

УДК 621.873

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В.П. Денисов¹, А.П. Домбровский¹, В.А. Мещеряков²¹ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск;²Омский филиал Финансового университета при Правительстве РФ, Россия, г. Омск.

Аннотация. В статье рассмотрен метод выбора дополнительного оборудования системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Предложена система охлаждения ДВС, реализующая управление вентилятором на базе нечеткого логического регулятора, плавно изменяющего частоту вращения электродвигателя. Для выбора устройства стабилизации теплового состояния двигателя использованы средства математического моделирования в среде MATLAB /Simulink/ Fuzzy Logic Toolbox.

Ключевые слова: система охлаждения, двигатель внутреннего сгорания, управление вентилятором, нечеткий регулятор, математическое моделирование.

Введение

Для эффективной работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) необходимо обеспечить стабильное поддержание его теплового состояния, что позволяет экономить топливо, предотвращает падение мощности и уменьшает изнашивание деталей цилиндропоршневой группы. Иначе говоря, стабилизация температуры ДВС улучшает эффективные показатели и повышает безотказность и долговечность двигателей. Стабилизация температуры ДВС реализуется системой охлаждения [1]. Необходимым элементом системы охлаждения является вентилятор радиатора.

Следует отметить, что все «люксовые» автомобили, оснащенные электровентиляторами радиатора системы охлаждения, имеют средства плавного управления скоростью вращения вентилятора. Плавное управление скоростью вращения электровентилятора для остальных автомобилей (от «Оки» до «Чероки») отсутствует. Для поддержания оптимальной температуры этих автомобилей отечественными производителями выпускается дополнительное оборудование, например, такое, как блок управления вентилятором «Борей» (ООО «Силичъ», Екатеринбург) [2]. Блок производит управление частотой вращения вентилятора системы охлаждения двигателя вместо штатной системы управления вентилятором. При этом осуществить оптимальное управление вентилятором с помощью одного и того же устройства для автомобилей, объем двигателя которых колеблется в широких пределах (от 0,5 до 5 - 8 литров), является сложной задачей.

В статье рассмотрен подход к обеспечению стабилизации теплового состояния ДВС с помощью управления вращением вентилятора. Исследованы две системы автоматического регулирования (САР) частоты вращения вентилятора: на основе традиционного пропорционально - интегрального (ПИ) закона регулирования и с использованием САР, реализованной на базе математического аппарата нечеткой логики [3]. Использование нечетких логических регуляторов является эффективным подходом усовершенствования систем управления при неопределенности параметров объекта и возмущающих факторов [4-8]. Нужно сказать, что до настоящего времени практически не разработаны методы проектирования нечетких САР теплового состояния ДВС, доведенные до инженерных методик и пригодные для практического использования. При этом высокая вычислительная мощность и доступность современных контроллеров при условии включения их в контур управления системы охлаждения позволяет применять технологии искусственного интеллекта, повышающие ее функциональные возможности.

Обоснование выбора устройства управления частотой вращения вентилятора

Рассмотрим наиболее распространенную в настоящее время систему охлаждения [1]. Тепловая энергия от рубашки блока цилиндров отдается охлаждающей жидкости, например, тосолу, которая циркулирует в системе охлаждения под действием помпы. При нагреве двигателя охлаждающая жидкость циркулирует по малому кругу, для того, чтобы

быстро прогреть ДВС. Когда температура теплоносителя достигает 85 – 90 градусов, термостат открывает большой контур циркуляции охлаждающей жидкости и закрывает малый. При циркуляции по большому контуру охлаждающая жидкость проходит через радиатор. Горячая охлаждающая жидкость поступает в радиатор, где охлаждается потоком воздуха, а также работающим вентилятором радиатора.

В настоящее время на автомобилях различных марок используются разные типы приводов вентилятора. Не так давно почти повсеместно вентилятор приводился в действие от коленчатого вала двигателя с помощью ременной передачи. Существенным недостатком такого способа является то, что при использовании принудительного механического привода, скорость вращения крыльчатки не регулируется и ограничена скоростью вращения двигателя. Поэтому при воздействии различных внешних условий и режимов движения скорость вращения крыльчатки может оказаться как избыточной, так и недостаточной для поддержания оптимального интервала температур.

Другой вариант механического привода, с visco- или электромуфтой, не имеет избыточной скорости за счет отключения (для электромуфты) или снижения (для viscomуфты) скорости вращения. Но при малых оборотах двигателя скорость вращения крыльчатки вентилятора ограничена, что может привести к перегреву двигателя. Эти недостатки можно устранить дополнительным оборудованием, управляющим частотой вращения вентилятора. Ниже рассмотрен подход к созданию дополнительного оборудования управления электроприводом вентилятора системы охлаждения ДВС, позволяющий поддерживать оптимальный интервал температур двигателя.

Как уже отмечалось, слишком большой размах температур при работе двигателя приводит к уменьшению ресурса ДВС. При разработке системы охлаждения оптимальной можно считать точность поддержания температуры не хуже 2 - 3 градусов [1,9], и система охлаждения для этого случая может быть относительно простой и недорогой. Кроме того, такая система эффективна с точки зрения энергопотребления.

Основным элементом системы охлаждения является термостат. Он регулирует потоки охлаждающей жидкости, направляя их через радиатор или в обход его. При определенных условиях (высокая температура окружающей среды, малая скорость движения)

радиатор не способен отводить нужное количество тепла и для его искусственного обдува используется вентилятор, который может иметь различные типы привода. Наиболее эффективной для поддержания оптимальной температуры является система охлаждения с электроприводом вентилятора, так как в этом случае скорость вращения вентилятора не зависит от оборотов двигателя.

Точность поддержания оптимальной температуры двигателя во многом зависит от алгоритма управления вращением вентилятора. Широко распространенным является алгоритм релейного регулирования, основу которого составляют три элемента – датчик, реле и вентилятор. Посредством реле при одной температуре вентилятор включается, а при другой отключается. Разница (гистерезис) между температурами включения и выключения обычно составляет 5 - 7 градусов. Схема релейной системы регулирования проста, это является ее преимуществом. Недостатком такой системы является то, что температура постоянно колеблется от точки включения до точки выключения вентилятора, что приводит к эффекту термокачки и ударным нагрузкам на бортовую сеть, особенно для вентиляторов большой мощности. Кроме того, постоянное включение вентилятора может привести к существенному разряду аккумуляторной батареи. Эти недостатки отсутствуют при изменении подаваемого на двигатель напряжения широтно-импульсным модулятором.

Разрабатываемое устройство для управления частотой вращения вентилятора предполагается применять для различных марок автомобилей и при этом использовать как дополнительное оборудование для этих автомобилей.

Следует отметить, что динамические характеристики системы охлаждения для различных марок автомобилей могут существенно отличаться, поэтому такие, параметры системы, например, как постоянная времени, коэффициент усиления и т.д. могут изменяться в широком диапазоне. Поэтому необходимо сконструировать регулятор, способный осуществлять оптимальное управление при этих условиях. Создаваемый регулятор может быть, как классическим линейным, так и нечетким логическим регулятором.

Для экспериментальных исследований предлагаемых подходов к синтезу САР частоты вращения вентилятора системы охлаждения ДВС требуются средства математического моделирования, учитывающие особенности управляемого технологического процесса.

Математическое моделирование системы охлаждения ДВС

Для исследования САП и выбора закона регулирования создана математическая модель системы охлаждения ДВС с контуром управления вентилятором охлаждения. Модель реализована в интерактивной среде для выполнения инженерных и научных расчетов MATLAB с входящими в его состав пакетами расширения Simulink и Fuzzy Logic Toolbox [3].

Математическая модель системы охлаждения ДВС (рис. 1, а) в свою очередь содержит

модели: регулятора (подсистема controller), вентилятора с электроприводом (подсистема vent), радиатора (подсистема radiator), насоса (подсистема pump) и двигателя внутреннего сгорания (подсистема internal combustion engine). В зависимости от режима моделирования регулятор (controller) реализован на основе традиционного ПИ-закона регулирования (PI-control, рис. 1, б) или нечеткого управления (Fuzzy logic controller, рис. 1, в).

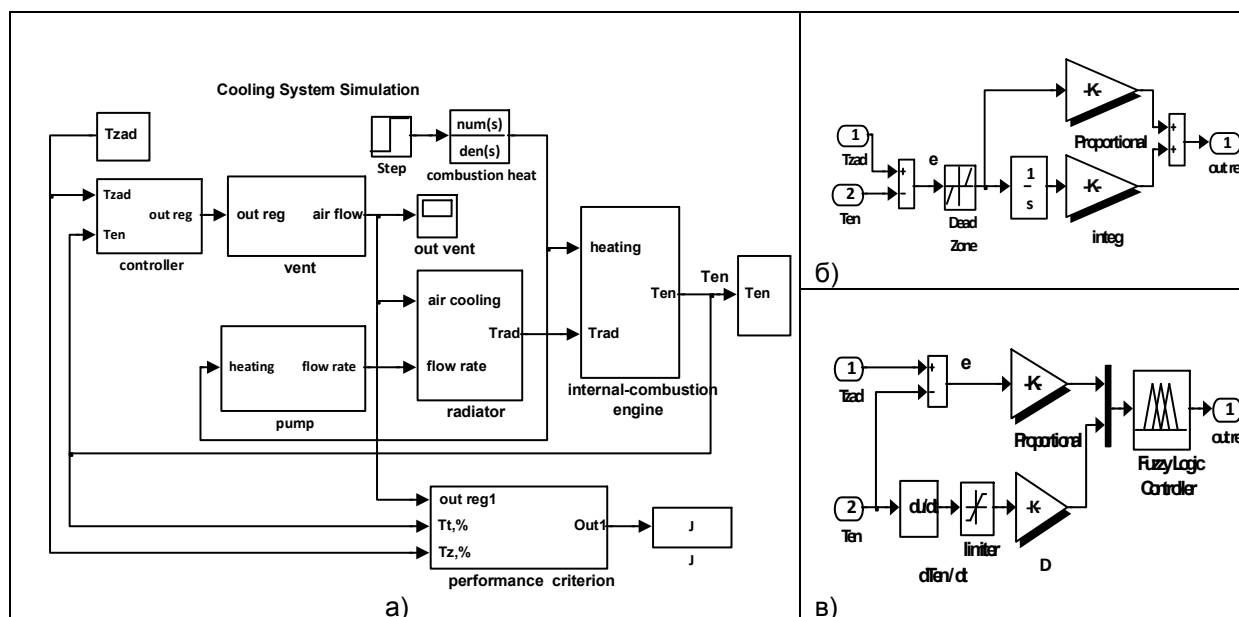


Рис. 1. Модель САП температуры ДВС в среде MATLAB/Simulink/Fuzzy Logic Toolbox:
 а) – общая схема системы охлаждения; б) подсистема controller на базе ПИ- регулятора;
 в) подсистема controller на базе нечеткого регулятора

Модели вентилятора, радиатора, насоса и ДВС описывают инерционные свойства этих устройств и представлены инерционными звеньями первого порядка: $W(s) = k_a / (T_a s + 1)$, где k_a и T_a – коэффициент передачи и постоянная времени каждого устройства, соответственно; s – оператор Лапласа. В модели двигателя (internal-combustor engine) также учитывается нагрев при сгорании топлива (combustion heat).

Кроме того, разработанная математическая модель системы охлаждения дополнена подсистемой расчета критерия качества регулирования (performance criterion). За период времени T (принимается не менее длительности переходного процесса) вычисляется квадратичный интегральный критерий, зависящий от настроек САП:

$J = \int_0^T e^2(t) dt$, характеризующий величину и длительность существ-

ования ошибки регулирования $e(t)$ (отклонения температуры охлаждающей жидкости от заданного значения).

В среде MATLAB создан m-файл – сценарий, выполняющий многократный вызов модели системы охлаждения и расчет критерия качества на основе полученных в результате моделирования значений ошибки регулирования. Вычисленные значения критерия качества (как для традиционного, так и нечеткого регулятора) передаются в рабочую область MATLAB для получения оптимального решения.

В традиционной системе регулирования регулятор (controller) реализован на основе ПИ- закона регулирования с зоной нечувствительности (рис.1, б) (рассматривается для сравнения с проектируемой нечеткой системой). На вход регулятора подается измеренное значение температуры охлаждающей жидкости T_{en} и ее заданная величина T_{zad} . Алгоритм работы подсистемы ПИ-

регулирования определяется формулой $u(t) = k_p e(t) + \frac{e(t)}{T_i}$, где $u(t)$ – управляющее воздействие на электропривод вентилятора; k_p и T_i – коэффициент передачи и постоянная интегрирования регулятора, соответственно.

Настраиваемые параметры регулятора k_p и T_i на рисунке 1, б выделены тенью.

Подсистема controller с нечетким регулятором Fuzzy logic controller (рисунок 1, в), формирующая управляющие воздействия на основе нечеткого логического вывода, используется вместо традиционного ПИ-регулятора. На нечеткий регулятор, управляющий вентилятором, также поступает информация о рассогласовании $e = e(t)$ требуемого $T_{зад}$ и фактического $T_{ен}$ значений температуры после ДВС, и, кроме того, величина скорости изменения этой температуры dT/dt . Нечеткий регулятор формирует управляющие воздействия, изменяя частоту вращения электродвигателя вентилятора.

Рассмотрим подробнее работу нечеткого регулятора Fuzzy Logic Controller. В нечетком регуляторе входные сигналы: рассогласования e , производной dT/dt переводятся в значения нечетких лингвистических переменных, которые используются процедурой нечеткого логического вывода. В реализуемой нечеткой базе знаний при управлении вентилятором как посылки: рассогласование e и скорость изменения температуры dT/dt , так и заключения правил (частота вращения электродвигателя ω) заданы нечеткими множествами.

Процесс приведения к нечеткости (фазификация) заключается в следующем. Диапазоны изменения переменных разбиваются на множества (термы), в пределах каждого из которых строится функция принадлежности переменной каждому из множеств. Функции принадлежности контура нечеткого управления вентилятором системы охлаждения приведены на рисунке 2, а.

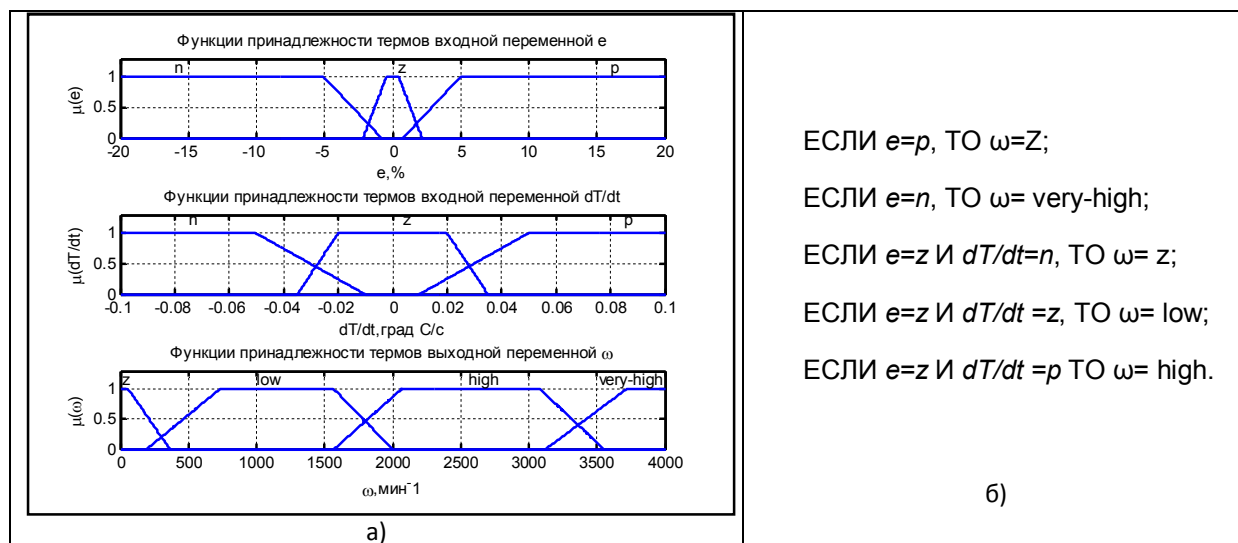


Рис. 2. Построение системы нечеткого управления вентилятором системы охлаждения:
 а) функции принадлежности для термов входных и выходной переменных;
 б) база нечётких продукционных правил

Для нечеткого управления вентилятором диапазоны изменения как входной переменной e (рассогласование), так и входной переменной dT/dt (скорость изменения температуры) разбиваются на три терма. При этом используется общепринятая система обозначений: n – отрицательный (negative), z – нулевой (zero), p – положительный (positive). Например, терму z для входной переменной dT/dt соответствуют малые значения скорости изменения температуры, которые принима-

ются, как характеризующие установившийся процесс.

Функции принадлежности выходной переменной ω (частота вращения электродвигателя), задающей заключение каждого правила, построены в пределах термов: z – нулевой (zero), low – низкий, $high$ – высокий, $very-high$ – очень высокий.

Нечеткий регулятор вентилятора работает на основе базы знаний, содержащей правила, приведенные на рисунке 2, б.

Далее выполняется операция дефаззификации – обратного преобразования нечетких переменных в четкие. При этом четкий вывод осуществляется нахождением взвешенного среднего для получения выходной переменной по формуле

$$\omega = \sum_{i=1,m} \mu_{\omega}(\omega_i) \omega_i / \mu_{\omega}(\omega_i),$$

где ω – четкое значение выходной переменной; ω_i – значение выходной переменной для i -го терма с единичным значением степени принадлежности; $\mu_{\omega}(\omega_i)$ – степень принадлежности к этому терму; m - число термов.

Таким образом, значение частоты вращения ω электродвигателя вентилятора является результатом нечеткого логического вывода, выполненного на основе совокупности нечетких правил и нечетких переменных.

Для реализации процедуры оптимизации нечеткой САР параметры функций принадлежности, полученные с помощью экспертных оценок, считались статическими, не требующими настройки. То есть параметры функций принадлежности фиксируются, а в качестве настраиваемых параметров принимаются (как и для традиционных регуляторов) масштабные коэффициенты входных переменных: k_p – для e и k_d – для dT/dt [7] (на рисунке 1, в блоки с параметрами настройки выделены тенью).

Исследования системы охлаждения ДВС с контуром управления вентилятором на ос-

нове математической модели, приведенной на рисунке 1, проводились для различных параметров объекта управления и регуляторов. При этом выполнялся сравнительный анализ нечеткой и традиционной систем регулирования, оптимизируемых по идентичным критериям качества.

На рисунке 3 приведены трехмерные графики зависимостей критерия $J = \int_0^T e^2(t) dt$ от настраиваемых параметров: на рисунке 3, а – для традиционной системы $J = f(k_p, T_i)$ (зависимость от коэффициента передачи k_p и постоянной интегрирования T_i), на рисунке 3, б – для нечеткой системы, $J = f(k_p, k_d)$. Аргументами функции во втором случае (настраиваемыми параметрами) являются масштабные коэффициенты входных переменных: k_p – для e и k_d – для dT/dt .

На графиках показаны точки, соответствующие оптимальным настройкам систем регулирования: при минимальных значениях критериев качества функционирования системы охлаждения $J = \int_0^T e^2(t) dt \rightarrow \min$, как для традиционного ПИ-закона, так и нечеткого регулятора.

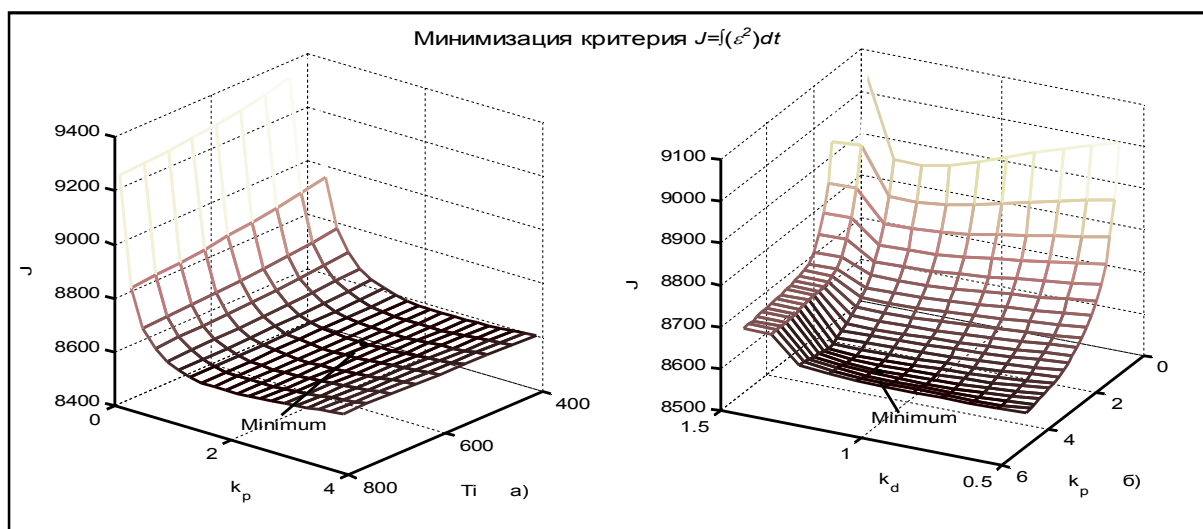


Рис. 3. Выбор параметров САР: а) традиционной; б) нечеткой

Для оптимально настроенных нечеткой и традиционной САР построены графики переходных процессов в системе охлаждения при возмущении повышением температуры теплоносителя на 10 градусов (рис.4,а, б). Каче-

ство переходных процессов для традиционной САР (рис.4,а) и нечеткой САР (рис.4,б) примерно одинаково: перерегулирование отсутствует, требуемое значение температуры устанавливается за малый промежуток вре-

мени, незначительно отличаются затраты на управление (графики изменения частоты вращения вентилятора). При этом следует отметить, что нечеткая САР обеспечивает

несколько лучшую точность регулирования (статическая ошибка меньше на 5%) по сравнению с традиционной САР, имеющей в своем составе зону нечувствительности.

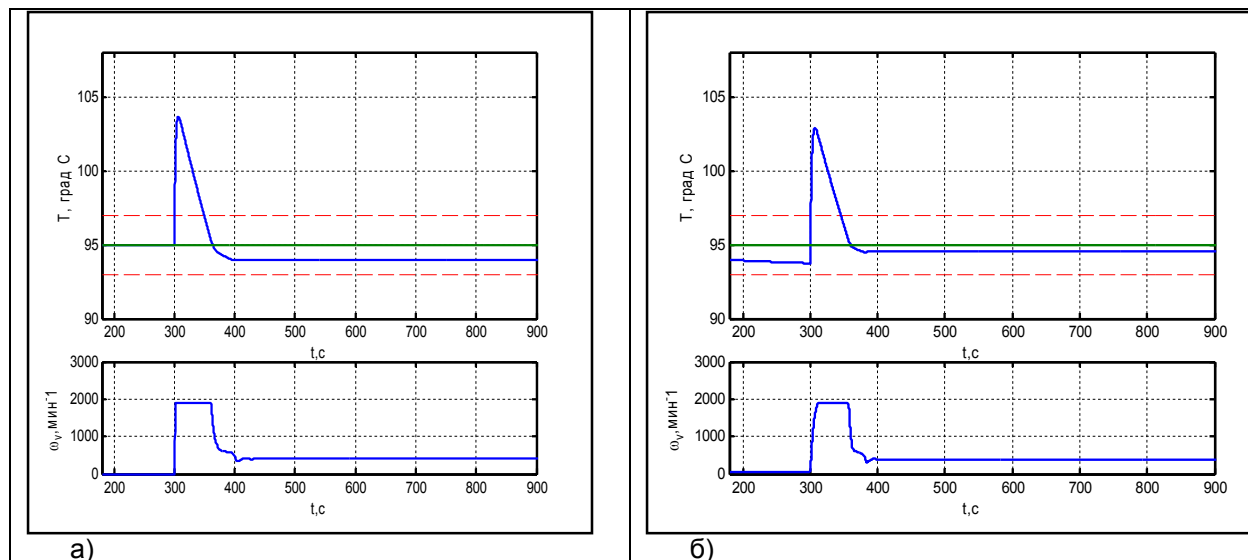


Рис. 4. Переходные процессы в системе охлаждения с оптимально настроенными регуляторами: а) – для традиционной САР; б) – для нечеткой САР

Как отмечалось выше, разрабатываемое устройство для управления частотой вращения вентилятора предполагается применять для различных марок автомобилей, динамические характеристики системы охлаждения которых могут существенно отличаться. При этом необходимо создать регулятор, способ-

ный осуществлять управление при этих условиях наилучшим образом.

На рисунке 5, а, б приведены результаты исследования системы охлаждения при изменении параметров объекта управления: а именно, при трехкратном увеличении его постоянной времени.

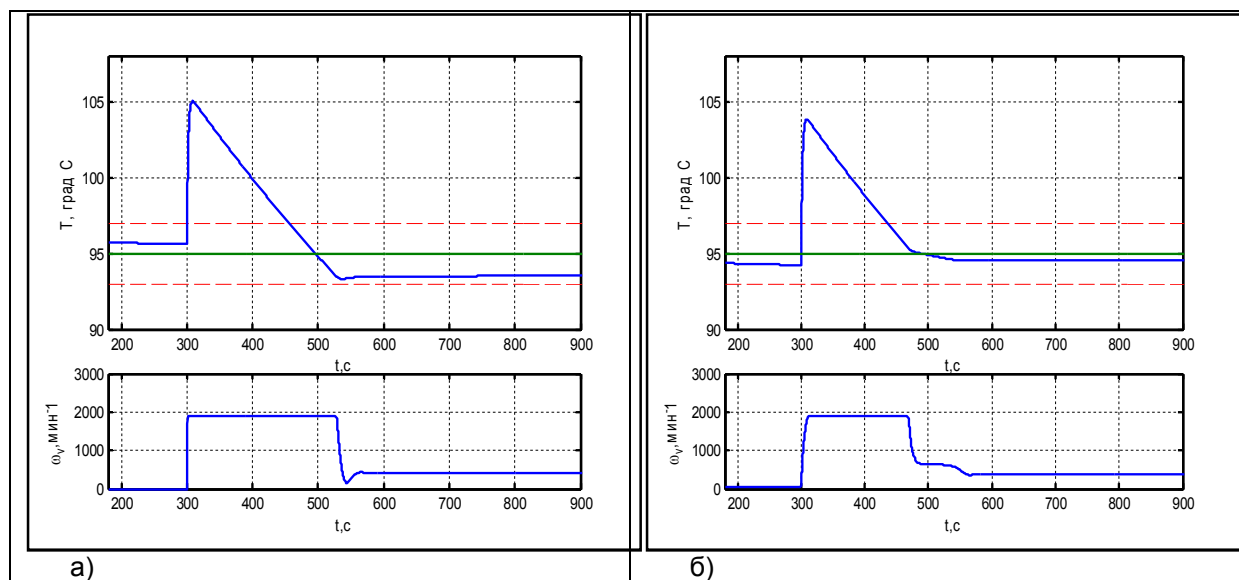


Рис. 5. Переходные процессы в системе охлаждения при трехкратном увеличении постоянной времени объекта управления: а) – для традиционной САР; б) – для нечеткой САР

Из графиков переходных процессов на рисунке 5, а следует, что качество регулирования традиционной САР (оптимальные настройки которой выполнены для объекта с втрое меньшим значением постоянной времени) при таком изменении характеристик объекта ухудшается. Длительность переходного процесса и затраты на управление увеличились.

В то же время нечеткая САР (рисунок 5, б), для которой оптимальные настройки также выбирались для объекта с втрое меньшим значением постоянной времени, обеспечивает лучшее качество регулирования. Наблюдается уменьшение длительности переходного процесса и затрат на управление: время работы вентилятора с максимальной частотой вращения сократилось на 25% по сравнению с традиционной САР.

Следует отметить, что нечеткая САР обеспечивает улучшение качества регулирования за счет своих существенно нелинейных характеристик (определяемых функциями принадлежности переменных и базо продукционных правил), позволяющих формировать управляющее воздействие на электропривод вентилятора в зависимости от характеристик объекта управления.

Таким образом, получено, что нечеткая САР менее чувствительна к вариациям параметров объекта управления, чем традиционная. Поэтому нечеткая САР в более широком диапазоне настроек позволяет обеспечить высокое качество регулирования температуры ДВС, а также реализовать управление при действии возмущающих факторов.

В связи с тем, что разрабатываемое устройство предполагается использовать для различных марок автомобилей, характеристики систем охлаждения которых могут существенно отличаться, то использование в качестве дополнительного устройства регулятора с нечетким логическим выводом предпочтительнее.

Заключение

В результате проведенного исследования получено, что предлагаемая система охлаждения ДВС, реализующая управление вентилятором на базе нечеткого логического регулятора, плавно изменяющего частоту вращения электродвигателя, работоспособна и более эффективна, чем традиционная.

Отмечено, что система управления охлаждением ДВС, построенная на основе нечеткого логического вывода обладает высокой точностью поддержания рабочей температуры двигателя и, стабилизируя тепловое со-

стояние двигателя, тем самым, обеспечивает достижение высоких экономических и экологических показателей его работы.

Библиографический список

1. Гаврилов, А.К. Системы жидкостного охлаждения автотракторных двигателей / А.К. Гаврилов. – М.: Машиностроение, 1966. – 164 с.
2. Сайт конструкторского бюро автоэлектроники "СиличЪ", Екатеринбург. <http://www.silich.ru/>.
3. Штовба, С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB/ С.Д. Штовба. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
4. Денисов, В.П. Управление системой охлаждения двигателей внутреннего сгорания на основе нечеткого логического вывода / В.П. Денисов, И.И. Матяш, О.О. Мироничева // Вестник СибАДИ. – 2012. – № 25. – С. 11-17.
5. Денисов, В.П. Повышение надежности эксплуатации автомобиля при управлении системой охлаждения двигателя внутреннего сгорания / В.П. Денисов, И.И. Матяш, О.О. Мироничева // Вестник СибАДИ. – 2012. – № 5 (27). – С. 25-30.
6. Денисов, В.П. Система регулирования температуры ДВС / В.П. Денисов, В.В. Максимов // Автомобильная промышленность. – 2012. – № 3. – С. 17-18.
7. Денисова, Л.А. Автоматизация синтеза нечеткой системы регулирования с использованием многокритериальной оптимизации и генетических алгоритмов / Л.А. Денисова // Автоматизация в промышленности. – 2014. – № 3. – С. 54-62.
8. Денисова, Л.А. Синтез системы регулирования с коррекцией задающего воздействия на основе нечеткого логического вывода / Л.А. Денисова // Омский научный вестник. – 2009. – № 1 (77). – С. 184-191.
9. Драгомиров, С.Г. Математическая модель системы автоматического регулирования температуры двигателя / Драгомиров, С.Г. и др. // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2010. – № 2-3. – С. 2-5.

MATHEMATICAL MODELING OF THE ADDITIONAL EQUIPMENT OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE COOLING SYSTEM

V.P. Denisov, A.P. Dombrovsky, V.A. Mescheryakov

Abstract. The method of a choice of the additional equipment of the internal combustion engine (ICE) cooling system is considered. The ICE cooling system is offered that realizes the fan control on the basis of the fuzzy logic controller. The controller smoothly changes the electric motor rotation frequency. For choice of the engine thermal condition stabilization device the mathematical modeling in MATLAB/Simulink/Fuzzy Logic Toolbox is used.

Keywords: cooling system, internal combustion engine, control of the fan, indistinct regulator, mathematical modeling.

References

1. Gavrilov A.K. *Sistemy zhidkostnogo ohlazhdenija avtotraktornykh dvigatelej* [Systems of liquid cooling of autotractor engines]. Moscow, Mashinostroenie, 1966. 164 p.
2. Sajt konstruktorskogo bjuro avtoelektroniki "Silich###", Ekaterinburg. <http://www.silich.ru/>.
3. Shtovba S.D. *Proektirovanie nechetkih sistem sredstvami MATLAB* [Design of indistinct systems means of MATLAB]. Moscow, Gorja-chaja linija Telekom, 2007. 288 p.
4. Denisov V.P., Matjash I.I., Mironicheva O.O. Upravlenie sistemoj ohlazhdenija dvigatelej vnutrennego sgoranija na osnove nechetkogo logicheskogo vyvoda [Management of cooling of internal combustion engines of system on the basis of an indistinct logical conclusion]. *Vestnik SibADI*, 2012, no 25. pp. 11-17.
5. Denisov V.P., Matjash I.I., Mironicheva O.O. Povyshenie nadezhnosti jeks-pluatacii avtomobilja pri upravlenii sistemoj ohlazhdenija dvigatelja vnutrennego sgoranija [Increase of reliability of operation of the car at control of the cooling system of internal combustion engine]. *Vestnik SibADI*, 2012, no 5 (27). pp. 25-30.
6. Denisov V.P., Maksimov V.V. Sistema regulirovanija temperatury DVS [Sistema of regulation of temperature of DVS]. *Avtomobil'naja promyshlennost'*, 2012, no 3. pp. 17-18.
7. Denisova L.A. Avtomatizacija sinteza nechetkoj sistemy regulirovanija s ispol'zovaniem mnogokriterial'noj optimizacii i geneticheskikh algoritmov [Automation of synthesis of indistinct system of regulation with use of multicriteria optimization and genetic algorithms]. *Avtomatizacija v promyshlennosti*, 2014, no 3. pp. 54-62.
8. Denisova L.A. Sintez sistemy regulirovanija s korekciej zadajushhego vozdejstvija na osnove nechetkogo logicheskogo vyvoda [Synthesis of system of regulation with correction of the setting influence on the basis of an indistinct logical conclusion]. *Omskij nauchnyj vestnik*, 2009, no 1 (77). pp. 184-191.
9. Dragomirov S.G. Matematicheskaja model sistemy avtomaticheskogo regulirovanija temperatury dvigatelja [Matematicheskaja model of system of au-

tomatic control of temperature engine]. *Jelektronika i jelektooborudovanie transporta*, 2010, no 2-3. pp. 2-5.

Денисов Владимир Петрович (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, доцент, профессор каф. «ТД и ЭАТ» ФГБОУ ВПО «СибАДИ»; профессор каф. «Высшая математика и информатика», Омский филиал Финансового университета при Правительстве РФ (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: vpdenisov@mail333.com).

Домбровский Андрей Петрович (Россия, г. Омск) – аспирант, ФГБОУ ВПО «СибАДИ» 644080, г. Омск, пр. Мира, 5).

Мещеряков Виталий Александрович (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, доцент, зав. каф. «Высшая математика и информатика», Омский филиал Финансового университета при Правительстве РФ; профессор каф. «Техника для строительства и сервиса нефтегазовых комплексов и инфраструктур», ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644001 ул. Масленникова, 43, Омск, e-mail: VAMescheryakov@fa.ru).

Denisov Vladimir Petrovich (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, the associate professor, professor «TD and EAT» of The Siberian automobile and highway academy (SIBADI), professor "The higher mathematics and informatics", Omsk branch of Financial university at the Government of the Russian Federation (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: vpdenisov@mail333.com).

Dombrovsky Andrey (Russian Federation, Omsk) – graduate student, of The Siberian automobile and highway academy (SIBADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5).

Meshcheryakov Vitaly Aleksandrovich (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, the associate professor, the manager. "The higher mathematics and informatics", Omsk branch of Financial University under the Government of the Russian Federation; The Siberian automobile and highway academy (SIBADI) (644001 Omsk, Maslennikova, 43, e-mail: VAMescheryakov@fa.ru).