

УДК 62-843.6

**МНОГОКОНТУРНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ**

Тимофеев Виталий Никифорович

доктор технических наук, доцент

Егоров Артем Алексеевич

студент

Михайлов Алексей Алексеевич

студент

Зайцев Андрей Сергеевич

студент

Смирнова Мария Юрьевна

студентка

Чувашский государственный университет, г. Чебоксары

Аннотация. Главным условием обеспечения экономичности, экологических и ресурсных показателей судового ДВС является его оптимальное температурное состояние, которое характеризуется степенью нагрева его основных деталей, зависящей от тепловой нагрузки этих деталей, их теплоотводящей способности, а также интенсивности теплообменных процессов.

Достаточно стабильное и равномерное тепловое состояние (ТС) деталей ДВС обеспечивается их конструкцией, а также характером протекания рабочего процесса. Вместе с тем, оптимальное тепловое состояние (ТС) двигателя должно поддерживаться при любых эксплуатационных условиях и режимах работы. Это состояние обеспечивается совокупностью специальных устройств – системой автоматического регулирования температуры (САРТ), отводящей теплоту от теплонапряженных деталей.

Большинство современных судовых ДВС имеют ТС близкое к наилучшему только на номинальных режимах работы. На частичных нагрузках, температуры деталей ЦПГ еще ниже, вследствие несовершенства системы управления охлаждением двигателя.

Для каждого двигателя существует наилучшее ТС, обеспечивающее наибольшую экономичность на большинстве режимов работы. Для поддержания этого теплового состояния требуется автоматическое управление САРТ, определяющим параметром которого является температура охлаждающей воды.

В статье рассматривается многоконтурная система автоматического регулирования температуры в рабочих системах охлаждения, смазки и наддувочного воздуха. При этом путем использования электронных терморегуляторов и элементов автоматики достигается

поддержание требуемых параметров в указанных рабочих системах при любых нагрузках работы судового дизеля.

Таким образом, многоконтурная система автоматического регулирования всех температурных параметров в СО, НВ, смазки и представляет собой, как пример сложного рационального решения для систем комплексной автоматизации.

Ключевые слова: судовой двигатель, системы охлаждения, смазки, наддувочного воздуха, электронный терморегулятор, нагрузка, оптимальная температура, насос, утилизационный котел, теплообменник, охладитель, внутренний контур, забортная вода.

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) являются одним из основных элементов судовых энергетических установок (СЭУ).

Дизельный двигатель в составе СЭУ все более адаптируется к тем или иным условиям эксплуатации, повышается его экономичность, уменьшается удельный вес с одновременным увеличением надежности и т.д. Главный судовой дизельный двигатель перестает быть только поршневой машиной и все чаще включает в свою структуру принципиально новые для него элементы, к числу которых следует отнести, прежде всего, компрессоры и газовые турбины.

В настоящее время для возрождения отечественного гражданского судостроения разработана Федеральная целевая программа "Модернизация транспортной системы России", в которую входят в качестве составных частей подпрограммы "Морской транспорт" и "Внутренний водный транспорт". Разработана «Федеральная целевая программа развития гражданской морской техники на 2009-2016 годы», государственная программа РФ «Развитие судостроения на 2013-2030 годы».

Основной целью Федеральной целевой программы, утвержденной Распоряжением Правительства РФ от 7 ноября 2007 г. № 1571-р, является создание новых типов судов, эффективность которых в значительной мере определяется научно-техническим уровнем дизельных энергетических установок. Поэтому модернизация флота невозможна без совершенствования конструкции и методов технической эксплуатации главных и вспомогательных судовых дизелей. Концепция подпрограммы ФЦП «Создание и организация производства в Российской Федерации в 2011–2015 годах дизельных двигателей и их компонентов нового поколения», принятая постановлением Пр-710-р Правительства РФ от 21.04.2011г., предусматривает разработку новых базовых модификаций и типоразмерных рядов современных судовых четырехтактных дизельных двигателей, форсированных как по частоте вращения коленчатого вала, так и по среднему эффективному давлению, с низкими массогабаритными показателями и, следовательно, высокими уровнями температур и теплонапряженности их деталей.

Развитие двигателестроения [1] в настоящее время характеризуется:

- повышением агрегатной мощности за счет увеличения суммарного литража, степени наддува, а также (во многих случаях) за счет повышения скорости вращения вала;
- уменьшением массы и габаритных размеров за счет применения высокого наддува;
- повышением надежности, долговечности и топливной экономичности дизелей путем совершенствования конструкции как собственно дизеля (камеры сгорания), так и его агрегатов: топливоподающей аппаратуры, турбокомпрессора, автоматического регулирования температуры и т.д.
- существенным улучшением эксплуатационных качеств дизелей путем сокращения точек наблюдения за работой дизеля в процессе эксплуатации и уменьшением затрат на обслуживание; облегчением пуска дизелей;
- уменьшением шумности, вибраций, дымности и токсичности отработавших газов и т.д.

С этой целью требуется совершенствование и разработка новых высококачественных топливных систем, систем охлаждения, смазки и наддува.

Автоматическое терморегулирование судовых дизелей позволяет осуществить оптимальное регулирование системами судового ДВС, т. е. для заданного объекта регулирования и условий работы обеспечить наилучшие показатели качества, характеризующие режим его работы [1,3].

Анализ автоматического регулирования показал, что лучшими возможностями обладают средства электронной автоматики, позволяющие оптимизировать рабочие системы и САПР [1]. Они могут содержать различные электронные блоки, осуществляющие непрерывный синтез информации о состоянии рабочего процесса и внешних условий и вырабатывающие для каждого мгновенного состояния дизеля наиболее целесообразное (а при наличии ЭВМ – и оптимальное) решение.

Создание высокофорсированных и надежных судовых дизелей во многом определяется рациональным охлаждением деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ). Наметившиеся тенденции увеличения цилиндрических мощностей дизелей приводят к тому, что термические напряжения на теплонапряженных деталях соизмеримы или более механических напряжений от давления газов. Поэтому вопрос об оптимальном тепловом режиме деталей цилиндропоршневой группы в настоящее время крайне актуален для двигателестроителей, но в то же время он содержит массу "белых пятен". Увеличение цилиндрических мощностей дизелей с применением газотурбинного наддува приводит к необходимости регулирования температуры наддувочного воздуха.

В условиях эксплуатации судовые дизели до 30% времени работают на неуставившихся нагрузочных и скоростных режимах. Во время переходных процессов

температура теплонапряженных деталей ЦПГ дизелей претерпевает значительные изменения, при этом изменение температуры охлаждающей воды всегда отстает по времени от изменения режима работы, что приводит к возникновению термических напряжений, снижению экономичности и ухудшению экологических показателей дизельных двигателей.

Поддержание температуры деталей на заданном требуемом уровне возможно при соответствующем выборе для данного дизеля правильной организации рабочего процесса, оптимальной конструкции деталей и рациональной системы охлаждения, качественного регулирования теплового состояния.

В судовых СО применяются ТРГ прямого и непрямого действия, недостатками которых являются большая инерционность, наличие значительной погрешности, большие габариты и масса, возможная разгерметизация сильфона, не линейная характеристика работы. Электрические ТРГ, обладающие меньшей инерционностью и лучшим быстродействием, требуют дальнейшего исследования и совершенствования конструкции.

В результате утилизации тепла ОГ может быть использована для повышения эффективности СО и рабочих систем судового дизеля.

Используя новые конструкции и существующие системы охлаждения (СО) и электронные терморегуляторы (ТРГ) [1,2] в статье приводится многоконтурная система автоматического регулирования температуры (САРТ) судового дизеля, принципиальная схема которой представлена на рис. 1. Система служит для регулирования температуры воды, масла и наддувочного воздуха дизеля. В нее входят:

- система охлаждения воды – внутреннего контура А (ВКА);
- система забортной воды Б (СЗВ);
- система наддувочного воздуха В (СНВ);
- система смазки Г (ССГ);
- система утилизационного котла Д (СУД).

Система работает следующим образом.

После запуска дизеля система регулирования температуры дизеля начинает работать. Кроме того, начинает работать утилизационный котел 14, установленный на выхлопной трубе (не показан) дизеля 6, тепла которого подогревает подогреватели 11, 12.

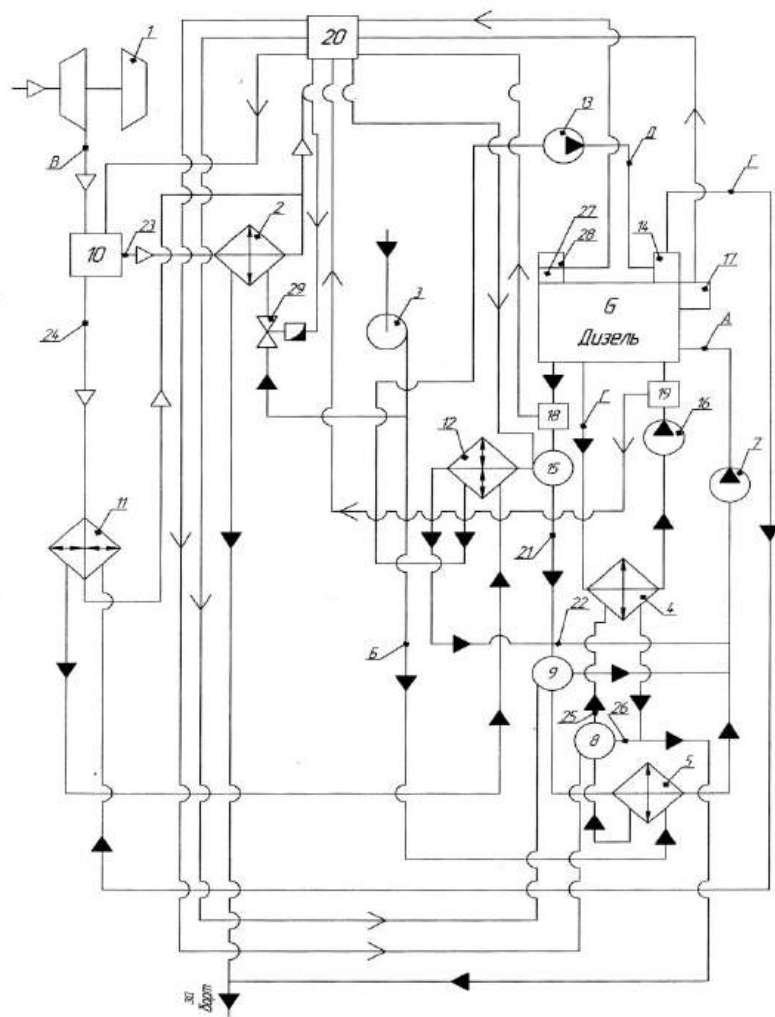


Рисунок 1. Многоконтурная система автоматического регулирования температуры судового дизеля: 1 – агрегат наддува; 2 – ОНВ; 3 – насос заборной воды; 4 – охладитель масла; 5 – охладитель внутреннего контура; 6 – дизель; 7 – насос внутреннего контура; 8 – ТРГ масла; 9 – ТРГ; 10 – распределитель НВ; 11 – подогреватель НВ; 12 – дополнительный подогреватель; 13 – насос; 14 – УК; 15 – ТРГ; 16 – масляный насос; 17 – ДН; 18 – ДТ; 20 – БУ; 21, 22 – каналы охлаждения; 23, 24 – каналы НВ; 25, 26 – каналы смазки

В зависимости от нагрузки дизеля температура охлаждающей воды внутреннего контура *A* должна быть, например, 95 °С на режимах холостого хода и частичных нагрузок и 80 °С на номинальных нагрузках. Исходя из этого при изменении нагрузки, если:

1. $P_e \leq P_{ном}$ и температура охлаждающей воды $t_p^0 \leq 95^\circ C$, то датчик температуры 18 подает сигнал на электронный блок 20, где формируется сигнал согласно закону регулирования. Полученный сигнал подается на электрический ТРГ 15, который начинает работать, и весь поток охлаждающей воды направляется в подогреватель 12, охлаждающая вода подогревается до оптимального значения, т. е. до температуры 95°С и направляется в дизель; t_p^0

2. $P_e = P_{ном}$, температура охлаждающей воды (контур *A*) $t_p^0 \geq 80^\circ C$, то электрический ДТ 18 подает сигнал на электронный блок 20, который приводит в работу электрический ТРГ

15, при этом часть потока охлаждающей воды направляется в подогреватель 12, другая часть воды направляется по каналу 21, где перемешивается с подогретой водой, выходящей из подогревателя 12, температура доводится до оптимального значения, т. е. до 80°C и по каналу 22 направляется в дизель;

3. $P_e = P_{ном}$, температура охлаждающей воды внутреннего контура А, $t_p^0 \leq 80^{\circ}\text{C}$, то срабатывает аналогично электрический ТРГ 15 и весь поток охлаждающей воды направляется по каналу 21, при этом срабатывает ТРГ 9 и часть потока охлаждающей воды направляется по каналу 22, а другая часть - через охладитель 6. Перед насосом эти два потока воды перемешиваются, ее температура доводится до оптимального значения (80°C) и подается в дизель 6. В случае дальнейшего повышения температуры охлаждающей воды, т.е. если $t_p^0 \geq 80^{\circ}\text{C}$, ТРГ 9 весь поток охлаждающей воды направляет через охладитель 5. Для уменьшения инерционности и улучшения характеристик переходного процесса ДТ 18 рекомендуется установить в среднем поясе втулки цилиндра со стороны подвода охлаждающей жидкости.

После запуска дизеля одновременно начинает работать СО наддувочного воздуха В. При этом в охладитель 2 поступает забортная вода, а в подогреватель 11 поступает горячая вода (или в виде насыщенного пара) из системы утилизационного котла 14.

В этом случае, если:

1. Дизель работает на долевых нагрузках или холостом ходу, ДН 17 подает сигнал на электронный блок 20, который подает требуемый сигнал на распределитель 10, который срабатывает и наддувочный воздух (t_s^0) из компрессора 1 по каналу 24 направляется в подогреватель, и подогревается до $t_s^0 = 65 - 80^{\circ}\text{C}$ (и направляется в дизель 6).

2. Дизель работает на номинальной нагрузке, то ДН 17 подает новый сигнал, при этом включается электрический распределитель 10 и поток наддувочного воздуха направляется по каналу 23 в охладитель 2, охлаждается до температуры $t_s^0 = 35 - 40^{\circ}\text{C}$ и направляется в дизель 6.

Система смазки Г работает аналогично от ТРГ 8.

Так как система смазки дизеля, как и СО, выполняет функции охлаждения деталей, не соприкасающихся непосредственно с СО, то температура в системе смазки должна быть постоянной. Изменения температуры в системе смазки в зависимости от режима работы дизеля допускаются не более 10°C . При использовании высококачественных масел рекомендуется поддерживать температуру масла на уровне $80-90^{\circ}\text{C}$ на входе в дизель. В тех случаях, когда для дизеля используют менее качественное масло, верхний уровень температуры масла приходится снижать и поддерживать его в пределах $60-70^{\circ}\text{C}$, а иногда и ниже.

При этом ДТ 19 и в зависимости от температуры масла (t_m) поток забортной воды направляется по каналу 25, если $t_m^0 \leq 80^\circ C$ – часть потока забортной воды направляется по каналу 25, остальная часть по каналу 26 на охладитель 4, если $t_m^0 \geq 80^\circ C$ – весь поток забортной воды направляется по каналу 26 в охладитель 4 при дальнейшем повышении температуры масла.

Таким образом, многоконтурная система автоматического регулирования всех температурных параметров в СО, НВ, смазки и представляет собой, как пример сложного рационального решения для систем комплексной автоматизации.

Список литературы:

1. Тимофеев В. Н. Методы и средства автоматического регулирования теплового состояния судовых ДВС: дис. докт. техн. наук /В Тимофеев. – СПб, 2015 , 2015, – 385 с.
2. Патент № 2270923. Россия, МПК F01P 7/16. Электрический термостат/В.Н. Тимофеев, Н.П. Кузин, А.Н. Краснов. Оpubл. 27.02.06. Бюл. №6.
3. Левин, М. И. Автоматизация судовых дизельных установок / М. И. Левин. – Л.: Судостроение, 1969. – 465 с.
4. Безюков, О.К. Основы комплексного совершенствования охлаждения судовых дизелей: автореф. дис ... д-ра техн. наук /О.К. Безюков. СПб., 1996. – 38 с.
5. Жуков, В.А. Научные основы повышения эксплуатационных высокооборотных судовых ДВС совершенствованием их охлаждения: Автореф. дис., докт. техн. наук / В.А. Жуков – СПб.: СПГУВК, 2012. – 38 с.