

С использованием результатов проведенных исследований был разработаны опытные образцы электронного регулятора для дизель-генератора типа АД-40. Осциллографирование переходных процессов этого ДГУ подтвердило возможность достижения параметров, полученных расчетным путем.

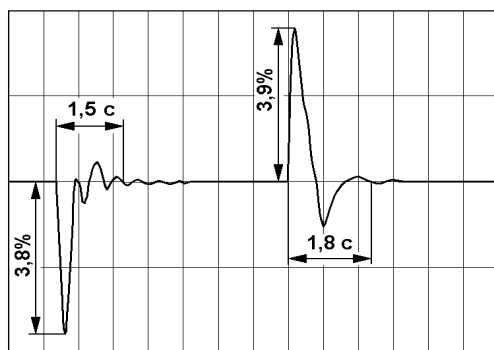


Рис. 4. Изменение частоты вращения коленчатого вала дизельного двигателя с ПИД-регулятором в переходных процессах набора нагрузки на ДГУ (слева) и сброса нагрузки (справа).

Проведенные расчетно-экспериментальные исследования подтвердили эффективность использования разработанного электронного регулятора частоты вращения ДГУ и возможность обеспечения динамических и статических показателей, соответствующих первому классу точности САР. Высокие статические и динамические показатели дизельного двигателя с разработанным регулятором свидетельствуют о возможности его использования и в дизелях транспортного назначения.

#### Литература:

1. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей. - М.: Изд-во «Легион-Автодата», 2005. - 344 с.
2. ГОСТ 10511-83. Системы автоматического регулирования скорости (САРС) дизелей стационарных, судовых, тепловозных и промышленного назначения. - М.: Изд-во Стандартов, 1983. - 14 с.
3. Крутов В.И. Автоматическое регулирование и управление двигателями внутреннего сгорания. - М.: Машиностроение, 1989. - 416 с.
4. Крутов В.И. Электронные системы регулирования и управления двигателями внутреннего сгорания. - М.: Изд-во МГТУ им.Баумана, 1991. - 138 с.

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ЖИДКОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ДВС

**Поликер Б.Е., Михальский Л.Л.** (ЗАО «Дизель-КАР»),  
**Аникин С.А.** (Холдинг «РусПромАвто»),  
**Девянин С.Н.** (МГАУ им. В.П. Горячкина),  
**Марков В.А.** (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

В связи с общей тенденцией повышения удельной мощности автотракторных двигателей до уровня 90-100 кВт/л к системам их жидкостного охлаждения предъявляются весьма жесткие требования [1,2]. Эти требования во многом определяют требуемые динамические характеристики системы автоматического регулирования теплового состояния (САРТ) ДВС. Дополнительные требования, предъявляемые к САРТ, связаны с необходимостью улучшения отдельных показателей ДВС, таких как расход топлива, токсичность отработавших газов двигателя, его металлоёмкость и массогабаритные показатели. При этом желательно обеспечить инвариантность САРТ по отношению к возмущающим воздействиям — нагрузке и положению педали акселератора.

Все эти требования могут быть удовлетворены путем улучшения эффективности обдува радиатора системы охлаждения двигателя и регулирования температуры охлаждающей жидкости с использованием электронной САРТ. Задачей исследования являлось определение путей создания инвариантной САРТ, обеспечивающей оптимальные показатели независимо от внешних возмущений, а также обоснование структуры САРТ с использованием статических и динамических моделей САРТ.

Проведенный анализ показал, что терморегулирование поршневого ДВС целесообразно осуществлять на основе изменения производительности вентилятора, сокращая затраты энергии и топлива. При этом учитывалось, что САРТ должна обеспечить повышение эффективности обдува и охлаждения радиатора. При установке вентилятора перед радиатором это достигалось путем увеличения расхода обдуваемого воздуха (повышения его плотности на 25 %), обеспечиваемого лопатками вентилятора, и расширения поверхности обдува.

Анализ характеристик и условий работы существующих САРТ выявил многосвязность процессов терморегулирования [2,3]. При этом динамические качества САРТ зависят от текущих значений момента сопротивления потребителя  $M_c(\tau)$  и положения  $\beta(\tau)$  педали акселератора (рычага регулятора ТНВД). Момент сопротивления  $M_c$  определяет необходимый крутящий момент двигателя  $M_{дв} = f(\omega_{дв}, \beta, p_{вз})$ , являющийся функцией частоты вращения его вала  $\omega_{дв}$ , положения педали акселератора  $\beta(\tau)$  и давления воздуха  $p_{вз}$ . Последний параметр определяет скорость  $U_{вз}^*$  и температуру  $t_{вз}^*$  воздушного потока, обтекающего радиатор. Таким образом, входными возмущающими воздействиями, требующими организации процесса их компенсации во времени  $\tau$ , являются момент сопротивления (нагрузки)  $M_c(\tau)$  и положение педали акселератора (рычага)  $\beta(\tau)$ . При выбранной двухсвязной модели САРТ ее выходными координатами являются частота вращения вала двигателя  $\omega_{дв}(\tau)$  либо крутящий момент двигателя  $M_{дв}(\tau)$  и температура охлаждающей жидкости  $t_{ож}(\tau)$  на выходе из двигателя (рис. 1).

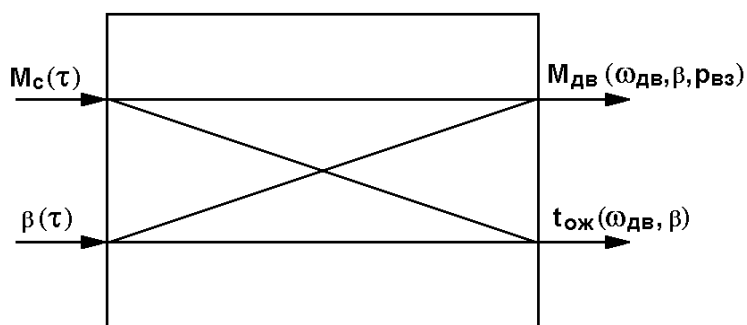


Рис. 1. Динамическая модель регулирования температуры системы охлаждения  $t_{ох}^{вых}$  двигателя.

Анализ показал, что при высоких тепловых нагрузках на систему охлаждения двигателя наиболее эффективными методами регулирования САРТ, являются методы, использующие принципы инвариантности (независимости от возмущений). Эти методы регулирования построены на принципе компенсации возмущений, определяющих тепловые нагрузки ДВС. При этом используются следующие идентификаторы теплового состояния двигателя – его крутящий момент  $M_{дв}$ , теплота  $Q_v$ , отдаваемая в систему охлаждения, условия  $F$  достаточности производительности обдувающего вентилятора.

Техническая реализация подобной инвариантной САРТ возможна только на базе средств современной электроники и вычислительной техники, позволяющих проводить оптимизацию параметров САРТ и обеспечить ее инвариантность. Авторами разработан вариант подобной САРТ (рис.2) [4].

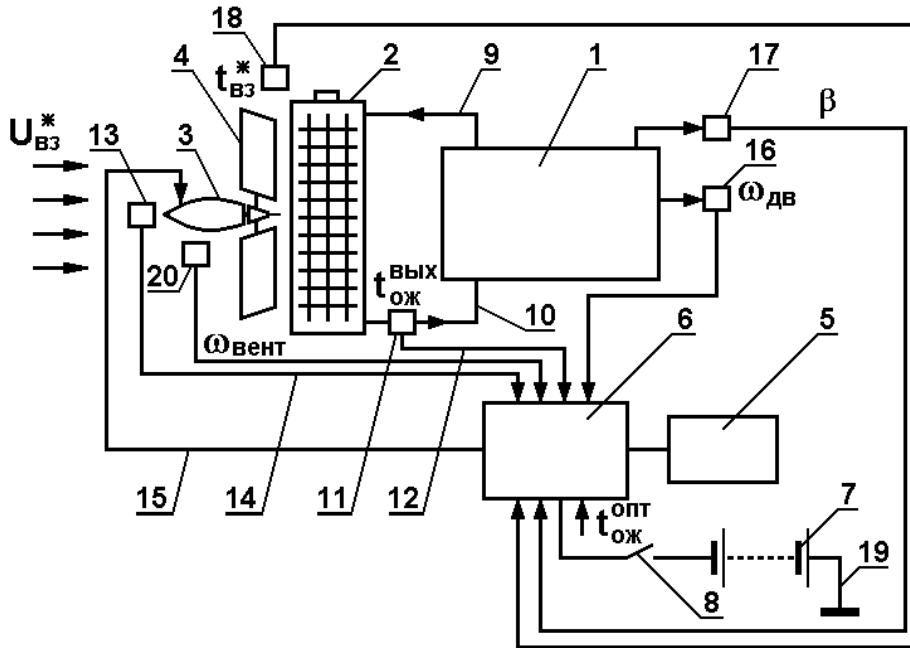


Рис. 2. Схема САРТ транспортного двигателя:

1 - ДВС; 2 - радиатор; 3 - электропривод вентилятора; 4 - лопатки вентилятора; 5 - согласующее устройство связи с датчиками и электроприводами; 6 - бортовой электронный контроллер; 7 - аккумулятор питания; 8 - ключ; 9 - трубопровод подачи охлаждающей воды в радиатор; 10 - трубопровод подачи охлаждающей воды в двигатель; 11 - датчик температуры охлаждающей воды на выходе из радиатора; 12 - сигнал датчика 11; 13 - сигнал датчика скорости воздушного потока перед вентилятором; 14 - сигнал датчика 13; 15 - управляющий сигнал частоты вращения вала вентилятора; 16 - датчик частоты вращения вала двигателя; 17 - датчик положения педали акселератора; 18 - датчик температуры воздуха перед вентилятором; 19 - заземление; 20 - датчик частоты вращения вала вентилятора.

В САРТ используется электроуправляемый, следящий по частоте вращения электропривод вентилятора переменной производительности, используемого для обдува радиатора жидкостного охлаждения транспортного двигателя. САРТ содержит датчик частоты вращения вала вентилятора  $\omega_{\text{вент}}$ , датчики температуры  $t_{\text{ож}}^{\text{ВЫХ}}$  охлаждающей жидкости на выходе из радиатора, температуры  $t_{\text{вз}}^*$  воздуха перед вентилятором, скорости  $U_{\text{вз}}^*$  воздушного потока перед вентилятором, частоты вращения  $n_{\text{дв}}$  (скоростного режима  $\omega_{\text{дв}}$ ) вала двигателя, положения  $\beta$  педали акселератора (рычага регулятора ТНВД) транспортного двигателя. В состав САРТ входит бортовой электронный контроллер с согласующим устройством связи с датчиками и электроприводами, а также аккумулятором питания.

Структурно процесс регулирования температуры  $t_{\text{ож}}^{\text{ВЫХ}}$  системы охлаждения с одним основным входным возмущающим воздействием на систему «Двигатель-САРТ» – изменением момента сопротивления  $M_c(\tau)$  можно представить в виде следующей граф-структуры. В результате изменения возмущающего воздействия  $M_c(\tau)$  остальные динамические координаты САРТ изменяются в следующем граф-порядке:

$$M_c(\tau) \rightarrow \beta(\tau) \rightarrow M_{\text{дв}}(\omega_{\text{дв}}, \beta, p_{\text{вп}}) \rightarrow \omega_{\text{дв}}(\tau) \rightarrow U_{\text{вз}}^* \rightarrow t_{\text{вз}}^* \rightarrow t_{\text{ож}}^{\text{ВЫХ}} \rightarrow \Delta Q_v(\omega_{\text{дв}}, M_{\text{дв}}) \rightarrow \\ \rightarrow t_{\text{ож}}^{\text{ОПТ}} \rightarrow \Delta t_{\text{ож}}^{\text{ВЫХ}} \rightarrow \omega_{\text{вент}}^{\text{ОПТ}} \rightarrow \Delta \omega_{\text{вент}} \rightarrow \Delta t_{\text{ож}}^{\text{ВЫХ}} \rightarrow \min.$$

В процессе регулирования определяются и минимизируются (обнуляются) ошибка температуры охлаждающей жидкости в виде  $\Delta t_{\text{ож}}^{\text{ВЫХ}} = t_{\text{ож}}^{\text{ОПТ}} - t_{\text{ож}}^{\text{ВЫХ}}$  и ошибка частоты вращения вала вентилятора в виде  $\Delta \omega_{\text{вент}} = \omega_{\text{вент}}^{\text{ОПТ}} - \omega_{\text{вент}}$ . Для обеспече-

ния высоких динамических качеств САРТ используется три идентификатора состояния: скоростная характеристика ДВС  $M_{дв}(\omega_{дв}, \beta, p_{вп})$ , теплота  $\Delta Q_v$ , отданная в систему охлаждения ДВС, и задающее воздействие  $\omega_{вент}^{опт}$  внутреннего контура по выработке оптимального значения частоты вращения вала вентилятора как функция режима работы ДВС.

При использовании предлагаемой инвариантной САРТ со следящим электроприводом вентилятора реализуется синтез оптимальных законов регулирования температур охлаждающей жидкости на выходе из радиатора  $t_{ож}^{вых}$ . Оптимизация параметров электропривода, установки вентилятора относительно радиатора позволяет увеличить весовой расход охлаждающего воздуха через воздушный тракт и, соответственно, повысить теплоотдачу от радиаторов, снизить энергопотребление на динамический процесс воздухообдува. При этом без каких-либо конструктивных изменений двигателя и радиатора системы охлаждения удастся более точно поддерживать оптимальную температуру  $t_{ож}^{опт}$  на выходе из радиатора на всех эксплуатационных режимах ДВС.

Описанная электронная САРТ со следящим электроприводом вентилятора имеет высокие динамические качества, инвариантность к возмущающим воздействиям и может быть использована как в бензиновых, так и в дизельных двигателях. При этом улучшаются технико-экономические показатели ДВС, упрощается компоновка системы охлаждения в моторном отсеке транспортного средства, повышается его ресурс.

#### **Литература:**

1. Тракторные дизели: Справочник / Под. общ. ред. Б.А. Взорова. - М.: Машиностроение, 1981. - 535 с.
2. Луков Н.М. Автоматическое регулирование температуры двигателей. - М.: Машиностроение, 1977. - 224 с.
3. Андреев Ю.Н. Управление конечномерными линейными объектами. - М.: Наука, 1976. - 250 с.
4. Поликер Б.Е., Михальский Л.Л. и др. Комбинированные системы автоматического управления тепловым режимом ДВС / Положительное решение на изобретение по заявке №96114216/06 (020564).

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ЗАРЯДА В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ДИЗЕЛЯ**

**Девянин С.Н.** (МГАУ им. В.П. Горячкина),  
**Марков В.А., Микитенко А.В.** (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Дальнейшее улучшение показателей дизелей невозможно без совершенствования процессов смесеобразования и сгорания, которые в значительной степени определяются формой камеры сгорания (КС). В дизелях применяют КС различных типов и различные способы смесеобразования. В настоящее время наиболее перспективными считаются дизели с полуразделенными и неразделенными КС и преобладанием объемного смесеобразования [1]. Причем, в этих дизелях смесеобразование осуществляется как за счет энергии впрыскиваемого в КС топлива, так и за счет энергии воздушного вихря. Поэтому при отработке процесса смесеобразования необходимо определение параметров движения воздушного заряда.

Для расчетных исследования выбрана цилиндрическая КС в поршне, применяемая в дизелях производства Алтайского моторного завода (КС типа АМЗ) (рис. 1). При использовании этой КС на такте сжатия воздушный вихрь возникает за