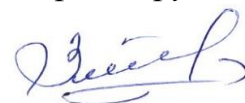


**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
ТАДЖИКИСТАН**

**ТАДЖИКСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.С. ОСИМИ**

На правах рукописи



УДК 622.684:43.629

ЗИЁЕВ ШУХРАТ ШАРОФИДДИНОВИЧ

**БОРТОВАЯ СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ
ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ ДВС ГРУЗОВЫХ
АВТОМОБИЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности
05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных
машин, комплексов и компьютерных сетей»

Научный руководитель:

к.т.н., доцент Юнусов Низомиддин Исмоилович

Душанбе – 2024

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ДИЗЕЛЬНЫЙ ГРУЗОПОДЪЁМНЫЙ АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ КАК ОБЪЕКТ ДИАГНОСТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ	10
1.1. Автоматизированные системы управления системой охлаждения дизельного ДВС.....	10
1.2. Системы дополнительного охлаждения двигателя внутреннего сгорания	13
1.3. Автоматизация процессов охлаждения двигателя внутреннего сгорания	16
Выводы по первой главе.....	21
ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ДИЗЕЛЬНОГО ДВС	22
2.1. Исследование работы устройства дополнительного охлаждения дизельного ДВС.....	22
2.2. Нечеткое управление процессами в системе охлаждения дизельного ДВС с дополнительным устройством	27
2.3. Идентификация параметров разгонной характеристики двигателя внутреннего сгорания	35
2.4. Интеллектуальная система контроля параметров системы охлаждения дизельного ДВС.....	40
Выводы по второй главе.....	50
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ОХЛАЖДЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВС НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ И НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ	51
3.1. Нейронный нечеткий регулятор температуры для системы охлаждения ДВС грузовых автомобилей.....	51
3.2. Позиционное управление системой охлаждения ДВС с применением элементов искусственного интеллекта	58
3.3. Задачи диагностики и прогнозирования состояния дизельного ДВС на основе принципов нечеткой логики и нейросетевых технологий	67
Выводы по третьей главе	73
ГЛАВА 4. ПРИМЕНЕНИИ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СИСТЕМОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ ДДВС	74

4.1. Исследование температурных режимов работы систем охлаждения грузовых автомобилей	74
4.2. Прогностический контроль и управление процессом охлаждения дизельного ДВС на основе нечеткой логики и нейросетевой модели.....	76
4.3. Разработка нечеткого контроллера для управления температурой охлаждающей жидкости	81
4.4. Прогностический контроль на основе нейросетевой модели.....	83
4.5. Экспериментальные исследования тепловых режимов двигателя на стенде.....	90
4.6. Имитация нагрузки на ДВС	91
4.7. Приборы для измерения температуры	93
4.8. Микроконтроллер Arduino	95
4.9. Расходомер для измерения скорости потока теплоносителя	97
4.10. Устройство для измерения напора воздуха, создаваемого вентилятором	100
4.11. Описание исследовательского стенда.....	102
4.12. Экспериментальное исследование температурных режимов системы охлаждения ДВС	105
4.13. Разработка интерфейса пользователя	108
Выводы по четвертой главе.....	114
ЗАКЛЮЧЕНИЯ	115
Рекомендации по итогам исследований	117
ЛИТЕРАТУРА	119
ПРИЛОЖЕНИЯ	134
ПРИЛОЖЕНИЕ А	134
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	135
ПРИЛОЖЕНИЕ В	137

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АСУ – автоматизированная система управления

САУ – система автоматического управления

ПО – программное обеспечение

ПК – персональный компьютер

ЕС – электропроводимость

ЭС – экспертная система

МК – микроконтроллер

FIS – fuzzy inference system

СНУ – система нечёткого управления

ММПП – математические модели продукционных процессов

ДВС – двигатель внутреннего сгорания

СО – система охлаждения

ОЖ – охлаждающая жидкость

ДУ – дополнительное устройство

ПИД – пропорционально–интегрально–дифференцирующий

НК – нечеткий контроллер

ИНС – искусственная нейронная сеть

NN – нейронная сеть (neural network)

NNPC – нейронная сеть с прогностическим управлением (neural network predictive control)

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Главным фактором, влияющим на успешную эксплуатацию автотранспортного средства, является стабильное и надежное функционирование его двигателя. В настоящее время двигатели внутреннего сгорания (ДВС) должны отвечать жестким требованиям – они должны иметь высокую мощность и, одновременно, экономно расходовать топливо, смазочные материалы, быть надежными и долговечными. Чтобы обеспечить оптимальный тепловой режим к автомобилю предъявляют все более жесткие требования к эффективности системы охлаждения. Данное требование особенно актуально для автомобилей, которые функционируют в экстремальных условиях, особенно, при эксплуатации транспортных средств в строительстве крупных инженерных сооружений на подобие Рогунской ГЭС, расположенный в высокогорной зоне Республики Таджикистан. Известно, что в этих районах воздух разрежен, при этом в летний период, когда температура достигает максимальных значений и воздух имеет повышенную запыленность – факторы, которые негативно сказывающиеся на режим охлаждения двигателей внутреннего сгорания и приводят к понижению эффективности и надежности работы агрегатов грузового автомобиля.

В сфере развития транспорта и превращения страны в транзитную страну в Национальной стратегии развития Республики Таджикистан на период до 2030 года и посланиях Основателя мира и национального согласия – Лидера нации, Президента Республики Таджикистан, уважаемого Эмомали Рахмона Маджлиси Оли Республики Таджикистан, ставится задача – обеспечения эффективной работы транспорта и транспортной инфраструктуры, содействующих социально экономическому развитию регионов страны.

В работе рассмотрены способы снижения температуры охлаждающей жидкости путем отбора тепла с применением дополнительного элемента охлаждения на основе современных компьютерных технологий, теории нечеткой логики и нейросетевых систем принятия решений. Система

охлаждения двигателя предназначена для охлаждения рабочих цилиндров, крышек цилиндров, корпусов выпускных клапанов и выпускных коллекторов, а также охлаждения масла и воздуха.

Целью диссертационной работы является повышение уровня стабилизации температурного режима системы охлаждения двигателей грузоподъемных машин, что позволяет экономить топливо, уменьшать изнашивание деталей двигателя, подверженных высокотемпературному нагреву и предотвращает падение мощности двигателей автомобилей, работающих в тяжелых условиях, эффективность их использования в значимой мере определяются системой охлаждения. При этом стабилизация температурного режима достигается за счет использования дополнительного элемента, позволяющая оперативно управлять температурой охлаждающей жидкости с использованием нейронечеткой технологии, принимающей решения на основе базы знаний, разработанной экспертной системы.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- с учетом климатических и природных условий горных регионов Республики Таджикистан, в частности перепада давления и высокой температуры воздуха, исследовать особенности системы охлаждения дизельного ДВС;
- исследование температурных режимов дизельного ДВС при резких температурных изменениях окружающей среды;
- разработка модели диагностики состояния аппаратуры охлаждения в среде Fuzzy Logic Toolbox пакета прикладных программ Matlab/Simulink;
- экспериментальное исследование динамических режимов системы охлаждения дизельного ДВС с применением искусственного интеллекта;
- создание интерфейса пользователя, бортовой системы контроля, диагностики и управления системы охлаждения ДВС.

Объект исследования. Система охлаждения дизельного двигателя внутреннего сгорания в условиях горных местностей Республики Таджикистан.

Методы исследования. Для контроля и управления системой охлаждения использованы принципы нечёткого вывода и метод нейросетевых организаций моделей исследуемого объекта.

Научная новизна работы:

- предложены способы реализации задачи диагностики, прогнозирования и стабилизации температурного режима дизельного ДВС на основе принципов нечеткой логики и нейросетевых технологий;
- разработана интеллектуальная система контроля и оценки параметров системы охлаждения дизельного ДВС;
- предложена идентификация основных параметров разгонной характеристики двигателя внутреннего сгорания;
- разработано и реализовано устройство дополнительного охлаждения дизельного ДВС;
- предложена система нечеткого управления тепловыми процессами в системе охлаждения дизельного ДВС с учетом дополнительного элемента;
- предложено позиционное управление системой охлаждения дизельного ДВС с применением элементов искусственного интеллекта;
- разработана система прогностического контроля и управления системой охлаждения дизельного ДВС на основе нечеткой логики и нейросетевой модели.

Теоретическая и практическая значимость работы. В диссертационной работе в соответствии с поставленными целями решены актуальные научно–практические проблемы по созданию теоретических и практических основ автоматизации процессов охлаждения системы дизельного ДВС, с применением теории нечёткой логики и нейросетевых технологий.

Практической целесообразностью применения дополнительного элемента в штатной системе охлаждения дизельного ДВС явилось стабильная работа двигателя в тяжёлых условиях эксплуатации и получении экономии

топлива и уменьшение выбросов в атмосферу вредных веществ (СО, СН) по сравнению с традиционной системой охлаждения.

Важность и обоснованность результатов работы подтверждается актом внедрения результатов исследования. Результаты работы были внедрены в учебный процесс ТТУ им. акад. М.С. Осими, малый патент Республики Таджикистан.

Разработанный, учебно – исследовательский стенд, принят в опытную эксплуатацию для проведения лабораторных работ, а также проведения научно– исследовательских работ различного характера с применением элементов искусственного интеллекта.

Апробация результатов работы. Основные результаты работы опубликованы в Материалах III научно–практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Наука – основы инновационного развития» (г. Душанбе, ТТУ 26 – 27 апрель 2018), в Материалах Международной научно–практической конференции «Применение информационно–телекоммуникационных технологий в создании электронного правительства и индустриализации страны» (г. Душанбе, 2020), Результаты работы были неоднократно обсуждены на научных семинарах кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления» ТТУ им. акад. М. С. Осими.

Основные публикации. По теме диссертации опубликовано 13 статей, из них – 7 в изданиях, рекомендованных ВАК Республики Таджикистан, 1 малый патент РТ, 2 за рубежом – 4 в материалах научных конференций:

Личный вклад автора. Постановка задачи осуществлялась совместно с научным руководителем. Автором разработана математическая и функциональная модель системы охлаждения, выполнены экспериментальные исследования тепловых режимов системы охлаждения. Разработана система управления температурным режимом двигателя на основе нейронечкой логики.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, общих выводов, заключения, списка литературы из 112 наименований и приложений. Основная часть диссертации изложена на 155 страницах. Работа иллюстрирована 60 рисунками и 10 таблицами.

ГЛАВА 1. ДИЗЕЛЬНЫЙ ГРУЗОПОДЪЁМНЫЙ АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ КАК ОБЪЕКТ ДИАГНОСТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ

1.1. Автоматизированные системы управления системой охлаждения дизельного ДВС

Современными тенденциями в рамках традиции развития создания двигателей внутреннего сгорания (ДВС) являются увеличение их общей мощности за счет форсирования и увеличения скорости вращения его коленчатого вала, а также широкого применения электроники в системе контроля и управления. Такое форсирование ДВС, как правило, повышает тепловые и механические нагрузки на элементы поршневой и цилиндрической группы, механизма газораспределения, на механизмы и устройства ряда других систем двигателя. Одним из важнейших условий обеспечения надежной работы двигателя, является строгое обеспечение требований к параметрам и режимам дозирования топлива, степени наддува, условий смазки и оперативного режима охлаждения двигателя. Система автоматического регулирования и управления позволяет обеспечить необходимые параметры системы в ходе эксплуатации двигателя автомобиля. Сегодняшний уровень достижения науки и техники дает возможность применять электронные автоматические регуляторы для контроля и регулирования основных параметров объекта. Как правило эти устройства применяются в устройствах подачи жидкого топлива в современных ДВС, обеспечивая управление режимом дозировки топлива, величиной угла газораспределения, а также условиями газораспределения для соблюдения фаз газообмена. Одним из перспективных направлений развития ДВС, является совершенствование систем регулирования и контроля за счет широкого применения современных микропроцессоров.

Необходимо отметить, что в области совершенствования и повышения эффективности системы охлаждения дизельных двигателей посвящены работы отечественных и большое число зарубежных авторов таких как, Саибова А.А., Панова Н.И., Турова Л.И., Лукова Н.М., Коссова Е.Е.,

Мартышевского М.И., Носова А.Н., Третьякова А.П., Логиновой Е.Ю., Балабин В.Н., Петриченко М.Р., Рыжова В.А., Салахова Р.Р., Ливенцева Ф.Л., Склифуса Я.К., Гогричани Г. В. и др.

Наши исследования направлены на совершенствование автоматических систем контроля и регулирования теплового состояния ДВС и управление параметрами системы охлаждения двигателя при увеличении термомеханических нагрузок в сложных горных условиях его эксплуатации[1].

Задачей системы охлаждения двигателя является поддержание оптимального и стабильного состояния температуры ее узлов и деталей. Оптимальной является та температура, при которой детали двигателя сохраняют свою прочность, сохраняются высокие смазывающие способности моторных масел. Оптимальную температуру двигателей можно достичь путем совершенствования способов регулирования и применения систем контроля и управления, с помощью которых осуществляются эти методы.

В работе авторов [2] рассматриваются проблемы совершенствования методов автоматического регулирования температуры ДВС и управление химическим состоянием охлаждающей жидкости при переходе к высокотемпературному режиму. В перспективе, контроль давления в контуре высокотемпературных систем охлаждения и автоматический контроль физико-химических характеристик охлаждающей жидкости двигателя даст возможность определить степень кавитационных и коррозионных повреждений, принимая во внимание рН индекс теплоносителя [3,4]. Одним из распространенных способов нормализации водородного индекса рН теплоносителей в системе охлаждения, является применение необходимых присадок [5].

Работа двигателя при вышенных температурах часто является причиной появления паровой пленки на поверхностях вокруг цилиндрово – поршневой группы, нарастанию продуктов коррозии на поверхностях охлаждения и как следствие, перегреву двигателя, и снижению его

экономических показателей.

Для достижения необходимого уровня качества системы охлаждения авторы указывают, что предлагаемые (высокотемпературные системы охлаждения) реализуют принцип многомерного и многофакторного автоматического регулирования температуры и водно–химического состояния системы охлаждения дизеля. Совершенствование качества контроля и регулирования в системе охлаждения не позволяет кипению перейти из состояния пузырькового кипения в состояние пленочного кипения, кроме того защищает полости охлаждения от возникновения коррозии и эрозионных явлений. Это повышает надежность эксплуатации двигателей при больших нагрузках и повышенных температурах.

Можно отметить, что известно много способов повышения эффективности системы охлаждения ДВС. В работах [6,7] предложен вариант снижения теплового состояния ДВС при помощи повышения турбулентности воздуха, охлаждающего двигатель. В этом случае, турбулентность теплоносителей, является причиной повышения скорости их охлаждения. Турбулентность создается, увеличением числа Рейнольдса (увеличив линейную или угловую скорость), увеличением числа Релея (нагреванием среды), увеличением числа Прандтля (уменьшением вязкости среды), или воздействием внешней силы сложного вида (хаотичная сила) [8,9].

В настоящее время современные транспортные средства довольно широко используют электропривод вентилятора и даже начинают использовать электропривод помпы [2,10]. Это даёт возможность, создания пульсирующего потока теплоносителей, управляя электроприводами вентилятора и насоса [2].

При эксплуатации транспортных средств в экстремальных условиях, как правило, возникают ситуации, когда управление насосом и вентилятором не дают возможность поддерживать стабильно температуру двигателя в нужном диапазоне. Имея в распоряжении электроприводы, насоса и вентилятора есть возможность создания пульсирующего потока

теплоносителей, что даст возможность на выходе радиатора снизить температуру охлаждающей жидкости. Это требует разработку алгоритма управления вентилятором и насосом, который даст возможность создать пульсирующее изменение потока теплоносителей [11].

1.2. Системы дополнительного охлаждения двигатель внутреннего сгорания

Изучение литературы и патентного поиска показывает, что большая группа изобретателей и специалистов используют всевозможные дополнительные устройства, которые внедряют в традиционные схемы охлаждения. Эти элементы адаптируются к имеющимся режимам и возникающим нагрузкам двигателя. Как правило, это вариант расположения насосов, виду и размещению охлаждающих элементов, вентиляторов.

Применение дополнительных элементов, как правило, влекут за собой корректировку работы всей системы охлаждения на основных ее режимах.

На рисунке 1.1 представлена упрощенная классификация систем охлаждения ДВС, принятая в настоящее время.



Рисунок 1.1 – Упрощенная классификация систем охлаждения ДВС

Известно, что эффективная работа двигателя внутреннего сгорания требует стабильного поддержания его температурного режима, это дает возможность экономно расходовать топливо, устраняет случаи падения мощности, а также увеличивает срок службы деталей цилиндропоршневой части двигателя. В основном стабилизация температуры ДВС реализуется системой охлаждения [12].

В настоящее время, все автомобили высокого класса, оборудованы электровентиляторами для охлаждения радиатора, оснащены средствами плавного регулирования частотой вращения привода вентилятора. Для этого выпускается специальное устройство, например, такое, как блок управления вентилятором [13]. Однако, надо отметить, что управление скоростью вращения электровентилятора для грузовых автомобилей машин отсутствуют.

Представляет интерес работа [14] где исследованы две системы автоматического регулирования скорости вращения привода вентилятора: на основе известного пропорционально – интегрального регулятора и с применением САР, выполненная с использованием математического аппарата, известный как нечеткая логика. При неопределенности параметров объекта и возмущающих факторов, применение нечетких контроллеров является одним из эффективных подходов дальнейшего развития систем управления [5 –18].

Предлагаемая модель исследована с помощью пакета прикладных программ для научных и инженерных расчетов MATLAB с расширением Simulink и пакета нечеткого моделирования Fuzzy Logic Toolbox [14].

В итоге, авторами сделан вывод, что система охлаждения, в котором управление вентилятором осуществляется нечетким логического контроллером, в широком диапазоне изменяющего скорость вращения электродвигателя, более эффективна, чем существующая.

Для стабилизации температуры теплоносителя, могут использоваться приборы, в которых управление основано на известном пропорционально–интегрально–дифференциальном законе регулирования или способах,

использующих интеллектуальные компьютерные технологии [19]. В работе также отмечается, что управление системой охлаждения ДВС, построенная с применением нечеткого логического контроллера повышает точность поддержания уровня требуемой температуры теплоносителя, что позволяет стабилизировать тепловое состояние двигателя.

В работе наших коллег из России [20] предлагается способ управления системой охлаждения ДВС, при котором по достижении температуры охлаждающей жидкости значений, превышающих максимально допустимые, тогда как насос, так и вентилятор вращаются с максимальными скоростями, управление регулятором прекращается. Управление при этом переходит к ветви, задающим режим пульсации скоростей вращения вентилятора и насоса. В результате реализуется пульсирующее изменение скорости потока теплоносителей (воздуха, охлаждающей жидкости), что приводит к увеличению отводимого тепла от ДВС.

В запатентованной системе охлаждения авторов [21] приводится, что температурный режим при работе двигателя обеспечивается термостатом. При работе в режимах с большой нагрузкой, температура охлаждающей жидкости повышается, достигая температуры кипения, в полостях охлаждения появляется паровая фаза пристеночного пузырькового кипения, о чем на блок управления поступает сигнал от оптического датчика. Блок управления реагируя на полученную информацию выдает управляющий сигнал на редукционный клапан, таким образом исключается возможность перехода пузырькового кипения в пленочное. Блок управления создан с использованием программируемого микропроцессора АТМega8, что позволило регулировать температуру в зависимости от программы заложенный в блок управления.

Предлагаемая система [21] по сравнению с другими известными системами дает возможность улучшить тепловое состояние двигателя, исключает выход пузырькового кипения в режим пленочного кипения, это повышает надежность эксплуатации двигателя в условиях высоких температур воздуха и максимальных нагрузках.

1.3. Автоматизация процессов охлаждения двигателя внутреннего сгорания

Оптимальное управление температурой для двигателей внутреннего сгорания представляет собой одно из наиболее перспективных и недорогих решений для снижения расхода топлива и повышения эффективности двигателя [22]. Требования регулирующих органов, на самом деле, являются все более серьезными [23,24] и были предложены инновационные технологические решения, направленные на сокращение выбросов загрязняющих веществ и выбросов автомобилей. Всесторонний обзор влияния термического управления на эффективность двигателей внутреннего сгорания можно найти в работе [25]. Предлагаемые решения направлены на сокращение времени прогрева при холодном пуске двигателя: эта фаза фактически является основным источником выбросов загрязняющих веществ и неэффективности работы двигателя из-за низких температур цилиндров, которые увеличивают потери на трение и вызывают неэффективность сгорания топлива. Например, для температур смазки около 20°C авторы [26,27] оценили увеличение потерь на трение в 2,5 раза по сравнению с потерями, полученными в полностью прогретых условиях.

Следует отметить, что в работе авторов [7] предлагается система охлаждения ДВС, содержащая системы управления частотой вращения электроприводов насоса и вентилятора в жидкостном и воздушном контуре охлаждения с применением нечетких логических регуляторов. В обоих случаях количество теплоты, образующаяся в двигателе, определяется в целом расходом топлива. Поэтому регулирование частоты вращения электродвигателя насоса производится с учетом этого расхода.

Авторы отмечают, что система управления охлаждением ДВС [7] на основе нечеткого логического вывода повышает точность регулирования температуры двигателя, тем самым, стабилизирует тепловое состояние двигателя.

В работе [28] вопрос поддержания оптимальной температуры двигателя решается также, с применением электропривода насоса. При этом для управления электроприводом, применяется частотное управление.

Как объект автоматического регулирования, ДВС по своим тепловым характеристикам можно рассматривать как стохастический многопараметрический и динамический, поэтому его управление требует сложных подходов и методов [29 – 31].

В ряде случаев контролируемым и управляемым параметром может служить давление в системе охлаждения двигателя [32].

Статические и динамические характеристики системы охлаждения при контроле температуры теплоносителя является предметом исследования в работе [33].

В работе [34] рассматривается способ автоматического управления системой охлаждения ДВС, который основывается на применении элементов теории нечеткой логики при построении регуляторов жидкостного и воздушного контуров охлаждения.

В ряде работ зарубежных авторов особое внимание уделяется конструкции систем охлаждения ДВС и, в частности, их отдельных элементов, которые должны обеспечивать регулирования отвода тепла при минимальных затратах энергии. К современным ДВС, которые должны отвечать высоким требованиям по экономическим, ресурсным и экологическим показателям, обеспечение оптимальных температурных показателей возможно применением качественного автоматического регулирования параметров теплонапряженного состояния двигателя и системы его охлаждения [35].

В качестве основных показателей систем охлаждения ДВС как правило, выделяются две группы показателей: режимные – температура и расход охлаждающей жидкости, температура охлаждающей жидкости в различных контурах системы, давление в системе охлаждения, и водно – химические характеристики – физические и химические характеристики теплоносителя [36].

Доказано, что на срок эксплуатации двигателя, его экономические и экологические показатели сильно влияет физико–химические и теплофизические характеристики охлаждающих жидкостей [37,38]. Поэтому в последнее время при автоматическом регулировании на ряду с режимными показателями, уделяют внимание и регулированию водно–химических состоянию охладителя.

Внедрение автоматического регулирования систем охлаждения ДВС, обеспечивает работу дизельного ДВС в оптимальных (квазиоптимальных) параметрах системы охлаждения.

Известно, что вопросы точности и качества процесса автоматического регулирования теплового состояния двигателя, в настоящее время, являются определяющими. На ряду с указанными показателями важное значение имеют соответствия характеристик системы охлаждения текущему режиму эксплуатации двигателя.

Оценка качество модели можно с помощью сравнения показателей реальной системы с полученными показателями, математической модели. При этом, как правило, возникает вопрос о том, насколько количественная оценка математической модели близка к реальной системе. Часто на практике, система автоматического регулирования охлаждения дизельного ДВС состоит из задатчика 1, вырабатывающего задающее воздействие (программу), регулятора 2 и объекта управления 3 – рисунок 1.2.

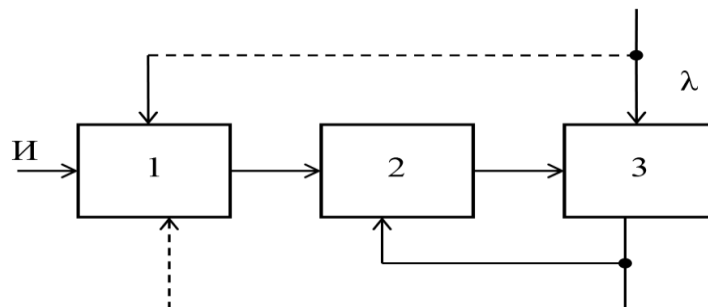


Рисунок 1.2 – Функциональная схема системы регулирования

1 – задатчик, программатор; 2 – терморегулятор; 3 – объект управления

В приведенной схеме буква **И** означает совокупность представленной информации, которая составляет задание или программу. Чтобы наилучшим

образом решать поставленную задачу регулирования нужно синтезировать регулятор и задатчик, которые, в определенном смысле оптимизируют систему управления. Как бы эти задачи математически сформулированы однообразно не были и могли бы решаться одними и теми же методами, тем не менее они имеют различия и особенности, которые заставляют рассматривать их отдельно. Нужно отметить, что программное регулирование – это управление с использованием функции от времени, а регулирование с обратной связью – регулирование в виде функции от фазовых координат.

Систему автоматического регулирования температурного состояния дизеля часто рассматривают как одноконтурную, приведенную на рисунке 1.3 в виде элементов структурной схемы [39]. На рисунке 1.3 линии указывают связи между отдельными звеньями, а кружочком отмечен регулирующий орган (РО). Объект с регулятором охвачен обратной связью. Как видно, из рисунка 1.3 система автоматического регулирования объекта, является замкнутой системой однонаправленного действия.

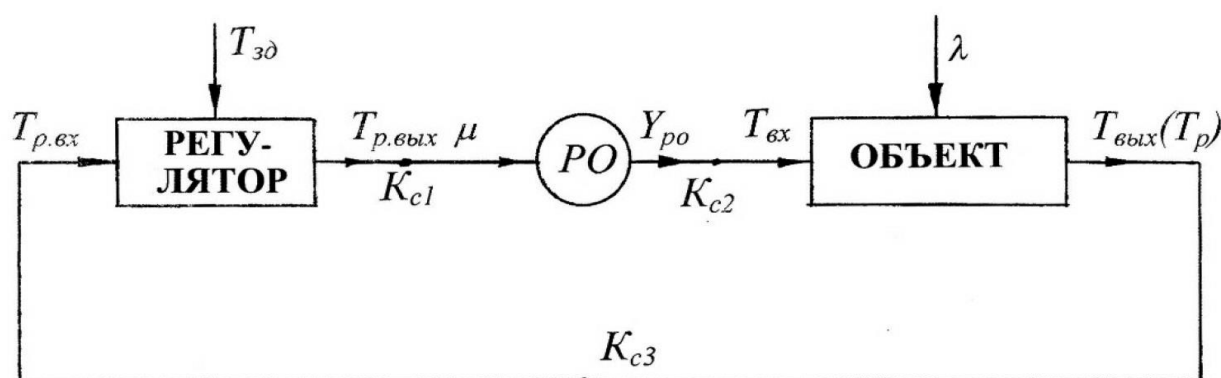


Рисунок 1.3 – Структурная схема системы автоматического регулирования температурного состояния ДВС

Объект автоматического управления характеризуется следующими координатами: температурой на входе объекта $T_{вх}$, температурой на выходе объекта $T_{вых}(T_p)$ и координатой, отражающей нагрузку λ , которая служит второй входной координатой объекта. Регулятор имеет на входе температуру

$T_{p.вх}$, на выходе температуру $T_{p.вых}$ а также температуру задания $T_{зд}$. На линиях точки указывают на коэффициенты передач K_{c1} , K_{c2} , K_{c3} .

В работе авторов [40] рассматриваются проблемы оптимального охлаждения двигателя. Разработаны структурные и функциональные схемы систем охлаждения ДВС. Системы автоматического регулирования должны использовать современные датчики основных параметров системы охлаждения двигателя, блоки управления с программируемыми микропроцессорами и исполнительными механизмами с электронным управлением.

Система автоматического управления и регулирования температуры ДВС должен обеспечить следующие операции:

- автоматическая подготовка к приему нагрузки;
- автоматическое поддержание температуры охлаждающей жидкости и масла в заданных пределах.

Недостатком всех перечисленных систем автоматического поддержания температуры охлаждающей жидкости в заданных пределах имеют недостатки, заключающиеся в том, что они решают отдельные задачи, отсутствует системный подход, когда решается задача в комплексе с учетом особенностей элементов, входящих в систему, включая дополнительный элемент отбора тепла.

Следует заметить, что эксплуатация грузовых автомобилей часто сопровождается условиями, при которых возможен перегрев двигателя. Например, в жаркую погоду и разряженным воздухом, автомобиль может долго работать при большой нагрузке на двигатель и т. д. В связи с этим, в работе предлагается исследовать процессы теплопереноса с учетом дополнительного элемента охлаждения, как воздушно-капельного, так и водяного.

Выводы по первой главе

1. Проведен обзор литературных источников из которого следует, что режим работы двигателя существенно влияет на его надежность, экономичность и экологические параметры.
2. Анализ литературно–патентных поисков и проведенные исследования авторов подтверждают актуальность продолжающихся научных исследований, направленных на улучшение режимов охлаждения ДВС, модернизацию конструкции систем охлаждения, оптимизацию процессов автоматического регулирования теплового состояния ДВС в условиях эксплуатации.
3. Ряд исследований направлены на использование дополнительного оборудования – электровентиляторов, опрыскивателей радиатора также применение дополнительных элементов охлаждения.
4. Особое место в литературе занимает интеллектуальное управление вентиляторами и насосами циркуляции системы охлаждения двигателя.
5. Дальнейшее совершенствование таких систем должно быть направлено на разработку оптимальных законов управления параметрами охлаждения в зависимости от условий эксплуатации двигателя и внедрение программируемых контроллеров в системы автоматического управления тепловым состоянием двигателя внутреннего сгорания и автоматизированные системы управления параметрами охлаждения ДВС на основе применения интеллектуальных компьютерных технологий.

ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ДИЗЕЛЬНОГО ДВС

2.1. Исследование работы устройства дополнительного охлаждения дизельного ДВС

При постановке задачи создания математической модели процессов тепло – и массообмена в камерах орошения (опрыскиватель, радиатор, пространство под капотом) встречаются значительные трудности. Из общей постановки задачи в системе вода – воздух следует, что для получения количественных характеристик нужны данные о проводимости и передаче тепла и влаги, а также данные о проводимости и передаче тепла и влаги, а также данные о потенциале влажности влажного воздуха. Важной задачей является выявление соотношений интенсивностей тепло и влагообмена с учетом совместного молярного и молекулярного переноса [41].

Разработка математической модели камеры орошения основана на учете термодинамических потенциалов, а также параметров потока тепла и массы, возникающих в системе воздух – вода [41]. Используются уравнения связи между входными и выходными переменными состояния для воздуха и воды при различных их количественных соотношениях и различных параметрах установки. При этом делается попытка исключить некоторые промежуточные значения состояний воздуха и воды, наблюдаемые в процессе перехода от произвольного начального к управляемому конечному состоянию [42 – 44].

Схема камеры орошения представлена на рисунок 2.1. Камера орошения представляет собой систему охлаждения дизельного двигателя внутреннего сгорания (ДДВС), включающий в себе: радиатор 5, электрический насос 4 для подачи охлаждающей воды в дополнительно установленный опрыскиватель 3, а также электрических клапанов 1 и 2 для открывания и закрывания доступа воды соответственно на опрыскиватель и стеклоочиститель.

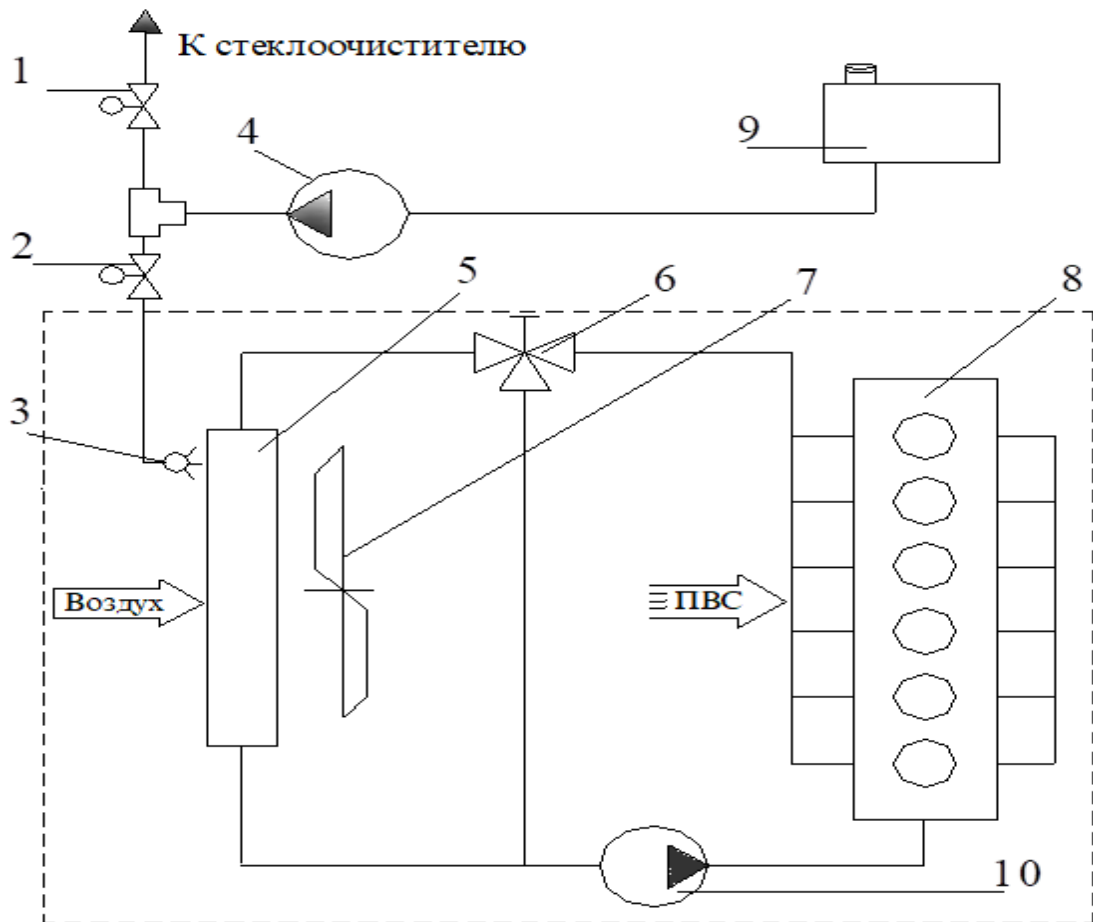


Рисунок 2.1 – Схема дополнительного охлаждения радиатора автомобиля

1 – электромагнитный клапан открывания и закрывания доступа воды для стеклоочистителя, 2 – электромагнитный клапан подачи и закрытия доступа воды на опрыскиватель, 3 – опрыскиватель, 4 – насос подачи воды, 5 – радиатор, 6 – термостат, 7 – вентилятор, 8 – корпус двигателя, 9 – резервуар, 10 – циркуляционный насос(помпа).

При разработке модели камеры орошения выделяются входные регулирующие переменные в дождевом пространстве (ДП): α – изменение расхода воздуха (жалюзи для регулирования потока воздуха); μ – изменение расхода воды (открывание и закрывание клапана). На двигатель кроме указанных в схеме рисунок 2.2 потоков G_{w2} , $G_{вб}$ и $G_{вк}$ действует еще и температура жидкости, охлажденная в радиаторе при контактном охлаждении радиатора.

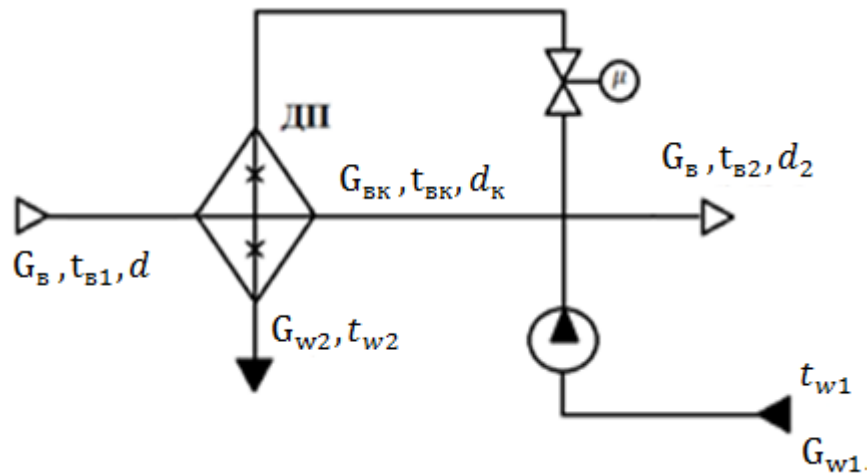


Рисунок 2.2 – Схема движения потоков воды, воздуха и паровоздушной смеси

G_B, t_{B1}, d – соответственно расход, температура и влагосодержание воздуха, G_{W2}, t_{W2} – расход и температура смешанного потока (воздух, пара), G_{BK}, t_{BK}, d_K – соответственно расход, температура и влагосодержание потока на выходе из камеры, G_{W1}, t_{W1} – расход и температура воды на входе системы (в бачке стеклоочистителя), G_B, t_{B2}, d_K – соответственно расход, температура и влагосодержание потока воздуха миную камеру, α – регулятор воздушного потока (жалюзи в некоторых автомобилях), μ – регулятор клапана подачи воды (электромагнитный клапан подачи воды на рисунке 2.2). ДП – дождевое пространство.

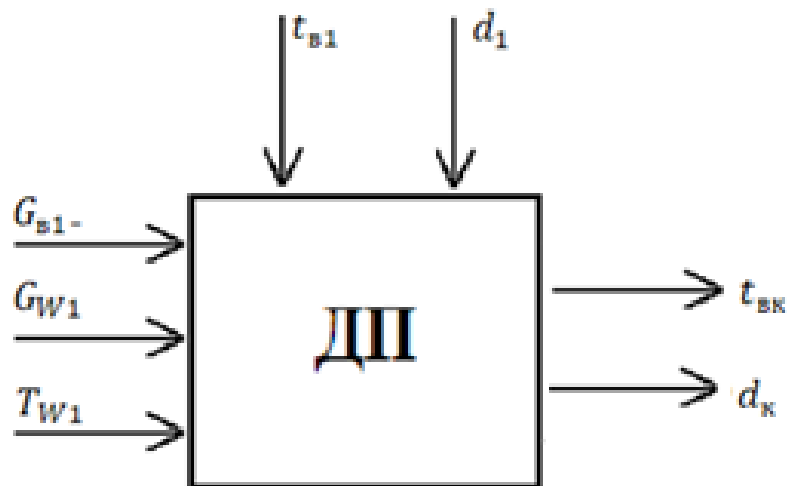


Рисунок 2.3 – Схема дождевого пространства под капотом автомобиля

G_{BK} – расход воздуха из камеры, $t_{BK} - t^0$ – ра воздуха на выходе из камеры, d_K – влагосодержание воздуха прошедшего обработку, G_{B6} – расход воздуха мимо радиатора (мимокамеры орошения байпас).

Стационарные процессы в камере орошения могут быть описаны следующей системой уравнений:

уравнение баланса тепла при разделении потока воздуха

$$G_{BK}t_{BK} + G_{B6}t_{B1} = G_B t_{B2}; \quad (2.1)$$

уравнение баланса влаги при разделении потока воздуха

$$G_{BK}d_K + G_{B6}d_1 = G_B d_2; \quad (2.2)$$

уравнение разделения потока воздуха

$$G_B = G_{BK} + G_{B6}; \quad (2.3)$$

уравнение баланса тепла

$$c_w G_{w1} (t_{w1} - t_{w2}) = G_{BK} [c_B (t_{B1} - t_{BK}) + l(d_1 - d_K)] \quad (2.4)$$

уравнение может быть преобразована к виду

$$t_{w2} = t_{w1} + \frac{c_B G_{BK}}{c_w G_{w2}} \left[(t_{B1} - t_{BK}) + \frac{l}{c_B} (d_1 - d_K) \right]. \quad (2.5)$$

Уравнение связи между температурой на выходе орошительной камеры (радиатор с опрыскивателем) между температурой воды на входе и температурой на выходе камеры орошения имеет вид

$$T_K \frac{dt_{BK}}{d\tau} + t_{BK} = t_{w1} \quad (2.6)$$

где T_K – постоянная времени камеры орошения, $T_K = \frac{V_p + V_{оп}}{G_{w2}}$

V_p – ёмкость радиатора, $V_{оп}$ – ёмкость опрыскивателя.

Такие же зависимости определены для других потоков, воздушной и паровоздушной смеси.

Разработанные модели реализованы с помощью пакета программ Matlab /Simulink, структурная схема модели представлена на рисунок 2.4.

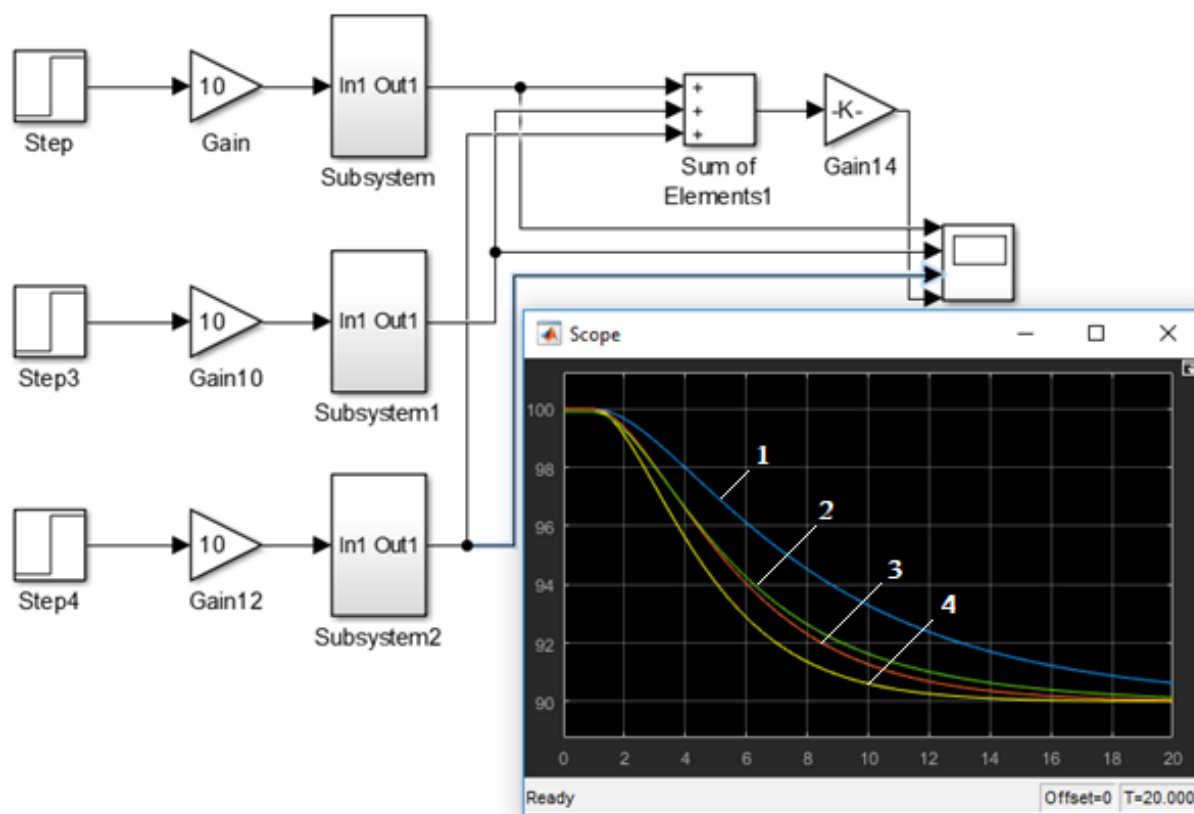


Рисунок 2.4 – Реализация математической модели в среде Matlab /Simulink

- 1- Совместное влияние паровоздушных и воздушных потоков на температуру двигателя,
- 2- График влияния температуры потока воздуха проходящая минуя радиатор на двигатель,
- 3- График влияния температуры воздуха проходящая сквозь радиатор на двигатель,
- 4- График изменения температуры двигателя при впрыске воды на поверхность радиатора.

Модели процесса охлаждения как комплекса совместного влияния охлаждающих эффектов двух воздушных потоков, имеющих различные характеристики и одного паровоздушного потока на степень охлаждения ДДВС произведено в среде Matlab/Simulink.

2.2. Нечеткое управление процессами в системе охлаждения дизельного ДВС с дополнительным устройством

Математическое моделирование тепло и массообменных процессов в двигателях внутреннего сгорания является достаточно сложной задачей. Это связано с тем, что теплоемкость предметов, нагреваемых в ДДВС различна. Еще более сложной задачей является моделирование работы системы с установленным элементом, в данном случае устройством дополнительного охлаждения радиатора. Задача состоит в том, чтобы понять, как будет функционировать система с отводом некоего дополнительного количества тепловой энергии из системы охлаждения.

В системе охлаждения ДВС осуществляется процесс приема тепловой энергии от сгорания топливовоздушной смеси в цилиндрах Q_T . Причем, количество поступающей тепловые энергии зависит в первую очередь от нагрузочного режима двигателя. Отвод тепловой энергии из системы происходит в результате излучения тепловой энергии в окружающую среду через нагретые поверхности – Q_{OC} , систему выпуска выхлопных газов – $Q_{ВГ}$, охлаждающей жидкостью – $Q_{OЖ}$, теплообменником – $Q_{РАД}$, маслом – Q_M , Q_B – количество теплоты, поступающее в поток воздуха, расширителем $Q_{РАС}$, а также дополнительно впрыскиваемой на радиатор водой – $Q_{ДВ}$ [45].

Ниже рассмотрены вопросы влияния дополнительного оборудования для системы охлаждения ДДВС, позволяющий поддерживать рабочий интервал температур при тяжелых условиях работы двигателя – высокогорья, интенсивной перевозки больших грузов, затяжных подъемов, высокой температуры окружающей среды и т.д.

Как уже отмечалось, слишком большой размах температур при работе двигателя приводит к уменьшению его ресурса. При разработке системы охлаждения можно считать, что точность поддержания температуры около \bar{T} (2 – 3) градусов [45,46], и система охлаждения для этого случая может быть относительно простой и недорогой. Кроме того, такая система эффективна с точки зрения энергопотребления.

При определенных условиях (высокая температура окружающей среды, малая скорость движения) радиатор не способен отводить нужное количество тепла и для его искусственного охлаждения используется дополнительное устройство впрыскивающее воду на поверхность радиатора от дополнительного источника воды, которое дает эффект резкого снижения температуры охлаждающей жидкости в системе охлаждения двигателя. Периодическое кратковременное впрыскивание с применением этого устройства позволит поддержать рабочую температуру охлаждающей жидкости в нужном диапазоне.

Экспериментально–теоретические исследования по определению эффективности применения установленного элемента в системе теплообменника позволяют априорно оценить (смоделировать) процесс работы всей системы охлаждения в тяжелых условиях эксплуатации двигателя.

Система охлаждения является термодинамической системой, состоящей из трех модулей. Каждый модуль – жидкостный контур, теплообменник, воздушный контур – функционирует по законам термодинамики. Процессы передачи теплоты описываются уравнениями теории теплообмена. Уравнения процессов системы охлаждения запишем в виде

$$Q_{ОЖ} = f(c_{p_{ож}}, G_{ОЖ}, T_{ОЖ}); \quad (2.7)$$

$$Q_{В} = f(c_{p_{в}}, G_{В}, T_{В}); \quad (2.8)$$

$$Q_{F} = f(k_T, F_{ОЖ}, \bar{T}_{ОЖ}, \bar{T}_{В}, G_{дв}, \bar{T}_{дв}). \quad (2.9)$$

где $T_{ОЖ}, T_{В}$, – соответственно, температура охлаждающей жидкости и воздуха, °С; $\bar{T}_{ОЖ}, \bar{T}_{В}, \bar{T}_{дв}$, – средняя температура охлаждающей жидкости, воздуха и дополнительной впрыскиваемой воды, °С; $G_{ОЖ}, G_{В}, G_{дв}$ – расход охлаждающей жидкости, воздуха и дополнительной впрыскиваемой воды, кг/с; F – площадь поверхности охлаждения, м²; $Q_{ОЖ}, Q_{В}$, – количество теплоты, поступающее в охлаждающую жидкость и поток воздуха, кДж/с; Q_{F} –

количество теплоты, передаваемое поверхностью охлаждения от жидкости потоку воздуха, кДж/с; $c_{рoж}$, $c_{рв}$ – средняя теплоемкость охлаждающей жидкости и потока воздуха, кДж/кг К; k_T – коэффициент теплопередачи поверхности охлаждения, кВт/(м²К).

Тепловой баланс дизеля

$$Q_T = Q_{кпд} + Q_{oж} + Q_M + Q_{вг} + Q_{ост}, \quad (2.10)$$

где Q_T – количество теплоты, образующейся при сгорании топлива, кДж/с; $Q_{кпд}$ – количество теплоты, эквивалентной эффективной мощности, кДж/с; $Q_{oж}$ – количество теплоты, поступающей в систему охлаждения, кДж/с; Q_M – количество теплоты, поступающей в систему смазки, кДж/с; $Q_{вг}$ – количество теплоты, уносимой отработавшими газами, кДж/с; $Q_{ост}$ – остаточный член теплового баланса, кДж/с.

Полное количество теплоты, Q_T выделяющейся при сгорании топлива в двигателе, рассчитывается по формуле (2.11).

$$Q_T = 0,012gN_e, \text{ кДж / с} \quad (2.11)$$

где N_e – эффективная мощность двигателя, кВт.

В полезную эффективную работу превращается только часть энергии сжигаемого в двигателе топлива. Оставшаяся часть распределяется согласно составляющим теплового баланса (2.12).

Количество теплоты, поступающей в охлаждающую жидкость системы охлаждения,

$$Q_{oж} = G_{oж}c_{рoж}\rho_{oж}(T_{oж2} - T_{oж1}) \quad (2.12)$$

где $G_{oж}$ – расход охлаждающей жидкости, м³/с; $c_{рoж}$ – средняя теплоемкость охлаждающей жидкости, кДж/(кгК); $\rho_{oж}$ – плотность охлаждающей жидкости, кг/м³.

В дизельных двигателях теплопередача в охлаждающую жидкость составляет 20...25% от полной теплоты сгорания топлива [46]. Это количество теплоты от горячих газов сгоревшего топлива поступает через стенки цилиндров в охлаждающую жидкость. В дизеле имеется вторичный источник

теплоты – работа трения элементов дизеля (поршень – гильза, вкладыши – валы, подшипники и т.д.), на которую затрачивается часть энергии введенного топлива. Принимается, что составляющие теплоты трения при работе дизеля переходят в теплоту, поступающую в охлаждающую жидкость и масло. При снятии теплового баланса теплота трения отдельно не выделяется. Теплота системы охлаждения составляет неустраняемые потери, по мнению некоторых авторов, в эту составляющую входит незначительная доля тепловых потерь действительного цикла [47].

Тепловые потери масла составляет для дизелей 4...8 % от общего количества теплоты сгорания топлива.

С отработавшими газами в дизеле удаляется до 25...35 % теплоты, выделяющейся при сгорании топлива.

Двигатели внутреннего сгорания относятся к числу наиболее экономичных двигателей. КПД лучших образцов ДДВС достигает 50–51 %, однако и в них теряется значительное количество теплоты: около 30–40 % с выпускными газами, 10–20 % с охлаждающими средами (вода, масло).

Приведенные выше формулы показывают, что выработанное двигателем тепло Q_T расходуется в основном для преобразование тепловой энергии в механическую и при этом значительная её часть расходуется для нагрева охлаждающей жидкости $Q_{ОЖ}$ корпуса дизеля.

В работе [48] представлен способ управления изменением температуры охлаждающей жидкости с помощью нечеткой логики. Система нечеткой логики (СНЛ) предназначена для эффективной работы компонентов тепловой системы, где радиатор охлаждающей жидкости и массовый расход дополнительной воды $G_{ОЖ}$, $G_{ДВ}$ (2.9), (2.11), соответственно предполагается, что они получены именно приводным устройством на основе алгоритма СНЛ. Нечеткая логика – это мягкая вычислительная техника, которая имитирует способность человеческого разума учиться и принимать рациональные решения[48]. СНЛ также более эффективен в случаях нелинейных и изменяющихся во времени систем по сравнению с другими методами

управления. Кроме того, применение СНЛ в системе управления температурным режимом в литературе почти не исследовалось.

Структура предлагаемого СНЛ основан на экспертных знаниях о системе, которая должна контролироваться. По сути, он преобразует лингвистическую информацию в стратегию управления. Приведем последовательность шагов общего нечеткого контроллера, который можно описать следующим образом[48]:

1. Fuzzification: каждая часть входных данных преобразуется в показания нескольких соответствующих переменных в функции принадлежности.
2. База правил: СНЛ содержит лингвистическую информацию в форме правил, основанных на подходе Мамдани.
3. Механизм логического вывода: операторы в последних упомянутых правилах формируют механизм логического вывода; механизм ищет значения членства для каждого правила на основе его условий.
4. Дефаззификация: результаты логического вывода всех правил объединяются в четкий числовой вывод для отправки в систему в качестве управляющего сигнала. Входной переменной для нечеткого контроллера является $T_{OЖ}(t)$, фактическая температура двигателя. Система имеет две выходные переменные, а именно: массовый расход охлаждающей жидкости радиатора $G_{OЖ}(t)$ и массовый расход воды, впрыскиваемый на радиатор $G_{дв}(t)$, Массовый расход охлаждающей жидкости радиатора составляет $[0,4, 2]$ л / сек, а для массового расхода воды впрыскиваемый на радиатор – $[0, 1.2]$ л / сек.

Таблица 2.1 – Формирование лингвистических переменных

Наименование параметра	Лингвистические переменные					
	Обозначения	Температура				
Температура °С	$70^0, 75^0, 80^0, 85^0, 90^0$	Очень низкая	Низкая	Норма	Высокая	Очень высокая
Клапан	Н	0	0	0	1	1

С практической точки зрения нечеткий контроллер должен приводить в движение клапан впрыска воды на поверхность радиатора, когда существует

большая или малая температурная ошибка, и заполнять температурный зазор. Правила нечеткой логики разработаны с учетом контроля состояния всех элементов системы охлаждения – термостата, насоса циркуляции ОЖ, вентилятора, а также уровня ОЖ в бачке и давления масла в системе смазки. При возникновении неполадок система принимает решение подать впрыск для регулирования уровня температуры ОЖ или дать сигнал тревоги с выдачей соответствующей информации.

1. Если «Температура очень высокая» ТО «Открыть клапан»
2. Если «Температура высокая» ТО «Открыть клапан»
3. Если «Температура норма» ТО «Заккрыть клапан»
4. Если «Температура низкая» ТО «Заккрыть клапан»
5. Если «Температура очень низкая» ТО «Заккрыть клапан»

Введено постоянное внешнее возмущение воздуха чтобы имитировать транспортное средство, движущееся с малой скоростью, Параметры тепловой модели, использованные при моделировании: $c_{p_{ож}} = 17,14$ кДЖ/К, $c_{p_{вг}} = 8,36$ кДЖ / К, $c_{рв} = 4,18$ кДЖ / кгК, $c_{рм} = 1$ кДЖ / кгК, $\varepsilon = 0,6$.

Чтобы исследовать влияние впрыска на температуру двигателя, был применен электромагнитный клапан $H = 1$ (полностью открыто для 100% потока на радиатор) или $H = 0$ (полностью закрыто для 0 % потока воды на радиатор).

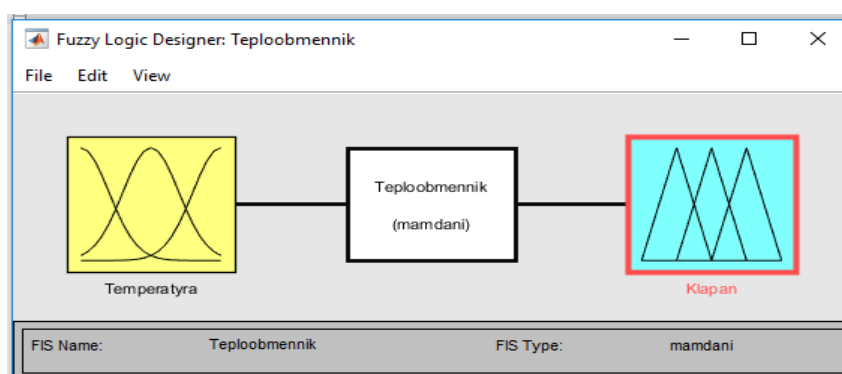


Рисунок 2.5 – Функциональная схема регулирования температуры ОЖ и идентификации неисправностей в окне редактора MATLAB

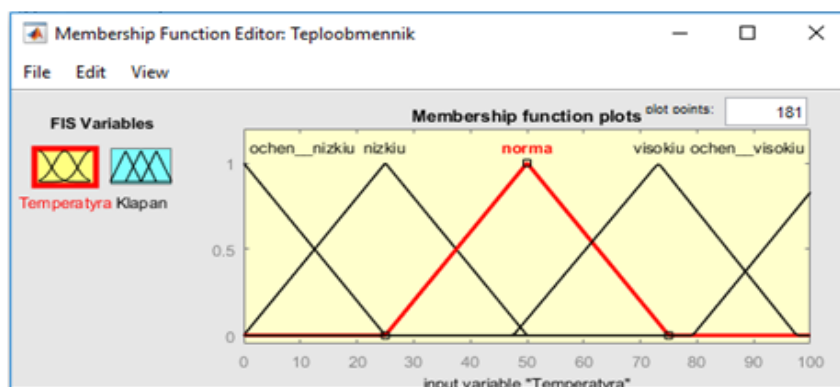


Рисунок 2.6 – Функция принадлежности для переменной, определяющей состояние регулирующего клапана

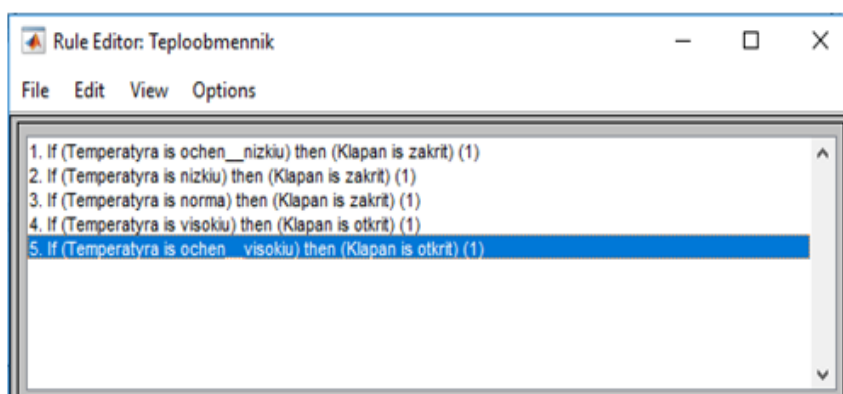


Рисунок 2.7 – Формирование базы правил

Созданную систему на нечеткой логике Fuzzy Logic Controller и сохраненную в рабочей области MATLAB, можно использовать в программе Simulink [48]. После двукратного щелчка по Fuzzy Logic Controller в появившемся окне вводим имя модели (DVS). Программа Simulink на основе структурной схемы модели, построенной из функциональных блоков пакета, с использованием FIS WIZARD имитирует работу системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания с дополнительным устройством впрыска воды на поверхность радиатора. На рисунке 2.8 приведен результат выполнения программы Fuzzy Logic Controller в среде Simulink. Как видно из графиков при впрыске температура охлаждающей жидкости в системе падает, например, при открытии клапана в момент $t = 0$ с до $t = 7$ с температуры в системе падает до $T = 85^{\circ}\text{C}$ при повторном впрыске воды (в момент времени от 10 с до 17 с), температура охлаждающей жидкости продолжает падать (до

80°C). В окне Rule Viewer Fuzzy Logic Controller продемонстрированы моменты открытия клапана и падения температуры охлаждающей жидкости.

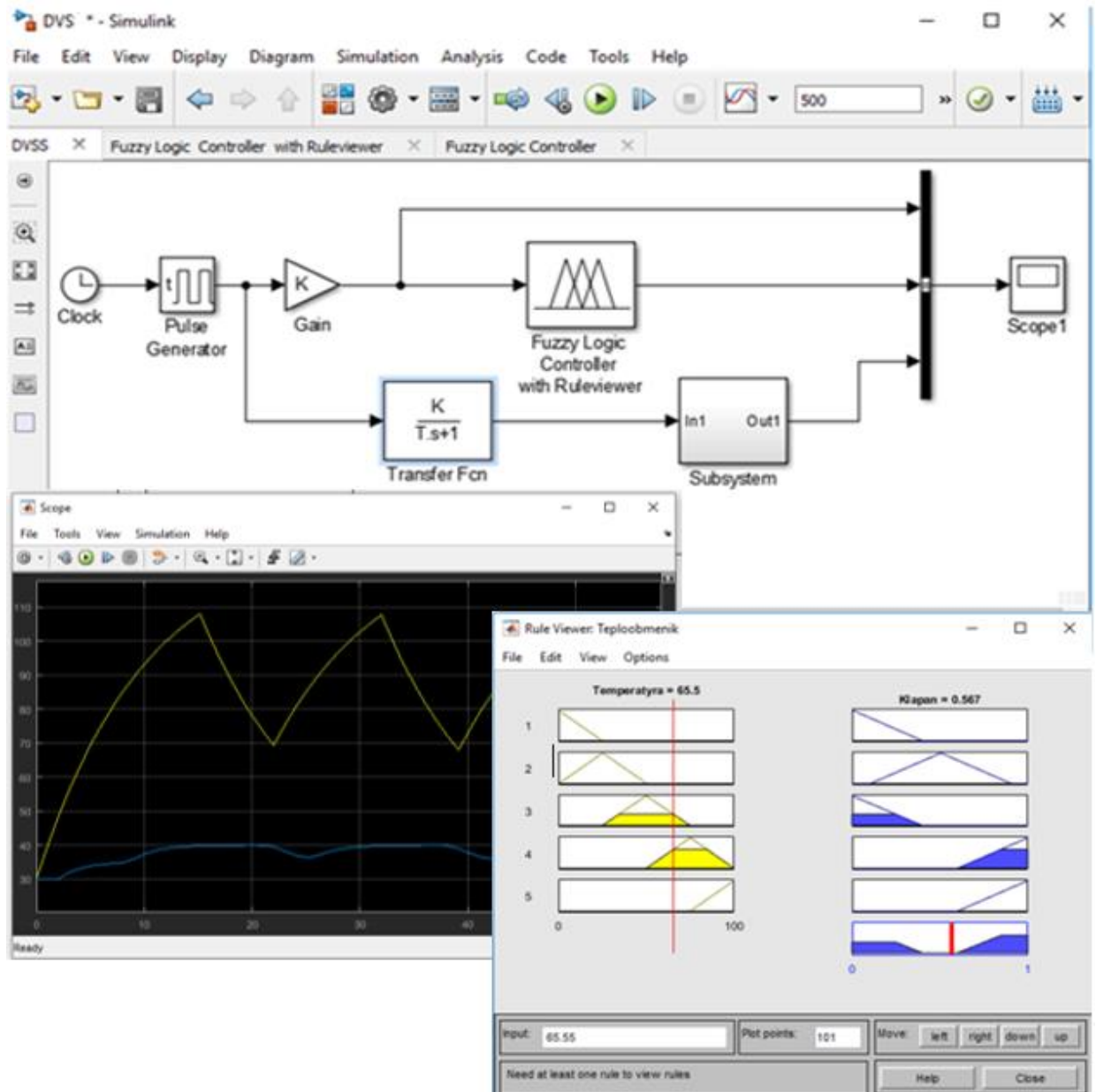


Рисунок 2.8 – Моделирование процесса охлаждения с дополнительным устройством с применением Fuzzy Logic Controller в среде Simulink

На практике для применения системы дополнительного охлаждения должны быть соблюдены нижеследующие условия:

- движения охлаждающей жидкости должно происходить по большому кругу системы охлаждения двигателя;
- насос циркуляции должен функционировать нормально;

- вентилятор должен работать устойчиво;
- давление масла должно быть в норме;
- уровень жидкости в расширительном бачке, системы охлаждения, должно быть в норме;

При невыполнении даже одного из перечисленных условий система сигнализирует о данном недостатке, подавая тревожный сигнал, и производится открытие клапана.

2.3. Идентификация параметров разгонной характеристики двигателя внутреннего сгорания

Надежность функционирования современного автомобиля, которая является сложным техническим объектом и во многом определяется соответствием технических параметров двигателя внутреннего сгорания (ДВС) к ее номинальным значениям [49,50].

Существуют различные методы диагностики технического состояния двигателя внутреннего сгорания [51] зачастую требуют разбора данного объекта или сопряжены организацией применения специальных методов использующие методы вибрационного анализа [52–56] или систем, основанных на интеллектуальных технологиях таких как: нейронные сети и математического аппарата нечеткой логики [10, 57–61].

Модели ДВС представленные в виде дифференциальных уравнений, с учётом термодинамических и кинематических процессов и систем смесеобразования, а также электрического зажигания оказывается достаточно сложными и требуют большого количества исходных данных и их решение сопряжено с рядом сложных вычислительных процедур [62–68]. Поэтому, разработка простых компактных методов предварительной оценки состояния ДВС в режиме реального времени представляют определенный интерес.

В этом плане проведение экспресс диагностики на основе разгонной характеристики ДВС, является предпочтительным.

Аппроксимация экспериментальной разгонной характеристики линейными моделями позволяет оперативно идентифицировать динамические параметры, такие как постоянное времени и коэффициент чувствительности разгонной характеристики ДВС, на основании которых можно определить обобщенное состояние ДВС автомобиля, путем сравнение этих параметров с их нормативными значениями.

При проведении процедуры идентификации [23,69] вышеуказанных параметров ДВС в качестве входного воздействия рассматривается объем бензина, подаваемого в цилиндр ДВС, который в свою очередь связан с положением педали газа расположенного в кабине автомобиля. В качестве выходного сигнала используется массив данных, отображающий разгонную скоростную характеристику двигателя, получаемого от тахометра, установленного на ДВС.

Для разгонного режима работы ДВС принята линеаризованная математическая модель, [70] которая представлена на рисунке 2.9. Где приняты следующие операторы обобщенной модели ДВС;

Оператор главной цепи передачи сигнала.

$$W(S) = \frac{K_I}{T_I S + 1} \quad (2.13)$$

Оператор обратной связи $W_{oc}(S) = K_{oc}$ и оператор по возмущающему воздействию $W_f(S) = K_f$

С учетом представленной модели запишем уравнение динамики разгона ДВС в виде следующего дифференциального уравнения

$$T_d^* \frac{d\bar{v}(t)}{dt} + \bar{v}(t) = K_d^* q(t) \quad (2.14)$$

здесь $\bar{v}(t)$ – контролируемый выходной сигнал, снимаемый с тахометра.

Параметры, входящие в уравнение (2.14) определяются следующими соотношениями:

$$T_d^* = \frac{T_I}{1 + K_I K_{oc}} ; K_d^* = \frac{K_I}{1 + K_I K_{oc}} \quad (2.15)$$

$q^*(t)$ – функция, определяющая изменения положения дроссельной заслонки газа относительно покоя.

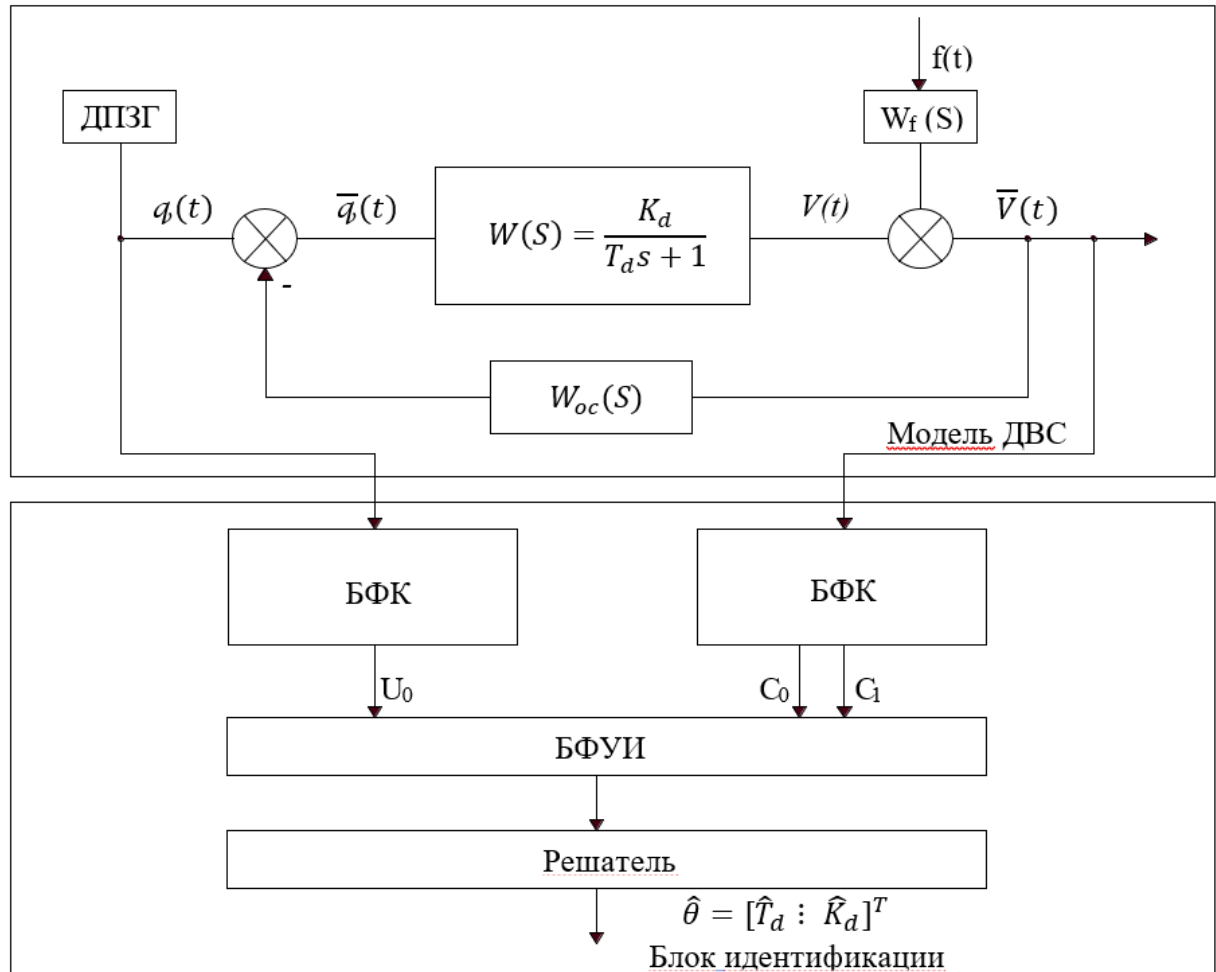


Рисунок 2.9 – Структурная блок–схема системы идентификации параметров разгонной характеристики ДВС

ДПЗГ– датчик положения заслонки газа, БФК– блок формирования коэффициентов, БФУИ – блок формирования уравнения идентификации, Решатель – устройство решения системы алгебраических уравнений.

Используя, по отношению к дифференциальным уравнениям метод интегральной модуляции [71,72], разработанный и широко используемый на нашей кафедре, получим следующее уравнение:

$$T_d^* \int_{\tau=t-T}^{\tau=t} \varphi(t, \tau) \bar{V}'(\tau) d\tau + \int_{\tau=t-T}^{\tau=t} \varphi(t, \tau) \bar{V}(\tau) d\tau = K_d^* \int_{\tau=t-T}^{\tau=t} \varphi(t, \tau) q(\tau) d\tau \quad (2.16)$$

где $\varphi(t, \tau)$ – ядро оператора интегральной модуляции

Приняв следующие обозначения:

$$C_1(t) = \int_{\tau=t-T}^{\tau=t} \varphi'(t, \tau) \bar{V}(\tau) d\tau; C_0(t) = \int_{\tau=t-T}^{\tau=t} \varphi(t, \tau) \bar{V}(\tau) d\tau; U_0(t) = \int_{\tau=t-T}^{\tau=t} q(\tau) \varphi(t, \tau) d\tau \quad (2.17)$$

Получим уравнение в виде:

$$T_d^* C_1(t) + C_0(t) = K_d^* U_0(t) \quad (2.18)$$

$\{T_d^*, K_d^*\}$ – параметры разгонной характеристики ДВС подлежащие идентификации. Вычисление дискретных значений коэффициентов, $C_1(t_i)$, $C_0(t_i)$ и $U_0(t_i)$ в случае использования метода прямоугольников, можно представить с помощью следующих соотношений:

$$C_1^*(k) = \frac{\Delta T_u}{T_u} \sum_{K=0}^{n-1} \bar{V}(k) \left[\frac{\Delta T_D}{2T_D} (\varphi(k) - \varphi(k-1)) \right] \quad (2.19)$$

$$C_0^*(k) = \frac{\Delta T_u}{T_u} \sum_{K=0}^{n-1} \varphi(k) \bar{V}(k); U_0^*(k) = \frac{\Delta T_u}{T_u} \sum_{K=0}^{n-1} \varphi(k) q(k)$$

В этом случае уравнение идентификации можно записать в векторно – матричной форме:

$$[C_1^*(k) : U_1^*(k)] \begin{bmatrix} T_d^* \\ K_d^* \end{bmatrix} = C_0^* \quad \text{или} \quad \Omega(k) \theta = C_0^*, \quad \text{где} \quad \Omega(k) = [C_1^*(k) : U_0^*(k)] -$$

матрица наблюдения а, $\hat{\theta} = [\hat{T}_d^* : \hat{K}_d^*]^T$ – вектор неизвестных параметров объекта.

Применив к уравнению, метод наименьших квадратов, можно осуществить оценку вектора неизвестных параметров разгонной характеристики ДВС на основе следующего соотношения

$$\hat{\theta} = (\Omega^T(k) \Omega(k))^{-1} (\Omega^T(k) C_0(k)).$$

Оценка, работоспособности рассматриваемой системы идентификации определения параметров динамики ДВС, осуществлялась на основе примера, аппроксимирующего разгонную характеристику с помощью линейной модели с использованием пакета моделирования Matlab/Simulink [73], рисунок 2.10. Эксперимент показал, что данный подход, позволяет с достаточной точностью идентифицировать основные параметры разгонной характеристики ДВС.

В частности, в проведенном эксперименте ошибка оценки динамических параметров модели относительно исходных составила в пределах 5–7% рисунок 2.11.

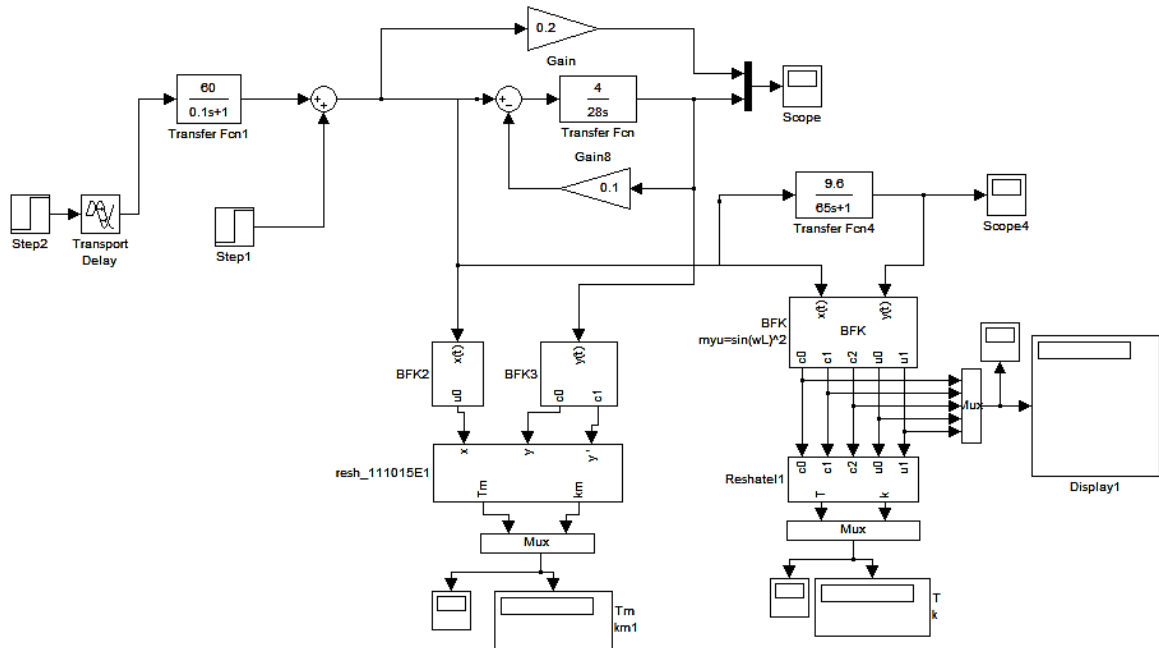


Рисунок 2.10 – Схема моделирования системы идентификации параметров разгонной характеристики ДВС в среде Matlab/Simulink

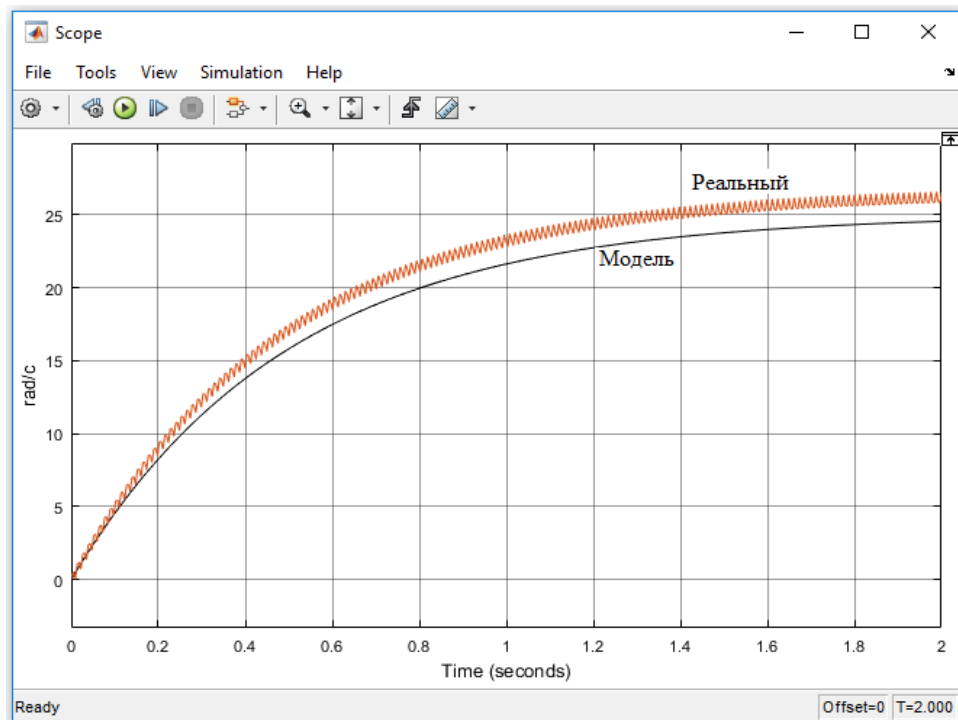


Рисунок 2.11 – Переходные временные характеристики разгона исходной (1) и идентифицированной (2) моделей ДВС

Разработанная система идентификации параметров разгонной характеристики, может быть, использована в качестве предварительной оценки качества работы двигателя, а также в бортовом варианте, для текущего анализа работы ДВС.

2.4. Интеллектуальная система контроля параметров системы охлаждения дизельного ДВС

Известные, из литературы, математические модели двигателя содержат параметрические и структурные неопределенности и не всегда адекватно отображают процессы, происходящие в двигателе [74]. Дизельный двигатель внутреннего сгорания как объект управления является нелинейной нестационарной стохастической системой.

Задача создания системы диагностики, позволяющей оценить основные показатели работы ДДВС в широком диапазоне частот вращения, является актуальной и требует разработки оригинальных методик, выходящих за рамки существующих подходов. Одним из таких методов является использование современных методов идентификации и управления на основе принципов совместного использования нечеткой логики и нейросетевых технологий. В работе предлагается использовать возможности инструментов искусственного интеллекта(ИИ) таких, как искусственные нейронные сети(ИНС) и нечеткой логики(НЛ) позволяющих решить вышеуказанные проблемы благодаря способности к обучению, запоминанию и аппроксимации входных данных[75].

Формально нечеткое множество \tilde{A} определяется как множество упорядоченных пар или кортежей вида: $(x, \mu_{\tilde{A}}(x))$, где x является элементом некоторого универсального множества или универсума X , а $\mu_{\tilde{A}}(x)$ – функция принадлежности, которая ставит в соответствие каждому из элементов $x \in X$ некоторое действительное число из интервала $[0,1]$, т. е. данная функция определяется в форме отображения:

$$\mu_{\tilde{A}}: X \rightarrow [0.1] \quad (2.20)$$

При этом значение $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ для некоторого $x \in X$ означает, что элемент x определенно принадлежит нечеткому множеству \tilde{A} , а значение $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0$ означает, что элемент x определенно не принадлежит нечеткому множеству $\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x))\}$.

Носителем нечеткого множества \tilde{A} называется обычное множество A_s , которое содержит те и только те элементы универсума, для которых значения функции принадлежности соответствующего нечеткого множества отличны от нуля.

$$A_s = \{x \in X, \mu_{\tilde{A}}(x) > 0\} \quad \forall x \in X \quad (2.21)$$

Рассмотрим пример характерный для задач технической диагностики, который иллюстрирует два важных аспекта: особенности решения нечетких уравнений и неравенств, а также метод получения заключений с использованием посылок.

Необходимо построить нечеткое отношение, которое содержательно описывает упрощенную ситуацию поиска неисправности в системе охлаждения дизельного двигателя внутреннего сгорания. С этой целью в качестве предпосылок или причин неисправности будем рассматривать множество $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$, в котором x_1 – максимальное давление в цилиндре, x_2 – температура выпускных газов, x_3 – давление охлаждающей жидкости, x_4 – температура охлаждающей жидкости, x_5 – расход топлива, x_6 – работа вентилятора (работает/ не работает), x_7 – состояние циркуляционного насоса(работает/не работает), x_8 – температура окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$. В качестве второго универсума рассмотрим множество заключений или проявлений неисправности $Y = \{y_1, y_2, y_3\}$, где y_1 – запуск двигателя, y_2 – устойчивость работы двигателя, y_3 – мощность, развиваемая двигателем.

Причинная взаимосвязь между множеством предпосылок и множеством следствий представлена в виде бинарного нечеткого отношения $\tilde{P} = \{(x_i, y_j), \mu_{\tilde{P}}(x_i, y_j)\}$, заданного на базисных множествах X, Y в форме матрицы $M_{\tilde{P}} = \{\mu_{\tilde{P}}(x_i, y_j)\}$. Если результаты осмотра конкретного

автомобиля показывают, что двигатель не запускается, хотя и работает устойчиво и развивает полную мощность, то эта информация может быть представлена в форме нечеткого множества, например, $\tilde{B} = \{(y_1, b_1), (y_2, b_2), (y_3, b_3)\}$

Задача состоит в том, чтобы определить возможные причины неустойчивой работы двигателя, используя для этого экспертную информацию в форме нечеткого отношения \tilde{R} . В этой задаче, характерной для задач технической диагностики, необходимо найти такое нечеткое множество $\tilde{A} = \{(x_1, \mu_{\tilde{A}}(x_1)), \dots, (x_5, \mu_{\tilde{A}}(x_5))\}$, которое соответствовало бы нечеткому множеству $\tilde{B} = \{\mu_{\tilde{A}}(x_i)\}$ представленный вектором $b = \{b_1, b_2, b_3\}$.

Частным случаем продукционных нечетких систем являются системы нечеткого вывода. Основными этапами нечеткого вывода являются:

- Формирование базы правил систем нечеткого вывода. В которых условия и заключения представляются в терминах нечетких лингвистических высказываний.
- Фаззификация входных переменных, т.е. введение нечеткости. Представление значений в нечетких высказываниях.
- Агрегирование подусловий в нечетких правилах продукций. Представляет собой процедуру определения степени истинности условий по каждому из правил нечеткого вывода.
- Активизация или композиция подзаключений нечетких правил продукции, или процедура нахождения степени истинности каждого из подзаключений правил нечетких продукций. В этом случае значение выходной лингвистической переменной W_i в каждом из подзаключений находится как решение уравнений $C_i = \mu(w_i) \quad (\forall i \in \{1, 2, \dots, q\})$, где q – общее количество подзаключений в базе правил.
- Аккумуляция заключений нечетких правил продукций. Это процедура нахождения функции принадлежности для каждого из выходных лингвистических переменных множеств.

– Деффазификация выходных переменных, как способ нахождения обычного(не нечеткого) значения для каждой из выходных лингвистических множеств $W = \{w_1, w_2, \dots, w_k\}$, при этом используется формула

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n c_i w_i}{\sum_{i=1}^n c_i} \quad (2.22)$$

где n – общее число активных правил нечетких продукций в подзаключениях, которых присутствует выход лингвистических переменных w_i .

Общей особенностью решаемых нами задач является существование некоторой зависимости или отношения, связывающего входные и выходные переменные модели, и системы. При этом выявление и определение данной зависимости в явном теоретико множественном или аналитическом виде не представляется возможным либо по причине недостатка информации о моделируемой проблемной области, либо сложности учета многообразия факторов, оказывающих влияние на характер данной взаимосвязи. Для конструктивного решения подобных задач разработан специальный математический аппарат, получивший название искусственных нейронных сетей. При этом построение и настройка нейронных сетей осуществляется посредством их обучения на основе имеющейся и доступной информации.

В пакете Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB гибридные сети реализованы в форме так называемой адаптивной системы нейро–нечеткого вывода ANFIS. С одной стороны, гибридная сеть ANFIS представляет собой нейронную сеть с единственным выходом и несколькими входами, которые представляют собой нечеткие лингвистические переменные. При этом термины входных лингвистических переменных описываются стандартными для системы MATLAB функциями принадлежности, а термины выходной переменной представляются линейной или постоянной функцией принадлежности.

Правила преобразования сигналов определяются математической моделью нейрона, которая может быть записана в форме следующих аналитических выражений:

$$S = \sum_{i=1}^n g_i x_i + l; \quad (2.23)$$

$$Y = f(S) \quad (2.24)$$

где g_i – вес синапса ($i \in \{1, 2, \dots, n\}$);

l – значение смещения;

S – результат суммирования;

x_i – компонент вектора входа или входного сигнала ($i \in \{1, 2, \dots, n\}$);

Y – выходной сигнал нейрона; n – число входов нейрона;

f – функция активации (передаточная функция) нейрона, представляющее собой некоторое нелинейное преобразование.

В общем случае: $g_i, x_i, l \in R, (i \in \{1, 2, \dots, n\})$

$$x_i = a_i^{(1)}, i \in 1, 2, 3, 4 \quad (2.25)$$

Первый набор активаций $a_i^{(1)}$ равен входным значениям. «Активация» – это значение нейрона после применения функции активации. Конечные значения в скрытых нейронах z_1 вычисляются с использованием z_1 – взвешенных входов в слое 1 и a^l активаций в слое L. Для слоя 2 уравнения будет следующим:

$$z^{(2)} = W^{(1)}x + b^{(2)} \quad (2.26)$$

$$a^{(2)} = f(z^{(2)})$$

$W^{(2)}$ – вес на слое 2, а $b^{(2)}$ – смещение на этом слое. Активация $a^{(2)}$ вычисляется с помощью функции активации f . Например, эта функция f является нелинейной (как сигмоид, ReLU и гиперболический тангенс) и позволяет сети изучать сложные паттерны в данных. Представим для 2 слоя ее параметры в матричной форме. операции можно применить к любому слою нейронной сети. $W^{(1)}$ – это матрица весов размерности (n, m) , где n – это количество выходных нейронов (нейронов на следующем слое), а m – число

входных нейронов (нейронов в предыдущем слое). В нашем случае $n = 2$ и $m = 4$.

$$W^{(1)} = \begin{bmatrix} W_{11}^{(1)} & W_{12}^{(1)} & W_{13}^{(1)} & W_{14}^{(1)} \\ W_{21}^{(1)} & W_{22}^{(1)} & W_{23}^{(1)} & W_{24}^{(1)} \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

Здесь первое число в нижнем индексе любого из весов соответствует индексу нейрона в следующем слое (в нашем случае – это второй скрытый слой), а второе число соответствует индексу нейрона в предыдущем слое (в нашем случае – это входной слой). x – входной вектор размерностью $(m, 1)$, где m – число входных нейронов. В нашем случае $m = 4$.

$$x = [x_1 x_2 x_3 x_4]^T \quad (2.28)$$

b^1 – это вектор смещения размерности $(n, 1)$, где n – число нейронов на текущем слое. В нашем случае $n = 2$.

$$b^{(1)} = [b_1^{(1)} b_{21}^{(1)}]^T \quad (2.29)$$

Следуя уравнению для $z^{(2)}$ мы можем использовать приведенные выше определения $W^{(1)}$, x и $b^{(1)}$ для получения уравнения $z^{(2)}$:

$$z^{(2)} = \begin{bmatrix} W_{11}^{(1)} x_1 + W_{12}^{(1)} x_2 + W_{13}^{(1)} x_3 + W_{14}^{(1)} x_4 \\ W_{21}^{(1)} x_1 + W_{22}^{(1)} x_2 + W_{23}^{(1)} x_3 + W_{24}^{(1)} x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1^{(1)} \\ b_2^{(1)} \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

Последняя часть нейронной сети – это выходной слой, который выдает прогнозируемое значение. В нашем примере он представлен в виде одного нейрона, рассчитываемого следующим образом:

$$s = W^{(2)} a^{(2)} \quad (2.31)$$

Оценка между s и y происходит через функцию потерь. Она может быть простой как среднеквадратичная ошибка или более сложной как перекрестная энтропия. Мы назовем эту функцию потерь S и обозначим ее следующим образом:

Приведенные выше уравнения формируют прямое распространение по нейронной сети. Краткий обзор, выполненных действий выглядит так:

$$x = a^{(1)} \quad (\text{входной слой});$$

$$z^{(2)} = W^{(1)} x + b^{(1)} \quad (\text{значение нейрона на первом скрытом слое});$$

$a^{(2)} = f(z^{(2)})$ (значение активации на первом скрытом слое);

$S = W^{(2)}a^{(2)}$ (значение активации на первом скрытом слое).

Заключительным шагом в прямом проходе является оценка прогнозируемого выходного значения s относительно ожидаемого выходного значения y . Выходные данные y являются частью обучающего набора данных (x, y) , где x – входные данные.

$$C = cost(s, y) \quad (2.32)$$

где $cost$ может равняться среднеквадратичной ошибке, перекрестной энтропии или любой другой функции потерь.

Основываясь на значении C , модель «знает», насколько нужно скорректировать ее параметры, чтобы приблизиться к ожидаемому выходному значению y . Это происходит с помощью метода обратного распространения ошибки.

Обратное распространение направлено на минимизацию функции потерь путем корректировки весов и смещений сети. Степень корректировки определяется градиентами функции потерь по отношению к этим параметрам.

$$\frac{\partial C}{\partial x} = \left[\frac{\partial C}{\partial x_1}, \frac{\partial C}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial C}{\partial x_m} \right] \quad (2.33)$$

Производная функции C отражает чувствительность к изменению значения функции (выходного значения) относительно изменения ее аргумента x (входного значения). Другими словами, производная говорит нам в каком направлении движется C .

Для одного веса (W_{jk}) градиент равен:

$$\frac{\partial C}{\partial W_{jk}^l} = \frac{\partial C}{\partial z_j^l \partial W_{jk}^l} \quad (\text{Цепное правило});$$

$$z_j^l = \sum_{k=1}^m W_{jk}^l a_k^{l-1} + b_j^l \quad (m - \text{количество нейронов на } l - 1 \text{ слое});$$

$$\frac{\partial z_j^l}{\partial W_{jk}^l} = a_k^{l-1} \quad (\text{Вычисление производной});$$

$$\frac{\partial C}{\partial W_{jk}^l} = \frac{\partial C}{\partial z_j^l} a_k^{l-1} \quad (\text{Окончательное значение}).$$

Аналогичный набор уравнений можно применить и к (b_j^l) .

Общая часть в обоих уравнениях часто называется «локальным градиентом» и выражается следующим образом:

$$\delta_j^l = \frac{\partial C}{\partial z_j^l} \quad (2.34)$$

Пока не будет достигнут критерий остановки выполняется следующее:

$$W = W - \theta \frac{\partial C}{\partial W} \quad (2.35)$$

$$b = b - \theta \frac{\partial C}{\partial b} \quad (2.36)$$

Алгоритм оптимизации весов и смещений (также называемый градиентным спуском). Начальные значения w и b выбираются случайным образом.

- Тета (θ) – это скорость обучения. Он определяет влияние градиента.
- w и b – матричные представления весов и смещений.
- Производная C по w или b может быть вычислена с использованием частных производных C по отдельным весам или смещениям.

Нечеткая модель топливной системы ДДВС разработана с использованием MATLAB Simulink для нечетких диагностик отказов. В этой модели входные переменные были переданы из MATLAB рабочую среду. Фаззификация была проведена в соответствии с параметрами влияющих на работу топливной системы (таблица. 2.2) и типа функции принадлежности. Результаты моделирования приведены на рисунок 2.37 и рисунок 2.38.

Таблица 2.2 – Значения лингвистических параметров

Наименование параметра	Лингвистические переменные		
	низкое	нормальное	высокое
Входные переменные			
Мак. давление в цилиндре x_1 , бар	130...141,5	141,5...148,5	148,5...160
Температура выпускных газов x_2 , °C	270...285	285...315	315...330
Давление охлаждающей жидкости x_3 , бар	0,3...1,1	0.8...2.1	1.8...5.2

Темп-ра охлаждающей жидкости x_4 , °C	0.7...1	1.8...4.7	4.9...7.8
Расход топлива x_5 , кг/ч	10.1...10.4	10.5...11	11.1...11.5
Состояние вентилятора x_6	0	1	
Состояние циркуляц-го насоса x_7	0	1	
Темп-ра окружающей среды x_8 , °C	-15...15	15...30	15.1...45
Выходные переменные			
Мощность, развиваемая ДДВС y	Слабая	Нормальная	Высокая

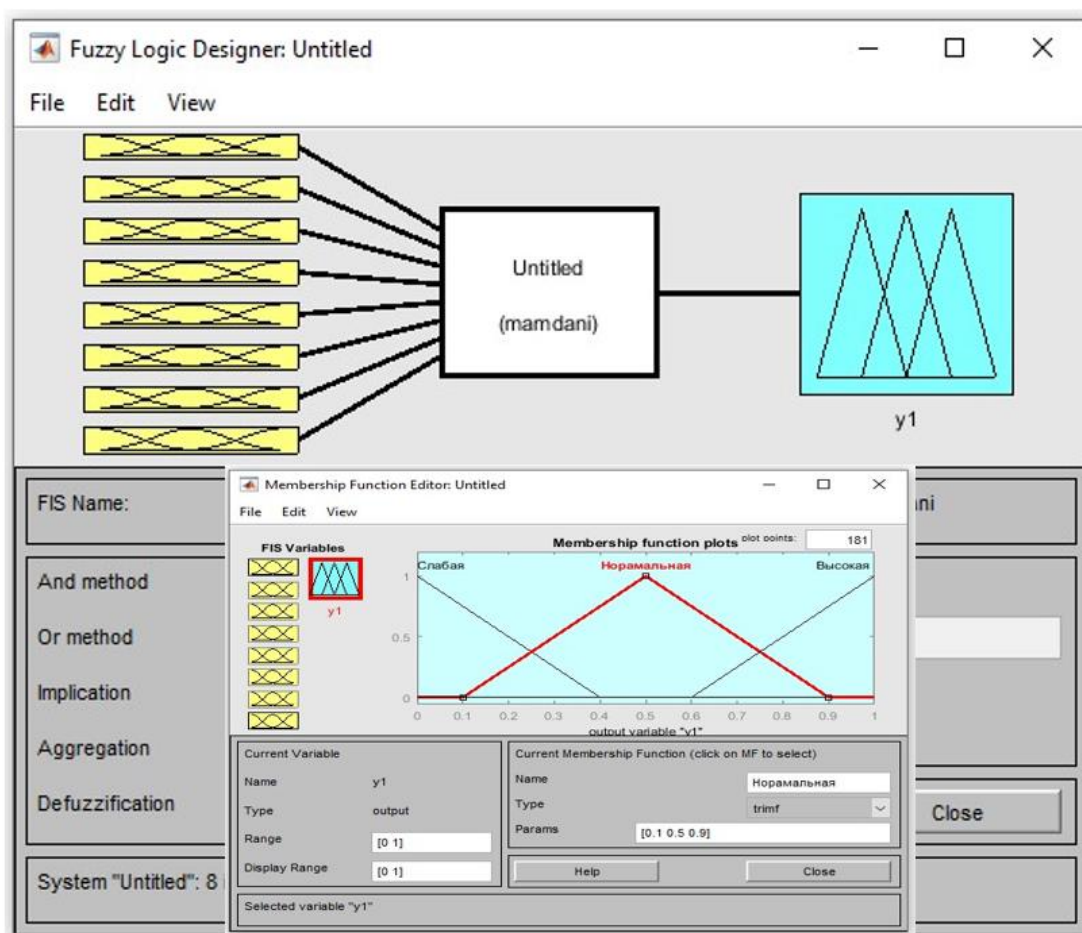


Рисунок 2.37 – Результаты моделирования ДДВС в пакете Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB

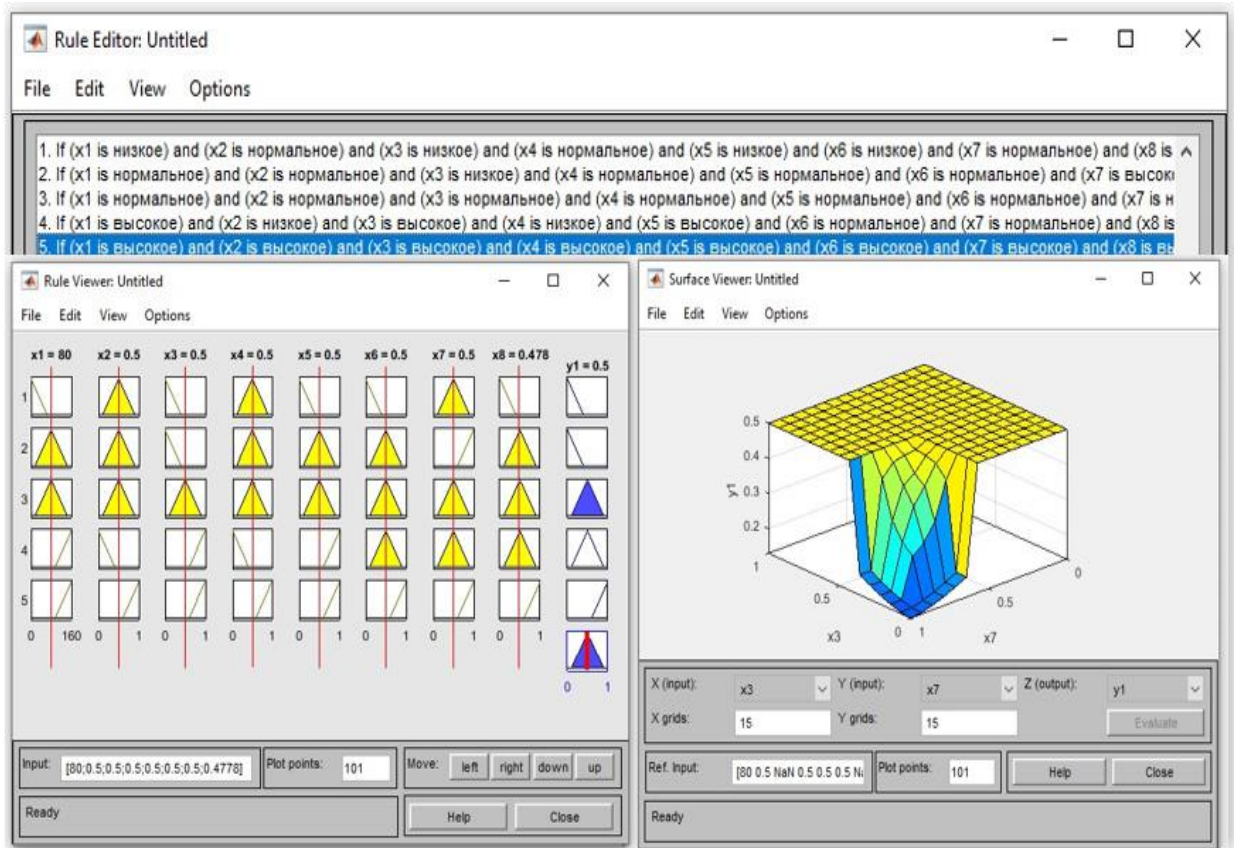


Рисунок 2.38 – Процесс моделирования на Fuzzy Logic Toolbox

При значениях входных переменных близких к стандартным, двигатель запускается, работает устойчиво и развивает установленную мощность. Результаты исследования показали, что при отклонениях от нормы некоторых неконтролируемых параметров, двигатель работает устойчиво, что свойственно интеллектуальным системам в целом.

Выводы по второй главе

- Разработана математическая модель системы охлаждения двигателя с дополнительным устройством. На модели в среде Matlab/Simulink, исследованы паровоздушные потоки, влияющие на температуру радиатора.
- Произведено моделирование системы охлаждения двигателя с применением аппарата нечеткой логики, на математической модели в среде Fuzzy Logic Toolbox. Установлено влияние дополнительного охладителя на процесс снижения температуры двигателя.
- Разработана система контроля состояния двигателя на основе его устойчивой работы, развивающий задаваемую мощность, для проведения текущей диагностики отказов на основе базы знаний нечеткой логики.
- Разработанная методика экспресс диагностики на основе применения метода интегральной модуляции, которая позволяет проводить обобщенную оценку технического состояния ДВС по её разгонной характеристике непосредственно в режиме реального времени. Устройство, реализующий метод может быть интегрирован и использован, как способ предварительной идентификации технического состояния объекта, перед его углубленной диагностикой.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ОХЛАЖДЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВС НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ И НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ

3.1. Нейронный нечеткий регулятор температуры для системы охлаждения ДВС грузовых автомобилей

Эффективное внедрение в жизнь гидротехнических сооружений разработанных проектов немислимо без решения транспортных проблем, и в первую очередь, проблем автомобильного транспорта. Республика Таджикистан, является горной страной, расположенной на высотах от 300 до 7400 м, с различными климатическими условиями, которые существенно определяют режимы работы транспортных средств. Особенно эти условия эксплуатации машин проявляют себя при строительстве крупных инженерных сооружений на подобие Рогунской ГЭС, расположенной на высокогорной зоне Республики Таджикистан [76,77]. Следует отметить, что при перевозке тяжелых грузов в таких зонах автомашина в своем маршруте движения проходит дороги имеющие различные крутизну и высоту. В летний период, когда температура и атмосферное давление окружающей среды имеют экстремальные значения, и в условиях повышенной запыленности, которые негативно влияют на режим охлаждения двигателя внутреннего сгорания, приводит к понижению эффективности и надёжности работы узлов и агрегатов грузового автомобиля.

Условие обеспечения нормального режима работы системы охлаждения ДВС зависит от факторов, существенно влияющих на этот процесс, к которым можно отнести следующие:

- количество оборотов вала двигателя в единицу времени,
- крутизна подъема пути в маршруте движения автомобиля,
- температура жидкости в радиаторе автомобиля в момент управления процессом охлаждения.

В качестве устройства охлаждения рассматривается, предложенное и запатентованное авторам [48,78] дополнительное устройство охлаждения.

Применение предлагаемого устройства, охлаждения жидкости позволяет осуществить охлаждения жидкости за счет впрыска воды перед радиатором из автономного источника, в тот момент, когда охлаждающая жидкость внутри радиатора нагревается выше номинального из-за чрезмерной нагрузки на двигатель.

Учитывая, сложность и неопределенность процесса изменения температуры охлаждающей жидкости внутри радиатора при экстремальных условиях работы автомобиля, предлагается адаптивный нейронный нечеткий регулятор [79–82] температуры для системы охлаждения ДВС грузового автомобиля, использующая вышеуказанную конструкцию автономного блока охлаждения рисунок 3.1.

Есть работы авторов [83–85], также посвященные вопросу применения принципов нечеткой логики в задаче управления процессом охлаждения жидкости, циркулирующей в системе ДВС автомобиля с другими способами дополнительного охлаждения. Нужно отметить, что в этих работах отсутствует узел с нейронной сетью, которая реализует нейронную модель процесса с запаздывающим элементом.

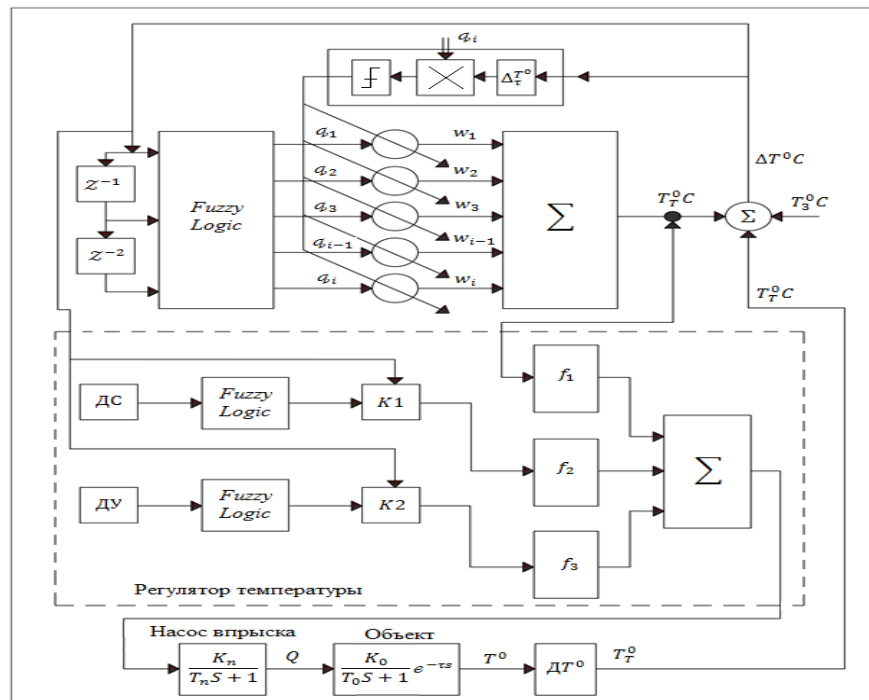


Рисунок 3.1 – Структурная схема системы управления процессом охлаждения жидкости на основе нечеткого нейронного регулятора

ДС – датчик скорости вращения вентилятора автомашины, ДУ – датчик измерения угла подема автомашины в маршруте движения, ΔT^0 – датчик измерения температуры охлаждающей жидкости в системе ДВС. К1, К2 – ключи для отключения сигнальных контуров. f_1, f_2, f_3 – функции активации. ΔT^0 – датчик температуры.

Исходя из того, что процесс охлаждения имеет запаздывающий характер можно аппроксимировать его, в виде апериодического звена с элементом запаздывания.

$$W(s) = \frac{\Delta T^0(s)}{\Delta \theta(s)} = \left[\frac{K_{ou}}{T_{ou}s+1} \right] e^{-s\tau} \quad (3.1)$$

где $\Delta T^0(s)$ – изменения температуры охлаждения в радиаторе автомобиля;

$\Delta \theta(s)$ – количество воды, расходуемое опрыскивателем;

K_{ou}, T_{ou} – параметры объекта управления;

τ – время запаздывания.

Используя разложения в ряд Паде [12] представим элемент запаздывания в традиционном виде

$$e^{-s\tau} = \frac{1}{0.5\tau^2 s^2 + \tau s + 1} \quad (3.2)$$

С учётом этого, объект управления (ОУ) можно записать в следующей форме

$$W(s) = \frac{\Delta T^0(s)}{\Delta \theta} = \left[\frac{K_o}{T_o s + 1} \right] * \frac{1}{0.5\tau^2 s^2 + \tau s + 1} \quad (3.3)$$

Следовательно, связь между входом и выходом, для данного процесса можно записать

$$\Delta T^0(t) = \int_{\tau}^t g(\tau) q(t - \tau) d\tau \quad (3.4)$$

где $q(t - \tau)$ – входной сигнал (температура стенок цилиндров), $g(\tau)$ – импульсная характеристика ОУ. Дискретная форма интеграла свертки

$$\Delta T_d^0 = \sum_{i=1}^N g_i q_{j-1} \quad (3.5)$$

Импульсную реакцию системы $g(\tau)$ можно представить как сумму весовых функций $w_1(j), w(j), w_N(j), j, \forall N + 1, N + 2$ умноженные на соответствующие координаты, которые активизированы при изменении ошибки рассогласования, которая в свою очередь связана с изменениями сигналов поступающих от датчиков температуры, угла подъема и числа

оборотов коленчатого вала автомобиля. Веса $w_i(j)$ при соответствующем выборе алгоритме адаптации, должны приближаться к коэффициентам $g_1 \dots g_N$ в уравнение (5), где j – номер итерации.

Следовательно, уравнение (3.5) с точки зрения весовых коэффициентов нейрона может быть записано в следующем виде

$$\Delta T_{j\mu}^0 = \sum_{i=1}^N w_i(j) q_{i-1} \quad (3.6)$$

Введя обозначения (5) и (6) получим

$$\left. \begin{aligned} \vec{G} &= [g_1 \dots g_N]^T \\ \vec{w} &= [w_1(j) \dots w_N(j)]^T \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

Тогда, уравнения (5) и (6) можно представить соответственно в виде

$$\begin{aligned} \Delta T_j^0 &= \vec{G}^T q_j \\ \Delta T_{j\mu}^0 &= \vec{w}_j^T q_j \end{aligned} \quad (3.8)$$

Сформируем ошибку

$$\mathcal{E}_T(j) = \Delta T_j^0 - \Delta T_{j\mu}^0 = (\vec{G}^T - \vec{w}_j^T) q_j = q_j^T \Delta \vec{w}_j \quad (3.9)$$

Разность $\mathcal{E}_T(j)$ будет использоваться в качестве функции для настройки вектора \vec{w}_{j+1} , коэффициентов нейрона.

Для формирования рекуррентной последовательности вычисления коэффициентов нейрона, уравнение (9) приведём к виду

$$\Delta \vec{w}_j = (\Delta T_j - \Delta T_{j\mu}) \frac{q_j}{q_j^T q_j}$$

где $j = 1, 2, \dots$, откуда получим рекуррентную формулу для вычисления весовых коэффициентов нейрона

$$\vec{w}_{j+1} = \vec{w}_j + (\Delta T_j - \Delta T_{j\mu}) \frac{q_j}{q_j^T q_j} \quad (3.10)$$

Адаптивная нейронная сеть включает в себе фаззификатор и синапсы по числу проекций входного вектора на выходе фаззификатора, блок суммирования и сравнения, а также блок адаптации.

Используя экспертную систему оценок, введем следующие лингвистические термы для блока фаззификатора: «низкий», «средний», «повышенные», «высокие». Запишем эти термы с помощью следующих зависимостей.

Таблица 3.1 – Скорость вращения коленчатого вала автомобиля

ν	Низкая $\left[\frac{\text{об}}{\text{мин}}\right]$	ν	Средняя $\left[\frac{\text{об}}{\text{мин}}\right]$	ν	Высокая $\left[\frac{\text{об}}{\text{мин}}\right]$
ν_{10}	$600 \leq \nu \leq 1200$	ν_{20}	$1600 \leq \nu \leq 1800$	ν_{30}	$2200 \leq \nu \leq 3000$
ν_{11}	$1000 \leq \nu \leq 1200$	ν_{21}	$1600 \leq \nu \leq 1800$	ν_{31}	$2400 \leq \nu \leq 2800$
ν_{12}	$1100 \leq \nu \leq 1300$	ν_{22}	$1600 \leq \nu \leq 2000$	ν_{32}	$2600 \leq \nu \leq 3200$

Для термов угла подъема пути относительно горизонтального движения автомобиля (определение которого, можно осуществить, например, с помощью датчика измерения угла – инклинометра), можно записать следующие правила:

Таблица 3.2 – Угол подъема пути

γ	Малый угол	γ	Средний угол	γ	Высокий угол
γ_{10}	$5^0 \leq \gamma \leq 10^0$	γ_{20}	$15^0 \leq \gamma \leq 25^0$	γ_{30}	$30^0 \leq \gamma \leq 45^0$
γ_{11}	$0 \leq \gamma \leq 5^0$	γ_{21}	$10^0 \leq \gamma \leq 15^0$	γ_{31}	$25^0 \leq \gamma \leq 30^0$
γ_{12}	$10^0 \leq \gamma \leq 15^0$	γ_{22}	$25^0 \leq \gamma \leq 30^0$	γ_{32}	$25^0 \leq \gamma \leq 30^0$

Функции принадлежности для ошибки рассогласования управляемого параметра температуры жидкости в радиаторе относительно ее установленного значения, можно назначить следующие лингвистические переменные: Отрицательное – О, Нулевое – Н, Большое – Б, Положительное – П, Среднее – С, Малое – М.

База правил для такого ПИ подобного фазорегулятора может быть предоставлено в виде следующей таблицы 3.3.

Таблица 3.3 – База правил для ПИ фазорегулятора

$\Delta\varepsilon \backslash \varepsilon$	ОБ	ОС	ОМ	Н	ПМ	ПС	ПБ
ОБ	ОБ	ОБ	ОБ	ОБ	ОС	ОМ	Н
ОС	ОБ	ОБ	ОБ	ОС	СМ	Н	ПМ
ОМ	ОБ	ОБ	ОС	ОМ	Z	ПМ	ПС
Н	ОБ	ОС	ОМ	Н	ПМ	ПС	ПБ
ПМ	ОС	ОМ	Н	ПМ	ПС	ПБ	ПБ
ПС	ОС	Н	ПМ	ПС	ПБ	ПБ	ПБ

ПБ	Н	ПМ	ПС	ПС	ПБ	ПБ	ПБ
----	---	----	----	----	----	----	----

Структурная схема управления процессом охлаждения ДВС приведена на рисунках 3.3. а), б). Следует отметить, что в информационные каналы сопряженные с датчиками скорости и угла подъема включены специальные ключи К1, К2, которые при достижении минимума ошибки рассогласования по температуре отключают вышеуказанные контуры от системы управления.

Алгоритм адаптации коэффициентов синапса нейрона можно, осуществив используя оптимизационный метод Уидроу – Хоффа [86], реализующий градиентной метод минимизации ошибки рассогласования

$$\varepsilon^2 = (q_{\text{ж}} - \rho)^2$$

где $q_{\text{ж}}$ – желаемое значение управляемого параметр (вектора изменения температуры),

$$a\rho = \sum_{i=1}^n w_i \varphi_i. \quad (3.11)$$

На основе данного подхода ($k + 1$) – итерация для значения k -го весового коэффициента w_i определяется с помощью следующей формулы

$$w_i(k+1) = w_i(k) + \left(\frac{\partial(\varepsilon)^2}{\partial w_i} \right) * N \quad (3.12)$$

N – величина определяющая скорость сходимости процесса настройки весовых коэффициентов синапса нейрона. Процедура адаптации заключается в том, что сигналы, получаемые из блока фаззификатора преобразуются в сигналы $\{q_1, q_2, \dots, q_k\}$, поступают в нейрон, где вектора входных сигналов настраиваются таким образом, чтобы значение ошибки рассогласования стремилось к минимуму.

Алгоритм настройки весовых коэффициентов можно осуществить и в непрерывном варианте. Для этого запишем полином зависящей от времени:

$$\mathcal{E}(t) = q_1 * w_1(t) + q_2 * w_2(t) + \dots + q_{k*} w_k(t) \quad (3.13)$$

Сформулируем квадратную формулу управления (6) относительно ошибки рассогласования.

$$\mathcal{F} = \mathcal{E}^2(t) = [q_{1k}(t)w_{1k}(t) + q_{2k}(t) + \dots + q_{ik}w_{ik}]^2 \quad (3.14)$$

Определив частную производную функционала \mathcal{F} относительно весовых коэффициентов синапсов адаптивного нейрона, можно показать, что настройка параметров нейрона w_{ik} доставляющих минимум выражению (3.14) можно записать в следующем виде:

$$\frac{\partial w_{ik}}{\partial t} = -\alpha_{ik} \mathcal{E}(t) q_{ik}(t) \quad (3.15)$$

i – номер весового элемента нейрона в контуре управления

k – номер контура управления $\mathcal{E}_k(t)$ – в данном случае, $k = 1, 2, 3$.

В целях повышения быстродействия контура адаптации алгоритм (3.15) можно представить в виде

$$\frac{\partial w_{ik}}{\partial t} = \alpha_{ik} \text{sing}|\mathcal{E}(t) q_{ik}(t)| \quad (3.16)$$

Выходной сигнал с каждой ветви адаптивного нейрона одновременно направляется в активационную функцию \mathcal{F}_i , где формируется интегрирование системы управления опрыскивателем воды для достижения установленного значения температуры охлаждающей жидкости.

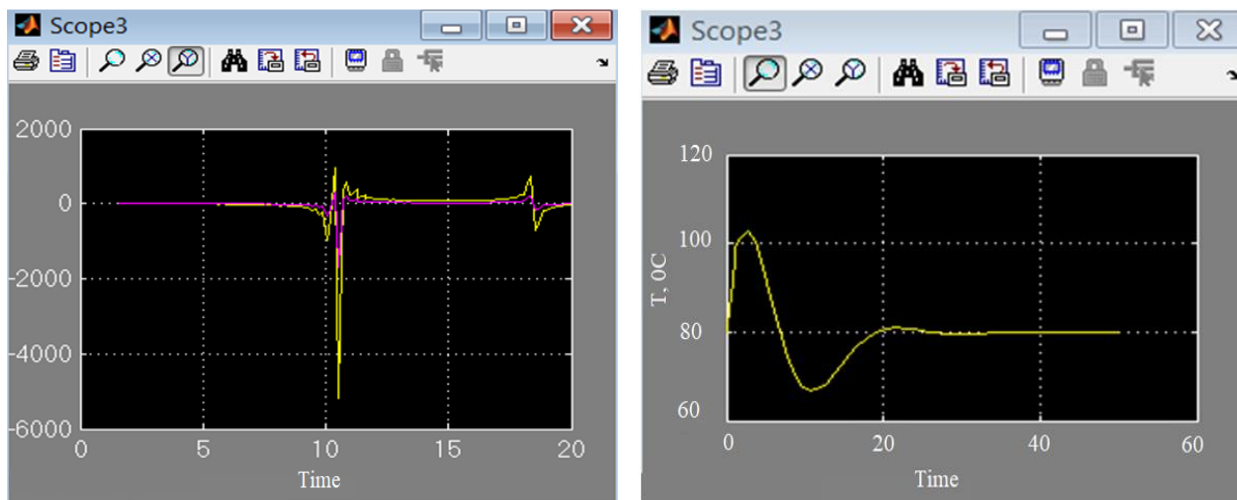
В системах с непрерывными алгоритмами целесообразно в качестве функции принадлежности использовать (L–R) – функции, которые имеют гладкую форму. Рассматриваемые функции [14] могут быть заданы в следующем виде $f(x) = e^{-|x|^p}$ или $f(x) = \frac{1}{1+|x|^p}$, где p – параметр удовлетворяющий условию $p \geq 0$. Для нашего примера возьмем $p = 2$. Тогда нечеткое число (L–R) типа, будем считать величину $Q = \{q, \mu(q)\}$, функция принадлежности которой, можно представит в виде композиции L– функции и некоторой R– функции

$$\mu_Q(q) = \begin{cases} L\left(\frac{a-q}{\alpha}\right), & \text{если } x \leq a \\ R\left(\frac{q-a}{\beta}\right), & \text{если } x \geq a \end{cases} \quad (3.17)$$

Функция активации определяющий выходной уровень нейрона для рассматриваемой системы принят в виде сигмоида с насыщением

$$F(x) = \frac{1}{1+e^{-ax}} \quad (3.18)$$

Результаты моделирования рассматриваемой системы в среде Matlab/Simulink представлены на рисунках 3.3. а), б).



а)

б)

Рисунок 3.3 а. б., – а) Переходные процессы изменения функции ошибки и ее производной в системе регулирования температуры. **б).** График изменения температуры охлаждающей жидкости внутри радиатора ДВС автомобиля при работе регулятора температуры

Надо отметить, что возникающее в системе охлаждения некоторое колебание, связано наличием времени запаздывания в объекте управления.

3.2. Позиционное управление системой охлаждения ДВС с применением элементов искусственного интеллекта

В работе представлено системный подход к охлаждению двигателя и предлагается новая надежная модель управления, основанная на использовании дополнительного отбора тепла от системы охлаждения при контроле параметров окружающей среды, состояния компонентов системы охлаждения и возможности прогнозирования режима теплопередачи, который происходит в системе охлаждения для заданных значений частоты вращения двигателя, расхода топлива, давления охлаждающей жидкости, температуры и ее расхода[87].

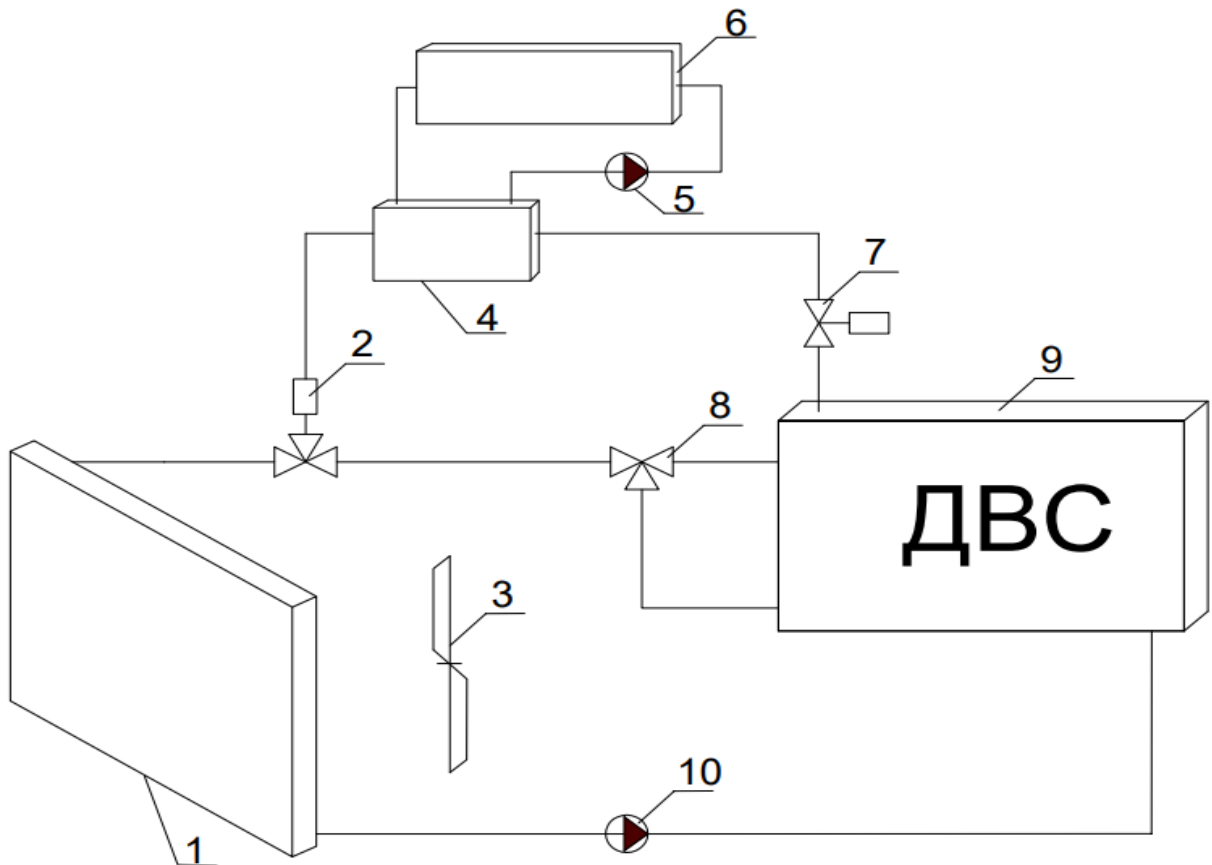


Рисунок 3.4 – Система охлаждения ДВС с дополнительным охлаждением
 1 – радиатор; 2 – ЭМК – электромагнитный клапан трехходовой; 3 – вентилятор; 4 – теплообменник для дополнительного отбора тепла; 5 – насос; 6 – бак с дополнительной охлаждающей жидкостью; 7 – ЭМК – электромагнитный клапан; 8 – термостат; 9 – ДВС.

Схема работы системы охлаждения, транспортного средства, основанная на предложенной модели системы управления транспортного средства представлена на рисунок 3.5.

Предложенная стратегия, которая в настоящее время находится на стадии разработки прототипа, была испытана как с помощью численного моделирования, так и с помощью экспериментов на испытательном стенде.

В первом случае данные (частота вращения двигателя, расход топлива и давление охлаждающей жидкости) в модель поступают с объекта, а температура охлаждающей жидкости может быть получена из экспериментальных данных или рассчитана на основании модели радиатора.

В лабораторных испытаниях во время реальной работы двигателя система сбора данных передает значения переменные двигателя в модель. Модель вычисляет усредненную температуру стенки двигателя и среднюю температуру охлаждающей жидкости и передает их контроллеру. Контроллер вычисляет коррекцию расхода охлаждающей жидкости и подает соответствующее напряжение U_M на открытие клапана дополнительного элемента охлаждения, чтобы удовлетворить стратегию управления температурным режимом. Алгоритм управления, используемый нами, основан на подходе интеллектуального прогнозирования на основе состояния элементов системы охлаждения, следовательно, требует использования модели двигателя и системы охлаждения. Одним из основных преимуществ этого подхода является то, что модель прогнозирует значения параметров, которые не могут быть непосредственно измерены на борту транспортного средства. Схема релейной системы в операторно–структурной форме состоит из двухпозиционного релейного элемента РЭ. Статическая характеристика двухпозиционного релейного элемента с гистерезисом и линейной частью ЛЧ представлена на рисунок 3.5:

- на вход РЭ подается величина представляющий собой отклонение $\varepsilon = \theta_0 - \theta$
- входная переменная представлена регулируемой величиной Θ как температура охлаждающей жидкости.

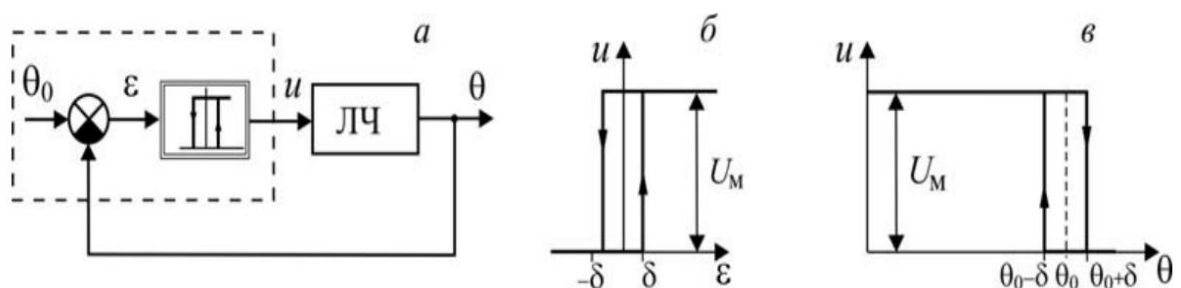


Рисунок 3.5 – Система автоматического регулирования с релейным элементом

а – структурная схема системы; б, в – статические характеристики релейного элемента.

Характеристика релейного элемента в статике описывается выражением [7].

$$U = \begin{cases} U_M & \text{если } (\varepsilon > \delta \text{ и } \dot{\varepsilon} > 0) \text{ или } (\varepsilon > -\delta \text{ и } \dot{\varepsilon} < 0); \\ 0 & \text{если } (\varepsilon < \delta \text{ и } \dot{\varepsilon} > 0) \text{ или } (\varepsilon < -\delta \text{ и } \dot{\varepsilon} < 0), \end{cases} \quad (3.19)$$

если на вход релейного элемента подать величину отклонения ε , и описывается следующим выражением [7].

$$U = \begin{cases} U_M & \text{если } (\theta < \theta_0 + \delta \text{ и } \dot{\theta} > 0) \text{ или } (\theta < \theta_0 - \delta \text{ и } \dot{\theta} < 0); \\ 0 & \text{если } (\theta > \theta_0 + \delta \text{ и } \dot{\theta} > 0) \text{ или } (\theta > \theta_0 - \delta \text{ и } \dot{\theta} < 0), \end{cases} \quad (3.20)$$

если на вход релейного элемента подать регулируемую величину Θ .

Для релейного регулятора параметрами настройки являются величина δ , определяющая ширину петли гистерезиса, и максимальное значение U_M на выходе РЭ. Система охлаждения, как объект регулирования можно описать системой дифференциальных уравнений первого порядка с различными постоянными времени на интервалах нагрева и остывания[88]:

$$\begin{aligned} T_1 \frac{d\theta(t)}{dt} + \theta(t) &= k_0 U_M \\ T_2 \frac{d\theta(t)}{dt} + \theta(t) &= 0. \end{aligned} \quad (3.21)$$

Графики изменения температуры при релейном регулировании с учетом чистого запаздывания и показаны на рисунок 3.6.

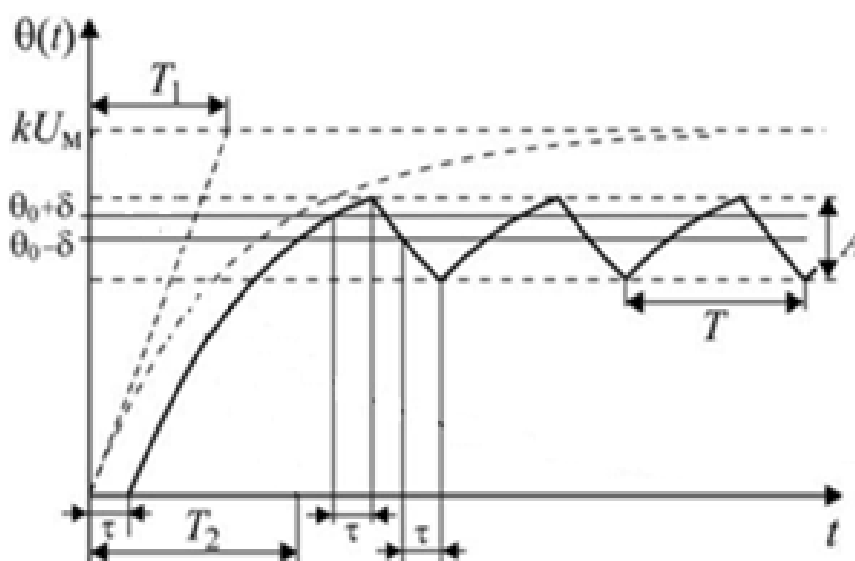


Рисунок 3.6 – Релейное регулирование температурой теплоносителя в системе охлаждения

Элемент охлаждения, подключенный в систему охлаждения, управляется с помощью реле, на которое подается напряжение, равное U_M . Изменение температуры начинается с момента времени $t = \tau$, $T_2 = T_1 + \tau$ так как, объект управления обладает запаздыванием. Когда температура охлаждающей жидкости достигает значения $\Theta = \Theta_0 + \delta$ подключается дополнительный элемент охлаждения к U_M . Существует тепловая инерция объекта, которая является причиной некоторого возрастания температуры в течении времени τ , а затем начнет падать. В момент времени, когда температура становится равной $\Theta = \Theta_0 - \delta$, отключается элемент отбора тепла. За счет инерционности объекта, уменьшение температуры продолжается ещё в течение интервала времени длительностью τ . После этого температура начинает повышаться (дополнительный отбор тепла отсутствует). Переход САР в установившийся режим, имеющий релейный регулятор, является режим автоколебаний. Качество регулирования характеризуется следующими параметрами автоколебаний: амплитуда A и период T (или частота ω) автоколебаний. В объекте управления с заданными параметрами A и T зависят только от характеристик релейного регулятора.

Качество процесса управления в релейных системах можно повысить, включив в схему внутреннюю обратную связь, который будет охватывать релейный элемент. Как правило в цепь внутренней обратной связи вводят апериодические звенья. Элемент отбора тепла в схеме, тоже представлена апериодическим звеном первого порядка. Передаточная функция объекта в этом случае примет вид [78].

$$W_0(s) = \frac{k_0 e^{-Ts}}{T_0 s + 1} \quad (3.22)$$

Апериодическое звено первого порядка, включенное в цепь внутренней обратной связи, имеет передаточную функцию [5]:

$$W_0(s) = \frac{k_{oc}}{T_0 s + 1} \quad (3.23)$$

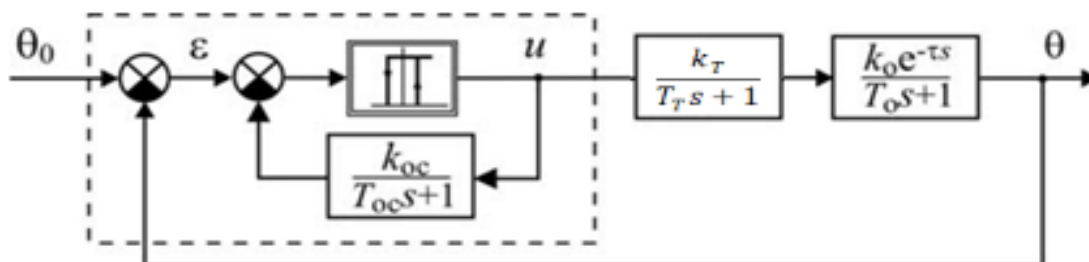


Рисунок 3.7 – Структурная схема САР температуры с дополнительным отводом тепла и релейным регулятором

На рисунок 3.8 изображена структурная схема моделирования системы охлаждения ДВС с дополнительным отводом тепла. Для наблюдения за изменением сигнала ошибки управляющего воздействия, а также выходной переменной во времени, используется виртуальный осциллограф Scope. Для повышения качества и эффективности управления температурным режимом в системе охлаждения ДВС, нами, предложено использование аппарата нечеткого управления, учитывающее влияние неконтролируемых параметров на объект.

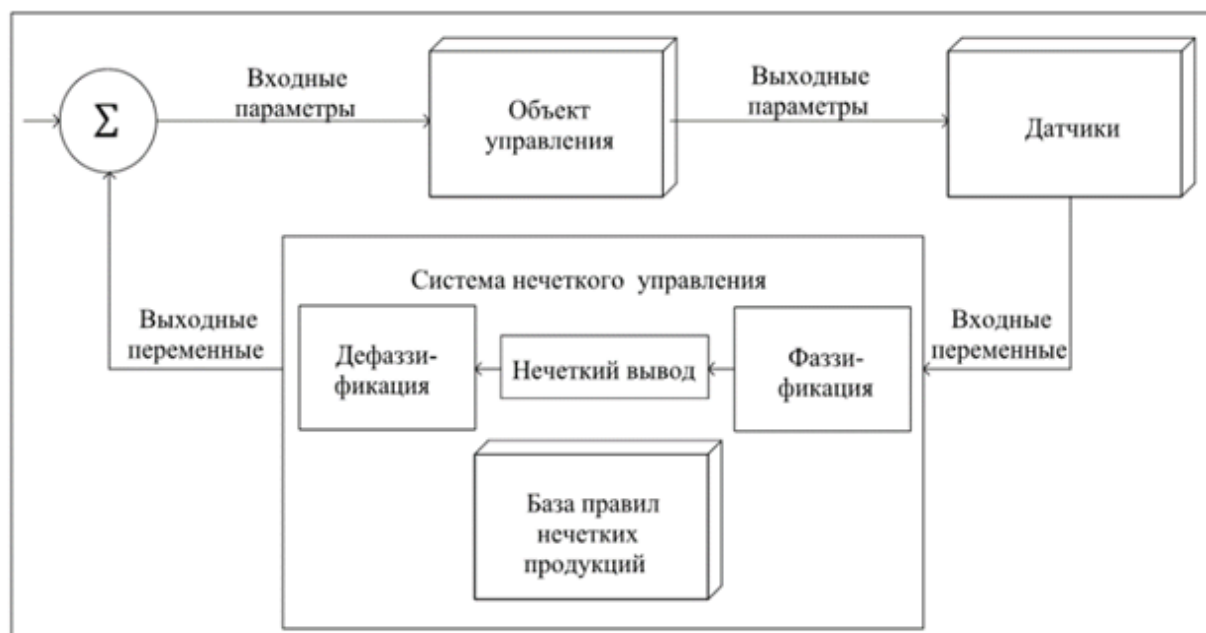


Рисунок 3.8 – Структурная схема с применением нечеткого управления температурой системы охлаждения

Последовательностей действий нечеткого управления, функционирующий на основе многомерных функций принадлежности состоит из следующих шагов.



Рисунок 3.9 – Алгоритм нечеткого управления системой охлаждения ДВС

Формализация поставленной задачи предполагает определения входных воздействий и выходных параметров технического объекта, затем сопоставляя термы с конкретными физическими переменными выбирают, переменные управления в виде лингвистических переменных.

Терм – множества образуются из нечетких переменных, представленных одномерной функцией принадлежности $\mu(x)$.

Логический вывод осуществляется на основе базы знаний или базы правил системы нечеткого вывода и формируется на основе знаний специалистов или знаний экспертов в данной проблемной области и может быть представлена в виде продукционных правил установленного вида. Этап фаззификации предусматривает установление соответствия между конкретным значением некоторой входной переменной и значением функции принадлежности соответствующего ей терма – нечеткой лингвистической переменной [7]. Процесс агрегирования предусматривает реализацию процедуры определения степени истинности правил системы нечеткого вывода. Так как все нечеткие высказывания, составляющие базу правил заданы в форме <нечеткие лингвистические высказывания А> <условия> <нечеткие лингвистические высказывания В>, с весовым коэффициентом 1,

то уровень истинности на шаге обобщения или агрегирования остаются без изменения [90]. В случае, если условие формируется из нескольких подусловий, причем эти переменные в подусловиях попарно не равны друг другу, тогда вычисляется степень истинности итогового высказывания.

Определение значений функции принадлежности нечетких множеств осуществляется на этапе активизации для каждой из выходных лингвистических переменных. Определение значения функции принадлежности для каждого под заключения осуществляется по формуле:

$$\mu'(y) = \min \{c_k, \mu(y)\}, \quad (3.24)$$

где $\mu(y)$ – функция принадлежности терма, который является значением некоторой выходной переменной; c_k – степень истинности каждого из подзаключений.

Аккумуляция состоит из объединения с использованием операции max–дизъюнкции все имеющиеся степени истинности заключений с целью определения функции принадлежности для каждой выходной переменной.

Для получения количественных значений каждой выходной переменной, которое обычно используется специальными устройствами, внешними по отношению к системе нечеткого вывода используется процесс дефаззификации. Для этого применяется, известный метод центра тяжести функций принадлежности.

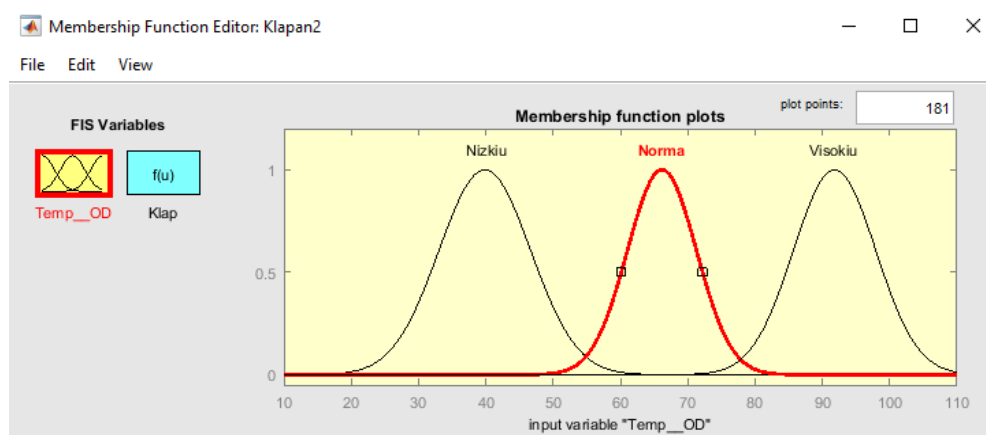


Рисунок 3.10 – График функции принадлежности для термов лингвистической переменной «температура охлаждающей жидкости»

Функции принадлежности, приведенные в таблице 3.4 используются для отображения различных диапазонов входной нечеткой переменной «Temp_CO».

Таблица 3.4 – Функции принадлежности для диапазонов входной нечеткой переменной «Temp_CO».

Функция принадлежности	Температура охлаждающей жидкости	Состояние клапана
Низкая	60^0-70^0	Закрыт
Нормальная	80^0-90^0	Закрыт
Высокая	93^0-100^0	Открыт

Агрегирование подусловий является следующим шагом нечеткого вывода в базе правил продукций. Ввиду того, что все правила в базе заданы в форме нечетких высказываний в виде условий «В есть А», с весовыми коэффициентами равными 1, то этап их агрегирования оставляет степени их истинности без изменения.

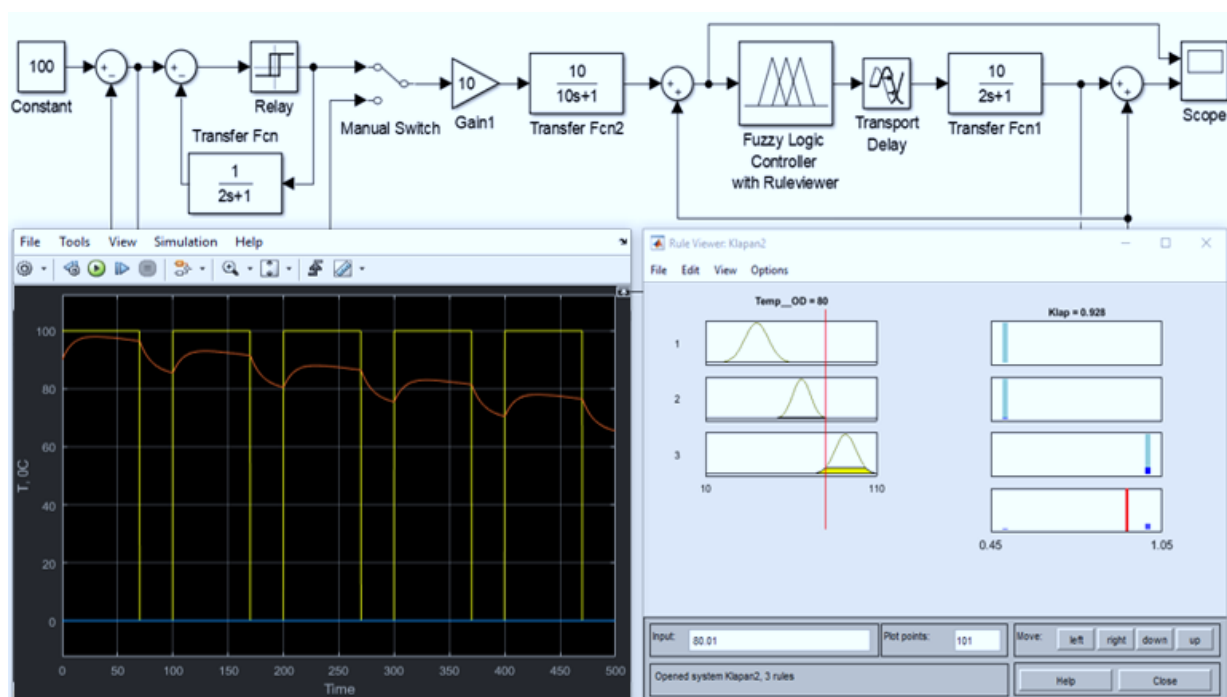


Рисунок 3.11 – Схема моделирования нечеткого регулирования температуры системы охлаждения двигателя с релейным регулятором

Из модели объекта управления видно, что постоянная времени остывания в два раза меньше, чем постоянная времени нагрева. При переводе переключателя Manual Switch в противоположное состояние выводится, релейный элемент, охваченный инерционной обратной связью. Полученные результаты, установившего режима автоколебаний имеющие постоянную составляющие периода и амплитуды, которые зависят от характеристик релейного регулятора при введении в схему элементов нечеткого регулятора, даже с минимумом продукционных правил, улучшило качество регулирования – время остывания становится меньше, чем время нагревания (на 28%), что отражает эффект дополнительного отбора тепла.

3.3. Задачи диагностики и прогнозирования состояния дизельного ДВС на основе принципов нечеткой логики и нейросетевых технологий

В настоящее время среди средств диагностики дизельного ДВС наибольшее распространение получили мотортестеры и системы встроенной диагностики. Последние нашли широкое применение в современных ДДВС, оснащенных электронной системой управления. Такие системы обладают возможностью контроля состояния дизельного ДВС, входящих в ее состав, и самодиагностики [91].

Диагностические приборы класса «мотортестер» являются консольными устройствами, оснащенными собственными датчиками. Мотортестеры способны измерять широкий ряд параметров работы двигателя независимо от системы управления – частоту вращения, угол опережения зажигания, неравномерность вращения, напряжение аккумуляторной батареи, первичное и вторичное напряжение системы зажигания и другие. Для решения задач диагностики мотортестеры способны реализовать тестовые режимы работы дизельного ДВС. К недостаткам подобных систем можно отнести то, что эти устройства обладают слабыми возможностями для оценки общего состояния дизельного ДВС и предназначены, в основном, для поиска и

локализации неисправностей или мест отказов уже по факту их возникновения.

Все современные дизельные ДВС работают под управлением встроенных электронных систем управления двигателем (ЭСУД), в основе которых лежат микропроцессорные системы управления (МПСУ). Управляющие воздействия в данном случае рассчитываются на основе данных, записанных в ПЗУ системы. Эти данные формируются экспериментальным путем на этапе калибровки двигателей в виде многомерных таблиц. Такой способ управления объясняется высокой сложностью дизельного ДВС как объекта управления. Отмеченные выше сложности делают использование этих таблиц оправданным и наименее ресурсоемким с точки зрения вычислительной мощности блоков управления и сложности алгоритмов. Однако в таком случае управляющие воздействия не являются оптимальными ввиду, во-первых, разброса технологических параметров при изготовлении конкретного двигателя, во-вторых, поскольку управляющее воздействие рассчитывается посредством аппроксимации табличных значений. При этом определяющими факторами выступают как разрядность самой таблицы, так и производительность микропроцессора, используемого в ЭСУД [92].

В качестве недостатков устройств, реализующих возможности встроенной диагностики, можно отнести ограниченное количество контролируемых параметров – не больше того, что заложили в систему управления разработчики, а также невысокую степень универсальности. В части критерия определения неисправностей (самодиагностики) используется, в основном, уровень (высокое/низкое значение) сигнала с датчика, причем отклонения сигнала от нормы должны сохраняться продолжительное время. Кратковременные отклонения сигналов электронной системой не фиксируются.

Оценка общего состояния двигателя производится по эффективным показателям его работы, к которым относятся эффективные момент и

мощность на валу двигателя, расход топлива и воздуха, угол опережения зажигания, содержание вредных веществ в отработавших газах. Известные, из литературы, математические модели двигателя содержат параметрические и структурные неопределенности и не всегда адекватно отображают процессы, происходящие в двигателе.

С учетом сказанного задача создания системы диагностики, позволяющей оценить основные показатели работы дизельного ДВС в широком диапазоне частот вращения, является актуальной и требует разработки оригинальных методик, выходящих за рамки существующих подходов. Одним из таких методов является использование современных методов идентификации и управления на основе принципов нечеткой логики и нейросетевых технологий. Дизельный двигатель внутреннего сгорания как объект управления является нелинейной нестационарной стохастической системой. Он функционирует в различных режимах и подвергается постоянному воздействию внешних возмущений, изменяющихся во времени произвольным образом [93]. В работе предлагается использовать возможности инструментов искусственного интеллекта (ИИ) таких, как искусственные нейронные сети (ИНС) и нечеткой логики (НЛ) способных решить вышеуказанные проблемы благодаря способности к обучению, запоминанию и аппроксимации входных данных. Помимо этого, нейронные сети могут решать задачи прогнозирования выходных параметров в небольшом временном интервале, которое даст возможность исключить вхождение двигателя в неблагоприятный режим работы. На рисунок 3.12 приведена концептуальная схема диагностики и прогнозирования технического состояния ДДВС на базе искусственного интеллекта. Полученные из датчиков сигналы поступают на программно – логический контроллер.

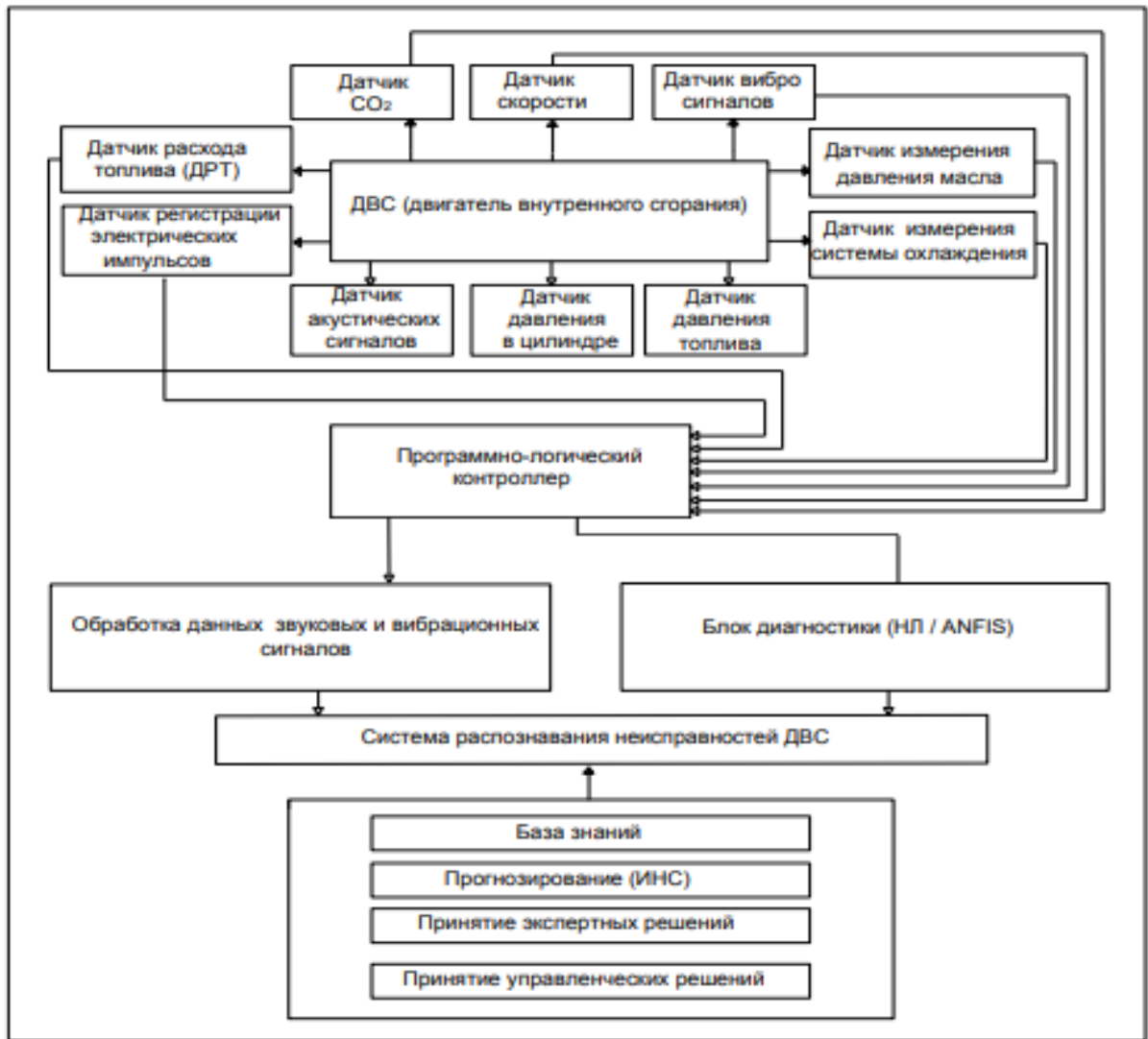


Рисунок 3.12 – Концептуальная схема диагностики и прогнозирования технического состояния дизельного ДВС на базе ИИ и нечеткой логики

При разработке базы знаний экспертной системы были использованы результаты индицирования, которые были фаззифицированы значения параметров соответственно для трёх лингвистических переменных: низкое, нормальное и высокое (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Значения параметров в каждом диапазоне

Наименование параметра	Обозн.	Значение параметров		
		низкое	нормальное	высокое
Среднее индикаторное давление, бар	p_{mi}	[15...15,6]	[15,6...16,4]	[16,4...17]
Максимальное давление в цилиндре, бар	p_{max}	[130...141,5]	[141,5...148,5]	[148,5...160]

Давление на линии расширения при угле 360 за ВМТ	рехр	[55...63]	[63...67]	[67...75]
Температура выпускных газов, °С	tr	[270...285]	[285...315]	[315...330]
Максимальное давление в топливопроводе высокого давления, бар	Fpmax	[500...520]	[520...580]	[580...600]
Содержание СО в выбросах, %	СО	[0,3...1,1]	[0.8...2.1]	[1.8...5.2]
Содержание O ₂ в выбросах, %	O ₂	[0.7...1]	[1.8...4.7]	[4.9...7.8]
Содержание CO ₂ в выбросах, %	CO ₂	[9.8...10.1]	[10.1...12.2]	[15.8...18.9]
Расход топлива кг/ч	fc	[10.1...10.4]	[10.5...11]	[11.1...11.5]

Нечеткая модель классификатора разработана с использованием MATLAB Simulink для нечетких диагностик отказов показано на рисунке 3.13. В этой модели входные переменные были переданы из MATLAB рабочую среду для нечеткого классификатора логики. Fuzzification была проведена в соответствии с количеством членов и типа функции принадлежности таблица 3.5 выбран нечеткий классификатор логики.

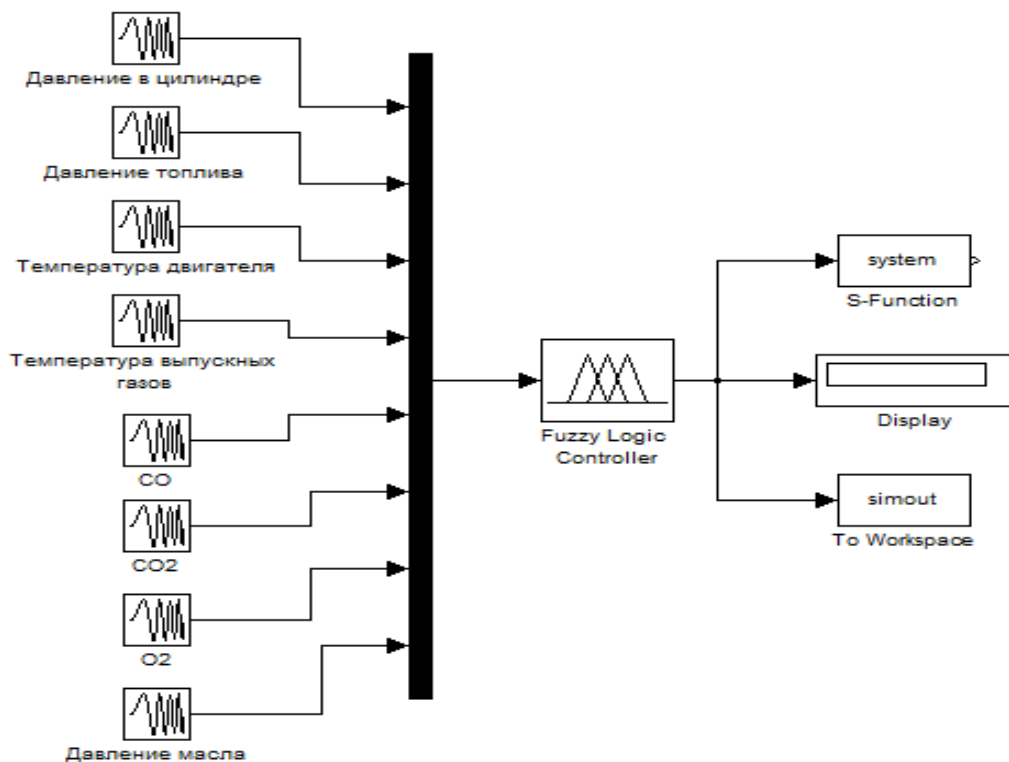


Рисунок 3.13 – Модель, разработанная в MATLAB Simulink для нечеткой логики диагностики отказов

На рисунок 3.14 показан результат моделирования неисправностей топливной системы ДВС в трехмерном пространстве.

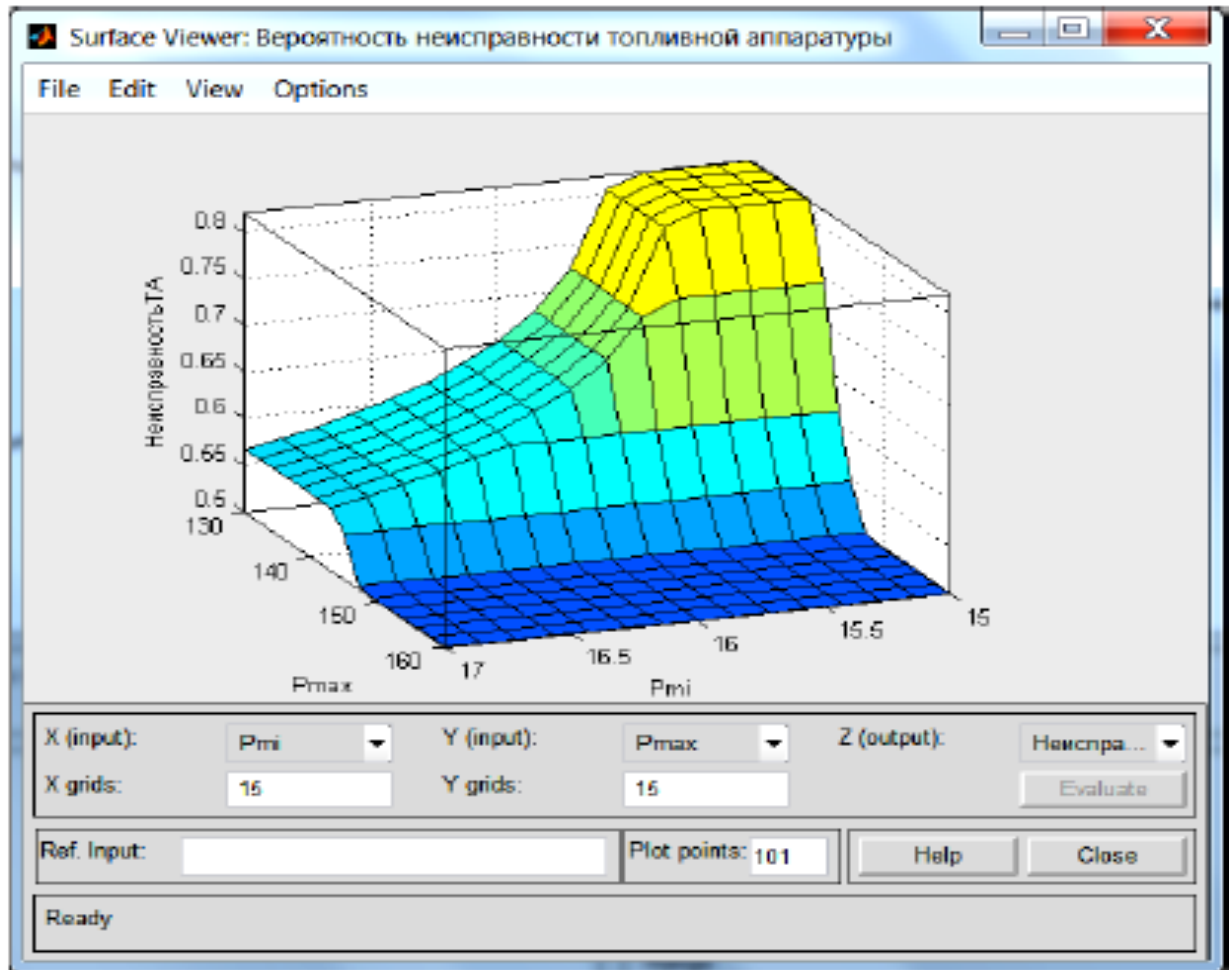


Рисунок 3.14 – Синтезированная поверхность «входы–выход» при неисправности топливной аппаратуры

Разработана концепция применения нейро–нечёткой логики для решения задачи диагностики и прогнозирования состояния ДВС и получены результаты моделирования в системе инструментов Matlab.

Выводы по третьей главе

- Предложено и реализовано дополнительное устройство охлаждения, создающая паровоздушный поток на радиаторе.
- Разработана математическая модель для исследования процессов теплопередачи с учетом воздушного и паровоздушного потока.
- Разработана математическая модель опрыскивателя с учетом процесса запаздывания.
- Разработана нейронная сеть с аппаратом нечеткой логики для моделирования процесса стабилизации температуры охлаждающей жидкости.
- На математической модели реализована система с позиционным регулированием температуры охлаждающей жидкости.
- Разработана система позиционного управления температуры ДВС с применением технологии искусственного интеллекта.

ГЛАВА 4. ПРИМЕНЕНИИ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СИСТЕМОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ ДДВС

4.1. Исследование температурных режимов работы систем охлаждения грузовых автомобилей

Надёжность работы дизельного двигателя в значительной мере зависит от его температурных условий. Для обеспечения стабильности температуры необходима эффективная система охлаждения, которая регулирует отведение тепла от охлаждающей жидкости в соответствии с её температурой и режимом работы дизеля. В процессе эксплуатации при существующих алгоритмах работы штатных систем охлаждения наблюдаются существенные перепады температуры охлаждающей жидкости в некотором интервале времени. Для разработки алгоритма управления работой системы охлаждения с целью стабилизации температурных режимов необходимо изучить процессы, реализуемые при эксплуатации. В данной работе представлены выводы исследования изменений температуры охлаждающей жидкости при эксплуатации автомобиля в лабораторных условиях. Были определены скорости повышения и понижения температуры охлаждающей жидкости при использовании дополнительного устройства, учитывая инерционность процесса.

Было выявлено, что стандартные системы охлаждения могут превышать установленные ограничения по температуре и не обеспечивают стабильную температуру охлаждающей жидкости при нештатных изменениях режима работы дизеля.

При превышениях температур, выше установленных норм, применение дополнительного устройства стабилизирует температурный режим двигателя за достаточно короткое время [78, 94,95]. Полученные выводы могут быть применены для улучшения управления процессами теплообмена, чтобы обеспечить стабильные температурные условия для дизеля, что приведет к повышению надежности его функционирования.

Для того, чтобы двигатель работал при нужной температуре, система охлаждения должна обеспечивать равное распределение тепла между ее компонентами [96]. Это означает, что каждый элемент системы, такой как радиатор, вентилятор и дополнительное устройство, влияет на количество тепла, которое будет отводиться из охлаждающей жидкости. Уравнение, описывающее количество тепла в охлаждающей жидкости, может быть записано следующим образом:

$$Q_{\text{ож}} = f(G_{\text{ож}}, T1, T2, c_p), \quad (4.1)$$

где $G_{\text{ож}}$ – расход ОЖ [кг/ч], $T1$ – температура ОЖ на входе в радиатор [$^{\circ}\text{C}$], $T2$ – температура ОЖ на выходе из радиатора [$^{\circ}\text{C}$], c_p – теплоемкость ОЖ [кДж/(кг $^{\circ}\text{C}$)]. Зависимость (4.1) определяет состояние ОЖ или теплосодержание при поступлении теплоты от стен цилиндров двигателя. Общее количество тепла в охлаждающей жидкости зависит от разницы температур и скорости потока. Режим работы двигателя, включая скорость и нагрузку, определяет изменение параметров теплообменного процесса. Для проведения эксперимента по изучению влияния скорости потока охлаждающей жидкости на работу системы охлаждения необходимо поддерживать постоянное количество тепла, отводимого от цилиндров двигателя, т.е. $Q_{\text{ож}} = \text{const}$. Изменение расхода ОЖ приведет к увеличению или уменьшению температуры в системе охлаждения [97]. С увеличением расхода ОЖ температура $T2$ на выходе радиатора будет увеличиваться, соответственно это приведет к уменьшению разности ΔT температуры на входе и выходе радиатора. Снижение расхода ОЖ становится причиной роста его температурного перепада и, следовательно, уменьшению средней температуры. Уравнение состояния жидкостного контура при открытии клапана термостата будет иметь вид:

$$Q_{\text{ож}}^* = c_p (G_{\text{ож}} \pm \Delta G_{\text{ож}}) [(T2 \mp \Delta T2) - T1] \quad (4.2)$$

Здесь температура ОЖ на входе радиатора переменна и является функцией расхода ОЖ. Уравнение (4.2) описывает контур после воздействия возмущающих факторов на систему охлаждения. Уравнения, системы охлаждения при переходе из установившегося стационарного температурного режима к нестационарному описываются:

$$Q_{\text{ОЖ}} = c_p G_{\text{ОЖ}} (T_2 - T_1), \quad (4.3)$$

$$Q_{\text{ОЖ}}^* = c_p (G_{\text{ОЖ}} \pm \Delta G_{\text{ОЖ}}) [(T_2 \mp \Delta T_2) - T_1]. \quad (4.4)$$

Если перепад температуры ОЖ является переменным, что вызовет изменение теплопередачи ОЖ, то можно принять $T_1 = \text{const}$. Тогда теплопередача от ОЖ будет определяться по формуле

$$Q_{\text{ОЖ}}^* = c_p G_{\text{ОЖ}} \frac{\Delta T}{1 - (1 \pm k^{-1})}, \quad (4.5)$$

где $k = \frac{1}{1 \pm r}$, $r = \frac{\Delta G_{\text{ОЖ}}}{G_{\text{ОЖ}}}$ – относительное изменение расхода ОЖ.

Исследования проводились на стенде, разработанный автором с участием коллег по кафедре «Автоматизация технологических процессов и производств».

4.2. Прогностический контроль и управление процессом охлаждения дизельного ДВС на основе нечеткой логики и нейросетевой модели

Рабочая температура двигателя внутреннего сгорания играет важную роль в его механических и термодинамических характеристиках. Она зависит от эффективности системы охлаждения двигателя, которая должна быть достаточной в любых условиях эксплуатации, чтобы обеспечить длительную работу автомобиля. Для поддержания оптимальной температуры работы двигателя, которая влияет на его износ, экономичность и другие показатели предлагается использовать нейросетевую систему управления внутренним сгоранием дизельного двигателя [102,109]. Эта система включает в себя дополнительный резервуар с более холодной жидкостью, которая

перекачивается в систему дополнительного охлаждения двигателя с помощью насоса для стабилизации температурного режима (рисунок 4.1). Когда все компоненты улучшенной системы управления температурным режимом работают вместе, можно достичь необходимых тепловых условий с помощью энергоэффективных методов. Это приводит к снижению расхода топлива и выбросов. В данной работе предлагается структура нейросетевой системы управления, включающая блок нечеткой логики, для контроля переходной температуры в соответствии с заданным температурным профилем.

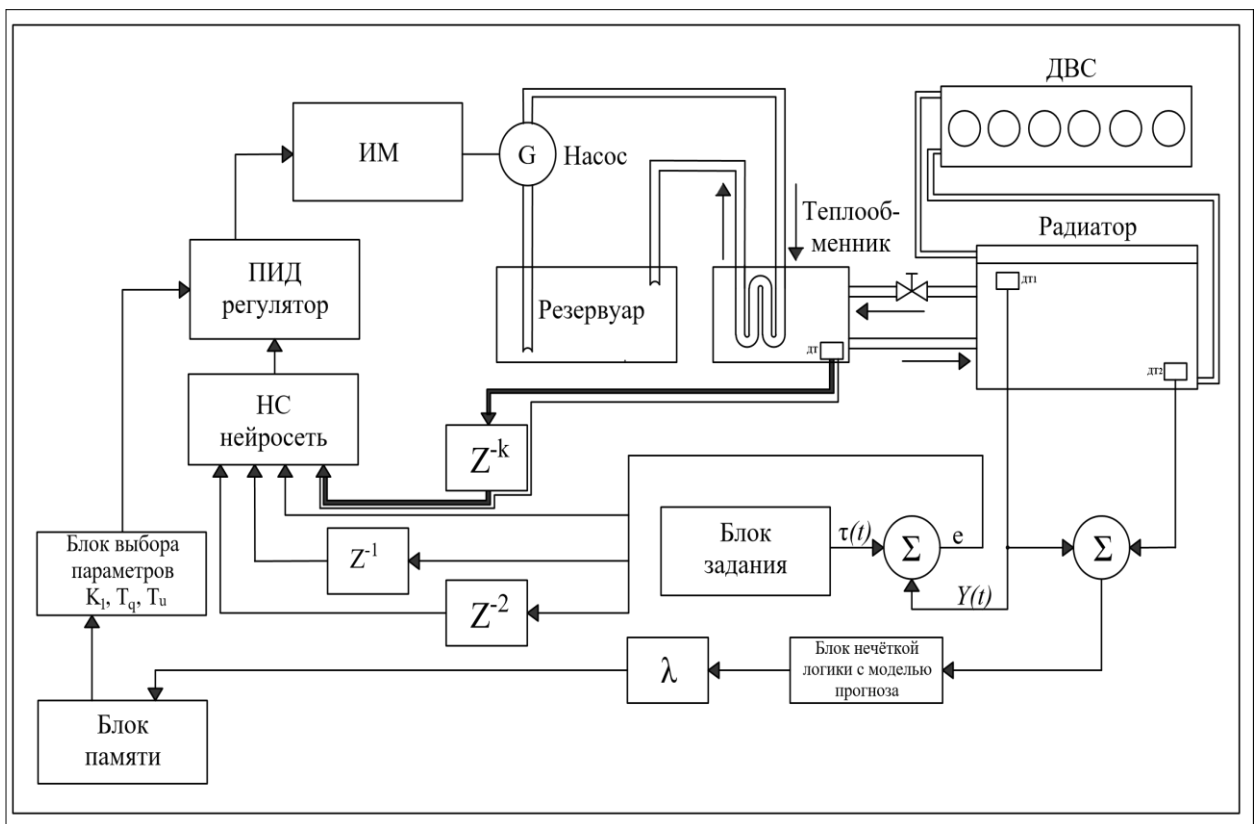


Рисунок 4.1 – Структурная схема системы охлаждения дизельного ДВС с прогнозирующей нейросетевой моделью

Использование дополнительного теплообменника в системе охлаждения дизельного двигателя внутреннего сгорания, управляемого на основе предсказания температуры и нечеткой логики ПИД регулятора, позволяет эффективно снизить расход топлива, включая паразитные потери и выбросы из выхлопной трубы [98], по сравнению с обычной системой

охлаждения автомобилей. Тепловой поток от поверхности двигателя пропорционален его мощности, согласно закону Ньютона — Рихмана

$$\dot{Q}_1 = h_i F_i (T_b - T_1) \quad (4.6)$$

В этом уравнении F_i – внутренняя поверхность теплообмена двигателя, м²;

h_i – коэффициент конвективной теплоотдачи, между блоком цилиндров двигателя и охлаждающей жидкостью, Вт/(м²•К);

T_b – исходная температура блока цилиндров двигателя, К;

T_1 – исходная температура теплоносителя, К.

При изучении передачи тепла от одного теплоносителя к другому через стенку можно выделить несколько основных этапов: передача тепла от горячего теплоносителя к более холодной стенке, поглощение тепла материалом стенки и ее нагрев, распределение тепла по объему стенки и передача тепла от стенки к холодному теплоносителю. Этот процесс можно представить в общей форме следующим образом:

$$\dot{Q}_2 = \underbrace{h_0 F_0 (T_b - T_i)}_{\text{конвекция}} + \underbrace{e \sigma F_0 (T_b^4 - T_i^4)}_{\text{излучение}} \quad (4.7)$$

где h_0 – коэффициент конвективной теплопередачи между двигателем и внешней средой;

F_0 – внешняя поверхность теплообмена двигателя, м²;

T_b – исходная температура блока цилиндров двигателя, К;

T_i – изменение температуры блока цилиндров двигателя в интервале наблюдения, К.

e – коэффициент теплового излучения, Вт/(м²•К⁴);

σ – постоянная Стефана – Больцмана.

Точные значения h_0 и F_0 напрямую определить сложно поэтому используется предположение, основанное в работе [99]. Известно, что \dot{Q}_2 составляет 1/15 части выходной мощности двигателя [100]. Скорость передачи тепла охлаждающей жидкости двигателя в установившемся режиме от камер сгорания зависит от выходной мощности двигателя. Эта мощность является произведением нагрузки двигателя M и угловой скорости двигателя ω . В

переходных условиях двигателя скорость теплопередачи связана с мощностью двигателя:

$$\dot{Q}_3 = M * \omega \quad (4.8)$$

В аналогичном подходе мы рассматриваем охлаждающую жидкость в двигателе как контрольный объем и получаем для него из уравнения сохранения теплового баланса

$$\dot{m}_c c_p \frac{dT_1}{dt} = \dot{Q}_1 + \dot{m}_h c_p (T_1 - T_2) \quad (4.9)$$

где T_1 – температура охлаждающей жидкости двигателя на входе ($^{\circ}\text{C}$);

T_2 – температура охлаждающей жидкости на выходе из двигателя ($^{\circ}\text{C}$).

Наконец, основные дифференциальные уравнения системы теплообмена резюмируются следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \dot{m}_c c_p \frac{dT_1}{dt} &= h_1 F_1 (T_b - T_1) + \dot{m}_h c_p (T_1 - T_2) \\ \dot{m}_b c_b \frac{dT_b}{dt} &= -h_1 F_1 (T_b - T_1) - h_0 F_0 (T_b - T_{\infty}) - e \sigma F_0 (T_b^4 - T_{\infty}^4) + R * \omega \\ T_1 &= (1 - \varepsilon C_r) T_2 + \varepsilon C_r T_3 \end{aligned} \right\} \quad (4.10)$$

Здесь тепловой коэффициент емкости C_r — это отношение минимального к максимальному, следовательно, теплоемкость и в нашем случае определяется следующим образом:

$$C_r(P, \omega) = \frac{P \dot{m}_c}{\dot{m}_h} \quad (4.11)$$

где \dot{m}_c – расход охлаждающей жидкости, циркулирующий внутри двигателя;

\dot{m}_h – количество жидкости, поступающий в теплообменник от дополнительного источника охлаждения;

\dot{m}_b – расход охлаждающей жидкости цилиндрического блока двигателя;

ε – к.п.д., теплообменника (радиатора).

В уравнении (4.11) для конструктивно оформленного в виде змеевика (рисунок 4.2) внутренняя контактная площадь поверхность теплообмена между блоками радиатора двигателя и блоком охлаждающей жидкости принята около 0,64 м².

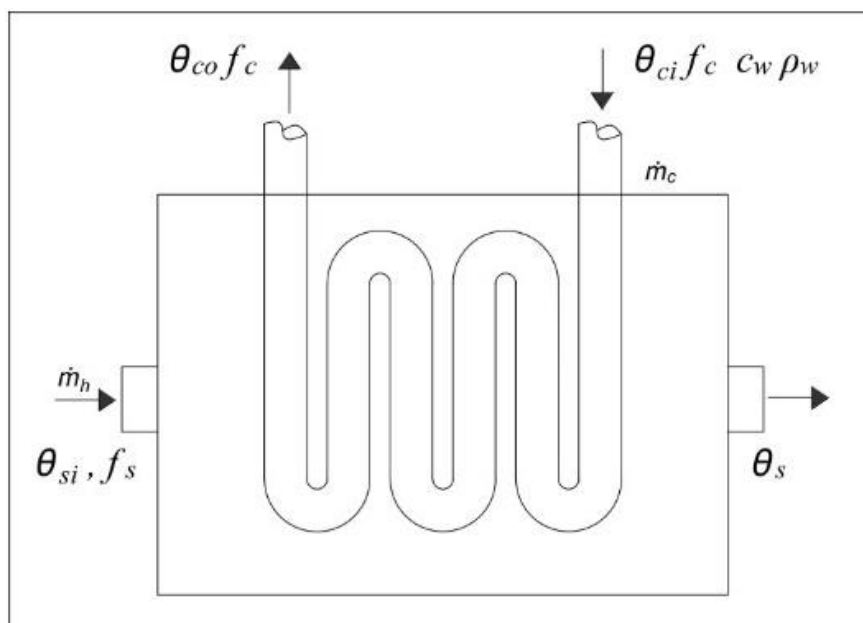


Рисунок 4.2 – Конструктивная схема теплообменника для дополнительного охлаждения жидкости дизельного двигателя внутреннего сгорания.

$$Q_a \frac{d\theta_s}{dt} = f_c \rho_w c_w (\theta_{ci} - \theta_{co}) + \alpha_a (\theta_o - \theta_s) + f_s \rho_a c_a (\theta_{si} - \theta_s) \quad (4.12)$$

где Q_a – тепловая мощность приточно–вытяжной установки; f_c – расход охлаждающей жидкости; f_s – расход охладителя; ρ_w – плотность охлажденной жидкости; C_w – удельное тепловыделение охлажденной жидкости; θ_{si}, θ_s – соответственно температуры входящего и выходящего охладителя; θ_{co}, θ_{ci} – соответственно температуры входящей и выходящей охлаждающей жидкости; C_a – удельная теплоемкость охладителя; ρ_a – плотность охладителя; α_a – интегрированный коэффициент теплопередачи охладителя, на единицу площади.

Скорость теплопередачи от блока двигателя к дополнительному теплообменнику состоит из условий в основном конвективного излучения. Зависимость температур от геометрических координат обуславливает математическое описание статики в виде обыкновенных дифференциальных уравнений (если пространственная координата одна) или дифференциальных уравнений в частных производных. Независимыми переменными при этом являются пространственные координаты. Динамическая модель при наличии пространственно распределённых эффектов описывается уравнениями в

частных производных, причём одной из независимых переменных является время. Поэтому применение нейросетевых технологий для решения задачи управления тепловым режимом охлаждения дизельного двигателя внутреннего сгорания позволяет, не прибегая к сложным математическим моделям процесса, построить эффективную систему управления. Классические ПИД регуляторы для формирования сигнала управления используют методы численного интегрирования и дифференцирования входного сигнала. Однако у регуляторов с фиксированной структурой отсутствует возможность качественного управления в условиях нестационарности параметров технологического объекта. Формирование соответствующего сигнала управления в таких условиях становится возможным при использовании адаптивных систем управления, либо регуляторов, реализованных на основе теории нечетких множеств [101,102]. Большинство адаптивных систем управления организуется на классических регуляторах или с использованием эталонной модели объекта управления. В свою очередь, нечеткие регуляторы используют экспертные знания (особенности регулируемого процесса) для управления объектом. Следовательно, для настройки таких регуляторов нет необходимости создавать адекватную математическую модель объекта управления, достаточно лишь знать принципы и особенности регулирования переменных объекта управления.

4.3. Разработка нечеткого контроллера для управления температурой охлаждающей жидкости

Нечеткий контроллер настроен в Matlab как структура с двумя входами и одним выходом. Входными переменными являются погрешность температуры охлаждающей жидкости (ΔT) и мощность двигателя (P). Температурная погрешность — это разница между заданным значением температуры и фактической температурой охлаждающей жидкости. Выходная мощность двигателя — это произведение нагрузки двигателя на его скорость.

Выходной переменной является температура охлаждающей жидкости в дизельном ДВС, которая пропорционально связана со скоростью вращения привода водяного насоса дополнительного блока охлаждения(охладителя).

Гауссовы функции принадлежности выбраны из-за их природы мягкого переключения. В основном эти функции принадлежности (ФП) имеют колоколообразную форму, потому что, значение функций принадлежности в этих областях должно быть относительно постоянным для соответствующего диапазона.

Функции принадлежности (ФП) для мощности двигателя выбраны колоколообразными в трех областях «Низкий», «Средний» и «Высокий». Функция принадлежности была выбрана для высокой мощности, чтобы обеспечить лучшую производительность контроллера. Выбор области функции принадлежности температурной погрешности и скорости подачи охлаждающей жидкости имеет большое значение. Так как должны обеспечивать надлежащую работу контроллера для различных условий эксплуатации, в частности для переходных.

Для работы исполнительного механизма – водяного насоса, осуществляющего подачи холодной охлаждающей жидкости выбрано пять ФП, которые охватывают весь диапазон выходного сигнала от 0 до 1.

Для рассматриваемой системы охлаждения дизельного двигателя внутреннего сгорания в работе предлагается, система управления, состоящая из прогнозирующего устройства, использующее блок нечеткой логики и однослойную нейросеть. Необходимость включения в систему управления прогнозирующего блока связано с тем, что процесс охлаждения жидкости отображается звеном запаздывания, и, следовательно, при отсутствии предсказателя состояния, приводит к формированию сигнала управления, вырабатываемой блоком нечеткой логики, несоответствующей данной ситуации.

Стратегия с использованием NNPC и нечеткого контроллера в системе управления с дополнительным управляющим входом состоит в том, что на

основе прогнозирующего блока построенного на основе нейросетевой архитектуры блок нечеткого контроллера перестраивает свои параметры для обеспечения наилучшего теплового режима дизельного ДВС.

4.4. Прогностический контроль на основе нейросетевой модели

Контроллер прогнозирования на основе нейронной сети (NN) [103], использует нейросетевую модель управляемого объекта для прогнозирования будущих показателей значений ошибки управления на основе обучения представленных сигналов. Объект, может быть нелинейным, а также подвержен влиянию различных неопределенностей. Прогнозирующий контроллер NN вычисляет управляющий вход, который оптимизирует работу установки в заданном временном горизонте будущего.

Прогнозы используются процедурой численной оптимизации для определения управляющего сигнала, который минимизирует ошибку на заданном интервале $N_2 \div N_u$.

$$E(k) = \sum_{j=N_1}^{N_2} (y_o(k+j) - y_m(k+j))^2 + \lambda \sum_{j=1}^{N_u} (\Delta u(k+j-1))^2 \quad (4.13)$$

$j = N_1, j = 1$, где N_1, N_2 и N_u – горизонты прогнозирования и управления, соответственно, по которым оцениваются ошибка отслеживания и приращения управления, а k – время в дискретной временной области. Параметр λ , представляет собой вклад приращений управления в критерий эффективности, $u_{\text{опс}}$ – опорный сигнал, y_m – ответ модели NN , а Δu – последовательность будущих приращений управления, которые должны быть рассчитывается в процедуре оптимизации [104]. Связи со сложностью определения параметра λ оптимизационными методами, уравнение (4.13) представим в следующей форме:

$$E(k) = \sum_{j=1}^{N_2} y_{op}(k+j) - y_{NN}(k+j) + \lambda \Delta u(k+j) \quad (4.14)$$

где $\lambda = y_m(k+j) - y_{NN}(k+j)$ – формируемое за счёт модели процесса без учёта запаздывания.

Модель объекта нейронной сети – очень важный компонент управления в нейросети NNPC. В представленной конструкции NNPC используется двухуровневая сеть с сигмоидальными передаточными функциями в скрытом слое и линейными передаточными функциями в выходном слое. Ошибка предсказания между выходом объекта и выходом нейронной сети используется в качестве обучающего сигнала NN. Модель объекта NN использует предыдущие входы и выходы предыдущих процессов для прогнозирования будущих значений выходов процесса.

Первым шагом в проектировании NNPC является идентификация системы, что означает обучение нейронной сети для представления динамики объекта с прямой связью. Сеть может быть обучена в автономном режиме или в пакетном режиме с использованием данных, собранных в ходе технологической операции или, с использованием математической модели, описываемой выражением (4). Нейронная сеть имеет 6 входов процесса с четырьмя элементами задержки, один скрытый слой с 4 нейронами (рисунок 4.4). Для обучения данной нейронной сети использован метод алгоритм Левенберга–Марквардта (LM) [105].

Нечёткий вывод выполняется с применением следующих термов:

N – отрицательный (Negative), Z – нулевой (Zero), P – положительный (Positive); к этим обозначениям добавляют буквы S (Small – малый), M (Medium – средний), L (Large – большой). На пример, NL – отрицательный большой, NM – отрицательный средний, PL – положительный большой. Количество переменных (термов) может быть любым, однако с увеличением их числа существенно возрастает сложность, формулирования правил для всех комбинаций входных переменных [106].

Разделим область изменения ошибки e на множества N, Z, P , область изменения управляющего воздействия – на множества NL, NM, Z, PM, PL . С помощью эксперта нам удалось сформулировать следующие правила работы регулятора [107–110]:

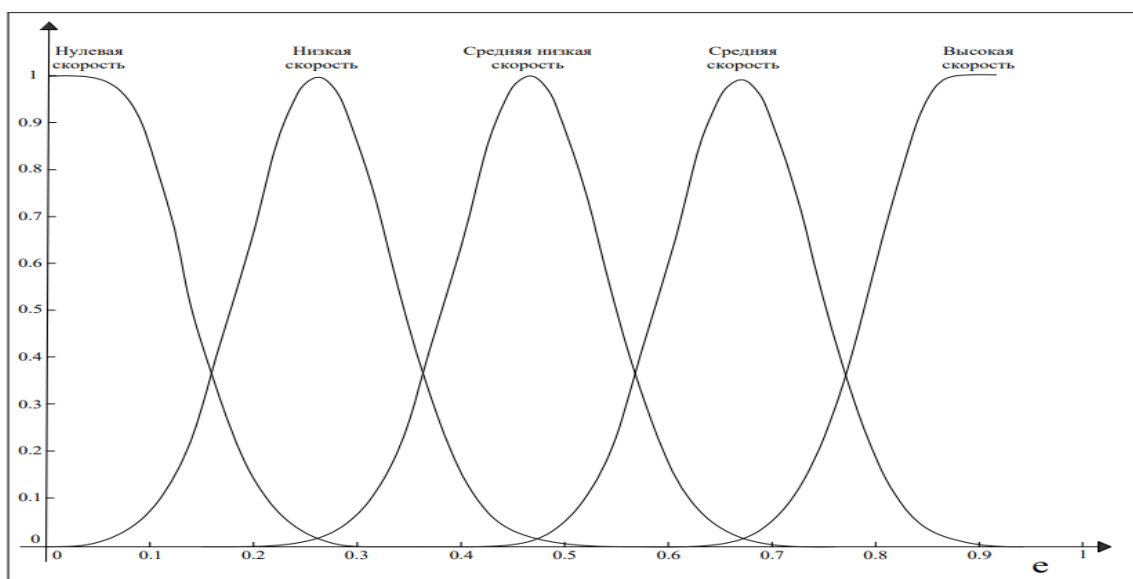


Рисунок 4.3 – Функции принадлежности блока нечеткой логики для параметров ПИД регулятора насоса.

- Правило 1: если $e = N$ и $de/dt = P$, то $u \sim = Z$
 Правило 2: если $e = N$ и $de/dt = Z$, то $u \sim = NM$
 Правило 3: если $e = N$ и $de/dt = N$, то $u \sim = NL$
 Правило 4: если $e = Z$ и $de/dt = P$, то $u \sim = PM$
 Правило 5: если $e = Z$ и $de/dt = Z$, то $u \sim = Z$ (4.15)
 Правило 6: если $e = Z$ и $de/dt = N$, то $u \sim = NM$
 Правило 7: если $e = P$ и $de/dt = P$, то $u \sim = PL$
 Правило 8: если $e = P$ и $de/dt = Z$, то $u \sim = PM$
 Правило 9: если $e = P$ и $de/dt = N$, то $u \sim = Z$.

где e_i – сигнал ошибки регулирования, $\Delta e_i = e_i - e_{i-1}$ приращение сигнала ошибки регулирования, $\Delta u_i = u_i - u_{i-1}$ приращение выходного сигнала регулятора. Выходной сигнал регулятора определяется формулой:
 $u_i = u_{i-1} + \Delta u_i$.

Используя правила, можно получить значение управляющей переменной $u \sim$ на выходе нечеткого регулятора. Для этого нужно найти функцию принадлежности переменной $u \sim$ множеству U , образованному в результате выполнения операций вывода над множествами, входящими в систему правил (4.15).

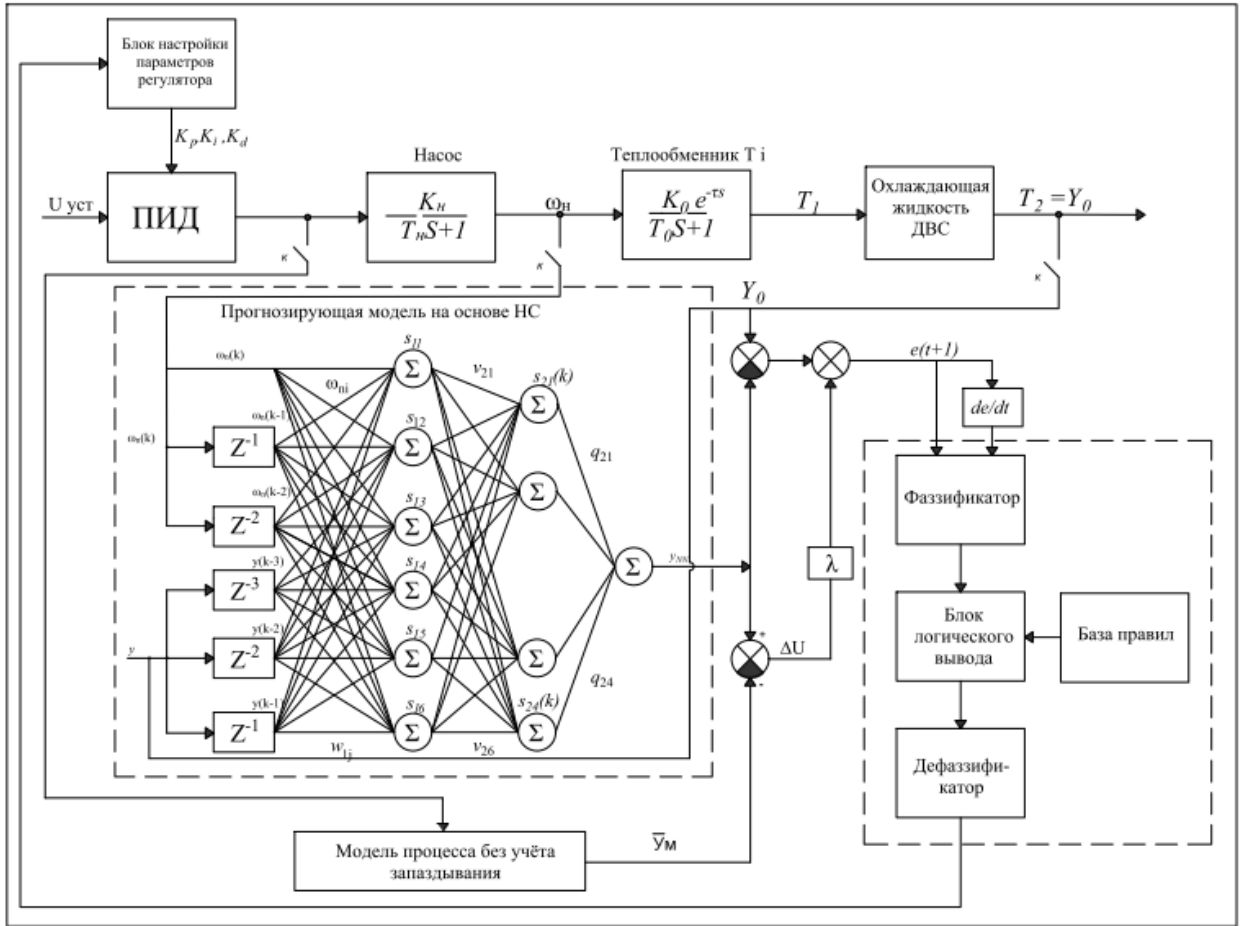


Рисунок 4.4 – Структура системы управления

Математические операции в данной сети определяются на основе следующих выражений;

$$Y_{NN}(k) = F \left(\sum_{n=1}^4 q_{2n} S_{2n}(k) \right)$$

$$S_{2n}(k) = G \left(\sum_{m=1}^4 S_{1m}(k) v_{2n} \right)$$

$$S_{1m}(k) = H \left(\sum_{i=0}^2 \omega_n(k-i) \mu_{1i} + \sum_j^3 Y_o(k-j) w_{1j} \right)$$

Здесь F, G и H – функции активации для скрытого и выходного узлов соответственно $m = I + j$. Можно использовать несколько функций активации, таких как сигмовидная и гиперкасательная [111].

Цель состоит в том, чтобы найти оптимальные веса сети (т. е. v_{jh}, w_{jh}, v_{1h} и q_{2h}), чтобы минимизировать критерий ошибки (между выходом сети $y_{net}(k)$ и желаемым выходом объекта $y(k)$). Одной из часто используемых ошибок является ошибка суммы квадратов (SSE).

$$SSE = \sum_{k=1}^K (e(k))^2 = \sum_{k=1}^K (y_{net}(k) - y(k))^2 \quad (4.16)$$

Для обучения сети (т. е. поиска оптимальных весов) можно использовать несколько алгоритмов, таких как обратное распространение ошибки с обучением Левенберга–Марквардта. Метод Левенберг–Марквардт аппроксимирует 2-ю производную, гессиан, используя производные 1-го порядка, такие как

$$\text{Новые веса} = \text{Старые веса} - [j^T J + \mu I]^{-1} J^T e \quad (4.17)$$

Здесь e – вектор сетевых ошибок (разница между сетевыми и желаемыми выходными данными), а J – матрица Якобиана (первые производные сетевых ошибок по весам). Для выходного слоя элементы Якобиана рассчитываются по формуле

$$\frac{\partial q_{2h}}{\partial e} = \frac{\partial q_{2h}}{\partial y_{net}} \frac{\partial y_{net}}{\partial e} \quad (4.18)$$

Что касается весов первого слоя (т. е. v_{jh} и w_{ih}), матрица Якобиана может быть вычислена с использованием стандартного метода обратного распространения ошибки.

$$\frac{\partial w_{ih}}{\partial e} = \frac{\partial w_{ih}}{\partial v_{1h}} \frac{\partial v_{1h}}{\partial y_{net}} \frac{\partial y_{net}}{\partial e} \quad (4.19)$$

$$\frac{\partial v_{jh}}{\partial e} = \frac{\partial v_{jh}}{\partial \mu_h} \frac{\partial \mu_h}{\partial y_{net}} \frac{\partial y_{net}}{\partial e}$$

Корректировка весовых коэффициентов нейросети осуществляется на основе информации об ошибке системы управления. Алгоритмы корректировки весов нейросети использующий знак градиента ошибки управления приведены ниже (11 – 12).

$$v_j(t+1) = v_j(t) + \eta * \text{sign} \left(\frac{\partial e_y}{\partial e_u} \right) * e_y * h_j \quad (4.20)$$

$$w_{i,j}(t + 1) = w_{i,j}(t) + \eta * \text{sign} \left(\frac{\partial e_y}{\partial e_u} \right) * \frac{1}{2} (1 - h_j)(1 + h_j) e_y v_j x_i \quad (4.21)$$

где i – номер слоя, j – номер нейрона в слое. Рассматриваемая система регулирования температуры функционирует следующим образом; входной и выходные сигналы поступают на входы нейросети реализующее функцию эмулятора процесса, далее сигналы выхода последнего и модели процесса без запаздывания сравниваются с целью формирования прогнозирующего составляющего, который поступает одновременно на вход блока нечеткой логики которая, на основании принятых правил устанавливает параметры ПИД регулятора.

Сравнение времени установления температурного отклика системы без обратной связи для различных мощностей приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Сравнительная оценка времени установления температуры ОЖ.

Мощность двигателя (кВт)	Скорость изменения температуры dT/dt охлаждающей жидкости ($^{\circ}\text{C}/\text{сек}$)	Время установления температурного режима(сек)
600	высокий	800
600	средний	650
300	высокий	800
300	средний	700
200	высокий	900
200	низкий	500

Правила для регулятора нечеткой логики в зависимости от температурной ошибки

Таблица 4.2 – Правила для регулятора нечеткой логики

Температурная ошибка регулирования ΔT_0	Скорость вращения привода насоса для охлаждения дизельного ДВС	Состояния привода насоса для охлаждения дизельного ДВС

Ошибка отрицательно большая	Нулевая	Насос отключен
Ошибка положительна большая	Максимальная	Скорость вращения максимальная
Ошибка низкое положительная	Минимальная	Скорость вращения средняя низкая
Ошибка низкое отрицательное	Нулевая	Скорость вращения нулевое
Ошибка средняя отрицательное	Нулевая	Скорость вращения нулевое
Ошибка средняя положительное низкое	Средняя низкая	Скорость вращения средняя низкая
Ошибка средняя положительное высокое	Средняя высокая	Скорость вращения средняя высокая
Ошибка средняя положительное малое	Малая	Скорость вращения малая
Ошибка средняя отрицательно малое	Очень малая	Скорость вращения очень малая

На рисунке 4.5 показана работа нечеткого контроллера для управления температурой охлаждающей жидкости при трех различных мощностях двигателей. Заданное значение составляет 85°C. Время установления меньше для более низких мощностей при заданных значениях температуры.

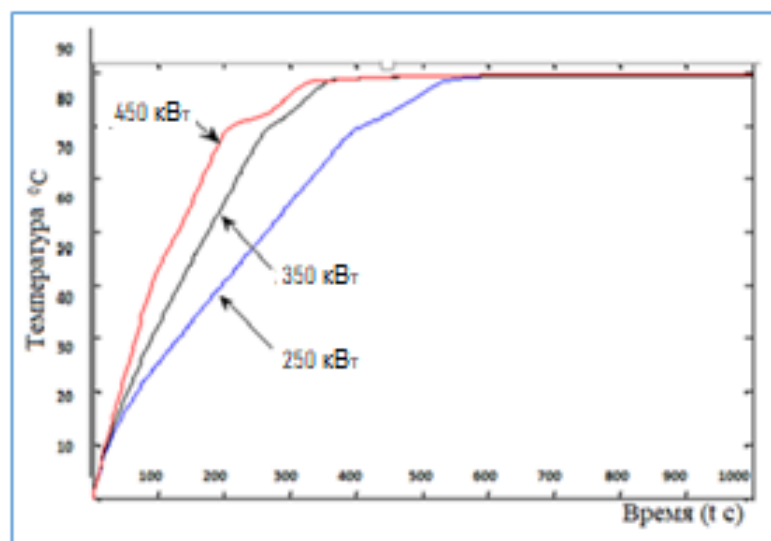


Рисунок 4.5 – Работа нечеткого регулятора для разных мощностей двигателя

Коэффициенты усиления контроллера выбраны для удовлетворения вышеупомянутых требований к производительности. Пропорциональное усиление составляет 60, а интегрирующее усиление выбрано равным 0.4.

Значение уставки считается постоянным во время испытаний двигателя и составляет около $75 - 85^{\circ}\text{C}$. Основная задача контроллера – поддерживать температуру на выходе двигателя вблизи заданного значения в ответ на изменения частоты вращения и нагрузки двигателя. Встроенные в стенд модули управления позволяют изменять значения нагрузки и скорости двигателя независимо друг от друга.

4.5. Экспериментальные исследования тепловых режимов двигателя на стенде

Для проведения экспериментальных исследований разработан учебно – исследовательский стенд. Стенд создан на базе двигателя ВАЗ 2101, в качестве нагрузки используется генератор на основе трех фазного асинхронного двигателя типа АИР 90L4Y2, где в качестве нагрузки используется активная нагрузка, состоящая из лампочек 100 и более Вт. Для измерения температуры в различных частях системы использованы датчики температуры DS18B20. Микроконтроллер Arduino Mega, обрабатывает снятые данные и передает данные ноутбуку, который представляет исследователю, интерфейс пользователя [112].

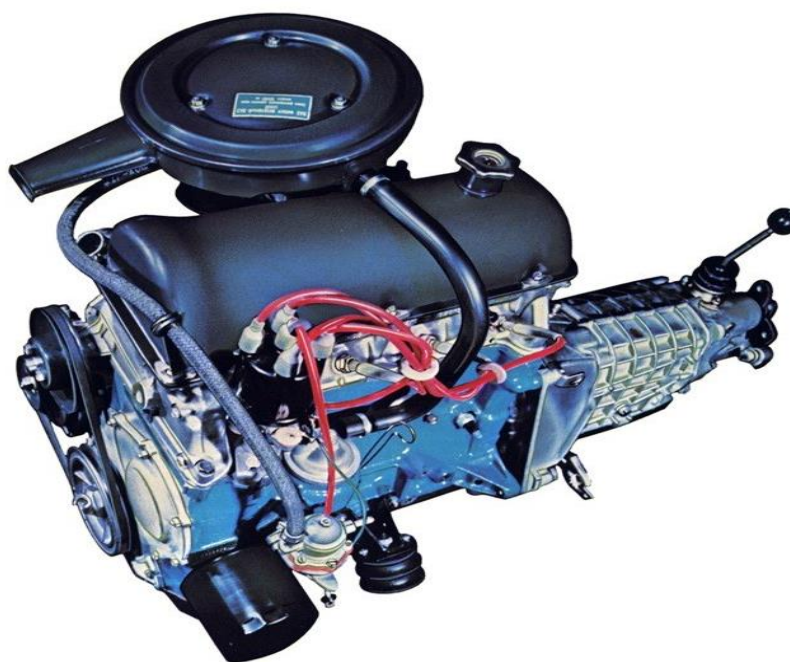


Рисунок 4.6 – Двигателя ВАЗ 2101. Общий вид

4.6. Имитация нагрузки на ДВС

Нагрузка на двигатель имитируется с помощью асинхронного электродвигателя, используемого в генераторном режиме.



Рисунок 4.7 – Общий вид асинхронного электродвигателя

Электродвигатель 10 кВт – это трехфазный асинхронный мотор 1500 оборотов общепромышленного, взрывозащищенного, кранового, тягового типа с напряжением 380/660В. Используются для привода промышленных насосов, станков, вентиляторов, дробилок. В шильдике электромотора с короткозамкнутым ротором указаны все его основные характеристики.

Таблица 4.3 – Технические характеристики электродвигателя

Электродвигатель 10 кВт	Частота вращения, об/мин	Номинальный крутящий момент, НМ	Ном ток, А	Диаметр вала, мм	Момент инерции	Соотношения токов	КПД, %
AIP132M4	1460	72,4	22,5	38	0,0349	7	88,4

Для подключения трехфазного асинхронного двигателя 220/380 Вольт звездой, необходимо соединить начала обмоток к фазам, а концы собрать в общую нулевую точку. При этом напряжение фазной обмотки статора будет

равно 220В, а между обмотками напряжение составит 380В. Пуск двигателя будет плавным с максимальным КПД. Для использования электродвигателя в генераторном режиме нужно собрать схему, приведенную на рисунке 4.8.

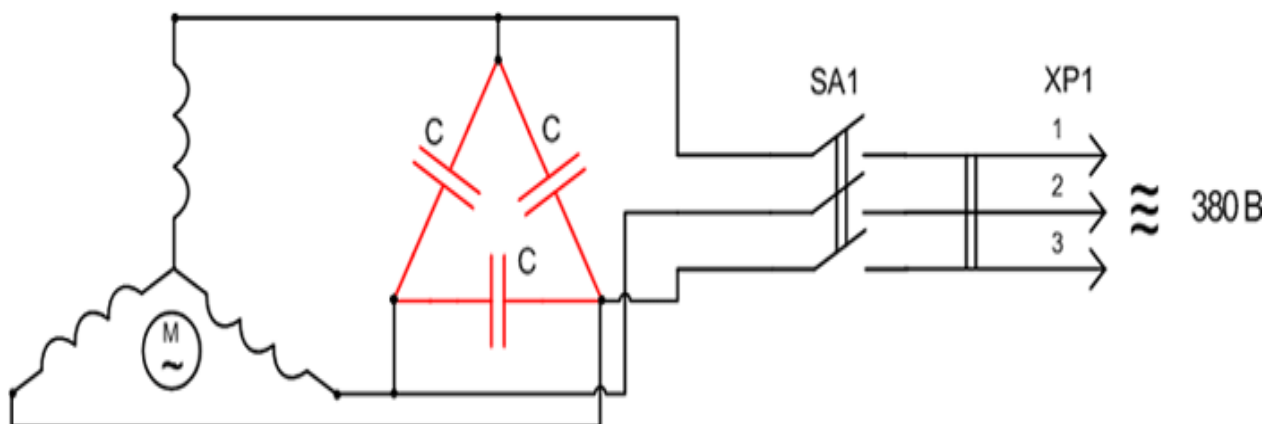


Рисунок 4.8 – Схема подключения асинхронного электродвигателя в качестве генератора



Рисунок 4.9 – Конденсаторы двойной ёмкости серии CBB65

4.7. Приборы для измерения температуры

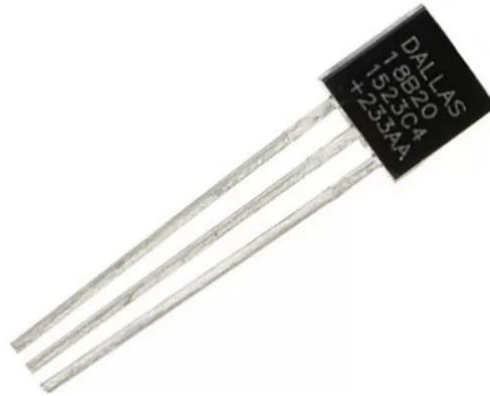


Рисунок 4.10 – Цифровой датчик температуры DS18B20

Для измерения температуры окружающей среды и различных частей системы охлаждения использованы цифровые датчики температуры типа DS18B20. Датчик типа DS18B20 – цифровой термометр, который может измерять температуру в широком диапазоне от -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$ с разрядностью 9–12 бит. Каждый датчик имеет свой уникальный 64–битный адрес, а обмен информацией с платой Arduino или другим микроконтроллером происходит по каналу 1–wire. Таким образом можно подключать к одной линии несколько датчиков. Внешний вид термометра и его распиновка показаны на рисунке 4.11.

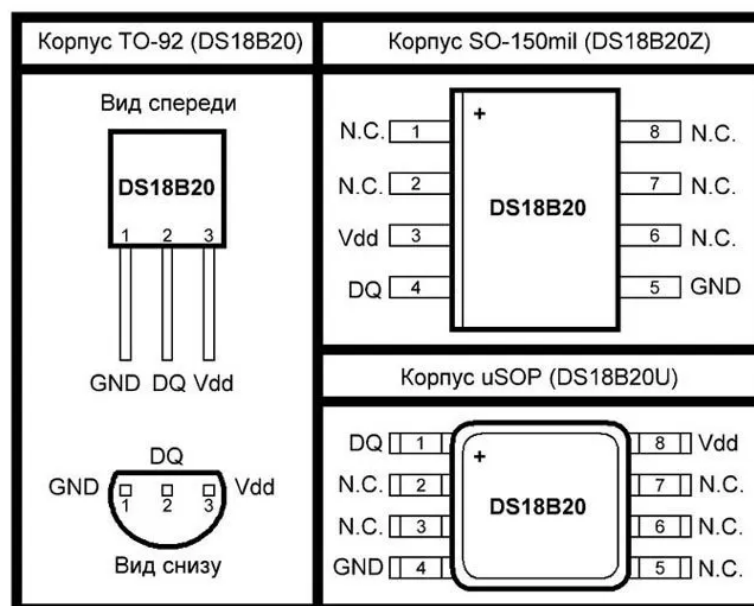


Рисунок 4.11 – Виды корпусов и распиновка DS18B20

На рисунке 4.12 показана структурная схема датчика DS18B20. Эта микросхема содержит в себе целый ряд электронных блоков и модулей, которые выполняют определенные функции.

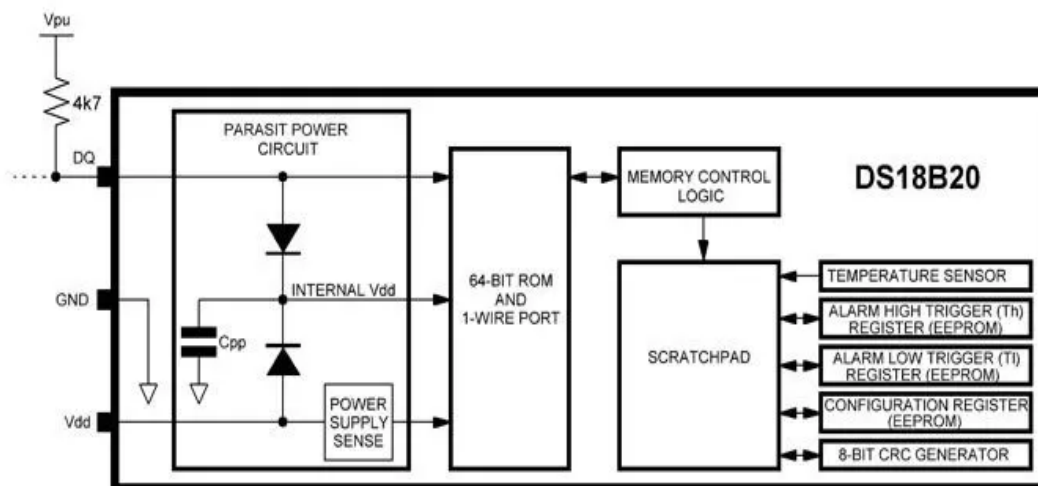


Рисунок 4.12 – Структурная схема DS18B20

Питание микросхемы может осуществляться на прямую с выводов Vdd и GND и с использованием паразитного питания, когда датчик получает питание от шины данных.

Назначение регистров:

TEMPERATURE SENSOR – считывает преобразованную величину температуры.

ALARM HIGH TRIGGER и **ALARM LOW TRIGGER** – с помощью этих регистров выставляются верхний и нижний пороги подачи тревожных сигналов, когда температура выходит за заданные пределы.

CONFIGURATON REGISTER – регистр используется для настройки пределов измерения и точности датчика. Измерения можно производит с точностью 9 бит – 12 бит, что соответствует точности измерения 0.5оС – 0.0625оС.

8-BIT CRC GENERATOR – этот регистр нужен для установки контрольной суммы повышения уровня защиты данных.

4.8. Микроконтроллер Arduino

Температурный датчик DS18B20 может быть подключен к плате Arduino двумя способами (прямым и с паразитным питанием). Кроме того, на один вход Arduino можно повесить как один, так и целую группу датчиков. Для начала рассмотрим самый простой вариант. На рисунке ниже показана схема прямого подключения одиночного датчика к Arduino Nano.

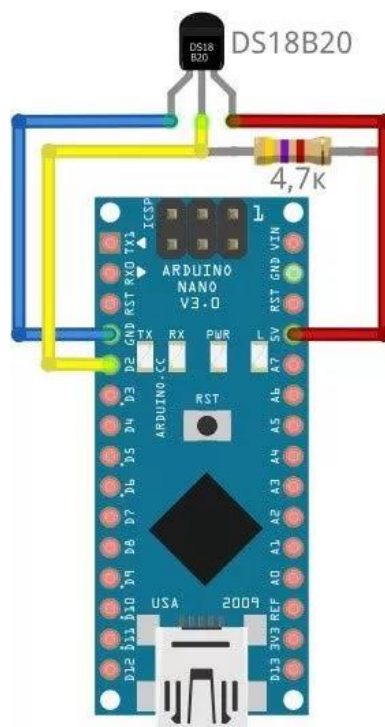


Рисунок 4.13 – Схема прямого подключения одиночного датчика

Для сбора и обработки информации выбран микроконтроллер Arduino. Программирование осуществляется в интегрированной среде Ардуино (IDE) с применением загрузчика по протоколу STK500.

Плату UNO можно запитать и от внешнего источника. В качестве внешнего источника питания как правило используется адаптер или батарея. Сетевой адаптер можно подключить через разъем диаметром 2,1мм. Батарейку можно подключить к контактам GND и Vin разъема POWER.

Микроконтроллер имеет следующие 3 типа памяти:

- 32 кБ флэш (FLASH);

- 2 кБ оперативной памяти (SRAM);
- 1 кБ энергонезависимой памяти (EEPROM).

Каждый из 14 цифровых выводов платы Ардуино может быть использован вход или выход. Уровень высокого напряжения на выводах 5 В. Текущий ток каждого вывода ограничено на уровне 20 мА. Максимально допустимое значение этого параметра 40 мА.



Рисунок 4.14 – Общий вид платы Arduino UNO

Выводы 0 (Serial Rx) и 1 (Serial Tx) являются последовательным интерфейсом. Rx – используется для приема, а Tx – для последовательной передачи данных логических уровней TTL. Выводы связаны с выводами микросхемы ATmega16U2, который применяется как мост USB – UART.

Выводы 2 и 3 можно использовать как внешние прерывания. Эти пины можно использовать в качестве входов внешних прерываний. Можно программно установить прерывание по низкому уровню, возрастающему или ниспадающему фронту, или просто на перемену величины сигнала.

Выводы 3, 5, 6, 9, 10, 11 могут работать в режиме широтно импульсной модуляции с 8 разрядным разрешением.

Выводы 10(SS), 11(MOSI), 12(MISO), 13(SCK) могут быть использованы как последовательный интерфейс SPI.

Вывод 13 – Светодиод. Подключенный к выводу 13 светодиод светится, когда на выводе появляется сигнал высокого уровня.

Выводы A4 и A5 являются коммуникационным интерфейсом TWI.

Выводы A0 – A5 – аналоговых входы, по умолчанию, входное напряжение изменяется в диапазоне 0–5 В, иногда они могут изменяться при использовании вывода AREF и программно.

Есть еще 2 вывода на плате, которые имеют следующие функции:

AREF – опорное напряжение аналого цифрового преобразователя микроконтроллера.

RESET – при появлении сигнала низкого уровня на этом пине, осуществляется сброс микроконтроллера.

У Arduino UNO есть способы связи с компьютером или другими микроконтроллерами. Реализация этой связи осуществляется с помощью интерфейса UART с логическими уровнями TTL (5 В), который связан с выводами 0 (Serial RX) и 1 (Serial TX). Микросхема ATmega16U2 соединяет UART интерфейс с USB портом компьютера. В интегрированную среду программирования Ардуино (IDE) включен монитор обмена по последовательному интерфейсу, который позволяет посылать и получать с платы данные.

4.9. Расходомер для измерения скорости потока теплоносителя

В качестве датчика расхода жидкости выбран датчик типа YF – G1. Допустимый объем проходящей жидкости через датчик YF – G1 составляет от

2 до 100 л в минуту с давлением не более 2 МПа и температурой от 1°C до 120°C. Расходомер YF-G1 рассчитан на напряжение от 3,3 до 24 В с максимальным потреблением тока до 20 мА. Для подключения питания и управляющей электроники используйте выходной кабель длиной 15 см с тремя проводами на конце, которые обжаты в разъёме JST SM-3 Female.



Рисунок 4.15 – Расходомер типа YF – G1

Цвет провода	Контакт	Описание	Подключение
Красный провод	VCC	Пин питания модуля.	Подключите к питанию от 3,3 до 24 В.
Чёрный провод	GND	Пин земли модуля.	Подключите к земле.

Жёлтый провод	OUT	Выходной сигнал с модуля.	Подключите к пину ввода–вывода микроконтроллера. На выходе датчика последовательность импульсов: <ul style="list-style-type: none"> • LOW: 0 В • HIGH: напряжение на пине Vcc
---------------	-----	---------------------------	---

Датчик YF–G1 можно подключать к любым [контроллерам](#), например [Arduino](#), [Raspberry Pi](#) или [ESP32](#).

Микросхема, установленная на датчике YF–G1, генерирует последовательность прямоугольных импульсов. Коэффициент заполнения импульсов равна 40–60%, их амплитуда держится постоянным равным напряжению питания VCC, частота импульсов при этом прямо пропорциональна скорости течения потока, измеряемой жидкости.

Для датчика YF–G1 расход воды вычисляется по формуле

$$Q = F / 65,$$

где Q – скорость потока воды в л/с, количество литров, прошедшее через датчик за 1 секунду; F – частота импульсов в Гц, количество импульсов, снятое с датчика за 1 секунду.

Можно вычислить объем воды, которая проходит за 1 импульс:

$$V = 1 / 65 = 0,0153 \text{ л} = 15,3 \text{ мл.}$$

В экспериментах получено $Q = 0.0695 \text{ л/сек}$

Однако эти данные приблизительные, так как они будут изменяться в зависимости от скорости потока и давления воды.

Для контроля работы вентилятора разработана схема и создано устройство для измерения напора воздуха. Датчик заключен в трубу для защиты от внешнего влияния потока воздуха, созданного вентилятором. На

рисунке 4.12 приведена схема датчика давления для Arduino, собранная с использованием датчика MPS20N0040D и аналога – цифровым преобразователем HX710B. С помощью этой схемы можно и измерять давление воздуха от 0 до 40 кПа.

4.10. Устройство для измерения напора воздуха, создаваемого вентилятором

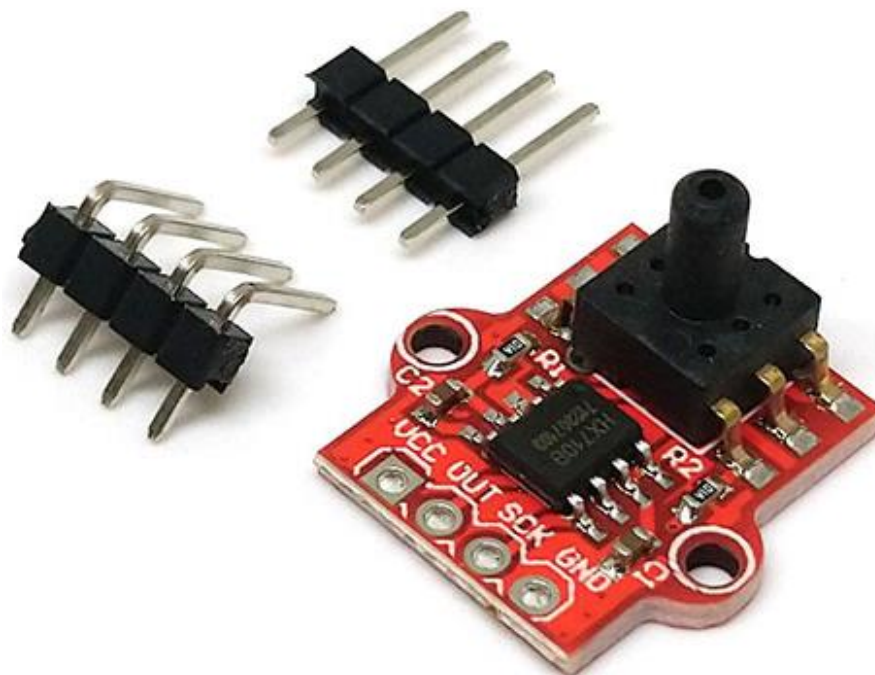


Рисунок 4.16 – Плата с датчиком давления и микросхемой АЦП.

Технические параметры датчика:

Напряжение питания: 3.3 В – 5 В;

Основные функции интегральных: MPS20N0040D–D и HX710B;

Выход тип: цифровой;

Диапазон измерения: 0 – 40 кПа;

Размеры: 19 x 19 x 12 мм;

Общие сведения

Модуль собран с применением датчика давления MPS20N0040D имеющим 6 выводов. Датчик прикреплен к диафрагме и при любом изменении давления происходит изменение электрического сопротивления тензодатчика.

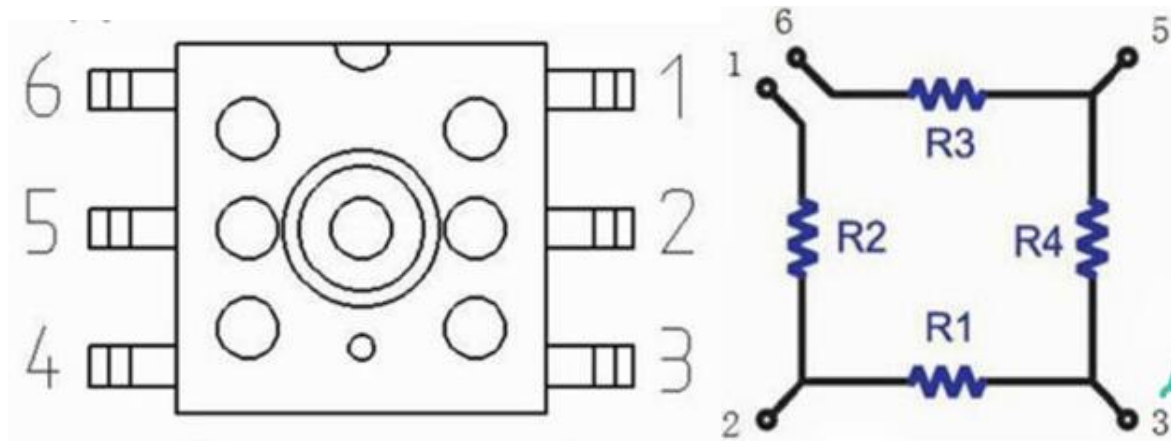


Рисунок 4.17 – Датчик MPS20N0040D в виде моста Уитстона

Микросхема HX710B, является 24-битным аналого-цифровым преобразователем (АЦП). В целом этот модуль, по сути являет собой тензодатчик с усилителем.

Назначение контактов:

VIN, GND – вывод источник питания, SCK – тактовый вывод, OUT – цифровой вывод.

Для присоединения датчика HX710B к Arduino необходимо следующее:

- контроллер Arduino UNO R3;
- провода DuPont, 2,54 мм, 20 см;
- датчик давления 0–40 кПа HX710B.

Все показания передаются в последовательный порт.

На рисунке 4.18 показана принципиальная схема, откуда видно, что используется четыре провода для соединения. Выводы SCK и OUT подсоединяются к выводам D3 и D2, а выводы VCC и GND подключаются к 5 В и GND.

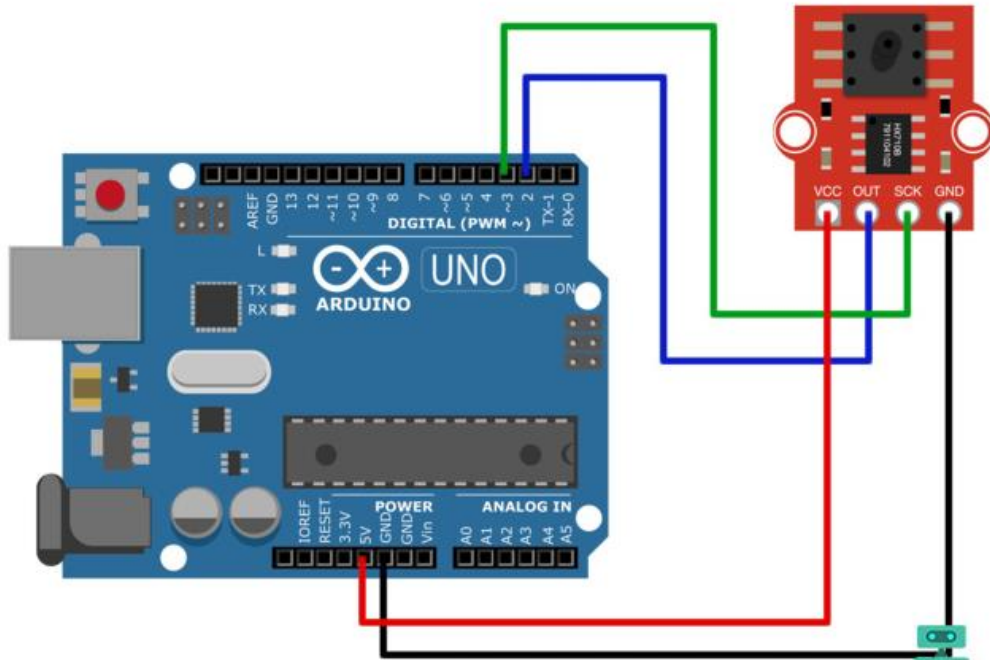


Рисунок 4.18 – Принципиальная схема датчика давления с платой Ардуино.

Для работы с датчиком HX710V нужно установить библиотеку, из сайта и установить ее в среду разработки IDE.

4.11. Описание исследовательского стенда

На рисунке 4.20 приведена функциональная схема системы охлаждения двигателя с дополнительным устройством.



Рисунок 4.19 – Внешний вид стенда с системой сбора и обработки информации.

В схеме показаны места установки датчиков температуры, Т3 – датчик установлен на корпусе первого цилиндра, датчик Т4 установлен на корпусе четвертого цилиндра. Датчик Т1 установлен на входе, а датчик Т2 на выходе радиатора. Выходы датчиков соединены с пинами МК.

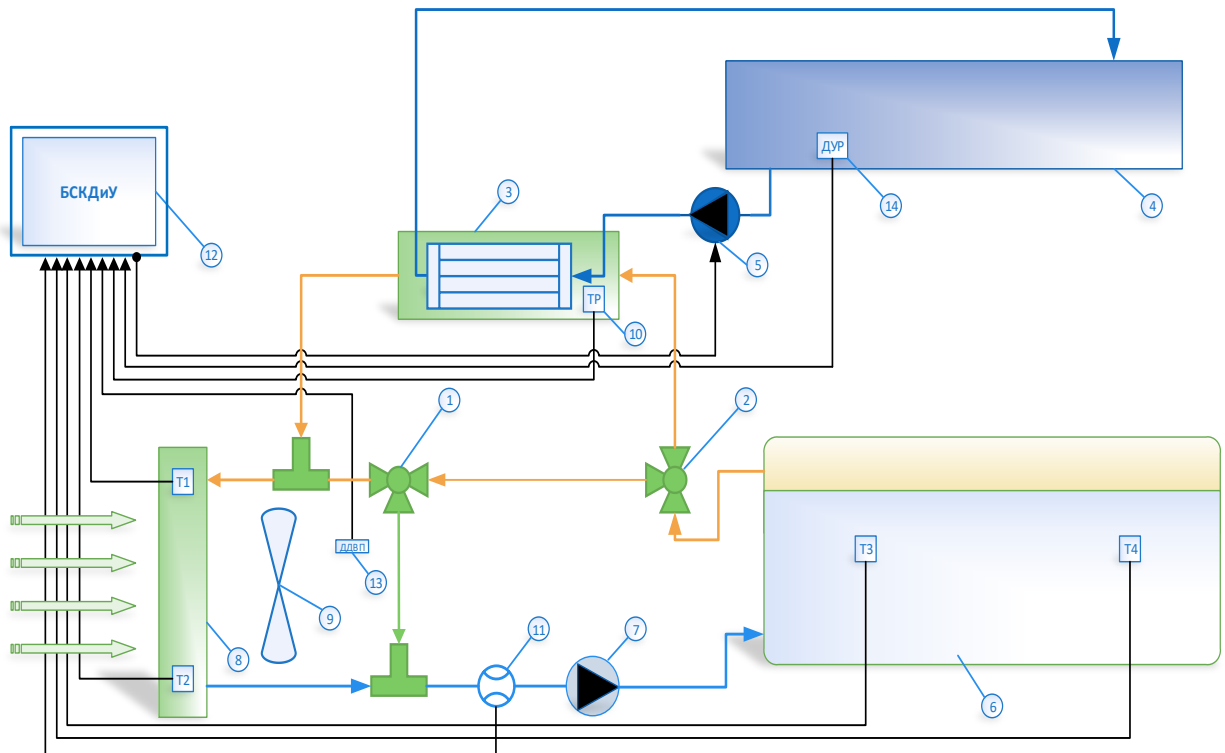


Рисунок 4.20 – Функциональная схема системы охлаждения с дополнительным устройством

1 – термостат ($80^0 \leq T_y \leq 100^0\text{C}$), 2 – термостат ($T_y > 100^0\text{C}$), 3 – дополнительное устройство, 4 – резервный бак с охлаждающей водой, 5 – дополнительный водяной насос, 6 – дизель ДВС, 7 – штатный водяной насос, 8 – радиатор, 9 – вентилятор, 10 – термореле, Т1,Т2,Т3,Т4 – датчики температуры, 11 – датчик расходомер, 12 – бортовая система контроля диагностики и управления, 13 – датчик давления воздушного потока, 14 – датчик уровня воды в резервуаре.

В качестве устройство дополнительного охлаждения, использована пластмассовая ёмкость, объёмом 5.10 литров. Внутри ёмкости установлен змеевик объёмом 1.2 литра, соединенная с штатной системой охлаждения ДВС. На корпусе дополнительной ёмкости установлен центробежный насос, который предназначен для принудительной циркуляции охладителя.



Рисунок 4.21. Устройство дополнительного охлаждения, используемый на стенде

Внутри пластмассового корпуса находится змеевик, соединенный с одной стороны с насосом подкачки воды, а с другой с резервуаром в который сливается вода, отобравшая излишек тепла от системы охлаждения.

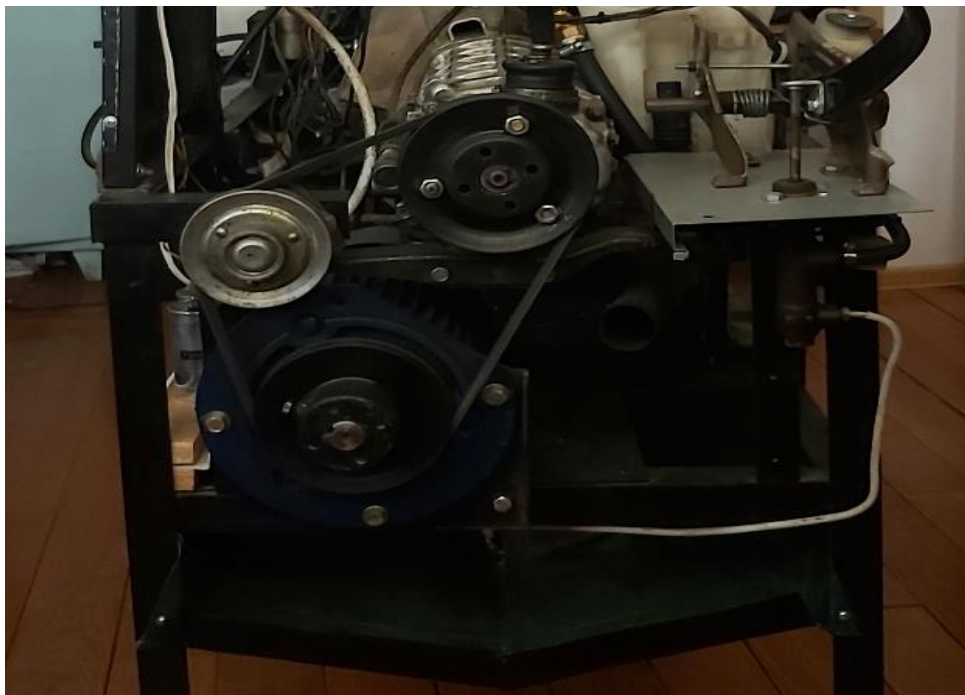


Рисунок 4.22 – Устройство, реализующий степень загрузки двигателя, используемый на стенде

Как отмечалось выше. для имитации дополнительной нагрузки на двигатель на стенде использован асинхронный двигатель, эксплуатируемый в генераторном режиме. Нагрузку составляют лампочки, подключаемые в розетки, которые отчетливо видны на рисунке 4.23.

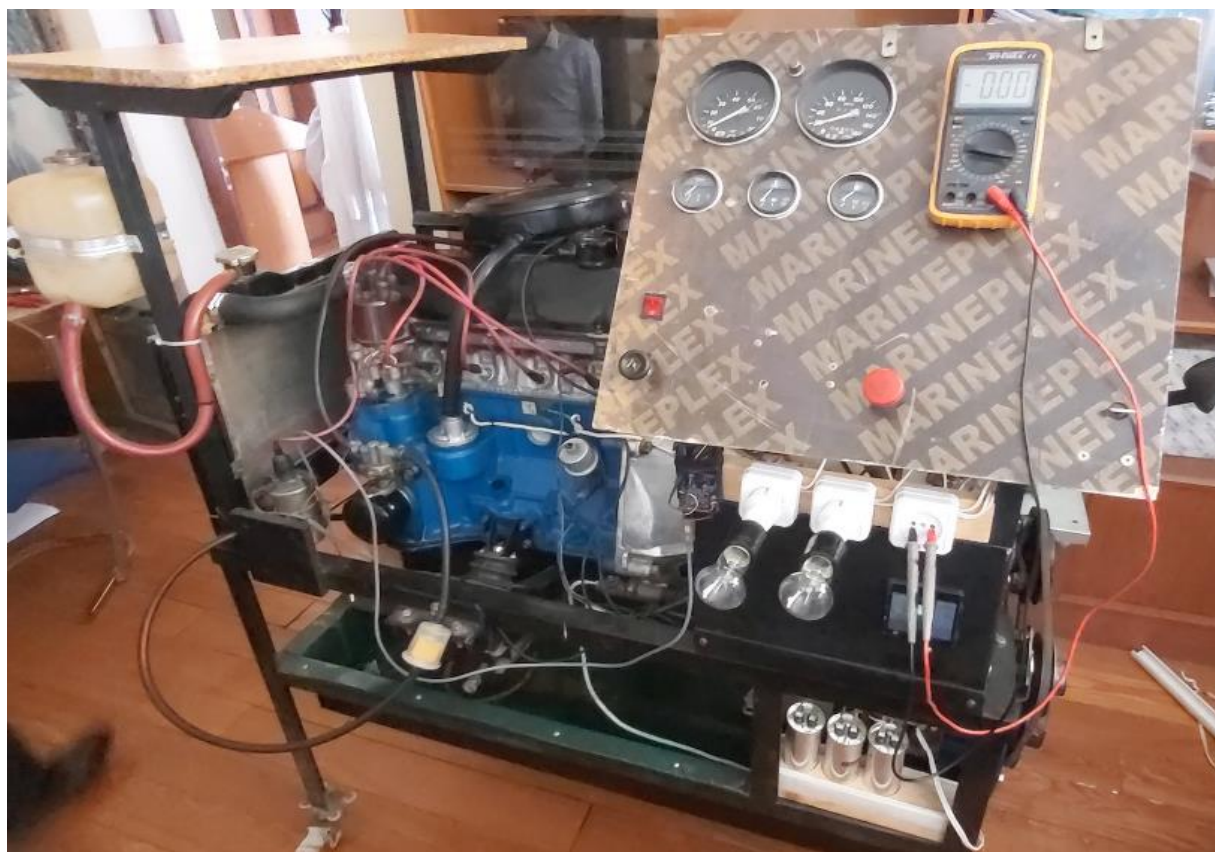


Рисунок 4.23 – Пульт контроля и управления с видом розеток для подключения дополнительной нагрузки на двигатель

4.12. Экспериментальное исследование температурных режимов системы охлаждения ДВС

Для оценки стабильности температурных режимов автомобильного двигателя проведены исследования динамики температуры охлаждающей жидкости ДВС на исследовательском стенде. В качестве исходных данных использованы результаты контроля параметров работы двигателя, фиксируемые системой «MONHAR» (разработка автора, г. Душанбе).

Система состоит из четырех датчиков, микроконтроллера, программного обеспечения, ноутбука с программой обработки данных и

интерфейсом. Время наблюдения для каждого опыта определялось, временем достижения установившегося значения исследуемых параметров. Температура окружающей среды имитировалось масляным радиатором, установленным в лаборатории. Вентилятор бытовой, с изменяемой скоростью имитировал скорость движения автомобиля. На первом этапе работа системы охлаждения рассматривалось в режиме холостого хода. Из приведенных графиков видно, что температура на радиаторе (Т1, Т2) начинает возрастать с значительным запаздыванием, чем температура рубашки цилиндров. По виду графиков можно установить, что время запаздывания составляет 6 мин., время установившегося значения температуры двигателя составляет 14 мин. Эксперимент проводился при температуре 25.6⁰С. Вентилятор ВБ был отключен.

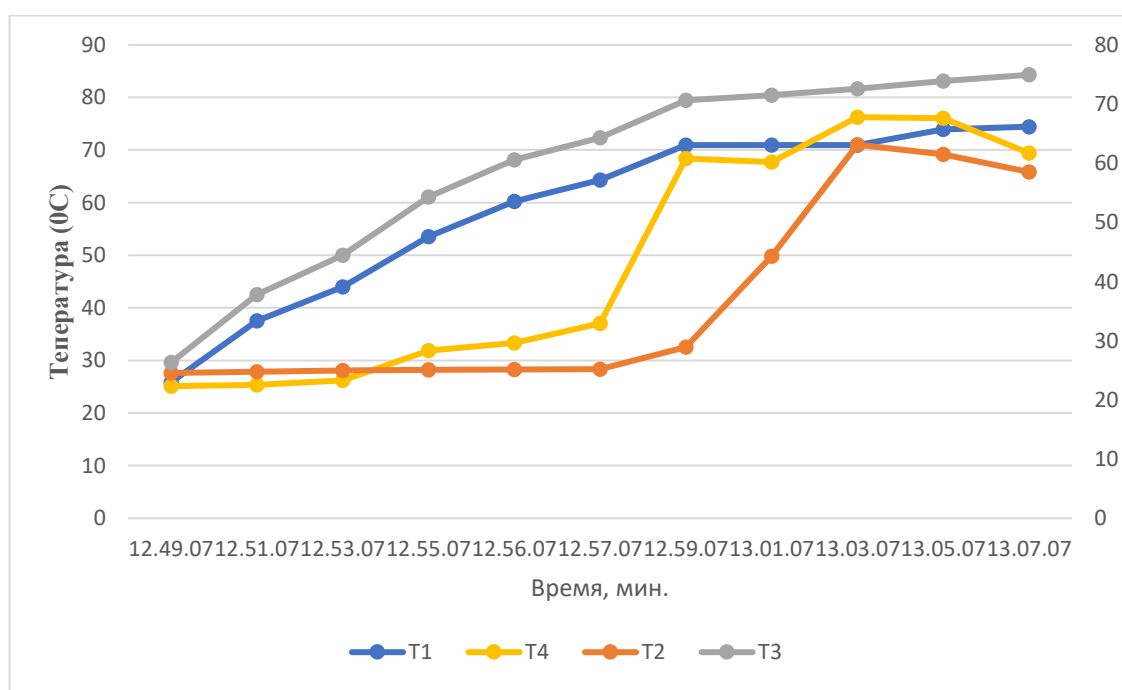


Рисунок 4.24 – Работа двигателя в холостом режиме

Для исследования работы двигателя под нагрузкой был использован АД – 10 кВт, работающий в генераторном режиме. Нагрузка активная составляет 20% от мощности двигателя, т.е. 12.8 л.с. или 9.4 кВт. На выход генератора было подключено девять 1 кВт лампочек, на каждую фазу по три лампочек.

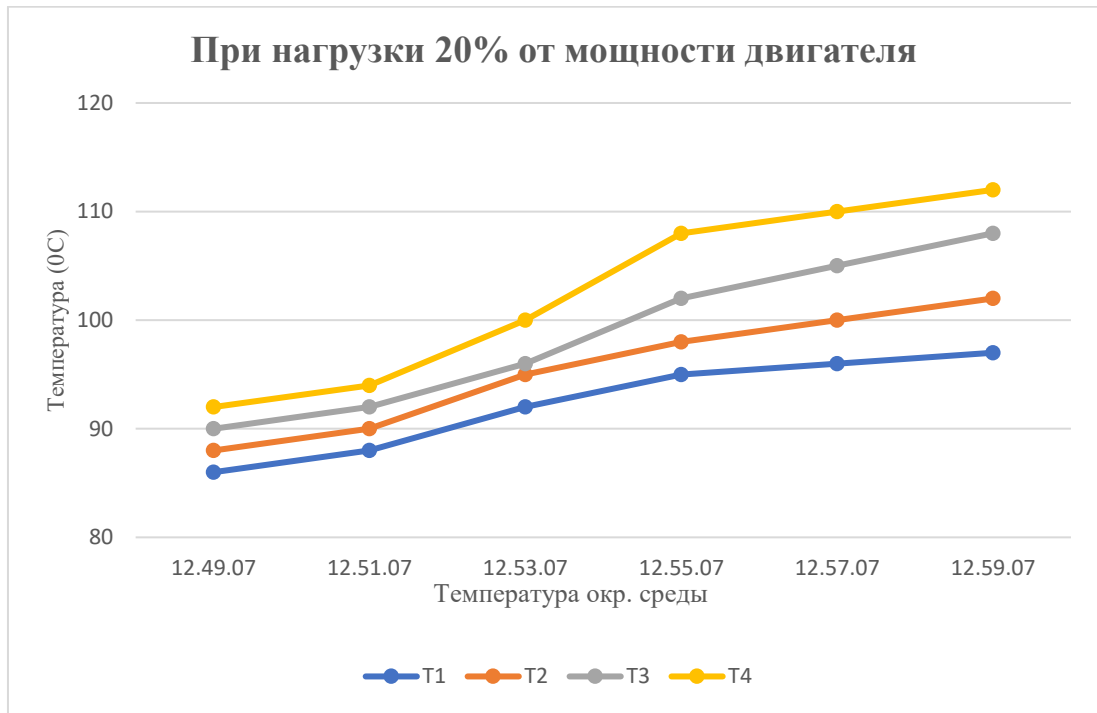


Рисунок 4.25 – Работа двигателя при 20% нагрузке

На графиках рисунка 4.25, при подаче на двигатель, 20% нагрузки наблюдается завышение уровня рабочей температуры двигателя. Время установившегося значения температуры двигателя составляет 6 мин.

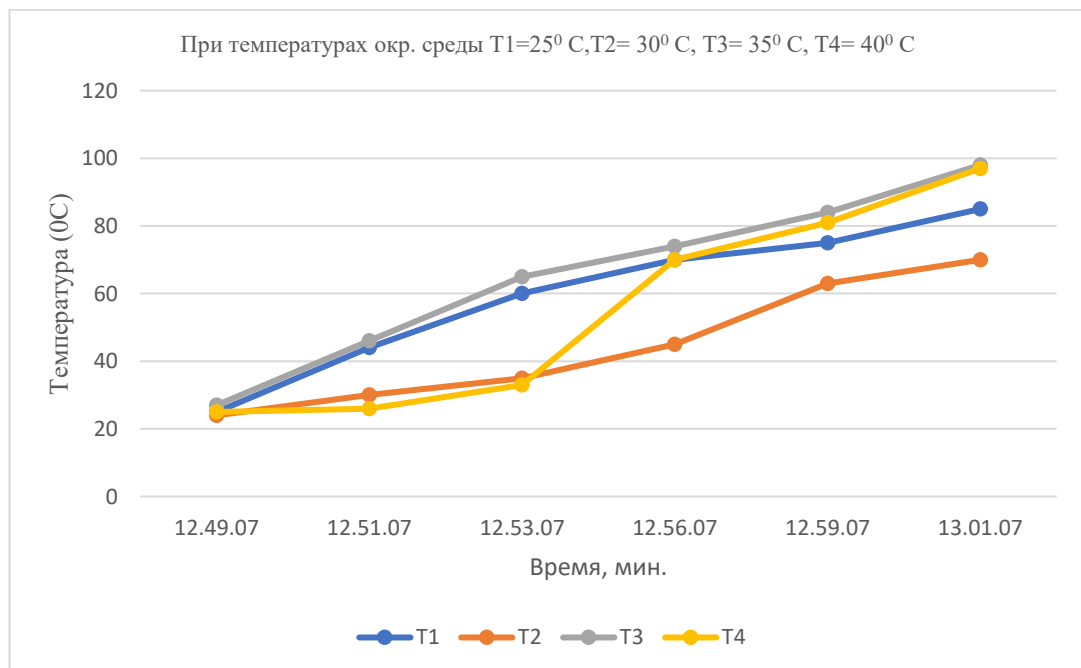


Рисунок 4.26 – Работа двигателя при различных температурах окружающей среды

На рисунке приведены графики изменения температуры двигателя при различных температурах окружающей среды.

На графиках рисунка 4.26 показаны результаты, использования дополнительного устройства охлаждения при различных масштабах времени. Графики показывают, как резко падает температура рубашки двигателя и радиатора после открытия клапана дополнительного устройства.

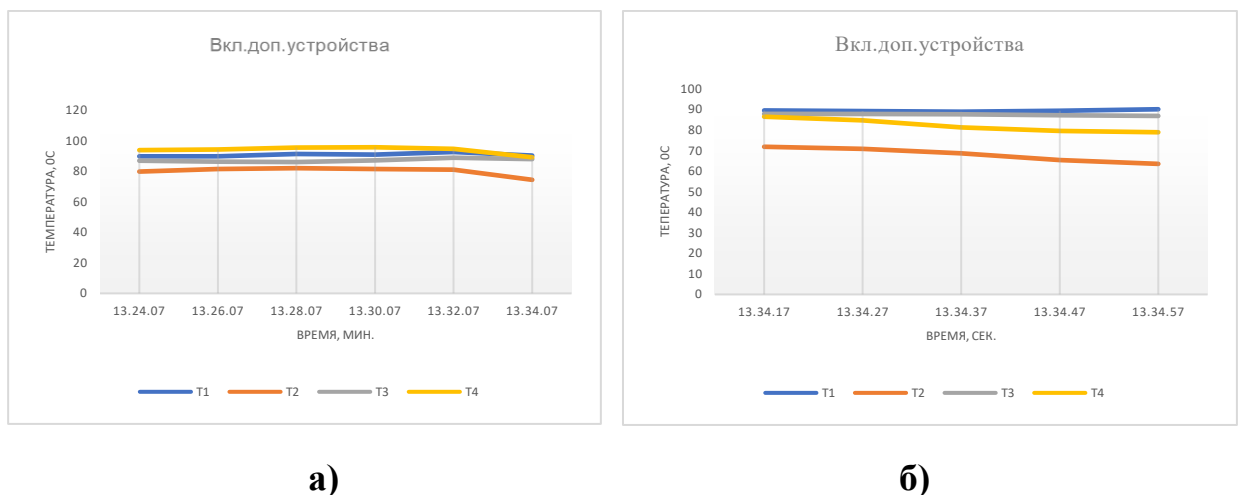


Рисунок 4.27 – Работа двигателя при включении дополнительного устройства

При максимальной температуре $T > 100^{\circ}\text{C}$ двигателя произведено подключение дополнительного устройства, **а)** при шаге по времени равной 2 мин., **б)** при шаге по времени равной 10 сек. Надо отметить, что авторы на стенде рассматривали только качественную характеристику системы охлаждения двигателя, так как физически, процессы теплоотдачи у бензинового и дизельного ДВС имеют серьезные отличия.

4.13. Разработка интерфейса пользователя

Известно, что графический интерфейс пользователя – разновидность пользовательского интерфейса, в котором элементы интерфейса (меню, кнопки, значки, списки и т.п.), представленные пользователю на табло, исполнены в виде графических изображений. Пользовательский интерфейс включает всё, с какими возможностями разработанной системы может

взаимодействовать пользователь, а также он осуществляет информационную поддержку, сведениями о состоянии элементов системы.



Рисунок 4.28 – Внешний вид графического интерфейса пользователя.

Для перехода на выполнение, той или иной функции бортовой системы контроля, диагностики и управления системы охлаждения дизельного ДВС нужно выбрать программу путем нажатия соответствующей кнопки. Сигнальные лампы оповещают о состоянии системы охлаждения в целом «Систем функционирует нормально» или «Неполадка в системе». Если система охлаждения функционирует без отклонения от нормы, то будет гореть зеленая лампочка. В случае возникновения внештатных изменений в системе, загорится красная лампочка и включится звуковое сопровождение – зуммер. Чтобы выйти из программы или, другими словами, выключить интерфейс пользователя нужно нажать кнопку «ВЫХОД».

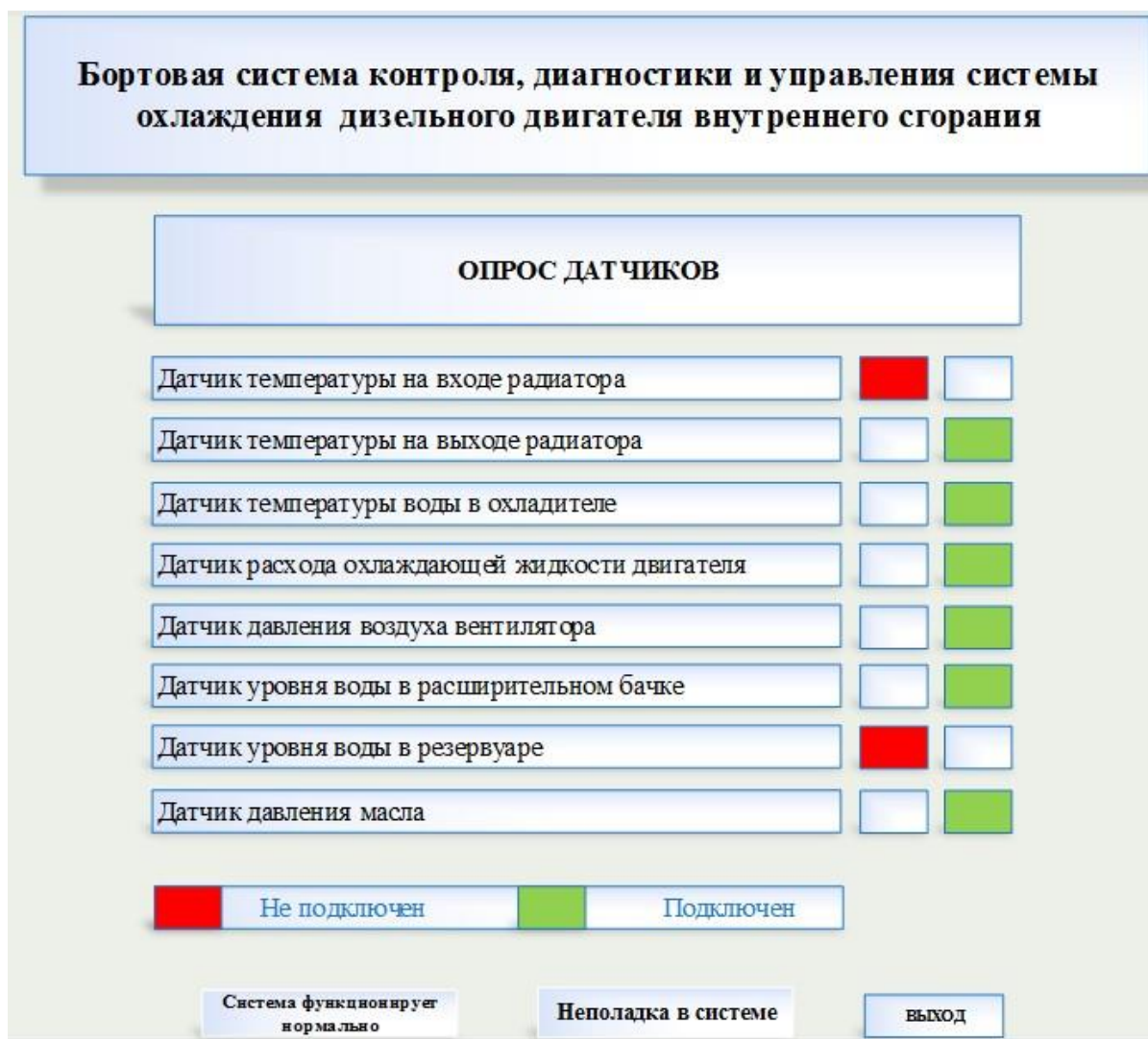


Рисунок 4.29 – Внешний вид Меню программы «Опрос датчиков»

На табло выводится информация о состоянии датчиков, используемых в системе. Красная лампа сигнализирует о неполадке в датчике: она не включена, она не работает по какой-то причине или она просто вышла из строя. Необходимо обязательно устранить недостаток, так как в противном случае система не будет функционировать в целом т.е. она будет отключена. Если все зеленые лампы горят, то система будет функционировать нормально, и в этом случае, если нет других причин, будет гореть сигнальная лампа «Систем функционирует нормально». Для выхода из этой программы нужно нажать кнопку «ВЫХОД», управление вернется в основное меню.

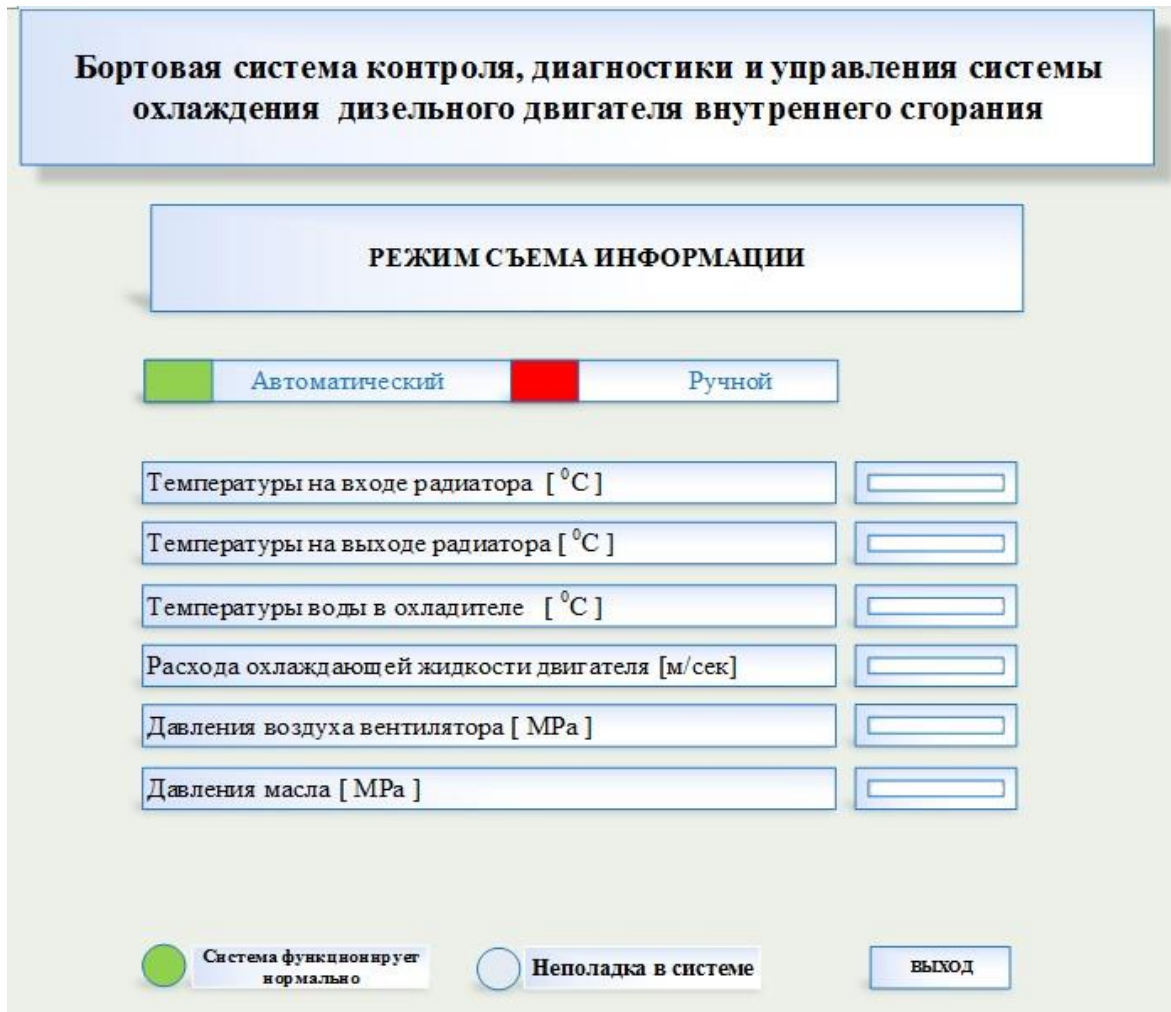


Рисунок 4.30 – Внешний вид пункта меню «Режим съема информации»

Программа позволяет отображать информацию с датчиков в цифровом виде. Программу можно использовать в двух режимах: «Ручной» и «Автоматический». Ручной режим используется, как правило, при проведении ремонтных и пуско-наладочных работ, а также при проведении научно – исследовательских работ. «Автоматический» режим используется при нормальном функционировании системы. Здесь также есть сигнализация «Система функционирует нормально» и «Неполадка в системе». На эти сигналы нужно реагировать также, как и в предыдущих случаях. Кнопка «ВЫХОД» служит для выхода из программы и возврата в главное меню.

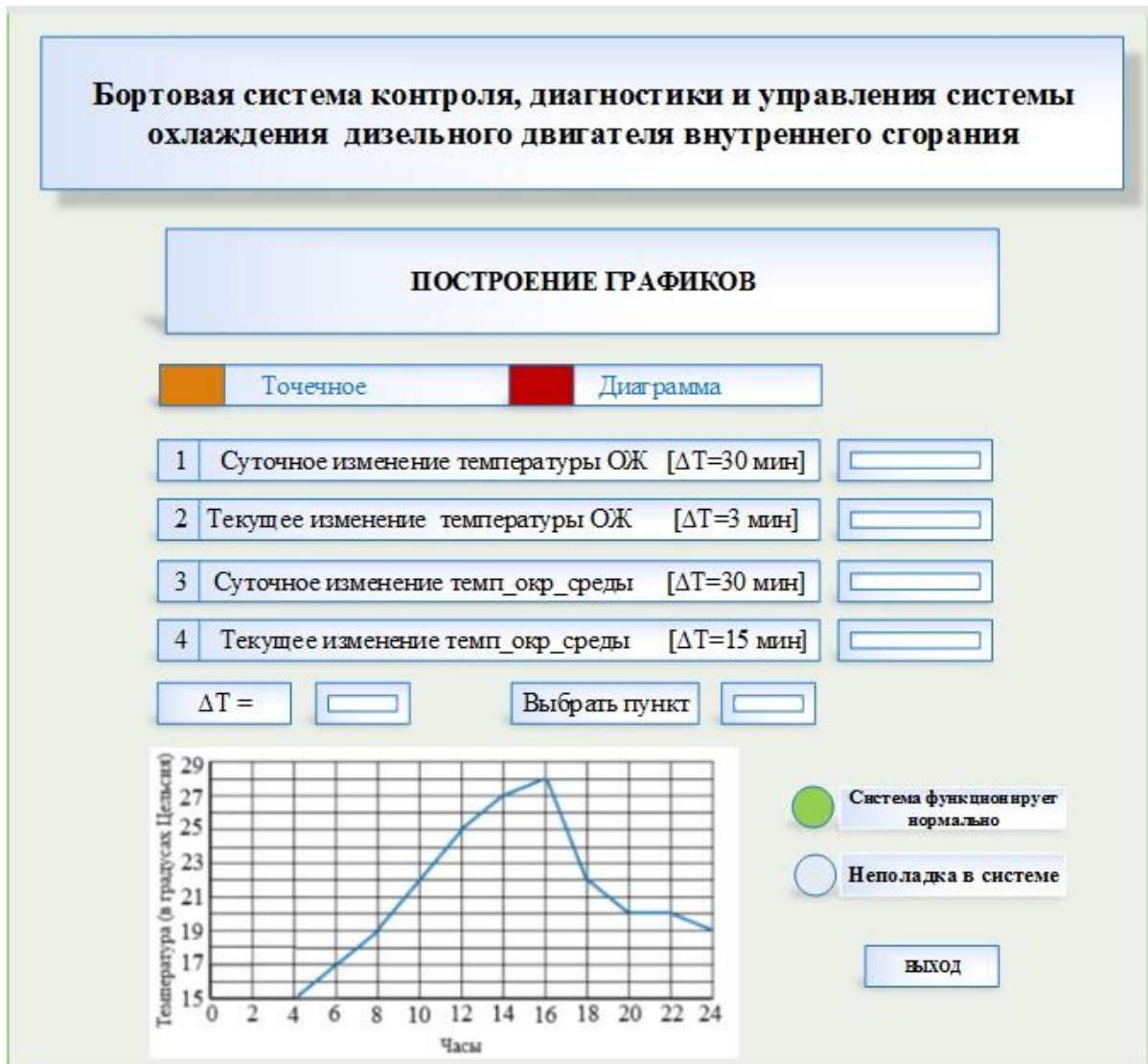


Рисунок 4.31 – Внешний вид программы меню «Построение графиков»

На табло высвечивается информация о ходе изменения температур различных участков системы охлаждения с установленной дискретностью. В программе имеется возможность изменять дискретность съема сигналов вручную. Для построения графика необходимо выбрать нужный пункт, установить интервал времени для съема сигналов и нажать кнопку построить. Сравнительный анализ многосуточных и многомесячных данных позволит выявить изменения, происходящие в работе двигателя.

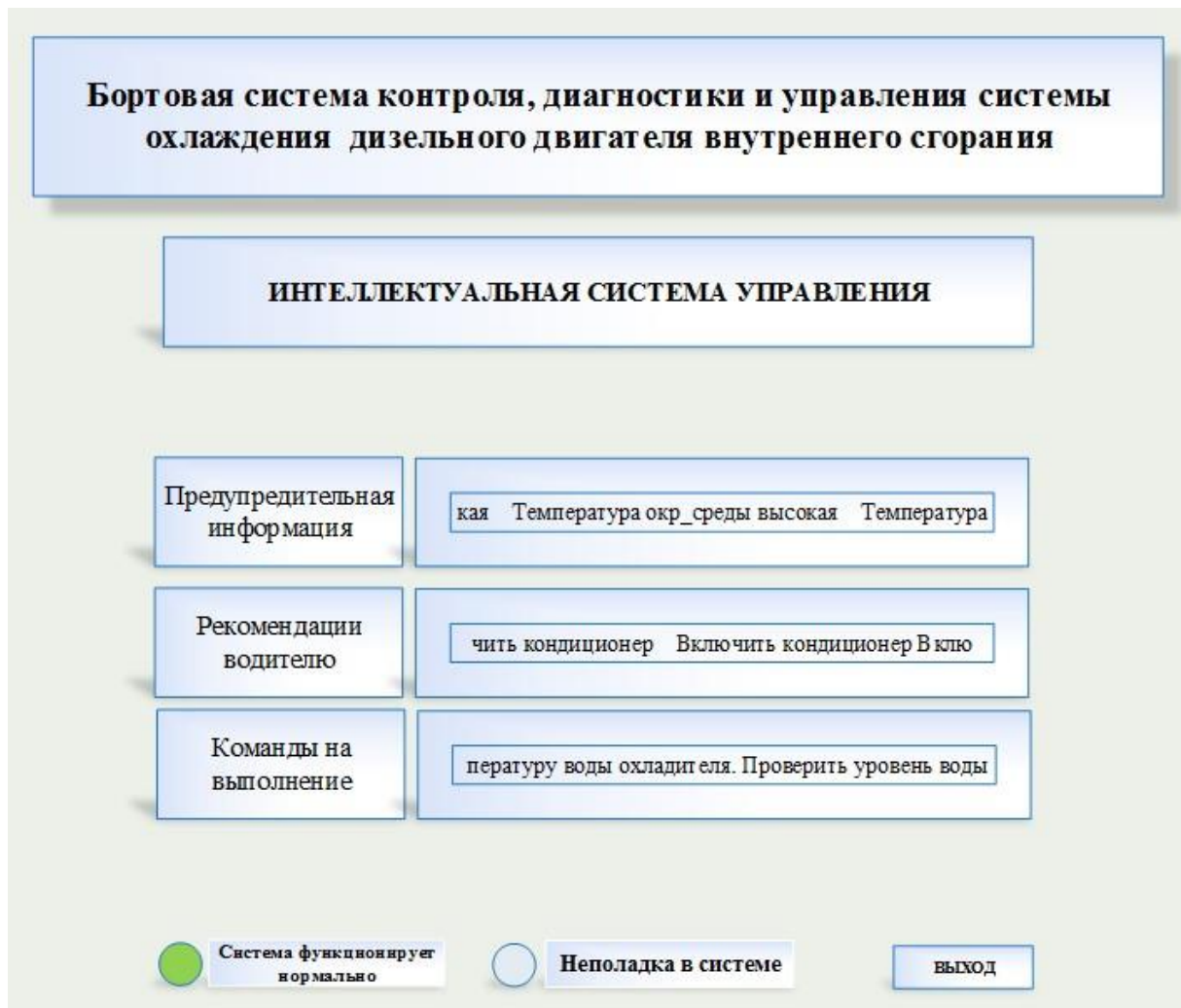


Рисунок 4.32 – Внешний вид пункта меню «Интеллектуальная система управления»

Как видно из рисунка существуют три вида информации, которые отображаются как «Предупредительная информация», «Рекомендации водителю» и «Команды на выполнения». Рядом с каждым перечисленным пунктом высвечивается наименование параметра, величина которого, имеет в данный момент времени отклонение выше или ниже допустимого предела. Дается рекомендация водителю, что предпринять в этом случае, а также конкретная команда водителю, что нужно выполнить. До устранения недостатка система управления автоматически будет отключена. Система контроля, диагностики и управления включается водителем с помощью специальной кнопки.

Выводы по четвертой главе

- Разработана и реализована система дополнительного водяного охлаждения.
- Предложена математическая модель системы охлаждения с учетом дополнительного охладителя.
- Разработаны функции принадлежности и правила нечеткого контроллера на основании знаний о динамических процессах и состоянии элементов системы охлаждения в целом.
- Построена аналитическая модель прогностической системы управления для охлаждения жидкости с применением нейросетевой модели и нечеткого контроллера в среде моделирования Matlab/Simulink.
- Разработана и реализована система сбора и обработки наблюдаемых сигналов с датчиков, установленных на двигателе стенда «MONHAR».
- Проведены экспериментальные исследования температурных режимов двигателя при различных внешних условиях и различных нагрузках.
- Разработана установка для преобразования механической энергии, полученной с выхода редуктора, в электрическую с применением асинхронного двигателя, эксплуатируемого в генераторном режиме.
- Разработан интерфейс пользователя, позволяющий в графической форме представлять возможности, разработанной системы контроля, диагностики и управления.

ЗАКЛЮЧЕНИЯ

1. Проведен обзор литературных источников из которого сделан вывод о том, что устойчивое функционирование системы охлаждения двигателя существенно влияет на надежность его эксплуатации, экономичность и экологические параметры [1 – А, 5 – А, 7 – А, 11 – А, 12 – А, 14 – А].

2. Анализ литературно–патентных поисков и проведенные исследования авторов подтверждают актуальность продолжающихся научных исследований, направленных на улучшение режимов охлаждения ДВС, модернизацию конструкции систем охлаждения, оптимизацию процессов автоматического регулирования теплового состояния ДВС в условиях эксплуатации [5 – А, 7 – А, 10 – А, 11 – А, 12 – А, 14 – А].

3. Установлено, что ряд исследований направлены на использовании дополнительного оборудования в системе охлаждения – электровентиляторов, опрыскивателей радиатора, а также применение других дополнительных элементов прямоточного охлаждения, имеющие ряд существенных недостатков, устранение которых являются задачей данной работы [3 – А, 4 – А, 6 – А, 9 – А].

4. Выявлено что, особое место в литературе занимает интеллектуальное управление вентиляторами и насосами циркуляции системы охлаждения двигателя. Это требует существенных изменений конструкции двигателя, что является основным препятствием широкого применения таких систем [4 – А, 7 – А, 9 – А].

5. На математической модели, с применением технологии искусственного интеллекта, показана способность предлагаемого дополнительного устройства стабилизировать температурный режим двигателя в требуемых границах [8 – А, 9 – А, 14 – А].

6. Разработана система автоматического управления стабилизации температурного режима системы охлаждения двигателя с дополнительным элементом. В качестве автоматического регулятора использована система правил базы знаний, разработанной экспертной системы [1 – А, 4 – А, 6 – А, 9 – А].

7. Разработан учебно – исследовательский стенд для проведения экспериментальных исследований различных режимов работы двигателя [6 – А, 8 – А, 10 – А].

8. Для экспериментального исследования работы двигателя под нагрузкой, разработана схема с 3 – х фазным асинхронным двигателем, подключенным к коробке передач, который эксплуатируется в генераторном режиме с заданными нагрузками [9 – А, 14 – А].

9. Разработано и реализовано программное обеспечение микроконтроллера для сбора и обработки экспериментальных данных с различной дискретизацией и разных масштабах времени. Интерфейс этой системы, позволяет представлять информацию в табличной форме, а также в виде графиков [8 – А, 9 – А].

10. Исследованы различные режимы работы системы охлаждения, температура системы при холостом ходе, различных скоростных режимах, под нагрузкой, уровень и величина, которых имитировались на стенде различными способами [6 – А, 8 – А, 10 – А].

11. Получен патент на устройство для дополнительного охлаждения двигателя внутреннего сгорания, ТИ 1447, Заявка № 1801183 от 01.03.2018г. Зарегистрировано в государственном реестре изобретений РФ от 20.06.2018 г [10 – А].

12. Разработана бортовая система контроля, диагностики и управления (БСКД и У) системой охлаждения ДВС, принимающая решение на основе данных, снятых с датчиков и системы продукционных правил [8 – А, 9 – А].

13. На основе полученного опыта, предлагается дальнейшее совершенствование систем охлаждения, направить на разработку оптимальных законов управления параметрами охлаждения в зависимости от условий эксплуатации двигателя и внедрение программируемых контроллеров в системы автоматического управления параметрами охлаждения ДВС на основе применения интеллектуальных компьютерных технологий [7 – А].

Рекомендации по итогам исследований

Следует отметить, что результаты диссертационной работы можно применить, главным образом, при создании проектов систем охлаждения дизелей грузовых автомобилей. Созданный экспериментальный стенд, позволяющий исследовать тепловые характеристики ДВС, и может быть использован для проведения научных исследований в проектных организациях.

Предложенные математические модели, алгоритмы контроля и управления температурой теплоносителя в различных эксплуатационных режимах работы ДВС, с применением элементов искусственного интеллекта могут быть использованы в ряде других областях науки и производства, где эти вопросы являются актуальными.

Разработанную схему системы охлаждения дизеля с использованием дополнительного устройства, которое создает контур охлаждения работающая только при наличии условий нормального функционирования всех элементов системы охлаждения, можно рекомендовать для использования в грузовых автомобилях, эксплуатируемых в Рогунской ГЭС.

Материалы диссертации рекомендуются использовать в учебном процессе в автотранспортных факультетах ВУЗов при подготовке специалистов по профилю «Двигатели внутреннего сгорания», «Эксплуатация автомобильного транспорта», «Тракторы и сельскохозяйственные машины».

Разработанную систему сбора и обработки экспериментальных данных «Монгар» можно использовать для обработки данных научных исследований в различных отраслях производства, в том числе при проведении лабораторных работ специалистами технического профиля.

Компьютерная модель диагностирования технического состояния, применяемая в экспертной и нейросетевой схеме управления системы

охлаждения, позволит повысить уровень технической безопасности автомобилей, эксплуатируемых в горных условиях.

Полученные результаты исследований могут быть использованы при разработке элементов искусственного интеллекта, осуществляющих функции контроля и управления системой охлаждения автомобилей в сложных эксплуатационных условиях, а также функции определения технического состояния элементов системы охлаждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Некрасов Г.И. Повышение эффективности работы системы охлаждения тепловозного дизеля с использованием индивидуального привода водяных насосов: дисс. на соискание кандидата технических наук: 05.22.07 / Некрасов Глеб Игоревич – Москва. – 2019. –158с.
2. Zhukov V., Regulation and control in cooling systems of internal combustion engines/ V. Zhukov, O. Melnik, N. Logunov, S. Chernyi. // E3S Web of Conferences 135,02015 (2019) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913502015>.
3. J. Girtler, Journal of Polish CIMAC 4(1), 29–40 (2009).
4. B. Tansel, Recent patents on chemical engineering 1(1), 17–26 (2008).
5. Anon, Anti–Corrosion Methods and Materials, 48(3) (2001).
6. 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.
7. 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. –№3(25). –С. 11–25.
8. Ландау, Л.Д. Гидродинамика. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.:Наука, 1986., 736 с.
9. Патент РФ. 2513881: Способ управления системой охлаждения двигателя внутреннего сгорания /В.П. Денисов, А.П. Домбровский, О.О. Мироничева, И.И. Матяш; СибАДИ. – № 2012138053/11; заявл. 05.09.2012; опубл. 20.04.2014.
10. B. Tansel, Recent patents on chemical engineering 1(1), 17–26 (2008).
11. C. Cheng, C. Cheung, T. Chan, S. Lee, C. Yao, K. Tsang, Fuel, 87(10–11), 1870–1879 (2008).
12. Гаврилов, А. К. Системы жидкостного охлаждения автотракторных двигателей / А. К. Гаврилов. – М.: Машиностроение, 1966. – 164 с.

13. Сайт конструкторского бюро авто электроники "Силич", Екатеринбург.
<http://www.silich.ru/>.
14. Штовба, С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB/ С.Д. Штовба. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
15. 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.
16. Денисов, В. П. Система регулирования температуры ДВС / В.П. Денисов, В.В. Максимов // Автомобильная промышленность. – 2012. – № 3. – С. 17–18.
17. 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.
18. 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.
19. Денисов В.П., Математическое моделирование дополнительного оборудования системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания/ В.П., Денисов А.П. Домбровский, В.А. Мещеряков // Вестник СибАДИ–2015.– №6 (46). –С.94–101.
20. Патент РФ. 2513881: Способ управления системой охлаждения двигателя внутреннего сгорания /В.П. Денисов, А.П. Домбровский, О.О. Мироничева, И.И. Матяш; СибАДИ. – № 2012138053/11; заявл. 05.09.2012; опубл. 20.04.2014.
21. Патент РФ. RU 2459093 С1: Система охлаждения двигателя внутреннего сгорания / О.К. Безюков, В.А. Жуков. Заявка: 2011113342/06, 06.04.2011. Опубликовано: 20.08.2012 Бюл. № 23.

22. Cipollone, R., Di Battista, D., "Sliding vane rotary pump in engine cooling system for automotive sector," *Appl Therm Eng.* 76:157–166, 2015, doi:10.1016/j.applthermaleng.2014.11.001.
23. Regulation (EC) No 715/2007.
24. EC. Setting emission performance standards for new passenger cars as part of the community's integrated approach to reduce CO₂ emissions from light-duty vehicles, No. 443/2009, Off J Eur Union, 2009.
25. Roberts, A., Brooks, R., Shipway, P., "Internal combustion engine cold-start efficiency: A review of the problem, causes and potential solutions," *Energy Convers Manage.* 82:327–350, 2014, doi:10.1016/j.enconman.2014.03.002.
26. Will, F. and Boretta, A., "A New Method to Warm Up Lubricating Oil to Improve the Fuel Efficiency During Cold Start," *SAE Int. J. Engines* 4(1):175–187, 2011, doi:10.4271/2011-01-0318.
27. Will, F., "Fuel conservation and emission reduction through novel waste heat recovery for internal combustion engines," *Fuel* 102:247–55, 2012, doi:10.1016/j.fuel. 2012.06.044.
28. Драгомиров С. Г. и др. Математическая модель системы автоматического регулирования температуры двигателя. // *Электроника и электрооборудование транспорта.* № 2–3. 2010. с. 2–5.
29. B. Valdez, M. Schorr, R. Zlatev, M. Carrillo, M. Stoytcheva, L. Alvarez, N. Rosas, *Environmental and Industrial Corrosion – Practical and Theoretical Aspects* (2012).
30. M. Nekooei, J. Jaswar, A. Priyanto, *Jurnal Teknologi*, 74(5), 121–124 (2015).
31. J. Bradish, P. Myers, O. Uyehara, *SAE Transactions*, 633–650 (1967).
32. Zhelezniak, L. Bezmennikova, V. Zhukov, V. Erofeev, *Journal of Physics: Conference Series*, 803(1), 012184 (2017).
33. N. Chigrinova, O. Kuznechik, V. Chigrinov, *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 77(3), 578–589 (2004).
34. Макаров И. М. и др. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. Москва Наука. 2006. 334с.

35. Безюков О. К. Совершенствование регулирования теплового состояния судовых ДВС / О. К. Безюков, В. А. Жуков, М. А. Тарасов // Тр. II-го Междунар. науч.-техн. семинара «Исследование, проектирование и эксплуатация судовых ДВС». — СПб.: СПб.ГУВК, 2008. — С. 58–63.
36. Безюков О. К. Комплексная оптимизация параметров охлаждения судовых энергетических установок / О. К. Безюков, В. А. Жуков // Журнал университета водных коммуникаций. — 2012. — № 1. — С. 51–60.
37. Безюков О. К. Охлаждающие жидкости транспортных ДВС: монография / О. К. Безюков, В. А. Жуков. — СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского гос. ун-та водных коммуникаций, 2009. — 262 с.
38. Жуков В. А. Зависимость эксплуатационных показателей транспортных ДВС от свойств охлаждающих жидкостей / В. А. Жуков // Вестник машиностроения. — 2010. — № 12. — С. 58–62.
39. Тимофеев В. Н. Температурный режим двигателей внутреннего сгорания и его регулирование / В. Н. Тимофеев. — Чебоксары: Издательство Чуваш. ун-та, 2008. — 358 с.
40. Безюков О.К., Современная концепция регулирования охлаждения судовых дизелей / О.К. Безюков, В.А. Жуков, В.Н. Тимофеев // Вестник ГУМ и РФ. — 2016. — №3. — С.93–103.
41. Отопление и вентиляция. Часть II. Под. ред. В.И. Богословского. М., Стройиздат, 1976.
42. Кокорин О.Я. Установки кондиционирования воздуха. М., Машиностроение, 1978.
43. Зиёев Ш.Ш., Юнусов Н.И., Джалолов У.Х., Турсунбадалов У.А. / Интеллектуальная система контроля параметров системы охлаждения ДДВС. // Вестник Таджикского Технического Университета 4(36) 2016г. стр. 26.
44. Дьяконов В. П., Круглов В. В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник. — СПб.: «Питер», 2002. — 448 с. — ISBN 5–318–00359–1.

45. Раков В.А. В системе охлаждения ДВС с устройством подогрева Вологодский государственный технический университет, Вологда, // Материалы международной научно–практической Интернет–конференции, с 18 по 29 июня 2013 г.
46. В. П. Денисов, И. И. Матяш, О. О. Управление системой охлаждения двигателей внутреннего сгорания на основе нечеткого логического вывода // Вестник СибАДИ, выпуск 3 (25), 2012. стр. 11–17
47. Зиёев Ш.Ш., Юнусов Н.И., Джалолов У.Х., Турсунбадалов У.А. Интеллектуальная система контроля параметров системы охлаждения ДДВС. //Вестник Таджикского технического университета 4(36) 2016г. стр. 26–28.
48. Н.И. Юнусов, У.Х. Джалолов, Ш.Ш. Зиёев, У.А. Турсунбадалов. Нечеткое управление процессами в системе охлаждения ДДВС с дополнительным устройством. Политехнический вестник. Серия Интеллект. Инновации. Инвестиции. №3 (47) 2019г. 38–43с.
49. Мигдаль В.Д. Техническая диагностика автомобильных двигателей. Учебное пособие в трех томах Т.1. Объекты и методы диагностирования /В.Д. Мигдаль. –Харьков: Майдан, 2014.–459 с.
50. 2. Мирошников Л.В., Болдик А.П., Пал В.И. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотракторных предприятиях. – М.: Наука, 1968. – 228с.
51. Тыманюк, К. С. Разработка автоматизированной системы итеративного контроля технического состояния систем двигателя автомобиля [Текст] / К. С. Тыманюк, В. Л. Костенко //Технологический аудит и резервы производства. – 2016. № 1/2(27). – С. 77–82.
52. Лютин, К.И. Вибродиагностика систем ДВС с использованием нейронных сетей / К.И. Лютин, В.Е. Федянов // Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2007: сб. науч. тр. по матер. междунар. науч.–практ. конф., 1–15 окт. 2007 г. / Одес. нац. морской ун–т [и др.]. Одесса, 2007.– Т.1.– С.16–18.

53. Юнусов Н.И., Джалолов У.Х., Турсунбадалов У.А., Зиёев Ш.Ш. Компьютерная диагностика многокомпонентных вибрационных машин. //10-ая международная конференция по компьютерному анализу проблем науки и технологии 124–127 с.
54. Bánlaki P, Kulcsár Sz, Monitoring the Operation of Internal Combustion Engines Using Order Analysis of Noise and Vibration Data, Journal Of Machine Manufacturing XLIX (2009), 142–144.
55. Гассельберг, В. С. Диагностика двигателей внутреннего сгорания автомобилей по виброакустическим параметрам [Текст] / В. С. Гассельберг, А. В. Запорожец // Вестник АГТУ. – 2007. – № 2. – С. 72–74.
56. Nagy I, Technical Diagnostics I. – Vibration Analysis, Delta3N, 2007. 10 National Instruments: Understanding Order Analysis and Resampling, 2007, available at www.ni.com.
57. Васильев В.И., Ильясов Б. Г., Валеев С.С., Жернаков С.В. Интеллектуальные системы управления с использованием нейронных сетей. – Уфа: УГАТУ, 1997.
58. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети. – Винница: УНИВЕРСУМ–Винница, 1999. – 320 с.
59. Сериков С.А. Идентификация математической модели двигателя внутреннего сгорания с использованием системы нечеткого вывода / С.А. Сериков, А.А. Дзюбенко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2009. – № 1. 14–18 с.
60. Палагута К. А., Чиркин С. Ю., Кузнецов А. В. Синтез системы управления двигателем внутреннего сгорания с использованием гибридных и нейронных сетей //Машиностроение и инженерное образование. 2009. №4. 42–49 с.
61. Злотин, Г.Н. Применение нейронных сетей для вибродиагностики систем ДВС / Г.Н. Злотин, К.И. Лютин, Е.А. Федянов // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей:

- (посвящается 50–летию ВлГУ): матер. XI междунар. н.–пр. конф., Владимир, 27–29 мая 2008 / ГОУ ВПО "Владимирский гос. ун–т". – Владимир, 2008. – С. 160–163.
62. Гребенников А.С., Гребенников С.А., Никитин А.В. Математическая модель внутри циклового изменения угловой скорости коленчатого вала дизеля на холостом ходу // Изв. Волог. ГТУ. Межвузов. Сб. науч. ст. 2013. Т5, №12 42–45 с.
63. И. П. Добролюбов, О. Ф. Совченков, В. В. Альт, С. Н. Ольшевский Разработка компьютерной настраиваемой модели ДВС // Вычислительные технологии Том 18, №6, изд. Институт Сибирского отделения РАН. Новосибирск 54–61 с.
64. Апельинский Д.В., Шендеровский И.М., Яхутль Д.Р., Математические модели рабочего цикла ДВС с искровым зажиганием и их численная реализация. Материалы международной научно–технической конференции ААИ «Автомобили и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров», посвященной 145–летию МГТУ «МАМИ» 22–28 с.
65. Чиркин С. Ю. Моделирование двигателя внутреннего сгорания как объекта управления на основе экспериментальных данных // Естественные и технические науки. 2010. №2. 406–410 с.
66. Гребенников А.С., Гребенников С.А., Никитин А.В. Математическая модель внутри циклового изменения угловой скорости коленчатого вала дизеля на холостом ходу// Изв. ВолгГТУ. Межвуз. Сб. науч. ст. 2013. Т.5, №12. 42–46 с.
67. 20. Вейвлет–анализ. Основы теории, Блаттер, Кристиан, Кренкель, Т. Э.; Кюркчан, А. Г., 2006г.
68. Ramos J.I. Mathematical Models of Spark–ignition Engines. // Computer simulation for fluid flow, heat and mass transfer, and combustion in reciprocating engines. — New York etc.: Hemisphere, 1989. P.

69. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления: Пер. с англ. М.: Мир. 1975, 684 с.
70. И.П. Добролюбов, О. Ф. Совченков, В. В. Альт, С. Н. Ольшевский
Разработка компьютерной настраиваемой модели ДВС // Вычислительные технологии Том 18, №6, изд. Институт Сибирского отделения РАН. Новосибирск 54–61 с.
71. Джалолов У.Х. Параметрическая идентификация нестационарных динамических объектов. Тезисы докладов IX Всесоюзного совещания по проблемам управления. Ереван. 1983. 72–73 с.
72. Турсунбадалов У.А. Применение метода интегральной модуляции в задаче идентификации технического состояния двигателя внутреннего сгорания / У.А. Турсунбадалов, Тиллоев К.З и др. // «Всероссийская научно–техническая конференция». Стр.70
73. В.В. Васильев, Л.А. Симак, А.М. Рыбникова. Математическое и компьютерное моделирование процессов и систем в среде MATLAB/SIMULINK. Учебное пособие для студентов и аспирантов / В.В. Васильев, Л.А. Симак, А.М. Рыбникова. – К.: НАН Украины, 2008. – 91 с.
74. Юнусов Н.И., Джалолов У.Х., Зиёев Ш.Ш., Турсунбадалов У.А. Задачи диагностики и прогнозирования состояния ДДВС на основе принципов нечеткой логики и нейросетевых технологий. //Вестник Таджикского Технического Университета 4(32) 2015. стр. 66–70.
75. Юнусов Н.И., Джалолов У.Х., Турсунбадалов У.А., Зиёев Ш.Ш. Компьютерная диагностика многокомпонентных вибрационных машин. //10–ая международная конференция по компьютерному анализу проблем науки и технологии. Стр 124–127.
76. Станюкович К.В., Таджикистан природа и природные ресурсы. / К.В. Станюкович, Х.М. Сайдмурадov –Душанбе: Изд.–во. Дониш, 1982–600с.
77. Рауфов Р.Н. Экономика–географические особенности территориальной организации и оценка эффективности использования гидротехнических сооружений в югозападном регионе Республики Таджикистана: дисс. на

- соискание кандидата географических наук: 25.00.24/ 77. Рауфов Рахматулло Неъматович – Душанбе. – 2016. –162с.
78. Н.И. Юнусов, У.Х. Джалолов, Ш.Ш. Зиёев, Ш.Ё. Холов, У.А. Турсунбадалов, Р.М. Бандишоева, Толибова С.Н. Устройство для дополнительного охлаждения двигателей внутреннего сгорания. Патент ТЈ 1447, Заявка № 1801183 от 01.03.2018 г. Зарегистрировано в государственном реестре изобретений РТ от 20.06.2018 г.
79. Хижняков Ю.Н. Алгоритмы нечеткого, нейронного и нейро–нечеткого управления в системах реального времени. Пермь: Изд–во ПНИПУ, 2013–160с.
80. Штовба С.Д. “ Проектирование нечетких систем средствами Matlab”, М. “Горячая линия–Телеком”. 2007.–288с.
81. Гостев В.И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления. – СПб.БХВ–Петербург. 2011–416 с.
82. Вятчинин Д.А. Нечеткие методы автоматической классификации. –Минск: УП. “ Технопринт”, 2004–219с.
83. Н.И. Юнусов, У.Х. Джалолов, Зиёев Ш.Ш., У.А. Турсунбадалов. Интеллектуальная система контроля параметров системы охлаждения ДДВС. Вестник Таджикского Технического Университета 4(36) 2016г. стр. 26.
84. Юнусов Н.И., Джалолов У.Х., Зиёев Ш.Ш., Турсунбадалов У.А. Задачи диагностики и прогнозирования состояния ДДВС на основе принципов нечеткой логики и нейросетевых технологий. Стр.70
85. Юнусов Н.И., Зиёев Ш.Ш., Маҳмадов С.А., Холов Ш.Ё. Управление температурой теплоносителя в системе охлаждения двигателей внутреннего сгорания Стр.64
86. Widrow, B., Stearns, S.D.: Adaptive signal processing. Prentice–Hall, Englewood Cliffs, N.J. (1985).
87. Н.И. Юнусов, У.Х. Джалолов, Ш.Ш. Зиёев, У.А. Турсунбадалов. Нечеткое управление процессами в системе охлаждения ДДВС с дополнительным

- устройством. Политехнический вестник. Серия Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019г. – №3. (47) С. 38–43.
88. Н.И. Юнусов, У.Х. Джалолов, Зиёев Ш.Ш., У.А. Турсунбадалов. Интеллектуальная система контроля параметров системы охлаждения ДДВС. Вестник ТТУ, 4(36) 2016г. стр. 26.
89. Шушура А. Н., Тарасова И.А. Метод нечеткого управления на основе переменных с многомерными функциями принадлежности. Журнал искусственный интеллект – 2010. – №1. – С.122–128.
90. Ю.И. Кудинов, И. Н. Дорохов, Ф. Ф. Пашенко, Нечеткие регуляторы и системы управления, Пробл. управл., 2004, выпуск 3, 2–14.
91. Варбанец Р.А. Диагностика рабочего процесса судовых двигателей внутреннего сгорания с определением фаз топливоподачи и газораспределения виброакустическим методом / Р.А. Варбанец, В.Г. Ивановский // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2005. – Вип. 2/ 2005(31). – С. 23–26.
92. Курейчик В.В., Курейчик В.М., Ковалев С.М. Оптонечёткие системы // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 4 (93). – С. 99–105.
93. Глушань В.М., Карелин В.П., Кузьменко О.Л. Нечеткие модели и методы многокритериального выбора в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 4 (93). – С. 106–113.
94. Н.И. Юнусов, У.Х. Джалолов, Зиёев Ш.Ш., У.А. Турсунбадалов. Интеллектуальная система контроля параметров системы охлаждения ДДВС. Вестник Таджикского Технического Университета 4(36) 2016г. стр. 26–32
95. Прогнозирование температуры двигателя внутреннего сгорания с использованием адаптивной модели. В.П. Денисов, А.П. Домбровский, С.С. Журавлев ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск. Вестник СибАДИ, – 2015. – №3 (43), –С. 145–149.

96. Якубович, А.И. Системы охлаждения двигателей тракторов и автомобилей. Конструкция, теория проектирование / А.И. Якубович, Г.М. Кухаренок, В.Е. Тарасенко. – Минск: БНТУ, 2011. –436с.
97. Teresa Castiglione, Sergio Bova*, Mario Belli. A Model Predictive Controller for the Cooling System of Internal Combustion Engines. 71st Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, ATI2016, 14–16 September 2016, Turin, Italy.
98. Банников, С. Н., & Петров, А. П. (2018). Применение жалюзи в системе охлаждения двигателя автомобиля. In Актуальные проблемы научного знания. Новые технологии ТЭК–2018 (pp. 123–127).
99. Юнусов, Н.И., Джалолов, У.Х., Зиёев, Ш.Ш., Турсунбадалов, У.А. (2019). Нечеткое управление процессами в системе охлаждения ДДВС с дополнительным устройством. Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции, (3), 38–43.
100. Mu, Hongyu, Yinyan Wang, Hong Teng, Yan Jin, Xingtian Zhao, and Xiaolong Zhang. “Cooling System Based on Double–Ball Motor Control Valve.” *Advances in Mechanical Engineering*, (May 2021). <https://doi.org/10.1177/16878140211011280>.
101. Kitanoski, F., Puntigam, W., Kozek, M., and Hager, J., "An Engine Heat Transfer Model for Comprehensive Thermal Simulations," SAE Technical Paper 2006–01–0882, 2006, <https://doi.org/10.4271/2006–01–0882>.
102. Соколов Д. В., Солодовников Д. Н. система охлаждения двигателя с электронным регулированием // IX Международный молодежный форум "Образование. Наука. Производство". – 2017. –С. 1030–1034.
103. Зиёев Ш.Ш., Юнусов Н.И., Джалолов У.Х., Турсунбадалов У.А. Нечеткое управление процессами в системе охлаждения ДДВС с дополнительным устройством. Политехнический вестник. Серия Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. №3 (47). С.23.
104. Зиёев Ш.Ш., Юнусов Н.И., Джалолов У.Х., Турсунбадалов У.А. Задачи диагностики и прогнозирования состояния ДДВС на основе принципов

нечеткой логики и нейросетевых технологий. Вестник Таджикского Технического Университета 4(32) 2015г. стр.66–70.

105. Ю.И. Кудинов, И. Н. Дорохов, Ф. Ф. Пащенко, Нечеткие регуляторы и системы управления, Пробл. управл., –2004, №3, –С.2–14.
106. Круглов В.В., Дли М.И. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. – М.: Физматлит, –2002.12.
107. Ю.И. Кудинов, И. Н. Дорохов, Ф. Ф. Пащенко, Нечеткие регуляторы и системы управления, Пробл. управл., 2004, выпуск 3, 2–14.
108. Круглов В.В., Дли М.И. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. – М.: Физматлит, 2002.12.
109. Леоленков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб., 2003.
110. Хайкин, Саймон. Нейронные сети: полный курс, 2–е издание.: Пер. с англ.–М.: Издательский дом. «Вильямс», 2006.–1104с.: ил. – Парал. тит. англ.
111. Учебник для вузов. / Под ред. Е. С. Кузнецова. – 3–е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1991. – 413с.
112. Струченков В. Методы оптимизации в прикладных. задачах. изд.: Солон–Пресс. 2009 г.–320с.

**ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В
СЛЕДУЮЩИХ ИЗДАНИЯХ:**

*Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных
ВАК при Президенте Республики Таджикистан и ВАК РФ*

[1–А]. **Зиёев Ш.Ш.** Задачи диагностики и прогнозирования состояния ддвс на основе принципов нечеткой логики и нейросетевых технологий / Ш.Ш. Зиёев, Н.И. Юнусов, У.Х. Джалолов, У.А. Турсунбадалов // Вестник Таджикского Технического Университета №4(32) 2015г. стр. 66–70.

[2–А]. **Зиёев Ш.Ш.** Диагностика с применением принципов нейронечёткой логики на примере топливной системы ДДВС / Ш.Ш. Зиёев, Н.И. Юнусов, У.Х. Джалолов, У.А. Турсунбадалов // Вестник Таджикского технического университета, Серия Интеллект. Инновации. Инвестиции. №3 (35)–2016г. стр. 28–33.

[3–А]. **Зиёев Ш.Ш.** Интеллектуальная система контроля параметров системы охлаждения ДДВС / Ш.Ш. Зиёев, Н.И. Юнусов, У.Х. Джалолов, У.А. Турсунбадалов. // Вестник Таджикского технического университета, Серия Интеллект. Инновации. Инвестиции. №4 (36)–2016г. стр. 23–29.

[4–А]. **Зиёев Ш.Ш.** Нечеткое управление процессами в системе охлаждения ддвс с дополнительным устройством / Ш.Ш. Зиёев, Н.И. Юнусов, У.Х. Джалолов, У.А. Турсунбадалов // Политехнический вестник. Серия Интеллект. Инновации. Инвестиции. № 3 (47) 2019г. стр. 37–43.

[5–А]. **Зиёев Ш.Ш.**, Идентификация параметров разгонной характеристики двигателя внутреннего сгорания / Ш.Ш. Зиёев, У.Х. Джалолов, Н.И. Юнусов, У.А. Турсунбадалов, Дж.Р. Хасанов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления № 35 2020г. стр. 43–56.

[6–А]. **Зиёев Ш.Ш.** Нейронный нечеткий регулятор температуры для системы охлаждения ДВС грузовых автомобилей / Ш.Ш. Зиёев, Н.И. Юнусов, У.Х.

Джалолов, У.А. Турсунбадалов // Политехнический вестник. Серия Интеллект. Инновации. Инвестиции. № 4 (52) 2020г. стр. 39–44.

[7–А]. **Зиёев Ш.Ш.** Позиционное управление системой охлаждения двс с применением элементов искусственного интеллекта / Ш.Ш. Зиёев // Политехнический вестник. Серия Интеллект. Инновации. Инвестиции. № 3 (55) 2021г. стр. 68–73.

[8–А]. **Зиёев Ш.Ш.** Прогностический контроль и управление процессом охлаждения дизельного двигателя внутреннего сгорания на основе нечеткой логики и нейросетевой модели / Ш.Ш. Зиёев, Р.М. Бандишоева, У.Х. Джалолов, М.А. Абдулло // Политехнический вестник. Серия Интеллект. Инновации. Инвестиции. № 4 (56) 2021г. стр. 65–74.

[9–А]. **Зиёев Ш.Ш.** Исследование температурных режимов работы систем охлаждения двигателей строительных машин / Ш.Ш. Зиёев, Н.И. Юнусов, Б.Г. Ким, Р.А. Насруллоева // Журнал Строительные и дорожные машины. Наземные транспортно–технологические средства и комплексы. № 9/2023г. стр. 17–22.

[10–А]. **Зиёев Ш.Ш.** Устройство для дополнительного охлаждения двигателей внутреннего сгорания. Патент ТЈ 1447, Заявка № 1801183 от 01.03.2018 г. Зарегистрировано в государственном реестре изобретений РТ от 20.06.2018 г. /Зиёев Ш Ш., Юнусов Н.И., Джалолов У.Х., Холов Ш.Ё., Турсунбадалов У.А., Бандишоева Р.М., Толибова С.Н.

Публикации в материалах научных конференций:

[11–А]. **Зиёев Ш.Ш.** Исследование работы устройства дополнительного охлаждения ДДВС / Ш.Ш. Зиёев, Н.И. Юнусов, У.Х. Джалолов, У.А.Турсунбадалов, С.А. Махмадов // Материалы III научно – практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Наука – основы инновационного развития» ТГУ 26–27 апрель 2018 стр. 270–273.

[12–А]. **Зиёев Ш.Ш.** Управление температурой теплоносителя в системе охлаждения двигателей внутреннего сгорания / Ш.Ш. Зиёев, Н.И. Юнусов, С.А. Махмадов, Ш.Ё. Холов // Материалы Международной научно–практической

конференции «Применение информационно–телекоммуникационных технологий в создании электронного правительства и индустриализации страны» 2020г. стр. 14–19.

[13–А]. **Зиёев Ш.Ш.** Исследование влияния на переходный процесс САР постоянного времени дополнительного устройства охлаждения дизельного ДВС / Ш.Ш. Зиёев, Н.И. Юнусов, Ш. Амиршоев, М.К. Оева // Материалы республиканской научно–практической конференции “Наука – основа инновационного развития” Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. Душанбе. – 2023г. стр. 106–110.

[14–А]. **Зиёев Ш.Ш.** Управление дополнительным устройством охлаждения температурой теплоносителя в системе охлаждения двигателя внутреннего сгорания / Ш.Ш. Зиёев, Н.И. Юнусов, С.А. Махмадов, М.К. Оева // Материалы республиканской научно–практической конференции на тему «Применение информационно–коммуникационных технологий в индустриализации страны», посвященной четвертой национальной стратегической цели // Технический университет Таджикистана имени академика М.С. Осими. Душанбе, 2022г. стр. 395–402.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

<p>ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН</p>		<p>ИДОРАИ ПАТЕНТИ</p>
<h2>НАХУСПАТЕНТ</h2>		
<p>№ ТҶ 909</p>		
<p>БА ИХТИРОИ</p>		
<p><i>Сохтор барои хунуккунии иловагии муҳаррикҳои дарунсӯз</i></p>		
<p>Дорандаи нахуспатент</p>	<p>Зиёев Шухрат Шарофидинович</p>	
<p>Сарзамин</p>	<p>Ҷумҳурии Тоҷикистон</p>	
<p>Муаллиф(он)</p>	<p>Юнусов Н.И., Ҷалолов У.Х., Ёридишоева Р.М., Зиёев Ш.Ш., Холов Ш.Ё., Турсунбадалов У.А., Толибова С.Н.</p>	
<p>Аввалияти ихтироъ</p>	<p>01.03.2018</p>	
<p>Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза</p>	<p>01.03.2018</p>	
<p>Аризаи</p>	<p>№ 1801183</p>	
<p>Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои</p>	<p>Ҷумҳурии Тоҷикистон 20 шони с. 2018 ба қайд гирифта шуд</p>	
<p>Нахуспатент</p>	<p>этибор дорад аз 1 март</p>	<p>с. 2018 то 1 март с. 2028</p>
	<p>ДИРЕКТОР</p>	 <p>Ч.Чумъахонзода</p>

ПРИЛОЖЕНИЕ Б



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН
ТАДЖИКСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени академика М.С. Осими

*734042, Душанбе, просп. академиков Раджабовых, 10, Тел.: (992 37) 221-35-11, Факс: (992 37) 221-71-35,
 E-mail: ttu@mail.ru, Web: www.ttu.tj*

от «__» _____ 2024 г. № _____

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ТТУ им. акад. М.С. Осими
 Давлатзода Кудрат Камбар

«__» _____ 2024г.

А К Т

о реализации научных результатов, полученных в диссертации Зиёева Шухрата Шарофидиновича на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей» на тему: «Бортовая система стабилизации температуры охлаждающей жидкости грузовых автомобилей с применением интеллектуальных технологий»

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе председателя комиссии – первого проректора, проректора по учебной работе, к.т.н., доцента Маджидзода Т.С., членов комиссии: начальника учебно-методического управления д.т.н., доцента Сайдализода А.С., начальника управления по науке и инновациям, к.т.н. Бозорова Ш.А. заведующего кафедрой «Автоматизация технологических процессов и производств» (АТП и П) к.т.н., доцента Бандишоевой Р.М., к.т.н., доцента кафедры АТП и П Юнусова Н.И., составили настоящий акт о том, что материалы диссертационной работы старшего преподавателя кафедры Автоматизации технологических процессов и производств Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими Зиёева Шухрата Шарофидиновича, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей» имеют научное и практическое значение и используются в учебном процессе в качестве лабораторной работы по предмету «Технические средства автоматизации и управления», для бакалавров специальности 1-530107 – Информационные технологии и управления в технических системах, а также в лекционных занятиях в рамках курса «Мехатроника и интеллектуальные системы», «Обработка цифровых сигналов», «Программирование микроконтроллеров» и «Программируемые логические контроллеры» при реализации программы бакалавриата и магистратуры по специальности 1-530101 – Автоматизация технологических процессов и производств.

В ходе проверки работы, представленного учебно-исследовательского лабораторного стенда, были установлены следующие результаты:

- исследованы различные режимы работы системы охлаждения: температура системы при холостом ходе и различных нагрузках, которые воспроизводятся асинхронным двигателем, работающим в генераторном режиме; работа двигателя с различными скоростями, которые имитируются с применением вентилятора; а также управление температурным режимом с применением дополнительного устройства;

- разработан интерфейс системы сбора и обработки информации «MONHAR», позволяющий представлять информацию, при необходимости, в табличной форме, а также в виде графиков;

- испытания, проведенные на стенде, показали, что при выводе системы охлаждения из нормального режима, она вновь возвращается в стабильный режим работы в достаточно короткое время (2-3 мин.).

Полученные результаты позволяют сделать вывод об эффективности применения дополнительного охладителя для стабилизации температурного режима работы двигателя под нагрузкой в различных температурных режимах окружающей среды. Используются имитации температурных режимов путем подогрева воздуха помещения, нагревателем. Работа под различной скоростью имитируется бытовым вентилятором. Генератор, подключенный к выходу редуктора, воспроизводит нагрузку на двигатель, при этом к генератору можно подключать лампочки различной мощности.

Комиссии, также были представлены материалы, отражающие данную тематику на лекционных занятиях по указанным выше курсам.

Комиссия на основании представленных материалов, а также проверки работы лабораторного стенда пришла к выводу, что действительно материалы диссертационной работы внедрены в учебный процесс и успешно эксплуатируются.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ КОМИССИИ

Первый проректор
Проректор по учебной работе

Маджидзода Т.С.

ЧЛЕНЫ КОМИССИИ:

Начальник учебно-методического
управления

Сайдализода А.С.

Начальник управления по науке
и инновациям

Бозоров Ш.А.

и.о. зав. кафедрой «АТП и П»
к.т.н., доцент кафедры «АТП и П»

Бандишоева Р.М.

Юнусов Н.И.

Подписи Маджидзода Т.С., Сайдализода А.С., Бозорова Ш.А. Бандишоевой Р.М.,
Юнусова Н.И. **ЗАВЕРЯЮ**

Начальник ОК и СР
ТТУ имени академика М.С. Осими

Кодирзода Н.Х.



ПРИЛОЖЕНИЕ В**Код программы Arduino, использующий датчики физических величин**

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

double T[4]={10,15,20,25};
bool f=false;

// линия данных подключена к цифровому выводу 2 Arduino
#define ONE_WIRE_BUS 9

// настройка объекта oneWire для связи с любым устройством OneWire
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

// передать ссылку на oneWire библиотеке DallasTemperature
DallasTemperature sensors(&oneWire);

int deviceCount = 0;
float tempC;

void setup(void)
{
  sensors.begin();    // запустить библиотеку
  Serial.begin(9600);

  // найти устройства на шине
  Serial.print("Locating devices...");
  Serial.print("Found ");
  deviceCount = sensors.getDeviceCount();
  Serial.print(deviceCount, DEC);
  Serial.println(" devices.");
  Serial.println("");
}

void loop(void)
{
  // послать команду всем датчикам для преобразования температуры
  sensors.requestTemperatures();

  for (int i = 0; i < deviceCount; i++)
  {
    Serial.print("T");
    Serial.print(i+1);
    Serial.print(": ");
    tempC = sensors.getTempCByIndex(i);
```

```

    Serial.print(tempC);
    Serial.print("*");//
    Serial.print("C      ");
}

/*
    T[0]=random(150);
    T[1]=random(-150, 150);
    T[2]=random(-150, 150);
    T[3]=random(-150, 150);
*/

Serial.println("");
//Dar injo vaqt guzoshta meshavad
delay(10000);
}

```

Управляющая программа для записи данных наблюдения в файле среды Excel

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Runtime.InteropServices;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using Microsoft.Office.Interop.Excel;
namespace Forma
{
    public static class ExcelService
    {
        public static void CreatExcel(List<StateMotor> states)
        {
            string date = DateTime.Now.ToShortDateString();
            date = date.Replace('/', '-');

            string fileName = "D:\\\" + date + ".xls";
            Application excelApplication = null;
            int row = 2;
            try
            {
                excelApplication = new Application();
                Workbook excelWorkBook =
excelApplication.Workbooks.Add();
                Worksheet worksheet =
(Worksheet)excelWorkBook.Worksheets[1];

                worksheet.Cells[1, 1] = "Time";
            }
        }
    }
}

```

```
        worksheet.Cells[1, 2] = "T1";
        worksheet.Cells[1, 3] = "T2";
        worksheet.Cells[1, 4] = "T3";
        worksheet.Cells[1, 5] = "T4";

        foreach (var item in states)
        {
            worksheet.Cells[row, 1] =
DateTime.Now.ToShortTimeString();
            worksheet.Cells[row, 2] = item._T1;
            worksheet.Cells[row, 3] = item._T2;
            worksheet.Cells[row, 4] = item._T3;
            worksheet.Cells[row, 5] = item._T4;
            row++;
        }

        excelWorkBook.SaveAs(fileName);

    }catch(Exception ex)
    {
        Console.WriteLine(ex.Message);

    }finally
    {
        if (excelApplication != null)
        {
            excelApplication.Quit();
            Marshal.FinalReleaseComObject(excelApplication);
        }
    }
}
}
```

Код программы для чтения данных от микроконтроллера через порт компьютера

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Text.RegularExpressions;
using System.Threading.Tasks;
```

```
using System.Windows.Forms;
using System.IO.Ports;

namespace Forma
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();

            List<StateMotor> stateMotors = new List<StateMotor>();

            public static SerialPort _port;

            double T1, T2, T3, T4, Redy = 0;
            int count = 0;
            bool R = false;

            private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
            {
                _port = new SerialPort();

                foreach (string s in SerialPort.GetPortNames())
                {
                    comboBox1.Items.Add(s);
                }
                comboBox1.Text = _port.PortName;
                textBox1.Text = _port.BaudRate.ToString();
                textBox2.Text = _port.DataBits.ToString();

                foreach (string s in Enum.GetNames(typeof(StopBits)))
                {
                    comboBox2.Items.Add(s);
                }
                comboBox2.Text = _port.StopBits.ToString();
                foreach (string s in Enum.GetNames(typeof(Parity)))
                {
                    comboBox3.Items.Add(s);
                }
                comboBox3.Text = _port.Parity.ToString();
            }

            private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
            {
                if (!_port.IsOpen)
```

```

    {
        try
        {
            _port.PortName = comboBox1.Text;
            _port.BaudRate = int.Parse(textBox1.Text);
            _port.DataBits = int.Parse(textBox2.Text);
            _port.StopBits =
(StopBits)Enum.Parse(typeof(StopBits),
                comboBox2.Text, true);
            _port.Parity = (Parity)Enum.Parse(typeof(Parity),
                comboBox3.Text, true);
            _port.Open();
            _port.DataReceived += new
SerialDataReceivedEventHandler(Read);
            button2.BackColor = Color.Green;
        }
        catch (Exception ex)
        {
            MessageBox.Show(ex.Message, "Error",
                MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
            button2.BackColor = Color.Red;
        }
    }

    timer1.Start();
}

private void Form1_FormClosed(object sender,
FormClosedEventArgs e)
{
    if (_port.IsOpen)
    {
        _port.Close();
    }
    ExcelService.CreatExcel(stateMotors);
}

private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (_port.IsOpen)
    {
        _port.WriteLine(textBox3.Text);
    }
}

private void Read(Object sender, SerialDataReceivedEventArgs
arg)

```

```

    {
        this.BeginInvoke(new delToPrint(printData),
            _port.ReadLine());
    }

    private void timer1_Tick(object sender, EventArgs e)
    {
        var state = new StateMotor
        {
            _T1 = T1,
            _T2 = T2,
            _T3 = T3,
            _T4 = T4
        };
        stateMotors.Add(state);
    }

    private delegate void delToPrint(string s);

    private void printData(string s)
    {
        //drawGraphic(s);
        listBox1.Items.Add(s);
        string[] tmp =Regex.Split(s,@"\s+");
        //textBox3.Text = s;
        if (tmp.Length>7)
        {
            T1 =
Convert.ToDouble(Regex.Replace(tmp[1],@"\*C", ""));
            T2 = Convert.ToDouble(Regex.Replace(tmp[3],@"\*C",
""));
            T3 = Convert.ToDouble(Regex.Replace(tmp[5],@"\*C",
""));
            T4 = Convert.ToDouble(Regex.Replace(tmp[7], @"\*C",
""));
            count++;

            chart1.Series["T1"].Points.AddXY(Redy, T1);
            chart1.Series["T2"].Points.AddXY(Redy, T2);
            chart1.Series["T3"].Points.AddXY(Redy, T3);
            chart1.Series["T4"].Points.AddXY(Redy, T4);

            if (count > 40)
            {
                chart1.Series["T1"].Points.RemoveAt(0);
            }
        }
    }

```

```

        chart1.Series["T2"].Points.RemoveAt(0);
        chart1.Series["T3"].Points.RemoveAt(0);
        chart1.Series["T4"].Points.RemoveAt(0);
    }
}

private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
{
    listBox1.Items.Clear();
}

private void button4_Click(object sender, EventArgs e)
{
    string sPath = textBox3.Text;

    System.IO.StreamWriter SaveFile = new
System.IO.StreamWriter(sPath);
    foreach (var item in listBox1.Items)
    {
        SaveFile.WriteLine(item);
    }

    SaveFile.Close();

    MessageBox.Show("Programs saved!");
}
}
}

```

Код интерфейса управляющей программы

```

namespace Forma
{
    partial class Form1
    {
        /// <summary>
        /// Required designer variable.
        /// </summary>
        private System.ComponentModel.IContainer components = null;

        /// <summary>
        /// Clean up any resources being used.
        /// </summary>
        /// <param name="disposing">true if managed resources should
be disposed; otherwise, false.</param>
        protected override void Dispose(bool disposing)

```

```

    {
        if (disposing && (components != null))
        {
            components.Dispose();
        }
        base.Dispose(disposing);
    }

    #region Windows Form Designer generated code

    /// <summary>
    /// Required method for Designer support - do not modify
    /// the contents of this method with the code editor.
    /// </summary>
    private void InitializeComponent()
    {
        this.components = new System.ComponentModel.Container();
        System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting.ChartArea
chartArea4 = new
System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting.ChartArea();
        System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting.Legend
legend4 = new
System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting.Legend();
        System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting.Series
series13 = new
System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting.Series();
        System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting.Series
series14 = new
System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting.Series();
        System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting.Series
series15 = new
System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting.Series();
        System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting.Series
series16 = new
System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting.Series();
        this.tableLayoutPanel1 = new
System.Windows.Forms.TableLayoutPanel();
        this.chart1 = new
System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting.Chart();
        this.tableLayoutPanel2 = new
System.Windows.Forms.TableLayoutPanel();
        this.groupBox1 = new System.Windows.Forms.GroupBox();
        this.button2 = new System.Windows.Forms.Button();
        this.label1 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.label5 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.comboBox1 = new System.Windows.Forms.ComboBox();
        this.comboBox3 = new System.Windows.Forms.ComboBox();
    }

```



```

        this.label2 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.comboBox2 = new System.Windows.Forms.ComboBox();
        this.textBox1 = new System.Windows.Forms.TextBox();
        this.label4 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.label3 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.textBox2 = new System.Windows.Forms.TextBox();
        this.tableLayoutPanel3 = new
System.Windows.Forms.TableLayoutPanel();
        this.listBox1 = new System.Windows.Forms.ListBox();
        this.tableLayoutPanel4 = new
System.Windows.Forms.TableLayoutPanel();
        this.button4 = new System.Windows.Forms.Button();
        this.button3 = new System.Windows.Forms.Button();
        this.textBox3 = new System.Windows.Forms.TextBox();
        this.button1 = new System.Windows.Forms.Button();
        this.timer1 = new
System.Windows.Forms.Timer(this.components);
        this.tableLayoutPanel1.SuspendLayout();

        ((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.chart1)).BeginInit();
        this.tableLayoutPanel2.SuspendLayout();
        this.groupBox1.SuspendLayout();
        this.tableLayoutPanel3.SuspendLayout();
        this.tableLayoutPanel4.SuspendLayout();
        this.SuspendLayout();
        //
        // tableLayoutPanel1
        //
        this.tableLayoutPanel1.ColumnCount = 1;
        this.tableLayoutPanel1.ColumnStyles.Add(new
System.Windows.Forms.ColumnStyle(System.Windows.Forms.SizeType.Percent
, 50F));
        this.tableLayoutPanel1.Controls.Add(this.chart1, 0, 0);

        this.tableLayoutPanel1.Controls.Add(this.tableLayoutPanel2, 0, 1);
        this.tableLayoutPanel1.Dock =
System.Windows.Forms.DockStyle.Fill;
        this.tableLayoutPanel1.Location = new
System.Drawing.Point(0, 0);
        this.tableLayoutPanel1.Margin = new
System.Windows.Forms.Padding(4);
        this.tableLayoutPanel1.Name = "tableLayoutPanel1";
        this.tableLayoutPanel1.RowCount = 2;
        this.tableLayoutPanel1.RowStyles.Add(new
System.Windows.Forms.RowStyle(System.Windows.Forms.SizeType.Percent,
62.76446F));

```

```

        this.tableLayoutPanel1.RowStyle.Add(new
System.Windows.Forms.RowStyle(System.Windows.Forms.SizeType.Percent,
37.23554F));
        this.tableLayoutPanel1.Size = new
System.Drawing.Size(1387, 873);
        this.tableLayoutPanel1.TabIndex = 0;
        //
        // chart1
        //
        chartArea4.Name = "ChartArea1";
        this.chart1.ChartAreas.Add(chartArea4);
        this.chart1.Dock = System.Windows.Forms.DockStyle.Fill;
        legend4.Name = "Legend1";
        this.chart1.Legends.Add(legend4);
        this.chart1.Location = new System.Drawing.Point(4, 4);
        this.chart1.Margin = new System.Windows.Forms.Padding(4);
        this.chart1.Name = "chart1";
        series13.BorderWidth = 3;
        series13.ChartArea = "ChartArea1";
        series13.ChartType =
System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting.SeriesChartType.Spline
;
        series13.Legend = "Legend1";
        series13.Name = "T1";
        series14.BorderWidth = 3;
        series14.ChartArea = "ChartArea1";
        series14.ChartType =
System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting.SeriesChartType.Spline
;
        series14.Color = System.Drawing.Color.Lime;
        series14.Legend = "Legend1";
        series14.Name = "T2";
        series15.BorderWidth = 3;
        series15.ChartArea = "ChartArea1";
        series15.ChartType =
System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting.SeriesChartType.Spline
;
        series15.Color = System.Drawing.Color.Red;
        series15.Legend = "Legend1";
        series15.Name = "T3";
        series16.BorderWidth = 3;
        series16.ChartArea = "ChartArea1";
        series16.ChartType =
System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting.SeriesChartType.Spline
;
        series16.Color = System.Drawing.Color.Black;
        series16.Legend = "Legend1";

```

```
series16.Name = "T4";
this.chart1.Series.Add(series13);
this.chart1.Series.Add(series14);
this.chart1.Series.Add(series15);
this.chart1.Series.Add(series16);
this.chart1.Size = new System.Drawing.Size(1379, 539);
this.chart1.TabIndex = 0;
this.chart1.Text = "chart1";
//
// tableLayoutPanel2
//
this.tableLayoutPanel2.ColumnCount = 2;
this.tableLayoutPanel2.ColumnStyles.Add(new
System.Windows.Forms.ColumnStyle(System.Windows.Forms.SizeType.Percent
, 19.92263F));
this.tableLayoutPanel2.ColumnStyles.Add(new
System.Windows.Forms.ColumnStyle(System.Windows.Forms.SizeType.Percent
, 80.07737F));
this.tableLayoutPanel2.Controls.Add(this.groupBox1, 0, 0);

this.tableLayoutPanel2.Controls.Add(this.tableLayoutPanel3, 1, 0);
this.tableLayoutPanel2.Dock =
System.Windows.Forms.DockStyle.Fill;
this.tableLayoutPanel2.Location = new
System.Drawing.Point(4, 551);
this.tableLayoutPanel2.Margin = new
System.Windows.Forms.Padding(4);
this.tableLayoutPanel2.Name = "tableLayoutPanel2";
this.tableLayoutPanel2.RowCount = 1;
this.tableLayoutPanel2.RowStyles.Add(new
System.Windows.Forms.RowStyle(System.Windows.Forms.SizeType.Percent,
50F));
this.tableLayoutPanel2.Size = new
System.Drawing.Size(1379, 318);
this.tableLayoutPanel2.TabIndex = 1;
//
// groupBox1
//
this.groupBox1.Controls.Add(this.button2);
this.groupBox1.Controls.Add(this.label1);
this.groupBox1.Controls.Add(this.label5);
this.groupBox1.Controls.Add(this.comboBox1);
this.groupBox1.Controls.Add(this.comboBox3);
this.groupBox1.Controls.Add(this.label2);
this.groupBox1.Controls.Add(this.comboBox2);
this.groupBox1.Controls.Add(this.textBox1);
this.groupBox1.Controls.Add(this.label4);
```

```

        this.groupBox1.Controls.Add(this.label3);
        this.groupBox1.Controls.Add(this.textBox2);
        this.groupBox1.Dock = System.Windows.Forms.DockStyle.Left;
        this.groupBox1.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft
System.Windows.Forms.Padding(4);
        this.groupBox1.Location = new System.Drawing.Point(4, 4);
        this.groupBox1.Margin = new
System.Windows.Forms.Padding(4);
        this.groupBox1.Name = "groupBox1";
        this.groupBox1.Padding = new
System.Windows.Forms.Padding(4);
        this.groupBox1.Size = new System.Drawing.Size(265, 310);
        this.groupBox1.TabIndex = 12;
        this.groupBox1.TabStop = false;
        this.groupBox1.Text = "Танзимоти Порт";
        //
        // button2
        //
        this.button2.Location = new System.Drawing.Point(9, 271);
        this.button2.Margin = new System.Windows.Forms.Padding(4);
        this.button2.Name = "button2";
        this.button2.Size = new System.Drawing.Size(248, 47);
        this.button2.TabIndex = 11;
        this.button2.Text = "Open";
        this.button2.UseVisualStyleBackColor = true;
        this.button2.Click += new
System.EventHandler(this.button2_Click);
        //
        // label1
        //
        this.label1.AutoSize = true;
        this.label1.Location = new System.Drawing.Point(17, 59);
        this.label1.Margin = new System.Windows.Forms.Padding(4,
0, 4, 0);
        this.label1.Name = "label1";
        this.label1.Size = new System.Drawing.Size(87, 24);
        this.label1.TabIndex = 1;
        this.label1.Text = "Поротҳо";
        //
        // label5
        //
        this.label5.AutoSize = true;
        this.label5.Location = new System.Drawing.Point(17, 241);
        this.label5.Margin = new System.Windows.Forms.Padding(4,
0, 4, 0);
        this.label5.Name = "label5";
        this.label5.Size = new System.Drawing.Size(55, 24);

```

```

        this.label5.TabIndex = 10;
        this.label5.Text = "Parity";
        //
        // comboBox1
        //
        this.comboBox1.FormattingEnabled = true;
        this.comboBox1.Location = new System.Drawing.Point(113,
49);
        this.comboBox1.Margin = new
System.Windows.Forms.Padding(4);
        this.comboBox1.Name = "comboBox1";
        this.comboBox1.Size = new System.Drawing.Size(145, 32);
        this.comboBox1.TabIndex = 0;
        //
        // comboBox3
        //
        this.comboBox3.FormattingEnabled = true;
        this.comboBox3.Location = new System.Drawing.Point(113,
231);
        this.comboBox3.Margin = new
System.Windows.Forms.Padding(4);
        this.comboBox3.Name = "comboBox3";
        this.comboBox3.Size = new System.Drawing.Size(145, 32);
        this.comboBox3.TabIndex = 9;
        //
        // label2
        //
        this.label2.AutoSize = true;
        this.label2.Location = new System.Drawing.Point(17, 103);
        this.label2.Margin = new System.Windows.Forms.Padding(4,
0, 4, 0);
        this.label2.Name = "label2";
        this.label2.Size = new System.Drawing.Size(91, 24);
        this.label2.TabIndex = 3;
        this.label2.Text = "Boud rate";
        //
        // comboBox2
        //
        this.comboBox2.FormattingEnabled = true;
        this.comboBox2.Location = new System.Drawing.Point(113,
181);
        this.comboBox2.Margin = new
System.Windows.Forms.Padding(4);
        this.comboBox2.Name = "comboBox2";
        this.comboBox2.Size = new System.Drawing.Size(145, 32);
        this.comboBox2.TabIndex = 8;
        //

```

```
// textBox1
//
this.textBox1.Location = new System.Drawing.Point(113,
96);
    this.textBox1.Margin = new
System.Windows.Forms.Padding(4);
    this.textBox1.Name = "textBox1";
    this.textBox1.Size = new System.Drawing.Size(145, 29);
    this.textBox1.TabIndex = 4;
//
// label4
//
this.label4.AutoSize = true;
this.label4.Location = new System.Drawing.Point(17, 191);
this.label4.Margin = new System.Windows.Forms.Padding(4,
0, 4, 0);
    this.label4.Name = "label4";
    this.label4.Size = new System.Drawing.Size(81, 24);
    this.label4.TabIndex = 7;
    this.label4.Text = "Stop bits";
//
// label3
//
this.label3.AutoSize = true;
this.label3.Location = new System.Drawing.Point(17, 146);
this.label3.Margin = new System.Windows.Forms.Padding(4,
0, 4, 0);
    this.label3.Name = "label3";
    this.label3.Size = new System.Drawing.Size(80, 24);
    this.label3.TabIndex = 5;
    this.label3.Text = "Data bits";
//
// textBox2
//
this.textBox2.Location = new System.Drawing.Point(113,
139);
    this.textBox2.Margin = new
System.Windows.Forms.Padding(4);
    this.textBox2.Name = "textBox2";
    this.textBox2.Size = new System.Drawing.Size(145, 29);
    this.textBox2.TabIndex = 6;
//
// tableLayoutPanel3
//
this.tableLayoutPanel3.ColumnCount = 1;
```

```

        this.tableLayoutPanel3.ColumnStyles.Add(new
System.Windows.Forms.ColumnStyle(System.Windows.Forms.SizeType.Percent
, 50F));
        this.tableLayoutPanel3.Controls.Add(this.listBox1, 0, 0);

this.tableLayoutPanel3.Controls.Add(this.tableLayoutPanel4, 0, 1);
        this.tableLayoutPanel3.Dock =
System.Windows.Forms.DockStyle.Fill;
        this.tableLayoutPanel3.Location = new
System.Drawing.Point(278, 4);
        this.tableLayoutPanel3.Margin = new
System.Windows.Forms.Padding(4);
        this.tableLayoutPanel3.Name = "tableLayoutPanel3";
        this.tableLayoutPanel3.RowCount = 2;
        this.tableLayoutPanel3.RowStyles.Add(new
System.Windows.Forms.RowStyle(System.Windows.Forms.SizeType.Percent,
83.73016F));
        this.tableLayoutPanel3.RowStyles.Add(new
System.Windows.Forms.RowStyle(System.Windows.Forms.SizeType.Percent,
16.26984F));
        this.tableLayoutPanel3.Size = new
System.Drawing.Size(1097, 310);
        this.tableLayoutPanel3.TabIndex = 13;
        //
        // listBox1
        //
        this.listBox1.Dock = System.Windows.Forms.DockStyle.Fill;
        this.listBox1.FormattingEnabled = true;
        this.listBox1.ItemHeight = 16;
        this.listBox1.Location = new System.Drawing.Point(4, 4);
        this.listBox1.Margin = new
System.Windows.Forms.Padding(4);
        this.listBox1.Name = "listBox1";
        this.listBox1.Size = new System.Drawing.Size(1089, 251);
        this.listBox1.TabIndex = 5;
        //
        // tableLayoutPanel4
        //
        this.tableLayoutPanel4.ColumnCount = 4;
        this.tableLayoutPanel4.ColumnStyles.Add(new
System.Windows.Forms.ColumnStyle(System.Windows.Forms.SizeType.Percent
, 25F));
        this.tableLayoutPanel4.ColumnStyles.Add(new
System.Windows.Forms.ColumnStyle(System.Windows.Forms.SizeType.Percent
, 25F));

```

```

        this.tableLayoutPanel4.ColumnStyles.Add(new
System.Windows.Forms.ColumnStyle(System.Windows.Forms.SizeType.Percent
, 25F));
        this.tableLayoutPanel4.ColumnStyles.Add(new
System.Windows.Forms.ColumnStyle(System.Windows.Forms.SizeType.Percent
, 25F));
        this.tableLayoutPanel4.Controls.Add(this.button4, 3, 0);
        this.tableLayoutPanel4.Controls.Add(this.button3, 2, 0);
        this.tableLayoutPanel4.Controls.Add(this.textBox3, 1, 0);
        this.tableLayoutPanel4.Controls.Add(this.button1, 0, 0);
        this.tableLayoutPanel4.Dock =
System.Windows.Forms.DockStyle.Fill;
        this.tableLayoutPanel4.Location = new
System.Drawing.Point(4, 263);
        this.tableLayoutPanel4.Margin = new
System.Windows.Forms.Padding(4);
        this.tableLayoutPanel4.Name = "tableLayoutPanel4";
        this.tableLayoutPanel4.RowCount = 1;
        this.tableLayoutPanel4.RowStyles.Add(new
System.Windows.Forms.RowStyle(System.Windows.Forms.SizeType.Percent,
100F));
        this.tableLayoutPanel4.Size = new
System.Drawing.Size(1089, 43);
        this.tableLayoutPanel4.TabIndex = 6;
        //
        // button4
        //
        this.button4.Dock = System.Windows.Forms.DockStyle.Fill;
        this.button4.Location = new System.Drawing.Point(820, 4);
        this.button4.Margin = new System.Windows.Forms.Padding(4);
        this.button4.Name = "button4";
        this.button4.Size = new System.Drawing.Size(265, 35);
        this.button4.TabIndex = 13;
        this.button4.Text = "Save to file";
        this.button4.UseVisualStyleBackColor = true;
        this.button4.Click += new
System.EventHandler(this.button4_Click);
        //
        // button3
        //
        this.button3.Dock = System.Windows.Forms.DockStyle.Fill;
        this.button3.Location = new System.Drawing.Point(548, 4);
        this.button3.Margin = new System.Windows.Forms.Padding(4);
        this.button3.Name = "button3";
        this.button3.Size = new System.Drawing.Size(264, 35);
        this.button3.TabIndex = 12;
        this.button3.Text = "Clear";

```



```

        this.button3.UseVisualStyleBackColor = true;
        this.button3.Click += new
System.EventHandler(this.button3_Click);
        //
        // textBox3
        //
        this.textBox3.Dock = System.Windows.Forms.DockStyle.Fill;
        this.textBox3.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft
Sans Serif", 14.25F, System.Drawing.FontStyle.Regular,
System.Drawing.GraphicsUnit.Point, ((byte)(204)));
        this.textBox3.Location = new System.Drawing.Point(276, 4);
        this.textBox3.Margin = new
System.Windows.Forms.Padding(4);
        this.textBox3.Name = "textBox3";
        this.textBox3.Size = new System.Drawing.Size(264, 34);
        this.textBox3.TabIndex = 6;
        this.textBox3.Text = "save.txt";
        //
        // button1
        //
        this.button1.Dock = System.Windows.Forms.DockStyle.Fill;
        this.button1.Location = new System.Drawing.Point(4, 4);
        this.button1.Margin = new System.Windows.Forms.Padding(4);
        this.button1.Name = "button1";
        this.button1.Size = new System.Drawing.Size(264, 35);
        this.button1.TabIndex = 4;
        this.button1.Text = "Send";
        this.button1.UseVisualStyleBackColor = true;
        this.button1.Click += new
System.EventHandler(this.button1_Click);
        //
        // timer1
        //
        this.timer1.Interval = 50;
        this.timer1.Tick += new
System.EventHandler(this.timer1_Tick);
        //
        // Form1
        //
        this.AutoScaleDimensions = new System.Drawing.SizeF(8F,
16F);
        this.AutoScaleMode =
System.Windows.Forms.AutoScaleMode.Font;
        this.ClientSize = new System.Drawing.Size(1387, 873);
        this.Controls.Add(this.tableLayoutPanel1);
        this.Margin = new System.Windows.Forms.Padding(4);
        this.Name = "Form1";

```

```

        this.Text = "Form1";
        this.FormClosed += new
System.Windows.Forms.FormClosedEventHandler(this.Form1_FormClosed);
        this.Load += new System.EventHandler(this.Form1_Load);
        this.tableLayoutPanel1.ResumeLayout(false);

((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.chart1)).EndInit();
        this.tableLayoutPanel2.ResumeLayout(false);
        this.groupBox1.ResumeLayout(false);
        this.groupBox1.PerformLayout();
        this.tableLayoutPanel3.ResumeLayout(false);
        this.tableLayoutPanel4.ResumeLayout(false);
        this.tableLayoutPanel4.PerformLayout();
        this.ResumeLayout(false);

    }

#endregion

    private System.Windows.Forms.TableLayoutPanel
tableLayoutPanel1;
    private System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting.Chart
chart1;
    private System.Windows.Forms.TableLayoutPanel
tableLayoutPanel2;
    private System.Windows.Forms.GroupBox groupBox1;
    private System.Windows.Forms.Button button2;
    private System.Windows.Forms.Label label1;
    private System.Windows.Forms.Label label5;
    private System.Windows.Forms.ComboBox comboBox1;
    private System.Windows.Forms.ComboBox comboBox3;
    private System.Windows.Forms.Label label2;
    private System.Windows.Forms.ComboBox comboBox2;
    private System.Windows.Forms.TextBox textBox1;
    private System.Windows.Forms.Label label4;
    private System.Windows.Forms.Label label3;
    private System.Windows.Forms.TextBox textBox2;
    private System.Windows.Forms.Button button1;
    private System.Windows.Forms.TextBox textBox3;
    private System.Windows.Forms.TableLayoutPanel
tableLayoutPanel3;
    private System.Windows.Forms.ListBox listBox1;
    private System.Windows.Forms.TableLayoutPanel
tableLayoutPanel4;
    private System.Windows.Forms.Button button4;
    private System.Windows.Forms.Button button3;
    private System.Windows.Forms.Timer timer1;

```

```
    }
}
```

Основной код программы EntryPoint

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace Forma
{
    static class Program
    {
        /// <summary>
        /// The main entry point for the application.
        /// </summary>
        [STAThread]
        static void Main()
        {
            Application.EnableVisualStyles();
            Application.SetCompatibleTextRenderingDefault(false);
            Application.Run(new Form1());
        }
    }
}
```

Программный код модели данных

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

namespace Forma
{
    public class StateMotor
    {
        public double _T1 { get; set; }
        public double _T2 { get; set; }
        public double _T3 { get; set; }
        public double _T4 { get; set; }
    }
}
```