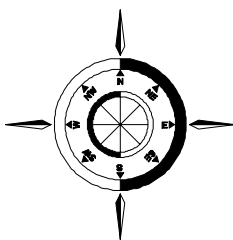


АВТОМАТИЗАЦИЯ СУДОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Научно-технический сборник

ВЫПУСК 12



Одесса
2007

ББК 39.42-05

А 22

УДК 681.5:629.12(045)

Автоматизация судовых технических средств: научно-технический сборник – 2007. – Вып. 12. – Одесса: ОНМА. – 132 с.
ISSN 1819-3293

Сборник посвящен проблемам расчета, проектирования и эксплуатации судовых автоматизированных технических средств. Обобщен опыт эксплуатации и приведены результаты исследований судовых систем автоматического управления и регулирования.

Для научных работников и специалистов.

Утвержден к печати ученым советом Одесской национальной морской академии 27.09.2007, протокол № 2.

Редакционная коллегия: д.т.н., проф. С. И. Горб (редактор), к.т.н., доц. Д. Ю. Крохмаль (зам. редактора), д.т.н., проф. Л. Л. Вагущенко, д.т.н., проф. Л. В. Вишнеvский, д.т.н., проф. В. А. Голиков, к.т.н., проф. К. П. Котриков, д.т.н., проф. А. И. Коханский, д.т.н., проф. М. В. Миусов, д.т.н., проф. А. Э. Потёмкин.

Адрес редакционной коллегии: 65029, г. Одесса, ул. Дидрихсона, 8, Одесская национальная морская академия (ОНМА), кафедра ТАУ и ВТ.

Тел./факс (048) 728-75-40. Факс (0482) 34-52-67.

E-mail: gs@ma.odessa.ua

А 3205030000 – 1
2007

Без объявления

ББК 39.42-05

ISSN 1819-3293

© Одесская национальная морская академия

НАСТРОЙКА ЭЛЕКТРОННОГО ОГРАНИЧИТЕЛЯ НАГРУЗКИ SELMA-MARINE

В последние годы на морском флоте широкое распространение получили суда со среднеоборотными дизелями (СОД). Обычно, в системах управления, где СОД работает на винт регулируемого шага (ВРШ), используются электронные ограничители нагрузки. Однако, заложенные в системах ДАУ алгоритмы, не всегда обеспечивают защиту СОД от перегрузок, что зачастую связано с отсутствием рекомендаций по настройке ограничителей нагрузки.

Задача настройки ограничителей нагрузки не является новой [1, 2], однако, ее нельзя считать решенной для всех систем управления и всех конструкций ограничителей нагрузки. Она остается актуальной и в настоящее время. Целью настоящего исследования является оптимизация настроечных параметров ограничителя нагрузки на судах типа "Измаил", где главный двигатель (ГД) работает при постоянной частоте вращения на ВРШ через редуктор. Суда этой серии оборудованы системой управления SELMA-MARTNE. Нагрузка в этой системе ограничивается воздействием на шаг винта или путем ввода максимально допустимой подачи топлива. Процесс регулирования осуществляется через контур обратной связи и ПИ-регулятор с использованием сигнала положения топливной рейки как регулируемой величины [3].

Комплектация системы управления SELMA-MARINE не предусматривает управления частотой вращения ГД, которое поддерживается на всех режимах на уровне 712 мин^{-1} . Это связано с работой ГД на валогенератор (ВГ).

Нагрузка ограничивается потенциометром на панели ЦПУ. При применении данного ограничения сигнал обратной связи (фактическое положение топливной рейки) подвергается фильтрации низких частот для стабилизации сигнала ограничителя при сильном волнении.

Ограничитель нагрузки обеспечивает защиту ГД от перегрузок путем уменьшения шага винта при превышении подачей топлива h_p допустимого значения (рис. 1). Допустимая подача топлива $h_{p\text{доп}}$ определяется как функция частоты вращения ГД (блок Φ_1) согласно спецификации изготовителя ГД, и сравнивается со значением, заданным с пульта управления.

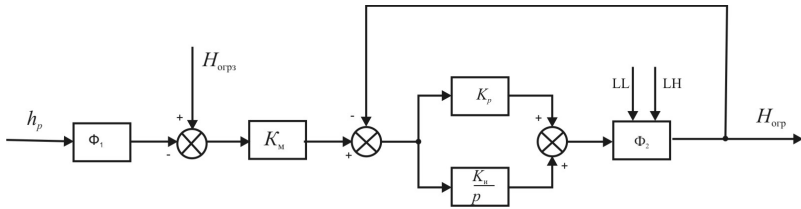


Рис. 1. Структурная схема электронного ограничителя нагрузки системы управления SELMA-MARINE

Значение этого сигнала пропорционально сигналу задания, т.е. значение задания телеграфа масштабируется в пределах ± 100 отн. ед. Сигнал от датчика хода рейки топливных насосов высокого давления (ТНВД) также масштабируются функциональными преобразователями хода рейки ТНВД – 0 ... 100 отн. ед.

В ограничитель нагрузки введена нечувствительность 2 % для стабилизации ограничителя при сильном волнении.

Полученный сигнал рассогласования усиливается пропорциональным звеном K_m . Значение коэффициента K_m равно 1, однако в случае необходимости посредством этого блока можно усилить сигнал ограничителя. Сигнал, подаваемый от рукоятки управления на исполнительный механизм, сравнивается с сигналом от ограничителя нагрузки. Меньший из них подается на трехточечный регулятор ТРС [3], который генерирует импульсы на шаговый электродвигатель, а последний воздействует посредством тяги на управляющий золотник механизма изменения шага.

Блок ТРС с шаговым электродвигателем моделируется по выражению

$$\Delta H_{\text{вых}} = \text{INT} \left(\frac{\Delta H_{\text{вх}}}{\Delta D} \right) \cdot \Delta D,$$

где $\Delta H_{\text{вых}}$ – выходной сигнал с шагового электродвигателя (ACTV); $\Delta H_{\text{вх}}$ – входной сигнал на блок ТРС (REFV); ΔD – шаг дискретности электродвигателя.

Управляющий сигнал $\Delta H_{\text{вых}}$ системы ДАУ поступает на регулирующий клапан, который подает масло в полости вспомогательного серводвигателя маслораспределительной коробки. Клапан имеет пропорциональную зависимость расхода масла от сигнала $\Delta H_{\text{вых}}$, поэтому изменение относительного хода вспомогательного серводвигателя

$$\frac{d\bar{H}_{\phi}}{dt} = \frac{\Delta \bar{H}_{\text{вых}}}{T_{\text{всм}}},$$

где $T_{всм}$ – половинное время вспомогательного серводвигателя (время перемещения поршня из среднего положения в крайнее при полном открытии клапана управления).

При расчете абсолютная величина переменной $\overline{\Delta H}_{вых}$ ограничивается значением, при котором происходит полное открытие клапана управления, а абсолютная величина переменной $\overline{H}_ф$ – значением ± 1 .

Передаточная функция гидроусилителя ВРШ

$$W_{врш} = \frac{1}{T_{врш} \delta_{врш} + 1},$$

где $T_{врш}$ – половинное время силового сервомотора (время перемещения поршня из среднего положения в крайнее при полном открытии золотника), с; $\delta_{врш}$ – неравномерность управляющего элемента гидроусилителя ВРШ.

Моделльное исследование проведено при различных значениях пропорциональной K_p и интегральной составляющей K_i . При этом в качестве диапазона изменения настроечных параметров ограничителя нагрузки приняты значения, рекомендованные в технической документации системы управления SELMA-MARINE.

Условия проведения исследования:

сигнал ограничителя на пульте управления установлен на отметке 0,85 отн. ед.;

возмущение наносится ступенчатым перемещением рукоятки управления шагом винта из нулевого положения в положение 0,8 отн. ед.

Для оценки маневренных характеристик судна в первом приближении могут быть использованы в следующие показатели:

частота вращения коленчатого вала ω ;

цикловая подача топлива ГД h_p ;

фактический шаг винта H/D_ϕ .

При изменении пропорциональной составляющей K_p в диапазоне от 0,05 до 0,2 отн. ед. увеличивается время вывода шага винта на заданное значение, причем, при $K_p = 0,05$ (при данных условиях исследования) ограничитель нагрузки практически не вступает в действие. Чрезмерное же увеличение K_p может привести к ухудшению маневровых характеристик судна: увеличивается время перекадки лопастей ВРШ. Время стабилизации частоты вращения ω и подачи топлива h_p меняются незначительно, однако, при больших значениях K_p появляется заброс по подаче топлива. Учитывая инерционность турбокомпрессора при увеличении подачи топлива совместно с падением частоты вращения, могут возникать температурные перегрузки ГД [4].

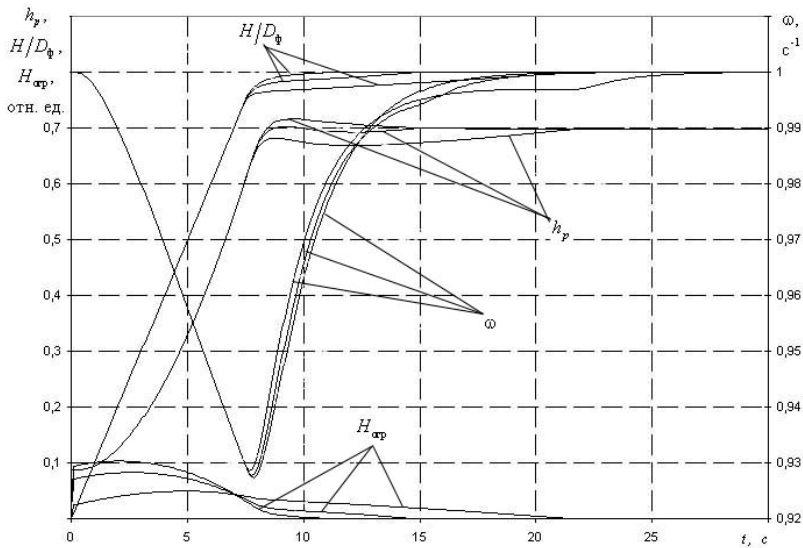


Рис. 2. Переходные процессы в СОД с ВРШ при различных значениях пропорциональной составляющей K_p электронного ограничителя нагрузки SELMA-MARINE

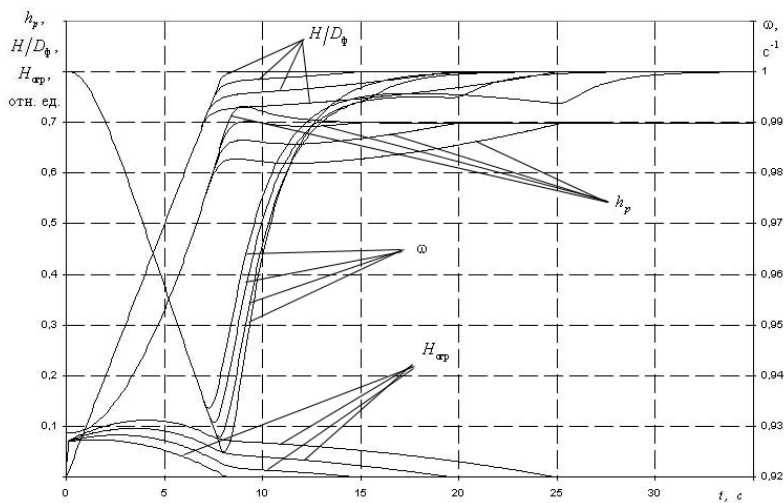


Рис. 3. Переходные процессы в СОД с ВРШ при различных значениях интегральной составляющей K_i электронного ограничителя нагрузки SELMA-MARINE

При изменении интегральной составляющей $K_{\text{и}}$ в диапазоне от 0,01 до 0,04 отн. ед. увеличивается время вывода шага винта на заданное значение. Время стабилизации всех параметров при увеличении $K_{\text{и}}$ меняется значительно (примерно увеличивается на 10 с), т.е. значительно ухудшаются маневровые характеристики судна.

Таким образом, использование настроечных параметров, значений рекомендованных в технической документации системы SELMA-MARINE, обеспечивает чрезмерно широкий диапазон динамических характеристик. Это свидетельствует о том, что применение рекомендованных значений без предварительного уточнения может существенно ухудшить маневровые характеристики судна. Для системы управления SELMA-MARINE можно рекомендовать сузить диапазон значений настроечных параметров: для $K_{\text{р}}$ в диапазоне от 0,1 до 0,15 отн. ед.; для $K_{\text{и}}$ в диапазоне от 0,02 до 0,03 отн. ед.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горб С.И. Моделирование судовых дизельных установок и систем управления: Учеб. пособие для вузов. – М.: Транспорт, 1993. – 134 с.
2. Суворов П.С. Эксплуатационные режимы нагружения главных судовых среднеоборотных дизелей. – Одесса: Моряк, 1995. – 224 с
3. Брошков С.Д. Модернизация электронного регулятора нагрузки на судах типа "Измаил" // Автоматизация судовых технических средств: науч. – техн. сб. – 2001. – Вып. 6. – Одесса: ОГМА. – С. 3 – 7.
4. Брошков С.Д. Методика обоснования темпа нагружения судовых среднеоборотных дизелей // Автоматизация судовых технических средств: науч. – техн. сб. – 2004. – Вып. 9. – Одесса: ОНМА. – С. 3 – 10.

ОПЕРАТИВНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ МАРШРУТА ДЛЯ РАСХОЖДЕНИЯ
С СУДАМИ И ПРЕПЯТСТВИЯМИ

Проблеме выбора маневров для предупреждения столкновений судов посвящено большое количество работ. Их результаты в определенной мере отражены в публикациях [1, 3, 4]. В настоящее время для судов разрабатываются многоцелевые системы путепрокладки, оценки ситуаций и вождения судна. В них судном управляет навигационно-информационная система (НИС). В режиме управления она должна позволять оперативно и легко на электронной карте (ЭК) корректировать намеченный маршрут перехода для уклонения от столкновения с препятствием или судном, просто оценивать по изображению на ЭК эффективность намечаемых мер, активировать их с модуля ЭК, контролировать процесс движения судна по измененному маршруту.

Целью исследования является разработка для автоматического режима вождения судна по заданному маршруту алгоритмов, позволяющих в режиме диалога с НИС на электронной карте оперативно корректировать маршрут перехода для предупреждения чрезмерного сближения с судами и препятствиями, оценивать безопасность движения по измененному пути и выбирать эффективный вариант коррекции маршрута.

Для оперативной коррекции маршрута предлагаются два метода: параллельного смещения активного отрезка пути и вставки путевой точки.

Во многих ситуациях для предупреждения чрезмерного сближения с другими судами целесообразным является смещение на параллельную линию пути (СПЛП) [2]. Этот стандартный маневр может использоваться с углом отклонения от курса следования вплоть до 150° . Траектория ЦМ судна при маневре СПЛП показана на рис. 1. Этот маневр характеризуется: углом изменения курса Δ_K , заданным параметром поворотов (допустим радиусом R_3), временем поворота $\tau_{пов}$ на угол Δ_K и проходимым за это время расстоянием l_Δ , дистанциями s_Δ , b_Δ от путевой точки Z до точек начала A и конца B поворота, длиной $S_{л}$ прямолинейного отрезка, прямым $s_{см}$ и боковым $r_{см}$ смещением конечной точки E относительно начальной A , продолжительностью τ_m маневра и моментом t_m его начала.

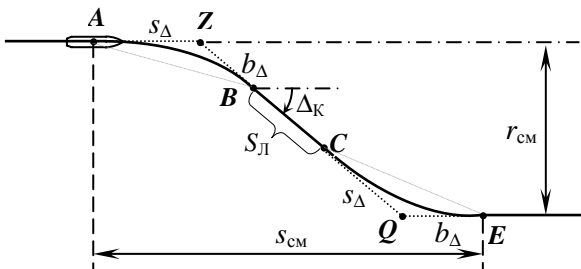


Рис. 1. Маневр смещения на параллельную линию пути

В зависимости от заданного радиуса R_3 и угла поворота значения s_Δ и b_Δ можно рассчитать, по упрощенным формулам, поясняемым рис. 2:

$$s_\Delta = (R_3 + k_{R_3}L) \cdot \operatorname{tg} \frac{\Delta_K}{2}, \quad b_\Delta = R_3 \operatorname{tg} \frac{\Delta_K}{2}.$$

Здесь L - длина судна; k_{R_3} - коэффициент, соответствующий конкретному судну (обычно лежит в диапазоне от 0,7 до 1,7, в среднем его считают равным единице). Таким образом, траектория поворота упрощенно представляется совокупностью участка задержки поворота AP и дугой окружности PB . Длина траектории поворота

$$l_\Delta = k_{R_3}L \cdot \operatorname{tg} \frac{\Delta_K}{2} + R_3 \Delta_K.$$

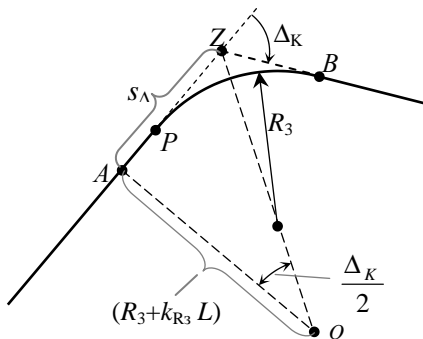


Рис. 2. Параметры маневра s_Δ, b_Δ

Точнее параметры маневра $s_\Delta, b_\Delta, l_\Delta$ находятся моделированием

в ускоренном времени поворота с помощью эталонной модели системы автоматического управления курсом. Время поворота на угол Δ_K и продолжительность маневра СПЛП вычисляются по формулам:

$$\tau_{\text{пов}} = l_{\Delta} / V, \quad \tau_{\text{м}} = 2\tau_{\text{пов}} + S_{\text{л}} / V.$$

Маршрут перехода в ряде случаев представляют как ломаную линию с круговыми областями радиусом $s_{\Delta} = f(R_3, \Delta_K)$ около путевых точек (рис. 4). Эти области, на границе которых начинается поворот, называют зонами эволюционного движения.

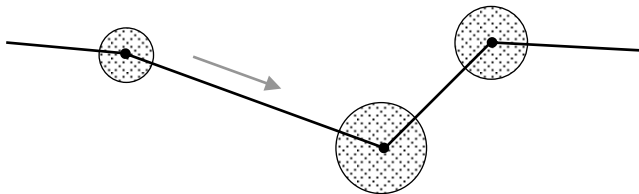


Рис. 3. Маршрут с зонами эволюционного движения

Чтобы в режиме вождения по отрезку [J-1, J] маршрута (рис. 4), избежать чрезмерного сближения с судами смещением на параллельную линию пути, задается угол уклонения от курса (Δ_K) и смещение ($r_{\text{см}}$) оставшейся части активного отрезка пути без изменения его направления. В результате в маршрут вводятся две новые путевые точки (Z, Q) и изменяется положение точки поворота J.

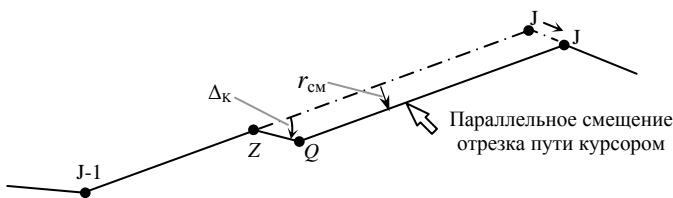


Рис. 4. Изменение маршрута для расхождения с судном маневром смещения на параллельную линию пути

Точкой Z обычно считается место на расстоянии s_{Δ} впереди текущего положения ЦМ судна. Если начало маневра намечается с задержкой ($t_{\text{зд}}$) по времени, то в качестве Z принимается будущее по-

ложение ЦМ судна на расстоянии $(s_{\Delta} + V \cdot t_{зд})$ от его текущего места. Положение путевых точек Q , J находится в зависимости от Δ_K , $r_{см}$, а также курсов вдоль активного и следующего за ним отрезков маршрута.

Если при малых значениях $r_{см}$ зоны эволюционного движения в точках Z и Q перекрываются, то для таких $r_{см}$ маневр СПЛП с заданными Δ_K , R_3 не существует.

Для оперативного изменения маршрута рассматриваемым способом в НИС необходимо ввести специальную функцию и программу ее реализации. Эта программа должна позволять назначать R_3 , Δ_K и смещение $r_{см}$ отрезка пути. Целесообразно предусмотреть и ввод времени задержки $t_{зд}$ маневра.

Смещать активный отрезок маршрута удобно "перетаскиванием" его курсором при нажатой левой клавише манипулятора. При выполнении этой операции необходимо вычислять значения параметров маневра СПЛП (в области его существования), соответствующие смещению $r_{см}$ отрезка пути. На экране при этом следует отображать: прогноз пути судна и рассчитанное на конец маневра его место с вектором скорости и областью безопасности; суда-цели, их путь от текущего места до прогнозируемого на конец маневра, вектора истинного и относительного движения.

На рис. 5 - 7 приведен пример отображения данных при выборе маневра СПЛП для расхождения с 4-мя целями. Исходная ситуация представлена на рис. 5. Время векторов истинного движения взято равным 6 мин, векторов относительного движения – 12 минут, время задержки маневра – 0 мин. Допустимая дистанция кратчайшего сближения ($D_{кр3}$) установлена 10 кб.

При выборе маневра (рис. 6) прогноз траектории перехода нашего судна на смещаемый курсором активный отрезок маршрута показан точечной линией. Около прогнозируемого на конец маневра СПЛП места судна отображен сплошной линией вектор его скорости и зона безопасности с радиусом $D_{кр3}$.

Действительное положение цели на рис. 6 обозначено ее номером. У прогнозируемого на время окончания маневра места цели показаны вектора истинного и относительного движения. Если на момент конца маневра цель неопасна, то вектор истинного движения будет тонким сплошным, а вектор относительного движения - тонкой точечной линией. Если же цель опасна, вектор истинного движения будет жирной сплошной линией, а вектор относительного движения – жирной

штриховой линией. Если в интервале от начала до конца маневра СПЛП не будет чрезмерного сближения с целью, то ее путь от действительного до прогнозируемого на конец маневра положения показывается тонкой штриховой линией. Если опасное сближение в названном интервале времени будет иметь место, то этот путь отображается линией "штрих-две точки". Приведенный метод отображения данных выбран для пояснений. На экране монитора НИС для улучшения понимания обстановки информации выделяется более эффективными способами: разными цветами, миганием и т.д.

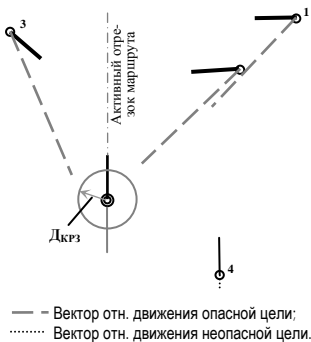


Рис. 5. Ситуация до маневра

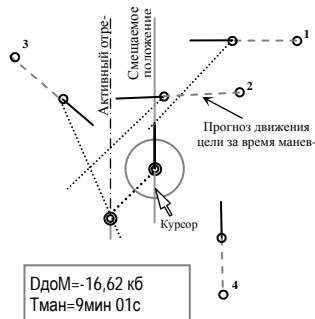


Рис. 6. Выбор маневра

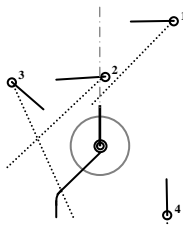


Рис. 7. Ситуация в момент окончания маневра

В области цифровых данных при "перетягивании" курсором отрезка пути отображается $r_{сМ}$ и время маневра $\tau_{м}$ (на рис. 6 - ДдоМ и Тман). Здесь можно показать и параметры интересующей оператора цели.

Выбор маневра расхождения заключается в нахождении (при смещении курсором вправо и влево отрезка пути относительно его начального положения) наименьшего $r_{см}$, при котором маневр СПЛП не противоречит МППСС и не приводит к опасности чрезмерного сближения с другими судами в процессе уклонения и в момент его завершения. В рассматриваемом примере такое смещение ($r_{см} = 16,62$ кб) приведено на рис. 6.

Выбрав $r_{см}$, судоводитель в зависимости от ситуации определяет точку начала маневра. При приходе судна в нее дает команду начать движение по измененному маршруту. По этой команде в НИС в запланированный маршрут вводятся путевые точки Z , Q , J , соответствующие выбранному значению $r_{см}$. НИС, обеспечивая движение по измененному маршруту, выполнит задачу расхождения. Ситуация сближения судов в момент выхода на смещенный отрезок пути показана на рис. 7.

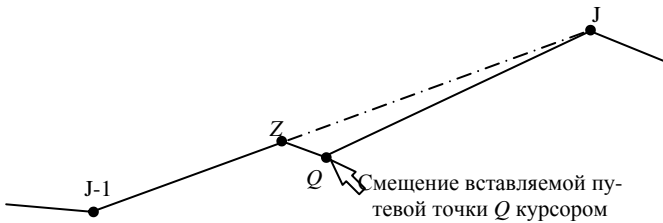


Рис. 8. Изменение маршрута для расхождения с судном вставкой путевой точки Q

Второму предлагаемому способу выбора изменения траектории для расхождения с судами соответствует вставка двух путевых точек Z и Q (рис. 8). Точка Q появляется при нажатии клавиши манипулятора в режиме выбора маневра расхождения этим способом. Ее место совпадает с положением курсора. При нажатой клавише точка Q может перетягиваться курсором по полю ЭК. Точка Z появляется при отображении Q . Место Z определяется положением нашего судна, точки Q и назначенным временем задержки маневра. При любом выбираемом курсором положении точки Q можно просматривать (в области существования маневра), какой будет ситуация сближения судов в момент выхода нашего судна на отрезок QJ и какой будет величина потери ходового времени.

Программно устанавливается, что при перетягивании точки Q с нажатой правой клавишей манипулятора первый поворот при маневре расхождения (на рис. 9, а – поворот на угол Δ_{K1}) будет вправо, а при перетягивании точки Q с нажатой левой клавишей – влево. Это позволяет задавать угол уклонения от цели вправо и влево от нуля до 360° (рис. 9, б). Второй поворот (на угол Δ_{K2} , рис. 9, а) выполняется в ту сторону, в которую он меньше.

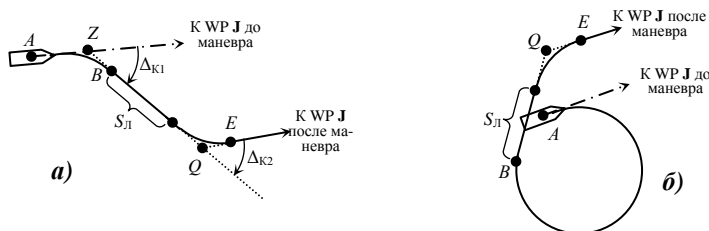


Рис. 9. Примеры задания путевой точки Q

На экране в режиме выбора маневра прогнозируемая ситуация при перемещении курсором путевой точки Q отображается в виде, аналогичном для маневра СПЛП (см. рис. 6). Показывается прогнозируемый путь нашего судна в точку E конца маневра. В точке E отображается символ судна и направленный к WP J (см. рис. 8) вектор его скорости, а также зона безопасности с радиусом $D_{KРЗ}$.

Для целей показывается их действительное место, от него путь к прогнозируемому на конец маневра положению, у этой точки - вектора истинного и относительного движения. Способы выделения опасных в интервале маневра целей и опасных целей после завершения его такие же, как при прогнозе маневра СПЛП.

Безопасным маневрам соответствует область положений точки Q , при которых все цели безопасны, как на этапе маневрирования, так и в конце его. В этой области судоводитель выбирает положение Q , при котором маневр уклонения отвечает требованиям МППСС и сопровождается минимальной потерей ходового времени. После этого подается команда начала маневра. По ней в НИС вводятся соответствующие выбранному положению точки Q изменения в запланированный маршрут. НИС, обеспечивая движение по измененному маршруту, выполнит расхождение с судами.

Для проверки эффективности предложенных методов составлена

имитационная модель вождения судна по заданной траектории при наличии движущихся целей (до 50), позволяющая оперативно корректировать маршрут рассмотренным выше образом, чтобы разойтись с целями. Анализ с помощью этой программы многих ситуаций расхождения показал, что предложенные способы обеспечивают простоту выбора эффективных вариантов коррекции маршрута для расхождения с несколькими судами и позволяют учитывать наличие навигационных опасностей в районе движения. Выбор маневра расхождения и его выполнение производятся в режиме автоматического вождения судна по маршруту и не требуют перехода на ручной режим управления судном.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексейчук М.С. Основные принципы системы принятия оптимального решения при расхождении судов //Судовождение: сб. науч. трудов ОГМА. – 1999. – Вып. 1. – С. 7 - 14.
2. Вагущенко А.Л. Алгоритм расхождения с судном смещением на параллельную линию пути //Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2006 . – Вып. 11. – Одесса, ОНМА – С. 10 - 20.
3. Мальцев А.С. Маневрирование судов при расхождении. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.
4. Управление судном: учебник для вузов /С.И. Демин, Е.И. Жуков, Н.А. Кубачев и др.; под ред. В.И. Снопкова. – М.: Транспорт. 1991. – 359 с.

МЕТОДЫ КОМПЕНСАЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ
РАСХОДА ТЯЖЕЛОГО ТОПЛИВА ГЛАВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Вопросы комплексной автоматизации технологических процессов судовых энергетических систем на современном этапе развития морского флота являются основными с точки зрения обеспечения судов высокоэффективными энергетическими установками, отвечающими требованиям наибольшей экономичности и экологической чистоты. Обязательными компонентами судовых энергетических установок являются первичные измерительные преобразователи. В последнее время [1, 2] в судовых автоматизированных системах нашли применение пьезоэлектрические датчики давления и расхода различных жидких сред, в том числе и тяжелого топлива главного двигателя (ГД).

Такие свойства пьезокерамических элементов, как высокая надежность, прочность, устойчивость к действию магнитных и радиационных излучений, химическая нейтральность, определяют целесообразность их использования в судостроительной промышленности. Однако, наряду с этими положительными качествами, пьезоэлементы обладают существенными нелинейными характеристиками, связанными с пьезоэлектрическим гистерезисом, остаточной деформацией, зависимостью параметров пьезоэлементов от термодинамических свойств потоков жидкости. До настоящего времени в таких датчиках не реализованы в полной мере функции коррекции статических и динамических погрешностей измерений давления, в том числе вызванных изменениями термодинамических параметров среды [3]. Современная микроконтроллерная техника обеспечивает введение алгоритмов динамической коррекции.

Одним из вариантов конструкций пьезокерамических элементов, предназначенных для использования в приборостроении и автоматике, является биморфный пьезоэлектрический элемент (БПЭ) [4].

В связи с изложенным предлагается пьезоэлектрический преобразователь давления, который позволяет определить скорость потока, а, следовательно, и расход тяжелого топлива, по величине гидродинамического давления, оказываемого жидкой средой на него. БПЭ, работая в трансформаторном режиме, помещается непосредственно в поток, а амплитуда напряжения U_2 , пропорциональная гидродинамическому давлению является информативным параметром преобразователя (рис. 1).

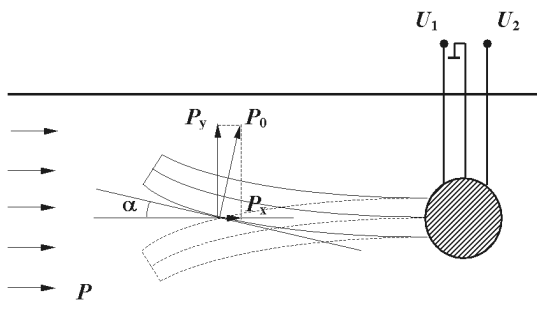


Рис.1. Влияние гидродинамического давления на БПЭ расходомера

Основными источниками погрешностей измерений расхода жидкостей являются изменения физико-химических параметров контролируемой среды (температура, плотность, вязкость). Так, в работе [5] было предложено несколько решений, позволяющих повысить достоверность измерений расхода.

На рис. 2 представлена структурная схема расходомера с температурной коррекцией параметров жидкостных потоков.

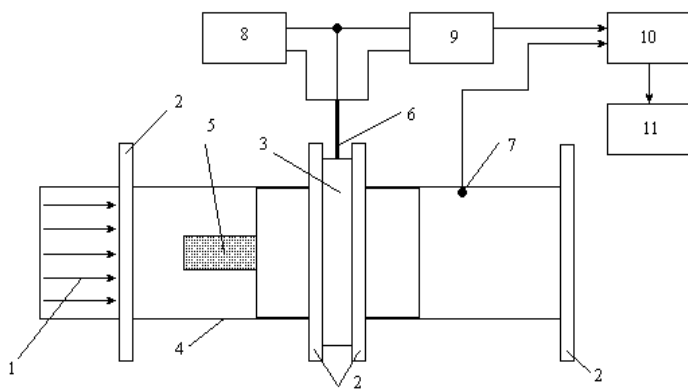


Рис. 2. Пьезоэлектрический расходомер с температурной коррекцией: 1 – поток жидкости; 2 – фланцы; 3 – резиновая прокладка; 4 – корпус; 5 – биморфный пьезоэлемент; 6 – держатель БПЭ; 7 – термодатчик; 8 – генератор; 9 – усилитель; 10 – микропроцессорное устройство обработки информации; 11 – устройство отображения

Расходомер встраивается в технологический трубопровод, поток жидкости взаимодействует с колеблющимся БПЭ. Амплитуда трансформируемого электрического напряжения является мерой гидродинамического давления жидкости. Информативный сигнал, после предварительного усиления, поступает на микропроцессорное устройство, где обрабатывается по определенному алгоритму, в котором предусмотрена коррекция температурной погрешности путем внесения соответствующей поправки в результаты измерений на основе базы данных об изменениях амплитуды сигнала БПЭ. Измерительные погрешности пьезоэлектрического расходомера заметно снижаются в том случае, если разместить два БПЭ в одной плоскости, например в вертикальной, вдоль потока в трубопроводе (рис. 3) [6]. Поскольку амплитуда колебаний зависит от направления обтекания средой колеблющегося БПЭ, то выходной сигнал первого БПЭ будет увеличиваться, а второго – уменьшаться. При подаче выходных сигналов на дифференциальный усилитель, влияние температуры среды на показания расходомера уменьшаются. Кроме того, изменения плотности и динамической вязкости жидкой среды оказывают одинаковое влияние на параметры колебаний двух БПЭ, что также повышает точность измерения расходов.

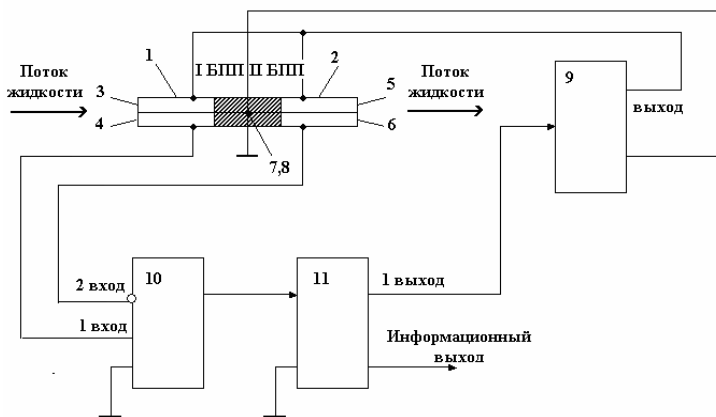


Рис. 3. Пьезоэлектронный расходомер жидких сред с двумя БПЭ: 1 – первый биморфный пьезоэлемент; 2 – второй биморфный пьезоэлемент; 3 – первичный пьезоэлемент первого БПЭ; 4 – вторичный пьезоэлемент первого БПЭ; 5 – первичный пьезоэлемент второго БПЭ; 6 – вторичный пьезоэлемент второго БПЭ; 7, 8 – общий электрический вывод биморфных пьезоэлементов; 9 – генератор; 10 – дифференциальный усилитель; 11 – устройство усиления обработки и регистрации информации

В случае неоднородного поля скоростей потока два БПЭ следует размещать в двух взаимно перпендикулярных плоскостях [7]. Так на рис. 4 приведена структурная схема подобного расходомера.

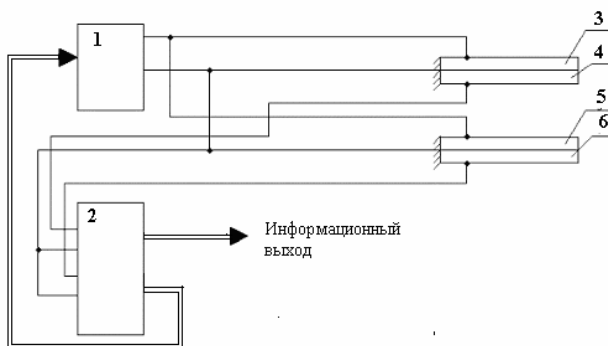


Рис. 4. Пьезоэлектронный расходомер жидких сред: 1 – генератор; 2 – устройство усиления, обработки и регистрации информации; 3 – первичный пьезоэлемент первого БПП; 4 – вторичный пьезоэлемент первого БПП; 5 – первичный пьезоэлемент второго БПП; 6 – вторичный пьезоэлемент второго БПП

Компенсация нелинейностей измерений в вышеизложенных способах осуществляется за счет дополнительных технических решений.

Одним из возможных способов линеаризации замкнутого контура регулирования расхода тяжелого топлива, использующего пьезоэлектрические первичные преобразователи, является введение в контур управления нелинейной зависимости, компенсирующей исходную нелинейность. Для решения такой задачи требуется микропроцессорная аппроксимация градуировочных характеристик (ГХ), основанная на построении модели, описывающей соотношение «вход-выход» измерительного преобразователя [8].

В качестве исходных данных для аппроксимации ГХ используются экспериментально полученные зависимости $U = f(P)$ пьезопреобразователя в виде равнобедренной трапеции с основанием 15 мм и высотой 20 мм для частоты 619 Гц (табл.).

Таблица

Экспериментальные данные для построения ГХ

Напряжение U , мВ	228	235	238	244	252	251	254
Давление p , Па	0	143,6	237	323	408,8	531,2	724,9

Наиболее простым способом аппроксимации данных, является аппроксимация, при которой значение в каждой промежуточной точке принимается равным ближайшему значению, заданному в таблице (аппроксимация по соседним элементам). Линейная аппроксимация приводит к соединению соседних точек отрезками прямых согласно соответствующих табличным данным [9]. Как видно из рис. 5, оба способа аппроксимаций дают очень приближенные результаты.

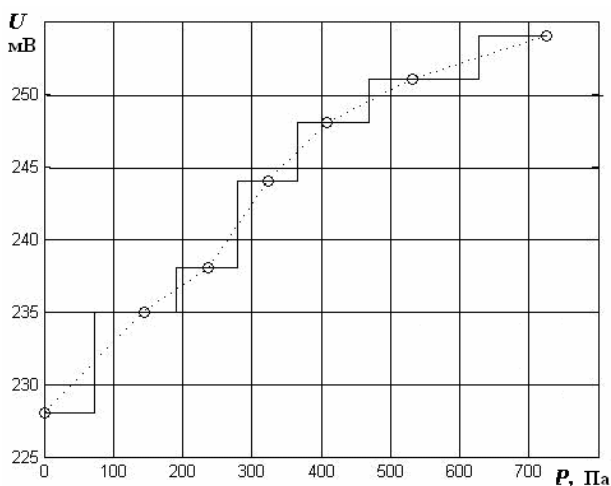


Рис. 5. Линейная аппроксимация ГХ: \circ - экспериментальные данные; - - - - - линейная аппроксимация; — — — — — аппроксимация по средним точкам

Традиционно для аппроксимации нелинейных зависимостей такого типа используется приближение методом наименьших квадратов [9]. На рис. 6 представлен результат аппроксимации полиномами второй, четвертой и пятой степенями.

Проведенная аппроксимация показывает, что приближение методом наименьших квадратов не всегда дает хороший результат. Кроме того, при увеличении степени полинома возможно ухудшение приближения (происходит при n , равном пяти).

Обычно при аппроксимации таблично заданной функции для получения плавного перехода от одного значения к другому применяют сплайны [9]. Результат сплайн-аппроксимации показан на рис. 7.

функцию многих переменных можно представить двухслойной нейронной сетью с прямыми связями с n нейронами входного слоя, $N=2n+1$ нейронами скрытого слоя, m нейронами выходного слоя и заранее заданными функциями активации f , функции активации должны быть непрерывными и дифференцируемыми в области определения [10].

Для решения поставленной задачи был построен многослойный перцептрон (рис. 8) с прямыми связями и одним скрытым слоем типа $(2-N-1)$.

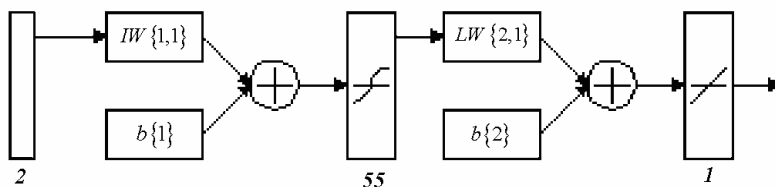


Рис. 8. Архитектура многослойного перцептрона

Функцией активации нейронов скрытого слоя выбран гиперболический тангенс, а выходного нейрона – линейная функция без смещения:

$$\text{tansig}(n) = \frac{2}{1 + e^{-2n}} - 1;$$

$$\text{purelin}(n) = n.$$

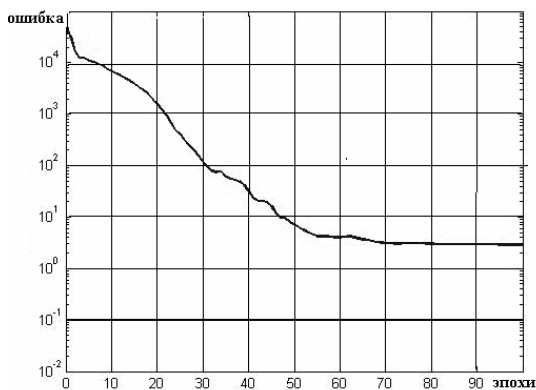
Обучение перцептрона проводилось при помощи алгоритма градиентного спуска и алгоритма Левенберга-Марквардта (рис. 9).

В результате моделирования было установлено, что оба алгоритма обеспечивают стабильное снижение заданной ошибки аппроксимации, но последний алгоритм является более быстродействующим.

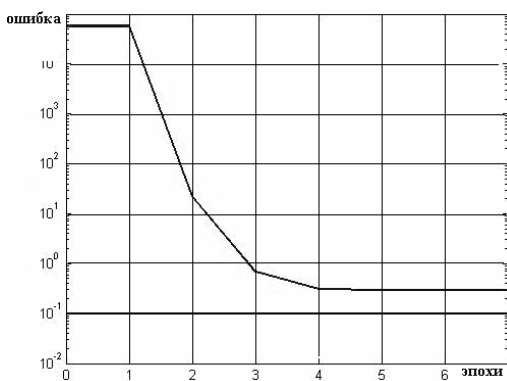
Количество нейронов скрытого слоя подбиралось экспериментально и зависело от размерности входного вектора и степени нелинейности ГХ датчика. Наилучшие результаты получены при количестве нейронов в скрытом слое 55 (алгоритм обучения GDX) и 40 (алгоритм обучения LM).

Результат нейросетевой аппроксимации показан на рис. 10.

Статистическая оценка среднеквадратической погрешности рассмотренных методов: линейная – 5,18; полиномиальная – 1,61; сплайн – 0,96; нейросетевая – 0,24.



а)



б)

Рис. 9. Графики обучения многослойного перцептрона: а - обучение по алгоритму градиентного спуска (GD), б – обучение по алгоритму Левенберга-Марквардта (LM)

Анализ численных значений погрешности показал, что нейросетевой метод обеспечивает значительное повышение точности аппроксимации ГХ пьезоэлектрического датчика давления тяжелого топлива ГД.

Таким образом, комплексное применение программно-аппаратных методов позволяет проводить динамическую коррекцию погрешности измерений расхода тяжелого топлива главного двигателя. Наиболее перспективным является нейросетевой метод, технически реализуемый на нейропроцессоре Л1879ВМ1 (NeuroMatrix NM6403) со встроенными алгоритмами обучения и моделирования.

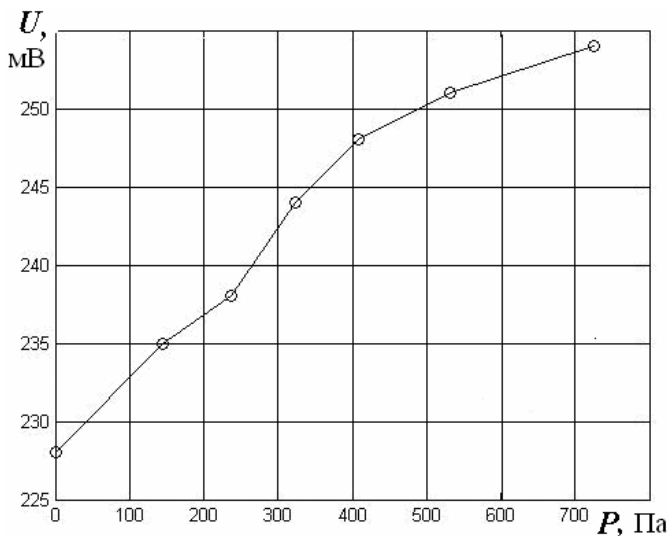


Рис. 10. Нейросетевая аппроксимация ГХ:
 о - экспериментальные данные; ———— - нейросетевая аппроксимация

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Толшин В.И., Сизых В.А. Автоматизация судовых энергетических установок. учебник. – М.: РосКонсульт. – 2003. – 304 с.
2. Беляев И.Г., Курзенков Н.Г., Седых В.И., Слесаренко В.Н. Автоматизация процессов в судовой энергетике: учебник для вузов. – Владивосток. – 1999. – 453 с.
3. Джагунов Р.Г., Ерофеев А.А. Пьезоэлектронные устройства вычислительной техники, систем контроля и управления: справочник. – СПб: Политехника, 1994. – 608 с.
4. Шарапов В.М., Мусиенко М.П., Шарапова Е.В. Пьезокерамические преобразователи физических величин /Под ред. В.М. Шарапова. - Черкассы: ЧГТУ, 2005. – 631 с.
5. Глазева О.В. Белокопытный А.С., Плавинский Е.Б. Пьезоэлектронный расходомер газовых потоков // Холодильная техника и технология – 2000. – Вып. 68. – С. 65 - 66.
6. Пат. 34149А Україна, МПК7 G 01 F 3/12 П'єзоелектронний витратомір рідких та газоподібних середовищ / Глазева О.В., Плавинський Є.Б.; ОДПУ – № 99063164. Заявл. 09.06.1999. Опубл.

15.02.2001.

7. Пат. 41109А Україна, МПК7 G 01 F 3/12 П'єзоелектронний витратомір рідких та газоподібних середовищ / Глазева О.В., Плавинський Є.Б.; ОДПУ – № 2001020966. Заявл. 13.02.2001. Опубл. 15.08.2001.

8. Глазева О.В., Плавинский Е.Б. Моделирование функции преобразования пьезоэлектрических датчиков гидродинамических давлений // Холодильна техніка і технологія. – 1999. – №61. – С. 17 - 20.

9. Дьяконов В.П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Основы применения. Полное руководство пользователя. – М.: СОЛОН-Пресс. – 2002. – 768 с.

10. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. 2-е издание. Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. - 1104 с.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
СУДОВ

Широкое внедрение средств автоматизации на флоте и совершенствование энергетического оборудования приводит к сокращению численности судовых экипажей.

В 80-х годах прошлого столетия процесс автоматизации судов позволил внедрить безвахтенное обслуживание машинных отделений. Появление спутниковой связи позволило отказаться от радиооператоров на судах.

В 90-х годах прошлого столетия благодаря интегрированным навигационным средствам, электронным картам и автоматическим идентификационным системам произошёл переход на "вахту одного человека" на мостике.

Уже сегодня существуют судовые экипажи, состоящие всего из шести человек.

Показательным примером уменьшения численности экипажа может служить контейнеровоз "Emma Maersk", построенный в конце лета 2006 года. Это судно является самым большим в мире (контейнеровместимость 13,5 ... 14,5 тысяч TEU; длина – 397 м; валовая вместимость – 171 тыс. т; мощность главного двигателя 109 тыс. л. с.; пять вспомогательных дизель-генераторов и паровая турбина, работающая на тепле отработанных газов главного двигателя). Судно может взять на борт команду из 30 человек, но номинальный штат насчитывает всего 13 человек.

Существенное сокращение численности судовых экипажей привело к тому, что экипажи перестали успевать выполнять весь комплекс работ по техническому обслуживанию судов, особенно при сокращении стоянок судов в портах (более интенсивной эксплуатации судов). Довольно распространённым явлением на флоте стала фальсификация судовыми экипажами выполнения планово-предупредительных работ (их ещё называют регламентными), что неизбежно сказывается на безопасности мореплавания и долговечности энергетических установок судов. По всей вероятности это и привело к тому, что классификационные общества ужесточили требования к учёту проведения и документированию регламентных работ на судах. Но, увеличение объёма "бумажной работы", не решает саму проблему и в ряде случаев ещё больше отвлекает судовые экипажи от выполнения регламент-

ных работ.

Естественно, что судовладельцы пытаются внести коррективы в организацию технического обслуживания судов, но в большинстве случаев принимаемые меры не носят системного характера.

Пожалуй единственно устоявшейся положительной тенденцией совершенствования технического обслуживания судов можно считать передачу сложных и трудоёмких работ по техническому обслуживанию оборудования береговым службам (в частном случае – перенос таких работ на периоды докования и ремонта судов).

Но, даже освобождение судовых экипажей от сложных и трудоёмких работ не может обеспечить решение проблемы в полной мере, так как судовой экипаж неизбежно должен выполнять неотложные (аварийные) и рутинные планово-предупредительные работы.

В связи с изложенным представляется актуальной проблема модернизации технологии организации технического обслуживания современных судов. Эта модернизация должна быть направлена на получение следующих результатов:

- предотвращение случаев фальсификации выполнения регламентных работ и повышение ответственности исполнителей за результаты выполненных работ;

- периодическую корректировку периодов проведения регламентных работ в зависимости от фактического состояния технических средств и тенденции изменения объёма аварийных работ (алгоритм корректировки периодов проведения регламентных работ изложен в работе [1]);

- улучшение учёта судовых запасов (облегчение поиска запасных частей и материалов в складских помещениях судна, своевременное выявление уменьшения запасов ниже заданных уровней обеспеченности, постоянный контроль наличия регистрового запаса);

- оптимизацию объёма судовых запасов, а также сроков их пополнения с учётом фактического расхода запасных частей и материалов;

- повышение оперативности в обмене информацией (по техническому обслуживанию, судовым запасам и заявкам на закупки и получению закупок) между судами и офисом.

Также необходимо учесть, что в настоящее время во многих судоводных компаниях введены отчёты судов о наличии на борту и расходовании различных судовых запасов, например:

- краски;
- химических препаратов;
- газов;
- регистрового запаса;
- топлива и масла.

Обилие этих отчётов требует больших затрат времени на их подготовку и больших расходов на спутниковую связь. Более логично передавать в офис информацию только об остатках судовых запасов без её разбивки на группы и без расчётов расходов по периодам времени (рейса). Аналогично следует поступить и в отношении наработки механизмов: передавать в офис значения абсолютных значений наработки. Актуально это предложение и в отношении теплотехнических отчётов, если они применяются в компании: в офис следует передавать только первичные данные (из машинного журнала, накладных и протоколов измерений), а не расчётные величины. Это не только уменьшит затраты времени и средств на отчётную информацию, но и минимизирует ошибки в ней, а также позволит переложить функцию анализа информации на береговых специалистов.

Перечисленные направления совершенствования технического обслуживания судов можно реализовать только с помощью компьютерной техники.

Первые попытки использования компьютерной техники для организации технического обслуживания судов были предприняты в начале 1980-х годов, когда в Норвегии была разработана первая версия информационной системы AMOS-D, которую с 1985 г. развивала и внедряла компания SpecTec AS с головным офисом в г. Осло. Первоначально эта система дублировала "ручную" систему предупредительного технического обслуживания и отчётов PMS норвежской компании Arnesen, Christensen & Co AS (сокращённо ACCO), но затем стала выполнять дополнительные функции. Шестая версия этой системы, разработанная к середине 90-х годов, обеспечивала выполнение следующих функций [2, 3]:

- идентификация и регистрация пользователей;
- многоязычный интерфейс;
- поиск судовых технических средств и их деталей в базе данных как с использованием их кодов, так и по текстовым полям;
- учёт наработки механизмов;
- планирование сроков выполнения регламентных работ как по календарным интервалам времени, так и/или по наработке;
- планирование разовых работ;
- объединение простых работ с одинаковой регламентной периодичностью в групповые работы;
- распечатка нарядов на выполнение работ с инструктивными указаниями по их проведению;
- регистрация отчётов о выполнении работ, в том числе неотложных, по которым не выдавались наряды на их проведение (возможен учёт продолжительности выполнения работ и учёт объёма аварийных

работ);

учёт запасных частей и материалов, хранящихся на судне, с инвентаризацией складских помещений;

учёт движения запасных частей и материалов (расход на работы, приобретение, передача и другие варианты прихода и расхода);

определение потребности в запасных частях и материалах с использованием уровней обеспеченности;

оформление заявок, запросов и гарантированных заказов поставщикам с регистрацией подтверждений поставщиков;

регистрация поступлений заказов от поставщиков;

ведение бюджета по закупкам, расходу складских запасов и затратам на техническое обслуживание;

взаимообмен информацией между судами и офисом (передаются только изменения в базах данных судов и офиса, что минимизирует затраты на связь).

На рис. 1 показано главное окно информационной системы AMOS-D версии 6.5.

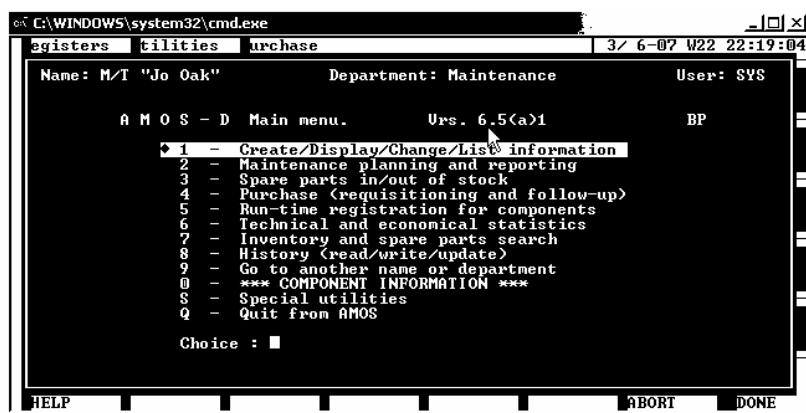


Рис. 1. Главное окно программы AMOS-D

Положительный опыт внедрения информационной системы AMOS-D, а также Международный Кодекс по безопасному управлению судами и предотвращению загрязнения (ISM Code), который потребовал от судоходных компаний плановое обслуживание оборудования, влияющего на безопасность мореплавания, способствовали появлению на рынке новых программных продуктов для организации технического обслуживания судов. По функциональным особенностям эти программные продукты мало отличались от информацион-

ной системы AMOS-D, но в ряде случаев обеспечивали развитие идей, заложенных в системе AMOS-D.

Например, фирма COMCAT Maritime Services, Stamford, CT, USA, разработала программный продукт Marine Management System (сокращенно MMS), в котором большое внимание было уделено удобству интерфейса пользователя и оптимизации объема "выборки" данных из базы данных при обменах информацией с офисом (в январе 1999 г. фирма подписала договор с фирмой СпеcТес об интеграции их программных продуктов).

Фирма STN Systemtechnik (Германия) интегрировала систему для управления технологическими процессами на судах (диагностики, загрузки судов) с отдельными элементами административного управления (ведение машинных журналов, планирование технического обслуживания).

Научно-производственное предприятие "СпецТек", Россия, разработало информационную систему TRIM, которая первоначально предназначалась для управления сбытом и снабжением в крупных торгово-закупочных компаниях, однако впоследствии включила модули организации технического обслуживания оборудования. Эта система имела более прогрессивные технологические и программные решения, позиционируется поставщиком как комплексное решение автоматизации административного управления предприятием и представляет интерес для крупных компаний с территориально-распределенной структурой.

В настоящее время фирма СпеcТес AS сохраняет лидирующее положение на рынке компьютеризированных систем для технического обслуживания судов. Она предлагает программный продукт AMOS Business Suite (деловой комплект) и функционирует как холдинг, имеющий 20 офисов в разных странах, с главным исполнительным офисом в Италии. К концу 2006 г. различные версии программы AMOS были проинсталлированы более чем на 7 тыс. судах, буровых платформах и береговых объектах.

В деловой комплект AMOS входят программные модули:

AMOS Maintenance & Purchase (техобслуживание и закупки) или сокращенно AMOS M&P;

AMOS Quality and Safety (управление качеством и безопасностью, в том числе документооборотом);

AMOS Voyage Management (управление рейсом);

AMOS Personnel (управление кадрами).

Программа AMOS M&P является основой делового комплекта. По сравнению с AMOS-D она использует более прогрессивное типовое программное обеспечение (Windows, систему управления базой дан-

ных), имеет более удобный интерфейс (рис. 2), обеспечивает более удобный поиск и сортировку информации в базе данных (за счёт применения фильтров) и выполняет следующие дополнительные функции:

за счёт появления новых регистров (таблиц) в большей степени унифицирует информацию в базе данных;

предусматривает возможность групповой обработки информации по однотипным механизмам, устройствам и деталям (на судах эта функция используется довольно редко, так как требует дополнительных навыков у пользователей программы);

позволяет показать в графическом виде иерархию технических средств судна;

предусматривает возможность установки ручных запусков плановых работ, которые выполняются эпизодически (без чёткой регламентной периодичности);

предусматривает возможность группировки разовых работ в проекты с заданием их последовательности и подключением субподрядных работ;

обеспечивает более обстоятельный складской учёт изнашиваемых предметов и материалов;

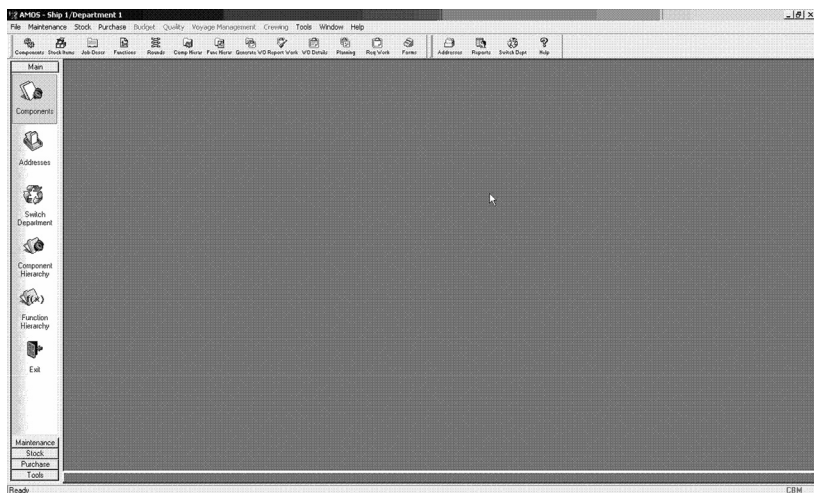


Рис. 2. Главное окно программы AMOS M&P

обеспечивает анализ движения предметов и материалов по складу судна;

учитывает бюджетные расходы по статьям, которые могут иметь иерархическую структуру;

позволяет подключить современные графические редакторы для работы с графическими приложениями;

содержит большой набор типовых отчётов по техническому обслуживанию судов, которые одновременно являются формами различных выборок из базы данных, хорошо адаптированными к печати на принтере;

позволяет каждому пользователю выбрать удобный для себя графический интерфейс.

В последней версии программы предусмотрен встроенный редактор отчётов, который позволяет пользователю генерировать необходимые формы отчётов и шаблонов.

Сравнительный анализ программы AMOS M&P с аналогами [4]:

SES (Shipmanagement Expert Systems S.A., Греция);

Task Assistant (Ulysses Systems Ltd, Англия);

TM Master (Tero Marine AS, Норвегия);

NS5 (ABS Nautical Systems, США, являющаяся дочерней компанией Американского бюро судоходства);

Star Information and Planning System, сокращённо *IPS*, являющаяся развитием программы *RAST PMS* (Star Information System AS, Норвегия);

Integrated Ship Management System, сокращённо *ISMS* (AVECS Corporation AG, Германия), –

показал, что вышеперечисленные функции являются исчерпывающими в организации технического обслуживания судов и в связи с этим в ближайшее время вряд ли появятся новые направления в модернизации технического обслуживания судов.

В то же время большинство поставщиков стали предлагать пользователям все возможные варианты инсталляции и использования компьютеризированных систем:

база данных устанавливается и используется на одном компьютере (как вариант на судне и в офисе устанавливаются идентичные базы данных и обеспечивается взаимообмен изменениями в базах данных с помощью электронной почты);

база данных располагается на сервере, а пользователи работают с ней как клиенты сети;

то же, что в предыдущем случае, но пользователи подсоединяются к серверу через Интернет (Web Browser);

базы данных располагаются на всех компьютерах и синхронизируются через Интернет (Web Client).

Разработанные программы стали более широко использовать

СУБД MS SQL (раньше предпочтение отдавалось исключительно Adaptive Server Anywhere) и при их разработке начато использование языка программирования C-Sharp.

Опыт внедрения компьютеризированных систем в судоходных компаниях показывает, что процесс адаптации специалистов к компьютерным технологиям происходит довольно сложно. Объясняется это тем, что компьютеризированные системы довольно сложны и для работы с ними необходима компьютерная подготовка специалистов. В связи с этим представляется перспективным совершенствование компьютеризированных систем в направлении максимального упрощения работы с ними пользователей. В этом аспекте заслуживают внимания разработки следующих двух фирм.

Marine Software Ltd, Англия, поставляет набор программных модулей для технического менеджмента, основным из которых является Marine Planned Maintenance (MPM). Поставка программного продукта в виде отдельных модулей более удобна для судоходных компаний, которые автоматизируют не все функции технического обслуживания (например, на малых судах). Такие "усечённые" варианты программ уже получили распространение на буксирах во многих портах Англии, судах прибрежного плавания и небольших паромах, то есть судах, которые ежедневно возвращаются к месту дислокации их офиса.

Teomaki AS, Норвегия, активно выходящая на рынок компания, которая образована в 2004 г., поставляет программный продукт Teomaki Ship Management (сокращённо Teomaki SM). В этом программном продукте большое внимание уделено удобству интерфейса и в частности графическому представлению логических действий пользователя (рис. 3). Также минимизированы действия пользователей по синхронизации баз данных на судне и в офисе.

Открытым остаётся вопрос компьютеризации контроля и учёта расходов топлива и масла. С одной стороны разработана современная технология компьютеризированного контроля и учёта расходов топлива и масла [5]. С другой стороны в сложившейся практике расходы топлива и масла оплачиваются фрахтователем судна, и оператор судна не заинтересован в совершенствовании такого учёта. Для оператора судна представляет только интерес составляющая такого учёта, которая позволяет оптимизировать сроки докования судна и уточнить прогноз расходов на заданный промежуток времени или рейс. Если фрахтователь и оператор судна работают "на общую прибыль", несомненно, такой учёт становится необходимым и компьютеризированная система должна содержать соответствующий модуль.

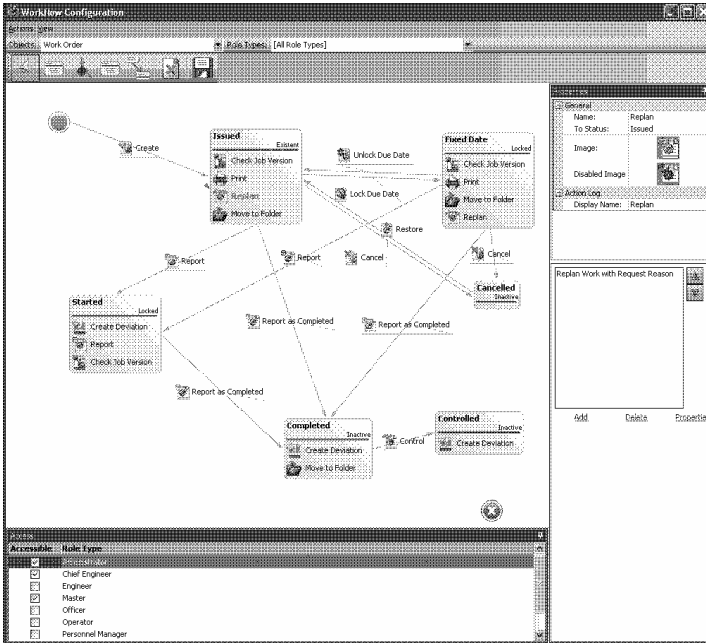


Рис. 3. Окно программы Teomaki SM

Таким образом, в результате проведенного анализа определены перспективные направления модернизации организации технического обслуживания судов и сформулированы требования к компьютеризации этих процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горб С.И., Ланчуковский А.В. Оптимальная организация технического обслуживания судов // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 1997. – Вып. 2. – Одесса: ОГМА. – С. 47 – 52.
2. Горб С.И. Компьютеризация технического менеджмента в судоводных компаниях // Состояние и перспективы развития морского транспорта: сб. докл. на междуотр. науч.-практ. конфер., посвящённой 55-летию Украинского Дунайского пароходства. – Измаил-Одесса: ОГМА, 1999. – С. 67 – 71.
3. Горб С.И., Туркин А.С. Информационная система организации технического обслуживания судов: учебн. пособие для ВУЗов. - Одесса: ОГМА, 1996. – 52 с.

4. Горб С.И. Современный технический менеджмент судоходной компании // Судоходство. – 2007. – №1-2. – С. 14, 15; № 3. – С. 11 – 13.

5. Горб С.И., Туркин А.С. Технология контроля и учёта расходов топлива и масла в судоходной компании // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 1999. – Вып. 3. – Одесса: ОГМА. – С. 39 – 55.

ДАТЧИК КОНТРОЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛАМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЦВЕТОВОЙ ПИРОМЕТРИИ

Известны следующие направления совершенствования процесса горения [1 – 3]:

улучшение технологии процесса с сокращением времени (увеличением скорости) горения;

использование специальных методов подготовки топлива;

использование специальных автоматических систем контроля.

К сожалению, следует отметить, что большинство мероприятий, проводимых по этим направлениям, не дают должного эффекта так как при горении практически невозможно контролировать образование промежуточных и конечных продуктов горения, а также возникновение их локальных концентраций. Использование дополнительного оборудования, конструкций, а также применение специальных химических средств, требует значительных материальных затрат и снижает рентабельность судовых теплоэнергетических установок.

При условии термодинамического равновесия в пределах зон химических реакций механизм распространения пламени в топочном устройстве приближается к горению газозвушной смеси [4]. Нарушение этого равновесия в пределах зон химических реакций приводит к условиям, когда режим горения в газодисперсной системе приобретает пульсирующий характер, приводящий к нарушениям устойчивого горения со значительными тепловыми потерями от химического недожога топлива, а в особых случаях – и к механическим разрушениям.

Одним из основных факторов, определяющих свойства горения, является энергия его теплового излучения, которая значительно влияет на температуру в зоне горения и обуславливает скорость испарения жидкого топлива. В свою очередь, интенсивность теплового излучения является основным информационным параметром, непосредственно характеризующим термодинамические и физико-химические процессы в пламени.

Для решения задачи совершенствования управления процессом, основанной на количественной и качественной взаимосвязи между параметрами процесса горения и его тепловым излучением, необходим поиск новых методов и средств контроля пламени. В частности, решение этой задачи возможно при условии контроля процесса обра-

зования промежуточных и конечных продуктов горения. Для этого необходим датчик с достаточной чувствительностью, малой инерционностью и независимостью его характеристик от теплофизических свойств среды [5].

Процесс горения может быть идентифицирован по ряду параметров. Параметры, применяемые для регистрации процесса горения, делят на две группы: не связанные с процессом теплопереноса в результате передвижения продуктов горения и связанные с ним.

При горении параметры, по которым может быть идентифицирован процесс, являются:

- температура (повышение, динамика роста и флуктуации);
- состав среды (повышение концентрации сажи, двуокиси и окиси углерода, углеводородов и других продуктов горения);
- оптические свойства среды (под воздействием тепловыделения изменяется температура и, как следствие, коэффициент поглощения среды, что в свою очередь ведет к появлению интенсивного ослабления и рассеивания световых лучей);
- интенсивность и спектральные характеристики оптического излучения пламени.

Эффективность применения и работоспособность системы зависят от оптимального выбора типа датчика, его инерционных свойств, места установки и условий эксплуатации.

Наиболее полно требованиям малой инерционности отвечают оптические датчики.

Спектральный состав и интегральная интенсивность излучения, также определяющие выбор датчика, изменяются по мере развития процесса горения. При этом увеличивается интенсивность его излучения и, кроме этого, сопровождается флуктуацией пламени. Частотный диапазон флуктуации (несколько десятков герц) зависит от размеров и формы пламени. Интенсивность излучения горения различна по направлениям. Характер изменения интенсивности излучения от направления (форма диаграммы направленности излучения) зависит от размеров и формы пламени.

На качество работы оптического датчика оказывает влияние также и расстояние от датчика до точки горения. Для уменьшения влияния этих факторов на работу датчика, в качестве оптического датчика предлагается использовать аналог пирометра спектрального отношения. Температура спектрального отношения зависит от поглощающих свойств среды. На рис. 1 представлен предлагаемый датчик для измерения спектральных характеристик излучения пламени.

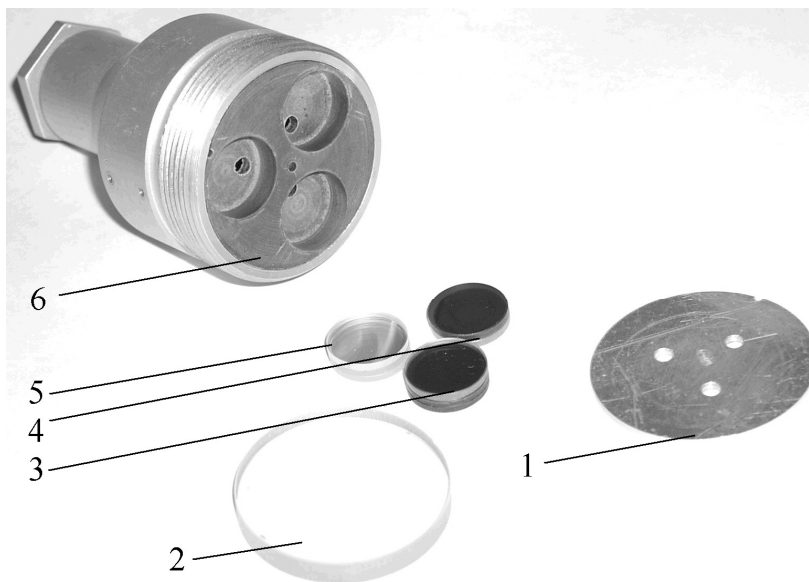


Рис. 1. Датчик устройства излучения пламени: 1 – диафрагма; 2 – кварцевое защитное стекло; 3, 4 и 5 – светофильтры; 6 – корпус с фотодиодами и усилителями

Электронная схема преобразователя датчика описана в работе [6]. Датчик работает следующим образом. Тепловое излучение объекта, пройдя через отверстия диафрагмы 1, разделяется на три потока. Каждый из этих потоков через светофильтры 3, 4 или 5 с разными спектрами пропускания попадает на фотодиоды. Кварцевое стекло 2 совместно с объективом образуют оптическую систему, которая служит для защиты от влияния потока на чувствительные окна фотодиодов. Светофильтры 3, 4 и 5 выделяют из светового потока различные участки спектра. Сигналы с фотодетекторов подаются на входы усилителей и усиливаются ими. Сигналы с усилителей подаются в исполнительную схему, которая состоит из блока вычисления отношения двух значений напряжения, порогового детектора и блока питания. В исполнительной схеме вычисляется отношение напряжений с выходов усилителей. Это отношение прямо пропорционально оптической плотности излучения пламени. Сигнал по оптической плотности подаётся на пороговое устройство и, если он превышает порог срабатывания, то на выходе устройства формируется сигнал, означающий начало изменения подачи воздуха.

Несмотря на преимущества датчика по сравнению с традиционными датчиками, предложенная структура имеет определённые недостатки, которые обусловлены в основном тем, что за основу датчика был взят пирометр. Вычисление отношения двух сигналов в одном блоке снижает его быстродействие и не позволяет добиться высокой помехозащищённости прибора, что уменьшает достоверность оценки параметров процесса.

Рассматриваемый датчик не позволяет отделить помехи разных трактов, так как исполнительная схема находит эквивалент отношения аналоговых сигналов и дальнейшую обработку сигнала осуществляется уже с числом, пропорциональным этому отношению.

Для улучшения можно предусмотреть в исполнительной схеме раздельное аналогово-цифровое преобразование для каждого измерительного тракта и ввести в её состав микроконтроллер.

На рис. 2 предложен вариант структурной схемы датчика с микроконтроллерным блоком.

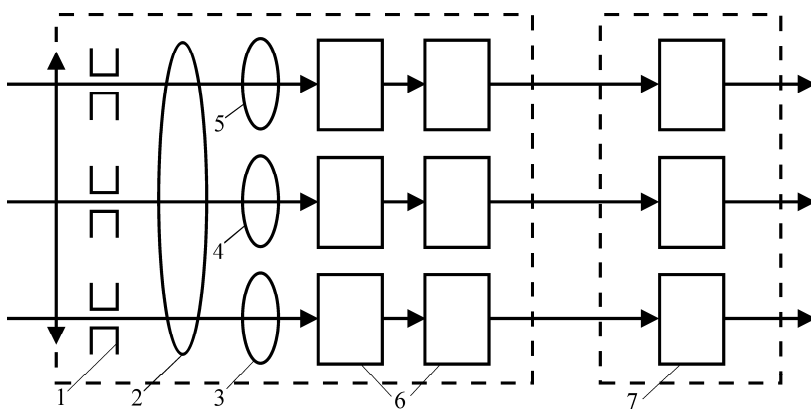


Рис. 2. Структурная схема датчика с микроконтроллерным блоком: 1 – диафрагма; 2 – кварцевое защитное стекло; 3, 4 и 5 – светофильтры; 6 – корпус с фотодиодами и усилителями; 7 – микроконтроллерный блок

Основное отличие рассмотренных структурных схем состоит в замене блока вычисления отношения двух значений напряжения, блока усреднения и порогового устройства микроконтроллерным блоком 7.

Исполнительная схема датчика, основанная на микроконтроллере, обладает рядом очевидных преимуществ по сравнению с аналоговой схемой.

Конструкция датчика значительно упрощается с использованием программно-аппаратного подхода к исполнительной схеме. Основные функции по обработке сигналов возлагается на программное обеспечение, что позволяет применять более качественные алгоритмы оценки процесса сгорания. Одновременно повышается надёжность датчика и снижает его себестоимость.

Применение микроконтроллерного блока вводит в датчик принципиально новые возможности – использование современных математических методов и алгоритмов обработки сигнала.

Наличие трех измерительных трактов для "синей", "желтой" и "красной" областей спектра с последующей обработкой цифрового эквивалента отношения аналоговых сигналов приводит к появлению нового класса оценок процесса [7].

Таким образом, по результатам разработки и изготовления датчика были получены следующее:

для улучшения характеристик датчика в его структуру рекомендуется ввести микроконтроллерный блок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варнатц Ю., Маас У., Диббл Р. Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ /Пер. с англ. Г. Л. Агафонова. Под ред. П. А. Власова – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 352 с.
2. Павлов В.А., Штейнер И.Н. Условия оптимизации процессов сжигания жидкого топлива и газа в энергетических и промышленных установках. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 120 с.
3. Данилин Е.А., Клочков В.Н. Контроль сжигания топлива в промышленных котельных установках. – К.: Техника, 1988. – 167 с.
4. Натанзон М.С. Неустойчивость горения. – М.: Машиностроение, 1986. – 248 с.
5. Гиль В.В. Оптические методы исследования процессов горения. – Минск: Наука и техника, 1984. – 128 с.
6. Дулдиер А.П. Экспериментальное исследование режимов горения во вспомогательной котельной установке KW-100 // Судовые энергетические установки: науч. – техн. сб. – 2004. – Вып. 11. – Одесса: ОНМА. – С. 100 – 106.
7. 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.

ОБОСНОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СУХОГРУЗНЫХ СУДОВ С ПОВЫШЕННЫМ ЭКОЛОГИЧЕСКИМ СТАНДАРТОМ БЕЗОПАСНОСТИ

В связи с увеличением объемов перевозок морским транспортом и, соответственно, усилением антропогенного воздействия на окружающую среду со стороны судов ряд классификационных обществ разработал дополнительные требования, направленные на повышение стандартов экологической безопасности и охраны окружающей среды. Судам, соответствующим новым требованиям, могут быть присвоены дополнительные знаки в символе класса (табл. 1).

Таблица 1
Дополнительный знак экологической безопасности в символе класса

Классификационное общество	Дополнительный знак в символе класса
PC	"ЭКО" и "ЭКО ПРОЕКТ"
DNV	"Clean" и "Clean Design"
GL	"EP"
ABS	"ES"

Суда с подобными знаками в символе класса более безопасны по отношению к морской среде и пользуются бóльшим доверием со стороны грузовладельцев, страховщиков, Морских администраций государств флага, портовых властей.

Присвоение дополнительного экологического символа в классе основывается на выполнении требований Международной морской организации, морских администраций и международной морской индустрии к экологической безопасности судов. При этом отдельные положения дополнительных "экологических" требований классификационных обществ более строгие, чем требования действующих международных документов.

Как правило, дополнительные классы экологической безопасности присваиваются судам, предназначенным для перевозки опасных грузов.

В первую очередь, дополнительные классы востребованы теми судовладельцами, которые предлагают свои суда ведущим международным фрахтователям.


Целью настоящей статьи является обосновать характеристики многоцелевого сухогрузного судна нового поколения, которое будет удовлетворять повышенным экологическим требованиям, достаточным для работы с первоклассными иностранными фрахтователями и иметь грузоподъемность около 5000 т в условиях мелководных портов Азовского и Каспийского моря.

Таким образом, необходимо сочетание достаточной прочности и мореходности в условиях первого ограниченного района с выполнением требований Российского морского Регистра судоходства (РС) к классу "ЭКО" и габаритам, удовлетворяющим ограничениям Волго-Донского судоходного канала (ВДСК).

Выбору проекта предшествовал анализ судов-прототипов (табл. 2), имеющих соответствующие классы РС по району и ледовой категории, а также близкую грузоподъемность, что позволило оценить главные размерения проекта RSD17 в первом приближении, с последующим уточнением характеристик в ходе проектирования.

Суда проекта RSD17 в соответствии с принятой в Бюро классификацией [3] относятся к "азовским пятидесятикам" с повышенной грузоместимостью и имеют дедвейт около 5350 тонн при характерной для устьевых российских портов Азовского моря осадке 4,50 м. Предназначены для транспортировки генеральных, навалочных, лесных, зерновых и крупногабаритных грузов, контейнеров международного стандарта высотой 8,5 и 9 футов и опасных грузов классов 1.4S, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9 и Приложения В Кодекса ВС. Эксплуатация предусматривается в Средиземном, Каспийском, Черном, Балтийском, Белом, Северном морях, включая рейсы вокруг Европы и в Ирландское море зимой.

Габариты позволяют судну совершать проходы (передислокацию) через Волго-Донской и Волго-Балтийский каналы с морских районов на Каспий. Однако основным назначением является работа в морских условиях, что позволило в отличие от традиционных для судов этого типа двухвальных пропульсивных комплексов выбрать относительно более дешевый одновальный вариант с одним эффективным рулем.

Проект судна разработан Морским Инженерным Бюро на класс РС и удовлетворяет всем требованиям международных конвенций, действующим на дату закладки судна. После выхода нормативных документов РС о порядке включения судам знака "ЭКО" в символ класса судно "Мирзага Халилов" было предъявлено для освидетельствования и в настоящий момент судно имеет класс КМ  IY2 I A1 ECO.

Требования к знаку "ЭКО" были введены РС в 2006 году и применяются по желанию судовладельца. Наличие такого знака в символе класса свидетельствуют о том, что судно и его отдельные части с точки зрения защиты окружающей среды имеют более высокий стандарт безопасности, чем суда, отвечающие только требованиям Международной Конвенции МАРПОЛ73/78, и тем самым обеспечивают существенно меньший уровень экологического риска.

Достигнуто это путем принятия дополнительных технических и организационно-технических мер (рис. 1) по предотвращению загрязнения атмосферы выбросами из главного двигателя, котлов, из систем, содержащих вредные газы; предотвращения загрязнения морской среды остатками груза, льяльными и сточными водами, мусором и различного вида техническими маслами; предотвращения переноса вредных патогенных организмов вместе с балластными водами.

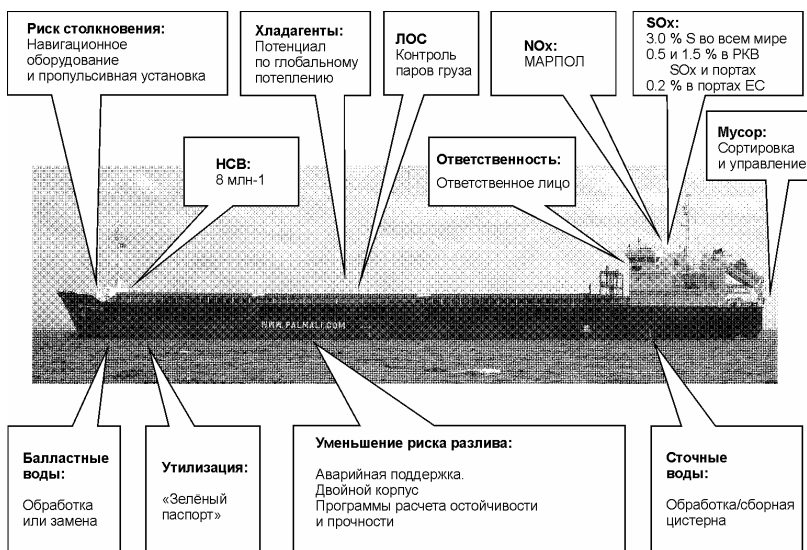


Рис. 1. Основное содержание требований класса ЭКО

Повышение общего уровня безопасности и снижение риска перевозки грузов обеспечивается также резервированием движения за счет использования валогенератора в качестве гребного электродвигателя для привода гребного винта и наличием двойного корпуса, в том числе в местах расположения основных запасов топлива.

Архитектурно-конструктивный тип – стальной однопалубный, одновинтовой теплоход, с баком и ютом, с кормовым расположением

рубки и машинного отделения (МО), с двойным дном высотой 1000 мм от форпиковой до ахтерпиковой переборки, двойными бортами шириной 1900 мм в районе грузовых трюмов, тремя трюмами, с бульбовой носовой и транцевой кормовой оконечностями (рис. 2).

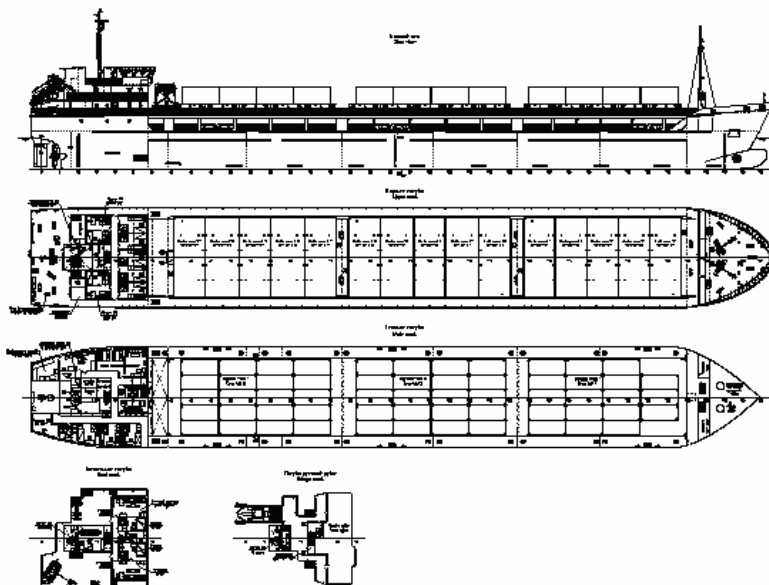


Рис. 2. Общее расположение судна проекта RSD17

В носовой оконечности установлен волноотбойник высотой около 2500 мм, совмещенный с тамбуром схода в носовые подпалубные помещения и предназначенный для уменьшения заливаемости люковых закрытий и палубного груза при ходе на волнении. Там же расположены форпик, шахта лага и эхолота, шкиперская, малярная, а также носовое подруливающее устройство типа "винт в трубе" мощностью 300 кВт.

В кормовой оконечности судна расположены МО, надстройка юта и трехъярусная рубка со служебными и жилыми помещениями для экипажа численностью 12 чел. (14 мест). Ходовой мостик выполнен с круговым обзором и минимальными зонами затенения.

В соответствии с рекомендациями [2, 4] применение продольной системы набора палубы, бортов и днища в средней части в сочетании с увеличением поперечной шпации и одновременном уменьшении шпации продольного набора обеспечило более полное участие пла-

стин корпуса в общем изгибе и лучшее восприятие локальных нагрузок при швартовках, сохранение приемлемого внешнего вида.

Трюма выполнены ящичной формы, гладкостенными, удобными для проведения грузовых работ и размещения груза без штивки. Размер грузового трюма № 1 – $27,90 \times 12,7 \times 8,86$ м; грузовых трюмов № 2 и 3 – $28,60 \times 12,7 \times 8,86$ м, что гарантирует размещение трех ярусов контейнеров международного стандарта высотой до 9 футов.

Грузовые трюма оборудованы съёмными люковыми закрытиями типа "Lift away". Открываются и закрываются секции при помощи козлового крана, расположенного "по-походному" у носовой переборки жилой рубки.

Расчетная нагрузка на люковые крышки составляет $3,50 \text{ т/м}^2$ (трюм 1) и $2,60 \text{ т/м}^2$ (трюма 2 и 3), что соответствует новым требованиям Международной Конвенции о грузовой марке и дает возможность размещения на них каравана лесных грузов высотой 2,5 м или одного яруса контейнеров максимальной массы.

Теоретический корпус судна, полученный с помощью современных методов CFD-моделирования на основе создания параметрической трехмерной модели поверхности, имеет цилиндрическую вставку протяженностью $0,588L$, коэффициент общей полноты 0,851, коэффициент полноты ЛГВЛ – 0,913. Форма бульбовой носовой оконечности оптимизирована с целью уменьшения сопротивления и достижения судном максимально возможной при выбранном пропульсивном комплексе скорости. При проведении CFD-моделирования рассматривались несколько вариантов носовой оконечности, в том числе с наклонным форштевнем (без бульба). Корма спроектирована с учетом необходимости размещения одновального пропульсивного комплекса и оптимизирована для обеспечения нормальной работы винтового комплекса.

Для определения буксировочного сопротивления и мощности, а также характеристик поля скоростей номинального потока, использовались методы вычислительной гидромеханики [1]. Коэффициенты взаимодействия системы "корпус - движитель" рассчитывались по эмпирическим формулам Тейлора, причем коэффициент попутного потока корректировался с учетом результатов изучения поля скоростей в районе установки гребного винта по данным численного расчета буксировочного сопротивления.

При скорости 11,5 узлов применение бульба позволило получить выигрыш в буксировочном сопротивлении 3,8 %, по мощности 4,7 %, при скорости 12,5 узлов – 4,8 и 6,2 % соответственно при пропульсивном коэффициенте 0,59 и водоизмещении по ЛГВЛ на 30 м^3 больше.

Движение и управляемость судна обеспечивается одним винтом

регулируемого шага диаметром 3,40 м и рулем фирмы Роллс-Ройс с закрылком типа "Бекер". Площадь пера руля – 8,4¹ м², наибольший угол поворота руля – 45°, закрылка – 37,6° дополнительно.

Проведенные 22.10.2006 на Куйбышевском водохранилище испытания зафиксировали на переднем ходу при 85 % максимальной длительной мощности (МДМ) скорость 12,5 узлов.

При проведении инерционных испытаний с полного заднего на полный передний ход тормозной путь составил 565,0 м (4,64L), время торможения 3 мин 15 с.

При проведении маневров типа "зиг-заг" установлено, что при перекладке руля в 10° первый угол зарыскивания составляет 5,2°, второй – 10,2°, среднее время одерживания – 34 с. При перекладке руля в 20° – 9,5°, 15,9° и 35 с соответственно.

При проведении циркуляционных испытаний было определено, что при перекладке руля на 35° на ПБ диаметр установившейся циркуляции составил 140 м (1,2L), угловая скорость поворота – 80,1 град/мин; на ЛБ 153 м (1,3L) и 80,1 град/мин соответственно.

Маневренные характеристики судна не только удовлетворяют стандартам ИМО, но и вполне безопасны при работе на внутренних водных путях.

Согласно рис. 3 маневр "циркуляция" судна проекта RSD17 требует меньшей акватории, чем суда "Волго-Дон макс" класса с двухвальными установками классического типа (RSD19), с поворотными насадками (проекты 1565) и даже с полноповоротными винто-рулевыми колонками (006RSD05).

Корпус судна спроектирован на класс ЛУ2, который предполагает круглогодичное плавание в незамерзающих морях, в мелкобитом разреженном льду неарктических морей (эпизодическое самостоятельное плавание в мелкобитом разреженном льду толщиной 0,55 м со скоростью 5 узлов; плавание в канале за ледоколом в сплошном льду толщиной 0,50 м со скоростью 3 узла). Расчетная температура наружного воздуха + 30° С при влажности 65 % летом и при – 20° С влажность 85 % зимой, воды от + 27° до 0° С соответственно.

В качестве материала основных конструкций корпуса применяется судостроительная сталь категорий РСД и РСА. Верхняя часть непрерывных продольных комингсов люков и верхняя палуба выполнены из судостроительной стали категории РСД32 с пределом текучести 315 МПа. Элементы конструкций палуб бака и юта, жилая надстройка – из стали категории РСА.

¹ При рекомендуемой площади пера руля 5,7 м²

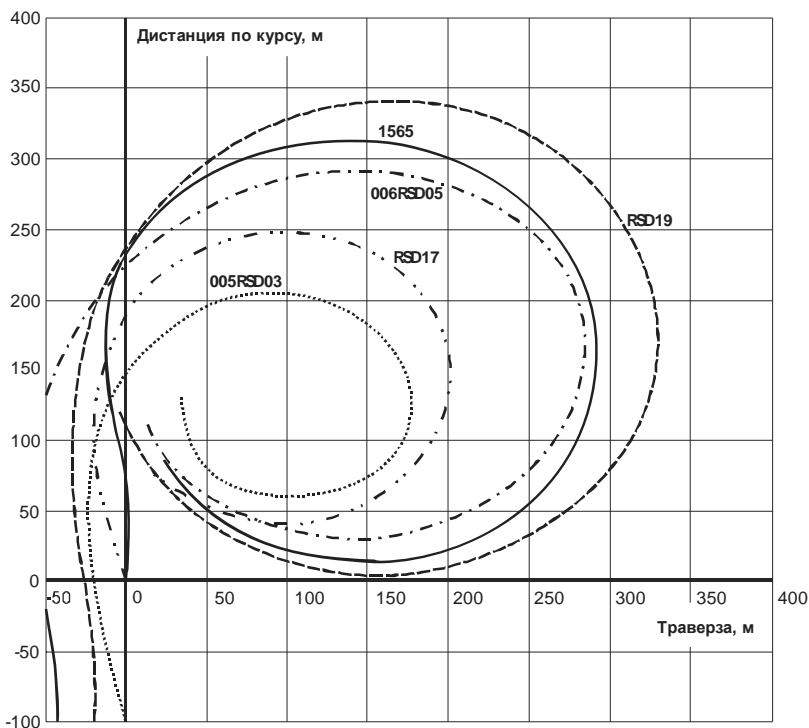


Рис. 3. Сравнение маневра "циркуляция" с переключкой руля на 35 градусов

Корпус имеет двойное дно, двойные борта, главную и верхнюю палубы с шириной раскрытия $0,77B$, непрерывные продольные комингсы грузовых люков высотой 3620 мм (от главной палубы).

Продольные комингсы грузового трюма установлены в плоскости продольных переборок трюма. За счет применения высоких непрерывных комингсов люков удалось обеспечить повышение стандарта общей прочности при увеличении грузоподъемности в море и грузоемкости.

Поперечные переборки выполнены гофрированными. Верхняя и главная палубы, днище и второе дно, борт и второй борт выполняются по продольной системе набора, в оконечностях и машинном отделении – по поперечной системе набора.

Второе дно рассчитано на интенсивность распределенной нагрузки $10,0 \text{ т/м}^2$, а также на работу грейфером.

Исходя из результатов расчетного определения сопротивления судна, для главной энергетической установки выбран среднеоборот-

ный дизель марки 6R32LN фирмы "Wartsila" со спецификационной МДМ 2450 кВт. Главный двигатель работает на тяжелом и дизельном топливе.

Запасы топлива размещаются в диптанках в районе носовой переборки МО.

Электроэнергетическая установка сухогруза состоит из валогенератора мощностью 500 кВт, двух дизель-генераторов мощностью по 292 кВт и одного аварийного дизель-генератора мощностью 160 кВт. Приводные двигатели генераторов работают на дизельном топливе.

Установленный на судне валогенератор снабжен функцией резервирования передачи мощности на гребной вал судна при аварии главного двигателя (функция РТО/РТИ), то есть валогенератор может работать как электродвигатель, используя электроэнергию, вырабатываемую дизель-генераторами (рис. 4). Ходовые испытания показали, что в режиме хода под валогенератором судно достигает скорости около 6 узлов.

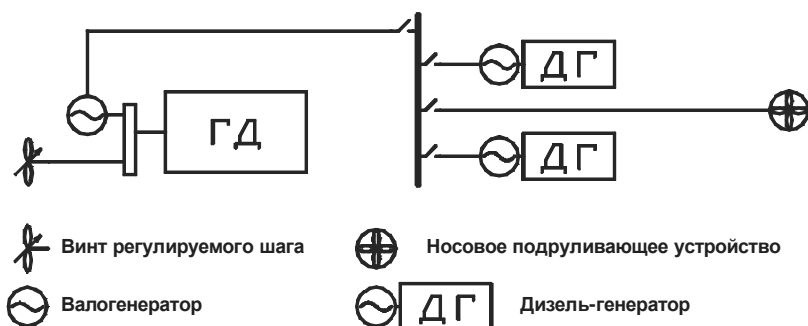


Рис. 4. Схема использования валогенератора в качестве резервного двигателя

Таким образом, обеспечивается сохранение хода и возможности маневрировать в случае выхода из строя главного двигателя. Данный режим также может быть использован, когда нужен самый малый ход (например, при входе в порт и при швартовке). Кроме того, при непродолжительной работе судна в пределах района контроля выбросов SOx, движение судна может обеспечиваться дизель-генераторами, работающими на малосернистом дизельном топливе. В таком случае нет необходимости переводить главный двигатель с тяжёлого высокосернистого топлива на малосернистое.

Состав средств связи предусмотрен в объеме требований Глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССБ) для морских районов А1+А2+А3. Комплекс совре-

менного судового радиоборудования обеспечивает связь при бедствиях и безопасность мореплавания, а также эксплуатационную связь общего назначения.

Гирокомпас с репитерами, главный магнитный компас, лаг, эхолот, приемоиндикатор GPS, две радиолокационные станции, а также АИС обеспечивают судоводителя и системы-потребители навигационной информацией.

Для приема и выдачи балласта на судне имеется балластно-осушительная система, обслуживаемая двумя электроприводными центробежными насосами и двумя водоструйными эжекторами. Одновременная работа этих средств дает возможность откачать весь балласт не более чем за 7 ч.

Смена балласта в море осуществляется без использования воздушных головок через специальный трубопровод для выдачи балласта.

Управление судном, главной энергетической установкой, винто-рулевым комплексом, подруливающим устройством, радионавигационными средствами осуществляется из центрального объединенного поста управления в рулевой рубке. Автоматизированная система предусматривает управление судном без несения постоянной вахты в машинном отделении. Объем и степень автоматизации технических средств судна соответствует знаку автоматизации А1 в символе класса судна в соответствии с Правилами РС.

Представляет интерес сопоставление технико-эксплуатационных характеристик судна проекта RSD17 с соответствующими характеристиками наиболее близких судов-аналогов – судов типа "Кишинев" (пр. 1572), судов типа "Василий Шукшин" (пр. 1588) и судов типа "Русич" (пр. 00101).

Согласно табл. 2 при характеристической осадке 4,50 м коэффициент использования водоизмещения по дедвейту больше на 2,3 %, чем у пр. 00101 и на 4,9 % больше, чем у пр. 1572. При осадке по ЛГВЛ энергозатраты на единицу транспортной производительности меньше на 7,1 %, чем у лучшего из судов-аналогов – пр. 1572. В сочетании с большим объемом трюмов (на 15,8 % больше, чем у пр. 00101), наличием экономичной одновальной установки, работающей на тяжелом топливе, суда пр. RSD17 являются лучшими судами своего класса.

Приведенные данные позволяют сделать вывод о том, что поставленная цель – создание эффективного проекта сухогрузных судов класса "азовских пятитысячников" достигнута. Многоцелевой сухогруз "Мирзага Халилов" (строительный номер 03001) стал первым в истории российского судостроения судном, которому в символ класса Российского морского Регистра судоходства (РС) внесен знак экологической безопасности "ЭКО".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вишнеvский Л.И., Егоров Г.В., Станков Б.Н., Печенюк А.В. Проектирование пропульсивного комплекса судна ограниченного района плавания на базе современных методов вычислительной гидродинамики // Судостроение. – 2006. - № 2. – С. 27 – 31.
2. Егоров Г.В. Принципы создания нового поколения транспортных судов ограниченных районов плавания // Сборник трудов 7 междунаp. конф. по судостроению, судоходству "Нева 2003". – С.Пб, 2003. – С. 29 – 32.
3. Егоров Г.В. "Линейка" многоцелевых сухогрузных судов Морского Инженерного Бюро // Морская биржа. – 2005. - № 4 (14). – С. 10 – 16.
4. Егоров Г.В. Особенности конструкций корпусов судов ограниченных районов плавания нового поколения // Вопросы динамической прочности, вибрации и безопасности эксплуатации корпусов судов: труды ЦНИИ им акад. А.Н. Крылова. – 2005. – Вып. 21(305). – С. 126 – 143.

СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ НЕЧІТКИХ РЕГУЛЯТОРІВ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРИ В СУДНОВИХ ПРИМІЩЕННЯХ

Проблема регулювання (стабілізації) температури в приміщеннях морських рухомих об'єктів знаходиться постійно в полі зору спеціалістів в області суднової автоматики. При цьому постійно підвищуються вимоги до систем стабілізації температури з точки зору забезпечення необхідних показників якості. Як правило, суднові системи управління температурою повітря функціонують в умовах нестационарних збурень. Зокрема, при проектуванні автоматичних систем управління температурою в суднових приміщеннях необхідно враховувати той факт [5, 7], що параметри повітря в приміщенні безперервно змінюються під дією таких збурювальних впливів, як теплообмін даного приміщення з сусідніми і зовнішнім середовищем та тепловиділення людей, що знаходяться в приміщенні. При недостатньому рівні герметизації приміщень найбільш суттєвим збурювальним фактором є зовнішнє повітря, яке за температурою відрізняється від параметрів повітря в приміщенні. Оскільки значення збурювальних впливів постійно змінюються в різних режимах експлуатації судна, а часто і досить інтенсивно (температура навколишнього повітря, напрямок та сила вітру, сонячна або хмарна погода, кут падіння сонячних променів, кількість людей в приміщенні й т. і.), то система автоматичного управління температурою шляхом відповідного настроювання параметрів повітря, що примусово надсилається до приміщення, повинна компенсувати впливи збурюючих факторів для підтримки в приміщенні необхідного рівня температури повітря згідно з вимогами максимального комфорту [2].

Пошук найкращих алгоритмів та схемотехнічних рішень для проектування та реалізації систем управління температурою в приміщенні призвів до використання нечітких законів управління, що спираються на теорію нечітких множин та нечіткої логіки [6, 16]. Відповідно до теореми про нечітку апроксимацію, будь-яка математична система може бути апроксимована системою, заснованою на нечіткій логіці. Інакше кажучи, за допомогою природно-мовних висловлювань-правил "Якщо..., - то...", з наступною їхньою формалізацією засобами теорії нечітких множин, можна скільки завгодно точно відтворити довільний взаємозв'язок "вхід-вихід" без використання складного апарату диференційних та інтегральних

розрахунків, що традиційно застосовуються в керуванні й ідентифікації [1, 14]. Подібні системи, що базуються на нечіткій логіці, розроблені й успішно впроваджені в таких областях, як керування технологічними процесами, керування транспортом, медична діагностика, технічна діагностика, фінансовий менеджмент, біржове прогнозування, розпізнавання образів [10, 11]. Зокрема, прикладами використання нечіткої логіки є: інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень для управління суднами в екстремальних умовах [8] та при проходженні вузькостей і проток [9]; система управління світлофором, в якій вхідні та вихідні сигнали (кількість машин, середня швидкість на вулиці, середня відстань до перехрестя, час горіння зеленого світла) описуються нечіткими лінгвістичними термами; система управління автономною вітроенергетичною установкою; нечіткі системи управління робототехнічними комплексами [3, 15] та ін.

В роботі [9] розглядається нечітка модель управління кондиціонером в приміщенні, а в ряді моделей кондиціонерів концерну Mitsubishi Heavy Industries для створення найбільш сприятливого клімату використовується спосіб, який отримав назву "нейротехнологія та нечітка логіка" (Neuro&Fuzzylogic) [14]. При роботі кондиціонера з нечіткою логікою сигнали датчиків фазифікуються, подальша інформація обробляється на основі нечітких правил, а після етапу дефазифікації отримані керувальні сигнали надходять на частотний регулятор двигуна компресора, швидкість обертання якого змінюється в залежності від відповідних значень функцій належності. Коливання температури при цьому зменшуються навіть у порівнянні з використанням ПД-регуляторів. Не дивлячись на вплив збурень температура в приміщенні підтримується на мінімально допустимому рівні, завдяки чому зменшується енергоспоживання.

Нечіткі алгоритми дозволяють застосовувати лінгвістичний опис для моделювання складних процесів, встановлювати нечіткі відношення між поняттями, описувати одні нечіткі поняття іншими, уже певними, прогнозувати поведінку об'єкта управління, формувати безліч альтернатив і здійснювати формальний опис нечітких правил для ухвалення рішення [4, 12].

Метою даної статті є дослідження методів структурно-алгоритмічного синтезу нечітких ПД-регуляторів типу Сугено та Мамдані для систем автоматичного управління температурою в судових приміщеннях, моделювання систем управління з синтезованими нечіткими регуляторами в умовах збурень та порівняльний аналіз властивостей і показників якості систем автоматичного управління, спроектованих на основі традиційного та нечітких ПД-регуляторів.

Принципова схема двоканальної системи [5, 13] управління температурою повітря в судновому приміщенні представлена на рис. 1. Повітря надходить в приміщення з магістралей I (холодне повітря) та II (тепле повітря) двоканальної системи кондиціонування. Співвідношення кількості повітря визначається положенням засувки 1. При повороті засувки, наприклад, за годинникову стрілкою кількість холодного повітря, яке надходить до змішувальної камери 9, збільшується, а кількість теплого повітря - зменшується.

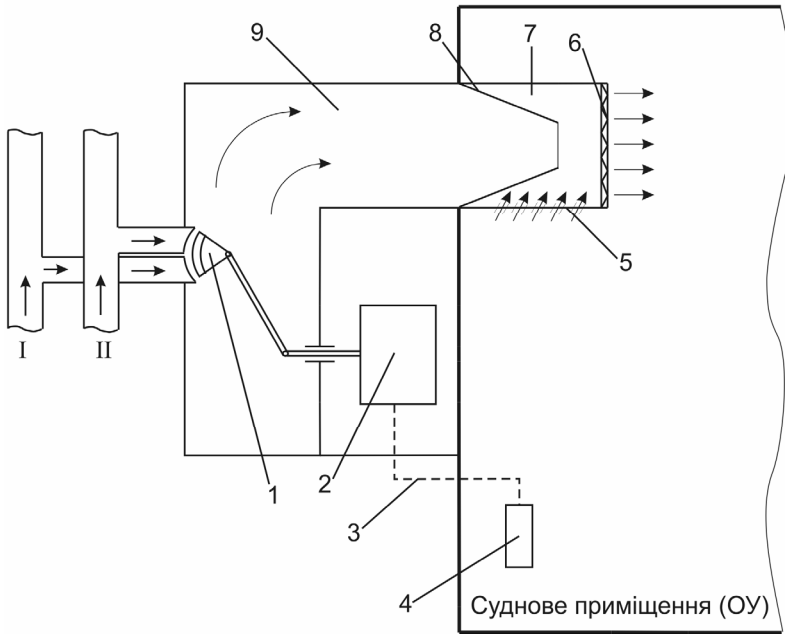


Рис. 1. Принципова схема регулювання температури повітря в приміщенні

При будь-якому положенні засувки загальна кількість повітря, яке надходить в змішувальну камеру 9 з обох каналів, залишається постійною. Зі змішувальної камери повітря через сопло 8 надходить в іншу змішувальну камеру 7. Завдяки наявності сопла здійснюється інжектування внутрішнього повітря приміщення через жалюзі 5. Свіже повітря через фільтр 6 надходить до приміщення, витісняючи зайве повітря через відповідні вентиляційні решітки.

Отже об'єктом управління є суднове приміщення, а регулюючим параметром – температура повітря в приміщенні t_{II} . Система автома-

тичного управління неперервно порівнює вихідний сигнал об'єкта управління t_{Π} з задавальним сигналом $t_{3\text{Ад}}$, зокрема відхилення регулюючого параметру від заданого значення $\varepsilon = t_{3\text{Ад}} - t_{\Pi}$ сприймається чутливим елементом (датчиком температури 4) і в відповідно перетвореному вигляді за допомогою лінії зв'язку 3 передається до керованого виконавчого механізму 2, що призначений для безпосереднього механічного переміщення s регулюючого органу (засувки 1).

При цьому керуючим впливом для об'єкта управління є зміна φ кількісного співвідношення теплого та холодного повітря, що надходить до приміщення:

$$\varphi = \frac{G_X}{G_X + G_T} = \frac{G_X}{G_C}, \quad (1)$$

де G_X - витрати холодного повітря, кг/год; G_T - витрата теплого повітря, кг/год; $G_C = G_X + G_T$.

Доки тепловтрати та тепловиділення в приміщенні компенсуються кількістю тепла, що надходить зі свіжим повітрям, регулювальний орган (засувка) системи автоматичного керування знаходиться в фіксованому стані. Але, як тільки під дією тих чи інших факторів динамічна теплова рівновага порушується, система керування забезпечує відповідне переміщення засувки, намагаючись відновити порушену динамічну рівновагу. В подальшому дію всіх збурювальних факторів об'єднано в одне сумарне збурення Q_{Π} .

Математичну модель приміщення як об'єкта управління, що характеризує поведінку регулюючого параметра t_{Π} (температури повітря) в різних умовах, можна представити у вигляді [5]

$$T_{Oy} \frac{d\psi}{d\tau} + \psi = k_{Oy} \mu + f(\tau), \quad (2)$$

де τ - параметр поточного часу; T_{Oy} - постійна часу приміщення; k_{Oy} - коефіцієнт передачі, що враховує базові значення $\varphi_0, t_{\Pi 0}$; $f(\tau)$ - виражений у відносних одиницях зовнішній збурювальний вплив; $\psi = \Delta t_{\Pi} / t_{\Pi 0}$ - вихідний сигнал об'єкта керування у відносних одиницях; $\mu = \Delta \varphi / \varphi_0$ - вхідний (керувальний) сигнал об'єкта керування у відносних одиницях. При цьому параметри визначаються наступним чином:

$$T_{Oy} = \frac{V\gamma C_p}{\frac{\partial Q_{\Pi}}{\partial t_{\Pi}} - \frac{\partial Q_C}{\partial t_{\Pi}}};$$

$$k_{Oy} = \frac{\Phi_0}{t_{\Pi 0}} \frac{\frac{\partial Q_C}{\partial \varphi}}{\frac{\partial Q_{\Pi}}{\partial t_{\Pi}} - \frac{\partial Q_C}{\partial t_{\Pi}}};$$

$$f(\tau) = \frac{\Phi(\tau)}{t_{\Pi 0} \left(\frac{\partial Q_{\Pi}}{\partial t_{\Pi}} - \frac{\partial Q_C}{\partial t_{\Pi}} \right)},$$

де Q_C - кількість тепла, яке заноситься в приміщення зі свіжим повітрям, ккал/год; Q_{Π} - сума тепловтрат у навколишнє середовище та теплових виділень людей, які знаходяться в приміщенні, ккал/год; V - об'єм повітря в приміщенні, m^3 ; γ - густина повітря в приміщенні, kg/m^3 ; C_p - ізобарна масова теплоємність повітря в приміщенні, ккал/ $kg \cdot$ град; $\Phi(\tau) = (\partial Q_C / \partial t_{\Pi}) \Delta t_{\Pi} - F(\tau)$ та $F(\tau)$ - функція, що характеризує собою зовнішнє збурення.

Рівняння (2) характеризує даний об'єкт керування як аперіодичну ланку першого порядку.

Проаналізувавши математичні моделі основних компонентів системи автоматичного керування, зокрема для прикладу, коли автоматичне регулювання температури повітря в приміщенні здійснюється за допомогою регулятора прямої дії з дистанційним датчиком температури, представленим в роботі [5].

Динаміка датчика температури та виконавчого механізму (як єдиної ланки) визначається рівнянням другого порядку:

$$T_{p2} \frac{d^2 \eta}{d\tau^2} + T_{p1} \frac{d\eta}{d\tau} + \eta = k_1 \psi, \quad (3)$$

де $\eta = \Delta S / S_0$ - відносне переміщення вихідного штоку виконавчого механізму; T_{p1} та T_{p2} - постійні часу регулятора; k_1 - коефіцієнт підсилення ланки.

Оскільки має місце співвідношення $T_{p2} \ll T_{p1}$, то рівняння (3) можна спростити до виду:

$$T_{p1} \frac{d\eta}{d\tau} + \eta = k_1 \psi. \quad (4)$$

Керувальний орган (засувка) є останньою ланкою контуру регулювання, рівняння динаміки якої відповідає рівнянню типової підсилювальної ланки

$$\mu = k_2 \eta, \quad (5)$$

де k_2 - коефіцієнт підсилення керувального органу; $\mu = \Delta\phi/\phi_0$ - відносна зміна доли холодного повітря в загальному потоці свіжого повітря, яке надходить до приміщення.

В даному випадку регулятор об'єднує в собі, як в одній ланці, чутливий елемент (датчик температури), виконавчий механізм та керувальний механізм. При цьому входом регулятора є величина ψ (вихідний сигнал об'єкта керування), а виходом – величина μ (вхідний сигнал об'єкта керування).

На основі рівнянь (3) - (5) сформуємо рівняння П-регулятора у вигляді:

$$T_p \frac{d\mu}{d\tau} + \mu = k_p \psi, \quad (6)$$

де $T_p = T_{p1}$ - постійна часу регулятора; $k_p = k_1 k_2$ - коефіцієнт підсилення регулятора.

Для моделювання системи автоматичного управління температурою повітря, динаміка якої базується на рівняннях (3) - (6), сформуємо відповідну структурну схему (рис. 2), де позначено: ВМ – виконавчий механізм; РО – керувальний робочий орган; ОУ – об'єкт управління (суднове приміщення); $t_{вх} = t_{зАд}$; $t_{вИХ} = t_{п}$.

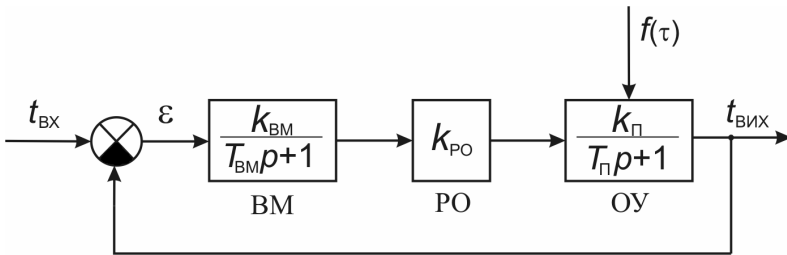


Рис. 2. Структура традиційної системи керування

Передаточні функції елементів системи керування мають наступний вигляд:

а) для виконавчого механізму ВМ

$$W_{\text{ВМ}}(p) = \frac{k_{\text{ВМ}}}{T_{\text{ВМ}}p + 1}, \quad (7)$$

де $k_{\text{ВМ}}$ - коефіцієнт передачі ВМ; $T_{\text{ВМ}}$ - постійна часу;

б) для керувального органу РО

$$W_{\text{РО}}(p) = k_{\text{РО}}; \quad (8)$$

в) для об'єкта управління ОУ

$$W_{\text{ОУ}}(p) = \frac{k_{\text{ОУ}}}{T_{\text{ОУ}}p + 1}. \quad (9)$$

В подальшому для здійснення порівняльного аналізу ефективності традиційних та нечітких регуляторів (на прикладі регуляторів ПД-типу) дослідження проводились при наступних параметрах моделювання: $k_{\text{ОУ}} = 45$; $T_{\text{ОУ}} = 63$ с; $k_{\text{РО}} = 1,45$; $k_{\text{ВМ}} = 1,5$; $T_{\text{ВМ}} = 0,3$ с; $t_{\text{зАд}} = 20$ град.; збурювальний вплив задано у вигляді ступінчатих сигналів різної ширини та амплітуди.

На рис. 3 представлена функціональна схема системи автоматичного управління (САУ) температурою в судновому приміщенні з нечітким ПД-регулятором. На вхід нечіткого регулятора подається похибка ε системи та похідна від похибки $d\varepsilon/dt$, а на виході – формується сигнал управління U , який поступає на вхід ВМ.

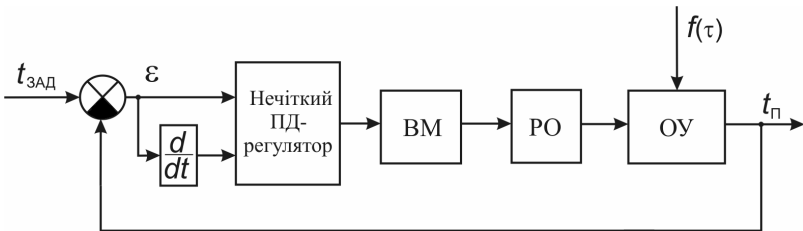


Рис. 3. Функціональна схема САУ з нечітким ПД-регулятором

Основними етапами нечіткого логічного виводу Мамдані-типу є: фазифікація, агрегація, активізація, акумуляція та дефазифікація [1].

На етапі фазифікації для кожної вхідної та вихідної змінної визначається відповідне їй лінгвістичне значення та ступінь належності до відповідної нечіткої множини. Для першої вхідної змінної ε та для другої вхідної змінної $d\varepsilon/dt$ обрано по 5 лінгвістичних термів, а для вихідної змінної U – 7 лінгвістичних термів. Параметри лінгвістичних термів представлені в табл. 1.

Лінгвістичні терми нечіткого регулятора Мамдані-типу

Терм	Тип функції належності	Діапазон значень
<i>Для вхідної змінної ε</i>		
BN – велика від’ємна	Трикутна	[-150 -100 -50]
SN – мала від’ємна	Трикутна	[-100 -50 0]
Z – нульова	Трикутна	[-50 0 50]
SP – мала додатна	Трикутна	[0 50 100]
BP – велика додатна	Трикутна	[50 100 150]
<i>Для вхідної змінної $d\varepsilon/dt$</i>		
BN – велика від’ємна	Трикутна	[-1200 -800 -400]
SN – мала від’ємна	Трикутна	[-800 -400 0]
Z – нульова	Трикутна	[-400 0 400]
SP – мала додатна	Трикутна	[0 400 800]
BP – велика додатна	Трикутна	[400 800 1200]
<i>Для вихідної змінної U</i>		
VBN – дуже велика від’ємна	Трикутна	[-73 -55 -37]
BN – велика від’ємна	Трикутна	[-55 -37 -18]
SN – мала від’ємна	Трикутна	[-37 -18 0]
Z – нульова	Трикутна	[-18 0 18]
SP – мала додатна	Трикутна	[0 18 37]
BP – велика додатна	Трикутна	[18 37 55]
VBP – дуже велика додатна	Трикутна	[37 55 73]

Для реалізації нечіткого логічного виводу необхідно сформувати базу знань. Правила бази знань за алгоритмом Мамдані являють собою лінгвістичні твердження виду [10]:

$$\text{ЯКЩО } " \varepsilon = x " \text{ I } " d\varepsilon/dt = y ", \text{ ТО } " U = z ",$$

де x , y , z – відповідні значення лінгвістичних термів.

Для даного випадку база знань складається з 25 нечітких правил, які відповідають всім комбінаціям двох вхідних змінних ε та $d\varepsilon/dt$. Структура бази правил нечіткого ПД-регулятора Мамдані-типу представлена в табл. 2.

Нечітка база правил Мамдані-регулятора

Швидкість зміни похибки, $d\varepsilon/dt$	Похибка, ε				
	<i>BN</i>	<i>SN</i>	<i>Z</i>	<i>SP</i>	<i>BP</i>
<i>BN</i>	VBN	VBN	VBN	BN	SN
<i>SN</i>	VBN	BN	BN	SN	SP
<i>Z</i>	SN	SN	Z	SP	SP
<i>SP</i>	SN	SP	BP	BP	VBP
<i>BP</i>	SP	BP	VBP	VBP	VBP

Наступний етап – етап агрегації являє собою процедуру визначення ступенів істинності кожного з правил системи нечіткого виводу, а подальші етапи активізації та акумуляції – процедуру знаходження ступенів істинності кожного з сьоми підзаключень правил нечітких продукцій, тобто процедуру знаходження функцій належності для кожної з вихідних лінгвістичних змінних. Метою акумуляції є об'єднання ступенів істинності всіх нечітких правил для формування результуючої функції належності нечіткого рішення, яке потрібно перетворити в чітке значення вихідного сигналу. Процедура знаходження чіткого числового значення вихідного сигналу U являє собою процедуру дефазифікації.

Існує кілька методів дефазифікації: метод центру тяжіння, метод центру площини, метод лівого модального значення, метод правого модального значення та ін. Для даного випадку обираємо метод центру тяжіння, згідно з яким значення вихідного сигналу розраховується за формулою [10]:

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n u_i \cdot \mu(u_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(u_i)},$$

де n – кількість вихідних лінгвістичних змінних; u_i – значення відповідної вихідної лінгвістичної змінної; $\mu(u_i)$ – значення функції належності відповідної вихідної лінгвістичної змінної.

В нечіткому регуляторі Сугено-типу на етапі фазифікації для першої вхідної змінної ε та для другої вхідної змінної $d\varepsilon/dt$ обрано по 5 лінгвістичних термів, як і в попередньому випадку. Параметри лінгвістичних термів входів регулятора представлено в табл. 3.

Таблиця 3

Лінгвістичні терми нечіткого регулятора Сугено-типу

Терм	Тип функції належності	Діапазон значень
<i>Для вхідної змінної ε</i>		
BN – велика від’ємна	Гаусівська	[17,3 -100]
SN – мала від’ємна	Гаусівська	[17,3 -50]
Z - нульова	Гаусівська	[17,3 0]
SP – мала додатна	Гаусівська	[17,3 50]
BP – велика додатна	Гаусівська	[17,3 100]
<i>Для вхідної змінної $d\varepsilon/dt$</i>		
BN – велика від’ємна	Гаусівська	[144,5 -800]
SN – мала від’ємна	Гаусівська	[144,5 -400]
Z - нульова	Гаусівська	[144,5 0]
SP – мала додатна	Гаусівська	[144,5 400]
BP – велика додатна	Гаусівська	[144,5 800]

Для реалізації нечіткого логічного виводу також необхідно сформувати відповідну нечітку базу правил. Правила бази знань за алгоритмом Сугено [10] являють собою лінгвістичні твердження виду:

ЯКЩО " $\varepsilon = x$ " І " $d\varepsilon/dt = y$ ", ТО " $U = k_{\Pi}\varepsilon + k_{Д}d\varepsilon/dt$ ".

Частина правила "ТО" представляє собою в даному випадку лінійну комбінацію входів. Кожна лінійна комбінація визначається вектором коефіцієнтів

$$mf_i = [k_{\Pi}, k_{Д}],$$

де i – номер правила, що приймає значення від 1 до 25; k_{Π} – коефіцієнт пропорційності для сигналу похибки ε ; $k_{Д}$ – коефіцієнт пропорційності для диференційної складової $d\varepsilon/dt$.

В процесі проектування нечіткого регулятора постає завдання визначення всіх коефіцієнтів $mf_i = [k_{\Pi}, k_{Д}]$ шляхом навчання відповідного Сугено-регулятора.

В табл. 4 зведено значення всіх знайдених в процесі навчання регулятора коефіцієнтів для визначення відповідних складових вихідного сигналу.

Для процедури дефазифікації у випадку Сугено-регулятора також обрано метод центру тяжіння.

Таблиця 4

Оптимізовані параметри Сугено-регулятора (k_{Π} , $k_{\text{Д}}$)

№ пра- вила і	k_{Π}					$k_{\text{Д}}$				
	1-5	95,14	74,31	28,12	87,53	64,37	7,603	5,281	3,645	6,232
6-10	37,24	12,11	44,35	23,17	36,44	2,605	0,340	-3,872	2,104	-2,716
11-15	24,43	56,29	48,74	32,11	64,32	1,981	2,783	-4,371	1,562	-3,704
16-20	76,32	24,19	47,29	54,42	43,16	6,481	1,576	2,143	3,267	4,756
21-25	64,76	32,19	52,87	42,19	66,48	5,348	3,173	-4,488	3,236	5,372

Передаточна функція ПД-регулятора має вигляд:

$$W_{\text{ПД}}(p) = k_{\Pi} + k_{\text{Д}} p .$$

Для моделювання обираємо наступні значення коефіцієнтів k_{Π} та $k_{\text{Д}}$, знайдені в результаті параметричної оптимізації: $k_{\Pi} = 27,64$; $k_{\text{Д}} = 5,61$.

В табл. 5 представлено порівняльний аналіз показників якості систем управління з традиційним та нечіткими ПД-регуляторами для різних значень вхідних сигналів (задавальних впливів) $t_{\text{Зад}} \in \{17^{\circ} \text{C}, 20^{\circ} \text{C}, 22^{\circ} \text{C}\}$, де позначено: σ – перерегулювання, $\sigma = (t_{\text{МАХ}} - t_{\text{УСТ}}) \cdot t_{\text{УСТ}} \cdot 100\%$; $\tau_{\text{ПД}}$ – час регулювання (тривалість переднього процесу); Δ – статична похибка, $\Delta = (t_{\text{Зад}} - t_{\text{УСТ}}) \cdot t_{\text{Зад}} \cdot 100\%$; β – коливальність (число переходів кривої $t_{\Pi}(\tau)$ через усталене значення $t_{\text{УСТ}}$ за час $\tau_{\text{ПД}}$).

На рис. 5 представлено перехідні процеси для систем управління з різними типами регуляторів: а) при нульових початкових умовах; б) для $t_{\text{Зад}} = 20^{\circ} \text{C}$; в) при відсутності збурювальних впливів. Порівняльний аналіз наведених на рис. 5 результатів показує, що найкращі показники якості має система з регулятором Сугено-типу, а саме: час регулювання $\tau_{\text{ПД}}$ складає 0,4 с, а параметри σ , β та Δ дорівнюють нулю. В системі управління з традиційним ПД-регулятором також відсутнє перерегулювання, але час регулювання $\tau_{\text{ПД}}$ складає 1,3 с.

Таблиця 5

Показники якості САУ з різними типами ПД-регуляторів

Задана температура, $t_{\text{зад}}, ^\circ\text{C}$	Тип регулятора	Показники якості			
		$\sigma, \%$	$\tau_{\text{ПД}}, \text{c}$	$\Delta, \%$	β
17	ПД-регулятор	0	1,3	0	0
	Регулятор Мамдані	2	3,15	0,7	2
	Регулятор Сугено	0	0,4	0	0
20	ПД-регулятор	0	1,3	0	0
	Регулятор Мамдані	1,5	0,25	0,65	2
	Регулятор Сугено	0	0,4	0	0
22	ПД-регулятор	0	1,3	0	0
	Регулятор Мамдані	0,7	3,55	0,6	2
	Регулятор Сугено	0	0,45	0	0

Система управління з регулятором типу Мамдані має нижчі показники в порівнянні з іншими системами, оскільки дана система, згідно її перехідному процесу, має перерегулювання $\sigma = 1,5 \%$, час регулювання $\tau_{\text{ПД}} = 3,25 \text{ c}$, коливальність $\beta = 2$ та статична похибка $\Delta = 0,65 \%$.

На рис. 6 представлено перехідні процеси систем управління з традиційним та нечіткими ПД-регуляторами типу Мамдані та Сугено при наявності збурень $f(t)$, що носять ступінчатий характер (при нульових початкових умовах, для $t_{\text{зад}} = 20^{\circ} \text{C}$).

Реакція на максимальний збурюючий вплив амплітудою 30°C для систем з традиційним чітким регулятором та з регулятором Сугено типу становить близько $1,5 \%$ від значення вихідного сигналу, тоді як для системи з регулятором типу Мамдані – 7% .

Результати моделювання САУ в умовах короткочасних ступінчатих збурюючих впливів показують, що відхилення вихідного сигналу від заданого значення для систем управління з чітким ПД-регулятором та нечітким ПД-регулятором Сугено-типу є незначним, оскільки складає лише $1,5 - 2 \%$ (приблизно $0,4^{\circ} \text{C}$), що з точки зору регулювання температури не має суттєвого значення. Щодо системи управління з нечітким

ПД-регулятором Мамдані-типу, то для неї відхилення вихідного сигналу при короткочасних збурюючих впливах є суттєвим і досягає майже 7 % (при максимальному збуренні величиною $- 30^{\circ}\text{C}$), а це вже відповідає зниженню заданої температури повітря на $1,5 - 2^{\circ}\text{C}$ температури, що може не відповідати вимогам щодо динамічних показників якості.

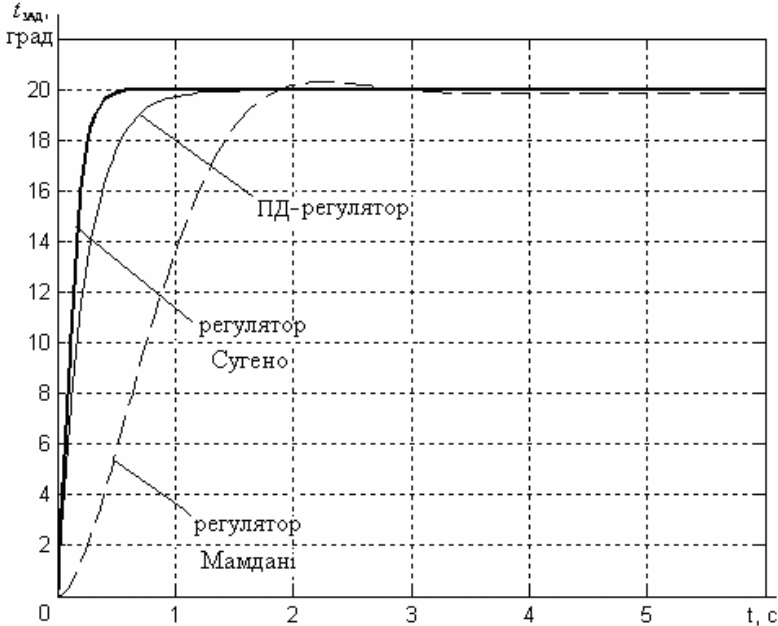


Рис. 5. Перехідні процеси при $t_{\text{зад}} = 20^{\circ}\text{C}$

В даному дослідженні для проведення порівняльного аналізу представлено розробку трьох типів регуляторів, зокрема нечітких ПД-регуляторів типу Мамдані та Сугено та традиційного ПД-регулятора для системи управління температурою в судовому приміщенні. При цьому процедуру параметричної оптимізації здійснено тільки для нечіткого ПД-регулятора Сугено-типу та традиційного ПД-регулятора.

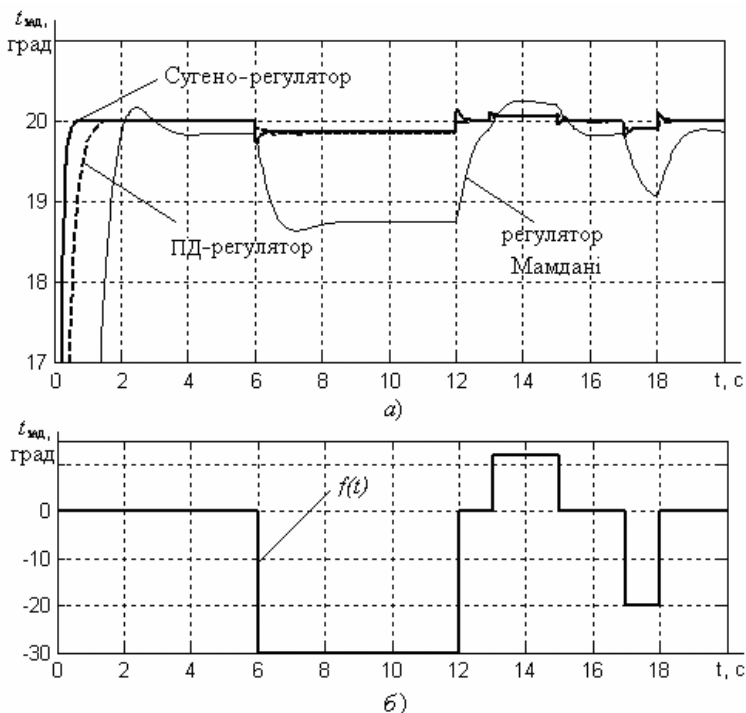


Рис. 6. Перехідні процеси: $a - t_{зад} = 20^0$ С з урахуванням збурень; $b - f(t)$

На основі аналізу результатів моделювання можна зробити висновок, що для даної системи управління доцільно застосовувати нечіткий регулятор Сугено-типу, оскільки система управління з таким нечітким регулятором має кращі показники якості управління в порівнянні з системою, синтезованою на основі традиційного ПД-регулятора. Застосування нечіткого регулятора Мамдані-типу призвело до зниження показників якості відповідної системи управління в порівнянні з вищерозглянутими системами, що підтверджує необхідність проведення процедури параметричної оптимізації для покращення динамічних властивостей і характеристик будь-якої системи управління. В подальшому доцільно провести дослідження нечітких Мамдані регуляторів на основі їх структурно-параметричної оптимізації та здійснити порівняльний аналіз складності апаратно-програмної реалізації розглянутих типів регуляторів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Архангельский В.И., Богаенко И.Н., Грабовский Г.Г., Рюмшин Н.А. Системы функции-управления. – К.: Техніка, 1997. – 208 с.
2. Голиков В.А. Научные основы управления микроклиматом судна. – Одесса: ОГМА, 1990. – 321 с.
3. Зайченко Ю.П. Основы проектирования интеллектуальных систем. – К.: Видавничий дім "Слово", 2004. – 352 с.
4. Захаров В.Н., Ульянов С.В. Нечеткие модели интеллектуальных промышленных регуляторов и систем управления. I. Научно-организационные, технико-экономические и прикладные аспекты // Техническая кибернетика. – 1992. - № 5. - С. 171 - 196.
5. Калинин Ю.Ф. Регулирование судовых установок кондиционирования воздуха. – Николаев: НКИ, 1975. – 63 с.
6. Кофман А., Хил Алуха Х. Введение теории нечетких множеств в управлении предприятиями. Пер с исп. – Минск: Вышэйшая школа, 1992. – 224 с.
7. Кондратенко Ю.П. Динамика элементов и систем автоматического регулирования холодильных установок. – Николаев: НКИ, 1984. – 56 с.
8. Кондратенко Ю.П. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений при управлении судами в экстремальных условиях // Судостроение. 2004. – №3, – С. 21.
9. Кондратенко Ю.П., Сидоренко С.А. Устройства с нечеткой логикой для автоматизации процессов поддержки принятия решений при прохождении судов в узостях и протоках // Сборник научных трудов УГМТУ. – Николаев: УГМТУ, 2001. – №5, – С. 124 - 134.
10. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – Спб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
11. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
12. Новак В., Перфильева И., Мочкорж И. Математические принципы нечеткой логики. Пер. с англ. /Под ред. Аверкина А.Н. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 352 с.
13. Нелепин Р.А., Соболев Л.Г., Волков А.А. Автоматизация морских судов. – Л.: Судостроение, 1983. – 80 с.
14. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: Нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. – Винница: "Універсум-Вінниця", 1999. – 320 с.
15. Lewis F.L., Campos J., Selmic R. Neuro-Fuzzy Control of Industrial Systems with Actuator Nonlinearities (Frontiers in Applied Mathematics). – Philadelphia, PA: SIAM, 2002. – 244 p.
16. Zadeh L. Fuzzy sets // Information and control. – 1965. – No. 8. – P. 338 – 353.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ
ОХЛАДИТЕЛЯ НАДУВОВОГО ВОЗДУХА

При эксплуатации судна на мелководье возникают тепловые перегрузки двигателей. С целью сохранения требуемой скорости движения судна и уменьшения теплонапряженности двигателей необходимо увеличить подачу воздуха (при увеличении подачи топлива) для чего необходимо понизить температуру воздуха подаваемого в цилиндр.

Для этого предлагается двухсекционный охладитель наддувочного воздуха (ОНВ), вторая секция которого охлаждается промежуточным охладителем (охлажденная вода или рассол), требуемая температура которого обеспечивается судовой системой кондиционирования воздуха [1]. Для анализа и синтеза системы регулирования температуры наддувочного воздуха возникает необходимость в определении соотношений, связывающих входные и выходные параметры звеньев системы и прежде всего воздухоохладителя, с помощью которого воздух доводится до требуемых температур и влагосодержаний.

Целью исследования является идентификация динамических характеристик ОНВ с влажным теплообменом, позволяющих синтезировать требуемые системы регулирования температуры наддувочного воздуха.

В качестве объекта исследования выбран ОНВ с перекрестным током сред. Геометрические характеристики воздухоохладителя – площади сечения каналов, поверхности раздела, толщина разделяющей стенки и т.п. – принимаются постоянным по осям. С целью получения аналитических решений и упрощения математического описания [2] процессы воздухоохладителя принимаются следующие допущения:

критериальные уравнения массообмена подобны критериальным уравнениям, описывающим процессы теплоотдачи, т.е. справедливо соотношение Люиса $\sigma C_p / \alpha = 1$ (σC_p – массообменный коэффициент, α – коэффициент теплоотдачи);

процесс выпадения влаги происходит по всей наружной поверхности воздухоохладителя (со стороны воздуха) при любых режимах работы;

физические свойства рабочих сред и материалов разделяющей стенки отнесены к некоторым средним температурам и давлениям и постоянны вдоль оси;

теплообмен с наружной средой отсутствует;

термическое сопротивление пленки конденсата на поверхности разделяющей стенки пренебрежимо мало;

в металле теплопередающей поверхности отсутствует осевой тепловой поток;

в однофазных средах аппарата не учитывается изменение плотности и теплоемкости рабочих тел;

коэффициенты теплоотдачи принимаются также постоянными по пространственным координатам. Их изменение от возмущений расходом сред рассматриваются в линейной форме;

тепловое сопротивление стенки по толщине конечно и учитывается в коэффициентах теплоотдачи;

линия насыщения в $d-i$ – диаграмме ($\varphi = 100\%$) приближенно описывается прямой $d_n = a\theta_{ст} + b$ в диапазоне изменения температур стенки (d_n – влагосодержание на линии насыщения, $\theta_{ст}$ – температура стенки, a и b – коэффициенты).

Рассмотрим элемент длиной Δy по воздуху (рис.), в котором температура воздуха изменяется на $(\theta_{y+\Delta y} - \theta_y)$, а влагосодержание – на $(d_{y+\Delta y} - d_y)$, в связи с чем баланс количества теплоты для массы влажного воздуха представляется в виде:

$$G_B C_B (\theta_{y+\Delta y} - \theta_y) + G_B \frac{d_y}{1000} C_n (\theta_{y+\Delta y} - \theta_y) + G_B \frac{(d_{y+\Delta y} - d_y)}{1000} C_n (\theta_B - \theta_{см}) = \alpha_{в.пр.} f_B \Delta y (\theta_y - \theta_{см}). \quad (1)$$

Правая часть уравнения (1) это тепло, подводимое к элементу поверхности. В левой части уравнения первый член выражает количество теплоты, выделяющееся при охлаждении потока сухого воздуха на $(\theta_{y+\Delta y} - \theta_y)$; второй – количество теплоты, выделяющееся при охлаждении $G_B d_y / 1000$ (кг/г) водяного пара на $(\theta_{y+\Delta y} - \theta_y)$; третий – количество теплоты, выделяющейся при охлаждении $[G_B (d_{y+\Delta y} - d_y)] / 1000$ (кг/г) перегретого водяного пара от θ_y до $\theta_{ст}$. Это количество пара конденсируется на элементе поверхности в виде росы. Величина $d_y C_n / 1000$ пренебрежимо мала по сравнению с C_B , поэтому количеством тепла, выделяющегося при охлаждении пара, можно пренебречь. Пренебрегая весьма малыми членами и после ряда преобразований уравнение (1) в дифференциальной форме:

$$-T_B \frac{\partial \theta_B}{\partial t} - \frac{HG_B C_B}{\alpha_{B,пр} F_B} \frac{\partial \theta_B}{\partial y} = \theta_B - \theta_{ст}, \quad (2)$$

где T_B – постоянная времени, $T_B = g_B C_B / \alpha_{B,пр} F_B$; $g_B = \rho_B H f_B$ – масса воздуха (кг); f_B – площадь поперечного сечения ОНВ по воздуху; θ_B – температура воздуха; ρ_B – плотность воздуха; C_B – теплоемкость сухого воздуха; $\alpha_{B,пр}$ – приведенный коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха; F_B – теплообменная поверхность со стороны воздуха.

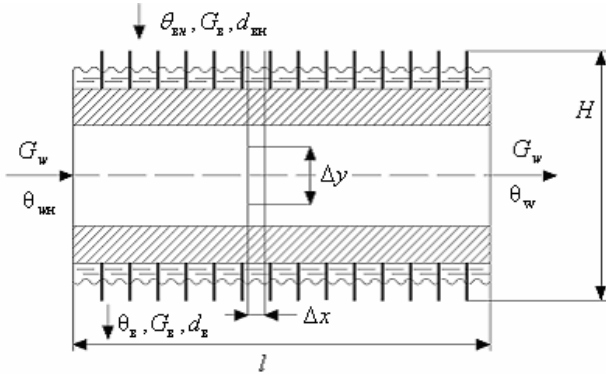


Рис. Схема процессов на элементарной поверхности

Масса пара, подводимого к элементу поверхности и конденсирующегося на ней, равна массе пара, отдаваемого воздухом:

$$G_B (d_y - d_{y+\Delta y}) = \frac{\beta_{\Delta d} F}{H} (d - d^*) \Delta y. \quad (3)$$

Влагодержание на линии насыщения d_n (при $\phi = 100\%$) приближенно можно описать $d_n = a\theta_{ст} + v$ в небольшом диапазоне изменения температур поверхности стенки (для диапазона температур $0 - 20^\circ\text{C}$). Как уже отмечалось в допущениях, при охлаждении и осушении воздуха соблюдается соотношения Льюиса, поэтому можно записать что $\beta_{\Delta d} F / H = \alpha F_B / H C_B$.

В работе [4] для условий выпадения влаги в виде инея на пластине показано, что процессы тепло - и массообмена при выпадении влаги в виде росы и инея сходны между собой, т.е. $C_B \beta_{\Delta d} / \alpha_{B,пр} = 1$.

Вследствие этого уравнение (3) после преобразований можно записать в дифференциальной форме:

$$-T_B \frac{\partial d}{\partial t} - \frac{HG_B C_B}{\alpha_{в.пр} F_B} \frac{\partial d}{\partial y} = d - (a\theta_{ст} + в). \quad (4)$$

где d - влагосодержание воздуха; H - длина пути по воздуху; G_B - массовый расход воздуха.

Общее количество теплоты, подводимой к поверхности теплообмена, равно количеству теплоты, отдаваемой потоком воздуха и скрытому количеству теплоты сконденсированной влаги. Эта теплота через теплообменную поверхность передается хладагенту (промежуточному теплоносителю). Поэтому уравнение аккумуляции теплоты в стенке [2]:

$$T_{ст} \frac{\partial \theta_{ст}}{\partial t} = \theta_в - \theta_{ст} + \rho [d - (a\theta_{ст} + в)] - \frac{\alpha_w F_w}{\alpha_{в.пр} F_B} (\theta_{ст} - \theta_w), \quad (5)$$

где $T_{ст}$ - постоянная времени, $T_{ст} = g_{ст} C_{ст} / \alpha_{в.пр} F_B$; $\rho = r / 1000 C_{вл}$ (град·кг/г); $g_{ст}$ - масса металла стенки, кг; $\theta_{ст}$ - температура стенки; $C_{вл}$ - теплоемкость влажного воздуха; $C_{ст}$ - теплоемкость металла стенки; r - скрытая теплота парообразования.

Как отмечалось ранее, влагосодержание $d_{ст}$ и температуры поверхности $\theta_{ст}$ на линии насыщения связаны уравнением $d_{ст} = a\theta_{ст} + в$. При изменении температур в диапазоне $6 \dots 12^\circ C$ можно с достаточной для практических расчетов точностью принять $a=0,58$ г/град·кг и $в=2,2$ г/кг.

Общее количество теплоты, передаваемой от стенки к хладагенту, полностью расходуется на повышение температуры последнего и уравнение принимает вид:

$$T_w \frac{\partial \theta_w}{\partial t} + \frac{l G_w C_w}{\alpha_w F_w} \frac{\partial \theta_w}{\partial X} = \theta_{ст} - \theta_w, \quad (6)$$

где T_w - постоянная времени, $T_w = g_w C_w / \alpha_w F_w$; $g_w = \rho_w l f_w$ - масса хладагента, кг; f_w - площадь поперечного сечения по хладагенту; θ_w - температура хладагента; G_w - расход хладагента; l - длина; ρ_w - плотность хладагента; F_w - теплообменная поверхность по хладагенту; C_w - теплоемкость хладагента; α_w - коэффициент теплоотдачи.

Полученная система уравнений (2, 4, 5, 6) при решении в двумерном пространстве, чрезвычайно сложна. Обратные преобразования Лапласа приводят к Бесселевым функциям, решения которых возмож-

ны только численными методами. Поэтому целесообразно математическую модель ОНВ с влажным теплообменом по воздуху рассматривать как модель с сосредоточенными параметрами [2, 3].

Система уравнений (2 - 6) нелинейная. Поэтому, выполнив линеаризацию системы, разложением в ряд Маклорена и с учетом, что

$$\alpha_{\text{в.пр.}} = \alpha_{\text{в.пр.0}} + \left(\frac{\partial \alpha_{\text{в.пр.}}}{\partial G_{\text{B}}} \right)_0 \Delta G_{\text{B}} \text{ и } \alpha_w = \alpha_{w0} + \left(\frac{\partial \alpha_w}{\partial G_w} \right) \Delta G_w,$$

после ряда преобразований получим:

$$-T_{\text{B}} \frac{\partial \Delta \theta_{\text{B}}}{\partial t} - \text{B}_2 \Delta \theta_{\text{B}} = \text{B}_2 \Delta \theta_{\text{вн}} - 2\theta_{\text{ст}} + \text{B}_3 \Delta G_{\text{B}}; \quad (7)$$

$$-T_{\text{B}} \frac{\partial \Delta d}{\partial t} - d_2 \Delta d = d_2 \Delta d_{\text{H}} - 2a \Delta \theta_{\text{ст}} + d_3 \Delta G_{\text{B}}; \quad (8)$$

$$T_{\text{ст}} \frac{\partial \Delta \theta_{\text{ст}}}{\partial t} + C_2 \Delta \theta_{\text{ст}} = C_1 \Delta \theta_w + 0,5 \Delta \theta_{\text{B}} + 0,5 \Delta \theta_{\text{вн}} + 0,5 \rho d + 0,5 \rho d_{\text{H}} + C_4 \Delta G_{\text{B}} - C_3 \Delta G_w; \quad (9)$$

$$T_w \frac{\partial \Delta \theta_w}{\partial t} + a_1 \frac{\Delta \theta_w}{\partial \bar{x}} + \Delta \theta_w = \Delta \theta_{\text{ст}} + a_2 \Delta G_w, \quad (10)$$

где \bar{x} - безразмерная координата по хладоносителю, $\bar{x} = x/l$;

$$\text{B}_1 = \frac{2G_{\text{B}}C_{\text{B}}}{\alpha_{\text{в.пр.}}F_{\text{B}}}; \quad \text{B}_2 = 1 + \epsilon_1;$$

$$\text{B}_3 = \frac{2}{\alpha_{\text{в.пр.}}} \left(\frac{\theta_{\text{B}} + \theta_{\text{вн}}}{2} - \theta_{\text{ст}} \right)_0 \left(\frac{\partial \alpha_{\text{в.пр.}}}{\partial G_{\text{B}}} \right)_0 + \frac{2C_{\text{B}}}{\alpha_{\text{в.пр.}}F_{\text{B}}} (\theta_{\text{B}} + \theta_{\text{вн}})_0; \quad d_2 = 1 + \text{B}_1;$$

$$d_3 = \frac{2}{\alpha_{\text{в.пр.}}} \left[\left(\frac{d + d_{\text{H}}}{2} - (a\theta_{\text{ст}} + \text{B})_0 \left(\frac{\partial \alpha_{\text{в.пр.}}}{\partial G_{\text{B}}} \right)_0 + \frac{C_{\text{B}}}{F_{\text{B}}} (d + d_{\text{H}})_0 \right) \right];$$

$$C_1 = \frac{\alpha_w F_w}{\alpha_{\text{в.пр.}} F_{\text{B}}}; \quad C_2 = C_1 + 1 + \rho a;$$

$$C_3 = \frac{F_w}{\alpha_{\text{в.пр.}} F_{\text{B}}} (\theta_{\text{ст}} - \theta_w)_0 \left(\frac{\partial \alpha_w}{\partial G_w} \right)_0;$$

$$C_4 = \frac{1}{\alpha_{\text{в.пр.}}} \left[\left(\frac{\theta_{\text{B}} + \theta_{\text{вн}}}{2} - \theta_{\text{ст}} \right)_0 + \rho \left(\frac{d + d_{\text{H}}}{2} - (a\theta_{\text{ст}} + \text{B})_0 \left(\frac{\partial \alpha_{\text{в.пр.}}}{\partial G_{\text{B}}} \right)_0 \right) \right];$$

$$a_1 = C_1; \quad a_2 = \frac{1}{\alpha_w} (\theta_{\text{ст}} - \theta_w)_0 \left(\frac{\partial \alpha_w}{\partial G_w} \right)_0 - \frac{C_w}{\alpha_w F_w} \left(\frac{\partial \theta_w}{\partial \bar{x}} \right)_0.$$

Выполнив прямое преобразование Лапласа по времени $d/dt = p$ и пространственной координате $d/d\bar{x} = s$ при нулевых начальных условиях и ограничениях первого рода при условии внесения возмущений по G_w и G_g скачком – систему уравнений (7 - 10) запишем в виде:

$$A(p)\Delta\theta_b(0, p) = a_1(p)\Delta\theta_{BH}(0, p) - a_2(p)\Delta\theta_w(s, p) - a_3(p)\Delta d(0, p) - a_3(p)\Delta d_H(0, p) + a_4(p)\Delta G_B(0, p) + \frac{1}{S}a_5(p)\Delta G_w(s, p), \quad (11)$$

где

$$A(p) = \left[\frac{1}{T_{CT} p + C_2} - (T_B p + B_2) \right]; \quad a_1(p) = \left(B_2 - \frac{1}{T_{CT} p C_2} \right);$$

$$a_2(p) = \frac{2C_1}{T_{CT} p + C_2}; \quad a_3(p) = \frac{\rho}{T_{CT} p + C_2}; \quad a_4(p) = \left(B_3 - \frac{2C_4}{T_{CT} p + C_2} \right);$$

$$a_5(p) = \frac{2C_3}{T_{CT} p + C_2}.$$

$$D(p)\Delta d(0, p) = d_1(p)\Delta d_H(0, p) - a_2(p)\Delta\theta_w(s, p) - d_3(p)\Delta\theta_b(0, p) - d_3(p)\Delta\theta_{BH}(0, p) + d_4(p)\Delta G_B(0, p) + \frac{1}{S}a_5(p)\Delta G_w(s, p); \quad (12)$$

$$D(p) = \left[\frac{\rho}{T_{CT} p + C_2} - (T_B p + d_2) \right]; \quad d_1(p) = \left(d_2 - \frac{\rho}{T_{CT} p + C_2} \right);$$

$$d_2(p) = \frac{2C_1}{T_{CT} p + C_2}; \quad d_3(p) = \frac{1}{T_{CT} p + C_2}; \quad d_4(p) = \left(d_3 - \frac{2C_4}{T_{CT} p + C_2} \right);$$

$$[a, s + B(p)]\Delta\theta_w(s, p) = B_1(p)\Delta\theta_{BH}(0, p) + B_1(p)\Delta\theta_b(0, p) + B_2(p)\Delta d_H(0, p) + B_2(p)\Delta d(0, p) + B_2(p)\Delta d_H(0, p) + \frac{B_3(p)}{S}\Delta G_w(s, p) + B_4(p)\Delta G_B(0, p); \quad (13)$$

$$\left[(T_w p + 1) - \frac{C_1}{T_{CT} p + C_2} \right] = B(p); \quad B_1(p) = \frac{0,5}{T_{CT} p + C_2};$$

$$B_2(p) = \frac{0,5\rho}{T_{CT} p + C_2}; \quad B_3(p) = \left(a_2 - \frac{C_3}{T_{CT} p + C_2} \right); \quad B_4(p) = C_4 / T_{CT} p + C_2.$$

Итак, получена система из трех алгебраических уравнений, решение которой выполним, используя правило Крамера [2] запишем в ви-

де:

$$\theta_{\kappa}(s, p) = \frac{\Delta_{\text{пк}}(s, p)}{\Delta(s, p)}, \quad (14)$$

где $\kappa = 1 \dots 3$, $\Delta(s, p)$ – определитель системы, а $\Delta_{\text{пк}}(s, p)$ – миноры системы, раскладывая которые по элементам κ -го столбца, которыми являются возмущающие функции $F_n(p)$ получим передаточные функции рассмотренной системы по κ -му каналу при n -м возмущающем воздействии.

$$W(s, p)_{\text{пк}} = \frac{\theta_{\text{пк}}(s, p)}{F_n(0, p)} = \frac{K_{\text{пк}}(s, p)}{\Delta(s, p)}. \quad (15)$$

Согласно выражения (15)

$$W_1(s, p) = \frac{\Delta\theta_{\text{в}}(s, p)}{\Delta\theta_{\text{вн}}(0, p)} = \frac{S + \frac{a_1(p)D(p)B(p) + a_3(p)d_3(p)B(p) + E_1(p)}{[a_1(p)D(p) + a_3(p)d_3(p)]a_1}}{S + \frac{A(p)D(p)B(p) + E(p) + a_3(p)d_3(p)B(p)}{[A(p)D(p) + a_3(p)d_3(p)]a_1}}, \quad (16)$$

где

$$E_1(p) = a_2(p)[a_1(p)v_2(p) - a_3(p)v_1(p) + d_3(p)v_2(p) + v_1(p)D(p)];$$

$$E(p) = a_2(p)[A(p)v_2(p) - a_3(p)v_1(p) + d_3(p)v_2(p) + v_1(p)D(p)]$$

или

$$W_9(s, p) = \frac{\Delta d(s, p)}{\Delta G_6(0, p)} = \frac{S(A(p)d_4(p)a_1 - d_4(p)d_3(p))a_1}{S + \frac{A(p)D(p)B(p) + E(p) + a_3(p)d_3(p)B(p)}{[A(p)D(p) + a_3(p)d_3(p)]a_1}}. \quad (17)$$

Таким образом полученные передаточные функции (15) будут являться функциями Лаплас образа по пространственной координате \bar{x} и времени – t .

В дальнейшем выполним обратное преобразование Лапласа $L^{-1}[K_{\text{пк}}(s, p)/\Delta(s, p)]s = s$, зависимых переменных в комплексной плоскости s и перейдем от изображения к оригиналу по пространственной переменной \bar{x} .

В результате этих преобразований получим решение системы уравнений (11 - 13) в области изображений по переменной t в виде передаточных функций

$$\frac{\Delta\theta_{\text{в}}(\bar{x}, p), \Delta d(\bar{x}, p), \Delta\theta_w(\bar{x}, p)}{j} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n K_{jki}(p) e^{-S_i(p) \cdot \bar{x}}, \quad (18)$$

где

$$k = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 \\ \Delta\theta_B & \Delta d & \Delta\theta_w \end{vmatrix}, \quad j = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \Delta G_B & \Delta G_w & \Delta\theta_{BH} & \Delta d_H & \Delta\theta_{wH} \end{vmatrix}, \quad i = \begin{vmatrix} 1 \\ s_1(p) \end{vmatrix}.$$

Выполнив эти преобразования получим пятнадцать передаточных функций ОНВ в виде:

$$W_1(\bar{x}, p) = \frac{\Delta\theta_B(\bar{x}, p)}{\Delta\theta_{BH}(0, p)} = [\bar{C}_1(p) - \bar{C}(p)]e^{-\bar{C}(p)\bar{x}}, \quad (19)$$

где

$$\frac{a_1(p)D(p)B(p) + a_3(p)d_3(p)B(p) + E_1(p)}{[a_1(p)D(p) + a_3(p)d_3(p)]a_1} = \bar{C}_1(p),$$

$$\bar{C}(p) = \frac{A(p)B(p)D(p) + E(p) + a_3(p)d_3(p)B(p)}{[A(p)B(p) + a_3(p)d_3(p)]a_1};$$

$$W_3(\bar{x}, p) = \frac{\Delta\theta_B(\bar{x}, p)}{\Delta\theta_{wH}(0, p)} = a_2(p)[D(p) - a_3(p)]e^{-\bar{C}(p)\bar{x}}; \quad (20)$$

$$W_6(\bar{x}, p) = \frac{\Delta d(\bar{x}, p)}{\Delta d_H(0, p)} = \left[\bar{C}_4(p) - \bar{C}(p)e^{-\bar{C}(p)x} \right]; \quad (21)$$

$$\bar{C}_4(p) = \frac{E_6(p)}{[A(p)d_1(p) + a_3(p)d_3(p)]a_1}.$$

$$W_{11}(\bar{x}, p) = \frac{\Delta\theta_w(\bar{x}, p)}{\Delta\theta_{BH}(0, p)} = \{A(p) - a_1(p)[D(p)v_1(p) - d_3(p)v_2(p)]\}e^{-\bar{C}(p)x}; \quad (22)$$

$$W_{14}(\bar{x}, p) = \frac{\Delta\theta_w(\bar{x}, p)}{\Delta G_B(0, p)} = E_9(p)e^{-\bar{C}(p)\bar{x}}, \quad (23)$$

где

$$E_9(p) = D(p) \left(\begin{array}{l} A(p)v_4(p) - a_4(p)v_1(p) - \\ - A(p)v_2(p)d_4(p) + a_3(p)d_3(p)v_1(p)d_4(p) \end{array} \right).$$

Для расчетов по выше полученным передаточным функциям необходимо определить ряд зависимостей входящих в передаточные функции.

Расчет коэффициентов теплоотдачи определим из выражений [2]:

$$\alpha_{в.пр} = \frac{\alpha_{в0}}{1 + \alpha_{в0}\sigma \frac{d_2}{2\lambda_{ст}} \ln \xi}; \quad \alpha_w = \frac{\alpha_{w0}}{1 + (1 - \sigma) \frac{\alpha_{w0} d_1}{2\lambda_{ст}} \ln \xi}, \quad (24)$$

где d_1 и d_2 - внутренний и наружный диаметры трубы, $\xi = d_1/d_2$;

$\lambda_{ст}$ - коэффициент теплопроводности стенки;

$$\sigma = \frac{1}{\ln \xi} \left(\frac{\xi^2}{\xi^2 - 1} \ln \xi + \frac{1}{4\xi^2} - 0,75 \right) \frac{\xi^2}{\xi^2 - 1} - \text{коэффициент определяю-}$$

щий долю сопротивления теплопроводности, отнесенную к внутренней границе;

$\alpha_{\theta_0}, \alpha_{w_0}$ - коэффициенты теплоотдачи определяемые по известным выражениям в зависимости от параметров сред при конвективном теплообмене.

Коэффициенты $(\partial \alpha_{\text{в.пр.}} / \partial G_{\text{в}})_0$ и $(\partial \alpha_w / \partial G_w)_0$ находим из выражений

$$\left(\frac{\partial \alpha_w}{\partial G_w} \right)_0 = \frac{n \alpha_{w_0}}{G_{w_0}} \text{ и } \left(\frac{\partial \alpha_{\text{в.пр.}}}{\partial G_{\text{в}}} \right)_0 = \frac{m \alpha_{\text{в.пр.}}}{G_{\theta_0}}, \quad (25)$$

где n и m - показатели степени в коэффициентах теплоотдачи от расходов сред.

Производную по пространственной координате в установившемся режиме $(\partial \theta_w / \partial \bar{x})_0$ найдем из выражения

$$\left(\frac{\partial \theta_w}{\partial \bar{x}} \right)_0 = \frac{1}{a_1} (\theta_{\text{ст}} - \theta_w)_0, \quad (26)$$

где

$$\theta_{w_0} = \left[\left(\frac{1}{C_2} - \text{в}_2 \right) (\rho / C_2^2) \right] e^{-C(0)} \theta_{\text{вн}0}. \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \theta_{\text{см}0} = & \frac{1}{1 + \rho a + c_1} \left\{ \theta_{\text{вн}0} + \frac{1}{2} [\bar{C}_1(0) - \bar{C}(0)] e^{-\bar{C}(0)} \theta_{\text{вн}0} \right\} + \\ & + \rho \left\{ d_{\text{н}0} + \frac{1}{2} [\bar{C}_4(0) - \bar{C}(0)] e^{-\bar{C}(0)} d_{\text{н}0} \right\} - \\ & - C_1 \left\{ \left[(1/C_2 - \text{в}_2)(\rho / C_2 - d_2) + \rho / C_2^2 \right] e^{-\bar{C}(0)} \theta_{\text{вн}0} \right\} - \rho \text{в}. \end{aligned} \quad (28)$$

Параметры $(\theta_{\text{ст}} - \theta_w)_0$ и $(a \theta_{\text{ст}} + \text{в}_0)_0$ находим подставляя выражения (27 и 28), а $(\theta_{\text{в}} + \theta_{\text{вн}})_0$ и $(d + d_{\text{н}})_0$ найдем из следующих зависимостей:

$$(\theta_{\text{в}} + \theta_{\text{вн}})_0 = 2\theta_{\text{вн}0} + \frac{1}{2} \left[(\bar{C}_1(0) - \bar{C}(0)) e^{-\bar{C}(0)} \theta_{\text{вн}0} \right]; \quad (29)$$

$$(d + d_{\text{н}})_0 = 2d_{\text{н}0} + \frac{1}{2} \left[(\bar{C}_4(0) - \bar{C}(0)) e^{-\bar{C}(0)} d_{\text{н}0} \right], \quad (30)$$

где

$$\bar{C}_4 = \frac{E_6(0)}{\left[\left(\frac{1}{C_2} - v_2 \right) (d_2 - \rho/2) + \rho/C_2^2 \right] a_1};$$
$$\bar{C}_1 = \frac{\left(v_2 - \frac{1}{c_2} \right) (\rho/C_2 - d_2) (1 - C_1/C_2) + \rho/C_2^2 \left(1 - \frac{C_1}{C_2} \right) + E_1(0)}{[(v_2 - 1/C_2)(\rho/C_2 - d_2) + \rho/C_2^2] a_1}.$$

Идентифицированные передаточные функции являются математическим аппаратом, который дает возможность разработать требуемые системы регулирования температуры надувочного воздуха, используя аналитические методы анализа и синтеза систем.

Передаточные функции могут использоваться для моделирования процессов влияния температуры надувочного воздуха на работу двигателя при изменении условий окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колпакчи Э.М., Коханский А.И. Использование двухконтурного охладителя наддува для уменьшения теплонапряженности дизелей в условиях мелководья //Судовые энергетические установки: науч. техн. сб. - 2005. - Вып. 14. – Одесса: ОНМА. - С. 11 - 20.
2. Чумак И.Г., Коханский А.И. Динамические режимы работы холодильных установок и аппаратов. - М.: Машиностроение. - 1978. - 190 с.
3. Heideman P.A., Huckaba C.E., Eisen F.S., Weissman L.J, Gallating G.M. Dynamics of convection heat exchangers //Can. I. Chem. Eng. - 1971. - №21. - P. 147 - 153.
4. Явнель Б.К. Исследование коэффициентов тепло- и массообмена произвольно обтекаемой пластины при инееобразовании. //Холодильная техника. - 1968. - № 12. - С. 13 - 17.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ
АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ
ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

В современных судовых асинхронных электроприводах используются различные преобразователи частоты (ПЧ), устройства плавного пуска (УПП) и системы регулирования напряжения (РН). Такие устройства должны обладать высокой надежностью. В связи с этим наиболее часто применяются простые конструкции с ограниченными функционально-сервисными возможностями. Например, в ряде ЧП и УПП ф. Lenze, ф. Веспер и множестве других отсутствуют встроенные алгоритмы идентификации параметров асинхронного двигателя (АД). Для таких устройств необходим непосредственный ввод во встроенную память основных параметров АД, в том числе и параметров схемы замещения (СЗ) фазы АД.

Эксплуатационные характеристики асинхронного двигателя существенно зависят от всех введенных вручную параметров. Даже незначительные отклонения введенных параметров приводят к уменьшению диапазона регулирования скорости, иногда – к повышенному нагреву АД. Можно подчеркнуть и еще один важный факт: во всех без исключения ПЧ с автоматическим определением параметров АД встроенный алгоритм идентификации параметров закрыт для наладчика. Более того, у различных производителей этот алгоритм различен.

Параметры СЗ обычно рассчитываются на основе Т-образной схемы замещения и ее упрощенной, Г-образной (рис. 1) [1]. На рис. 1, б обозначено $Z_{\mu} = R_{\mu} + jX_{\mu}$ и $Z_1 = R_1 + jX_{1\sigma}$. Векторная диаграмма, соответствующая рис. 1, а, приведена на рис. 2.

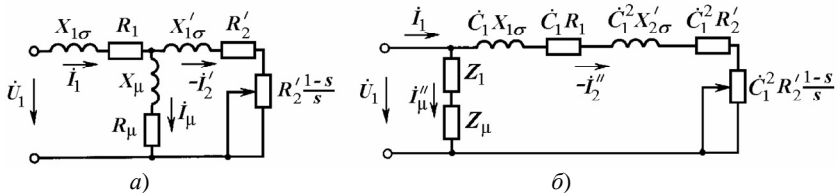


Рис. 1. Т- и Г-образные схемы замещения асинхронного двигателя

На рис. 2 с целью удобочитаемости приведенной векторной диаграммы, не выдержаны имеющие место в действительности масштабные соотношения между модулями напряжений, модулями токов и углами между ними.

Параметры СЗ могут быть найдены экспериментально [2, 3]: на основе опыта холостого хода - при отсутствии нагрузки на валу и различных значениях напряжения; опыта короткого замыкания - при обеспечении номинального, и более чем номинального, тока статора. Такие эксперименты требуют специального измерительного, регулирующего и иногда нагрузочного оборудования, а проведение экспериментов и измерений непосредственно на месте установки двигателя с присоединенным к нему механизмом часто невозможно. Известны методы идентификации параметров СЗ [2, 4] на основе решения уравнений состояния асинхронной машины. В [2, 3, 5] описаны специальные методики определения параметров, ряд авторов идентифицирует параметры СЗ, применяя итерационные методы [6, 7]. Указанные расчеты сложны для использования, поскольку требуют применения особых методик, знания обмоточных данных, размеров активной зоны и другой, малодоступной для решения прикладных задач информации о АД, и не всегда дают результаты, поддающиеся верификации.

Учитывая, что задачи моделирования, исследования динамических и статических свойств АД, входящих в состав разнообразных технологических объектов, также основаны на применении СЗ фазы АД, становится актуальным решение указанных идентификационных задач, особенно в условиях ограниченной информации о параметрах АД.

Таким образом, необходимо идентифицировать следующие параметры СЗ: R_1 , R_μ и R'_2 – активное сопротивление фазы статора, ветви намагничивания и активное, приведенное к статору, сопротивление ротора; $X_{1\sigma}$, $X'_{2\sigma}$ и X_μ – индуктивные сопротивления рассеяния фаз статора, ротора и ветви намагничивания.

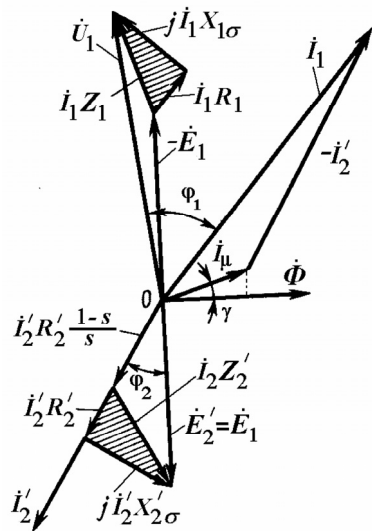


Рис. 2. Векторная диаграмма для Т-образной схемы замещения фазы АД

В настоящем исследовании параметры упрощенной СЗ АД определяются из ограниченных номинальных паспортных данных, характеризующих только основные свойства электродвигателя на рабочем участке механической характеристики, т.е. в режимах скольжений ротора меньших критических $s < s_k$. Учет уменьшения индуктивных сопротивлений рассеяния $X_{1\sigma}$ и $X'_{2\sigma}$, а также учет увеличения активного сопротивления R'_2 , связанных с насыщением путей рассеяния и с вытеснением тока в пазах ротора в режимах больших скольжений (пуско-тормозные режимы при $s > s_k$), должен вводиться отдельно и в данной постановке задачи не рассматривается.

В [1, 6] показано, что комплекс \dot{C} для АД мощностью 10 кВт и более можно заменить модулем $C \in 1,02 \dots 1,05$. После анализа публикаций [1, 9] и проведения ряда экспериментов установлено, что в большинстве предназначенных для практических приложений методик идентификации параметров СЗ, в том числе и в системах автоматической идентификации параметров СЗ в современных частотно-регулируемых электроприводах, часто используются упрощенные аналитические выражения. Например, для расчета тока холостого хода и критического скольжения s_k обычно принимается, что $C \approx 1$. В этом случае токи $I''_2 \approx I'_2$ и $I''_{\mu} \approx I_{\mu}$, а значением R_{μ} пренебрегают, поскольку обычно $R_{\mu} \ll X_{\mu}$ (см. рис. 2).

Каждый поставляемый производителем АД имеет соответствующие отраслевым стандартам характеристики и параметры, которые должны приводиться в каталогах. Но эти данные доступны редко и очень часто имеется возможность идентифицировать параметры АД только из минимума информации о двигателе, либо имея только ограниченные сведения, приведенные на табличке корпуса АД. Эти сведения можно представить следующим образом.

Действующие значения фазного напряжения $U_{1н}$ и тока статора $I_{1н}$, номинальная мощность $P_{2н}$, коэффициент полезного действия $\eta_{н}$, коэффициент мощности $\cos \varphi_{н}$, номинальная частота вращения $n_{н}$ (номинальное скольжение $s_{н}$), кратность максимального момента $k_{\max} = M_{\max}/M_{н}$. Кроме того, иногда известны: кратности пускового момента $k_{п}$ и пускового тока k_i , а также момент инерции J ротора двигателя.

Определим параметры СЗ АД на основе метода аналогий, по заранее заданному для номинального режима распределению потерь мощности в обмотках статора $\Delta P_{1н}$ и ротора $\Delta P_{2н}$. Применение метода аналогий с последующим распределением потерь мощности возможно только в том случае, если для известной (аналогичной) серии асин-

хронных двигателей имеется экспериментально подтвержденный опыт идентификации параметров СЗ или имеются подробные каталожные сведения [10].

Рассмотрим последовательность расчета параметров СЗ для широко применяющихся АД в малых холодильно-компрессорных, насосных и вентиляторных установках серий 4А и АИР для диапазона мощностей 0,09 ... 15 кВт.

Суммарные потери мощности на номинальном режиме работы АД

$$\Delta P_{\Sigma H} = P_{2H} / \eta_H - P_{2H}.$$

Номинальные потери в роторной цепи

$$\Delta P_{2H} = P_{2H} \cdot s_H / (1 - s_H).$$

Принимаем, что номинальные потери в цепи статора

$$\Delta P_{1H} = k_1 \cdot \Delta P_{\Sigma H} - \Delta P_{2H},$$

где k_1 – коэффициент, определяемый на основе экспертной оценки АД (для рассматриваемых АД серий 4А и АИР следует принимать $k_1 \in 0,68 \dots 0,75$).

Сопrotивление фазы статора

$$R_1 = \Delta P_{1H} / (3 \cdot I_{1H}^2).$$

Приведенное к статору сопротивление ротора:

$$R'_2 = \Delta P_{2H} / (3 \cdot I'^2_{2H}),$$

где I'_{2H} – номинальный приведенный ток ротора. Значение тока I'_{2H} для режима малых скольжений (см. рис. 2), в том числе для $s = s_H$, считаем равным активной составляющей номинального тока статора I_{1a_H} за вычетом тока ΔI_{ct_H} , идущего на покрытие номинальных потерь в стали ΔP_{ct_H} . Принимаем $\Delta P_{ct_H} = k_2 \cdot \Delta P_{\Sigma H}$, где $k_2 \in 0,22 \dots 0,28$ – коэффициент, определяемый на основе экспертной оценки АД. С учетом изложенного, номинальный приведенный ток ротора

$$I'_{2H} = I_{1H} \cdot \cos \varphi_H - \Delta P_{ct_H} / (3 \cdot U_{1H}).$$

Индуктивное сопротивление цепи взаимоиנדукции определяется по упрощенной формуле:

$$X_\mu = U_{1H} / (k_3 \cdot I_{1H} \cdot \sin \varphi_H),$$

где $k_3 \in 0,77 \dots 84$ - коэффициент, определяемый на основе экспертной оценки АД. Следует отметить, что упрощенная оценка X_μ не всегда однозначна. Поэтому, что особенно важно для других серий АД, следует воспользоваться иными формулами. Предлагаются выражения:

$$I_{\mu} = I_{1H} \cdot \left(\sin \varphi_H - \frac{s_H \cdot \cos \varphi_H}{s_K} \cdot \eta_H \right)$$

при $\eta_H > \cos \varphi_H$, и

$$I_{\mu} = I_{1H} \cdot \left(\sin \varphi_H - \frac{s_H \cdot \cos \varphi_H}{s_K} - \eta_H + \cos \varphi_H \right)$$

при $\eta_H \leq \cos \varphi_H$.

Индуктивное сопротивление короткого замыкания определяется с помощью критического скольжения s_K

$$X_K = \sqrt{(R'_2/s_K)^2 - R_1^2}$$

Критическое скольжение

$$s_K = \frac{s_H \cdot (k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 + 2 \cdot s_H \cdot a \cdot (k_{\max} - 1) - 1})}{1 - 2 \cdot a \cdot s_H \cdot (k_{\max} - 1)},$$

где $a = R_1 / R'_2$.

Для определения критического скольжения асинхронных двигателей мощностью более 7,5 кВт можно использовать упрощенную формулу [1, 9]

$$s_K = s_H \cdot \left(k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - 1} \right).$$

Индуктивные сопротивления рассеяния обмоток статора и приведенной обмотки ротора:

$$X_{1\sigma} = k_4 \cdot X_K;$$

$$X'_{2\sigma} = (1 - k_4) \cdot X_K,$$

где $k_4 \in 0,38 \dots 0,45$ - коэффициент, определяемый на основе экспертной оценки АД.

При построении механических характеристик электромагнитный момент асинхронного двигателя [1, 9]

$$M = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[(R_1 + R'_2/s)^2 + (X_K \cdot f / f_H)^2 \right]},$$

где ω_0 - угловая скорость электромагнитного поля статора ($\omega_0 = 2\pi \cdot f / p_n$, рад/с; p_n - число пар полюсов двигателя); f и f_H - текущее и номинальное для АД значения частоты питающего напряжения, Гц.

Адекватность идентифицированных параметров СЗ проверялась сравнением с приведенными в [10] каталожными данными СЗ. На-

пример, в табл. 1, для некоторых двигателей серии 4А дано сравнение каталожных и рассчитанных по приведенной выше методике значений параметров СЗ:

4А56А2 с паспортными данными 3×220 В, $\eta_n = 0,66$, $\cos \varphi_n = 0,76$, $I_{1n} = 0,54$ А, $P_{2n} = 180$ Вт, $\omega_n = 288,9$ рад/с;

4А80А4 с паспортными данными 3×220 В, $\eta_n = 0,75$, $\cos \varphi_n = 0,81$, $I_{1n} = 2,74$ А, $P_{2n} = 1,1$ кВт, $\omega_n = 146,5$ рад/с;

4А132S4 с паспортными данными 3×220 В, $\eta_n = 0,875$, $\cos \varphi_n = 0,86$, $I_{1n} = 15,1$ А, $P_{2n} = 7,5$ кВт, $\omega_n = 152,3$ рад/с.

Параметры СЗ рассчитаны более чем для пятидесяти двигателей серии 4А с синхронными частотами вращения 1000 , 1500 и 3000 мин⁻¹ мощностью от $0,06$ до $15,0$ кВт. Сравнение каталожных данных с расчетными по предложенной методике дает относительные погрешности, не превышающие для машин мощностью:

до 1 кВт – 17 % для сопротивлений рассеяния и активных сопротивлений и погрешность не превышающую 18 %, для ветви намагничивания;

от 1 кВт до $15,0$ кВт – 13 % для сопротивлений рассеяния и активных сопротивлений и погрешность, не превышающую 15 %, для ветви намагничивания.

Очевидно, что такой разброс относительных погрешностей связан не только с представленной методологией идентификации параметров СЗ по ограниченному исходным данным, но и с особенностями, как проектирования, так и изготовления АД различных габаритов.

Рассчитанные параметры СЗ предлагается уточнять с помощью модели АД, записанной в координатах x - y . Теория такой модели АД подробно описана в [9], а ее реализация имеется во всех версиях среды моделирования *Matlab* [7]. Уточнение идентифицированных параметров СЗ АД осуществляется путем вариаций, в основном X_μ , R_1 и R'_2 , для рабочей точки, обеспечивающей номинальные условия функционирования АД.

Так, для АД 4А56А2 при параметрах СЗ $R_1 = 66$ Ом, $R'_2 = 44$ Ом, $X_1 = 22$ Ом, $X'_2 = 27$ Ом и $X_\mu = 590$ Ом для номинальной статической нагрузки $M_n = 0,62$ Нм и принятой мощности потерь в стали $\Delta p_{ст.н} = 23$ Вт обеспечиваются значения: $\omega = 288,9$ рад/с, $I_1 = 0,51$ А, $\cos \varphi = 0,787$ и $\eta = 0,666$.

Для АД 4А80А4 при параметрах СЗ $R_1 = 9,2$ Ом, $R'_2 = 6,2$ Ом, $X_1 = 6,0$ Ом, $X'_2 = 8,9$ Ом и $X_\mu = 140$ Ом для номинальной статической на-

грузки $M_n = 7,51$ Нм и принятой мощности потерь в стали $\Delta p_{стн} = 93$ Вт обеспечиваются значения: $\omega = 146,5$ рад/с, $I_1 = 2,72$ А, $\cos \varphi = 0,813$ и $\eta = 0,744$.

Таблица 1

Сравнение параметров СЗ для различных габаритов АД

Параметр	Каталожное значение параметров АД, Ом			Идентифицированное значение параметров АД, Ом		
	4А56А2	4А80А4	4А132S4	4А56А2	4А80А4	4А132S4
R_1	68,87	9,22	0,68	60	8,2	0,78
R'_2	38,08	5,1	0,46	42	5,9	0,49
X_1	21,07	6,0	1,21	25	6,6	1,39
X'_2	27,14	8,83	1,79	32	8,4	1,9
X_μ	810	136	43,7	760	155	39

Для АД 4А132S4 при параметрах СЗ $R_1 = 0,7$ Ом, $R'_2 = 0,46$ Ом, $X_1 = 1,8$ Ом, $X'_2 = 2,0$ Ом и $X_\mu = 41$ Ом для номинальной статической нагрузки $M_n = 49,2$ Нм и принятой мощности потерь в стали $\Delta p_{стн} = 270$ Вт обеспечиваются значения: $\omega = 152,3$ рад/с, $I_1 = 14,91$ А, $\cos \varphi = 0,858$ и $\eta = 0,885$.

Как видно из результатов уточнения параметров СЗ АД, практически все установившиеся значения переменных близки к номинальным, что позволяет проводить не только модельные исследования систем управления АД, гарантирующие получение результатов, адекватных экспериментальным, но и вводить достоверные параметры в ПЧ, УПП и РН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электрические машины и микромашины: учеб. для электротехн. спец. вузов / Д.Э. Брускин, А.Е. Зорохович, В.С. Хвостов. – М.: Высш. шк., 1990. - 528 с.
2. Рогозин Г.Г. Определение электромагнитных параметров машин переменного тока: новые экспериментальные методы. - К.: Техника, 1992. -168 с.
3. Родькин Д.И., Черный А.П., Здор И.Е. Задачи и технические средства для диагностики параметров асинхронных двигателей //

Вісник ХДПУ. – 1999. – №61. – С. 67 - 73.

4. Бешта О.С., Балахонцев О.В., Худолій С.С. Ідентифікація опорів обмоток асинхронного двигуна в робочому режимі за допомогою універсальної дискретної моделі струму статора // Вісник КДПУ. – 2002. – №1(12). – С. 295 - 297.

5. Чекунов К.А. Судовые электроприводы и электродвижение судов. – Л.: Судостроение, 1976. - 376 с.

6. Фираго Б.И., Павлячик Л.Б. Регулируемые электроприводы переменного тока. – Минск: Техноперспектива, 2006. - 363 с.

7. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: учеб. пособие. – СПб.: КОРОНА принт, 2001. -320 с.

8. Мощинский Ю.А., Беспалов В.Я., Кирякин А.А. Определение параметров схемы замещения асинхронной машины по каталожным данным // Электричество. – 1998. – №4. – С. 38 - 42.

9. Ключев В.И. Теория электропривода: учеб. для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. - 560 с.

10. Асинхронные двигатели серии 4А: справочник / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. – М.: Энергоатомиздат, 1982. - 504 с.

ДИСКРЕТНЫЕ В-СПЛАЙН ФИЛЬТРЫ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

В задачах мониторинга рабочего процесса судовых дизелей целесообразно применение систем цифровой обработки дискретных сигналов, в которых необходимо подавлять шумы, так как они увеличивают погрешность определения основных параметров рабочего процесса. В случае применения методов алгоритмической синхронизации данных [1] шумы, на участке сжатия могут увеличить фазовую погрешность синхронизации, что существенно влияет на точность расчета среднего индикаторного давления и индикаторной мощности цилиндра.

В системах разделенного мониторинга рабочего процесса [2], где применяется метод накопления и предварительного анализа данных реального времени, актуальной проблемой, наряду с подавлением шумов, является компрессия данных. Системы разделенного мониторинга выполнены в виде автономных устройств с ограниченным объемом памяти. Требуемый для корректного описания рабочего процесса в цилиндре объем данных достаточно велик, если учесть шаг дискретизации не более $0,5^\circ$ ПКВ, двухбайтовый размер одной записи, два информационных канала и количество циклов для осреднения 7 ... 20. При большом объеме данных по одному цилиндру и требовании иметь резерв памяти для индицирования максимального числа цилиндров в течение одного сеанса, вопрос компрессии исходных данных, безусловно, актуален.

Для подавления шумов и компрессии исходных данных мониторинга рабочего процесса предлагается использовать В-сплайн фильтры.

Сплайн-функции (далее просто сплайны) являются одним из вариантов описания сигнала как в непрерывной, так и в дискретной областях. Аппроксимация сплайнами в базисной или В-форме, которая является альтернативой классической теоремы о дискретизации Котельникова [3, 4].

Используем понятие функционального пространства полиномиальных сплайнов степени S_1^n , где верхний индекс n соответствует степени сплайн-функции, а нижний – расстоянию между узлами аппроксимации.

Пусть некоторая функция $g^n(x) = S_1^n$, тогда:

$$S_1^n = \left\{ g^n(x) = \sum_{k \in Z} c(k) \beta^n(x-k), (x \in R, c \in l_2) \right\}, \quad (1)$$

где $\beta(x)$ - центрированный базисный или B -сплайн степени n ; $c(k)$ - B -сплайн коэффициенты функции $g^n(x)$.

Фактически (1) дает однозначное представление функции $g^n(x)$ в дискретной области в виде последовательности коэффициентов $c \in l_2$ [4].

В первую очередь аппарат сплайн-приближений используется в задачах интерполяции функций, однако, кроме этого, сплайны с успехом применяют для подавления шумов (сглаживающие сплайны), для подавления шумов и оптимальной интерполяции функций, не являющихся сплайнами (оптимальные сплайны), а также компрессии данных, представленных в дискретной форме [5].

Фундаментальная проблема сплайн-интерполяции функций заключается в точном определении B -сплайн коэффициентов в (1) [6]. Для сплайнов нулевой степени (кусочно-постоянная интерполяция) и первой степени (кусочно-линейная аппроксимация) решение тривиально – B -сплайн коэффициенты совпадают с отсчетными значениями функции $c(k) = g^n(k), k \in Z$. Для сплайнов высших степеней ситуация становится более сложной. Традиционным подходом в задаче отыскания B -сплайн коэффициентов является использование арсенала численных методов для решения систем линейных алгебраических уравнений [6,7].

Однако, в начале 1990-х г. был найден другой способ решения этой задачи – применение техники цифровой фильтрации [5, 8].

Дискретный B -сплайн b_m^n , может быть получен дискретизацией непрерывного B -сплайна степени n , носитель которого растянут в целое число m раз:

$$b_m^n(k) = \beta^n(x/m) \Big|_{x=k}, \quad k \in Z \quad (2)$$

и его Z -преобразование [3]

$$B_m^n(z) = \sum_{k \in Z} b_m^n(k) \cdot z^{-k}. \quad (3)$$

Аналогично (1), для дискретного входного сигнала $s(k)$ требуется найти коэффициенты c такие, чтобы:

$$\forall k \in Z \quad \sum_{l \in Z} c(l) \cdot \beta^n(x-l) \Big|_{x=k} = s(k). \quad (4)$$

Выражение (4) можно описать в виде дискретной свертки

$$s(k) = (b_1^n * c)(k), \quad (5)$$

а решение (5) относительно коэффициентов

$$c(k) = \left((b_1^n)^{-1} * s \right)(k), \quad (6)$$

где $(b_1^n)^{-1}$ - оператор, выполняющий прямое B -сплайн преобразование, который в Z -области описывается как

$$(b_1^n)^{-1}(k) \xleftrightarrow{Z} \frac{1}{B_1^n(z)}. \quad (7)$$

Выражения (3) и (7) есть ни что иное, как передаточные функции цифровых B -сплайн фильтров, выполняющих прямое (7) и обратное (3) B -сплайн преобразование. Выражение (7) является цифровым фильтром с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ). Устойчивость таких фильтров доказана в [9], а вычисление B -сплайн коэффициентов проще и быстрее, чем любым другим численным методом. Выражение (3) описывает цифровой фильтр с конечной импульсной характеристикой, безусловно устойчивый.

Если входной сигнал подвергается воздействию шума, и его отсчеты представлены неточными значениями, для восстановления сигнала применяют сглаживающие сплайны [5, 6]. Для набора дискретных значений сигнала $\{s(k)\}$, сглаживающий сплайн $g^n(x)$ степени $2r-1$ определяется как функция, которая минимизирует функционал

$$\varepsilon_S^2 = \sum_{k \in Z} (s(k) - g^n(k))^2 + \lambda \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\frac{\partial^r g^n(x)}{\partial x^r} \right)^2 dx, \quad (8)$$

где λ - некоторый вещественный положительный коэффициент. Этот метод предполагает компромисс между желанием аппроксимировать входной сигнал как можно ближе к имеющимся отсчетным значениям, и требованием, чтобы функция была сглажена. Последнее требование зависит от значения квадрата интеграла ее r -ой производной, умноженное на коэффициент λ .

Реализация данного метода с помощью цифровых B -сплайн фильтров приведена на рис. 1.

К недостатком данного метода подавления шумов можно отнести: эмпирический выбор параметра λ ; сложность реализации (полноса передаточной функции $S_\lambda^n(z)$ [5] для $n > 4$ аналитически найти невозможно); потерю информации об особых точках функции при

больших значениях параметра λ .

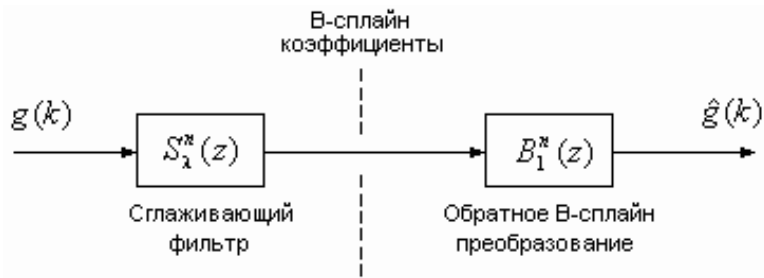


Рис. 1. Схема сглаживающей B-сплайн фильтрации: $g(k)$ - дискретный входной сигнал; $S_\lambda^n(z)$ - передаточная функция сглаживающего B-сплайн фильтра степени n ; $B_1^n(z)$ - передаточная функция фильтра, выполняющего обратное B-сплайн преобразование; $\hat{g}(k)$ - дискретный выходной сигнал

Этих недостатков лишена оптимальная в смысле наименьших квадратов сплайн-фильтрация сигнала. Кроме подавления шумов, и наилучшего приближения произвольных входных сигналов, система на базе оптимальных цифровых B-сплайн фильтров интересна с точки зрения компрессии данных. Структурная схема оптимальной B-сплайн фильтрации представлена на рис. 2.

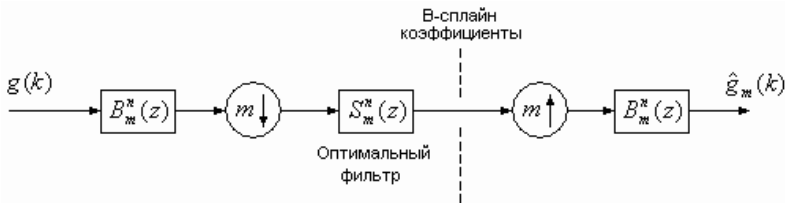


Рис. 2. Схема оптимальной B-сплайн фильтрации: $g(k)$ - дискретный входной сигнал; $m \downarrow, m \uparrow$ - оператор понижения/повышения частоты дискретизации в m раз; $B_m^n(z)$ - передаточная функция фильтра, выполняющего обратное B-сплайн преобразование; $S_m^n(z)$ - передаточная функция оптимального B-сплайн фильтра; $\hat{g}_m(k)$ - выходной дискретный сигнал

Согласно рис. 2 алгоритм вычисления оптимальных B -сплайн коэффициентов входного сигнала состоит из трех этапов: предварительной фильтрации отсчетов входного сигнала фильтром с передаточной функцией $B_m^n(z)$; уменьшение частоты дискретизации в m раз, а значит и уменьшение количества B -сплайн коэффициентов во столько же раз; последующей фильтрации фильтром с передаточной функцией $S_m^n(z)$.

Компрессию данных оценим с учетом представления чисел в памяти устройства цифровой обработки сигналов. Данные, поступающие с аналогово-цифрового преобразователя, разрядность которого составляет 12 - 16 бит, является целыми числами. B -сплайн коэффициенты могут быть представлены 4-х байтовыми вещественными числами, что соответствует 7 - 8 значащим цифрам. Поэтому коэффициент сжатия информации в оптимальных B -сплайн системах мы будем оценивать как отношения объема памяти, выделяемой для хранения исходных данных, к объему памяти, в которую записываются B -сплайн коэффициенты (табл.).

Таблица

Оценка сжатия информации в оптимальных B -сплайн системах
с $m = \overline{2,4}$

Кол-во входных отсчетов	Объем памяти для хранения, байт	m	Кол-во B -сплайн коэффициентов	Объем памяти для хранения B -сплайн коэффициентов, байт	Коэффициент сжатия информации K
1024	1024x2	2	512	512x4	2048/2048=1
		3	341	341x4	2048/1364≈1,5
		4	256	256x4	2048/1024=2

Рассмотрим возможность подавления шумов в системах, построенных на основе оптимальных B -сплайн фильтров 3-ей степени, с изменением частоты дискретизации в 2 и 3 раза ($K=1$ и 1,5 соответственно). Для этого, к входному сигналу $s(k)$ добавим дискретный белый "гауссовский" шум $n(k)$:

$$s_n(k) = s(k) + n(k), k = \overline{1, N}, \quad (9)$$

где N – количество входных отсчетов.

Суммарная погрешность измерительного канала системы мониторинга в среднем составляет до 2 %. Исходя из этого, диапазон значе-

ний аддитивного белый шума составляет $\pm 2\%$ от $s_{\max}(k)$.

Относительную погрешность восстановления исходного сигнала оценим по критерию среднеквадратических отклонений от исходных значений [10]

$$\delta_{rec} = \left(\frac{\sum_{k=1}^N |s_{rec}(k) - s(k)|^2}{\sum_{k=1}^N |s(k)|^2} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (10)$$

На рис. 3 приведены исходный (а), "зашумленный" (б) и восстановленный (в) сигналы для системы с $m=2$, а на рис. 4 приведен восстановленный сигнал для системы с $m=3$.

Оценка восстановления сигнала в B -сплайн системах третьей степени следующая: при $m=2$ относительная погрешность восстановления сигнала $\delta_{rec} = 2,4\%$, для $m=3$ относительная погрешность меньше: $\delta_{rec} = 1,7\%$.

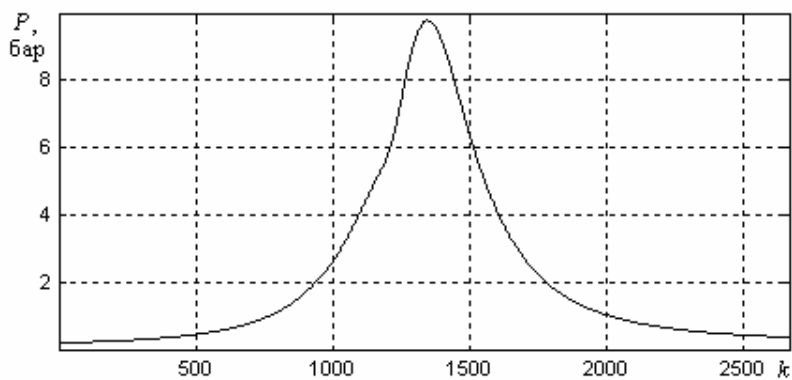
По результатам исследования можно сделать следующие *выводы*.

Применение оптимальных B -сплайн систем обеспечивает приемлемую для практического использования фильтрацию шумов, присутствующих в сигналах при мониторинге рабочего процесса судовых дизелей.

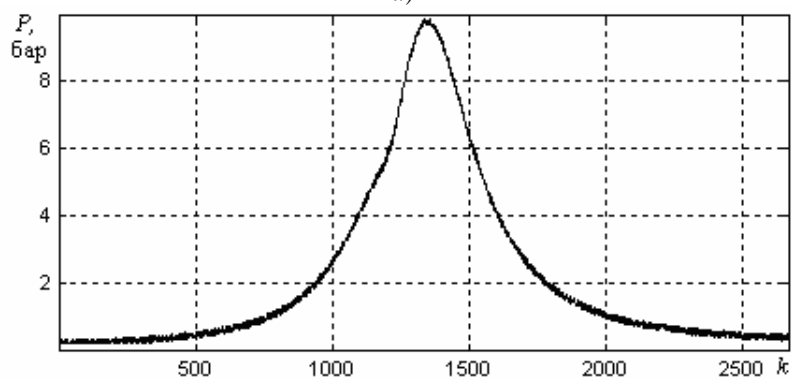
Анализ компрессии данных в оптимальных B -сплайн системах показывает, что при уменьшении числа B -сплайн коэффициентов в 3 раза ($m=3$), объем памяти необходимый для хранения информации, уменьшается в 1,5 раза, при $m=4$ – объем памяти уменьшается в 2 раза.

В результате моделирования данных мониторинга рабочего процесса видно, что наряду с увеличением компрессии данных уменьшается погрешность восстановления исходного сигнала для случая $m=3$.

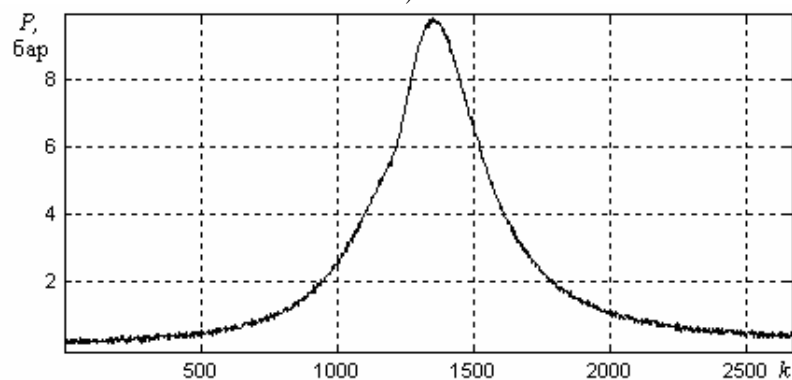
В качестве дальнейшего исследования методов цифровой обработки данных мониторинга рабочего процесса целесообразно провести сравнительный анализ B -сплайн фильтров, фильтров Кальмана и цифровых фильтров на базе преобразования Фурье. В качестве оценки точности определения основных параметров рабочего процесса после цифровой обработки сигнала необходимо произвести анализ погрешности определения среднего индикаторного давления и момента начала самовоспламенения топлива P_c' - контрольной точки, точность определения которой влияет на качество алгоритмической синхронизации.



a)



б)



в)

Рис. 3. Оптимальная B -сплайн фильтрации третьей степени с $m=2$

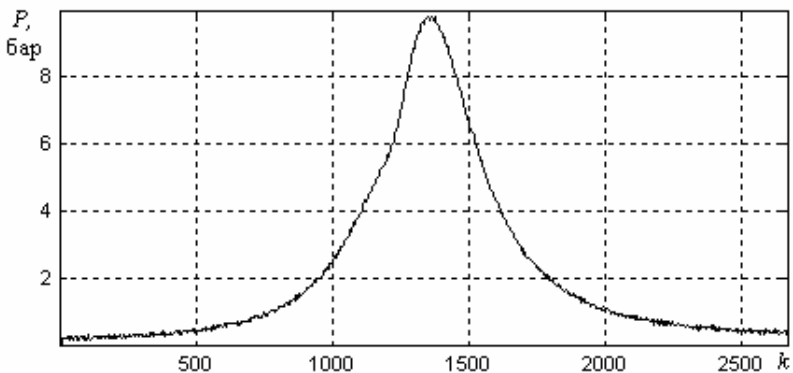


Рис. 4. Восстановление сигнала в системе оптимальной B -сплайн фильтрации третьей степени с $m=3$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивановский В.Г., Варбанец Р.А. Система разделенного мониторинга D3.2H, определение параметров рабочего процесса СДВС МАК M25 // Збірник наукових праць. ВМІ ім. П.С. Нахімова. - 2005. - Вип. 1(7). – Севастополь. - С. 145 - 153.
2. Варбанец Р.А. Синхронизация данных при индизировании СДВС // Збірник наукових праць. ВМІ ім. П.С. Нахімова. - 2005. - Вип. 2(8). – Севастополь. - С. 255 - 259.
3. Куприянов М.С., Матюшкин Б.Д. Цифровая обработка сигналов. Санкт-Петербург: Политехника, 2000. - 592 с.
4. Unser M. Sampling – 50 year after Shannon // Proc. of the IEEE. - 2000. - Vol. 88. - №4. - P. 569 - 586.
5. Unser M., Aldroubi A., Eden M. B-Spline Signal Processing: part I – Theory // IEEE Transaction Signal Processing. - 1993. - Vol. 41 – February. - P. 821 - 833.
6. Макаров В.Л., Хлобыстов В.В. Сплайн-аппроксимация функций: учеб. пособие для студентов ВУЗов. - М.: Высшая школа, 1983. - 80 с.
7. Алберг Дж., Нильсон Э., Уолш Дж. Теория сплайнов и ее применение. - М.: Мир, 1972. – 323 с.
8. Unser M. Splines: A perfect fit for signal and image processing // IEEE Signal Processing Magazine. - 1999. - Vol. 16. - №6. - P. 22 - 38.
9. Unser M, Aldroubi A., Eden M. Fast B-Spline transform for continuous image representation and interpolation // IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell. - 1991. - Vol. 13 – Mar. - P. 277 - 285.

10. Gröchenig K, Schwab H. Fast local reconstruction methods for nonuniform sampling in shift invariant spaces // SIMAX. - 2003. - Vol. 24. - Issue 4. - P. 899 - 913.

Никольский В.В., Оженко Е.М., Уранковский И.Г.
ОНМА

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЯЗКОСТИ ТОПЛИВА НА СУДНЕ

В настоящее время на судах широко используются системы автоматического регулирования (САР) вязкости топлива, измеряющие точно коэффициенты динамической вязкости, что не дает представлений о свойствах и поведении тиксотропных жидкостей, к которым принадлежат тяжелые моторные топлива и масла. Кроме того, процессы в измерительных зондах используемых вискозиметров не подобны процессам в триботехнических узлах топливной аппаратуры [1, 2]. А некачественно приготовленная топливная смесь приводит к неисправностям элементов топливной аппаратуры и цилиндропоршневой группы.

Анализ существующих методов и конструкций вискозиметров в составе САР вязкости показал, что не все методы могут быть использованы при определении коэффициента динамической вязкости и определении реологических характеристик тяжелого топлива, являющегося тиксотропной жидкостью. Так, на судах в основном используются вискозиметры, работа которых основана на использовании методов измерения в капилляре, ротационном методе и методе соосных цилиндров [3, 4, 5]. Следует отметить, что постепенно предпочтение производители начинают отдавать методу соосных цилиндров по причине подобия процессов в измерительном зонде вискозиметра и в триботехнических узлах топливной аппаратуры.

В [6, 7] установлено, что характер реологических кривых, по которым определяется коэффициент динамической вязкости, одной и той же жидкости существенно отличается при исследованиях на ротационном вискозиметре и вискозиметре на соосных цилиндрах. Процессы в измерительном зонде соосного вискозиметра идентичны процессам, протекающим в узлах топливной аппаратуры.

На рис. 1 представлена зависимость частоты вращения нереверсивного пьезоэлектрического двигателя (ПЭД) в составе ротационного и соосного вискозиметров. В качестве образцов для испытаний были выбраны жидкости, коэффициент динамической вязкости которых соответствует тяжёлому топливу [7]. На основании чего и было принято решение о включении вискозиметра на соосных цилиндрах в состав САР вязкости топлива.

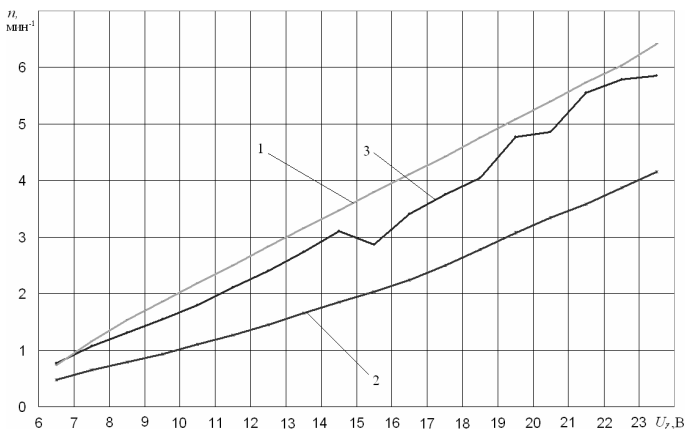


Рис. 1. Зависимость частоты вращения ПЭД от управляющего напряжения при исследовании масла вязкостью 159 ссток: 1 - холостой ход; 2 - метод основных цилиндров; 3 - ротационный метод

В САР в качестве исполнительного механизма большое распространение получили гидравлические и пневматические исполнительные механизмы, которым наряду с преимуществами присущи и недостатки. Основной – это необходимость специальной среды (жидкость или воздух), что вызывает за собой трудности в обслуживании и замене элементов. Также возникают высокие требования и к сигналу (по очистке, содержания других жидкостей или примесей). Главным же недостатком в настоящее время является сложность сопряжения гидравлических и пневматических исполнительных механизмов с вычислительной техникой (микроконтроллером, компьютером), благодаря которому возможна реализация цифровых законов регулирования.

С быстрым развитием прецизионных технологий стали появляться исполнительные механизмы, позволяющие решать задачи значительно более высокого уровня сложности.

Но создание таких систем взаимосвязано с качественным повышением требований к диапазону рабочих частот, точности приводов и, соответственно, исполнительных элементов. Поэтому предложено использовать реверсивный ПЭД [8, 9, 10] в качестве исполнительного механизма САР для управления краном пароподогревателя.

Для оценки влияния используемого метода измерения и используемого типа привода исполнительного механизма на динамику САР вязкости, за основу принята САР вязкости с пневматическим ПИ-регулятором [11].

Расчет оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора осуще-

ствлен тремя методами:

по аналитическим выражениям;

по номограммам;

методом вывода системы в режим автоколебаний.

Используя расчетные параметры настройки построены три переходных процесса, по которым определен наиболее удовлетворяющий предъявляемым требованиям к качеству с временем регулирования 205 с при настроечных параметрах: коэффициенте усиления регулятора $K_p = 0,72$ и времени интегрирования $T_n = 87,7$ с.

Модель САР вязкости топлива, в состав которой входят триботехнический узел, пьезоэлектрический неререверсивный двигатель с пассивным ротором и кривошипно-шатунный механизм, представлена на рис. 2. Триботехнический узел выполнен на основе распылителя форсунки с зазором 10 мкм, в который впрессован штуцер для подачи жидкости [12].

В качестве исполнительного механизма использован вентиль игльчатый запорный проходной, приводом которого является реверсивный ПЭД, жёстко насаженный на вал клапана и прикреплённый к его корпусу (рис. 3).

Однако, ввиду сложности модели и получения переходных процессов необходимы большие временные затраты. Поэтому была разработана упрощенная модель, в которой ПЭД приближённо описан передаточной функцией в виде апериодического звена первого порядка, на основании того, что ПЭД можно представить в виде сервомотора [13, 14] с временем сервомотора $T=0,001\div 0,1$ с.

Для подтверждения возможности описания ПЭД апериодическим звеном первого порядка создан имитационный стенд САР, в котором в качестве исполнительного механизма использован ПЭД, а объектом регулирования является шарик, свободно катящийся по канавке. Положение шарика в канавке является регулируемым параметром. Данный параметр может быть заменен на любой другой. Например, уровень воды в пароводяном барабане, количество оборотов дизель генератора и т.д. А угол наклона канавки будет являться регулирующим воздействием. Вдоль канавки установлены восемь гальванических датчиков положения шарика, сигналы от которых подаются на порты учебного микропроцессорного стенда УМПК-80 (рис. 4).

После обработки информации при помощи стандартных программ для проверки положения шарика ("Опрос двоичного датчика" и "Ожидание события") УМПК-80 вырабатывает управляющий сигнал, который подаётся на ПЭД для изменения угла наклона канавки (регулирующее воздействие).

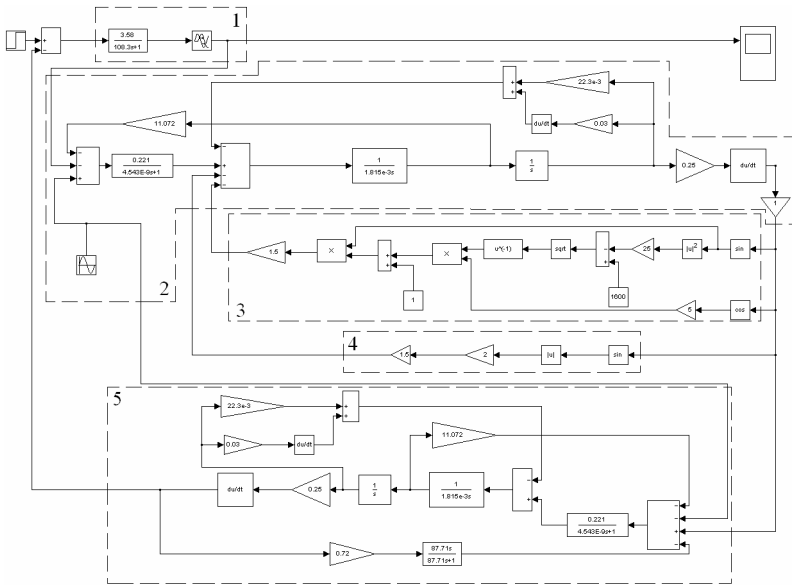


Рис. 2. Модель САР вязкости топлива: 1 - объект управления; 2 - ПЭД; 3 - блок учёта давления топлива и влияния кривошипно-шатунного механизма; 4 - блок учёта силы трения в измерительном зонде; 5 - ПИ-регулятор и исполнительный механизм с пьезоприводом

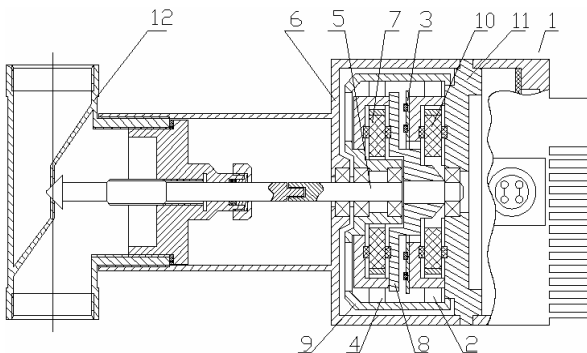


Рис. 3. Исполнительный механизм: 1 - защитная крышка блока питания; 2 - толкатели нижнего осциллятора; 3 - токосъемное устройство; 4 - толкатели верхнего осциллятора; 5 - вал; 6 - корпус; 7 - верхний осциллятор; 8 - подвижное основание; 9 - ротор; 10 - нижний осциллятор; 11 - основание; 12 - вентиль

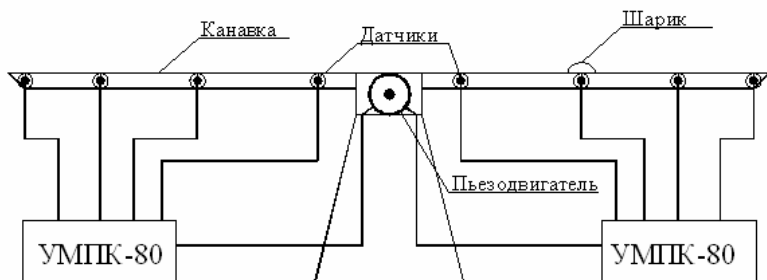


Рис. 4. Внешний вид конструкции имитационного стенда САР

После обработки информации при помощи стандартных программ для проверки положения шарика ("Опрос двоичного датчика" и "Ожидание события") УМК-80 вырабатывает управляющий сигнал, который подается на ПЭД для изменения угла наклона канавки (регулирующее воздействие).

Функциональная схема САР представлена на рис. 5.

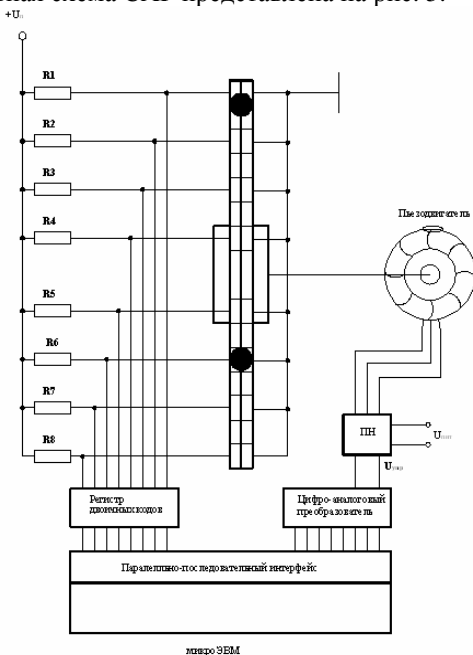


Рис. 5. Функциональная схема САР положения шарика: ПН – преобразователь напряжения

Работа установки заключается в следующем. В начале процесса шарик находится в самом крайнем положении, скорость его равна нулю. Под углом наклона канавки шарик начинает двигаться к следующей точке (датчику), после чего система опять изменяет угол наклона канавки на другой, изменяя время перемещения к следующей точке и т.д. Для определения времени, используемого для принятия решения, необходимо определить силы, действующие на шарик на наклонной плоскости. А уже по этим силам определим время для принятия решения и отработки исполнения в зависимости задания угла канавки от массы шарика.

Наклонная плоскость, по которой движется тело (в нашем случае это шарик), изображена на рис. 6.

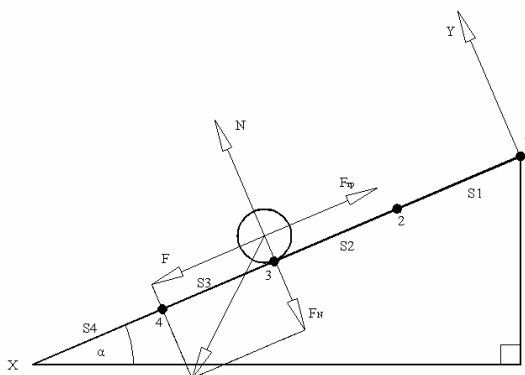


Рис. 6. Определение времени таймеров в зависимости от угла наклона

По прямой ОХ

$$ma = mg \sin \alpha - F_{тр}, \quad (1)$$

где $F_{тр} = \mu N = \mu mg \cos \alpha$.

По прямой ОУ

$$N - mg \cos \alpha = 0. \quad (2)$$

Подставляя уравнение (1) в (2) получим

$$ma = mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha,$$

где $a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$; μ - коэффициент трения качения, который для шарика равен 0,001.

Движение шарика на одной половинке канавки.

Воспользовавшись формулой для уравнения пути при равноускоренном движении, получим, участок пути от точки 1 к точке 2

$$S_1 = v_0 t_1 + \frac{a_1 t_1^2}{2},$$

где v_0 - начальная скорость, a_1 - ускорение, t_1 - время прохождения шарика от точки 1 до 2, то есть время, которое необходимо для перехода на подпрограмму ожидания события.

Точка 1 является крайним положением, и шарик не имеет начальной скорости в начальный момент времени. Тогда путь

$$S_1 = \frac{a_1 t_1^2}{2}. \quad (3)$$

Откуда

$$t_1 = \sqrt{\frac{2S_1}{a_1}}.$$

Так при S_1 равном 0,1 м и угле $\alpha_1=10^\circ$ ускорение a_1 шарика составит 1,52 м/с² и время $t_1=0,36$ с.

Движение шарика от точки 2 до точки 3.

Шарик проходит путь $S_2=0,05$ при $\alpha_3=5^\circ$. Начальная скорость шарика v_1 в этой точке, составит 0,55 м/с², а время t_2 составит 0,09 с.

Те же самые действия для пути $S_3=0,025$ м от точки 3 до точки 4. Примем начальную скорость равную $v_2=0,0675$ м/с² и $\alpha_3=2,5^\circ$. Время t_3 составит 0,22 с.

Опять, таким же способом рассчитываем время t_4 для пути $S_4=0,0125$ м от точки 4 до точки 5, и принимая начальную скорость $v_2=0,09$ м/с². Время t_4 составит 0,1 с.

Таким образом, изменяя время можно добиться различных режимов работы всей системы, включая даже несимметричное регулирование. Для этого необходимо заново рассчитать время прохождения шарика. То же самое необходимо сделать при замене шарика другим (другим диаметром или резиновым) при этом необходимо учесть новый коэффициент трения, который тоже влияет на время прохождения шарика. При срабатывании таймера временной импульс подается на соответствующие ключи пьезодвигателей прямого и реверсивного вращения.

Динамика системы обусловлена принадлежностью разработанной имитационной модели САР к экстремальным системам, так как во время ее функционирования происходит автоматический поиск и поддержание оптимального режима работы. В общем случае в процессе экстремального управления определяется экстремум статической характеристики нелинейного нестационарного инерционного объекта, на который действуют возмущения, которые изменяют положение экстремума в пространстве управляющих воздействий.

К экстремальным системам предъявляются требования устойчивости (совпадение процесса поиска в зоне экстремума), точности (обеспечение заданного отклонения показателя качества от экстремального значения в установившемся режиме) и быстродействия (минимального времени поиска экстремумов). Кроме этого, динамика экстремальных систем характеризуется еще и такими специфическими показателями как: затраты на рыскания, период рыскания, зона поисков на входе и выходе объекта, время выхода в точку экстремума.

Для уменьшения затрат на рыскания следует уменьшить амплитуду поискового сигнала. Возможность уменьшения амплитуды определяется уровнем преград, потому что поисковый сигнал должен четко выделяться на их фоне. Если проанализировать спектр преград на выходе системы, можно выделить участок спектра с наименьшими амплитудами преград. Это дает возможность выбрать частоту и амплитуду поискового сигнала так, чтобы обеспечить минимальные потери на рыскание при достаточно надежной работе системы.

Рассмотренные показатели динамики отвечают идеальному случаю, когда все элементы системы считаются безинерционными, а статическая характеристика объекта - стационарной, то есть такой, которая не изменяется на протяжении времени.

Влияние инерционности объекта (в нашем случае шарик) на процесс поисков экстремума на примере системы, функциональная схема которого приведена на рис. 7.

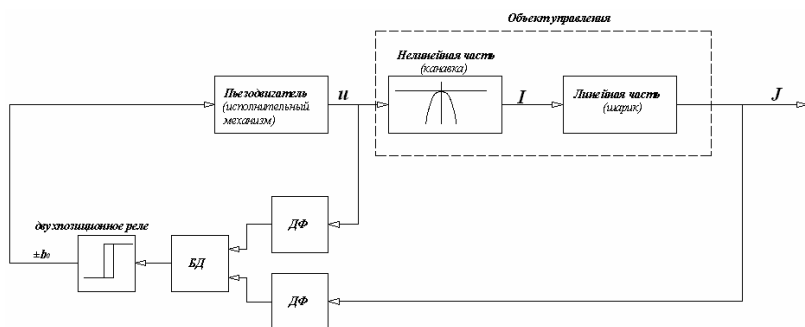


Рис. 7. Функциональная схема экстремальной системы поисков экстремума

Допустим, что объект можно показать в виде двух звеньев - безинерционной нелинейной с экстремальной характеристикой и инерционной линейной. Тогда уравнения отдельных звеньев системы будут следующими.

Линейная часть объекта:

$$T_1 \frac{dJ}{dt} + J = k_1 I ,$$

где T_1 - постоянная времени объекта (шарика).

Нелинейная часть объекта:

$$I = -k_2 u^2 .$$

Исполнительный механизм (ПЭД) можно приближённо описать интегрирующим звеном:

$$\frac{du}{dt} = k_3 b .$$

Экстремальный регулятор:

$$b = F(J, u) = \begin{cases} +b_0, \text{ при } \frac{dJ}{du} > c; \\ -b_0, \text{ при } \frac{dJ}{du} < -c, \end{cases}$$

где c - зона нечувствительности экстремального регулятора.

Подставив значения I в уравнение линейной части объекта получим

$$T_1 \frac{dJ}{dt} + J = k_1 k_2 u^2 .$$

Заменяя в этом уравнении производную du/dt её значением для исполнительного механизма, получим

$$k_3 T_1 b \frac{dJ}{du} + J = -k_1 k_2 u^2 . \quad (4)$$

Учитывая, что $b = \pm b_0$, представим уравнение (4) в виде:

$$\frac{dJ}{du} \pm \alpha J = \pm \beta u^2 ,$$

где

$$\alpha = \frac{1}{k_3 T_1 b_0} ; \quad \beta = \frac{k_1 k_2}{k_3 T_1 b_0} .$$

Решение этого уравнения $J = f(u)$ образует фазовую траекторию объекта в плоскости координат u, J . Для безинерционного объекта $J = k_1 I$, поэтому фазовая траектория при $k_1 = 1$ совпадает со статической характеристикой объекта. Для инерционного объекта

$$J = C e^{-\alpha u} - \frac{\beta}{\alpha} u^2 + \frac{2\beta}{\alpha^2} - \frac{2\beta}{\alpha^3} ,$$

где C - постоянная интегрирования, которая определяется из начальных условий при $t=0, J=J_0, u=u_0$,

$$C = \left(J_0 + \frac{\beta}{\alpha} u_0^2 - \frac{2\beta}{\alpha^2} u_0 + \frac{2\beta}{\alpha^3} \right) e^{\alpha u_0} .$$

Подставив экспериментально найденные значения коэффициентов $T_1=1,55$ с, $J=0,2$ м, $u=62,8$ угл. с., $k_1=0,65$, $k_2=0,1$, $k_3=333,3$ в полученные уравнения, получим фазовую траекторию системы, показанную на рис. 8.

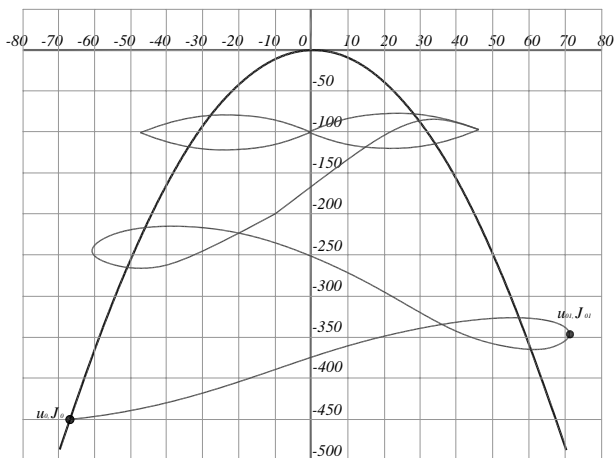


Рис. 8. Фазовая траектория САР

При проведении эксперимента получено подтверждение предположений о возможности описания ПЭД аperiodическим звеном первого порядка, что послужило основанием для его замены в модели САР вязкости топлива, показанной на рис. 9.

В результате моделирования получены переходные процессы (рис. 10).

В табл. представлены показатели качества для четырёх вариантов определения настроечных параметров.

Таким образом, показатели качества переходных процессов новой спроектированной системы по сравнению с аналитическим способом улучшились: динамическая ошибка и время регулирования уменьшились на 5 и 6 % соответственно.

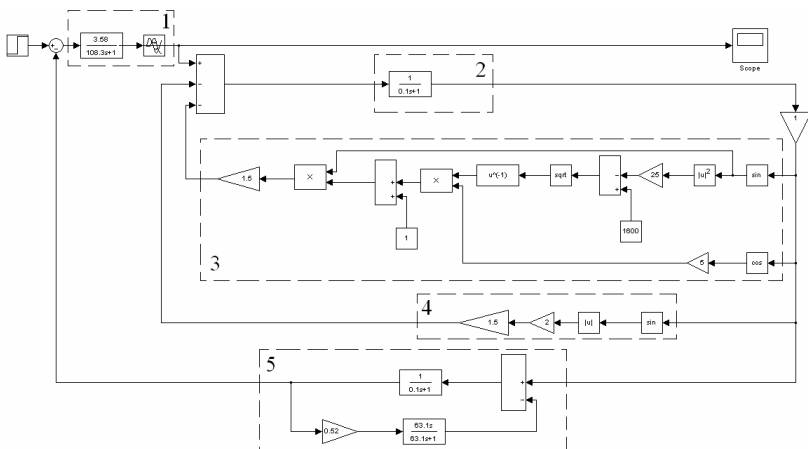


Рис. 9. Упрощённая модель САР вязкости топлива: 1 - объект управления; 2 - ПЭД; 3 - блок учёта давления топлива и влияния кривошипно-шатунного механизма; 4 - блок учёта силы трения в измерительном зонде; 5 - ПИ-регулятор с исполнительным механизмом на ПЭД

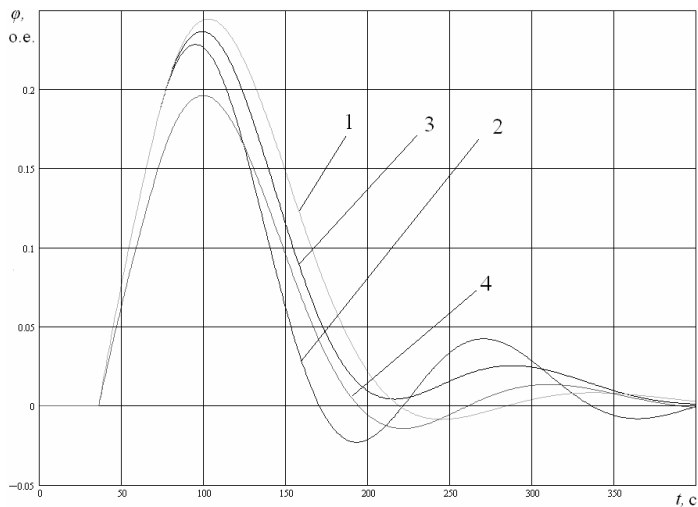


Рис. 10. Переходные процессы САР: 1 - коэффициенты определены аналитическим способом; 2 - коэффициенты определены выводом системы в режим автоколебаний; 3 - коэффициенты определены по номограммам; 4 - коэффициенты в новой спроектированной системе

Настроечные параметры и показатели качества

№ переходного процесса	Настроечные параметры		Показатели качества		
	коэффициент усиления K_p	время интегрирования $T_{и}$, с	динамическая ошибка ф, о.е.	степень затухания ψ , %	время регулирования t_p , с
1	0,72	87,7	0,24	97	205
2	0,75	102,5	0,23	82	316
3	0,89	95,2	0,23	89	333
4	0,52	63,1	0,19	94	183

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никольский В.В., Багдасарян Л.Б. Определение реологических характеристик топлив и масел, используемых в СЭУ // Судовые энергетические установки: научн.-техн. сб. - Одесса: ОНМА, 2005. - Вып. 14. - С. 31 - 35.

2. Никольский В.В. Оценка реологических свойств тиксотропных жидкостей реометрами с пьезоприводом // Автоматизация судовых технических средств: науч. - техн. сб. - Одесса: ОНМА, 2005. - Вып. 10. - С. 61 - 64.

3. Овчинников П.Ф. Виброреология. - Киев: Наук. думка, 1983. - 272 с.

4. Никольский В.В. Анализ применения пьезоэлектрических вискозиметров // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: наук. - техн. журнал - 2003. - №2. - С. 64 - 66.

5. Cambridge Viscometers: Accurate, Reliable and Proven Fluid Viscosity Measurement Technology [Электронный ресурс] / - www.cambridgeapplied.com.

6. Алтоиз Б.А., Ханмамедов С.А. Трибологические особенности граничных смазочных слоев судовых топлив и масел // Судовые энергетические установки: научн.-техн. сб. - 2003. - Вып. 9. - С. 80 - 86.

7. Никольский В.В. Основи створення пристроїв п'єзоактивної механіки для систем керування двигунами внутрішнього згорання: Автореф. дис. ... док. техн. наук: 05.13.05 / ОНПУ. - Одеса, 2005. - 36 с.

8. Коваль В.С., Лавриненко В.В., Левицкий О.В. - Пьезоэлектрический двигатель. Патент України № 20182, 1997.

9. Коваль В.С., Лавриненко В.В., Левицкий О.В. - Пьезоэлектрический двигатель. Патент России № 1820820, 1997.

10. Коваль В.С., Лавріненко В.В., Тишко О.О., Хорунжий В.М.- П'єзоелектричний двигун та спосіб його виготовлення. Патент України № 69663А, 2004.

11. Горбунов В.Ф., Журенко М.А. Статика и динамика автоматических систем регулирования температуры и вязкости топлива: учеб. пособие. - М.: В/О Мортехинформреклама, 1986. - 24 с.

12. Нікольський В.В. Деклараційний патент України на корисну модель, МКІ 7 G01N11/10 Віскозиметр. - №u200500629. Опубл. 15.07.2005. - Бюл. №7.

13. Давлеталиев Д.А. Исследование пьезодвигателей и разработка устройств адаптивного управления на их основе: автореферат дис. канд. техн. наук: 05.13.05. - Л.: Политехнический институт им. Калинина, 1985. - 226 с.

14. Потемкин А.Э., Никольский В.В., Сандлер А.К. Микропроцессорная техника: учеб. пособие. - Одесса: ОНМА, 2004. - 92 с.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МЕЛКОВОДЬЯ НА ХОДОВЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ МОРСКИХ СУДОВ

Для морских судов, совершающих рейсы с заходом в речные порты, необходима оценка ходовых характеристик при переходе в стесненный фарватер, резком изменении глубины под килем и входе в воду с другой плотностью. Безопасность плавания в стесненных условиях обеспечивается не только правильным опознаванием ориентиров и знаков ограждения, учетом элементов течения и дрейфа при циркуляции, но также и учетом навигационного запаса глубины под килем ΔH с поправкой на ветровое волнение, а также выбором безопасной скорости хода v , при которой сохраняется надежная управляемость судна и одновременно исключается образование попутной поперечной волны и "проседание" судна ΔT (изменение осадки T) больше допустимого значения.

В работе [6] приведена математическая модель для оценки влияния ходовых характеристик судна в условиях нерегулярного ветрового волнения на ходкость одновинтового судна. Эта модель позволяет учесть и влияние мелководья – изменение осадки, критической скорости, сопротивления движению. Но для практических расчетов ходовых характеристик речных судов и составов, в модель должны быть внесены некоторые уточнения, исходящие из следующих положений.

Ограниченная глубина фарватера H влияет на все составляющие сопротивления воды движению судна, однако степень их изменения в условиях мелководья по сравнению с движением в условиях неограниченной глубины оказывается различной.

Влияние мелководья начинает проявляться при глубине, определяемой по формуле Г.Е. Павленко [4, с. 77], м:

$$H \leq 4T + \frac{3v^2}{g}.$$

Вследствие стеснения струй жидкости между дном водоема и корпусом судна возникает встречный поток ("вытеснения"). В результате возрастают скорости обтекания корпуса судна, что приводит, прежде всего, к заметному увеличению касательных напряжений и росту сопротивления трения. Кроме того, увеличиваются размеры области отрыва пограничного слоя в корме судна, что приводит к возрастанию сопротивления формы. У многих судов при безотрывном обтекании на

глубокой воде появляется отрыв пограничного слоя при движении на мелководье. Возникновение встречного потока сопровождается появлением под днищем движущегося судна пограничного слоя на дне водоема, а также понижением уровня свободной поверхности вблизи судна. Оба эти фактора, в свою очередь, приводят к добавочному стеснению струй жидкости, повышению скорости встречного потока и дополнительному возрастанию вязкостного сопротивления. Растет и волновое сопротивление, вызванное волнообразованием вокруг движущегося судна.

Для количественной оценки степени влияния мелководья принято использовать безразмерные параметры: отношение глубины фарватера к осадке судна H/T (как характеристика степени стеснения потока

по глубине) и число Фруда по глубине $Fr_H = \frac{v}{\sqrt{gH}}$ (относительная

скорость движения судна в условиях ограниченной глубины). Эти величины приведены на рис. 1 при различных значениях скорости v для теплохода "Рени" (при полной загрузке, $T = 5,67$ м). Очевидно, что для приведенного диапазона скоростей кривые являются функциями:

$$Fr_H = k \sqrt{\frac{H}{T}},$$

где $k = 0,35 \div 0,69$ – для диапазона скоростей $v = 5 \div 10$ уз. соответственно.

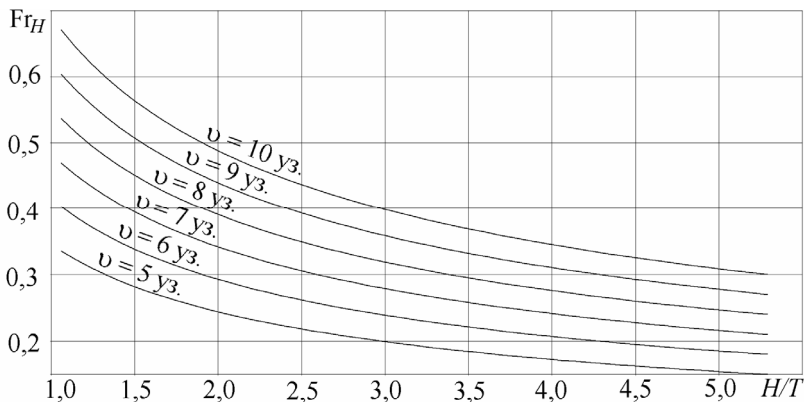


Рис. 1. Зависимость числа Фруда по глубине Fr_H от соотношения H/T

Что касается вязкостных составляющих сопротивления – сопротивления трения и формы – влияние мелководья на их увеличение

значительно при $H/T = 1,5 \div 2,5$ ($10 \div 15$ %); с увеличением соотношения $H/T > 3$ величина вязкостного сопротивления практически не отличается от величины на неограниченной глубине.

Наиболее ощутимо влияние мелководья сказывается на величине волнового сопротивления при $0,65 \leq Fr_H \leq 0,95$, когда в движение вовлекаются дополнительные массы воды и волновое сопротивление возрастает по сравнению с движением на глубокой воде с той же скоростью [5, с. 45]. Вследствие этого, вблизи бортов у кормовой части наблюдается дифферент (динамическая просадка на мелководье). При $Fr_H < 0,65 \div 0,70$ существенного изменения системы волнообразования не происходит (довольно режим на мелководье), а при $Fr_H < 0,30 \div 0,50$ для морских судов в условиях ограниченной глубины картина волнообразования не отличается от условий неограниченной глубины.

Для морских крупнотоннажных судов на мелководье характерно появление ходового дифферента на нос независимо от статической посадки судна. Для определения проседания судна с достаточной для практики точностью отдельно для носа и кормы рекомендуется универсальный метод Рёмиша [4, с. 84], согласно которому

$$\Delta T = 0,55 C_v C_\delta (H/T - 0,4)^{-0,2} (H - T), \quad (1)$$

где T – осадка носом или кормой, м; C_v – коэффициент, зависящий от скорости хода,

$$C_v = B \left(\frac{v}{v'_{кр}} \right)^2 \left[\left(\frac{v}{v'_{кр}} - 0,5 \right)^4 + 0,0625 \right];$$

v – скорость судна, м/с; $v'_{кр}$ – критическая скорость для мелководья, м/с,

$$v'_{кр} = 1,28 H^{0,625} \left(\frac{L}{TB} \right)^{0,125}; \quad (2)$$

C_δ – коэффициент, зависящий от формы корпуса.

Коэффициент C_δ определяется для носа $C_{\delta н}$ и для кормы $C_{\delta к}$:

$$\left. \begin{aligned} C_{\delta к} &= 1 \\ C_{\delta н} &= \frac{90 \delta^2 B^2}{L^2} \end{aligned} \right\}.$$

Наиболее распространенным и информативным методом исследования движения на мелководье являются модельные эксперименты в опытовых бассейнах, анализ результатов которых позволил сформировать наиболее общее представление о характере физических явле-

ний, имеющих место при движении судна на мелководье. Современный уровень развития компьютерной техники позволяет производить численное моделирование движения судна в условиях ограниченного по ширине и глубине фарватера. Серьезным недостатком как модельных экспериментов, так и численного моделирования можно считать наличие постоянного значения глубины фарватера, для которой и проводится эксперимент либо численное моделирование. В реальных условиях плавания глубина фарватера изменяется, нередко значительные перепады глубин [5], как показано на рис. 2.

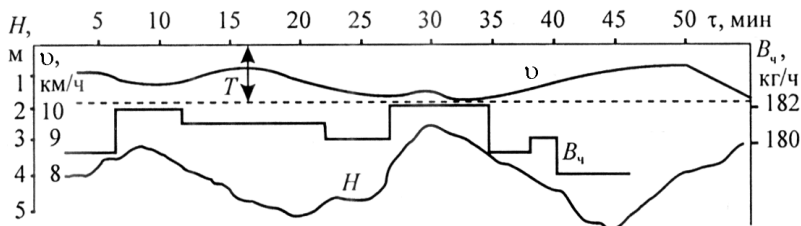


Рис. 2. Пример профилограммы изменения скорости хода v и часового расхода топлива $B_{\text{ч}}$ для речного судна в зависимости от глубины фарватера H

В 70–80-х годах под руководством проф. В.Г. Павленко проводились гидрологические изыскания более чем 30 магистральных и малых рек [3, с. 10], в результате которых введено понятие расчетной глубины – такой глубины, при движении на которой средняя скорость судна остается той же, что и средняя скорость при ходе по заданному фарватеру переменной глубины. При этом практически совпадают и суммарные расходы топлива, а инерционность судна при переходе судна с одной глубины на другую практически не влияет на величину расчетной скорости, и потому может не учитываться.

Определение сопротивления движению судна или состава в условиях плавания по реке Дунай имеет определенные особенности: при учете влияния ограниченной глубины не могут быть применены расчетные глубины, полученные в результате упомянутых исследований. Эхолотограммы и пересчет глубин судового хода реки Дунай к низкому судоходному и регуляционному уровню показывают варьирование средних глубин по участкам реки и по месяцам года в диапазоне $H_{\text{ср}}$ от 5,30 до 10,26 м.

Минимально допустимый запас глубины под килем ΔH – величина многокомпонентная, учитывающая колебания уровня воды ΔH_1 , минимальный навигационный запас глубины ΔH_2 (при котором обеспечивается управляемость судна), запас глубины на крен судна (от воз-

действия ветра или гидродинамических сил при маневрировании) ΔH_3 , запас глубины на погружение оконечностей на волнении ΔH_4 , скоростной запас глубины ΔH_5 :

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5.$$

Для определения перечисленных составляющих ΔH существуют различные методы (табличные, графические, аналитические) базирующиеся на теоретических и экспериментальных данных [1, 2, 4].

На рис. 3 приведены результаты расчёта скорости теплохода "Рени" (проект Р845, типа "Измаил") в условиях ограниченной глубины с учетом просадки по экспериментальным данным [6, 7].

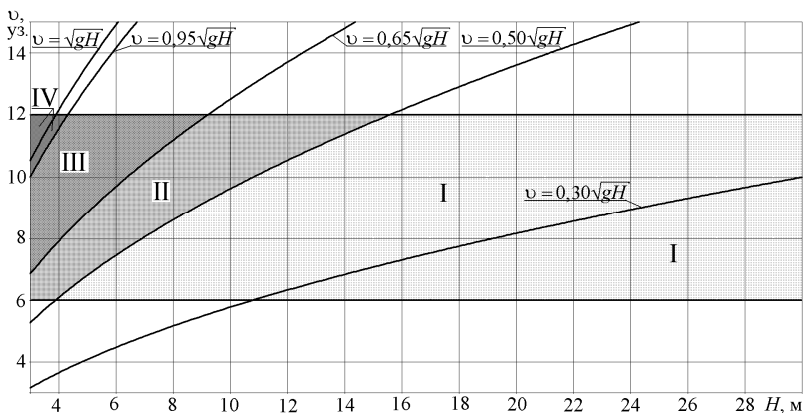


Рис. 3. Зоны влияния мелководья в эксплуатационном диапазоне скоростей теплохода "Рени" ($v_0 = 6 \div 12$ уз.): I – режим движения не отличается от условий неограниченной глубины; II – доволновой режим на мелководье; III – режим усиленного волнообразования и динамического проседания; IV – критический режим значительного роста сопротивления движению и образования поперечной волны

При этом очевидно (см. рис. 1 и 3), что эксплуатационный диапазон скоростей значительно ниже $v_{кр} = \sqrt{gH}$, и только лишь в диапазоне глубин от 3 до 4 м (минимально допустимая осадка судна кормой $T_{\text{кmin}} = 3$ м), прохождение судна возможно только в балласте и при некоторых условиях неполной загрузки, где теоретически возможно достижение судном критической скорости.

Анализ рис. 4 – 7 позволяет сделать вывод о достоверности результатов расчета по уточненной для условий ограниченного по глубине фарватера модели. При увеличении скорости и переходе в режим

повышенного волнообразования (зона III на рис. 3) практически линейный характер зависимостей $N_e = f(v, H/T)$ и $R = f(v, H/T)$ изменяется и переходит к виду:

$$R = 28e^{0,26v} \left(\frac{H}{T}\right)^{-0,02v+0,14} ; N_e = 54,25e^{0,36v} \left(\frac{H}{T}\right)^{-0,02v+0,14}$$

Таким образом, предложены подходы для оценки влияния мелководья на характеристики ходкости морских и речных судов.

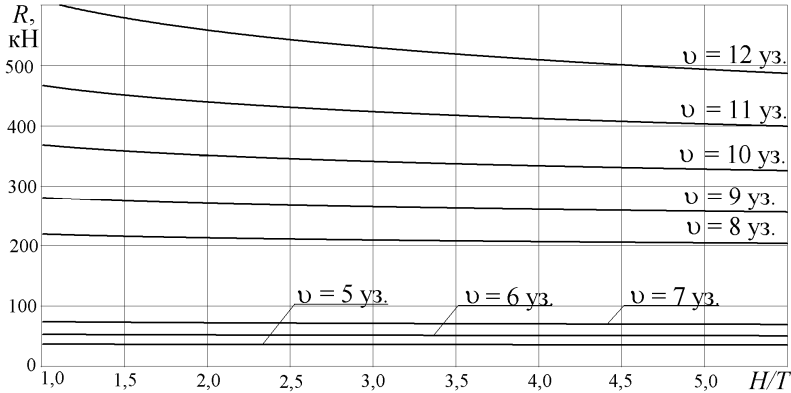


Рис. 4. Зависимость сопротивления R от соотношения H/T (расчетные величины)

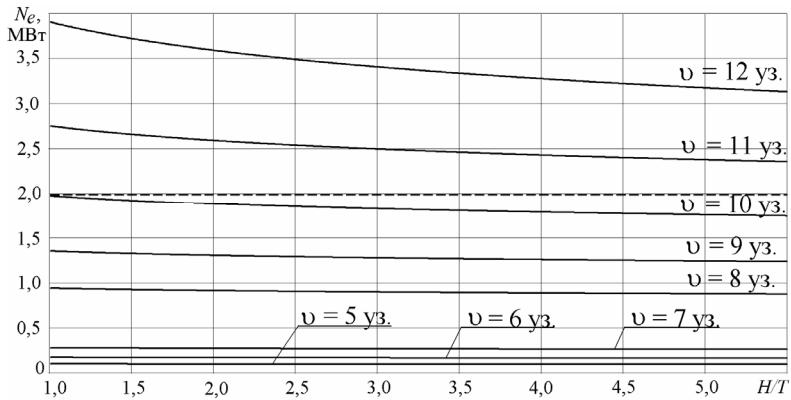


Рис. 5. Зависимость эффективной мощности N_e от соотношения H/T (расчетные величины и экспериментальные данные)

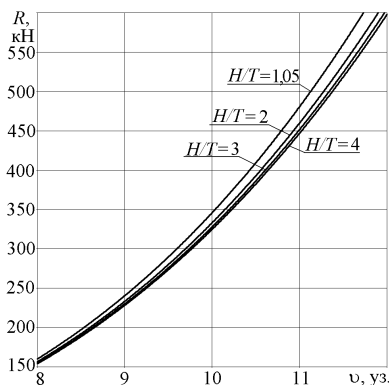


Рис. 6. Зависимость сопротивления R от скорости v теплохода "Рени" при различных значениях H/T (расчетные величины)

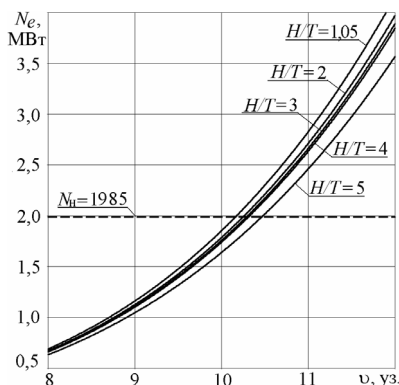


Рис. 7. Зависимость сопротивления N_e от скорости v теплохода "Рени" при различных значениях H/T (расчетные величины)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев Ю.Л., Соколов В.Т., Журавецкий Г.Д., Коханов Э.В., Кубачев Н.А., Лабин А.И. К вопросу о навигационных запасах глубины под килем судна при плавании в каналах и на мелководье // Морской транспорт. Серия "Судовождение и связь": экспресс-информация В/О "Мортехинформреклама". - 1986. - Вып. 9(194). - С. 1 - 18.
2. Коханов Э.В., Лабин А.И. Исследование просадки судов, движущихся по мелководному фарватеру // Теория и практика модернизации судов. - М.: ЦРИА "Морфлот", 1981. - С. 15 - 21.
3. Павленко В.Г., Деревянченко Н.Т., Литвинов А.И., Машкова И.Ю. Оптимальный гидромеханический комплекс сухогрузного теплохода для р. Дунай. Отчет о научно-исследовательской работе. - Новосибирск: НИИВТ, 1992. - 101 с.
4. Справочник капитана дальнего плавания / Л.Р. Аксютин, В.М. Бондарь, Г.Г. Ермолаев. - М.: Транспорт, 1988. - 248 с.
5. Суворов П.С. Динамика двигателя в судовом пропульсивном комплексе. - Одесса: ОНМА, 2004. - 304 с.
6. Суворов П.С., Тарасенко Т.В. Прогнозирование влияния нерегулярного волнения на ходкость одновинтового судна // Автоматизация судовых технических средств: научн.-техн. сб. - 2005. - Вып. 10. - Одесса: ОНМА. - С. 76 - 92.
7. Суворов П.С., Тарасенко Т.В., Домбровский В.А. Оценка расхода топлива в судовых условиях // Автоматизация судовых технических средств: научн.-техн. сб. - 2006. - Вып. 11. - Одесса: ОНМА. - С. 78 - 87.

ОЦЕНКА РАСХОДА ТОПЛИВА И ПОТЕРИ СКОРОСТИ В УСЛОВИЯХ ШТОРМОВОГО ВОЛНЕНИЯ

Существующие методики прогнозирования расхода топлива на переход в основном базируются на условной норме расхода, определяемой по статистическим данным работы судна в конкретных районах и в конкретном календарном периоде. В таком подходе изначально заложена ошибка на колебания путевых ветро-волновых характеристик района, техническое состояние корпуса, опыт экипажа и многие другие факторы.

При работе в штормовых условиях, особенно в осенне-зимний период, имеет место наиболее ощутимая потеря эксплуатационной скорости. В то же время, значения абсолютного расхода топлива на милю пути существенно увеличиваются по сравнению с режимом движения при отсутствии волнения – ввиду стохастического влияния факторов, прежде всего, волнения на текущий режим работы главного двигателя (ГД) (рис. 1). Это обстоятельство обычно приводит к незапланированному перерасходу топлива, непредвиденному сокращению срока между бункеровками и, соответственно, – ухудшению экономических показателей рейса.

С целью прогнозирования возможных расходов топлива при переходе в условиях штормового волнения, проверки и подтверждения теоретических расчетных значений с использованием математической модели, приведенной в [2], а также для дополнения и систематизации экспериментальных данных по ранее проведенным экспериментам на судах этой же серии [3] были произведены специальные натурные испытания ходовых параметров судна в зависимости от ветро-волнового режима. Испытания проводились во время рейсов теплоходов "Рени" и "Киля" (проект Р845, типа "Измаил") Украинского Дунайского пароходства в период с 26 ноября по 25 декабря 2005 г. по маршруту: п. Мариуполь – п. Альхесирас (Испания) – п. Кастельон (Испания) – п. Дуррес (Албания) – п. Мариуполь. ГД обоих судов (R32BC Wärtsilä Vasa, $N_e = 1985$ кВт, $n = 720$ мин⁻¹ = const) отработали приблизительно 40 – 60 % своего ресурса между моточистками, обрастание подводной части отсутствовало.

Маршруты судна за время экспериментального рейса, также, как и в предыдущем экспериментальном рейсе [3], проходили 7 зон стандартных ветро-волновых режимов.

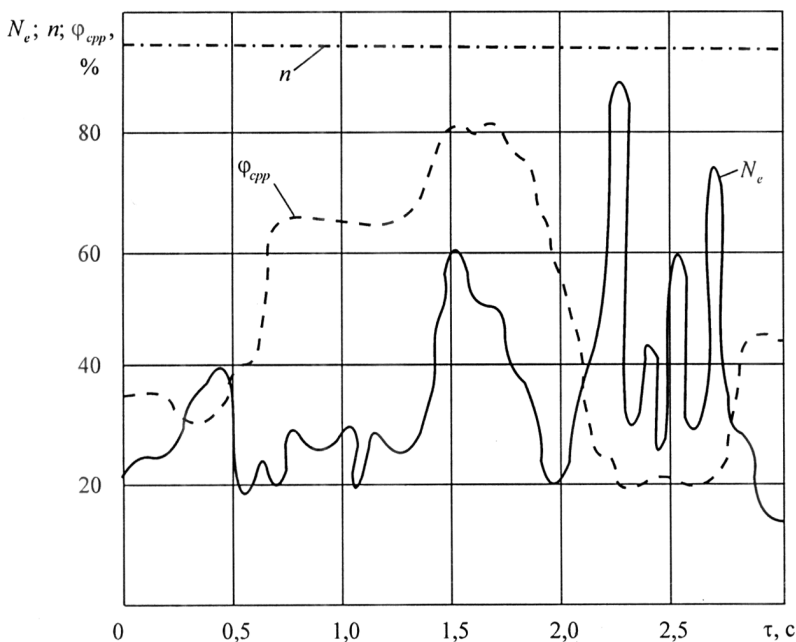


Рис. 1. Изменение мощности на валу ГД судов серии "Измаил" (Wärtsilä Vasa R32BC) и шага винта при волнении: n – частота вращения вала ($n = \text{const}$); N_e – мощность; $\varphi_{срр}$ – разворот лопастей винта

Условия для проведения испытаний были установлены следующими: неизменный режим работы ГД и упор винта регулируемого шага (ВРШ); установившийся ветро-волновой режим; неизменный генеральный курс судна во время проведения наблюдения. При наличии этих условий непосредственно перед началом опыта снимались контрольные показания счетчика топлива бустерной установки, частота вращения ГД и гребного вала, нагрузка ВРШ и ГД.

Всего заполнено 43 протокола. Расход топлива измерялся по показаниям штатного расходомера Aquametro. Скорость измерялась с помощью приёмника GPS SPR-1400 фирмы SAMYUNG.

На ходовом мостике производился ряд моментных замеров периодов качки судна (бортовой и килевой), кажущихся периодов и высот волн. Одновременно через произвольные промежутки времени фиксировалась скорость судна и количество ударов волн в днище и носовой подзор. По окончании эксперимента по карте снимались итоговые показания счетчика топлива и пройденный путь.

Тем самым выполнялись стандартные условия оценки ветро-

волнового режима, принятые в практике подобных испытаний.

Контрольное время проведения наблюдений для теплохода "Рени" составляли 0,5 и 1 час, для теплохода "Килия" – 2 и 3 часа. Измерения относительных расходов топлива B_m , были выполнены при высотах волн от 0,1 до 3,5 м с различными углами набега волн и скорости ветра, при нагрузках ГД от 60 до 70 %, частоте вращения гребного вала $n_p = 218 \text{ мин}^{-1}$ и частоте вращения главного двигателя $n = 710 \dots 716 \text{ мин}^{-1}$.

Используемая на судах серии "Измаил" система программного управления [1] позволяет получить одну и ту же величину скорости судна v при различных сочетаниях частоты вращения n , шагового отношения ВРШ H/D_p , эффективной мощности двигателя N_e , а также выйти в диапазон наивыгоднейшего КПД пропульсивного комплекса η_p .

В результате произведенных наблюдений определены условия, при которых наблюдается минимальный и максимальный расход топлива:

штиль (высота волны трехпроцентной обеспеченности $h_{3\%} = 0,1 \text{ м}$), относительный расход топлива $B_m = 22,3 \text{ л/милю}$;

режим наибольшего влияния волны – встречное волнение, высота волны $h_{3\%} = 2,0 \text{ м}$, скорость встречного ветра $v_v = 10 \text{ м/с}$, относительный расход топлива $B_m = 38 \text{ л/милю}$.

Полученные данные свидетельствует о том, что определяющее влияние на расход топлива оказывает высота и кажущийся угол набега волн. Суммарно весь комплекс погодных факторов (скорость и направление ветра, кажущийся период волнения, наличие течений), а также связанных с состоянием загрузки судна (периоды качки судна, наличие бортового и/или днищевого слеминга), воздействующих на судно при высоте волны до 3,0 м, увеличивает расход топлива на $\delta B_m = 50 \dots 55 \%$ по сравнению со штилевыми условиями. При этом при курсовых углах встречи волн от 0 до 45° каждый из перечисленных факторов может вызывать увеличение расхода топлива в диапазоне от 4 до 15 % – в зависимости от величины высоты волны. Также установлено, что $h_{3\%} = 3,0 \text{ м}$ – это предельная высота волны, при которой еще возможна относительно нормальная эксплуатация судов этого типа. Более высокие значения высот волн вызывают сильное рыскание, значительный перерасход топлива, а также крайне дискомфортные условия обитаемости для экипажа.

По результатам наблюдений и с учетом предыдущих экспериментов [3] были получены зависимости, отражающие характер изменения значений расхода топлива от скорости и скорости от высоты волны.

Зависимость, приведенная на рис. 2, отражает увеличение значения расхода топлива B_m и падения скорости судна v при непрерывно возрастающей высоте волны $h_{3\%}$, т.е. $\{B_m \rightarrow \max, v \rightarrow \min\}$ при $h_{3\%} \rightarrow \max$ и постоянных $n, N_e, H/D_p, n_p$.

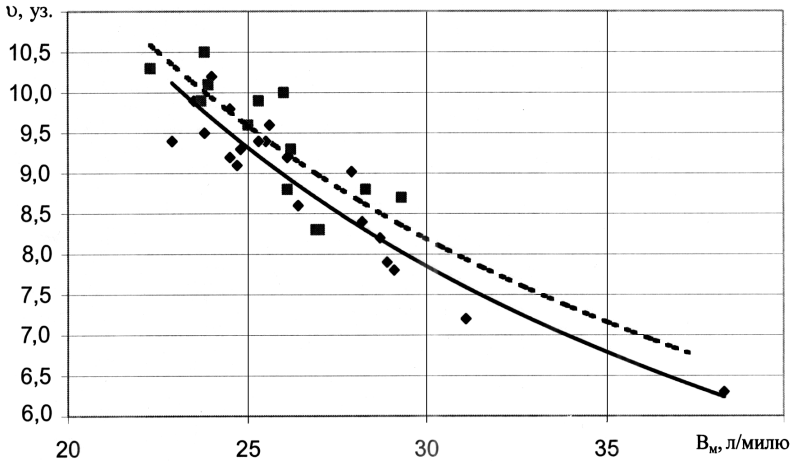


Рис. 2. Относительный расход топлива при нарастающей высоте волны и неизменном режиме работы ГД и ВРШ: ————— – встречное волнение; ————— – попутное волнение

Из рис. 3 видно, что на попутном волнении при неизменных параметрах работы пропульсивного комплекса, скорость судна v возрастает в среднем на 0,8 ... 1,0 узла, причем большее значение этого диапазона соответствует большей высоте волны.

Используя рис. 2 и 3 можно получить следующие две системы уравнений:

для встречного волнения

$$\begin{cases} v = 192,42 B_M^{-0,9} \\ v = 8,66 h_{3\%}^{-0,1}; \end{cases}$$

для попутного волнения

$$\begin{cases} v = 156,74 B_M^{-0,9} \\ v = 9,48 h_{3\%}^{-0,1}. \end{cases}$$

Путем решения этих систем уравнений относительно расхода топлива B_M , получены зависимости приближенного относительного расхода топлива:

для встречного волнения

$$B_{MB} = 26,76 h_{3\%}^{0,11}; \quad (1)$$

для попутного волнения

$$B_{МП} = 25,18h_{3\%}^{0,09} . \quad (2)$$

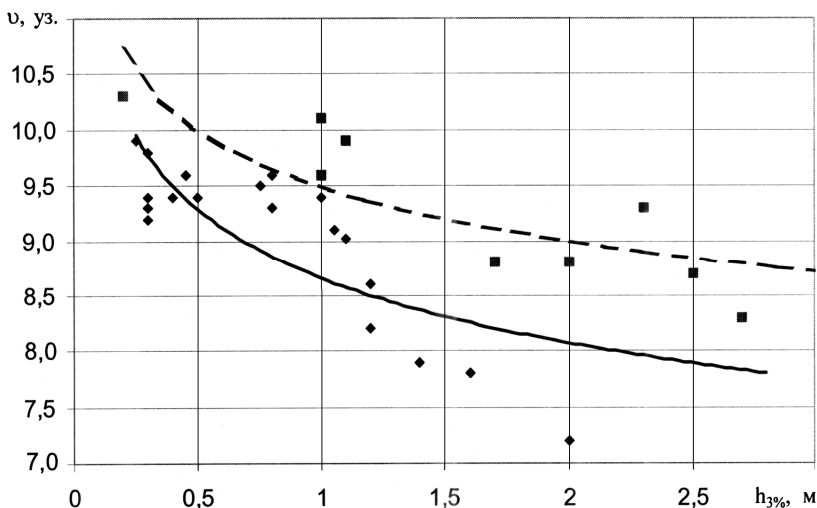


Рис. 3. Зависимость скорости от высоты волны при неизменном режиме работы ГД и ВРШ: ———— – встречное волнение; - - - - - попутное волнение

Коэффициенты достоверности аппроксимации полученных уравнений R^2 не слишком велики (для встречного волнения $R^2 = 0,60 \dots 0,90$, для попутного волнения $R^2 = 0,65 \dots 0,66$). Это связано с различием значений погодных факторов, влияющих на расход топлива. Количество проведенных опытов (в первом экспериментальном рейсе [3] получено 45 протоколов, во втором экспериментальном рейсе – 42 протокола) все же не позволяет выявить числовые значения влияния каждого конкретного фактора, поэтому в формулы (1) и (2) введен специальный поправочный коэффициент k_i , учитывающий множество значений факторов, а также разницу между разбегом фактических и расчетных значений B_M .

Значения поправочного коэффициента: для встречного волнения $k_e = 0,96 \dots 1,02$; для попутного волнения $k_n = 0,95 \dots 1,01$. Доверительные диапазоны значений коэффициента k_i рассчитаны с использованием статистического критерия распределения Стьюдента с надежностью 0,95.

Таким образом, зависимости (1) и (2) окончательно примут вид:

для встречного волнения

$$B_{MB} = 26,76h_{3\%}^{0,11} \cdot k_B ; \quad (3)$$

для попутного волнения

$$B_{мП} = 25,18h_{3\%}^{0,09} \cdot k_{П} \cdot \quad (4)$$

Зависимости (3) и (4) позволяют достаточно быстро и легко определить диапазон возможных расходов топлива судов типа "Измаил" при высотах волн от $h_{3\%} = 1 \dots 3,5$ м. Они дают хорошие результаты в пределах эксплуатационных водоизмещений судна от 3000 до 5740 т и отработанного ресурса ГД до 75 %. В табл. 1 приведены величины расхода топлива для судна в полном грузу при разных значениях высоты волны $h_{3\%}$ и курсовых углах встречи волн, рассчитанные по формулам (3) и (4) – $B_{мрасч.}$, и полученные в результате измерений во время экспериментальных рейсов – $B_{мэксп.}$

Таблица 1

Сравнение величин расхода топлива

Условия плавания		$B_{мрасч.}$, л/миля	$B_{мэксп.}$, л/миля
Встречное волнение	$h_{3\%} = 1$ м	27,29	26,05
	$h_{3\%} = 1,5$ м	28,54	28,63
	$h_{3\%} = 2$ м	29,45	30,28
	$h_{3\%} = 2,5$ м	30,18	31,36
	$h_{3\%} = 3$ м	30,80	33,50
Попутное волнение	$h_{3\%} = 1$ м	24,67	24,02
	$h_{3\%} = 1,5$ м	25,59	25,69
	$h_{3\%} = 2$ м	26,26	26,63
	$h_{3\%} = 2,5$ м	26,79	27,25
	$h_{3\%} = 3$ м	27,24	29,65

В табл. 2 сравнены данные по результатам измерений скорости хода судна при постоянной нагрузке ГД (60 – 70 % от максимальной мощности) в экспериментальных рейсах ($v_{эксп.}$) и по результатам расчета с использованием теоретической модели [2] ($v_{расч.}$).

Расчетные данные приведены для нагрузки ГД 66 % от его максимальной мощности. Разница расчетных и экспериментальных значений скорости, приведенных в табл. 2 может быть объяснена несколькими факторами. Прежде всего, на практике редко встречаются случаи строго встречного и строго попутного волнения, поэтому данные приведены по курсовым углам встречи волн (0 ± 45)° и (180 ± 45)°. Кроме того, нагрузка ГД на практике варьируется от 60 до 70 % его максимальной мощности и экспериментальные данные приведены для всего диапазона без учета количества данных по тому или иному значению для каждого курсового угла встречи волн. Таким образом среди экспериментальных данных при проведенном количестве опытов не встречается строгого соот-

ветствия расчетным условиям. В целом же полученные основные критерии, являющиеся показателями эффективности рейса – потеря скорости, расход топлива на единицу пути – подтверждают достоверность модели [2] как инструмента прогнозирования ходовых характеристик судна в реальных условиях эксплуатации.

Таблица 2

Сравнение скоростей хода судна при постоянной нагрузке ГД

Условия плавания		$v_{\text{эксп.}} \text{ уз.}$	$v_{\text{расч.}} \text{ уз.}$
Встречное волнение	$h_{3\%} = 1 \text{ м}$	9,14	8,00
	$h_{3\%} = 1,5 \text{ м}$	8,12	7,90
	$h_{3\%} = 2 \text{ м}$	7,56	7,80
	$h_{3\%} = 2,5 \text{ м}$	6,91	7,70
	$h_{3\%} = 3 \text{ м}$	6,70	7,60
Попутное волнение	$h_{3\%} = 1 \text{ м}$	9,73	9,20
	$h_{3\%} = 1,5 \text{ м}$	9,47	9,25
	$h_{3\%} = 2 \text{ м}$	9,29	9,30
	$h_{3\%} = 2,5 \text{ м}$	9,64	9,35
	$h_{3\%} = 3 \text{ м}$	9,28	9,40

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суворов П.С. Динамика двигателя в судовом пропульсивном комплексе. – Одесса: ОНМА, 2004. – 304 с.
2. Суворов П.С., Тарасенко Т.В. Прогнозирование влияния нерегулярного волнения на ходкость одновинтового судна // Автоматизация судовых технических средств: научн.-техн. сб. – 2005. – Вып. 10. – Одесса: ОНМА. – С. 76 – 92.
3. Суворов П.С., Тарасенко Т.В., Домбровский В.А. Оценка расхода топлива в судовых условиях // Автоматизация судовых технических средств: научн.-техн. сб. – 2006. – Вып. 11. – Одесса: ОНМА. – С. 78 – 87.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗВРАЩЕНИЯ СУДНА НА ЗАДАННУЮ ТРАЕКТОРИЮ ДВИЖЕНИЯ ПОСЛЕ РАСХОЖДЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ

Одной из наиболее актуальных в судовождении является проблема обеспечения безаварийного расхождения судов в стесненных водах, которой посвящены работы ученых разных стран мира. Многочисленные исследования, выполненные по проблеме выбора безопасного маневра расхождения опасно сближающихся судов, в подавляющем большинстве под маневром расхождения подразумевают только уклонение судна с программной траектории движения, обеспечивающей максимально безопасную дистанцию кратчайшего сближения. Дальнейшее управление судном после завершения момента кратчайшего сближения в таких работах не обсуждается, полагая, что вопрос выбора дальнейшей траектории движения судна является тривиальным. В простейшем случае, когда ситуация опасного сближения возникает в открытом море при отсутствии других судов в районе возможного столкновения, при выборе только безопасного уклонения, а не оптимального маневра расхождения, а также при сближении судов на встречных курсах, можно считать, что опасность столкновения существует только на участке уклонения.

В общем случае угроза столкновения наиболее вероятна при плавании в стесненных водах, которые характеризуются высокой плотностью интенсивности движения судов и наличием многочисленных навигационных опасностей. В таких условиях плавания выход на программную траекторию является частью стратегии безопасного расхождения судов. Более того, даже на свободной от мешающих судов и навигационных опасностей акватории при опасном сближении судов на пересекающихся курсах и обгоне, столкновения возможны, как на участке уклонения, так и на участке возвращения на программную траекторию движения.

В работах [1 - 3] впервые в стратегию расхождения помимо участка уклонения судна с заданной траектории был также включен участок возвращения на нее, а расчет параметров стратегии производился с учетом ограничений на безопасное расхождение для обоих участков.

При детальном исследовании проблемы предупреждения столкновений судов [3] было установлено, что в зависимости от начальной относительной позиции пары опасно сближающихся судов, парамет-

ров их движения и инерционных характеристик, суда могут находиться в разных по угрозе столкновения подмножествах начальных позиций, что требует применение индивидуальных стратегий расхождения. Декомпозиция множества начальных ситуаций на подмножестве P_{ni} ($i=1\dots3$) производится с помощью двух предельно допустимых дистанций l_{d1} и l_{d2} ($l_{d1} > l_{d2}$), которые рассчитываются с помощью специальной процедуры.

В случае, если судно способно разойтись с целью в дистанции не меньшей предельно допустимой дистанции l_{d1} , то реализовалось подмножество начальных позиций P_{n1} , которому соответствует первая стратегия расхождения $D_1(t_y, K_y)$. Эта стратегия заключается в том, что независимо от соотношения скоростей судов рассчитывается маневр, содержащий момент начала участка уклонения t_y и курс уклонения K_y , позволяющие судну разойтись с целью в дистанции l_{d1} .

В случае, если судно с начальной позиции при любом курсе уклонения не может обеспечить дистанцию кратчайшего сближения D_{\min} , меньшую первой предельно допустимой дистанции l_{d1} , но большую, чем величина l_{d2} , то имеет место подмножество начальных позиций P_{n2} , которому соответствует вторая стратегия расхождения $D_2(K_y = K_{extr})$, обеспечивающая наибольшую безопасность расхождения судов максимальной дистанцией кратчайшего сближения D_{\min} . Так как $\max[D_{\min}]$ достигается при экстремальном курсе K_{otextr} , то этот курс является параметром стратегии D_2 , а уклонение начинается в нулевой момент времени.

Наиболее опасная ситуация, когда судно попадает в подмножество опасных позиций P_{n3} ($\max[D_{\min}] < l_{d2}$), и возникает ситуация чрезвычайного сближения, в которой судно минимизирует относительную скорость сближения с целью, увеличивая интервал времени до позиции минимального сближения. Для этого судно ложится на курс равный обратному пеленгу на второе судно, вовлекая второе судно во взаимодействие, чтобы совместными усилиями компенсировать ситуационное возмущение. В этом заключается третья стратегия расхождения D_3 .

Если обратиться к аналитическим выражениям, то, как показано в работе [3], курс уклонения K_y при первой стратегии расхождения

$D_1(t_y, K_y)$ при скорости судна, меньшей скорости цели, определяется выражениями:

$$\begin{aligned}\tilde{K}_{y(s)1} &= \tilde{K}_{oty(s)} + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_c - \tilde{K}_{oty(s)})]; \\ \tilde{K}_{y(s)2} &= \tilde{K}_{oty(s)} + \pi - \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_c - \tilde{K}_{oty(s)})]; \\ \tilde{K}_{y(p)1} &= \tilde{K}_{oty(p)} + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_c - \tilde{K}_{oty(p)})]; \\ \tilde{K}_{y(p)2} &= \tilde{K}_{oty(p)} + \pi - \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_c - \tilde{K}_{oty(p)})],\end{aligned}$$

где $\tilde{K}_{y(s)}$ и $\tilde{K}_{y(p)}$ - курсы судна соответственно при уклонении вправо и влево; K_c - курс цели и ρ - отношение скорости судна к скорости цели.

В случае, если скорость судна превосходит скорость цели, справедливы выражения:

$$\begin{aligned}\tilde{K}_{y(s)} &= \tilde{K}_{oty(s)} + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_c - \tilde{K}_{oty(s)})]; \\ \tilde{K}_{y(p)} &= \tilde{K}_{oty(p)} + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_c - \tilde{K}_{oty(p)})], -\end{aligned}$$

причем относительные курсы уклонения $\tilde{K}_{oty(s)}$ и $\tilde{K}_{oty(p)}$ определяются выражениями:

$$\tilde{K}_{oty(s)} = \alpha_y + \arcsin\left(\frac{l_{d1}}{l_y}\right), \quad \tilde{K}_{oty(p)} = \alpha_y + \arcsin\left(\frac{l_{d1}}{l_y}\right),$$

где l_y - дистанция между судами в момент начала уклонения.

Момент начала уклонения t_y рассчитывается исходя из заметности уклонения судна от начального курса.

Стратегия расхождения $D_2(K_y = K_{extr})$ содержит два параметра: время начала уклонения, которое равно начальному моменту времени $t_y = t_0$ и курс уклонения K_y , который обеспечивает $\max D_{\min}$. Это достигается на экстремальных относительных курсах:

$$K_{ot\min} = \pi + K_c - \arcsin \rho \quad \text{или} \quad K_{ot\max} = \pi + K_c + \arcsin \rho.$$

Если через K_{extr} обозначить экстремальный относительный курс ($K_{ot\min}$ или $K_{ot\max}$), на котором дистанция кратчайшего сближения D_{\min} максимальна, то выражение для $\max D_{\min}$ имеет следующий вид, учитывая, что уклонение судна производится в начальный момент времени:

$$\max D_{\min} = l_n \left| \sin(K_{extr} - \alpha_n) \right|,$$

где α_n - пеленг на цель в начальный момент времени. Очевидно, что при учете выражений для $K_{or\min}$ и $K_{or\max}$ справедливо соотношение $\sin(K_{extr} - \alpha_n) < 1$, следовательно, $\max D_{\min} < D_n$.

Данным экстремальным относительным курсам уклонения, как следует из [3], соответствуют истинные курсы уклонения:

$$K_{y\min} = K_c + \arccos(\rho) \quad \text{и} \quad K_{y\max} = K_c - \arccos(\rho).$$

В случае, когда начальная позиция судов принадлежит подмножеству опасных ситуаций P_{n3} и используется стратегия $D_3[K_{y1} = \alpha(t) + \pi]$, которая применяется в начальный момент времени, а текущий курс K_{y1} равен $K_{y1} = \alpha(t) + \pi$, причем он изменяется таким же образом, как и текущий пеленг $\alpha(t)$. В этом случае, учитывая, что курс цели K_c неизменный, выбор курса $K_{y1} = \alpha(t) + \pi$ ведет к минимальной опасности столкновения, так как минимизирует сокращение дистанции между судном и целью.

Возвращение судна на программную траекторию движения после расхождения с целью зависит от применяемой стратегии расхождения. Так, при использовании первой стратегии расхождения выбирается курс возвращения K_b судна на заданную траекторию, который приблизительно на 40° отличается от программного курса, причем момент поворота t_b на этот курс, обеспечивающий безопасное достижение заданной траектории, вычисляется с помощью выражения:

$$t_b = t_y + \frac{l_{d1} + l_n \sin(\alpha_n - K_{otb}) + V_{om} t_y \sin(K_{otb} - K_{om})}{V_{oty} \sin(K_{oty} - K_{otb})},$$

где K_{om} , K_{oty} и K_{otb} - соответственно относительные курсы начальный, уклонения и возвращения; V_{om} и V_{oty} - относительные скорости соответственно начальная и уклонения.

В случае расхождения судна с целью с помощью второй стратегии, после момента кратчайшего сближения на дистанцию $\max D_{\min}$ судно продолжает следовать экстремальным курсом $K_y = K_c \pm \arccos(\rho)$, увеличивая дистанцию до цели, пока не наступит момент времени:

$$t_b^* = t_y + \frac{l_{d1} + l_n \sin(\alpha_n - K_{otb}) + V_{om} t_y \sin(K_{otb} - K_{om})}{V_{oty} \sin(K_{extr} - K_{otb})}.$$

В этот момент времени судно ложится на курс возвращения K_b на программную траекторию движения.

Если для расхождения судов реализуется третья стратегия расхождения, то судно уходит от цели на курсе равном обратному пеленгу на цель, увеличивая дистанцию до цели, пока дистанция D между судном и целью не станет равной l_{d2} . В этом случае расходящиеся суда попадают из третьего подмножества относительных позиций P_{n3} во второе P_{n2} , в котором оптимальной является вторая стратегия $D_2(K_y = K_{extr})$. Поэтому в момент времени, когда $D = l_{d2}$, судно следует изменить свой курс на экстремальный $K_y = K_c \pm \arccos(\rho)$ и следовать им, пока не станет справедливым равенство $D = l_{d1}$, после чего надлежит сделать расчет текущего значения пеленга на цель и рассчитать по вышеприведенной формуле момент времени t_b^* поворота на курс возвращения K_b .

Максимальная безопасность возвращения судна на программную траекторию предлагаемым способом очевидна, однако она и наиболее экономична, особенно при реализации третьей стратегии расхождения, при которой скорость изменения дистанции между судном и целью является минимальной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафин И.В. Расчет граничных значений параметров множества допустимых маневров расхождения // Судовождение. - 2002. - №4. - С. 95 – 100.
2. Бурмака И.А. Учет динамики судна при выборе маневра расхождения // Судовождение. - 2002. - №4. - С. 32 – 36.
3. Цымбал Н.Н., Бурмака И.А., Тюпиков Е.Е. Гибкие стратегии расхождения судов. – Одесса: Издательство КП ОГТ, 2007. – 422 с.

РЕФЕРАТЫ

УДК 621.431.74:629.12.37

Брошков С.Д. Настройка электронного ограничителя нагрузки SELMA-MARINE // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. - 2007. - Вып. 12. - Одесса: ОНМА. - С. 3 - 7.

Даны рекомендации по выбору настроечных параметров ограничителя с учетом особенностей пропульсивной установки.

Ил. 3. Список лит.: 4 назв.

УДК 656.61.052

Вагущенко А.Л., Вагущенко Л.Л., Заичко С.И. Оперативное изменение маршрута для расхождения с судами и препятствиями // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. - 2007. - Вып. 12. - Одесса: ОНМА. - С. 8 - 15.

Для автоматического режима вождения судна по заданному маршруту предложены алгоритмы, позволяющие в режиме диалога с навигационно-информационной системой на электронной карте оперативно корректировать маршрут движения для предупреждения чрезмерного сближения с судами и препятствиями, оценивать безопасность движения по измененному пути и выбирать эффективный вариант расхождения.

Ил. 9. Список лит.: 4 назв.

УДК 621.316.79

Глазева О.В., Дранкова А.О., Муха Н.И. Методы компенсации погрешностей измерений расхода тяжелого топлива главного двигателя // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. - 2007. - Вып. 12. - Одесса: ОНМА. - С. 16 - 25.

Проанализированы методы динамической коррекции погрешностей измерений и показаны преимущества нейросетевого метода с использованием нейропроцессора Л1879ВМ1.

Табл. 1. Ил. 10. Список лит.: 10 назв.

УДК 629.12.004.5

Горб С.И. Тенденции развития технического обслуживания судов // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. - 2007. - Вып. 12. - Одесса: ОНМА. - С. 26 - 35.

Сокращение судовых экипажей и новые требования к техническому обслуживанию судов требуют модернизировать организацию технического обслуживания. Новые функции могут быть возложены на компьютеризированные информационные системы, которые широко внедряются на флоте. В результате проведенного анализа перечисле-

ны перспективные направления совершенствования организации технического обслуживания судов.

Ил. 3. Список лит.: 5 назв.

УДК 621.182.23

Дулдьер А.П., Хнюнин С.Г. Датчик контроля излучения пламени с использованием метода цветовой пирометрии // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. - 2007. - Вып. 12. - Одесса: ОНМА. - С. 36 - 40.

Для идентификации процесса горения предлагается к использованию разработанный оптический датчик. Рассматриваются пути упрощения комплекса измерения за счёт программно-аппаратного подхода к построению исполнительной схемы. Определены основные направления использования программно-аппаратных возможностей датчика с микроконтроллерным блоком.

Ил. 2. Список лит.: 7 назв.

УДК 629.5

Егоров Г.В., Тонюк В.И. Обоснование характеристик сухогрузных судов с повышенным экологическим стандартом безопасности // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. - 2007. - Вып. 12. - Одесса: ОНМА. - С. 41 - 52.

Дано обоснование нового проекта RSD17 типа "Мирзага Халилов" многоцелевого сухогрузного судна дедвейтом около 6350 т. Судно оптимизировано для работы при осадках около 4,5 м российских портов Азовского и Каспийского морей (относится к "азовским пятидесяти тысячникам") с возможностью передислокации по Волго-Донскому судоходному каналу. Удовлетворяет повышенным экологическим требованиям.

Табл. 1. Ил. 4. Список лит.: 4 назв.

УДК 681.51

Кондратенко Ю.П., Кондратенко Г.В., Мельник Т.Л. Синтез та аналіз властивостей нечітких регуляторів для стабіль заці температури в суднових приміщеннях // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. - 2007. - Вып. 12. - Одесса: ОНМА. - С. 53 - 67.

Синтезовано нечіткі ПД-регулятори типу Сугено та Мамдані для систем управління температурою в суднових приміщеннях. Здійснено порівняльний аналіз властивостей та показників якості систем управління з різними типами регуляторів. Показано переваги використання нечіткого ПД-регулятора Сугено-типу з оптимізованими пара-

метрами.

Табл. 5. Ил. 6. Список лит.: 16 назв.

УДК 656: 621.431

Коханский А.И., Колпакчи Э.М. Идентификация передаточных функций охладителя надувочного воздуха // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. - 2007. - Вып. 12. - Одесса: ОНМА. - С. 68 - 77.

Предложен математический аппарат для разработки системы регулирования температуры надувочного воздуха.

Ил. 1. Список лит.: 4 назв.

УДК 621.316.79

Кувшинов А.И., Муха Н.И., Онищенко О.А. Идентификация параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя на основе экспертных оценок // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. - 2007. - Вып. 12. - Одесса: ОНМА. - С. 78 - 85.

Предложен метод идентификации параметров в условиях ограниченной информации об асинхронном двигателе.

Табл. 1. Ил. 2. Список лит.: 10 назв.

УДК 689.12-8.004.5.001.5

Морозов А.И., Варбанец Р.А. Дискретные В-сплайн фильтры в системах мониторинга рабочего процесса судовых дизелей // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. - 2007. - Вып. 12. - Одесса: ОНМА. - С. 86 - 94.

Рассмотрен метод цифровой обработки сигналов с использованием цифровых В-сплайн фильтров в задачах обработки дискретных сигналов в системах мониторинга рабочего процесса судовых дизелей.

Табл. 1. Ил. 4. Список лит.: 10 назв.

УДК 681.586.773:537.228.1

Никольский В.В., Оженко Е.М., Уранковский И.Г. Повышение качества регулирования вязкости топлива на судне // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. - 2007. - Вып. 12. - Одесса: ОНМА. - С. 95 - 107.

Рассмотрены вопросы повышения качества регулирования вязкости топлива на судне при использовании устройств пьезоактивной механики в системе регулирования.

Табл. 1. Ил. 10. Список лит.: 14 назв.

УДК 629.123.1.001

Суворов П.С., Тарасенко Т.В. Оценка влияния мелководья на ходовые характеристики морских судов // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. - 2007. - Вып. 12. - Одесса: ОНМА. - С. 108 - 114.

Получены уточненные результаты расчета сопротивления и эффективной мощности на мелководье для судов серии "Измаил", предложены подходы для оценки влияния мелководья на характеристики ходкости морских и речных судов.

Ил. 7. Список лит.: 7 назв.

УДК 629.123.1.001

Суворов П.С., Тарасенко Т.В. Оценка расхода топлива и потери скорости в условиях штормового волнения // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. - 2007. - Вып. 12. - Одесса: ОНМА. - С. 115 - 121.

Получены эмпирические зависимости для определения и прогнозирования расхода топлива судов типа "Измаил" в эксплуатационных условиях, а также проверена адекватность разработанной ранее теоретической модели расчета сопротивления судов.

Табл. 2. Ил. 3. Список лит.: 3 назв.

УДК 656.61.052.484

Урбанский И.А., Цымбал Н.Н. Оптимизация параметров возвращения судна на заданную траекторию движения после расхождения с целью // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. - 2007. - Вып. 12. - Одесса: ОНМА. - С. 122 - 126.

Предложен способ возвращения судна на заданную траекторию движения, учитывающий тип стратегии его расхождения с целью.

Список лит.: 3 назв.

СОДЕРЖАНИЕ

Брошков С.Д. Настройка электронного ограничителя нагрузки SELMA-MARINE.....	3
Вагущенко А.Л., Вагущенко Л.Л., Заичко С.И. Оперативное изменение маршрута для расхождения с судами и препятствиями	8
Глазева О.В., Дранкова А.О., Муха Н.И. Методы компенсации погрешностей измерений расхода тяжелого топлива главного двигателя.....	16
Горб С.И. Тенденции развития технического обслуживания судов	26
Дулдиер А.П., Хнюнин С.Г. Датчик контроля излучения пламени с использованием метода цветовой пирометрии	36
Егоров Г.В., Тонюк В.И. Обоснование характеристик сухогрузных судов с повышенным экологическим стандартом безопасности	41
Кондратенко Ю.П., Кондратенко Г.В., Мельник Т.Л. Синтез та аналіз властивостей нечітких регуляторів для стабільі зації температури в суднових приміщеннях	53
Коханский А.И., Колпакчи Э.М. Идентификация передаточных функций охладителя надувочного воздуха	68
Кувшинов А.И., Муха Н.И., Онищенко О.А. Идентификация параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя на основе экспертных оценок	78
Морозов А.И., Варбанец Р.А. Дискретные В-сплайн фильтры в системах мониторинга рабочего процесса судовых дизелей.....	86
Никольский В.В., Оженко Е.М., Уранковский И.Г. Повышение качества регулирования вязкости топлива на судне	95
Суворов П.С., Тарасенко Т.В. Оценка влияния мелководья на ходовые характеристики морских судов	108
Суворов П.С., Тарасенко Т.В. Оценка расхода топлива и потери скорости в условиях штормового волнения	115
Урбанский И.А., Цымбал Н.Н. Оптимизация параметров возвращения судна на заданную траекторию движения после расхождения с целью.....	122
Рефераты	127

ПРАВИЛА
оформления и представления рукописей для сборника
"Автоматизация судовых технических средств"

1. Рукопись представляется в редакционную коллегию в электронном виде: текст в формате *.doc (Word), набранный любым кегелем, без графических изображений; рисунки отдельными файлами в любом графическом битовом формате. Электронная версия рукописи сопровождается распечаткой, которая должна быть подписана всеми авторами (на обороте рисунков указывается их номер и принадлежность к статье).

2. Объем статьи (с иллюстрациями, подрисуночными подписями и рефератом) не должен превышать 0,5 авторского листа.

3. На первой странице рукописи должны быть построчно указаны: индекс УДК; инициалы и фамилии авторов; сокращенное наименование учреждения, в котором выполнялась работа; название статьи. На последней странице рукописи приводятся подрисуночные подписи и реферат.

4. Таблицы печатаются в тексте и должны быть снабжены поясняющими заголовками. Ссылки на таблицы даются в сокращенном виде (таб.).

5. В формулах и буквенных обозначениях латинский шрифт должен иметь наклон (за исключением тригонометрических функций, марок и наименований). Во всех случаях разметка формул в копии рукописи обязательна. Нумеруются только те формулы, на которые есть ссылки в тексте. Единицы физических величин должны соответствовать ДСТУ 3651.0-97, ДСТУ 3651.1-97, ДСТУ 3651.2-97 "Метрология. Единицы физических величин" и иметь общепринятые обозначения.

6. Библиографическое описание произведений печати должно соответствовать ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 166 с.

7. Текст статей должен соответствовать требованиям постановления Президиума ВАК Украины от 15.01.03, № 7-05/1 "О повышении требований к специальным изданиям, внесенных в перечни ВАК Украины".

Подписано в печать 27.09.07. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная №1.

Гарнитура Times new Roman. Усл. печ. л. 8,3. Тираж 100 экз.

Отпечатано с готового оригинал-макета в Одесской национальной морской академии, 65029, г. Одесса, ул. Дидрихсона, 8.