

УДК 656.078.12

Д.В. Кутяков, А.Ф. Мошнянский

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

В статье рассматривается решение задачи нестационарной теплопроводности с граничным условием. Получена математическая модель и предлагается ее применение в алгоритме автоматического управления оптимально кратким во времени и безопасным режимом пуска судовой паровой турбины. Данная модель и алгоритм являются элементом общей математической модели судового пропульсивного комплекса.

Ключевые слова: математическая модель, автоматика, алгоритм, теплопроводность, управление, пуск, судовая паротурбина.

У статті розглядається розв'язування задачі нестационарної теплопровідності з граничною умовою. Одержано математичну і пропонується застосування її в алгоритмі автоматичного керування оптимально коротким в часі і безпечним режимом пуску судової парової турбіни. Дана модель і алгоритм є елементом загальної математичної моделі судового пропульсивного комплексу.

Ключові слова. Математична модель, автоматика, алгоритм, теплопровідність, керування, пуск, судова паротурбіна.

The article focuses on solution of the problem related to transient heat conductivity with a boundary condition. Obtained is a mathematical model, which is suggested to be further, applied in the automatic operation scheme for optimally shortest and safe run mode of the marine steam turbine. This model and a scheme are elements of the common mathematical model of the ship's propelling unit.

Keywords: mathematical model, automatic, scheme, thermal conductivity, run mode, marine steam turbine.

Автоматизация управления, новые информационные технологии (ИТ) с использованием современных технических и программных средств, компьютерные системы управления (КСУ) находятся в центре внимания на водном транспорте.

Сотрудниками лаборатории мониторинга СДВС кафедры «Судовые энергетические установки (СЭУ) и техническая эксплуатация» Одесского национального морского университета разработана система on-line контроля основных объектов СЭУ: двух главных двигателей, до четырех дизельгенераторов и судового котла [1]. Система базируется на современных технологиях определения эффективных параметров СЭУ в процессе эксплуатации судна.

© Кутяков Д.В., Мошнянский А.Ф., 2016

Определение во время эксплуатации реальных значений эффективной мощности главных и вспомогательных двигателей позволяет максимально корректно рассчитывать фактический расход топлива (масла), а также контролировать техническое состояние дизелей. Доступ информации, передаваемой с судна по одному из каналов связи (GPS, INMARSAT или спутниковая связь), организован через сайт. Службе управления достаточно иметь выход в Интернет и параметры автоматизации, чтобы из любой точки мира круглосуточно получать информацию по своим судам.

Имеются разработки алгоритмов управления режимом подогрева грузов в процессе их транспортировки на танкерах [2; 3], что позволяет решать задачи энергосбережения и сохранения качества продукта. Управляющими функциями системы являются управление расходом и давлением пара на систему подогрева, что приводит к регулированию теплового потока от нее к грузу. Управление давлением пара обеспечивает также ограничение по максимальной температуре груза с целью избежать, например, порчи его и полимеризации на поверхности системы подогрева. Осуществляется также управление выбором технологической схемы подогрева в каждом конкретном случае. Алгоритмы управления должны отражать процедуры расчета управляющих воздействий для различных участков процесса [2; 3]. В [3] приведена разработка функциональной схемы системы управления процессом подогрева вязких грузов на основе мини-ЭВМ. Схема требует усовершенствования с учетом внедрения современных КСУ с использованием датчиков давления, температуры, расхода с преобразованием их показаний в удобные для использования сигналы. Так, например, в [4] разработкой сенсорной техники и внедрением на судах занимается фирма Baumer Sensoren, работающая в тесном взаимодействии с фирмами С. Е. Vant Hof (Нидерланды) и Navantia (Испания). В перечень их продукции входят различные датчики движения, температуры, уровня жидкости в танках и др. Все датчики изготавливаются из высококачественных сталей и специальных сплавов с высокой коррозионной стойкостью. Компания Kongsberg Maritime (Норвегия) разработала и выпускает новое оборудование для контроля состояния грузовых танков танкеров для перевозки нефти и химических продуктов [5]. Системы GL 300 включают в себя возможности оперативного контроля температуры, давления и состояние танка с использованием новейших датчиков и средств радиолокации в сочетании со средствами обработки сигналов.

Классификационное общество судоходства Японии (NK) издало руководство по судовой беспроводной локальной системе связи WLAN (Guideness on Shipboard Wireless Local Area Network) для передачи сообщений судно-берег [6]. Базовый проект системы WLAN включает пункт приема сообщений, распределительный щит сети, беспроводный терминал, который может быть персональным компьютером, или телефоном VOIP (Voice over internet protocol), контрольный сервер и кабели LAN.

Пункт приема устанавливается в любом помещении на судне, соединенный кабелями с распределительным щитом.

Изложены основные положения руководства по установке, комплектации и эксплуатации системы WLAN на судне.

Длительность пуска судовой турбины определяется начальным и текущим тепловым состоянием ее перед пуском и ограничивающими факторами. Одним из ограничивающих факторов является термическое напряжение, возникающее в фланцах горизонтального разъема цилиндра высокого давления (ЦВД). Конкретными ограничивающими факторами, подлежащими контролю, при пуске являются, например, разность температур по толщине фланца ЦВД. Разность температур по фланцу возрастает и через некоторое время достигает максимума, который может быть достаточно опасен. Оптимальный пуск должен сопровождаться максимальной допустимой скоростью нагружения гребного вала. При автоматизации пуска паротурбины выбирают разности температур в зоне камеры регулирующей ступени ЦВД. по толщине фланца.

Задачи управления в судовой энергетике характеризуются широким спектром требований к быстродействию, надежности организации интерфейса, наличие сервиса и др. Микропроцессорные средства управления прошли путь от простейших систем до комплексных распределенных систем с развитыми возможностями реализации IT-решений [7]. Первые комплексы были аналоговыми, а потом появились программно-технические микропроцессорные системы. Комплекс имеет модульную структуру и является проектно-компонентным. Каждый из модулей имеет собственный микропроцессор, память, каналы ввода-вывода информации. Для решения типовых задач может быть использовано несколько видов модулей, которые отличаются набором каналов ввода-вывода и дополнительными функциями базового программного обеспечения. Каждый модуль помимо собственно технологической программы управления может выполнять диагностические и сервисные функции. Выполнение функций управления на средствах, однотипных с АСУТП позволяет упростить реализацию автоматизации пуска судовой турбины. В системах используются операционные системы UNIX SCO и X-WINDOWS и др. Среди новых элементов систем отличается WEB-сервер, который обеспечивает возможность представлять информацию в виде кадров, оснащенных стандартными WEB-браузерами. Данные можно вставлять в офисные приложения судоходных компаний, такие как Word, Excel, что позволяет, например, сформировать отчеты и другие документы. Решение поставленной задачи обеспечивается глубокой проработкой технологических алгоритмов контроля и управления, основанной на максимальном использовании возможностей аппаратуры. В качестве базового программного обеспечения может использоваться специализированный для судовой энергетике программный продукт, построенный на основе библиотеки и алгоритмов аппаратуры систем. Надежная работа алгоритмов управления

возможна лишь в случае уверенности в достоверности входной информации и гарантии правильности обработки управления воздействий [8].

Ниже предлагается алгоритм управления тепловым состоянием судовой паровой турбины (СПТ) в переходном режиме. Надежность СПТ при реверсировании определяет безопасность плавания судна в условиях маневрирования и, в значительной степени, зависит от теплового состояния. Экспериментальные результаты исследования в ОИИМФе [9] показывают, что ответственные детали турбины работают в условиях, близких к тепловому удару. При этом детали испытывают значительные термические напряжения, снижающие их надежность и долговечность.

Разработка автоматизированной системы управления тепловым состоянием СПТ в условиях маневрирования судна требует определения функциональных особенностей системы разработки и отладки алгоритмов. В работе рассматривается алгоритм управления тепловым режимом фланца корпуса СПТ в сечении кольцевой камеры паровпуска.

В [9] получены зависимости для расчета коэффициентов теплообмена (КТО) на внутренней и наружной поверхностях фланца. Коэффициенты определялись для наиболее тяжелого режима работы – режима реверса с полного длительного переднего хода на полный задний ход.

Сигналы с датчиков температуры пара и наружной среды могут поступать через усилитель постоянного тока на входные платы, установленные в системном блоке судовой ПЭВМ. Благодаря аналого-цифровым преобразователям (АЦП) проходит обработка поступающей информации, и отображение ее в реальном масштабе времени на мониторе ПЭВМ. Это позволяет, как определять температурное поле по ширине фланца горизонтального разъема турбины высокого давления (ТВД) в реальном времени, так и проводить прогнозирование теплового состояния фланца в развитии ближайших режимов.

Математическая модель, описывающая нестационарное тепловое состояние в нелинейной постановке по ширине фланца, имеет вид

$$\frac{\partial}{\partial X}[\lambda(T)\frac{\partial T}{\partial X}] - c\rho(T)\frac{\partial T}{\partial \tau} = 0, \quad 0 < X < L < 0; \quad (1)$$

$$T(X, 0) = T_0(X) \quad (2)$$

$$\lambda\left(\frac{\partial T}{\partial n}\right)_n + \alpha[T_n(\tau) - T_c(\tau)] = 0, \quad X = 0, X = L, \tau > 0 \quad (3)$$

где X – координата;

λ – коэффициент теплопроводности;

T – температура;

T_n – температура среды (пара);

L – ширина фланца;

$c\rho$ – удельная теплоемкость;

α – КТО;

T_0, T_f – начальная температура и температура поверхности соответственно.

Изменения температурного поля фланца во времени $\frac{\partial T}{\partial \tau}$ – являются функциями температуры пара $T_{\bar{n}}$. Алгоритм управления значением $T_{\bar{n}}$ может рассматриваться из условий обеспечения температуры в точках по ширине фланца или на внутренней поверхности фланца T не выше допустимой $T_{\bar{A}}$ или T_{\max} , исходя из заданной полосы температур пара при следующих ограничениях:

$$T_{c1} < T_c < T_{c2}; \quad \Delta T_D \leq [\Delta T_{\bar{A}}]. \quad (4)$$

Значения $T_{\bar{A}}, T_{c1}, T_{c2}, \Delta T_{\bar{A}}$ задаются из условий опыта.

Здесь T_{c2} – максимальное значение температуры пара;

T_{c1} – нижнее значение температуры пара в упомянутой полосе температур;

T_D – рабочая температура.

Можно непрерывно проследивать на судовой ПЭВМ тепловое состояние фланца, используя дискретно поступающие данные относительно $T_{\bar{n}}$ и температуры наружного воздуха $T_{\bar{AC}}$. При этом считается, что в памяти ПЭВМ имеются два массива одномерного поля фланца из 10-12 узловых точек и более. Первый массив соответствует непрерывному прослеживанию в реальном времени с учетом поступающей информации $T_{\bar{n}}$ (пара) и $T_{\bar{AC}}$. Второй массив используется для прогнозирующих расчетов с целью своевременной выработки рекомендаций для системы управления.

Если предположить, что интервал времени $\Delta \tau_2$ соответствует интервалу прогнозирования в момент τ , в момент $\tau + \Delta \tau_1$, где $0 < \Delta \tau_1 < \Delta \tau_2$, необходимо ввести такие коррекции по $T_{\bar{n}}$, чтобы в момент времени $\tau + \Delta \tau_2$ было обеспечено $T < [T_{\bar{A}}], T_{c1} < T_c < T_{c2}$. Значение $\Delta \tau_2$ выбирается таким, чтобы было заведомо $\Delta \tau_1 < \Delta \tau_2$. Принимая параметры неизменными на отрезке $\Delta \tau_2$, можно определить в момент $\tau + \Delta \tau_2$, например, температурное поле $T(\tau + \Delta \tau)$. Чтобы определить величину отклонений от допустимых значений, т. е. найти значение $[\Delta T]$, необходимо использовать определенные соотношения

$$[\Delta T] = T - [T_{\bar{A}}] \text{ при } T - [T_{\bar{A}}] > 0, \quad (5)$$

$$[\Delta T] = T - [T_{\bar{a}}] \text{ при } T - [T_{\bar{a}}] < 0. \quad (6)$$

Если $[\Delta T] = 0$ по формулам (5) – (6), то принимается решение не менять тепловой режим. В случае, если $[\Delta T]$ не равны нулю, вычисляется поправка ΔT_c . Используя данные первого массива температурного поля фланца, можно просчитать один вспомогательный вариант режима до момента $\tau + \Delta\tau_2$. Это режим при измененной температуре $T_{\bar{n}}$. По имеющемуся расчету температурного поля фланца от момента τ до $\tau + \Delta\tau_2$ определяется частная производная $\frac{\partial T}{\partial T_c}$. Значение T на данном отрезке времени рассматривается как некоторый функционал от температуры пара $T_{\bar{n}}$

$$\Delta T = \left(\frac{\partial T}{\partial T_c} \right) \Delta T_c \quad (7)$$

Из условия (7) можно определить необходимые изменения для получения заданных значений $\Delta T = -[\Delta T]$ в момент $\tau + \Delta\tau_2$

$$\Delta T_c = -[\Delta T] / \left(\frac{\partial T}{\partial T_c} \right) \quad (8)$$

Используя значения ΔT_c и соотношения (4), можно определить рекомендации по изменению ΔT_c

$$T_{c1} < T_c + \Delta T_c < T_{c2} \quad (9)$$

$$T_{c1} - T_c < T_c + \Delta T_c < T_{c2}. \quad (10)$$

Выводы

1. Управляющие системы, в первую очередь должны достаточно оперативно на базе упомянутых моделей разрабатывать рекомендации по коррекции теплового состояния фланца.

2. Управляющей функцией системы является температура пара, позволяющая осуществить регулирование теплового состояния фланца.

3. Математические модели и методы их реализации могут приниматься с различной степенью точности с учетом ограничений, упрощающих расчеты.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Варбанець Р.А., Ивановский В.Г., Кучеренко Ю.Н., Головань А.И. Интернет-мониторинг эксплуатационных режимов судовой энергетической установки // Вісник ОНМУ: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2011. – Вип. 32. – С.123-127.
2. Мошнянский А.А., Мошнянский А.Ф., Чумак О.А. К вопросу подогрева пищевых грузов на танкерах при участии сюрвейерских компаний и создателей логистической сети // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2011. – Вип. 18. – С.182-194.
3. Мошнянский А.Ф., Мулько В.И. Автоматизация и контроль режимов подогрева груза на танкерах. – М.: Транспорт, 1982. – 117 с.
4. Walldorf D. Sensortechnik im Schiffbau // Schiff und Hafen. – 2011. – 63. – № 11. S. 36-38.
5. Kongsberg extends its capabilities // Nav. Arcit. – 2010. – Sept., P. 120.
6. ClassNK releases guidelines on shipboard Wireless LAN systems // Ship. and Boat Int. – 2010. – Nov.-Dec. – P. 40 – 41.
7. Сви́дерский А.Г., Херпель Х., Кишки В.Л. Технические средства для автоматизации объектов энергетики // Электрические станции. – № 1. – 2004. – С. 17-25.
8. Биленко В. А. Функциональные возможности современных АСУТП ТЭС и новый уровень автоматики // Электрические станции. – № 1. – 2004. – С. 33-41.
9. Бурачков Б.М., Мошнянский А.Ф. Исследование процессов теплообмена в судовой турбине заднего хода // Судовые энергетические установки. – Л., 1980. – С.74-78.

Стаття надійшла до редакції 18.10.2016

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету **В.Г. Івановський**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Інформаційні технології» Одеського національного морського університету **В.В. Вичужанін**