5. Правила технической эксплуатации судовых технических средств.
6. РД 31.21.30 - 83. - М.: В/О «Мортехинформреклама», 1984. - 388с.

УДК 662.6/.9

Доц. Кобзарь В.М.
Одесская национальная морская академия

Анализ существующих методов очистки теплообменных поверхностей

Типы теплообменных аппаратов

Устройства, предназначенные для передачи тепла от теплоносителя с большей температурой к теплоносителю с меньшей температурой, называют теплообменными аппаратами (ТА). В зависимости от назначения различают следующие тины ТА: охладители воды, масла, воздуха, подогреватели топлива, масла и воздуха, конденсаторы, испарители, деаэраторы. В ТА используется процесс теплопередачи, при котором теплообмен происходит между двумя средами, разделенными стенкой.

В качестве охладителей и подогревателей различного назначения применяются кожухотрубные ТА, поверхности которых выполнены из гладких круглых труб. С целью интенсификации теплообмена широко примеряются многоходовые кожухотрубные теплообменные аппараты. В межтрубном пространстве чаще происходит поперечное обтекание пучков труб теплоносителем, реже — продольное. В первом случае в корпусе аппарата устанавливаются поперечные перегородки, а во втором — продольные.

В зависимости от назначения ТА поверхность теплообмена может быть поверхностью как нагрева, так и охлаждения. При любых конечных температурах наибольший температурный напор достигается при противотоке, наименьший — при прямотоке, все другие схемы движения сред приводят к промежуточным значениям температурного потока.

Для интенсификации теплообмена, а также уменьшения вероятности осаждения на поверхностях трубок мелких взвешенных частиц в теплообменниках осуществляется развитое турбулентное движение (скорость воды около 2,2 м/с). Однако скорость движения теплоносителя, особенно морской воды, приходится ограничивать из-за низкого предела выносливости мате-

риалов. В других случаях для турбулентного потока с целью интенсификации теплообмена в межтрубном пространстве устанавливают перегородки. Для некоторых теплообменных аппаратов, например маслоохладителей, установка перегородок или турбулизаторов является основным средством интенсификации теплообмена, так как высокая вязкость масла не позволяет создать поток, а теплопроводность масла мала.

Маслоохладители. На судах используются трубчатые и пластинчатые маслоохладители. В трубчатых маслоохладителях между цилиндрическим корпусом и крышками закреплены решетки, по трубам которых прокачивается забортная вода, а между ними циркулирует масло. Для интенсификации теплообмена в корпусе маслоохладителя установлены перегородки. Пластинчатые маслоохладители состоят из комплекта фасонных прессованных пластин, которые собираются в пакет и стягиваются болтами. В собранном пакете масло течет по одну сторону пластины, вода — по другую, жидкости для лучшего теплообмена движутся противотоком. Благодаря своим преимуществам (компактность, простота сборки и разборки для очистки пластин, возможность регулирования теплообмена путем изменения количества пластин) пластинчатые маслоохладители получили на новых судах более широкое распространение, чем трубчатые. Признаком нормальной работы маслоохладителей является разность температур масла до и после охладителя, составляющая 12 ... 15 °С. Скорость масла в охладителях находится в пределах 0,4 ... 0,9 м/с. Сопротивление маслоохладителей обычно составляет по маслу 0,05 ... 0,08 МПа, по воде 0,02 ... 0,04 МПа. Коэффициент теплопередачи маслоохладителей: трубчатых с трубами большого диаметра (10... 15мм) составляет 70... 290Вт/(м^2 -К); трубчатых с трубами малого диаметра - 50 ... 930 Вт/(м^2 -К); с турбулизаторами — до 1160 Вт/ (м^2 • К).

Охладители пресной воды. Конструкции охладителей воды, применяемых на судах, сходны с конструкциями рассмотренных маслоохладителей. В охладителях воды, как правило, одним из теплоносителей является пресная вода, другим — забортная. Коэффициент теплопередачи этих теплообменных аппаратов наиболее высокий — 1136 Вт/(м^2 К). Поверхность охладителей для снижения температуры воды охлаждающей системы дизелей составляет 31 ... 40 м^2 на 1000 кВт мощности главного двигателя, а при дополнительном охлаждении поршней возрастает до 45 ... 55 м^2.

Воздухоохладители. Охладители наддувочного воздуха дизелей обычно имеют наружное оребрение труб, внутри которых протекает забортная вода. Работа воздухоохладителей контролируется по разности давлений воздуха, а также температур воздуха и воды до и после охладителя. Большой перепад давлений воздуха свидетельствует о загрязненности воздушной полости охладителя. Повышенная разность температур воды и воздуха при номинальном режиме работы двигателя свидетельствует о наличии накипи на внутренней полости трубок и маслянистых отложений снаружи, что ведет к ухудшению теплопередачи. Коэффициент теплопередачи воздухоохладителей составляет 186 ... 280 Вт/(м^2 -К), температура воздуха за воздухоохлади-

телем 30 ... 35 °С (в тропиках до 40 °С), разность температур в пределах 25 ... 50 °С, температурный напор 8 ... 12 °С.

Подогреватели воды (питательной, забортной, мытьевой). В качестве подогревателей питательной воды используются кожухотрубные аппараты с прямыми трубами. При невысоких температурах греющей среды (до 120 °С) трубные доски жестко соединяются с корпусом подогревателя, более высокие температуры требуют конструкции с плавающей трубной доской. Для интенсификации теплообмена подогреватели с прямыми трубами выполняют 4- или 6-ходовыми, при этом пар несколько раз обтекает трубы в поперечном направлении. В подогревателях с U-образными трубами нагреваемая вода поступает сразу во все трубы, что достигается установкой перегородки по диаметру водяной камеры; движение воды происходит сначала в одном направлении, а затем в обратном. В паровой камере имеется горизонтальная перегородка и несколько несплошных поперечных перегородок, благодаря которым пар движется вдоль труб в верхней части в одном направлении, а в нижней части в противоположном с одновременным поперечным обтеканием пучка труб. В подогревателях с прямыми трубками вероятность их засорения меньше, чистка трубок проще, поэтому для подогрева забортной воды они предпочтительней.

Подогрев воды для санитарно-бытовых нужд осуществляется в водоподогревателях типов ВБ, ВС и ВЕА. Для подогрева пресной воды используют подогреватели с U-образными трубками. Скорость движения воды в подогревателях может достигать 2,2 м/с, что обеспечивает высокий коэффициент теплопередачи.

Подогреватели топлива и масла. Подогрев высоковязких топлив осуществляется в паровых подогревателях. Отечественной промышленностью выпускаются секционные подогреватели топлива (ПТС) и кожухотрубные подогреватели (ПТК) с U-образными трубками. Секционные подогреватели относятся к ТА типа „труба в трубе". Подогреватели масла применяются с целью уменьшения вязкости перед сепарированием и при подготовке механизмов к действию. Используются кожухотрубные или змеевиковые подогреватели. Иногда ТА одинаковой конструкции применяются в качестве подогревателей как топлива, так и масла. Греющей средой служит пар или вода.

Конденсаторы. Служат для конденсации пара или создания разрежения.

Испарители ВОУ. Изготовляются обычно из красномедных или медноникелевых труб и монтируются в виде пучков или змеевиков в корпусе.

Методы борьбы с эксплуатационными отложениями

В целях предотвращения образования накипи и других отложений на поверхностях ТА используются физические (безреагентные), химические и физико-химические методы обработки воды.

Физические методы обработки приводят к образованию в воде искусственных центров кристаллизации, и процесс накипеобразования переносится с

поверхности нагрева на эти центры. К физическим методам относятся магнитная и ультразвуковая обработка, контактная стабилизация, кристаллизационная затравка, использование каллоидных присадок.

При обработке воды магнитным полем ранее образовавшаяся накипь становится хрупкой, растрескивается, вспучивается и легко отделяется, т. е. наблюдается процесс самоочищения, новая накипь, как правило, не образуется. Этот процесс происходит обычно спустя 1-2 месяца после обработки воды магнитным полем. Подобное воздействие магнитного поля имеет различные объяснения. Предпочтение отдается теории, согласно которой под воздействием магнитного поля накипеобразователи выделяются не на поверхности нагрева или охлаждения, а в массе воды, что приводит к снижению прочности сцепления накипи с металлом и отделению ее в виде корок. На снижение накипеобразования оказывает также влияние более интенсивное образование магнетита Fe_3O_4 в подслое накипи под воздействием магнитного поля, в результате чего накипь вспучивается и отпадает.

Ультразвуковая обработка воды применяется для предупреждения образования накипи в теплообменниках, водоподогревательных установках непрерывного действия, испарителях и других ТА, где могут отлагаться соли жесткости и окислы железа. Воздействуя на центры кристаллизации, которые являются необходимым условием образования накипи, ультразвук непрерывно нарушает кинетику кристаллизации и за счет этого накипь не отлагается на поверхностях нагрева или охлаждения. Обладая значительной энергией, ультразвуковые колебания возбуждают на границе кристаллических связей звукопеременные усилия, под влиянием которых образуются трещины, поскольку прочность внутри накипи, а также между накипью и металлом оказывается недостаточной. В трещины проникает вода и, испаряясь, вспучивает и отслаивает накипь.

Практика применения ультразвука подтвердила, что этим методом не только эффективно предотвращается образование накипи (она или полностью отсутствует, или имеет толщину не более 0,05 ... 0,10 мм за длительный срок работы), но и удаляется ранее отложившаяся накипь. Ультразвук при длительном воздействии способен пассивировать поверхностный слой металла, что надежно защищает его от коррозии. Ультразвук с частотой 20...30 кГц влияет на пределы усталости металла и сварных соединений ТА, а также не оказывает отрицательного воздействия на обслуживающий персонал.

Опыт применения ультразвука на судах подтвердил высокую его эффективность и ряд преимуществ перед другими методами. При использовании ультразвука не требуются химические препараты и вывод из действия ТА, сокращаются затраты ручного труда на разбор и сбор теплообменников и монтаж системы для химической очистки. Помимо этого, исключение эксплуатационных отложений в подогревателях топлива и необходимости применения химических препаратов существенно снижает вероятность загрязнения морской среды.

Процесс ультразвукового разрушения и предупреждения образования накипи требует непрерывной работы ультразвукового аппарата в течение всего периода эксплуатации теплообменников. Контактная стабилизация (раствор циркулирует через наполнитель-известняк, мрамор, песок и др.), кристаллизационная затравка (препараты добавляются непосредственно в забортную воду) и обработка коллоидными присадками (крахмал, танин, декстрин) требуют дополнительного оборудования или значительного увеличения размеров испарителя, поэтому на судах распространения пока не получили.

Химические методы основаны на повышении растворимости солей жесткости путем добавления различных реагентов, в качестве которых используются кислоты (соляная, серная и др.) и их соли. Для судовых условий наиболее приемлемы бисульфат натрия и хлорное железо или специальный электродиализатор, осуществляющий подкисление морской воды соляной кислотой перед подачей в испаритель.

Физико-химические методы основаны на действии присадок, содержащих ПАВ, фосфаты и комплекс веществ. ПАВ благодаря большой поверхностной активности изменяют условия осаждения накипеобразователей — затрудняется образование кристаллов, ухудшается адгезия их на поверхности, фосфаты обеспечивают безнакипную работу при температуре греющей поверхности до 120 °С.

Наибольшее применение в ВОУ получили комплексные присадки, к которым относится присадка ЦНИИМФ-1, предназначенная для вакуумных опреснителей при температуре греющего агента до 120 °С и температуре вторичного пара до 80 °С. Противонакипное действие присадки ЦНИИМФ-1 основано на ее способности образовывать с солями-накипеобразователями (бикарбонатами кальция и магния) термически устойчивые растворимые соединения, остающиеся в рассоле и удаляемые при продувке испарителя.

Система водяного отопления

Основным средством обогрева помещений на судах является водяное отопление. Теплоносителем системы служит вода с температурой не ниже 70 °С и не выше 95 °С. Только в закрытых системах отопления ее температура может достигать 115—120 °С.

Вода нагревается в котлах-утилизаторах или вспомогательных водогрейных котлах. Иногда для ее нагрева используют электрические водонагреватели и камбузные котлы-плиты. Нагретая вода прокачивается через систему циркуляционным насосом или циркулирует вследствие разности плотностей горячей и охлажденной в грелках воды (естественная циркуляция).

К основным достоинствам системы водяного отопления, обусловившим ее широкое применение, относят: гигиеничность; умеренную температуру теплоносителя (воды, t = 70-90 °С) при большой аккумуляции теплоты, обеспечивающей устойчивый тепловой режим в отапливаемом помещении; простоту устройства, изготовления и ремонта; бесшумность в работе; безо-

пасность в пожарном отношении. Существенным недостатком системы водяного отопления является ее относительно большая масса.

Таким образом, наличие накипных отложений на поверхности теплообмена приводит к существенному перерасходу тепловой энергии. Поэтому к очистке теплообменного оборудования необходимо придавать особое значение, т.к. поддержание чистой поверхность теплообмена является одним из методов энергосберегающей технологии.

Результаты химической очистки теплообменников горячего водоснабжения гостиничного комплекса

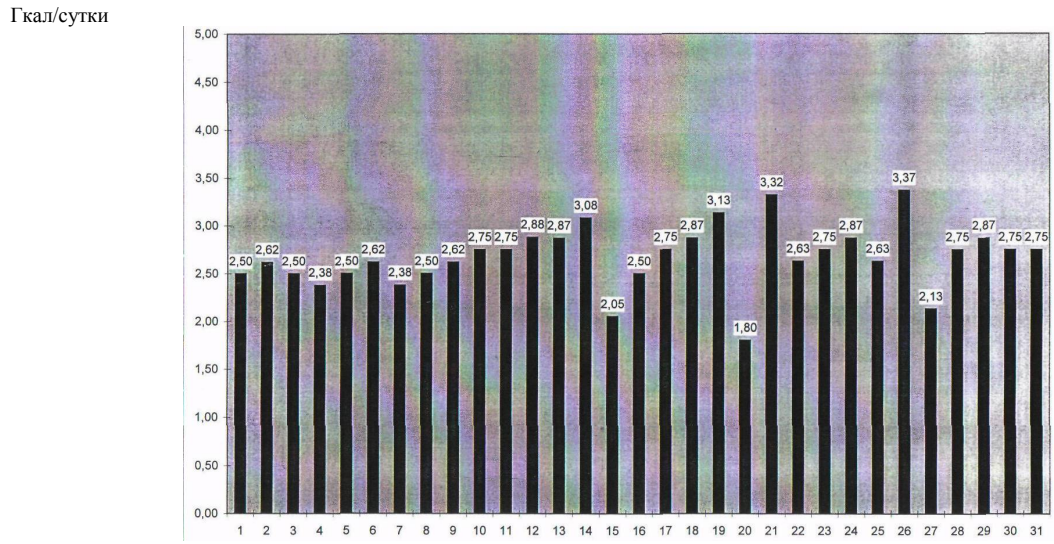


Рис.1. Потребление тепловой энергии в августе 2009 года при заселении 5252 койко-места (до очистки)

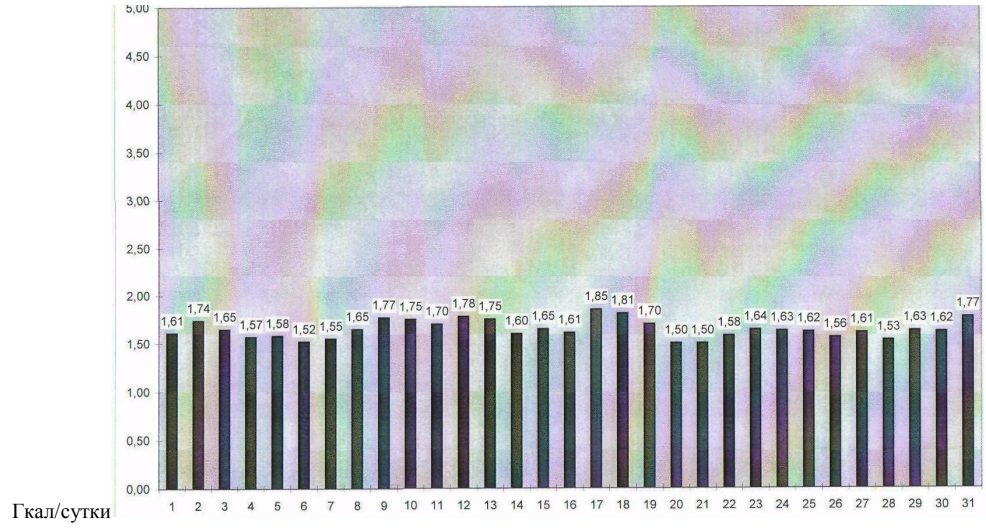


Рис.2. Потребление тепловой энергии в августе 2010 года при заселении 6765 койко-мест (после химической промывки теплообменников)

Из графиков следует, что потребление тепла после очистки теплообменников снизилось приблизительно на 0,4 Гкал/сутки с сохранением прежней температуры горячего теплоносителя.

На Рис.3 и Рис.4 приведены фотографии трубной доски подогревателя до и после очистки.

Рис.3. Фотография трубной доски теплообменника до очистки

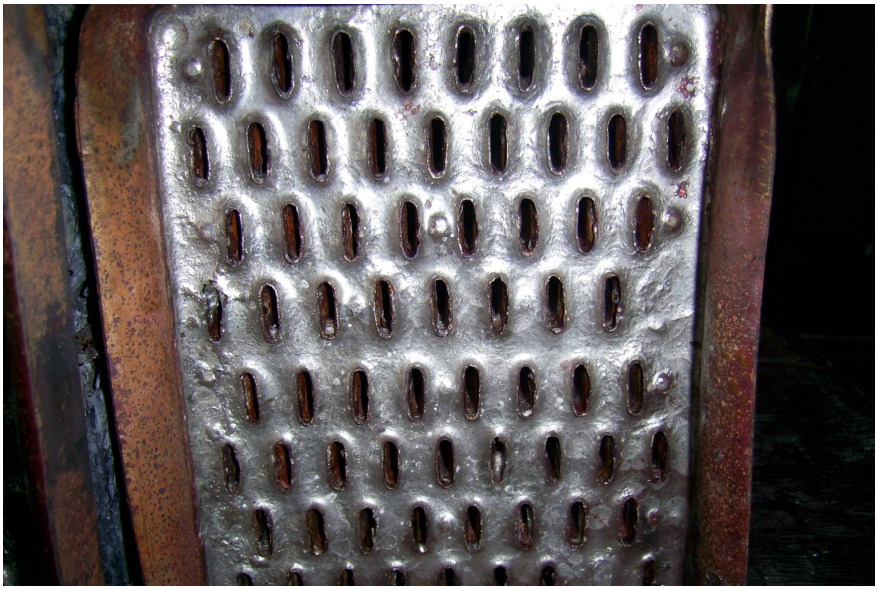


Рис.4. Фотография трубной доски теплообменника после химической очистки

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кобзар В.М. та інші. Спосіб хімічної очистки теплоенергетичного устаткування. - Патент на винахід №74311 , Бюл.№11 від 15.11.2005.

УДК 629.5.053.6:621.431.7.038

Кирнос А.С. Мисов В.Д.
Одесская национальная морская академия

Исследование систем топливоподачи средне- и высокооборотных дизелей с применением эллеменотов матиматического моделирования

Ужесточение законодательных экологических требований, предъявляемых к дизелям, заставило моторостроителей интенсивно совершенствовать топливоподачу.

Впрыск топлива в цилиндры двигателя осуществляется топливной системой высокого давления, основными элементами которой являются : топливный насос высокого давления и форсунка, соединённые между собой трубопроводом высокого давления. От работы этой системы в значительной мере зависят мощностные, эксплуатационные и экономические показатели дизеля.

Развитие конструкций форсунок и топливных насосов высокого давления обусловлено требованиями, предъявленными к ним в связи с непрерывным совершенствованием дизелей. Повышается давление в топливных насосах высокого давления и в момент впрыска топлива, уменьшается продолжительность и изменяется закон подачи топлива в цилиндр.

Топливная аппаратура должна надёжно работать в условиях эксплуатации и обеспечивать необходимые параметры топливоподачи. Обеспечение этих требований осуществляется не только техническим состоянием, но и конструктивными и производственными факторами.

В качестве примера приведена система впрыскивания с насос-форсунками имеющими электронное управление фаз топливоподачи.

Работа топливной системы с гидравлическими электронными насос-форсунками (ГЭНФ, аббревиатура на английском языке HEUI) принципиально отличается от работы топливных систем с механическим включением впрыска. Топливная система с ГЭНФ является нерегулируемой. Регулировка ее механических элементов невозможна. Все изменения характеристик системы осуществляются путем установки в блок электронного управления двигателя (БЭУД) (18) нового программного обеспечения.

Топливная система состоит из пяти основных элементов:

• Гидравлические электронные насос-форсунки (HEUI) (5)
• Блок электронного управления двигателя (БЭУД) (18)
• Гидравлический насос (1) насос-форсунок
• Топливоперекачивающий насос (11)
• Датчик давления включения впрыска (9)

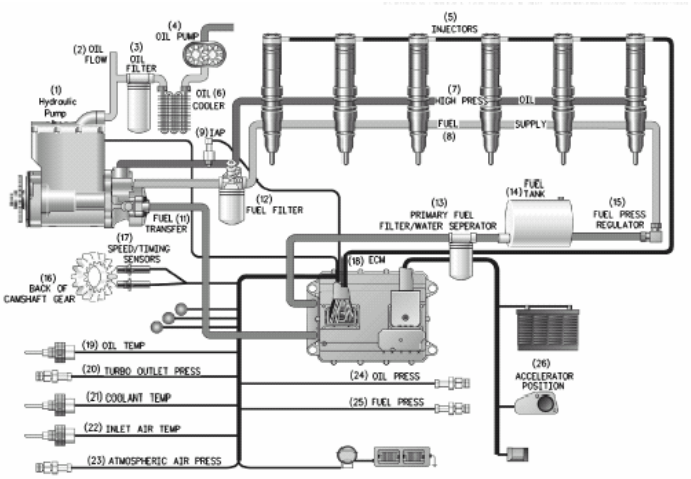


Рис.1.1 . Система топливоподачи с гидроэлектрическими насос-форсунками:
1 Гидравлический насос насос-форсунок; 2 Подача масла к двигателю; 3 Масляный фильтр; 4 Маслонасос двигателя; 5 Насос-форсунки; 6 Маслоохладитель; 7 Магистраль подачи масла высокого давления; 8Магистраль подачи топлива; 9 Датчик давления включения впрыска; 10 Клапан регулирования давления включения впрыска (в корпусе гидравлического насоса); 11 Топливоперекачивающий насос; 12 Топливный фильтр;13 Топливный фильтр грубой очистки с влагоотделителем; 14 Топливный танк; 15 Регулятор давления топлива; 16 Задняя часть кулачкового механизма; 17 Датчики частоты вращения/синхронизации впрыска топлива; 18 БЭУД; 19 Датчик температуры масла; 20 Датчик давления турбонаддува; 21 Датчик температуры охлаждающей жидкости; 22 Датчик температуры воздуха на входе; 23 Датчик давления атмосферного воздуха; 24 Датчик давления масла; 25 Датчик давления топлива.

Ещё одной из рассмативаемых систем была аккумуляторная система (Common Rail). Её основным отличием от классической (раздельной) стало появления аккумулятора- ёмкости в которую нагнетает топливо под высоким давлением единственный ТНВД, а затем управляемые гидравликой форсунки подают топливо в цилиндры.

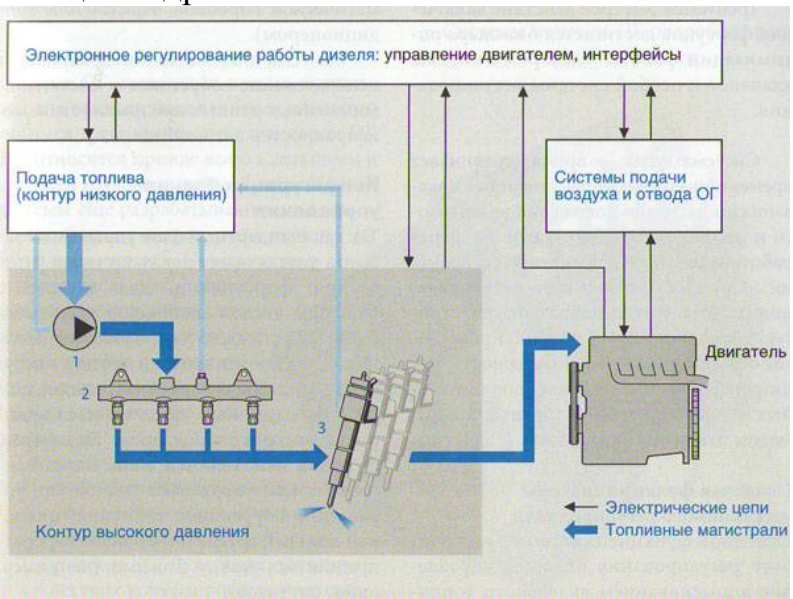


Рис. 1.2. Принципиальная схема системы CR.
1 ТНВД; 2 Аккумулятор топлива; 3 гидроэлектрическая форсунка

Топливо постоянно находится под высоким давлением в общей для всех форсунок топливной магистрали (отсюда и название принципа работы – Common Rail). В ней блок управления дизелем поддерживает, меняя производительность насоса, давление на уровне 1350 бар (около 1350 кгс/см^2, приведены данные для дизелей MAN, для двигателей других фирм давление может несколько отличаться, но оно всегда превышает 1000 кгс/см^2 – ред.) при различных режимах работы двигателя, то есть независимо от его оборотов и нагрузки при любой последовательности впрыска по цилиндрам.

Форсунки также претерпели существенные изменения. Они оснащены специальными электромагнитными либо пьезоэлектрическими клапанами и управляются по гибкому алгоритму в соответствии с конкретными условиями работы дизеля. Высокое давление, под которым топливо впрыскивается в цилиндр, создается уже при самом малом числе оборотов коленвала. Благодаря ему, а также электронному управлению процессом впрыска достигается значительно лучшая подготовка смеси в цилиндрах, что приводит к уменьшению расхода топлива и снижению токсичности выхлопных газов.

В системе Common Rail электроника регулирует момент впрыска, количество впрыскиваемого топлива и сам закон его подачи. Именно этим и достигается оптимальный на каждом конкретном режиме работы дизеля результат. Общая магистраль оборудована датчиком давления и обратным клапаном, перепускающим топливо обратно в систему низкого давления

Замеры показали, что переход на систему Common Rail позволил уменьшить шум от работающего дизеля на 10%. Так же была разработана технология предварительного впрыска топлива. Он происходит за доли секунды перед впрыском основной порции топлива и нужен для разогрева камеры сгорания. В этом случае топливо быстрее воспламеняется, а давление и температура возрастают не так быстро, что снижает «жесткость» работы двигателя и его шум.

Рассмотрим работу системы с основным и вторичным впрыском.

Основной впрыск

Энергия для получения мощности двигателя происходит от основного впрыска топлива. Это также означает, что исключительно основной впрыск обеспечивает развитие крутящего момента двигателя. В аккумуляторной

топливной системе CR давление впрыска в течение всего процесса впрыска остается практически постоянным.

Вторичный впрыск топлива

Вторичный впрыск топлива может применяться для снижения эмиссии NOx при установке на двигатель некоторых версий каталитических нейтрализаторов. Этот впрыск следует за основным и происходит во время процесса расширения с интервалом до 200 градусов п.к.в. после ВМТ. При вторичном впрыске в цилиндр, уже при наличии ОГ, вводится точно дозированное количество топлива.

Рис.2.1 характеристики давлений впрыска в традиционной системе и системе CR

В отличие от процессов предварительного и основного впрысков, дополнительно впрыскиваемое топливо на линии расширения не воспламеняется, но, благодаря теплу ОГ, хорошо в них испаряется. Во время такта выпуска образовавшаяся смесь ОГ и топлива удаляется из цилиндра через выпускной клапан в выпускную систему, при этом часть топлива возвращается в цилиндр через систему рециркуляции ОГ и производит, таким образом, эффект, подобный предварительному впрыску. При условии установки соответствующего каталитического нейтрализатора NOx дополнительная доза топлива используется в ОГ как агент, снижающий содержание NOx в ОГ. Поскольку слишком поздний вторичный впрыск может приводить к разбавлению масла, такой процесс впрыска должен быть одобрен производителем двигателя.

А) Б)

Рис.1.2 А) Осциллограмма при работе двигателя с отсутствием предварительного впрыска топлива Б). Осцилограма при работе двигателя с предварительным впрыском топлива

Современные методы исследования топливоподачи предусматривают широкое использование математических моделей и расчетного исследования

на ЭВМ. Ниже рассмотрим результаты иммитационного моделирования для аккмуляторнойсистемы.

При помощи уравнений полученных по средствам математического анализа и подстановки данных по конкретно взятому двигателю можно получить следующие графики зависимостей часового расхода топлива и давления в аккумуляторе.

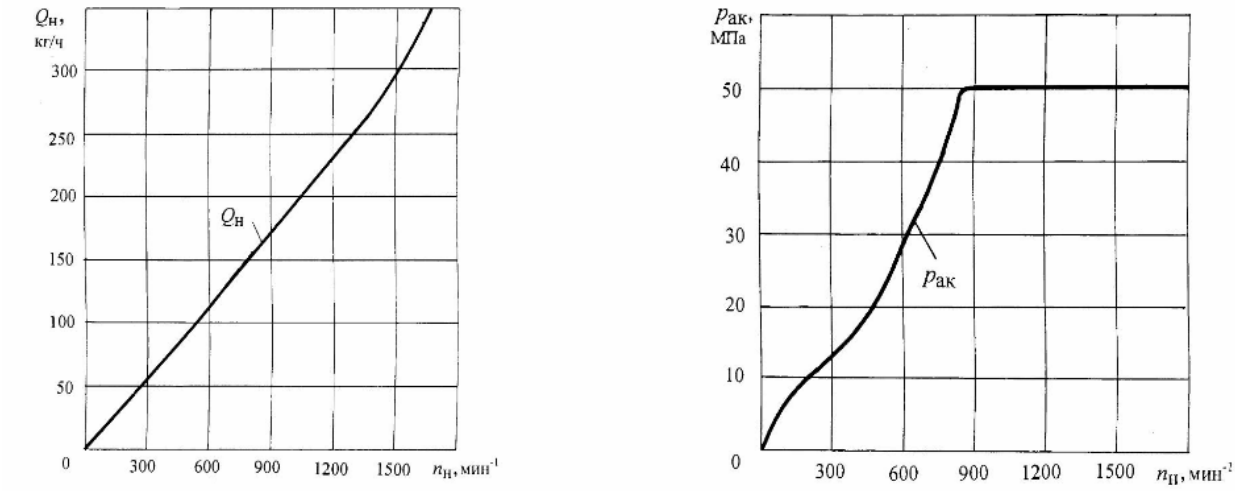


Рис. 3.1

Из рис. 3.1 видно что часовой расход топлива меняется практически по линейной зависимости от оборотов, в то время как давление активации форсунки имеет нелинейную функцианальную зависимость от оборотов двигателя и по достижению определённого значения остаётся неизменным с увеличением оборотов.

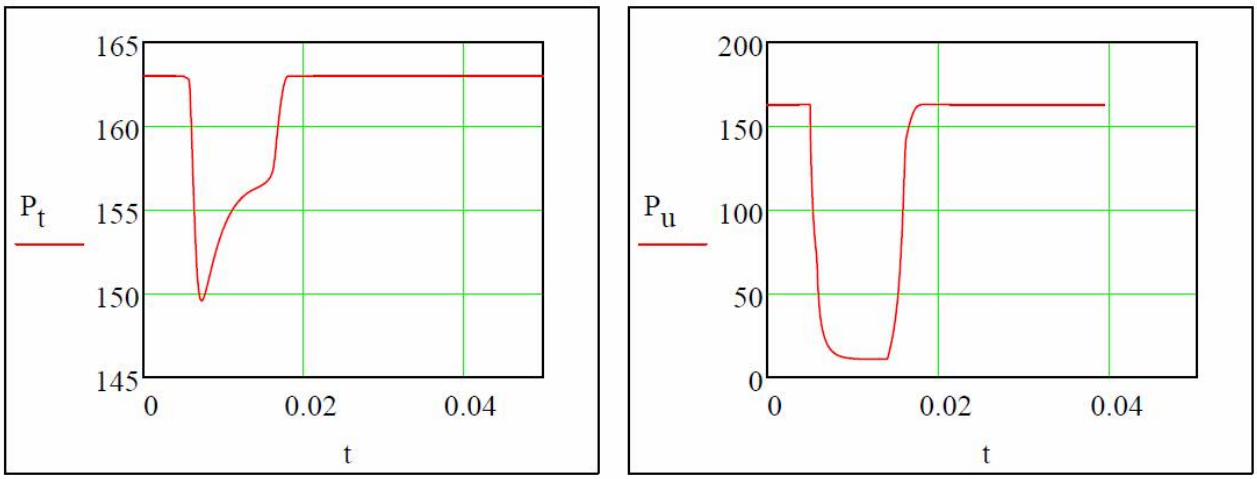


Рис. 3.2 Зависимость давления в топливном трубопроводе и управляющей камере форсунки от времени

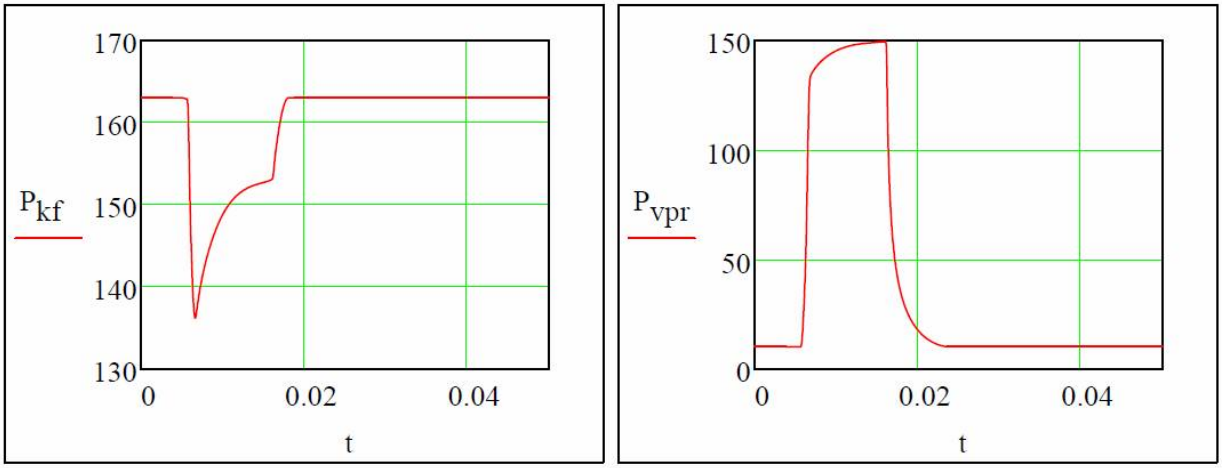


Рис.3.3 Зависимость давления в канале форсунки и проходном сечении жиклёра от времени

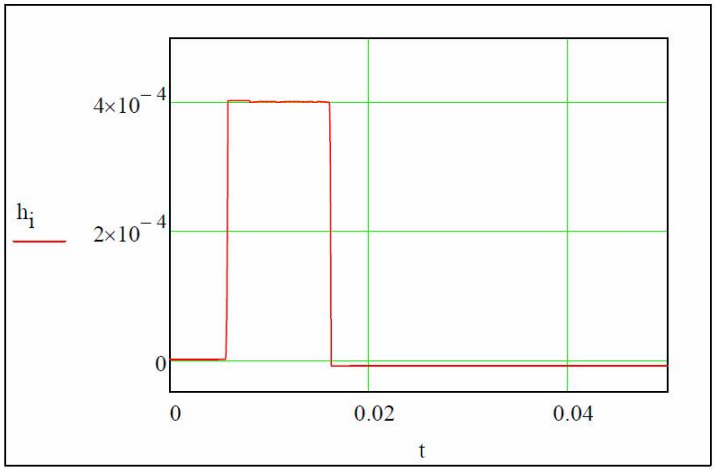


Рис. 3.4 Зависимость подъёма иглы форсунки от времени

По полученным графикам 3.2, 3.3, 3.4 можно судить о работе ЭГФ и процессах происходящих во время её работы. Отсутствие колебательных и резонансных процессов на графиках свидетельствует о четкости и качестве работы форсунки, отсутствии произвольного повторного подъёма иглы под действием резонансных колебаний топлива в трубопроводе.

Все процессы изменения давлений протекают в достаточной степени плавно и без аномальных скачков. Такое поведение показывает, что по результатам математического моделирования система работает в нормальном режиме и нагрузка на детали топливного контура высокого давления и управляющей гидравлики находится в пределах допустимых значений.

Выводы

Рассмотренно конструктивное исполнение и основныеданные по работе систем топливоподачи с электронным управленим, имеющих насос-форсункии аккумляторныхсистем.

Представленны резльтаты иммитационного моделирования аккумуляторных систем, данные иллюстрирющие широкие возможности систем с электронным управленим впрыска.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. «Легион-Автодата», 2002. - 136 с. 2.Грехов Л.В. Топливная аппаратура дизелей с электронным управлением.

2. Учебно-практическое пособие. – М.: «Легион-Автодата», 2003. – 176 с.

3.http://amastercar.ru/articles/engine_car_32.shtml

4.Ю.А. Пахомов, Ю.П. Коробков, Д.В. Дмитриевский, Г.Л. Васильев “Топливо и топливные системы судових дизелей”

УДК 536.71

Вассерман А.А., Мальчевский В.П.
Одесский национальный морской университет

Термодинамическое поведение смеси хладагентов R50/R744

Углеводороды и их смеси рассматриваются как перспективные рабочие тела низкотемпературных установок. Этому вопросу посвящена, в частности, статья Г.К. Лавренченко и М.Г. Хмельнюка [1]. В последующей публикации М.Г. Хмельнюка и М.О. Мартынюка [2] отмечено, что смесь этана и пропана применяется как рабочее тело установок для охлаждения природного газа. Однако углеводороды и их смеси огнеопасны. Для уменьшения этой опасности предполагалось использовать в качестве хладагентов смеси углеводородов с диоксидом углерода (R744).

Диоксид углерода является одним из старейших хладагентов, использовавшимся еще в XIX веке. Его недостаток – высокое значение критического давления и низкое значение критической температуры. При смешении CO_2 с этаном и пропаном значение критического давления оказывается ниже, чем у чистой CO_2. Поэтому многие авторы исследовали экспериментально термодинамические свойства бинарных смесей этана и пропана с диоксидом углерода как хладагента. Характеристики таких смесей как хладагентов недавно исследовали А.А. Вассерман и С.В. Козловский [3].

Для смеси диоксида углерода с метаном также накоплено большое количество экспериментальных p,ρ,T,x-данных. Поэтому на основании опытных данных нами составлено уравнение состояния, позволяющее рассчитывать термодинамические свойства смеси R744/R50 с необходимой для практики точностью. С помощью уравнения состояния исследовано термодинамическое поведение этой смеси в состоянии насыщения и оценена её эффективность как рабочего тела низкотемпературных установок.

Для составления уравнения состояния указанной смеси использована методика, предложенная В.И. Недоступом и О.В. Недоступом [4]. В соответствии с этой методикой уравнение состояния бинарной смеси имеет форму

$$A = A^{id} + A^{E}, \qquad (1)$$

где A и A^{id} — энергии Гельмгольца реальной и идеальной смесей; A^E — добавка к энергии Гельмгольца от смешения.

Величины A^{id} и A^E для бинарной смеси рассчитываются следующим образом:

$$A^{id} = \sum_{k=1}^{2} x_k A_k^0(\omega,\tau) + \sum_{k=1}^{2} x_k^2 \left[A_k^r(\omega,\tau) + RT \ln x_k \right], \tag{2}$$

$$A^E = RT \left\{ \alpha^E(\omega,\tau,x) = 2x_1x_2 \bullet \left[\sum_{i=1}^{m} \sum_{j=0}^{r} a_{ij}\omega^i\tau^{-j} + \exp(-\omega^2) \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{s} b_{ij}\omega^i\tau^{-j} \right] \right\}, \tag{3}$$

где $A_к^0$ и $A_к^r$ — идеально-газовая и реально-газовая части свободной энергии Гельмгольца компонента k; x_k — мольные доли компонентов смеси; a_{ij} и b_{ij} — коэффициенты полиномиальной и экспоненциальной частей добавки A^E (функции взаимодействия); $\omega = V_c/V$ и $\tau = T/T_c$ — приведенные плотность и температура смеси; V_c и T_c — критические параметры смеси.

Величины V_c и T_c были рассчитаны по выражениям, предложенным Леммоном и Тильнер-Ротом [5]

$$T_c = \sum_i x_i T_{c_i}, \tag{4}$$

$$V_c = \sum_i x_i V_{ci}, \tag{5}$$

где T_{ci} и V_{ci} – критические параметры компонентов смеси

При наличии уравнений состояния компонентов задача составления уравнения состояния смеси сводится к определению коэффициентов аналитического выражения для функции взаимодействия (3). Они определяются на основании экспериментальных данных о термодинамических свойствах смеси, в нашем случае по данным о давлении, плотности, температуре и составе. Вес экспериментальных данных определялся по выражениям:

$$w = \frac{1}{\sigma_Z^2}, \tag{6}$$

$$\sigma_Z^2 = \left(\frac{Z_{эксп}}{\rho} + \frac{\partial Z_{расч}}{\partial \rho} \right)^2 \left(\frac{\rho \cdot \delta\rho}{2} \right)^2 + \left(\frac{\partial Z_{расч}}{\partial x} \right)^2 \left(\frac{x \cdot \delta x}{2} \right)^2, \tag{7}$$

где $Z=pv/RT$ – коэффициент сжимаемости; $\delta\rho$ и δx – максимальные значения относительных погрешностей плотности и состава. В зависимости от точности данных разных авторов значения погрешностей были приняты равными 0,05…0,2 % и 0,1…0,3 % соответственно. При расчёте веса учитывалось, что температура и давление в эксперименте определяются с гораздо более высокой точностью, чем плотность и состав.

Значения производных в выражении (7) рассчитываются по приближенному уравнению состояния, полученному комбинацией реально-газовых частей свободной энергии Гельмгольца компонентов смеси. В качестве уравнений состояния компонентов смеси при определении веса и при дальнейших

расчётах были приняты надёжные уравнения Шпана и Вагнера для CO_2 [6] и Зетцмана и Вагнера для CH_4 [7].

Данные для смеси метан – диоксид углерода включают 833 опытных значений плотности в однофазной области при температурах 225 – 673 К и давлениях 0,3 – 99,9 МПа для 16 составов смеси [8-12] и *p*,*T*,*x*-данные на кривой насыщения при температурах 193 – 293 К (300 точек для 25 составов) [13-16]. Для имеющихся *p*,*T*,*x*-данных значения плотности насыщенных пара и жидкости были рассчитаны с помощью вспомогательного уравнения состояния, составленного по *p*,ρ,*T*,*x*-данным остальных авторов.

На основании указанных выше данных составлено уравнение состояния бинарной смеси метана с диоксидом углерода, описывающее свойства смеси в однофазной области и на кривой насыщения в интервале температур 193 – 673 К до давления 100 МПа. Значения коэффициентов функции взаимодействия были определены путём пошагового регрессионного анализа с использованием метода составления уравнения состояния, предложенного Реук и Армстронгом [17], и представлены в таблице 1.

Таблица 1. Коэффициенты a_{ij} и b_{ij} функции взаимодействия (3) смеси R50/R744

i	*j*	a_{ij}	*i*	*j*	a_{ij}	*i*	*j*	b_{ij}
1	0	$3.106791 \cdot 10^{-1}$	1	5	$4.184818 \cdot 10^{-1}$	1	2	$-1.417313 \cdot 10^{-1}$
1	1	$5.877071 \cdot 10^{-1}$	2	4	$9.434139 \cdot 10^{-2}$	2	2	$1.592800 \cdot 10^{-1}$
1	2	$-3.977497 \cdot 10^{0}$	3	0	$4.957920 \cdot 10^{-2}$	3	1	$-5.185097 \cdot 10^{-2}$
1	3	$3.705963 \cdot 10^{0}$	4	5	$-3.889097 \cdot 10^{-3}$	5	2	$3.055640 \cdot 10^{-2}$
1	4	$-2.056036 \cdot 10^{0}$	9	1	$3.416596 \cdot 10^{-5}$			

Для оценки точности полученного уравнения состояния выполнено подробное сопоставление значений термодинамических свойств, рассчитанных по уравнению, со всеми данными, использованными при его составлении. На рис. 1 представлена гистограмма отклонений опытных и опорных значений плотности от рассчитанных. На гистограмме показано среднее квадратическое отклонение массива опытных и опорных значений плотности (включающего 1133 точки) от расчетных, равное 0,36 %. Распределение отклонений достаточно близко к нормальному.

Для анализа термодинамического поведения рассматриваемой смеси в состоянии фазового равновесия были построены графики зависимости давления насыщенных пара и жидкости от температуры для четырёх составов смеси (0,2; 0,4; 0,6 и 0,8 мольной доли CO_2). Эти графики свидетельствует о том, что исследуемая смесь не азеотропна. Для более детальной оценки степени неазеотропности построены графики зависимости температур насыщенных пара и жидкости при постоянных давлениях, соответствующих температурам от – 55 до 23 °С, для составов 0,6; 0,7; 0,8 и 0,9 мольной доли CO_2 (рис.2). Из этих графиков видно, что разности температур для четырёх составов велики

и лежат в пределах от 45 °С при более низких давлениях до 8 – 10 К при высоких.

Это обстоятельство необходимо учитывать при использовании данной смеси в качестве рабочего тела низкотемпературных установок. Из-за большой разности температур начала и конца кипения хладагента в испарителе (особенно при низких давлениях) очень сложно осуществить обычный холодильный цикл. По этой причине данная смесь непригодна как рабочее тело обычных холодильных машин. Смесь с такими свойствами может быть применена как хладагент, используемый для осуществления конденсации газовых смесей (в частности, смесей углеводородов). При этом необходимо использовать более сложный холодильный цикл с регенеративным теплообменом, рассмотренных в работе [1].

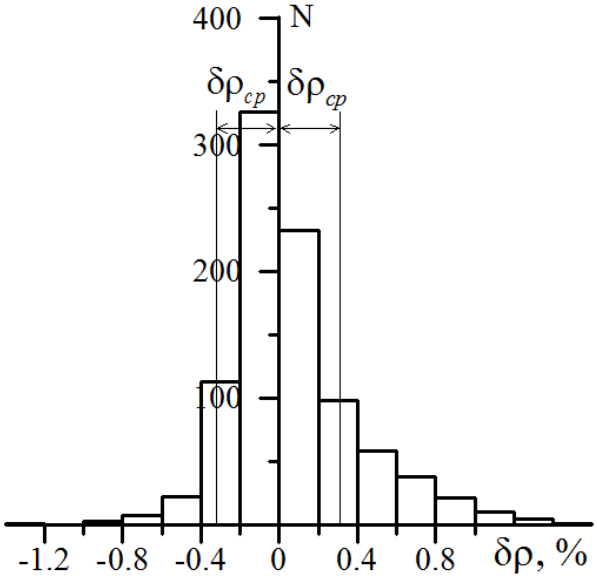


Рис. 1. Гистограмма отклонений опытных и опорных значений плотности от рассчитанных по уравнению состояния для смеси R50/R744

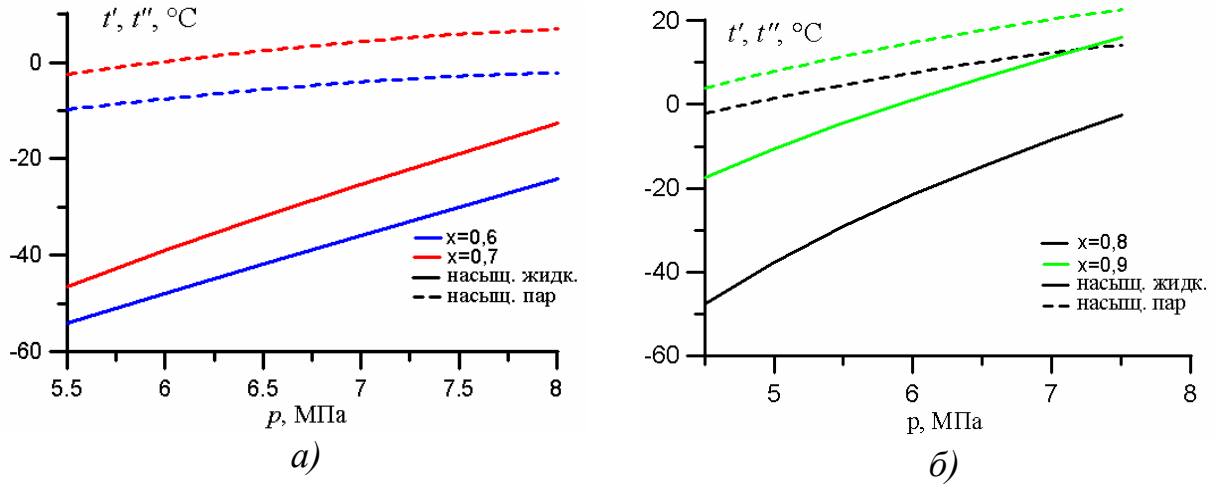


Рис. 2. Зависимость разности температур насыщенных пара и жидкости Δt на изобарах от давления

Оба компонента смеси имеют низкие значения критической температуры (31,05 °С для CO_2 и – 82,59 °С для метана). Если посмотреть на критическую

кривую смеси, представленную на рис. 3, то видно, что для составов 0 – 0,66 мольной доли CO_2 критическая температура смеси ниже 273 К. Поэтому исследуемая смесь не может применяться в холодильных установках, в которых конденсация происходит при обычных температурах окружающей среды, так как тогда будет иметь место сверхкритический цикл. В таком цикле для рассматриваемой смеси процесс дросселирования перед испарителем может заканчиваться при большом значении степени сухости пара, что приведёт к резкому уменьшению холодопроизводительности. По этой причине смесь можно использовать только в нижнем каскаде установки с каскадным циклом.

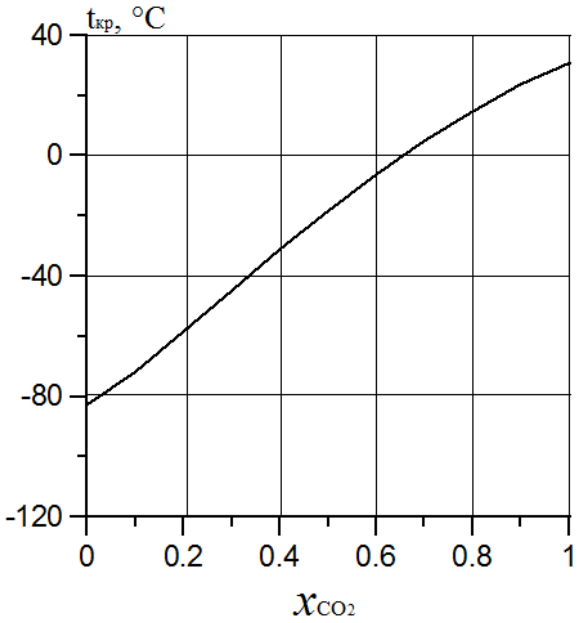


Рис. 3. Критическая кривая смеси R50/R744

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лавренченко Г.К., Хмельнюк М.Г. Углеводороды и смеси на их основе как эффективные рабочие тела холодильных машин // Технические газы. — 2003. — №3. — С.15-23.
2. Хмельнюк М.Г., Мартынюк М.О. Повышение эффективности установки низкотемпературной конденсации природного газа // Технические газы. — 2008. — №4. — С. 30-35.
3. Вассерман А.А., Козловский С.В. Характеристики бинарных смесей диоксида углерода с этаном и пропаном как рабочих веществ холодильных машин // Технические газы. — 2011. — № 6. —С. 39-47.
4. Недоступ В.И., Недоступ О.В. Уравнение состояния для газовых смесей в канонической форме // Российский журнал физической химии. — 2006. — Т. 80. — №8. — С. 1221-1224.
5. Lemmon E. W., Tillner-Roth R. A Helmholtz energy equation of state for calculating the thermodynamic properties of fluid mixtures // Fluid Phase Equilibr. – 1999. — V 165. — No 1.— P.1-21.

6. Span R., Wagner W. A New Equation of State for Carbon Dioxide // J. Phys. Chem. Ref. Data. — 1996. — V. 25. — No 6. — P. 1509-1596.
7. Setzmann U., Wagner W. A New Equation of State and Tables of Thermodynamic Properties of Methane Covering the Range from the Melting Line to 625 K at Pressures up to 1000 MPa // J. Phys. Chem. Ref. Data. — 1991. — V. 20. — No 6. — P. 1061-1155.
8. Seitz J.C., Blencoe J.G., Bodnar R.J. Volumetric properties for $\{(1–x)CO_2 + xCH_4\}$, $\{(1–x)CO_2 + xN_2\}$, and $\{(1–x)CH_4 + xN_2\}$ at the pressures (9,94, 19,94, 29,94, 39,94, 59,93, 79,93, and 99,93) MPa and the temperatures (323,15, 373,15, 473,15, and 573,15) K // J. Chem Thermodynamics. — 1996. — No 28. — P. 521-538.
9. Seitz J.C., Blencoe J.G. Volumetric properties for $\{(1–x)CO_2 + xCH_4\}$, $\{(1–x)CO_2 + xN_2\}$, and $\{(1–x)CH_4 + xN_2\}$ at the pressures (19,94, 29,94, 39,94, 59,93, 79,93, and 99,93) MPa and the temperature 673,15 K // J. Chem Thermodynamics. — 1996. — No 28. — P. 1207-1213.
10. Hwang C.-A., Iglesias-Silva G.A. Holste J.C. et al. Densities of Carbon Dioxide + Methane Mixtures from 225 K to 350 K at Pressures up to 35 MPa // J. Chem. Eng. Data. — 1997. — V. 42. — No 5. — P. 897-899.
11. Mondejar M.E., Fernandez-Vicente T.E., Haloua F. et al. Experimental Determination of (p,ρ,T) Data for Three Mixtures of Carbon Dioxide with Methane for the Thermodynamic Characterization of Nonconventional Energy Gases // J. Chem. Eng. Data. — 2012. — No 57. — P. 2581-2588.
12. Rosenbaum B.M., Thodos G. Thermal Conductivity of Mixtures in the Dence Gaseous State: The Methane – Carbon Dioxide System // J. Chem. Physics — 1969. — V. 51. — No 4. — P. 1361-1368.
13. Webster L.A., Kidnay A.J. Vapor – Liquid Equilibria for the Methane – Propane – Carbon Dioxide Systems at 230 K and 270 K // J. Chem. Eng. Data. — 2001. — V. 46. — No 3. — P. 759-764.
14. Wei M.S.-W., Brown T.S., Kidnay A.J. et al. Vapor + Liquid Equilibria for the Ternary System Methane + Ethane + Carbon Dioxide at 230 K and Its Constituent Binaries at Temperatures from 207to 270 K // J. Chem. Eng. Data. — 1995. — V. 40. — No 4. — P. 726-731.
15. Xu N., Dong J., Wang Y. et al. High pressure vapor–liquid equilibria at 293 K for systems containing nitrogen, methane and carbon dioxide // Fluid Phase Equil. — 1992. — V. 81. — P. 175-186.
16. Mraw S.C., Hwang S.-C., Kobayashi R. Vapor-Liquid Equilibrium of the CH_4–CO_2 System at Low Temperatures // J. Chem. Eng. Data. — 1978. — V. 23. — No 2. — P. 135-139.
17. Reuck K.M., Armstrong B. A method of correlation using a search procedure, based on a stepwise least-squares technique, and its application to an equation of state for propylene // Cryogenics. — 1979. — V. 19. – No.9. — P. 505-512.

18. Devis J.A., Rodewald N., Kurata F. Solid-liquid-vapor phase behavior of the methane-carbon dioxide system // A.I.Ch.E. Journal. — 1962. — V. 8. — No 4. — P. 537-539.

УДК 621.896

Бузовский В.А., Чижевский Р.А.
Одесская национальная морская академия

Изменение параметров рабочего процесса судового малооборотного дизеля при работе по винтовой характеристике

Главные судовые двигатели работают на различных режимах с широким диапазоном чисел оборотов, определяемых условиями плавания и состоянием пропульсивного комплекса. При этом режим работы дизеля характеризуется нагрузкой, частотой вращения и параметрами рабочего процесса.

Прежде всего, режим работы дизеля зависит от мощности потребляемой гребным винтом (от частоты вращения), т.е. определяется свойствами потребителя энергии. Мощность, потребляемая гребным винтом, зависит от заданной судну скорости, состояния пропульсивного комплекса и гидрометеорологических условий. Судовой пропульсивный комплекс состоит из главного двигателя, передачи валопровода, гребного винта и корпуса судна.

Для оценки и анализа технико-экономических показателей работы дизеля на долевых режимах и в разных эксплуатационных условиях используют характеристики, т.е. функциональные зависимости между основными параметрами двигателя и факторами, влияющими на их работу.

Основными параметрами, характеризующими работу дизеля, являются мощность, крутящий момент, частота вращения, удельный и часовой расход топлива, индикаторный, эффективный и механический КПД, средние индикаторные и средние эффективные давления и другие параметры.

Главный судовой двигатель, соединенный с гребным винтом непосредственно или через передачу работает по винтовой характеристике, когда в качестве независимого переменного принимают число оборотов двигателя или скорость хода судна.

Таким образом, зависимость мощности и других показателей двигателя непосредственно соединенного с гребным винтом от числа оборотов называется винтовой характеристикой. При этом мощность и момент, развиваемые дизелем поглощаются гребным винтом, что определяет их изменение в функции частоты оборотов по известному винтовому закону, т.е. $Ne=cn^3$, $Me=c'n^2$ где c, c' - постоянные, зависящие от гидродинамических и конструктивных параметров гребного винта.

Двигатель, работающий по винтовой характеристике должен обеспечить мощность или крутящий момент, поглощаемых гребным винтом на всем диапазоне частоты вращения от n_{max} до n_{min}. Изменение мощности по винто-

вой характеристике в основном определяется характером изменения сопротивления воды движению судна в зависимости от скорости.

Из кубической зависимости мощности видно, что незначительное изменение частоты вращения приводит к резкому изменению мощности.

С переходом от одного режима к другому, при работе на винт меняется подача топлива и число оборотов двигателя. Показатели двигателя могут быть построены в функции нагрузки или числа оборотов. Иногда кривые изменения показателей строятся в функции мощности. Смысл винтовых характеристик при этом не меняется.

Характеристики работы двигателей обычно строят по экспериментальным данным, полученным на стенде или в условиях эксплуатации судна. Их можно получить также расчетным путем.

В настоящей работе в качестве объекта исследования выбран малооборотный дизель фирмы MAN B&W S60MC мощностью $Ne_н$=11300 кВт, частотой вращения n=102 об/мин., реверсивный, семицилиндровый, крейцкопфный с прямоточно-клапанной продувкой, установленный на балкере «Genco Loire».

Задача исследования – расчетным путем определить изменения параметров рабочего процесса дизеля на переменных режимах при работе по винтовой характеристике, а также определение технико-экономических показателей.

Расчеты выполнены по известной методике Гренивецкого-Мазинга. При этом определены основные параметры рабочего процесса дизеля на долевых нагрузках приведенных в табл. 1, а именно:

— процесс наполнения: P_s – давление воздуха в ресивере, МПа; P_a – давление в цилиндре в начале сжатия, МПа; T_a – температура заряда в цилиндре в конце процесса наполнения, К;
— процесс сжатия: P_c – давление в конце процесса сжатия, МПа; T_c – температура в конце сжатия, К; P_z – максимальное давление сгорания, МПа;
— процесс сгорания: G – действительное количество воздуха для сгорания одного килограмма топлива, кг/кг; λ – степень повышения давления при сгорании; T_z – температура рабочего тела в конце процесса сгорания, К.
— процесс расширения: ρ – степень предварительного расширения; δ – степень последующего расширения; P_b – давление в цилиндре в конце расширения; T_b – температура газов в конце расширения.

Таблица 1. Расчетные параметры рабочего процесса дизеля S60 MC на режимах с долевой нагрузкой

Процесс наполнения				
Ne_p	P_s, МПа	P_a МПа	T_a, К	$\eta_н$
$Ne_p=Ne_н$	0,305	0,265	334	0,903
0,75 $Ne_н$	0,257	0,249	337	0,885
0,5 $Ne_н$	0,199	0,192	344	0,850
Процесс сжатия				
Ne_p	P_c, МПа	P_z , МПа	T_c, К	-
$Ne_p=Ne_н$	12,22	14,2	906,6	-
0,75 $Ne_н$	10,26	12,1	915,7	-
0,5 $Ne_н$	7,92	10,2	932,5	-
Процесс сгорания				
Ne_p	G кг/кг	T_z, К	λ	-
$Ne_p=Ne_н$	37,84	1660	1,16	-
0,75 $Ne_н$	35,0	1709	1,18	-
0,5 $Ne_н$	30,7	1804	1,29	-
Процесс расширения				
Ne_p	ρ	δ	P_b, МПа	T_b, К
$Ne_p=Ne_н$	1,61	9,4	0,754	829,3
0,75 $Ne_н$	1,63	9,34	0,655	864,7
0,5 $Ne_н$	1,55	9,8	0,529	919,0

Графические зависимости, соответствующие расчетным параметрам на долевых нагрузках в зависимости от мощности, выраженные в процентах от номинальной представлены на рис. 1.

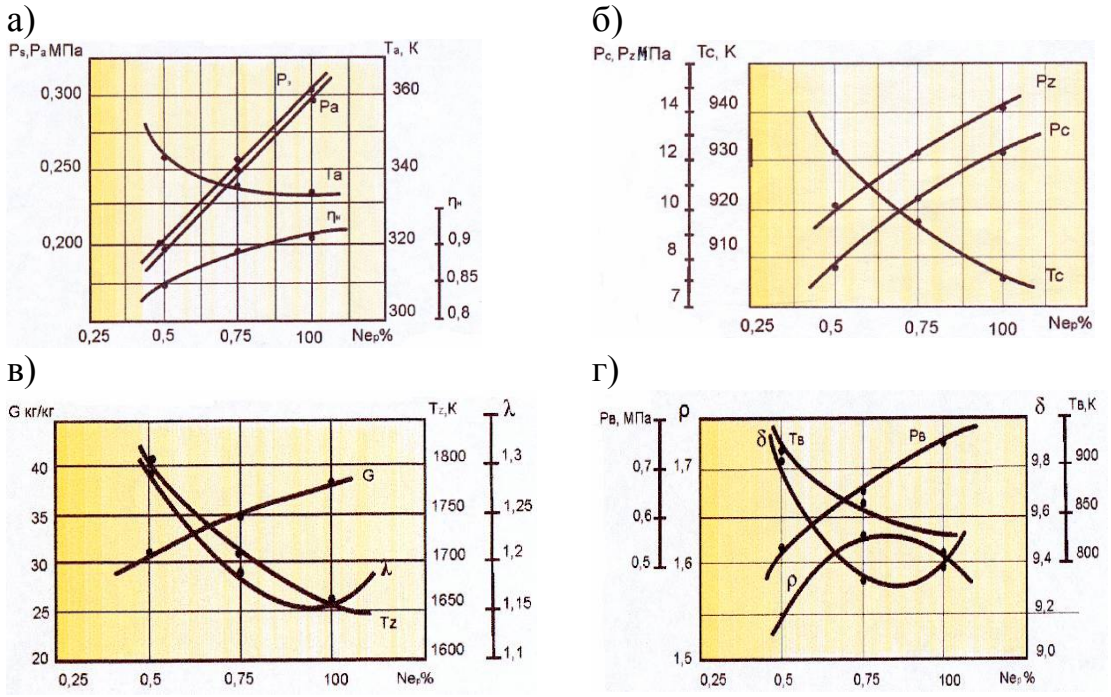


Рис. 1 Изменение показателей рабочего процесса дизеля S60 MC на режимах с долевой нагрузкой при работе по винтовым характеристикам: а – процесс наполнения; б – процесс сжатия; в – процесс сгорания; г – процесс расширения.

Индикаторные и эффективные характеристики дизеля согласно данным расчета (табл. 2) представлены на рис. 2, а именно:

— η_i – индикаторный КПД;
— η_e – эффективный КПД;
— P_i – среднеиндикаторное давление, МПа;
— P_e – среднеэффективное давление, МПа;
— b_i – индикаторный расход топлива, кг/кВт-ч;
— b_e – эффективный расход топлива, кг/кВт-ч;
— $B_ч$ – часовой расход топлива, т/ч.

Таблица 2. Расчетные параметры индикаторных и эффективных характеристик дизеля

Ne_p	P_i, МПа	P_e, МПа	η_i	η_e	b_i, кг/кВт-ч	b_e, кг/кВт-ч	$B_ч$, т/ч
Ne_p=$Ne_н$	1,826	1,698	0,538	0,501	0,158	0,171	1,75
0,75 $Ne_н$	1,533	1,41	0,507	0,466	0,169	0,183	1,44
0,5 $Ne_н$	1,203	1,083	0,469	0,469	0,182	0,202	1,05

а) б)

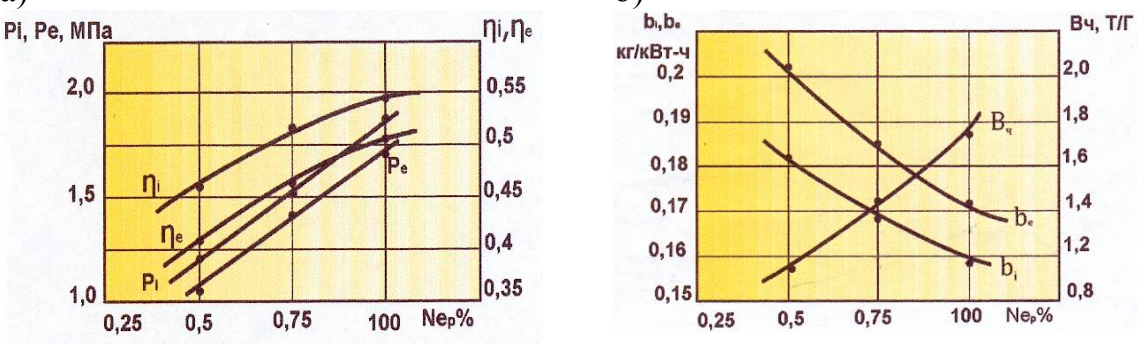


Рис. 2 (а, б) Индикаторные и эффективные характеристики дизеля S60 MC на режимах с долевой нагрузкой при работе по винтовым характеристикам

Анализ расчетных данных и графических зависимостей показал, что при работе дизеля на долевом режиме 0,5 $Ne_н$:

— среднее индикаторное давление P_i и среднее эффективное давление Pe понизились на 34,0% и 36,0% соответственно;
— индикаторный η_i и эффективный η_e КПД понизились на 13,0% и 15,7% соответственно;
— удельный индикаторный η_i и эффективный η_e расход топлива увеличились на 13,2% и 15,3% соответственно;
— часовой расход топлива $B_ч$ уменьшился на 40%.

Динамика изменения остальных показателей теплового расчета дизеля видна из графических зависимостей показанных на рис. 1 и рис. 2.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брук М.А., Рихтер А.А. Режимы работы судовых дизелей. -Л.: Судпромгиз, 1963. -482 с.
2. Камкин С.В., Возницкий И.В., Шмелев В.П. Эксплуатация судовых дизелей: Учебник для вузов. –М.: Транспорт, 1990. -334 с.
3. Суворов П.С. Управление режимами работы главных судовых дизелей. – Одесса: ЛАТСТАР, 2000. -238 с.
4. Лебедев О.Н., Сомов В.А., Калашников С.А. Двигатели внутреннего сгорания речных судов: Учебник для вузов. –М.: Транспорт, 1990. -328 с.
5. Самсонов В.И., Худов Н.И., Мирющенко А.А. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Учебник для высш. учеб. заведений ММФ. –М.: Транспорт, 1981. -400 с.

УДК 621. 431. 74

Доц.. Черниш І.І. , Даниленко В.В.
Одесская национальная морская академия

Вплив коефіцієнта залишкових газів на робочі параметри дизеля

Газообмін являється одним з важливих процесів очищення циліндра дизеля від продуктів згоряння і наповнення його свіжім зарядом

$$\eta_{\text{г}} = \frac{G_{\text{г}}}{G_L},$$

де $G_{\text{г}}$ – маса залишкових газів, кг;

G_L – маса свіжого заряду.

Значення коефіцієнту залишковіх газів залежить від конструктивних особливостей дизелів:

$\eta_{\text{г}}$ = 0,01…0,02 СОД, ВОД;

0,03…0,05 МОД з прямоточно-клапанною продувкою;

0,08…0,15 МОД з контурною продувкою.

Розрахунок дослідних параметрів роботи дизеля проводився згідно програми розрахунку робочого процесу методом В.І. Гриневецкого – Е.К.Мазинга і приведен в таблиці.

Дослідні параметри:

$P_в$ - тиск на початку випуска, мПа; T_a – температура на початку стиснення, T_c - температура в кінці стиснення, T_z - найбільша температура згоряння палива, $T_в$ – температура на початку випуска, К; ρ - ступень попереднього стиснення, δ – ступень наступного стиснення; N_e - ефективна потужність дизеля, кВт, P_e – середній ефективний тиск, мПа.

Таблиця визначення впливу коефіцієнта залишкових газів на робочі параметри дизеля.

	$\gamma_г$	P_e	N_e			T_z		ρ	δ	
1	0,02	1,90	29326	935	0,97	1726	895	1,78	7.90	335
2	0,25	1,88	29011	933	0,96	1727	900	1,75	7,90	337
3	0,03	1,86	28710	931	0,95	1728	905	1,75	7,96	339
4	0,35	1,84	18400	930	0,95	1729	911	1,74	8,01	342
5	0,04	1,82	28105	930	0,94	1730	816	1,73	8,30	344
6	0,45	1,80	27820	930	0,93	1731	921	1,73	8.10	346
7	0,05	1,80	27534	930	0,93	1732	926	1,70	8.10	346
8	0,055	1,80	27256	926	0,92	1733	931	1,70	8,20	350
9	0,06	1,75	26985	925	0,91	1734	936	1,70	8,20	352
10	0,10	1,62	24990	917	0,86	1742	973	1,60	8,60	370
11	0,20	1,36	21100	902	0,77	1760	1055	1,49	8,40	404
12	0,25	1,27	19550	896	0,74	1767	1090	1,44	9,70	420
13	0,30	1,18	18330	890	0.71	1774	1122	1,29	9,90	440
14	0,35	1,10	17100	887	0,68	1780	1152	1,36	10,3	448
15	0,40	1,04	16100	883	0,66	1786	1180	1,33	10.5	460

Висновки

Згідно таблиці видно, що з підвищенням коефіцієнта залишкових газів з 0,02(2%) до 0,003(3%) робочі параметри дизеля майже не змінюються, окрім потужності дизеля N_e, котра зменшилась на 3%. Помітне змінення значень параметрів починається при $\gamma_г$ = 0,05 (5%).

Так значення N_e і ρ знизились на 15%, 9%, а параметри T_z, T_a, T_c, і підвищились на 1%, 8%, 9%, 8% відповідно.

При підвищені коефіцієнта залишкових газів до 0,2 (20%) значення параметрів N_e, ρ знизились на 28%, 16%, а параметри T_z, T_a, T_c, δ знизились на 2%, 17%. 15%, 16% відповідно.

При збільшенні $\gamma_г$ до 0,3 (30%) потужність N_e знизилась на 36%, що підтверджує літературні дані.

СПИСОК ВИКОРИСТОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Возницкий И.В., Михеев Е.Г. Судовые дизели и их эксплуатация.- М.: Транспорт, 1990.-330 с.
2. Самсонов В.И., Худов Н.И. Двигатели внутреннего сгорания морских судов.- М.:Транспорт, 1990.-368 с.
3. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Фомин Ю.Я., Горбань А.И. Добровольский В.В., Лукин А.И., и др. – Л.: Судостроение, 1989.-344 с.
4. Фомин Ю.Я. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Методические указания по выполнению курсового проекта. Одесса: ОИИМФ, 1985.-102 с.

УДК 621. 431. 74

Доц.. Черниш І.І. , Халиду С.
Одесская национальная морская академия

Вплив температури наддувного повітря на робочі параметри і роботу дизеля

Вплив температури надувного повітря на середній ефективний тиск підтверджується рівнянням середнього ефективного тиску, мПа.

$$p_e = \frac{Q_н}{L_o} \cdot \frac{\eta_i}{\alpha} \cdot \frac{P_s}{T_s} \cdot \eta_н \cdot \eta_m .$$

Як видно з рівняння при збережені всіх факторів рівняння незмінними, середній ефективний тиск P_e змінюється оберненопропорціонально температурі наддувного повітря T_s.

Визначення впливу температури наддувного повітря на робочі параметри і роботу дизеля приведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Визначення впливу температури наддувного повітря на економічні та енергетичні показники дизеля.

	T_s	Pe	Ne	$T_в$	$P_в$	T_z	Tc	ρ	δ	T_a
1	300	1,84	28509	900	0,89	1700	860	1,67	8,40	325
2	310	1,79	27650	908	0,86	1720	891	1,64	8,50	320
3	315	1,74	26841	915	0,85	1746	885	1,60	8,70	330
4	320	1,69	26100	923	0,83	1765	907	1,58	8,80	340
5	325	1,64	25350	931	0,81	1785	930	1,55	9,00	350

Дослідні параметри:

P_s, – тиск надувного повітря, $P_в$ - тиск на початку випуска, мПа; T_s, – температура надувного повітря, T_a – температура на початку стиснення, T_c - температура в кінці стиснення, T_z - найбільша температура згоряння палива, $T_в$ – температура на початку випуска, К; ρ - ступень попереднього стиснення, δ – ступень наступного стиснення; $\gamma_г$ - коефіцієнт остаточних газів.

Розрахунок дослідних параметрів роботи дизеля проводився згідно програми розрахунку робочого процесу методом В.И. Гриневецкого – Е.К.Мазинга.

Висновки

Згідно таблиці (1) при підвищені температури надувного повітря з T_s = 300 до 325К значення параметрів P_e, N_e, ρ знизились на 11%, 11%, 7% відповідно; а значення параметрів T_z, $T_в$, T_c, T_a, δ збільшились на 4%, 3%, 7%, 15% відповідно.

Підвищення температур підвищує теплову напругу дизеля та знижує потужність дизеля.

Дослідні параметри:

P_s, – тиск надувного повітря, $P_в$ - тиск на початку випуска, мПа; T_s, – температура надувного повітря, T_a – температура на початку стиснення, T_c - температура в кінці стиснення, T_z - найбільша температура згоряння палива, $T_в$ – температура на початку випуска, К; ρ - ступень попереднього стиснення, δ – ступень наступного стиснення; $\gamma_г$ - коефіцієнт остаточних газів.

Розрахунок дослідних параметрів роботи дизеля проводився згідно програми розрахунку робочого процесу методом В.И. Гриневецкого – Е.К.Мазинга .

СПИСОК ВИКОРИСТОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Возницкий И.В., Михеев Е.Г. Судовые дизели и их эксплуатация.-М.: Транспорт, 1990.-330 с.
2. Самсонов В.И., Худов Н.И. Двигатели внутреннего сгорания морских судов.- М.:Транспорт, 1990.-368 с.
3. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Фомин Ю.Я., Горбань А.И. Добровольский В.В., Лукин А.И., и др. – Л.: Судостроение, 1989.-344 с.
4. Фомин Ю.Я. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Методические указания по выполнению курсового проекта. Одесса: ОИИМФ, 1985.-102 с.

УДК 004.92:514.2

Корх М.В., к.п.н., доцент
Одеська національна морська академія

Застосування комп'ютерної технології для розв'язання прикладних задач нарисної геометрії

Застосування комп'ютерної технології у навчальному процесі при розв'язанні деяких задач нарисної геометрії зумовлене сучасними вимогами до підготовки інженерних кадрів у вищих навчальних закладах. Значна увага при цьому приділяється умінню створювати нове програмне забезпечення, використання якого дозволяє значно швидше і в більш повній мірі засвоювати навчальний матеріал. Застосування комп'ютерних програм дає можливість наочного зображення розв'язання графічних задач і швидкість виконання завдання зі значною економією часу, уникаючи рутинної роботи по оформленню креслень.

У даній роботі пропонується програма візуалізації розв'язання задачі «Побудова розгортки поверхні», мета якої – підвищення ефективності засвоєння курсу нарисної геометрії у навчальному процесі.

Використання графічних редакторів (COREL DRAW, Power Point XP і ін.) дозволяє не тільки розробляти плоскі креслення, а й настроювати анімацію і звукове супроводження.

Представлена програма розроблена за допомогою пакета програм COREL DRAW 11, MS Office XP у вигляді презентації Power Point XP. Вона складається з трьох розділів: «Аксонометрія», «Визначення натуральних величин», «Побудова розгортки», кожний з яких є окремим пунктом алгоритму розв'язання задачі. Усі вони містять об'ємне зображення заданої поверхні, а також її фронтальну і горизонтальну проекції. Дана презентація має візуальний і звуковий супровід, що значно полегшує сприйняття курсантами навчального матеріалу. Нижче приведений опис кожного розділу.

Розділ I **"Аксонометрія"**

Для спрощення засвоєння курсантами розв'язання задачі створена об'ємна модель даної поверхні, що розбита на відсік конічної поверхні, площину, представлену у вигляді трикутника і поверхню, що нерозгортається і утворена криволінійною і прямолінійною напрямними. Об'ємна модель дозволяє поліпшити розуміння принципів побудови розгортки.

Розділ II **"Визначення натуральних величин"**

Спочатку програма автоматично розбиває поверхню у фронтальній і горизонтальній проекціях на трикутники. Далі за допомогою візуальних ефектів визначаються натуральні величини всіх сторін трикутників на цих проек-

ціях, а також наочно показується принцип їх визначення (рис.1). Паралельно йде пояснення матеріалу за допомогою звукового супроводження.

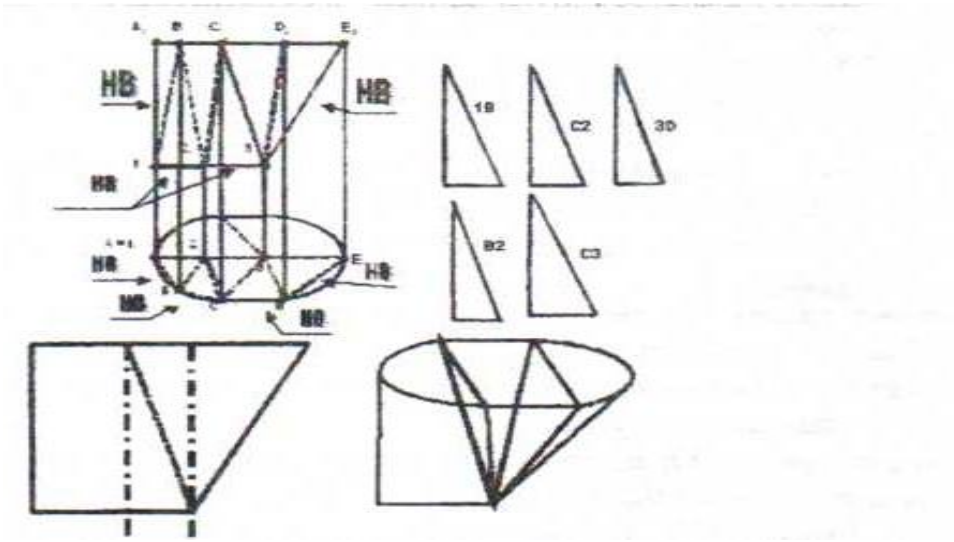


Рис. 1.

Розділ III "Побудова розгортки"

Маючи всі натуральні величини, що були знайдені раніше, програма вибирає довільну точку, з якої, на підставі знайдених раніше натуральних величин сторін трикутників, починає будувати розгортку. Через те, що задана поверхня має фронтальну площину симетрії, будується тільки половина розгортки, що складається з послідовного ряду трикутників, побудованих за трьома сторонами.

Висновки: За допомогою пакетів, які використовувались для створення представленої програми можна розробляти презентації розв'язання окремих задач з практичних занять, які не розглядаються в електронному конспекті лекцій з нарисної геометрії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Михайленко В.С., Найдим В.М., Підкоритов А.М., Скидан 1.А. Інженерна та комп'ютерна графіка. Підручник для студентів ВНЗ. К.: Вища школа, 2001. - 346 с.
2. Белунцов В. Новейший самоучитель по созданию Web-страниц. Оформление, издательство "ДЕСС КОМ", Москва 2000, 105с.
3. Полищук Н.Н. AutoCAD 2004. – СПб.:Мелітополь 2004. – 974 с.

УДК 004.94

Корх М.В., к.п.н., доцент
Одесская национальная морская академия

Визуализация пространственных моделей в системе AutoCAD – одна из форм развития пространственного мышления курсантов (студентов)

Пространственное мышление лежит в основе формирования общественных умений (конструктивно-технологических, организационно-технологических, операционно-контрольных), обеспечивает создание образа предмета труда, выбор орудий, а также конкретное планирование содержания и последовательности необходимых воздействий на объект труда.

Особенности структуры пространственного мышления тесно связаны с его склонностью к освоению различных специальностей, оказывают существенное влияние на выбор профессии.

Актуальность этой проблемы определяется не только тем, что без достаточно сформировавшегося пространственного мышления невозможно достичь необходимого уровня изучения ряда дисциплин, но и тем, что хорошо развитое пространственное мышление способствует овладению разными знаниями и применением их в решениях различных задачах как теоретического, так и практического характера.

В связи с вышеуказанным, проблема формирования пространственного мышления курсантов (студентов) на различных этапах обучения является актуальной проблемой на всех ступенях обучения.

Несмотря на стремительный рост научно-технического прогресса, уровень развития пространственного мышления курсантов (студентов) на различных этапах обучения, не соответствует требованиям сегодняшнего дня.

Сложившееся положение является серьезным тормозом в успешности изучения курсантами (студентами) всех без исключения дисциплин, затрудняет выработку и приобретение комплексов знаний, умений и навыков, необходимых для освоения будущих профессий, снижает творческую активность и самостоятельность при решении задач различного типа. Повышение компьютерной грамотности курсантов (студентов) и специалистов неразрывно связано с повышением уровня их пространственного мышления. Осознавая, что практика высшей школы настоятельно требует разработки системы мероприятий, направленных на совершенствование процесса развития пространственного мышления.

Особое место в формировании и развитии у курсантов (студентов) пространственное мышление занимает начертательная геометрия.

Специфика и структура курса начертательной геометрии открывает широкие возможности для развития творческих способностей курсантов (студентов), формирования приемов умственной деятельности, интеллекта. Одним из наиболее важных и сложных аспектов учебно-воспитательного процесса при этом является развитие пространственного мышления.

В основе его развития при изучении курса начертательной геометрии лежит пространственное представление объемных наглядных моделей, которые рассматриваются со всех сторон, в разных положениях. Использование моделей, как один из способов наглядности, способствует формированию абстрактных геометрических понятий и умению решать геометрические задачи. Они раскрывают пространственное мышление и представление, а так же умение оперировать образами.

Обучение с использованием современных информационных технологий позволяет экономить силы и время при поиске и передаче информации, при осуществлении инженерных расчетов, создании документов, рисунков, чертежей дает больше возможностей в повышении профессиональных качеств в целом.

В то же время приходит осмысление роли компьютерных программ в учебном процессе.

Первоначальная эйфория от практически неограниченных возможностей этого творения человеческого разума уступила место пониманию того, что эти возможности могут быть реализованы только в единении основательного знания всего комплекса технических дисциплин, включая и инженерную графику, с умением использовать многообразие функций современных компьютерных программ. Освоение как одного так и другого требует от обучаемых существенных затрат и труда и времени.

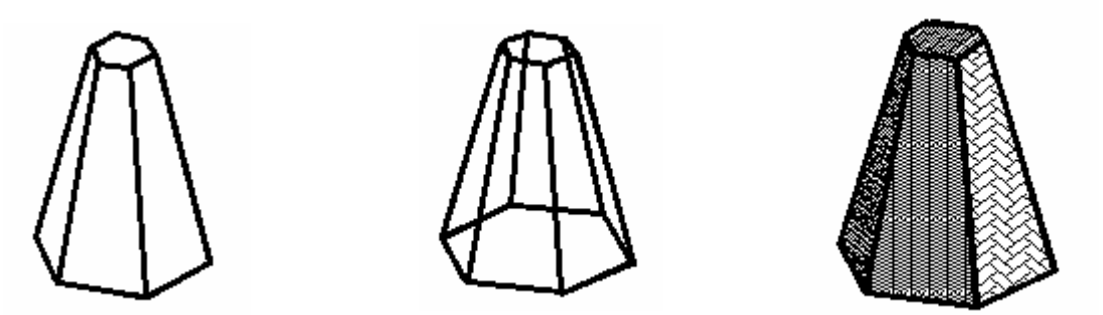
Оптимизация учебного процесса, заключающегося в одновременном обучении студентов и принципам инженерной графики и овладению компьютерными графическими программами AutoCad дает хорошие результаты лишь в начальный период изучения начертательной геометрии, когда курсантам (студентам) не требуется выполнять чертежи в полном смысле этого слова, а возможности компьютера показывать объемную картину способствуют развитию их пространственного представления.

На занятиях начертательной геометрии и графики можно широко использовать новые формы по развитию у курсантов (студентов) пространственного мышления, в частности использовать команды системы AutoCAD по визуализации пространственных моделей.

В процессе проектирования различных объектов большая часть графических работ приходится на формирование каркасных, поверхностных или твердотельных моделей. Отображение объектов на экране должно происходить быстро, в реальном времени. Для ускорения вывода изображения на экран используется ряд команд, позволяющих отображать только каркасную поверхность, независимо от типа объектов. Будь это твердотельная модель или сложная криволинейная поверхность, на экране отображается только каркасное изображение. В конце проектирования, а иногда и в основной части этого процесса, возникает необходимость получать более реалистическое изображение , т.е. раскрашенное в реальные цвета, со специфической текстурой поверхности, реальной светотенью, в перспективе и с другими эффектами.

Каркасное изображение модели

До применения команды <Hide> | <Hide> | После применения команд <Hatch>



Данное направление развития пространственного мышления получило широкое распространение благодаря простоте формирования сложных трехмерных объектов. Сформированные для визуализации трехмерные объекты могут быть импортированы с наложенными на их грани цветом и текстурой в другие графические макеты.

Пространственное мышление необходимо не только для профессиональной деятельности, а и для ориентации любого человека в пространстве и во времени, что является необходимым условиям социальной жизни, успешного познания и активного преобразования деятельности.

Психологами установлено, что необходимым компонентом творческой деятельности человека в разных отраслях есть наличие пространственных образов и умения оперировать ими. Решению этих проблем в большей степени помогает применение информационных технологий.

Вывод. При данной методике обучения увеличивается выбор способов развития пространственных образов и мышления за счет наглядных изображений при их преобразованиях, формируется моделирующий подход для образования технических форм и использования компьютерной графики на практике.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юсупова М.Ф. Черчение в системе AutoCAD 2000. Учебное пособие. -К.:Алерта, 2003.-330 с.
2. Якимчук Б.А. Образне мислення в процесі розв’язування творчих задач з креслення: Авт.дис.(19.00.01) Ін-т психології ім. Г.С. Костюка.- Київ, 1998.-17 с.
3. Потемкин А. Трехмерное твердотельное моделирование – М. :Компьютер Пресс, 2002.-296 с

УДК 811.111.001.2:656.61

Богомолов О.С.
Одесская национальная морская академия

Усвоение иноязычной лексики

Сторонники деятельностного подхода в обучении будущих специалистов иностранному языку в неязыковом вузе рассматривают процесс усвоения лексики как важнейшую часть изучения иностранного языка. Причём, подчёркиваеся, что для успешной речевой деятельности необходимо, среди прочего, владение соответствующими лексическими навыками, т.е. операциями с лексическим материалом, входящими в состав речевых умений говорения (Speaking), чтения (Reading), аудирования (Listening) и письма (Writing).

При таком подходе основой развития лексических навыков является деятельность со словами. Учащиеся должны не только запомнить слова и конструкции, их формы и значение, у них должны сформироваться навыки использования этого лексического материала при решении речевых задач. В ходе операций с языковым материалом происходит его запоминание и закрепление в памяти. Но без системного повторения лексики она забывается и не может использоваться для приёма и передачи информации. Поэтому следует организовывать систематическое повторение лексики в процессе выполнения упражнений. Причём, по мнению исследователей этой проблемы, повторение должно быть не процессом закрепления в памяти учащихся самих слов и словосочетаний, а поддержанием и закреплением приобретённых ранее навыков их использования для порождения и восприятия высказываний.

Введение лексики должно происходить в составе предложения для демонстрации её функционирования в речи. А затем слова выделяют из состава предложения и сосредоточивают внимание на особенностях их грамматического и звукового оформления. Важным условием эффективного обучения лексике является дифференцированный подход к словарю в зависимости от того, будут те или иные слова усваиваться репродуктивно, т.е. для употребления в устной речи и для чтения, или только рецептивно, т.е. для понимания в тексте. Например, слова лексического минимума (ок. 2 тыс.), включенные в наш «Английский язык для судовых инженеров», предназначены для их использования при чтении учебных текстов того же учебного пособия. Поэтому 100% этих слов подлежат, прежде всего, рецептивному усвоению, т.е. овладению их формой, значением, грамматическими особенностями и умением отличать их от сходных слов. Преподаватели решат сами какие из этих слов следует включить в лексическую базу для развития навыков и умений устной речи, и, следовательно, для их репродуктивного усвоения. Подспорьем в этой работе могут служить такие компоненты методического аппарата нашего учебного пособия как: “Check your comprehension of …”; “Model Talks”; “Situations to be dramatized”.

Для введения слов преподаватели самостоятельно подбирают адекватные средства их семантизации, в том числе - наглядность, дефениция, догадка на

основе контекста и словообразовательной модели, перевод, с учётом таких факторов как характер слова, возможность его наглядной семантизации и употребления в недвусмысленном контексте, словообразовательные формы. Самым экономным из них является перевод на родной язык. Однако, как утверждают специалисты, этот способ семантизации не способствует развитию у студентов умения понимать речь на слух.

Подлинная связь между понятием и словом устанавливается в результате упражнений. Одним из основных правил эффективного усвоения слов является выполнение первых лексических упражнений сразу же после их введения, на том же занятии. Эти упражнения, устные и письменные, репродуктивные и рецептивные, выполняются прежде всего с целью образования звукомоторных образов слов и конструкций. Здесь следует отличать устные упражнения от упражнений в устной речи, т.е. практики в передаче своих мыслей устным путём.

Формирование рецептивных лексических навыков осуществляется с опорой на внешние зрительные и слуховые признаки лексических единиц. В заданиях к упражнениям выделяют графические, акустические и структурные признаки, которые необходимы для распознавания префиксов, суффиксов и основ, окончаний, различных групп лексических единиц и семантических классов. Это даёт возможность выработать словесный стереотип, обеспечивающий полноценное восприятие и воспроизведение целостного явления.

Репродуктивные лексические навыки формируются в ходе выполнения таких заданий как а) называние предметов, качеств, явлений и состояний на иностранном языке при демонстрации предметов; б) перевод слов с родного языка на иностранный; в) выбор подходящего к контексту значения лексической единицы и подбор сочетаний к ключевому слову; г) дифференцирование; д) выбор из группы слова, подходящего по смыслу ключевому слову; е) многочисленные варианты подстановочных действий и т.д.

Существует огромное разнообразие видов упражнений на формирование лексических навыков. Перечислим основные из них.

1. Заполнение пропусков в предложении словами, соответствующими данному минимальному контексту:

- Fill in the gaps with the correct form of the verb in the box.
- Put a preposition from the box into each gap.

2. Дополнение предложений по смыслу:

- Complete the sentences with verbs from the box and your own ideas.
- Look at the Chief Engineer’s schedule. What does he do at different times of the day? Choose a verb. Complete the schedule.

3. Вопросно-ответные упражнения с использованием новых слов:

- Here are the answers to some questions about …. Write the questions. Use the words in brackets.
- Ask and answer *Yes/No* questions about … .

4. Перефразирование с целью отработки форм новых слов:

- Complete the sentences so that they have the same meaning as the original sentences. Use modals.
- Translate the sentences into Russian. Translate the ideas, not word by word.

5. Придумывание предложений с новыми словами:
   - Tell your study partner what you like doing and what you don't like doing from the list of activities. Ask questions about the activities.
   - Look at the photograph of a machinery space (MS). Make sentences with *There's a ...,* and *There are some ...* about the MS.
6. Группировка слов по тематическому или ситуативному признаку:
   - Put the words into the correct columns (Things to read; Professions; Things to eat; Places; Verbs; Adjectives). There are five words for each column.
   - What time of day is it, morning, afternoon, or evening? Where are they? Who are the people? Choose from the boxes.
7. Отработка сочетаемости слов (такие упражнения выполняются в самом начале работы над словами):
   - Match a line in *A* with a line in *B* to make a question. Then find an answer in *C*.
   - Match multi-part words with their definitions.
8. Действия со словарём:
   - Read the three texts. Check the meaning of new words in your dictionary.
9. Условно-речевая деятельность в заданной ситуации:
   - Take your study partner on a tour of different machinery spaces. Talk about the machinery and equipment located there and their functions.
10. Подготовка информации в письменном виде:
    - Write sentences about yourself. Use *always, usually, often, sometimes, never.*
11. Аудирование:
    - Listen to the cassette. Repeat the numbers you hear. Ask your study partner to write the numbers you say.
    - Listen to the interviews with … . Who says these lines?
12. Чтение:
    - Read the article about X's journey quickly. Answer the questions.
    - Read the text again more carefully. Correct the information in the sentences.

В современных пособиях по изучению общего курса английского языка на продвинутом этапе (например, New Headway, fourth edition) работа с лексикой ведётся систематически в соответствии со специальной программой. Каждый структурно-тематический раздел учебного пособия (Unit) включает упражнения по презентации и семантизации, активизации и закреплению тематической лексики, иллюстрации изучаемого грамматического материала в сочетании с лексическим, словообразовательные модели, составные конструкции и т.п. Ведётся систематическая работа по усвоению морфологических форм, синтаксических конструкций, синонимов, антонимов, разговорных выражений, идиоматических оборотов, глагольных и именных моделей. Приоб-

ретённые таким образом лексические навыки автоматизируются в процессе выполнения условно-речевых упражнений и таким образом создаются предпосылки совершенствования беглости и правильности речи учащихся.

УДК 811.111.001.2:62.62

Козак С.В.
Одесская национальная морская академия

Использование мультимедийных средств для обучения ESP

Исследование потребностей обучающегося, их систематизация привела к тому, что основой курса ESP с середины 70-х годов стали рассматривать именно их, а не предмет обучения. Например, модель, предложенная Дж.Мунби, выявляла потребности обучающихся исходя из целей профессионального общения, делая их ядром курса ESP. Недостатки данной модели учтены в дальнейших разработках, концентрирующихся на исследовании мотивации, индивидуального стиля деятельности, способностей к обучению, стратегий обучающегося.

Подход, приоритетом для которого является сам процесс обучения, учитывающий систему потребностей обучающегося, оказался достаточно плодотворным и широко распространен в настоящее время. Разработанные в разных странах программы и методики обучения ESP носят динамичный характер, включают обучающегося на всех этапах проектирования, уделяют значительное внимание организации самостоятельной работы, дают право преподавателю менять курс в соответствии с изменяющимися потребностями обучающихся.

Проведенное нами исследование показало, что особый интерес представляет использование для обучения ESP подкастов научных, научно-популярных и технических изданий [. Это вызвано рядом факторов.

Во-первых, большинство подкастов представляет собой интервью и дискуссии, т.е. речь диалогического (полилогического) характера. Материал подается в форме, облегчающей усвоение новой информации за счет более структурированной при помощи вопросов подачи материала, возможности перефразирования, экземплификации, уточнений и т.п.

Во-вторых, студент становится соучастником межличностного общения не с виртуальным автором, а с реальным человеком, получает возможность сделать свои собственные выводы на основе звучащей речи, по природе своей более экспрессивной, эмоциональной, оказывающей сильное воздействие на адресата.

В-третьих, с развитием технических средств подписка на подкаст не представляет для пользователя никаких трудностей, а восприятие письменного текста, а тем более электронного по скорости несопоставимо медленнее. Таким образом, информирование пользователя становится доступней, оперативней и проще.

Для подготовки переводчиков особый интерес представляют научно-популярные подкасты, так как они рассчитаны на широкие слои специалистов и могут помочь переводчику овладеть специальной терминологией в смежных сферах науки и техники.

В данную выборку вошли наиболее известные подкасты, функционирующие в научно-популярной сфере общения, представленные как известными организациями, популяризирующими научные исследовании, университетами, научными обществами, так и отдельными авторами и даже студентами.

Для подробного анализа нами были выбраны подкасты за 2005-2007 годы англоязычного сайта научно-популярного журнла Nature. [http://www.nature.com/nature/podcast/index.html]. Это обусловлено рядом причин.

Во-первых, данный подкаст выходит каждую неделю с 2005 года, причем все выпуски хранятся в архиве и доступны для анализа; является бесплатным и достаточно популярным. Каждый подкаст в формате радиопередачи тематически связан с журналом, вышедшим в течение недели, и освещает проблемы, затронутые в нем. Ведущие А. Разерфорд (Adam Rutherford) и К. Смит (Kerri Smith) и журналисты Д. Брумфил (Geoff Brumfiel) и М. Хопкин (Mike Hopkin) приглашают ведущих ученых и исследователей прокомментировать или проанализировать открытие, исследование или проблему.

Во-вторых, подкаст существует в гипермедийной среде, является частью сайта http://www.nature.com, связан системой ссылок с печатными изданиями, другими узлами данного сайта, другими сайтами, т.е. интересен с точки зрения репрезентации в нем интердискурсивных характеристик.

В-третьих, с точки зрения целеустановок, формата, тематики этот подкаст типичен для подкастов научно-популярной сферы. Он политематичен, адресован широкому кругу слушателей (нет ограничений по возрасту, образованию, профессии, интересам), ставит своей целью популяризацию научных разработок, информирование слушателя о важнейших исследованиях, поиск решения насущных междисциплинарных проблем. Каждая передача длится 20 - 35 минут и обладает достаточно жесткой заранее установленной структурой.

Сайт Nature содержит текстовую запись подкаста (tapescript), сравнение которой со звучащим материалом позволило обнаружить ряд особенностей, связанных с функционированием подкаста в гипермедийной среде.

В текстовую запись подкаста (tapescript) на сайте Nature не включаются такие особенности звучащей речи говорящих, как заминки, повторы, паузы хезитации; знаки пунктуации не всегда отражают сегментацию звучащей речи говорящим, отсутствуют указания на тракт (телефон), шумы во время записи. Это значительно облегчает визуальное восприятие текста, приближая его характеристики к журнальной статье-интервью.

Однако текстовая запись содержит ряд структурных элементов, отсутствующих в записи и связывающих данный подкаст с другими узлами гипермедийной сети.

Это прежде всего вступление, называющее тип текста и дату подкаста, в нем приводится гиперссылка на архив подкастов, где можно подписаться на регулярные выпуски, описывается возможность обратной связи. Текст вступления стереотипен, изменения касаются только даты подкаста.

«This is a transcript of the 31st May edition of the weekly Nature Podcast. Audio files for the current show and archive episodes can be accessed from the Nature Podcast index page (http://www.nature.com/nature/podcast), which also contains details on how to subscribe to the Nature Podcast for FREE, and has troubleshooting top-tips. Send us your feedback to '; document.write("); document.write(addy_text60090); document.write('<\/a>'); //--> .»

[http://www.nature.com/nature/podcast/v447/n7144/nature-2007-05-31.html]

Другим структурным элементом, не присутствующим в звучащей речи, является гиперссылка на статью по обсуждаемой проблеме в каждом интервью и публичной речи, например, «Nature 447, 589–591 (31 May 2007)» – из подкаста 31 мая 2007 года.

Таким образом, анализ структуры подкаста показал, что он существует в гипермедийной среде, являясь ее неотъемлемой частью, узлом гипермедийного дискурса. Исследуя связи данного узла с другими, можно построить целую открытую сеть, состоящую из полимодальных текстов, в восприятии которых участвуют несколько перцептивных модальностей. Связи оформлены в виде ссылок, гиперссылок, повтора заголовка (ключевых слов заголовка), названия журнала, повтора ключевых слов исследования, имен ученых, наименований научных учреждений.

Обобщая результаты проведенного исследования, можно сделать выводы о появлении новой виртуальной среды межкультурного взаимодействия и сотрудничества. Принципиальная открытость гипермедийного дискурса, отсутствие жесткой иерархии, ориентация на межличностное и специализированное общение способствует не только глобальному распространению новых технологий, облегчающих виртуальное общение, выводящих его на принципиально новый уровень, но и коренным образом изменяет структурные характеристики самого дискурса, что требует своего теоретического осмысления.

Таким образом, для изучения и преподавания английского языка для специальных целей характерен междисциплинарный подход, причем на первый план выходят потребности обучающегося, анализ типичных профессиональных коммуникативных ситуаций, осознание разницы между созданием текста и его пониманием, исследование системы установок автора текста, правил успешной коммуникации. Достижение поставленных практических целей невозможно без объединения на основе новых технологий усилий различных наук: лингвистики, психологии, прагматики, педагогики.

Целью обучения, таким образом, становится формирование у обучающегося способности выбора и реализации программы речевого поведения в зависимости от ситуации общения, включающей, в частности, умение реали-

зовать речевое намерение, позволяющее установить контакт и взаимопонимание с другими людьми; знание структурных элементов языка и умение ими пользоваться в различных ситуациях общения; владение набором речеорганизующих формул, необходимых для общения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абаева Ф.Б. Развитие навыков межкультурной коммуникации в процессе преподавания делового английского языка : автореф. дис. ... канд. пед. наук / Сев.-Осет. гос. ун-т им. К.Л. Хетагурова.- Владикавказ, 2003. - 22 с.
2. Грайс Г.П. Логика и речевое общение. // Новое в зарубежной лингвистике. Вып. 16. - М., 1985. - с. 217-238.
3. Егорова Л.А. Особенности функционирования звучащего научно-популярного дискурса в гипермедийной среде//Вестник Российского университета дружбы народов - Серия: «Вопросы образования: Языки и специальность» -2008, №3. – С. 98 – 104.
4. Назаренко А.Л. Проблемы оптимизации понимания и преподавания языка для специальных целей / А.Л. Назаренко. - М.: Изд-во МГУ, 2000. - 127 с.

УДК: 378.147

Кузнецова О.С.
Одесская национальная морская академия

Подготовка курсантов к сдаче теста CES(Seagull)

Традиционный тест представляет собой стандартизованный метод диагностики уровня и структуры подготовленности. В таком тесте все испытуемые отвечают на одни и те же задания, в одинаковое время, в одинаковых условиях и с одинаковыми правилами оценивания ответов. Главная цель применения традиционных тестов - установить уровень знаний. И на этой основе определить место (или рейтинг) каждого на заданном множестве тестируемых испытуемых.

С началом активного развития компьютерных технологий в качестве инструмента анализа заданий очень эффективно использование компьютера. Сегодня компьютерные тесты являются одним из электронных средств обучения (ЭСО).

В морских агентствах по трудоустройству моряков для оценки профессиональных знаний моряков вдобавок к устному собеседованию прилагается к прохождению множество компьютерных тестов на английском языке: Marlin's, CES, SETS MEETS и т.д.

Программа-тест CES

Программа CES была разработана специально для тестирования профессиональных навыков моряков при приеме их на работу во все морские компании и агентства мира. При прохождении теста проверяется помимо профессиональных знаний и знание английского языка. Предназначен тест для судоводителей, механиков и технической службы.

CES - большая база данных знаний с более чем 5,000 вопросов с несколькими вариантами ответов, определенных для знания мореплавателя, в соответствии с ПДНВ. В тесте предлагаются 4 варианта ответа, где только 1- правильный.

Перед прохождением теста испытуемый выбирает категории, в соответствии с которыми он будет сдавать тест. Механикам предлагаются следующие категории в программе CES 5.1: Department, Vessel Types, Level, Questions. Темы, присутствующие в тесте: Legislation, Ship Fire-fighting organisation, Survival crafts and rescue boats, Engine performance и т.д.

Преимущества теста

- Онлайн доступ по сети Интернет;
- Нет необходимости в специальном программном обеспечении;
- Неограниченный административный доступ;
- Результаты испытаний сохраняются в центральной учебной базе данных;
- Возможность печати свидетельства о прохождении CES и отчетов.

Для успешного прохождения теста CES курсантам необходимо обладать достаточными знаниями английского профессионального языка. Также им необходимо быть осведомленными по учебной программе курса, быть ознакомленными с различными предметами по специальности.

В процессе подготовки курсантов к сдаче CES, преподаватель английского языка должен контролировать владение курсантом профессиональной лексики на английском языке и умение перевести и понять смысл вопроса. Контролировать правильность ответа преподаватель может с помощью базы данных ответов, предоставленной компанией-разработчиком программы. Рекомендуется использовать вопросы тестирования CES в процессе обучения английскому языку на занятиях начиная со 2 курса обучения, так как именно это тестирование расширит знания курсанта в области морского профессионального английского языка, а также его будущей специальности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беспалько, В.П.* Слагаемые педагогической технологии. – М.: Педагогика, 1989. – 190 с.:ил.
2. *Кузнецов А., Пугач В., другие.* Тестовые задания. Информатика. Методическое пособие. М., Лаборатория Базовых знаний, 2002.
3. *Майоров А.Н.* Теория и практика создания тестов для системы образования. - М., "Интеллект центр", 2001. - 296 с.

4. *Подласый И.П., профессор, доктор педагогических наук, Челябинского государственного педагогического университета,"*Тестирование в учебном процессе: его история и возможности"
5. *Челышкова М. Б.* Теория и практика конструирования педагогических тестов. Уч. Пособие. — М.: Логос, 2002.
6. Орел Е., Прохоров А. Создание тестов и компьютерное тестирование. //Компьютер Пресс. - 2006 г. №7
7. http://www.seagull.no/training-and-administration_crew-evaluation-system-%28ces%29

UDK 614.841.48’847:656.61.085.5

Gutsal P.

The firefighting equipment onboard vessels

SOLAS CHAPTER II-2 Construction – Fire protection, fire detection and fire extinction. The fire-extinguishing systems and equipment required by regulation 10 and for which that regulation requires compliance with the provisions of the FSS Code(International Code for Fire Safety Systems, published by the IMO.) must be of a type approved by the Minister as meeting the applicable requirements of that Code.

Without doubt, one of the main causes of accidents onboard ships is fire. This is because of the presence of high temperature, excess quantity of flammable oil and other combustible materials. Ships engine rooms are susceptible to fires and explosions, as well as the engines themselves. However, there is firefighting equipment in a ship’s engine room to combat these hazard.A ship is approved to sail in international waters only if it is constructed as per Fire Safety System code and carries required Fire Fighting Appliances approved by the concerned authority.

The Fire Triangle

There are three components required for combustion to occur:

• Fuel – to vaporize and burn

• Oxygen – to combine with fuel vapor

• Heat – to raise the temperature of the fuel vapor to its ignition temperature .

There are two important factors to remember in preventing and extinguishing a fire:

1) If any of the three components are missing, then a fire cannot start.

2) If any of the three components are removed, then the fire will go out.

Fire is classified depending on the fuel that causes fire.

1.Class A (General fire)- Wood,Paper,Cloths etc.,

2.Class B (Oil fire)- Flammable liquids – gasoline, oil, grease etc.,

3.Class C (Electrical fire)- Electrical cables and electrical motors,switchboards etc.,

4.Class D (Chemical fire)- Chemicals – Reactive chemicals and Active metals

The fire main is a system consisting of sea inlet, suction piping, fire pumps and a distributed piping system supplying fire hydrants, hoses and nozzles located throughout the vessel. Its purpose is to provide a readily available source of water to any point throughout the vessel which can be used to combat a fire . Water primarily extinguishes a fire by the removal of heat. It absorbs heat more effectively than any other commonly used extinguishing agent due to its good thermal conductivity and its high latent heat of vaporization.

Aboard a vessel, water is moved to a fire in two ways:

1) Via the fire main system, through hose lines that are manipulated by the vessel's personnel

2) Through piping systems that supply fixed manual or automatic sprinkler or spray systems

Fixed Fire extinguishing system:

1.Principles of Fixed Gas Fire-extinguishing Systems

systems suppress fires by reducing the available oxygen in the atmosphere to a point where combustion can no longer take place .

Advantages of fixed gas systems over water-based systems are that:

• Damage to sensitive equipment can be avoided, especially in the case of electronic equipment.

• Clean up time and equipment down time is substantially reduced.

Disadvantages are that:

• Some gaseous agents are hazardous to personnel.

• Cooling effect of gas systems is significantly less than water-based systems.

• Unlike the unlimited supply of water for fire-fighting systems, the quantity of gas available is limited to that carried in the cylinders protecting the space.

Due to the above disadvantages, it is essential that fixed gas fire-fighting systems be deployed as quickly as possible to minimize heat buildup. Also, care should be taken to avoid fire being restarted due to dissipation of the fire-extinguishing gas and the introduction of fresh air .

2.Fixed foam extinguishing systems are used to smoother flammable liquid fires. The foam, working on the principle of excluding air from any burning surface, must be made to flow gently across burning liquid pools.

3.Dry chemical extinguishing systems are designed to combat Class B (flammable liquids and gases) and Class C (electrical) fires.

Portable Fire Extinguishers

Dry Powder Fire Extinguisher– it has a blue band around the body and is used for extinguishing electrical and liquid fires.

Foam Fire Extinguisher – this has a yellow band around the body and is used for extinguishing oil fires.

Water Fire Extinguisher – this has a red band contained between two thin white bands around the body. It is used to extinguish paper, wood and cloth.

CO2 Fire Extinguisher – this has a black band around the body and is used to extinguish electrical and liquid fires.

They are operated by removing the protective pin, before pulling the trigger smartly .Fire extinguishers are usually stored in a container, one of each type. The containers are positioned at different levels in the engine room at high fire risk locations.

Fire Detectors and Alarms:

3 phenomena associated with fire are used to provide the alarm: smoke, flames, and heat.

-The smoke detector makes use of two ionisation chambers, one open to the atmosphere and one closed. The fine particles or aerosols given off by the fire alter the resistance in open ionisation chamber, resulting in operation of a cold cathode gas-filled tube. The alarm sounds on the operation of the tube to give warning of fire. Smoke detectors are used in machinery spaces, accomodation areas and cargo holds.

-Flames, as opposed to smoke, are often the main result of gas and liquid fires and flame detectors are used to protect against such hazard. Flames give off ultra-violet and infra-red radiation and detectors are capable to respond to either. Flame detectors are used near to fuel handling equipment in the machinery spaces and in such spaces as boiler rooms. The most usual detector nowdays operates on either a set temperature rise or a rate of temperature rise being exceeded. Thus an increase in temperature occuring quickly could set off the alarm before the set temperature was reached.

-Heat detectors are used in places such as the galley and laundry where other types of detectors would give off false alarms. Associated with fire detectors is the electric circuit to ring an alarm bell. This bell will usually sound in the machinery space, if the fire occurs there, and also on the bridge. Any fire discovered in its early stages will require the finder to give the alarm or make the decision to deal with it himself if he can.

UDK 614.841.48’847:656.61.085.5

Baranov D.

Flag of convenience (foc)

From the earliest days of marine travel the flag of ship provided an indication of the nationality of the vessel, the country under whose laws it operated.

In practice, however, a ship’s flag doesn’t necessarily reflect the nation where the vessel is owned. There are two reasons why. The first is deception. The second reason is where the owners, for legal or commercial reasons, prefer to operate under the rules and laws of a country they are not domiciled in. This is the flag of convenience (FOC).

This has become associated with unscrupulous owners operating ‘rust bucket’ ships, with poor working conditions, low pay and crew exploitation. Of course not all FOCs fall in this category.

The term ‘flag of convenience’ only entered popular use in the 1950s.

Up until the late 18th century the use of foreign flags had been quite and informal arrangement. As the Industrial Revolution got under way between the mid 18th and early 19th centuries marine commerce international, and the necessity for strict domestic registration began to look less important.

The boom in international commerce and global shipping, including the slave trade and the expansion of colonization, began to put pressure on countries to relax control over their merchant navies.

The use of foreign flags had a further surge in popularity in the US in the 1920s when a number of cruiseships were re-registered under the Panama flag to avoid the restrictions of Prohibition on US vessels.

In 1930s, a worsening political situation in Europe provided considerable impetus for the use of FOCs.

High crewing costs under the Greek flag in pre-war years also led to the growing use of the Panamanian flag by Greek operators.

After the end of the war many operators began to have increasing dissatisfaction with some aspects of the Panamanian flag.

In 1948 Liberia passed two pieces of legislation, the Liberian Maritime Law and the Liberian Corporation Law, which opened up its flag to US and other operators.

The registry quickly became successful and profitable, mainly as a result of good management, in contrast to Panama, which was becoming disorganized.

The US flag had become expensive, whereas FOCs has the attractions of freedom from tax and fiscal control minimum regulatory oversight, no restrictions on crew nationality, minimum legal formalities, and no political interference.

Today Panama has the largest registry in the world, followed by Liberia, Marshall Islands, Hong Kong and Singapore. Almost three quarters of the world's fleet is registered under the flag of another country. Around 8,600 ships fly by the Panamanian flag.

UDK 614.841.48'847:656.61.085.5

Troyanov A., adv. Kozak S.L.

Safety at sea

Shipping is perhaps the most international of all the world's great industries - and one of the most dangerous. It has always been recognized that the best way of improving safety at sea is by developing international regulations that are followed by all shipping nations.

Safety at sea is a combination of a number of factors. International and national rules lay down the safety equipment that a ship must have to provide for safety at sea. The international rules have been worked out by IMO (International Maritime Organization), which is a United Nations agency. All member countries must therefore comply with the rules set forth by IMO and other organizations dealing with the safety of navigation and with the safety at work on board. In addition to

this the Master is at all times responsible for the general safety of the ship and all on board. Strict safety rules are imposed on the construction of the ship, her equipment and radio and particular attention is paid to the issuance of the relative certificates and surveying. On the other hand there are numerous conventions and amendments issued by IMO aimed at improving safety at sea. The International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974, has been the basis for all the actual conventions, rules and regulations, such as the 1966 Load Lines Convention, the International Convention for the prevention of Pollution from Ships; 1973 , (modified as Marpol 73/78), the International Regulations for Preventing Collisions at Sea 1972 (colregs), the Global Maritime Distress Safety System (GMDSS) entered into force in 1992, MERSAR (Merchant Ship Search and Rescue), etc.

The guidelines do not contain all the answers to every hazard or danger. Likewise, it may be that the solutions or techniques they offer do not apply to your vessel or operation for practical or economic reasons. In these cases, it is hoped that the guidelines will provide the framework and approach that will enable you to put your own unique solutions into place. The guidelines are designed to be an evolving document. They will be updated and amended in the future. If you have any questions or feedback on the guidelines contact the Manager, Safety Management Systems, Maritime New Zealand.

1. GENERAL PREVENTION STRATEGIES

This section details the emergency procedures and equipment that should be on every vessel. It also covers what you can do to prevent emergencies:

- if there is a fire on board
- when someone falls overboard
- when someone is injured on board
- if there is a flood on board
- if you have to abandon ship
- if you have to make a MAYDAY call.

Everyone should do what they can to keep the vessel in good working condition. This means:

- keep things tidy on and below deck
- know where items should be stored and keep them there
- secure loose items
- make sure safety gear is easy to get to, and that it is regularly checked and maintained
- report any problems or gear defects to the skipper

2. EMERGENCY TRAINING

The crew are the only people who can deal with an emergency at sea. As emergencies do not occur often, regular training is essential. This will mean your crew can respond quickly and effectively when needed. Emergency training is practising safety drills on board the vessel while it is at sea. Ideally training should be done at

any time and while at sea. Regular training, or practising, develops familiarity and familiarity saves time. In an emergency you don't have time to think.

3. FIRE ON BOARD

Fire on board a vessel at sea (or alongside) is extremely serious. Fire can spread quickly and smoke becomes very intense very quickly. This makes fire fighting harder. Fires can start anywhere on a vessel. They most often start in the galley or in the engine room.

Action Points!

1. Raise alarm! Shout FIRE and/or sound the alarm.
2. Attempt to put out the fire using a portable fire extinguisher.
3. Stop all ventilation. Turn off fans.

4. IF UNSUCCESSFUL:

4. Get out and close up the compartment.
5. Shut off all power and fuel supplies to compartment on fire (if possible).
6. Activate fixed fire extinguishing system (if fitted).
7. Close all openings, doors and vents to the compartment. Keep an eye out for smoke escaping. Block holes so the fire is starved of oxygen.
8. Protect liferafts from the fire.
9. Dampen hot spots on external bulkheads (if applicable) and on the deck above the compartment on fire to stop it spreading. Use water sparingly to avoid stability problems due to free surface water.
10. Prepare to abandon ship.

Note

See Section 2 for more detail about how to fight fires on board.

5. MAN OVERBOARD

A crewmember can fall into the sea at any time while working on deck – not only during rough weather.

The person entering the water may have been unconscious when they fell in, and might not be able to keep their head above the water. If they are not wearing a floatation aid, they may sink quickly.

It is important to RECOVER THE PERSON AS FAST AS YOU CAN.

Action Points!

If you hear or see someone fall overboard:

• Immediately throw a floatation device into the water. The best thing to use is a life ring. If you do not have a life ring use a lifejacket or anything else that will assist the person to stay afloat. At night, throw in a light or reflective item as well.

• Raise alarm! Shout MAN OVERBOARD.

• Keep pointing at the person in the water.

• Keep an eye on the floatation device and the person in the water. Guide the wheelhouse back to them without taking your eyes off them.

• Carefully manoeuvre the vessel alongside (upwind) of the person.

• Recover the person being careful not to be pulled into the water yourself.
• Make the person warm, and conduct CPR immediately (if required).
• Radio for assistance (if required).
If someone is missing
• Mark your position and start retracing your track.
• Raise MAYDAY call immediately so other vessels in the area can assist

Advices
• Always wear a personal floatation device whenever working on the weather deck – not just in bad weather.
• Ensure life rings and other safety devices are easy to get to at all times.
• If you are the only one on deck consider wearing a safety line.

6.FIRE PREVENTION AND FIRE SAFETY

Fire is very dangerous for vessels at sea. Most vessels carry and use a number of highly flammable items on board. Once a fire starts, it can be very hard to put out. You will need to do everything you can to keep your vessel afloat and seaworthy.

This section covers:
• What causes fires.
• How to prevent fires from starting.
• How to fight fires safely and effectively. Every vessel should have regular fire drills. Regular drills mean everyone knows what to do.
Important points for all crew:
• Know and look out for fire risks.
• Know what fire equipment is held on board.
• Know where all fire fighting equipment is held on board.
• Know how and when to use all the fighting equipment.
• Know how to contain a fire on board.
• Know the affects of fire fighting water on the stability of the vessel.
• Know your role in fighting a fire on board.

Flammable hazards

A flammable hazard is anything that could ignite a fire, or anything that burns easily. On board every vessel there are a number of flammable hazards. These can include:
Things that can ignite or start the fire are:
• heat and sparks from electrical switches, motors, tools or leads
• cooker flames
• sparks from grinding and welding • generators
• cigarettes, matches or lighters.
Things that can give the fire fuel to burn are:
• diesel fuel
• gas

• cleaning chemicals
• rags with oil or chemicals on them
• hydraulic oil.

7. GENERAL SAFETY

Personal safety

This section covers suggestions for keeping yourself safe and hazard free.

• Always wear protective clothing in work areas.

• Always wear personal floatation equipment on board.

• Never stand in a bight of rope or wire. It could tighten suddenly and cause a serious injury.

• Be careful where you put your feet, especially where wires or ropes are moving along the deck. • Use the correct tool to clear a line from a sheave or block. Don't risk crushing your fingers.

• Watch your head. Don't stand under a load, or in areas where overhead equipment may swing and cause serious injury.

• Keep your hard hat on at all times when working with overhead equipment or slung loads.

• Stow heavy gear in an accessible area so "twisting", or strain on the body (particularly the back) to access it, is minimal.

• Stay fit. Working on vessels can be a physical job.

• Do stretches before you start work.

Personal protective equipment (safety gear)

All crewmembers should have the following personal protective equipment (safety gear) to wear:

1. Safety boots/gumboots/boatshoes

Safety boots, gumboots, or boatshoes should be worn at all times on deck and in machinery spaces. Make sure the soles of your safety boots are still in good condition. Your favourite boots may be comfortable after years of wear, but if the soles are too smooth you could slip and fall.

2. Safety helmets

Safety helmets must be worn when loads are being slung.

3. Hearing protection

Ear muffs must be worn in engine room spaces as well as in any other compartment where a noisy machine is running.

4. Eye protection

Wear good quality protective eyewear when there is a risk that you could get something in your eyes. Always wear eyewear when grinding or cutting.

5. Lifejackets

Always wear a personal floatation device (lifejacket) when working on deck or at times of heightened risk.

6. Gloves

Gloves should be appropriate for the hazards the wearer may encounter, eg rubber gloves when handling chemicals. Gloves should fit snugly at the wrists but permit free movement of the fingers.

7. High visibility vests

Always wear a high visibility vest when working on cargo decks or during cargo operations.

SAFETY IN MACHINERY SPACES

REFRIGERATION SYSTEMS

Many small vessels are fitted with refrigeration systems. Refrigerant gas or liquid:

• is poisonous to humans

• affects running machinery

• is harmful to the environment if leaked. There are a range of refrigerant gases used and all are hazardous. For this reason these systems have to be well maintained. Crew need to be aware of the dangers and action required in the event of a leak.

In the past chlorofluorocarbon (CFC) refrigerants R-11, R-12 and R-502 were common. The Ozone Layer Protection Act 1996 meant that CFCs could no longer be used in refrigeration systems. New refrigeration systems use more environmentally friendly hydrochlorofluorocarbon (HFC) refrigerants.

These days, the most common refrigerants used on small vessels are Freon R-22 and Freon 134a. Freon is actually a trade name, so the number is the important identifier.

COMPRESSED AIR SYSTEMS

Some smaller vessels have a compressed air system on board. These are often "off-the-shelf" units from the local hardware shop.

All compressed air systems have a pressurised bottle that contains the high-pressure air. These must be kept in excellent condition.

• Always wear safety glasses when you are using compressed air.

• If you use compressed air to dry something, never point the hose directly at the object you are drying.

• Make sure whatever the compressed air is being used on is secure.

• Never use compressed air as an air supply for breathing.

• Never use compressed air near hot work, ie welding and gas cutting.

• Do not use compressed air to clean or dry clothing while you are still wearing it.

HOT WORK

Hot work is any work that may generate a spark or significant heat. Sparks and heat can ignite nearby gases or materials.

The most common hot work on vessels involves welding, grinding and cutting operations. Electricians, upholsterers and other trades also use appliances that could ignite surrounding materials and gases through heat or sparks.

Hot work has led to numerous fires on board vessels and has also caused explosions in some cases. Treat it seriously.

Danger with fumes and gases Sparks can ignite fumes coming from fuel tanks, gas bottles, paint and other solvents. Never allow hot work to be conducted:

• during fuelling operations

• if there is a fuel tank lid off

• if there are solvents, oils, paints or other flammable liquids in open or plastic containers (open or closed) nearby.

Always have a fire extinguisher nearby!

UDK 621.43.068.2-172:6295

Korpusov I.

Marine waste heat recovery systems

Introduction

In the last decade we observe an obvious tendency of IMO regulations enhancement, concerning ecological issues. Implementation of Tier II ,Tier III and ECA zones, as well as permanently increasing fuel oil prices mean that nowadays shipowners and operators are facing serious challenges. Many ways can lead to the compliance with the new regulations. For the purpose of reducing noxious emissions of exhaust gases different manufacturers propose their decisions, such us dual fuel engines, or exhaust gas scrubber systems. But there exists one more solution for compiling with newcoming environmental rules while maintaining efficient and low-cost operation – waste heat recovery (WHR). Up to date this concept seems very feasible and already it was applied to new-built LNG-carriers and container vessels.

In this article we will take a close-up view of turbo compounding method which is used in marine WHR plants.

WHR – what is it good for?

Usually when it comes to waste heat recovery systems flurries of questions arise. Is it feasible to use the WHR? How does it work? Why do we need it? In this very article I'll try to answer the abovemensioned questions.

First and foremost I'd like to share an amazing fact with you: the usage of such a system can save up to 2,5 millions U.S. dollars per year.

Let's start ab ovo, presenting a development of the WHR in historical perspective.

Historical highlights of WHR technology

From the early days of a Diesel Engine era all kinds of inventors and engineers began to think about exhaust gases problem. Diesel is quite efficient, but a lot of heat, which can be used is lost to the atmosphere. How to subdue this energy, how to make it serve to our needs? This were the questions raised. So here are the milestones in WHR development:

1912 – Sulzer installs two exhaust gas economizers in their engine installations.

1915 – Dr. Alfred Büchi proposes the first prototype of a turbocharged diesel engine.

1924 – Brown Boveri delivers the first exhaust gas turbocharger.

1952 – The first ship to be powered by a turbocharged two-stroke diesel engine.

2005 – The first high-efficiency WHR plant entered service in the container ship Gudrun Mærsk of the A.P. Moller-Maersk Group in June.

Understanding the problem in the context of the freight market

Why at all do we need WHR?

The first phase of any analysis is to understand problem as fully as possible in the context in which it occurs.

Let's identify the major problems in shipping industry which we are facing nowadays. Thinking of this I come up with following threefold:

1) Obviously the fuel oil.

As you may know after the 1973 Oil Crisis, considerable investment was put into reducing engine fuel consumption due to permanently increasing fuel prices. If we don't solve this problem now we'll run into serious trouble soon.

2) Energy conservation

Marine industry also tries to optimize every process on board. In order not to waste the energy, but rather save it. This is the basic principle of the WHR systems.

3) And the last but not least – Ecology.

We have an obvious tendency of MARPOL regulations enhancement. The only option that shipowners have – to comply, to fulfill these regulations. So we acknowledged the problem. It's clear that there are several options to manage this situation. Yet there is one solution that can kill two birds with one stone: waste heat recovery is the only technology commercially available today that provides both lower fuel consumption and lower exhaust-gas emissions.

I've analyzed dozen of different approaches. Such as piezo-electric method, refrigeration with absorption, fitting exhaust gas economizers after auxiliary engines, etc. Nevertheless today we have a clear picture. Only turbo compounding is used on ships. Usually it's a large container ship with adequate exhaust gas flow. Three companies are in this market: Siemens, MAN and Wartsila. In my opinion wartsila hits the heights. Their installation is really the state of art.

How does the Wartsila system work?

Let us assume that we have two-stroke main engine . Naturally enough during the operation it produces exhaust gases, which are drawed out directly to the atmosphere. Not very efficient and economical, isn't it? We lose a lot of energy. What can we do about this? It would be essential to install exhaust gas economizer (EGE) and recover some part of the energy. In this way power plant produces steam which can be used for the ship needs. This is what we can see on majority of

the ships. But it's pretty old stuff. Scientific mind moves further and the result is a combined plant with power and steam turbines connected to generator. This turbines can work together or in solo mode. Power turbine is driven by surplus exhaust gases from the main engine, and steam turbine is driven by steam from EGE. Through the reduction gears rotary motion is transmitted to the generator. Produced power may be used for the ship needs. This avoids the running of auxiliary engines while at sea with the corresponding savings in fuel, maintenance and spare parts costs, as well as reductions in exhaust gas emissions. By the way the high-efficiency WHR plant enables each ship to be fitted with one fewer diesel generating set than it would otherwise have.

To make the system even more efficient one more element is added. And this is a motor installation. It can work in 3 different modes. As a propulsion motor, as a shaft generator and in emergency mode. The system is really flexible. For instance if ship has enough electrical power this electrical motor may be used to improve the propulsion. Or in other case ship lacks electrical power, when turbines are not in use, than this element will work as a shaft generator. Third mode is specially designed in order to save the main engine from damage. During emergency it may be disengaged from the propeller shaft and propulsion will be realized only by the means of propulsion motor.

The key features of the system are the following:

1) The intake air is ambient, which means that we get it directly from the atmosphere, not from the engine room;

2) Circulating water for EGE is heated twice : at first by engine cooling water, than in the air cooler. This helps to make the cycle even more efficient.

3) 11.4% efficiency gain.

4) The amazing figure of 10000 kWh of recovered energy.

Now let's take a look at the case study.

Annual operating costs

	Main engine	Heat recover
Fuel costs		
Engine power	57'350 kW	0
BSFC	166.9 g/kWh	0
Daily F.C. MDO	229.7 tons	0
Daily F.C. HFO	242.2 tons	0
Annual fuel costs	**16'395'000 $**	0
Maintenance costs		
Specific costs	0.7 $/MWh	0.5 $/MWh
Annual costs	312'000 $	20'000 $
Total	**333'000 $**	
Lube oil costs		
Specific consumption	1.0 g/kWh	0
Annual L.O. cons.	373.0 tons	0
Annual L.O. costs	**559'000 $**	0
Total annual operating costs	**17'287'000 $**	

Annual operating costs

	Main engine	Auxiliary engines
Fuel costs		
Engine power	58'344 kW	5'350 kW
BSFC	166.2 g/kWh	200 g/kWhe
Daily F.C. MDO	232.7 tons	25.7 tons
Daily F.C. HFO	245.4 tons	27.1 tons
Total D.F.C	272.5 tons	
Total annual F.C.	**18'449'000 $**	
Maintenance costs		
Specific costs	0.7 $/MWh	5.0 $/MWh
Annual costs	312'000 $	174'000 $
Total	**486'000 $**	
Lube oil costs		
Specific consumption	1.0 g/kWh	0.6 g/kWh
Annual L.O. cons.	279.2 tons	22.0 tons
Annual L.O. costs	569'000 $	33'000 $
Total	**602'000 $**	
Total annual operating costs	**19'537'000 $**	

WÄRTSILÄ

Fig. 1 Annual operating costs without WHR(on the left) and with WHR(on the right)

Case study

The economic benefits of the high-efficiency WHR system can be illustrated by the case of a container ship powered by a 12-cylinder Wärtsilä RT-flex96C engine. The annual operating costs for the main and auxiliary engines, including fuel, maintenance and lubricating oil, would be US$ 19.54 million without a WHR plant and US$ 17.29 million with a high-efficiency WHR plant.

There would thus be annual savings of US$ 2.25 million.

The complete high-efficiency WHR plant and its installation would call for an investment cost of about US$ 9.5 million.

You can see that independently of the bunker costs the expected pay-back time is less than five years.

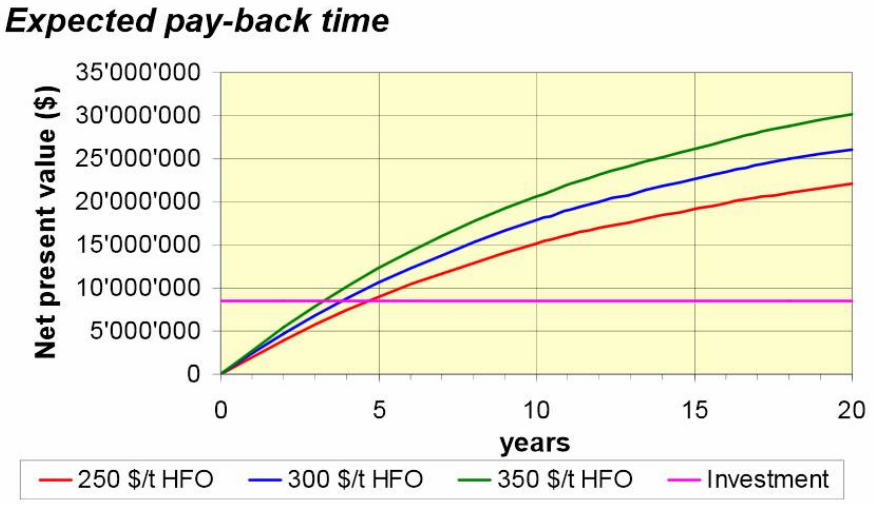


Fig. 2 Expected pay-back time

Conclusion

One cannot overemphasize the importance of the WHR.

You save fuel, you reduce noxious emissions, you are more competitive on the freight market and you get the greener profile of your ship, which is quite important.

I think that waste heat recovery is leapfrog ahead, which can be very useful starting from now, and in long-term perspective. I think that this system is really reliable. And I think that five years down the road, when new regulations, annexes and amendments will come into force the system like this will be installed on the majority of the ships.

УДК 004.85 (045)

Доц. Шалёв А. С.
Одесская национальная морская академия

Обучение английскому при помощи Скайп. Окно возможностей

Жизненным кредо современного специалиста должна быть фраза: «Учиться всегда! Учиться везде!» Одним из способов её реализации является дистанционное обучение при помощи программы Скайп, установленной на компьютере, подключённом к сети Интернет, микрофона, и наушников или колонок (а ещё лучше **специальной гарнитуры)**, а также, по желанию, веб-камеры.

Современные средства коммуникации позволяют организовать процесс обучения иностранным языкам вообще, и английскому в частности, на довольно высоком уровне. Во время подготовки специалиста развиваются его четыре основных компетенции: умение воспринимать на слух, говорить, читать и писать [1]. Физическое присутствие обучающего и обучаемого в одной аудитории теперь не является обязательным, их могут разделять любые расстояния, они могут находиться в разных странах, но имея вышеупомянутую программу и оборудование, преподаватель может полноценно провести занятие с ним, а также передать студенту необходимые методические пособия, аудио и видео файлы, у последнего же появляется возможность не только выбрать наиболее подходящего ему преподавателя, но и удобное для него время проведения занятия, он также может записать своё занятие, как в аудио, так и в видео формате для того чтобы проработать свои замечания необходимое для него количество раз [2].

Демократизм этого способа определяется открытостью системы Интернет для любых пользователей и возможностью постоянно совершенствовать свои навыки. Интересным фактом является то, что всё зависит от Вашего отношения к этому процессу. Ведь в ходе проведения занятия обучаются обе стороны, и настоящий профессионализм начинается именно отсюда, с понимания этой ситуации.

Умение пользоваться поисковой системой поможет Вам ответить на любой вопрос Вашего студента, достаточно только переключить его внимание, например, на выполнение какого-нибудь задания. Найдя ответ и проговорив его, Вы можете поместить ссылку на найденный Вами источник в окно мгновенных сообщений, отправить его, нажав кнопку Ввод на клавиатуре, и попросить студента после занятия дополнительно его проработать. Следует также знать, что в этой программе следует избегать пересылки больших по размеру файлов. Это следует делать, например, при помощи файлообменников — сайтов, на которые Вы можете выкладывать файлы любого размера на определённое время и отправлять ссылки на них своим студентам либо при помощи почтовой программы либо через окно мгновенных сообщений в программе Скайп.

При помощи дистанционного обучения можно заниматься как индивидуально, так и в малокомплектной группе [3]. При индивидуальной форме работы внимание преподавателя будет сосредоточено на одном студенте, в случае с малокомплектной группой — оно будет рассеяно между 2-4 студентами.

Следует остановиться на ряде преимуществ обучения по Скайпу:

1. отсутствует необходимость ехать на занятие, и Вы экономите время и деньги на переезд;
2. отсутствует необходимость конспектировать надиктовываемую информацию, так как занятие, или нужный его фрагмент могут быть записаны в аудио или видео форматах;
3. стоимость за услуги преподавателя, как правило, меньше обычной из-за существующей высокой конкуренции в этом сегменте услуг;
4. начинающий студент может спокойней себя чувствовать в привычной для него домашней и комфортной обстановке по сравнению с ситуацией в группе, например, на курсах (где может быть шумно, соседи могут отвлекать посторонними разговорами, и существует меньшая степень контроля со стороны преподавателя).

К недостаткам такой формы обучения можно отнести:

1. необходимость иметь комплект определённого и не очень дешёвого оборудования, а также тишину на протяжении определённого промежутка времени, дабы избежать ненужных помех и наводок на микрофон;
2. нужно хорошо знать программу Скайп, и другие функциональные возможности компьютера чтобы не испытывать дискомфорт при обучении;
3. личное невосприятие общения при помощи компьютера.

И в завершение немного информации о компании и статистики: Скайп был приобретен компанией Майкрософт в октябре 2011 года, с тех пор она внедрила в эту технологию некоторые собственные разработки. На сегодняшний день общее количество пользователей этой системы уже больше 100 000 000 человек [4]. В настоящее время компания решила привлечь ещё больше пользователей, и с этой целью выпустила полностью переработанную версию Скайп для операционной системы Андроид 4.0. Освоив ещё одну способность, Вы получите неограниченное количество возможностей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *[Електронний ресурс]* : Four skills for learning a foreign language / https://www.englishclub.com/learn-english/language-skills.htm — Назва з екрана.
2. *[Електронний ресурс]* : Как записать розговор в Скайп / http://youpk.ru/kak-zapisat-razgovor-v-skype/ — Назва з екрана.
3. *[Електронний ресурс]* : Дистанционное обучение английскому / http://savelman.ru/?p=25113 — Назва з екрана.

4. *[Електронний ресурс]* : Железный сайт / А. Миронов — 2013. http://www.gelezki.info/faq/kolichestvo-polzovateley-skipe.html — Назва з екрана.

УДК 024.85 (045)

Zhukov P.
Odessa National Maritime Academy

Refrigerating plants on LPG carriers

Refrigerating plants on LPG carriers

In this operation, vapour is withdrawn from the top of the tank being cooled, compressed, condensed and returned as a liquid via the condensate line to the same tank. The withdrawal of vapour from the tank being cooled reduces the vapour pressure in this tank to below the S.V.P. of the liquid in the tank. As a result of this, the liquid inside the tank boils to replace the withdrawn vapour, latent heat is given up and the liquid in the tank, so cooled.

The withdrawn vapour will be roughly at tank temperature, and is sucked through a heat exchanger, which also acts as a liquid trap. (It is essential that no liquid enters the compressor suction, because, being non-compressible, on the compression stroke damage could be done to the compressor when the piston suddenly hits the liquid.) From the heat exchanger, the vapour then goes to the compressor, compressed and discharged into the condenser,where it condenses. Due to the adiabatic increase in temperature due to compression, the temperature of the vapour discharged is usually between 100° C. and 130° C., and is undersaturated. When it passes into the condenser the cooling water (seawater) first removes "sensible heat" from the hot vapour until it becomes supersaturated. The supersaturated vapour now condenses and surrenders latent heat. The cooling water is heated by the surrendered sensible and latent heat and is then discharged over the side to be continuously replaced by fresh cold water supplied by the condenser pump/s (usually situated in the engine room).

The resultant condensate will be at a temperature somewhat above sea temperature. (In fact its temperature will conform to the condenser pressure, but this in turn is affected by the efficiency of the coolant.) The condensate then passes through a number of tubes inside the heat exchanger where it is cooled by the incoming cold vapour withdrawn from the tank, which, in turn, is warmed by the condensate. The cool condensate is then allowed to pass back to the tank being refrigerated via a float-operated control valve into the condensate line, and so back to the tank by the sprays.

It would be possible to cool the cargo by allowing the vapour to escape up the mast (which would be wasteful and harmful to the environment), or, as in the case of methane carriers, to burn the "boil-off" in the ship's boilers.

Reliquifaction of the vapour is really a product-recovery system. Refrigeration takes place inside the tank and reliquifaction is an essential part of the process.

However, in practice, reliquifaction is so closely bound up with refrigeration that the term refrigeration is often used instead of reliquifaction.

LITERATURE:

1. Captain T. W. V. WOOLCOTT :LIQUIFIED PETROLEUM GAS TANKER PRACTICE
2. http://studopedia.org/2-1364.html

УДК 802.0.866:656.61 (075.4/9)

Chyhrin R., adv. Koblik V.V.

Alternative methods of ship propulsion

The propulsion of merchant shipping has, during the last century, undergone a significant transformation. It is now dominated by diesel propulsion machinery. Against this background, recent developments have led many questions whether the present modes of ship propulsion are sustainable due rising fuel costs and environmental regulations introduced to mitigate the effects of climate change. Within the wider international debate on climate change there are increasing calls for shipping to reduce emissions of greenhouse gases, most notably carbon dioxide. International shipping is estimated to contribute some 3% of global emissions of CO2. Although the industry has reduced its consumption of fossil fuels by, for example, employing increasingly thermally efficient diesel engines in recent decades, the current total fuel oil consumption is in excess of 350 million tonnes per annum.

This report, gives a fascinating insight into the development of ship propulsion systems. It examines a wide range of possibilities for future ship powering options, presents a thorough review of the range of technologies, advantages and limitations of systems from solar and wind power to fuel cells, biofuels, liquid natural gas and hydrogen, superconducting electric motors and hybrid propulsion.

The diesel engine is currently the most widespread of marine prime movers. It is a well-understood technology and a reliable form of marine propulsion and auxiliary power generation. However, diesel engines will continue to produce CO2 emissions as well as NOX, SOX. Liquid natural gas (LNG) can be used in reciprocating engine propulsion systems. Service experience with dual fuel and converted diesel engines, although limited at the present time, has been satisfactory. LNG is considerably cheaper than conventional fuels and has benefits in terms of CO2, NOX, SOX emissions.

Advantages:

- LNG fuelling of reciprocating engines as a known technology and service experience, albeit limited at the present time, has been satisfactory.
- The benefits in terms of CO2, NOX, SOX and the other emissions are significant.

- Designs for suitable marine propulsion machinery systems exist.
- It is relatively easy to convert many existing marine engines to burn LNG.
- Currently LNG fuel is considerably cheaper than the conventional range of marine fuels.

Disadvantages:

- Methane slip has to be avoided during the bunkering and combustion processes of new and in-service engines since this is damaging in the context of greenhouse gases.
- There is a general lack of a worldwide bunkering infrastructure at present.
- LNG requires a heat source to evaporate it to form the gas. As well as using the inlet air to the prime mover, it may be possible to use a heat exchanger with sea water, but some fuel is likely to be needed to be burned to provide this low grade heat.

Biofuels are potential medium-term alternatives to conventional fuels for diesel engines, as well as synthetic fuels, but further work is necessary to examine their storage, handling, and impacts on health, safety and the environment. Di-methyl ether shows some potential as an alternative fuel; however, there are presently disadvantages which need resolution in terms of lubricity and corrosion together with the creation of sufficient production and supply networks.

Advantages:

- Biofuels are potential alternatives to conventional fuels.
- Synthetic fuels based on branch-chain higher alcohols and new types of algae and other microorganisms are a medium- to long-term possibility, given that production volumes can satisfy the demand from the marine and other markets.
- Di-methyl ether shows some potential benefits as an alternative fuel.
- Synthetic fuels can be derived from syngas, created by partial combustion of a wide range of biomass feedstocks.

Disadvantages:

- With the first generation of biofuels, biodiesel and bioethanol, problems have been experienced when used in the marine environment. However, this may not be the case with the second generation biofuels.
- At the present time, significant land areas need to be devoted to first generation fuel production to satisfy the marine market.
- The effective greenhouse gas emissions of all types of biofuels, including fuels derived from biomass, is currently an area of active research. It is possible that the available global resource of biomass and biofuels may be inadequate to supply shipping.

- The production processes used at present to convert sugars and vegetable oils are not particularly efficient, but research is underway to enhance this aspect.
- Further work is necessary to examine aspects of storage and handling of these fuels, and their impact on health, safety and the environment.
- The presently perceived disadvantages of di-methyl ether in terms of its lubricity and corrosive issues together with creating sufficient production and supply require resolution.

Fuel cells offer potential for ship propulsion with good experience gained in auxiliary and low-power propulsion machinery. For marine propulsion, the high-temperature solid oxide and molten carbonate fuel cells show most promise, while for lower powers the low temperature proton exchange membrane fuel cells are more suitable. While hydrogen is the easiest fuel to use in fuel cells, this would require a worldwide infrastructure to be developed for supply to ships.

Advantages:

- Fuel cell technology has a potential for ship propulsion in the medium to long term.
- At the present time encouraging experience is being gained through auxiliary, hybrid and low power propulsion machinery.
- For marine propulsion, the high temperature solid oxide and molten carbonate fuel cells show most promise. For lower powers, the low temperature proton exchange membrane fuel cells are better suited.
- Fuel cells produce a DC electrical output and are, therefore, suited to ships with electrical transmissions.
- Fuel cells have no moving parts and consequently are quieter than conventional machinery.
- If fuelled with hydrogen, they emit no carbon dioxide from the ship.
- They require clean fuels and so do not emit SOX, but also they are low temperature devices and emit no NOX.

Disadvantages:

- Although hydrogen is the easiest fuel to use this would require a worldwide marine infrastructure to be developed for supply to ships: perhaps adjacent to an automotive sector.
- The use of more conventional marine fuels in fuel cells would present problems and necessitate complex onboard preprocessing to take place. They would in this case be a significantly more expensive way of generating electricity than conventional methods.
- Fuel cells produce DC electrical output and, hence, are not so suited to ships with mechanical transmission systems.
- Fuel cells have lower specific powers and power densities than diesel engines.

Renewable energy, principally derived from wind and solar origins, is considered as an augment to the main propulsion and auxiliary power requirements of a ship.

Battery technology is developing rapidly, offering some potential for propulsion. However, full ship battery propulsion requires further technical development and is likely to be confined to relatively small ships. Nevertheless, battery-based propulsion would be beneficial due to producing no CO2, NOX, SOX, emissions in operation. Batteries may offer a potential hybrid solution in conjunction with other modes of propulsion for some small- to medium-sized ships.

Advantages:

- Battery-based propulsion of merchant ships is beneficial from the CO2, NOX, SOX, volatile organic and particulate emissions points of view since during operation none occur.
- Batteries, by virtue of the rapidly developing technology surrounding them, offer a potential solution for the propulsion of smaller ships in the medium to long term.
- Batteries in conjunction with other modes of propulsion may offer a potential hybrid solution for the propulsion of small- to medium-sized ships.
- Disadvantages:
- At present, the size of the necessary battery pack would preclude their use as the sole means of propulsion in all but the smallest of ships on short sea voyages.
- Full battery propulsion must await further technical development and even then it is likely to be confined to the smaller ship end of the market.
- The battery pack requires replacement when it reaches its life as determined by the total number of charge/discharge cycles.

Superconducting electric motor technology has been successfully used in demonstrator applications, with low electrical losses resulting in a more efficient motor. Depending upon the type of prime mover deployed, exhaust emissions will be lower, the machine can run for some time after a coolant failure, and further advantages may accrue from their smaller size.

Hydrogen, compressed air and liquid nitrogen are likely to be long-term propulsion considerations. While the latter two options are energy storage media, hydrogen is a fuel which generates no CO2 or SOX emissions to the atmosphere and would use land-based sources of power for its creation. It would need a supply infrastructure to be viable in a marine context, but it is ideal for use in fuel cells.

Advantages:

- Liquid H2 generates no CO2, or SOX emissions to the atmosphere originating from the ship.
- Uses land-based sources of power for creation.
- Hydrogen can be used in fuel cells and internal combustion engines.
- Burning it produces a large feed-stock in fresh water.

- Disadvantages:
- Largely untried in the marine industry for propulsion purposes.
- Hydrogen has some safety issues that need resolution.
- It has a low energy density.
- Would need a hydrogen supply infrastructure to make it viable for the marine industry.

In summary, the following options are considered appropriate:

1. For existing ships, reciprocating engines with exhaust gas attenuation technologies are the principal option together with fuels that produce fewer CO2 emissions. LNG is one such fuel and, together with some other alternatives, would require an adequate bunkering infrastructure to be developed, particularly for deep sea voyages. Some attention could also be usefully paid to reducing the demand for shipboard energy.
2. For new buildings planned in the near-term, the scenario is broadly similar but with the option to include hybrid propulsion systems depending on ship size and intended use.
3. In the case of ships to be built in the medium- to long-term, further propulsion options include alternative fuel options, fuel cells and batteries.

Renewable power sources such as wind and solar are likely to be augments to power requirements, assuming a return to full sail propulsion is not contemplated. If, in the future, a hydrogen economy is adopted, then hydrogen may become a realistic marine fuel option.

REFERENCE

Royal Academy of Engineering, July 3013. “Future Ship Powering Options”

УДК 811.161.1(038):811.111 (038):629.5.054.03

Nikulina Elena L.
Odessa National Maritime Academy

The Marlins Test of Spoken English

The Marlins Test of Spoken English (TOSE) is designed to help interviewers carry out the effective assessment of seafarers’ spoken language skills. Usually it is used by crewing agencies while interviewing the candidates for the potential job. At the English department of Marine Engineering at ONMA we use this test to train cadets to take it in different crewing agencies when applying for job in multinational crews aboard ships flying different flags.

TOSE provides a thorough profile of the candidate’s ability to understand and speak English. Usually it is used in conjunction with the ISF Marlins Test, which gives the interviewer a clear indication of the candidate’s overall language level and all four language skills: speaking, listening comprehension, reading comprehension and use of language.

The material used in this test aims to standardize the assessment of oral skills within a one-to-one interview situation. A structured framework helps to engage the seafarer in communication and allows the interviewer to make an accurate assessment of speaking skills.

The TOSE can be used for the following purposes:

- to evaluate seafarers' speaking and listening skills
- to complement the results of the ISF Marlins Test
- to indicate the need for training
- to assess progress during or after training
- to support recruitment policies.

The Test of Spoken English consists of two parts:

Part A

Introductory Questions (approx. 5 mins)
Interviewer chooses ONE option based on responses in Part A OPTION 1 OPTION 2 OPTION 3
Test of spoken English skills (approx.15 mins)

PART B

OPTION 1 Visual Prompts Situations Discussion Topics	OPTION 2 Visual Prompts Situations Discussion Topics	OPTION 3 Visual Prompts Situations Discussion Topics
Candidate Evaluation		

Part A consists of introductory questions which:

- help identify the candidate's level of spoken English
- guide the interviewer in his choice of material for Part B.

Options

The Test Material in Part B is divided into 3 levels or Options. The interviewer chooses material from ONE of the Options based on the level of the candidate's responses in Part A.

Part B is divided into 3 different task types:

- Visual Prompts with questions
- Situational Dialogues
- Discussion

The TOSE is designed to help the interviewer evaluate the speaking and listening skills of the candidate through active communication. The test takes the format

of an interview and the candidate is asked to participate in a number of structured tasks which are designed to assess his ability to use appropriate language functions and communication strategies within a given context.

The attention of the interviewer in assessing speaking skills should be focused on both the accuracy and fluency of the candidate's spoken language.

Marlins understands fluency to9 mean the ability to:

- communicate an intended message
- adapt the message according to the responses of the listener
- speak without undue hesitation

Marlins understands accuracy to mean:

- correct phonological, lexical and grammatical use of language

In the TOSE fluency and accuracy are evaluated separately using grades A-E.

The test assesses listening comprehension in terms of:

- an understanding of native/ near native spoken English
- the ability to follow and react appropriately to messages

The interviewer should judge the candidate's listening comprehension on the basis of spoken interaction during the interview. There is no additional recorded material. Listening comprehension is evaluated using grades A-E.

The role of the interviewer is very important because the test should be administered by qualified and experienced teachers of English, with near-native English and with proven assessment skills.

The interviewer conducting the interview should:

- read and understand fully the Guidelines for interviewers
- print out the relevant material for reference during the test
- print out sufficient copies of the Candidate Report Form prior to testing
- be familiar with the descriptors of speaking and listening skills which explain the grading system (A-E)
- understand Marlins definitions of language levels set out in the Test material Grading Scheme
- be familiar with the contents of the ISF Marlins computer test and the candidate's computer test score prior to the interview
- understand and be able to operate the TOSE CD
- be fully aware of his/her role and duties as interviewer prior to, during and after the test.

The level of the candidate responses may be assessed according to the following abilities of mastering the language.

OPTION	LEVEL	ABILITIES
1	Elementary	Candidates: - are able to use English for very basic everyday tasks but without sustained fluency and with many errors - have a limited understanding of spoken English - require a lot of rephrasing, repetition and simplification of language
2	Lower Intermediate	Candidates: - can communicate satisfactorily about everyday topics with a restricted range of language - are able to understand a native speaker of English talking at a measured pace with some rephrasing and repetition
3	Intermediate	Candidates: - are at ease communicating about everyday topics and more abstract concepts - make some mistakes but are usually able to correct any major errors which prevent them being understood - are able to understand the essence of native speaker English but may misunderstand detail

УДК 621.432.3

Dubtsov Y., Instructor: Kuznetsova O.S
Odessa National Maritime Academy

Main characteristics of four stroke engine

Today many ships work on 4-stroke engine because it is more reliable and economical.

4 -stroke engine consists of many parts such us: Exhaust manifold, Turbocharger, Inlet ports, Air manifold,Charge air cooler, Crankshaft ,Bedplate, Exhaust valve ,Piston rings, Fuel pump, Cylinder liner, Camshaft ,Piston rod ,Crosshead, Connection, Rod ,Bottom end bearing.

A **four-stroke engine** (also known as **four-cycle**) is an internal combustion engine in which the piston completes four separate strokes which constitute a single thermodynamic cycle. A stroke refers to the full travel of the piston along the cylinder, in either direction. The four separate strokes are termed:

Intake Stroke

The *intake event* is when the air-fuel mixture is introduced to fill the combustion chamber. The intake event occurs when the piston moves from TDC to BDC and the intake valve is open. The movement of the piston toward BDC creates a low pressure in the cylinder. Ambient atmospheric pressure forces the air-fuel mixture through the open intake valve into the cylinder to fill the low pressure area created by the piston movement. The cylinder continues to fill slightly past BDC as the air-fuel mixture continues to flow by its own inertia while the piston begins to change direction. The intake valve remains open a few degrees of crankshaft rotation after BDC. Depending on engine design. The intake valve then closes and the air-fuel mixture is sealed inside the cylinder.

Compression Stroke

The *compression stroke* is when the trapped air-fuel mixture is compressed inside the cylinder. The combustion chamber is sealed to form the charge. The *charge* is the volume of compressed air-fuel mixture trapped inside the combustion chamber ready for ignition. Compressing the air-fuel mixture allows more energy to be released when the charge is ignited. Intake and exhaust valves must be closed to ensure that the cylinder is sealed to provide compression. *Compression* is the process of reducing or squeezing a charge from a large volume to a smaller volume in the combustion chamber. The flywheel helps to maintain the momentum necessary to compress the charge.

When the piston of an engine compresses the charge, an increase in compressive force supplied by work being done by the piston causes heat to be generated. The compression and heating of the air-fuel vapor in the charge results in an increase in charge temperature and an increase in fuel vaporization. The increase in charge temperature occurs uniformly throughout the combustion chamber to produce faster combustion (fuel oxidation) after ignition.

The increase in fuel vaporization occurs as small droplets of fuel become vaporized more completely from the heat generated. The increased droplet surface area exposed to the ignition flame allows more complete burning of the charge in the combustion chamber. Only gasoline vapor ignites. An increase in droplet surface area allows gasoline to release more vapor rather than remaining a liquid.

The more the charge vapor molecules are compressed, the more energy obtained from the combustion process. The energy needed to compress the charge is substantially less than the gain in force produced during the combustion process. For example, in a typical small engine, energy required to compress the charge is only one-fourth the amount of energy produced during combustion.

The *compression ratio* of an engine is a comparison of the volume of the combustion chamber with the piston at BDC to the volume of the combustion chamber with the piston at TDC. This area, combined with the design and style of combustion chamber, determines the compression ratio. Gasoline engines commonly have a compression ratio ranging from 6:1 - 10:1. The higher the compression ratio, the more fuel-efficient the engine. A higher compression ratio normally provides a

substantial gain in combustion pressure or force on the piston. However, higher compression ratios increase operator effort required to start the engine. Some small engines feature a system to relieve pressure during the compression stroke to reduce operator effort required when starting the engine.

Ignition Event

The *ignition (combustion) event* occurs when the charge is ignited and rapidly oxidized through a chemical reaction to release heat energy. *Combustion* is the rapid, oxidizing chemical reaction in which a fuel chemically combines with oxygen in the atmosphere and releases energy in the form of heat.

Proper combustion involves a short but finite time to spread a flame throughout the combustion chamber. The spark at the spark plug initiates combustion at approximately 20° of crankshaft rotation before TDC (BTDC). The atmospheric oxygen and fuel vapor are consumed by a progressing flame front. A *flame front* is the boundary wall that separates the charge from the combustion by-products. The flame front progresses across the combustion chamber until the entire charge has burned.

Power Stroke

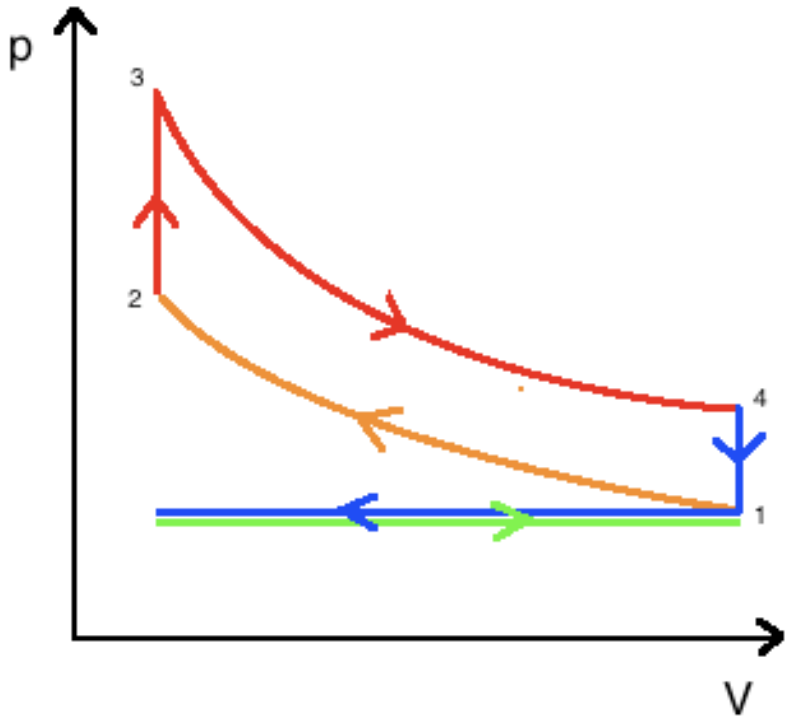
The *power stroke* is an engine operation Stroke in which hot expanding gases force the piston head away from the cylinder head. Piston force and subsequent motion are transferred through the connecting rod to apply torque to the crankshaft. The torque applied initiates crankshaft rotation. The amount of torque produced is determined by the pressure on the piston, the size of the piston, and the throw of the engine. During the power Stroke, both valves are closed.

Exhaust Stroke

The *exhaust stroke* occurs whenspent gases are expelled from the combustion chamber and released to the atmosphere. The exhaust stroke is the final stroke and occurs when the exhaust valve is open and the intake valve is closed. Piston movement evacuates exhaust gases to the atmosphere.

As the piston reaches BDC during the power stroke combustion is complete and the cylinder is filled with exhaust gases. The exhaust valve opens, and inertia of the flywheel and other moving parts push the piston back to TDC, forcing the exhaust gases out through the open exhaust valve. At the end of the exhaust stroke, the piston is at TDC and one operating cycle has been completed.

All of 4-stroke engine work in according with diagram of Otto.



The processes are described by:

- Process 0-1 a mass of air is drawn into piston/cylinder arrangement at constant pressure.
- Process 1-2 is an adiabatic (isentropic) compression of the air as the piston moves from bottom dead centre (BDC) to top dead centre (TDC).
- Process 2-3 is a constant-volume heat transfer to the working gas from an external source while the piston is at top dead centre. This process is intended to represent the ignition of the fuel-air mixture and the subsequent rapid burning.
- Process 3-4 is an adiabatic (isentropic) expansion (power stroke).
- Process 4-1 completes the cycle by a constant-volume process in which heat is rejected from the air while the piston is at bottom dead centre.
- Process 1-0 the mass of air is released to the atmosphere in a constant pressure process.

The Otto cycle consists of isentropic compression, heat addition at constant volume, isentropic expansion, and rejection of heat at constant volume. In the case of a four-stroke Otto cycle, technically there are two additional processes: one for the exhaust of waste heat and combustion products at constant pressure (isobaric), and one for the intake of cool oxygen-rich air also at constant pressure; however, these are often omitted in a simplified analysis. Even though those two processes are critical to the functioning of a real engine, wherein the details of heat transfer and combustion chemistry are relevant, for the simplified analysis of the thermodynamic cycle, it is more convenient to assume that all of the waste-heat is removed during a single volume change.

Advantages and disadvantages of 4 stroke engine

Advantages:

More torque This is the most important reasons why people choose a 4-stroke engine. The two-stroke boasts its speed and power, but the four-stroke shows extra torque. It is more reliable and quitter.

Last longer Four stroke engines last longer and use much, much less oil. Compared to two-stroke engines, the four stroke engine is durable for use. The more times an engine goes around, the quicker it will wear out. As 2-strokes must rev to very high RPM to make any power, most applications using them are geared toward maintaining that RPM. Thus, they can't live as long as four-stroke engine.

More Durability

Because 2-strokes must rev to very high RPM to make any power, most applications using them are geared toward maintaining that RPM. Any engine designer will tell you that the more times an engine goes around, the quicker it will wear out. It's pretty simple math; if an engine can go through ten million RPMs before it wears out, then one that revolves at 5,000 revolutions per minute will go 2000 minutes between rebuilds. The same engine running at 10,000 RPM will only last 1,000 minutes

Run much cleaner than 2 strokes A 2 stroke makes a lot of exhaust smoke because it burns oil mixed with fuel. On the contrary, four-stroke engines have a dedicated oiling system that's kept largely separate from the combustion chamber, which help to ensure that the only thing burning in the engine is gasoline.

More efficient use of gas If you have picked up both of them, you may obviously realize the problem. The intake and exhaust accounted 360 °crank angle, the exhaust top dead center the piston upward, the residual gas is exhaust forcibly. When a mixture of fuel and air is forced by atmospheric pressure into the cylinder, the piston down to the intake bottom dead center, the incoming fresh mixture almost combust. Substantially, there is no wasted fresh mixture. However, for two-stroke engine, the fresh mixture is escaping with exhaust gases during exhaust stroke.

Disadvantages:

Complicated

Two-stroke engines do not have valves, simplifying their construction. However, there are more parts to worry about in a four-stroke engine which results in harder to troubleshoot.

Half as powerful as two stroke engines For equivalent engines, the four stroke ones fire once every two revolutions, while two stroke engines are more powerful because every revolution of the engine includes a power stroke.

More expensive than 2 stroke A four-stroke engine is much more expensive and complex than a two-stroke one. It has more complied with more parts so they often require repairs more often and it is usually more expensive.

LITERATURES

1. Krutov V.I. Technical thermodynamics, 1991.
2. Akimov P.P.Ship power plant ,1980
3. Websites: 1)http://en.wikipedia.org/wiki/Four-stroke_engine
   2) http://www.animatedengines.com/otto.html
   3) http://www.grc.nasa.gov/WWW/k-12/airplane/engopt.html
   4) http://www.deepscience.com/articles/engines.html
   5) http://en.wikipedia.org/wiki/Otto_cycle
   6) http://mechteacher.com/otto-cycle/
   7)http://blog.mbuynow.com/4-stroke-engine-advantages-and-disadvantages/
   8) http://www.streetdirectory.com/travel_guide
   9) http://wordpress.as.edu.au/jparker/2013/05/01/advantages-and-disadvantages-of-4-stroke-engines/
   10) https://answers.yahoo.com/question/index?qid=20100122084823AAd6ZwA

Матеріали науково-технічної конференції
" Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт",
24.03.2014 – 25.03.2015.
Частина I.

Підписано до друку 16.03.2012. Формат 60×84/16.
Обл.-вид. арк. 10,87. Тираж 100. Зам. № И12-03-64.

ОНМА, центр „Видавінформ”
Свідоцтво ДК № 1292 от 20.03.2003
65029, г. Одеса, вул. Дідрихсона, 8
тел./факс: (0482) 34-14-12
publish@ma.odessa.ua