УДК 629.12-8:669.018.6

ПОЛІЩУК ВІТАЛІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ, канд. техн. наук, ст. викладач кафедри “Технологія суднового машинобудування” НУК імені адмірала Макарова

ПИЛИПЧАК ВІТАЛІЙ ІВАНОВИЧ, ст. наук. співробітник кафедри "Технічна теплофізика і

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ

Проаналізовано можливі напрямки підвищення працездатності приводів засобів автоматизації систем СЕУ. Обґрунтовано доцільність та перспективи застосування функціональних матеріалів з ефектом пам'яті форми в якості силових і термочутливих елементів приводів циклічної дії малогабаритних виконавчих пристроїв систем суднових енергетичних установок з метою вдосконалення останніх. Окреслено переважні області застосування термосилових приводів у судновій енергетиці.

Possible directions of automation means actuators efficiency increase for marine power plant systems have been analyzed. With the purpose of above-mentioned systems improvement expediency and prospects of functional materials with shape memory effect utilization by way of strength and thermosensitive elements of cyclic action actuators for small-sized devices have been substantiated. Primary fields of the thermal actuators applica-

Постановка проблеми і виділення невирішених задач

По отечественным и зарубежным оценкам дальнейшее повышение экономичности энергетических установок (ЭУ) будет связано с совершенствованием и автоматизацией систем топливо- и маслоподачи и вспомогательных агрегатов. На протяжении многих лет основные усилия исследователей были направлены на решение научно-методических проблем проектирования, изготовления и эксплуатации главных элементов ЭУ. Применительно к вспомогательному оборудованию (ВО) на эти вопросы обращалось значительно меньшее внимание. Тем не менее, на долю ВО (существенная роль которого определяется многообразием выполняемых функций, многорежимностью, большим количеством элементов, сложностью связей между ними и специфическими особенностями эксплуатации) приходится около 50…60% отказов ЭУ, а также значительная часть энергопреобразований (до 40…50%) [1,2].

В свою очередь технико-экономические и эксплуатационные показатели ВО в значительной степени зависят от функциональной надежности приводов исполнительных устройств (ИУ), а в условиях роста антропогенных и техногенных отрицательных воздействий на окружающую среду они во многом определяют и экологическую безопасность.

Исходя из этого, технический прогресс в судостроении обуславливает ужесточение требований к современным исполнительным механизмам (ИМ) систем судовых энергетических установок (СЭУ) особенно в отношении надежности, массогабаритных показателей, удобства монтажа, проведения технического обслуживания и ремонта, снижения стоимости изготовления и обслуживания, повышения технического ресурса. Особое внимание уделяется обеспечению их надежности при неблагоприятных условиях плавания (крен, дифферент, вибрация, коррозия и т.п.), а также безотказности действия на переменных режимах. Очень важным является то обстоятельство, что ИУ судовых систем зачастую не поддаются

резервированию, которое привело бы к большому увеличению габаритов установки и снижению надежности системы.

Большое количество приводов ИУ, уровень их совершенства, многообразие их типов и назначений во многом определяют работоспособность оборудования и систем СЭУ и, следовательно, тактико-экономические и технические характеристики судна в целом.

Сравнительный анализ характеристик различных типов ИУ указывает [3,4], что недостатки традиционных ИМ, действующих на основе использования сжатого воздуха, масла под давлением, энергии перемещаемой рабочей среды, с учетом судовой специфики и требований Регистра Украины, зачастую приводят к чрезмерному усложнению систем СЭУ, что ведет к увеличению стоимости их изготовления, обслуживания и ремонта, снижению надежности и экологической безопасности, ухудшению массогабаритных показателей систем, требует дополнительных вспомогательных устройств и объемов рабочего пространства.

Мета дослідження

Оснащение судов надежными автоматическими системами СЭУ, повышение показателей функциональной надежности и эффективности работы ВО СЭУ обуславливает необходимость интенсификации работ по совершенствованию ИУ, в частности путем применения новых типов преобразователей энергии на базе передовых технологий, основанных на новых физических явлениях.

В этом плане большое значение имеют работы, в которых исследуются новые закономерности или эффекты, на базе которых создаются нетрадиционные технологии управления состоянием элементов оборудования путем использования материалов с функционально обусловленными свойствами. К материалам такого типа относятся сплавы с памятью формы (СПФ), основным отличием которых является интеграция пассивных функций конструкционных сплавов с активными функциями механизмов, что выражается в способности выполнять работу, генерировать напряжения и изменять геометрические размеры.

Викладення основного матеріалу

Комплекс функциональных возможностей СПФ дает термосиловым приводам (ТСП) на их основе ряд преимуществ, позволяющих им конкурировать с традиционными типами приводов при использовании в СЭУ, открывая широкие возможности при создании регулируемых и адаптивных систем:

- высокая удельная мощность (до 16000 Вт/кг) и, как следствие, значительно меньшие по сравнению с другими типами приводов масса и габариты, что важно в судовых условиях ограниченных площадей и объемов (особенно на судах с динамическими принципами поддержания для увеличения доли полезной нагрузки);
- высокая надежность, обусловленная исключительно высокой циклической стойкостью сплавов к малым и большим деформациям (предел усталости сплавов на основе TiNi на базе 10^7 циклов составляет порядка 480 МПа);
- высокая жесткость системы;
- относительно высокая частота срабатывания (до 10 Гц); бесступенчатое регулирование скорости срабатывания, плавный пуск и точность регулировки при использовании обратной связи;
- отсутствие вспомогательного оборудования, что позволяет использовать этот тип привода в мобильных и автономных средствах автоматизации; технологичность изготовления узлов привода;
- высокая химическая стойкость, что дает возможность применения ТСП в агрессивных, взрыво- и пожароопасных средах;
- широкий интервал рабочих температур (-200…+800°С); возможность регулирования температурного интервала срабатывания D*T* от нескольких до сотен градусов;
- экологическая безопасность; низкий уровень шума.

Недостатком устройств на базе СПФ является относительно высокая стоимость, которая в дальнейшем может компенсироваться более быстрой отладкой технологических процессов, уменьшением затрат на техническое обслуживание, увеличением сроков службы, более высокой коррозионной стойкостью и надежностью; а невысокий к.п.д. ТСП оправдывается возможностью использования источников низкотемпературного тепла (энергии управляемой среды, промышленных тепловых отходов и т.п.) и высокой удельной мощностью. По поводу невысокого к.п.д. следует отметить, что относительная продолжительность включения малогабаритных ИМ систем СЭУ обычно не превышает 5%, а в ИУ прямого действия величина к.п.д. ТСП вообще не играет роли.

СПФ целесообразно использовать для аккумулирования механической и тепловой энергии. Отдача механической энергии такими

аккумулирующими устройствами может осуществляться не только в режиме разгрузки, но и при небольшом нагреве (в соответствии с уравнением Клапейрона – Клаузиуса). При этом элементы с эффектом памяти формы (ЭПФ) могут совмещать функции датчиков температуры и функции исполнительных элементов, поэтому применение их в СЭУ в этих целях наиболее эффективно.

Термочувствительные элементы (ТЧЭ) целесообразно использовать и самостоятельно в качестве исполнительных элементов ТСП. Конструктивно они выполняются в виде двунаправленных элементов. Соответствующим способом нагрева и регулированием обеспечивается возвратно-поступательное или вращательное движение ИМ. Обычно применяется нагрев прямым пропусканием тока, однако в соответствии с назначением элементов используются и другие способы: нагрев горячей средой, высокочастотный индукционный нагрев, инфракрасное и лазерное излучения. Характерной особенностью ТСП является их миниатюрность, что обусловлено простотой механизма их действия, и тем, что элемент состоит их одного сплава. Другой особенностью является то, что на действие ТСП влияет не среда или атмосфера, а только температура. Следовательно, эффективна установка данных приводов в различных средах, в реакционных устройствах химических установок, в ядерных реакторах и т.п. При этом нет необходимости в герметизированном подвижном узле, как при установке двигателей или гидропневматических цилиндров.

Использование СПФ для трансформации тепла в работу предполагает и обратный процесс: применение этих материалов в качестве рабочего тела холодильников или тепловых насосов. Эффективность такого применения определяется фактом выделения и поглощения тепла при прямом и обратном мартенситном превращении, которые можно стимулировать нагрузкой. При этом максимальный термический эффект $\Delta T = \Delta H / c$ определяется энтальпией перехода ΔH и теплоемкостью сплава c и составляет для термоупругого превращения несколько десятков градусов.

СПФ в зависимости от температуры окружающей среды могут быть также эффективным стоком или источником тепловой энергии. Это обусловлено экзо- и эндотермическими эффектами в сплавах при охлаждении и нагреве в интервалах фазовых превращений. Наличие гистерезиса увеличивает температурный интервал между этими эффектами и позволяет строить на этом принципе саморегулирующие тепловые системы.

Возможные области применения в судовой энергетике в зависимости от вида используемого эффекта для СПФ различных групп приведены в таблицах 1 и 2 [4,9]. В системах с низким и средним давлением рабочей среды и малыми условными проходами (масляная, топливная, охлаждения, очистки, опресненной воды и др.) в различных распределительных и золотниковых устройствах непосредственного действия для управления гидро- и пневмоприводами, электроусилительных устройствах, запорных клапанах ТЧЭ с ЭПФ могут использоваться как основное тяговое звено привода. В системах и агрегатах с высокими рабочими параметрами среды (главные, вспомогательные и утилизационные парогенераторы, системы главного, вспомогательного и отработавшего пара, подачи воздуха, трубопроводы пара промежуточного перегрева и др.) ТЧЭ могут применяться для привода импульсных клапанов предохранительных

Таблица 1.

Виды эффектов памяти и возможные области их применения в системах СЭУ для сплавов различных групп

Вид эффекта	Приборные $M_к < T_р < A_к$		Конструкционные	
	несиловые	силовые	несиловые $T_р < A_н$	силовые $T_р > A_к$
ЭПФ	тепловые индикаторы[1]	одноразовые исполнительные механизмы и сигнализаторы[1], приводы[3]	самосооружающиеся конструкции, не несущие в последующем значительных нагрузок	самоусаживающиеся соединительные муфты трубопроводов, заклепки, крепеж[4]
Псевдоупругость		регуляторы, как правило, при криогенной температуре		амортизаторы больших деформаций
ЭПП	сигнальные датчики[1]	многоразовые исполнительные[3] и регулирующие[2] механизмы с контртелом	многократно сооружающиеся и складывающиеся конструкции, термокомпенсаторы[4]	разборные соединительные устройства[4]

Продолжение таблицы 1.

Вид эффекта	Приборные $M_к < T_р < A_к$		Конструкционные	
	несиловые	силовые	несиловые $T_р < A_н$	силовые $T_р > A_к$
Обратимый ЭПФ	многократные тепловые датчики[1]	регулирующие механизмы с малыми нагрузками в цикле охлаждения[2], термокомпенсаторы[4]		разборные соединительные устройства с умеренными нагрузками в рабочей области температур
Ферро-упругость		демпфирующие элементы[4]	низкочастотные амортизаторы, накопители деформации	
Демпфирование	звукопоглощающие прокладки и экраны[4]	элементы подвески исполнительных и показывающих приборов[4]	звукопоглощающие экраны, щиты[4]	рабочие лопатки турбин

[1] Приборы сигнализации, измерения и контроля, защитно-предохранительные устройства систем СЭУ.
[2] Устройства регулирования температурных режимов рабочих сред.
[3] ТСП малогабаритных ИУ управления системами СЭУ.
[4] Конструктивные элементы ВО различного назначения.

Таблица 2.

Области применения СПФ в СЭУ

Сплав с ЭПФ	Возможное применение в ИУ и конструкциях механизмов СЭУ	Традиционные ИМ и конструктивные элементы, применяемые для идентичных устройств	Причины возможной замены традиционных ИМ систем СЭУ
Сплавы на основе TiNi	1. Приборы и устройства: - аварийно-предупредительной сигнализации многоразового действия (тепловые индикаторы, датчики, сигнализаторы); - дистанционного измерения и контроля температуры (с преобразователями параметрического типа) параметров рабочих сред (масло, топливо, вода, воздух); - защитно-предохранительные многоразового действия, срабатывающие при превышении допустимой температуры или по сигналу системы управления (температурные реле, предохранители, прерыватели электроцепей).	биметаллические элементы, термобаллоны (газовые, конденсационные, жидкостные), терморезисторы, термопары	Ограничения по степени свободы элемента, степени изменения формы и размеров, развиваемым усилиям биметаллических элементов. Сложность конструкции и повышенные массогабаритные показатели устройств, вследствие наличия отдельных элементов (датчиков, механизмов передачи, приводов). Большие габариты, повышенная динамическая погрешность, систематические погрешности.
	2. Устройства автоматического регулирования температуры прямого действия (терморегуляторы, смесители, конденсатоотводчики, термоадаптивные элементы систем смазки, охлаждения, топливоподготовки, подачи воздуха, конденсатно-питательных).	термосильфоны и термобаллоны с парожидкостным, жидкостным и твердым наполнителем, биметаллические элементы	Недостатки сильфонов и термобаллонов: малая циклическая стойкость; сложность изготовления и относительно высокая стоимость; неремонтопригодность в судовых условиях; ограниченные рабочий ход и развиваемое усилие; относительно невысокая предельная температура эксплуатации (до 120°С) или допустимая температурная перегрузка (менее 25°С); узкий диапазон регулирования (предел пропорциональности не более 10…11°С); повышенная инерционность.

Продолжение таблицы 2.

Сплав с ЭПФ	Возможное применение в ИУ и конструкциях механизмов СЭУ	Традиционные ИМ и конструктивные элементы, применяемые для идентичных устройств	Причины возможной замены традиционных ИМ систем СЭУ
Сплавы на основе TiNi	3. Термосиловые приводы малогабаритных ИУ систем с невысокими рабочими параметрами среды (реле, дозаторы, регуляторы, импульсные клапаны, распределители (манипуляторы), малогабаритная арматура).	электродвигатели, электромагнитные приводы (соленоиды), одно- и двухполостные сервоприводы (пневмо- и гидро-), мембранные пневмоприводы, сильфонные пневмо (гидро)-приводы	Высокие массогабаритные показатели вследствие многоэлементности и наличия вспомогательных устройств (гидросистема, пневмосеть, редуктор, ограничительные силовые устройства и т.п.). Необходимость обеспечения малых скоростей рабочего органа, многопозиционного или непрерывного регулирования. Сложность управления и высокие затраты на техническое обслуживание; пониженная экологическая безопасность и надежность (гидропривод); низкая жесткость системы и высокий уровень шума (пневмопривод); низкая удельная мощность (электропривод). Невозможность работы в агрессивных, пожаро- и взрывоопасных средах. Недопустимость прокладки напорных трубопроводов в определенных емкостях и помещениях судна.
	4. Конструктивные элементы: термомеханические соединения трубопроводов, электрических сетей, конструкций (разъемные и неразъемные); элементы контровки и крепежа; термокомпенсаторы; виброизоляторы, амортизаторы (демпфирующие элементы), звукопоглощающие прокладки и экраны.	неразъемные (сварка, пайка) и разъемные (фланцевые, штуцерные, фитинговые, специальные) соединения; электроконтакты, крепеж, болтовые соединения, заклепки; термокомпенсаторы (сальниковые, линзообразные, сильфонные); основания и фундаменты устройств из материалов с высокими демпфирующими свойствами	Сварка на готовом изделии при монтаже и ремонте недопустима; исключается применение открытого огня и защитного газа. Проблемы сварных соединений для разнородных металлов. Повышение производительности монтажа трубопроводов; сокращение времени и стоимости подготовки кадров по сравнению с подготовкой сварщиков; невозможность проведения рентгеноконтроля. Разъемные соединения приводят к удлинению трубопровода, увеличению его массы, требуют специальной подготовки концов труб (приварка фланцев, колец, штуцеров, наконечников или ниппелей, нарезание резьбы, отбортовка). Необходимость установки муфт в ранее изготовленных системах с пожароопасной средой (масло, топливо) без дополнительной подготовки. Разрушение болтовых и сварных соединений (при вибрациях, ударах. теплосменах); ненадежность и сложность контровки, особенно для резьбовых соединений больших диаметров. Повышение компактности и герметичности термокомпенсаторов. Обеспечение надежности работы, повышение чувствительности и долговечности виброизоляторов.
Сплавы на основе Cu	1. Исполнительные механизмы одноразового действия устройств безопасности (аварийно-предупредительные и защитно-предохранительные): температурные реле, предохранители, электропрерыватели.	плавкие предохранители, пробки; биметаллические элементы	Недопустимость применения плавких предохранителей в качестве устройств защиты (главные цепи возбуждения машин гребных электроустановок).
	2. Конструктивные элементы: крепеж, термомеханические соединения (неразъемные), вибро- и звукоизоляторы.	муфты трубопроводов систем пневматики или гидравлики; заклепки, болтовые соединения; электроконтакты	То же, что для сплавов на основе TiNi.

Висновки

Применение в качестве ИМ термосиловых элементов на базе СПФ позволит упростить управление системами СЭУ, существенно повысить надежность ВО, его стойкость к агрессивным средам, улучшить акустические характеристики, избавиться от многоэлементности (особенно в системах гидравлики), улучшить массогабаритные показатели и снизить затраты на техническое

Література

1. Башуров Б.П., Балякин А.В. Причины отказов основного оборудования некоторых систем судовых дизелей и пути повышения их работоспособности// Двигателестроение.– 2001.– №3.– С.18 – 22.
2. Башуров Б.П., Балякин А.В. Статистическое исследование работоспособности вспомогательного оборудования судовых дизелей/ Судостроение, 2002, №3, С.26-30.
3. Козленко О.О. Удосконалення засобів технологічного оснащення на основі застосування матеріалів з ефектом пам'яті форми: Автореф. дис. … канд. техн. наук. – Миколаїв: УДМТУ, 1998. – 20 с.
4. Поліщук В.А. Удосконалення систем змащування суднових ГТД шляхом застосування функціональних термочутливих елементі: Автореф. дис. … канд. техн. наук. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 22 с.
5. Албантов А.К., Пилипчак В.И. Энергосбережение с использованием ограничивающих, регулирующих и смешивающих устройств прямого действия на основе сплавов с эффектом памяти формы // Проблемы энергосбережения и экологии в судостроении: Тез. докл. 1-й Междунар. науч.-техн. конф. – Николаев: УГМТУ, 1996. – С. 180 – 181.
6. Совершенствование термосиловых приводов с эффектом "памяти формы" и расширение области их применения в промышленности / Албантов А.К., Пилипчак В.И., Полищук В.А. и др. // Проблемы энергосбережения и экологии в судостроении: Тез. докл. 2-й Междунар. науч.-техн. конф. – Николаев: УГМТУ, 1998. – С. 27.
7. Полищук В.А. Моделирование термомеханических параметров функциональных материалов для приводов систем СЭУ // Зб. наук. пр. УДМТУ.– Миколаїв: УДМТУ, 2002.– №2. – С. 99 – 110.
8. Пилипчак В.И., Шевченко Н.А. Регулятор температуры систем смазки ГТД на основе сплавов с эффектом памяти формы // Использование газотурбинных, когенерационных и возобновляемых источников для решения проблем энергетики Украины: Сб. докл. участников научно-практической конференции. – Николаев, 2002. – С. 98 – 101.
9. Полищук В.А. Перспективы применения функциональных материалов в СЭУ // Кораблебудування: освіта, наука, виробництво: Матеріали Міжнар. конф: В 2 т. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – Т.ІІ. – С.86 – 88.
10. Полищук В.А. Проектирование термомеханических приводов для масляных систем СЭУ // Кораблебудування: освіта, наука, виробництво: Матеріали Міжнар. конф: В 2 т. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – Т.ІІ. – С.78 – 79.
11. Полищук В.А., Пилипчак В.И. Применение сплавов с памятью формы в регуляторе температуры системы смазки ГТД // Зб. наук. пр. УДМТУ.– Миколаїв: УДМТУ, 2002.– № 7. – С.75 – 84.
12. Пилипчак В.И., Полищук В.А., Миронов О.Г. Регулятор температури / Патент України № 52100 А, Бюл. № 12, 2002 р.
13. Пилипчак В.И. Термостатичний конденсатовідвідник /