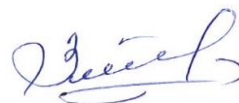


**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
ТАДЖИКИСТАН**

**ТАДЖИКСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени академика М.С. Осими**

На правах рукописи



УДК 621.43.013:622.43+681.5

ЗИЁЕВ ШУХРАТ ШАРОФИДИНОВИЧ

**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 Низомуддин Исмоилович

Душанбе – 2025

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. ДИЗЕЛЬНЫЙ ГРУЗОВОЙ АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ КАК ОБЪЕКТ ДИАГНОСТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ	11
1.1. Автоматизированные системы управления системой охлаждения дизельного ДВС	11
1.2. Системы дополнительного охлаждения двигателя внутреннего сгорания	14
1.3. Автоматизация процессов охлаждения двигателя внутреннего сгорания	17
1.4. Многоканальная сенсорная система диагностики дефектов двигателя внутреннего сгорания с использованием глубокой нейронной сети	22
Выводы по первой главе	31
ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ДИЗЕЛЬНОГО ДВС	32
2.1. Исследование работы устройства дополнительного охлаждения дизельного ДВС	32
2.2. Нечеткое управление процессами в системе охлаждения дизельного ДВС с дополнительным устройством	37
2.3. Идентификация параметров разгонной характеристики двигателя внутреннего сгорания	46
2.4. Интеллектуальная система контроля параметров системы охлаждения двигателя	51
Выводы по второй главе	60
ГЛАВА 3. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ И АЛГОРИТМОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ ДВС	61
3.1. Разработка нейронного нечеткого регулятора термического состояния двигателя	61
3.2. Позиционное управление системой охлаждения ДВС с применением элементов искусственного интеллекта	68
3.3. Задачи диагностики и прогнозирования состояния ДВС на основе принципов нечеткой логики и алгоритмов искусственной нейронной сети ..	77
Выводы по третьей главе	83
ГЛАВА 4. ПРИМЕНЕНИИ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДВС	84

4.1. Исследование температурных режимов работы систем охлаждения грузовых автомобилей с применением дополнительного теплообменника ...	84
4.2. Прогностический контроль и управление процессом охлаждения дизельного двигателя с применением элементов нечеткой логики и модели нейронной сети.	86
4.3. Разработка нечеткого контроллера для.....	91
4.4. Прогностический контроль на основе нейросетевой модели.....	93
4.5.Расчет технико - экономического сравнения вариантов исполнения дополнительного устройства охлаждения двигателя внутреннего сгорания	100
4.6.Определение объема резервуара	101
4.6.1Определение необходимого объема воды для варианта открытого исполнения.....	101
4.6.2.Расчет емкости резервуара дополнительного охладителя закрытого типа	101
4.7.Расчет расхода материалов и комплектующих	103
4.7.1.Расчет змеевика	103
4.7.2.Составим список материалов.....	103
4.8.Расчет трудовых затрат на изготовление сравниваемых устройств.....	104
4.9.Определение этапов работы для варианта открытого типа	104
4.10.Определение этапов работы для варианта закрытого типа.	105
4.11.Оценка трудозатрат по каждому этапу	106
4.12.Расчет общей трудозатраты	107
4.13.Учет накладных расходов	107
4.14.Итоговая смета	108
4.15. Определение конструктивных размеров дополнительного охладителя.	109
4.16. Расчеты основных конструктивных размеров охладителя закрытого типа	110
4.17.Экспериментальные исследования тепловых режимов двигателя на стенде.....	112
4.18.Имитация нагрузки на ДВС	113
4.19.Приборы для измерения температуры.....	115
4.20. Микроконтроллер Arduino	117
4.21. Расходомер для измерения скорости потока теплоносителя	119

4.22. Устройство для измерения напора воздуха, создаваемого вентилятором	121
4.23. Описание исследовательского стенда.....	123
4.24. Стендовые испытания системы охлаждения двигателя.....	127
4.25. Расчет экономической эффективности внесенного изменения в систему охлаждения двигателя.....	131
4.26. Разработка интерфейса пользователя	138
Выводы по четвертой главе.....	143
ЗАКЛЮЧЕНИЯ	144
Рекомендации по итогам исследований	146
ЛИТЕРАТУРА	148
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	165
ПРИЛОЖЕНИЕ А	165
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	166
ПРИЛОЖЕНИЕ В	168
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	170

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 производственных 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 диссертационной работы. Определяющий фактор, который влияет на техническую эксплуатацию транспортного средства, является надежная и стабильная работа его двигателя. Сегодня к двигателям внутреннего сгорания (ДВС) предъявляются жесткие требования – они должны иметь высокую мощность и одновременно, экономичность, экологичность и надежность. Для обеспечения оптимального теплового режима автомобиля становятся жестче требования к эффективности работы систем охлаждения. Данное требование особенно актуально для автомобилей, которые функционируют в экстремальных условиях, особенно, при эксплуатации транспортных средств в строительстве крупных инженерных сооружений наподобие Рогунской ГЭС, расположенный на юге Республики Таджикистан. Известно, что в этих районах воздух разряжен, при этом в летний период, когда температура достигает максимальных значений и воздух имеет повышенную запыленность это те факторы, отрицательно влияющие на процесс охлаждения ДВС и которые снижают эффективность а также надежность функционирования агрегатов 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 ДВС путем отбора тепла с применением дополнительного устройства встроенного в систему охлаждения, управляемого на основе современных компьютерных технологий, теории нечеткой логики и современных систем принятия решений на основе алгоритмов нейросетевых технологий. Большим температурным воздействиям подвергаются в основном, рабочие цилиндры,

головки цилиндров, корпуса выпускных клапанов и коллекторов, а также охлаждающие масла.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Целью диссертационной работы являются повышение температурной стабилизации системы охлаждения двигателей внутреннего сгорания грузовых автомобилей, что приводит к экономии топлива, снижению изнашиваемости тех деталей двигателя, которые подвергаются 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, позволяющий оперативно управлять температурой охлаждающей жидкости с использованием нейронечеткой технологии, принимающий решения на основе базы знаний, разработанной экспертной системы.

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

- исследование особенности системы охлаждения дизельного ДВС с учетом климатических и природных условий горных регионов Республики Таджикистан, в частности перепада давления и высокой температуры воздуха;
- исследование температурных режимов дизельного ДВС при резких температурных изменениях окружающей среды;
- разработка и исследования математической модели, которая определяет состояния аппаратуры системы охлаждения ДВС в программной среде MATLAB/Simulink с применением пакета Fuzzy Logic Toolbox;
- разработка и реализация система сбора и обработки наблюдаемых сигналов с датчиков, установленных на двигателе учебно - исследовательского стенда;
- проведение экспериментальных исследований динамических режимов системы охлаждения дизельного ДВС;

- разработка графического интерфейса информационной панели водителя, которая решает задачи контроля, диагностики и управления системой стабилизации температуры.

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 режимов дизельного ДВС с применением 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, позволяющая производить экспресс оценку состояния объекта;
- с целью повышения быстродействия системы охлаждения ДВС, разработано и реализовано на практике, дополнительное устройство охлаждения с независимым источником охладителя;
- предложена система автоматического управления стабилизацией температурного режима системы охлаждения ДВС с встроенным в нее дополнительным элементом охлаждения, с применением теории расплывчатых множеств;
- на фоне схемных решений элементов искусственного интеллекта предложено и исследовано позиционное управление системой стабилизации температуры охлаждающей жидкости ДВС;

- предложена интеллектуальная система прогностического контроля и управления температурным режимом системы охлаждения ДВС.

Теоретическая и практическая значимость работы. В диссертационной работе в соответствии с поставленными целями решены актуальные научно-практические задачи по созданию теоретических и практических основ автоматизации процессов системы охлаждения 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 (CO, CH) по сравнению с традиционной системой охлаждения.

Важность и обоснованность результатов работы подтверждается актом внедрения результатов исследования. Результаты работы были внедрены в учебной процессе ТТУ им. акад. М.С. Осими и получением малого патента Республики Таджикистан.

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

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Результаты, полученные по итогу исследований, соответствуют следующим пунктам паспорта перечня специальностей ВАК при Президенте Республики Таджикистан по направлению специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей по следующим пунктам:

Пункт - 3. Модели, методы, алгоритмы, языки и программные инструменты для организации взаимодействия программ и программных систем;

Пункт - 4. Системы управления базами данных и знаний;

Пункт - 7. Человеко-машинные интерфейсы; модели, методы, алгоритмы и программные средства машинной графики, визуализации, обработки изображений, систем виртуальной реальности мультимедийного общения.

Пункт - 9. Модели, методы, алгоритмы и программная инфраструктура для организации глобально распределенной обработки данных.

Апробация результатов работы 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 «Автоматизация технологических процессов и производств» ТТУ им. акад. М. С. Осими.

Основные публикации по теме диссертации. Опубликовано 15 статей, из них – 8 в изданиях, рекомендованных ВАК Республики Таджикистан, получен малый патент РТ, две работы опубликованы за рубежом и 4 в материалах научных конференций.

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

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка сокращений, списка литературы из 128 наименований и 4 приложений. Основная часть диссертации изложена на 189 страницах. Работа иллюстрирована 72 рисунками и 21 таблицами.

ГЛАВА 1. ДИЗЕЛЬНЫЙ ГРУЗОВОЙ 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 совершенствование способов форсирования и повышение скорости вращения вала, применение современных достижений в области электроники в системе контроля и управления, которые в целом позволяют увеличить их мощность. С другой стороны, такое форсирование двигателя, естественно, увеличивает тепловые, а также механические нагрузки как на детали поршневой, так и на детали цилиндрической группы, элементов газораспределения, на различные другие устройства и механизмы двигателя. В свете сказанного, важнейшим условием надежной эксплуатации ДВС, является непереносное выполнение требований, предъявляемых к параметрам и режимам функционирования системы зажигания, системы смазки, системы автоматического управления, а также системы 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.

Большая группа изобретателей и исследователей используют различные конструкции дополнительных элементов, которые приспособляются к существующим схемам системы охлаждения.

Исследованию повышения эффективности работы системы охлаждения дизелей посвящены работы Саибова А.А., Саидова Ш.В., Назарова В.А., Кадырова С.М., Камолова Т.М., Умирзакова А.М., Эфроса В.В., Кулчацкого Р.И., Лейцянского Л.Г., Панова Н.И., Турова Л.И., Лукова Н.М., Коссова Е.Е., Мартышевского М.И., Носова А.Н., Третьякова А.П., Рыжова В.А., Салахова Р.Р., Ливенцева Ф.Л., Склифуса Я.К. 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 температуры 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 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 в повышенных 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.

1.2. Системы дополнительного охлаждения двигателя внутреннего сгорания

Изучение литературы и патентного поиска показывает, что большая группа изобретателей и специалистов используют всевозможные дополнительные устройства, которые предлагаются использовать в существующих системах охлаждения. Эти разработки приспособлены к возникающим и имеющимся нагрузочным режимам двигателя. Обычно, это различные варианты установки насосов, вентиляторов их виду и размещению в пространстве.

Как правило, применение вспомогательных приспособлений, требует изменения в схеме функционирования системы охлаждения двигателя на некоторых важных режимах его эксплуатации.

Существует большое количество видов классификации систем охлаждения ДВС, в работе предложена упрощенная классификация, представленная на рисунке 1.1.

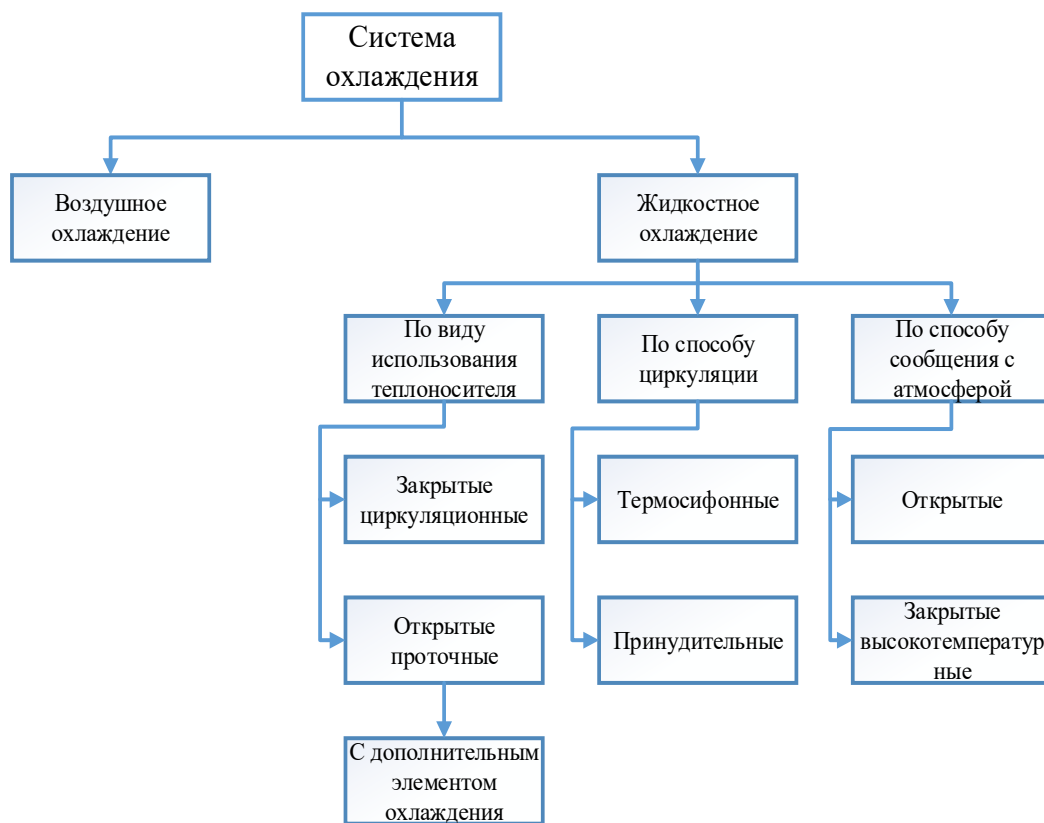


Рисунок 1.1 – Классификация систем охлаждения дизельных ДВС

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].

Очень часто в автомобилях высокого класса, применяются электрические вентиляторы для охлаждения радиатора, которые оснащены электронными регуляторами скорости электропривода этого вентилятора. Для этого выпускается специальное устройство, например, такое, как блок управления вентилятором [13].

Представляет интерес работа [14] где рассмотрены системы управления скоростью вращения электропривода вентилятора в двух вариантах: один на основе пропорционально – интегрального ПИ регулятора и другое с применением математического аппарата, нечеткой логики. Как правило, при

неопределенности значений параметров объекта и возмущающих воздействий, актуальным является применение нечетких контроллеров, как эффективных средств решения задач в современных системах автоматического управления [5-8].

Предложенные модели были исследованы в среде MATLAB / Simulink с помощью пакета нечеткого моделирования Fuzzy Logic Toolbox [14].

В итоге, авторами сделан вывод, что система управления, которая управляет вентилятором при помощи нечеткого логического контроллера, изменяя скорость вращения электродвигателя, более эффективна, чем существующая.

Стабилизация температуры теплоносителя, может осуществляться при помощи устройства, использующая пропорционально–интегрально–дифференциальный закон регулирования [19]. В результате сравнения этих вариантов управления, показано что управление системой охлаждения ДВС, основанная на алгоритме нечеткого логического вывода имеет более высокую точность поддержания температуры охлаждающей жидкости.

В работе наших коллег из России [20] предлагается способ управления системой охлаждения ДВС, при котором температура охлаждающей жидкости достигает и превосходит максимума, в то время как циркуляционный насос и вентилятор обдува вращаются с предельными скоростями, управление теряет смысл и прекращается. Управление переходит в режим пульсации скоростей вращения вентилятора и насоса, что приводит к пульсирующим изменениям движения потока охладителей как воздуха, так и охлаждающей жидкости, это способствует быстрейшему отводу тепла от ДВС.

В предлагаемом способе системы охлаждения, которое запатентована авторами [21] показано, что стабилизацию температуры можно обеспечить с помощью термостата. Работа двигателя с большими нагрузками, сопровождается повышением температуры теплоносителя, при этом часто достигается температура кипения жидкости, в пространстве охлаждения появляется некоторая паровая фаза пузырькового кипения, оптический датчик

улавливает это состояние и передает на блок управления сигнал. Блок управления, в соответствии с алгоритмом управления воздействует на редукционный клапан термостата, таким образом исключается возможность перехода пузырькового кипения в пленочное. Блок управления создан с использованием программируемого микропроцессора АТМega8.

Рассмотренная схема [21] улучшает тепловое состояние двигателя, исключая переход пузырькового кипения в состояние пленочного кипения, это повышает надежность эксплуатации двигателя в условиях высоких температур воздуха и максимальных нагрузках по сравнению с другими известными системами, применяющие дополнительные устройства.

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] представлена система охлаждения ДВС, в которой воздушный и жидкостные контуры охлаждения

управляются изменением скорости вращения электропривода насоса и вентилятора, с применением нечетких логических регуляторов. Известно, что количество теплоты, которое образуется в двигателе, преимущественно определяется величиной расхода топлива. В цитируемой работе этому процессу уделяется достаточное влияние т.е. при управлении скоростью вращения электропривода насоса, учитывается величина расхода топлива.

Резюмируя полученные результаты, авторы [7] отмечают, что применение нечеткого логического вывода при управлении температурой охлаждающей жидкости повышает точность регулятора, что повышает устойчивость тепловое состояние двигателя.

Работе посвящена [28] проблеме оптимального регулирования температуры двигателя с помощью электропривода насоса. При этом для управления электроприводом, применяется принцип частотного управления.

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 приниматься 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 характеризующих систему охлаждения двигателей, обычно, отмечаются два вида показателей: первое это режимные – температура теплоносителя в различных участках системы и давление в системе охлаждения, второе - характеристики водно-химического состояния охлаждающей жидкости, чему уделено большое внимание в научно – исследовательской работе [36].

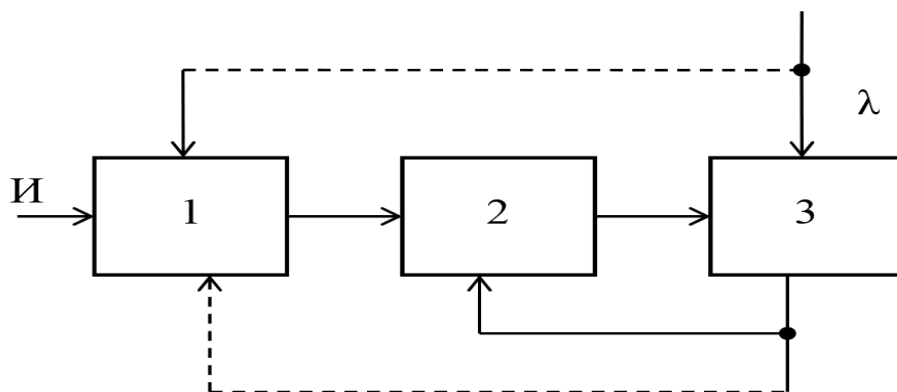
Доказано, что на срок эксплуатации двигателя, его экономические и экологические показатели сильно влияет физико-химические и теплофизические характеристики охлаждающих жидкостей [37,38]. Поэтому в последнее время при автоматическом регулировании на ряду с режимными показателями, уделяют большое внимание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

Внедрение автоматического регулирования систем охлаждения ДВС, обеспечивает работу дизельного ДВС с оптимальными или квазиоптимальными параметрами 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.

Оценить качество модели можно сравнением полученных результатов на математической модели с реальными показателями. В этом случае, обычно, надо ответить на вопрос, насколько полученные количественные данные по математической модели близки к реальной. Обычно, на практике, система автоматического регулирования температурой охладителя ДВС включает в

себя задатчик 1, который определяет задание или программу, регулятор 2 и объект управления 3 – система охлаждения двигателя, рисунок 1.2.



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

Рисунок 1.2 - Функциональная схема системы регулирования

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, были сформулированы однообразно и могли быть решены одинаковыми способами, тем не менее имеющиеся различия и особенности, заставляют рассматривать их отдельно, как разные задачи. Нужно отметить, что регулирование по заданной программное выполняется в функции времени, а регулирование с обратной связью выполняется в виде функции от фазовых координат системы.

Температурный режим двигателя регулируется системой автоматики, которое часто рассматривается как одноконтурная, имеющая одну обратную связь. Схема приведена рисунке 1.3 в виде элементов структурной схемы [39]. На этом рисунке 1.3 линии отображают взаимосвязь между отдельными звеньями структурной схемы, а кружочком изображен регулирующий орган (РО). В схеме используется глубокая обратная связь, т.е. сигнал с выхода подается на вход системы. Приведенная на рисунке 1.3 схема автоматического регулирования, является примером замкнутой системы однонаправленного действия.

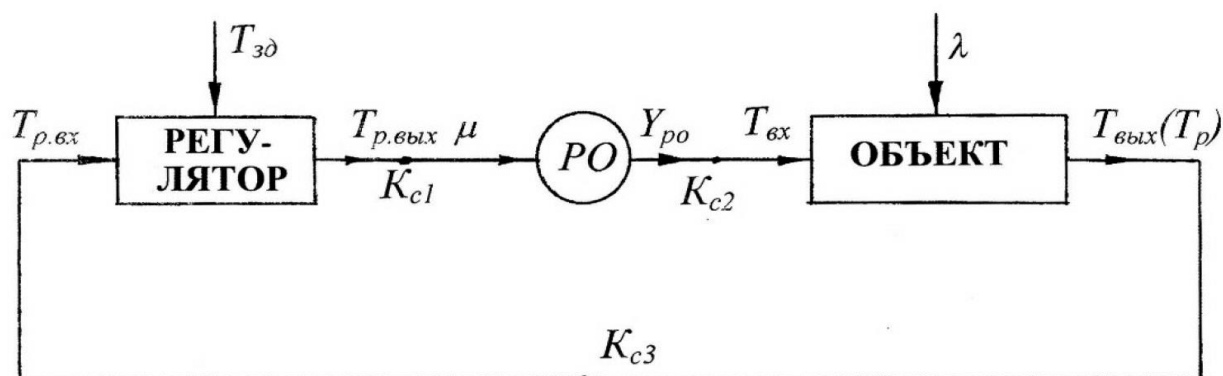


Рисунок 1.3 - Структурная схема системы автоматического регулирования температурного состояния ДВС

Объект автоматического управления характеризуется следующими параметрами: входной температурой $T_{вх}$, его выходной температурой $T_{вых}(T_p)$ и параметром, отражающим величину нагрузки λ , которая является вторым входом объекта. Регулятор, в данном случае, на своём входе имеет температуру $T_{p.вх}$, на выходе температуру $T_{p.вых}$, кроме того, задающую температуру $T_{зд}$ на входе. Точками на схеме отмечены коэффициенты передач соответственно 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 заключаются 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.

Известно, что грузовые автомобили часто подвергаются перегрузкам и различным природным воздействиям, которые вызывают, перегрев двигателя, например, высокая температура и разряжение воздуха, при которых автомобиль долго работает, часто при этом и под большой нагрузкой 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.

1.4. Многоканальная сенсорная система диагностики дефектов двигателя внутреннего сгорания с использованием глубокой нейронной сети

Диагностика неисправности с помощью одноканального вибросигнала может привести к снижению точности диагностики из-за ориентации датчика в пространстве и расположения установки [113]. Обработка массива сигналов широко применяется в гидролокаторах, беспроводной связи, медицинской диагностике и инженерных приложениях [114,115]. С целью повышения точности диагностики необходимо получать многоканальные сенсорные сигналы путем установки нескольких датчиков в ориентированных в различных направлениях. Диагностическая точность в этом случае может быть более высокой и надежной, чем при использовании одиночных сигналов. В нескольких статьях изучались модели глубокого обучения и объединения с многоканальными данными [116,117,118]. После серии нелинейных преобразований с помощью глубокого обучения можно эффективно извлечь репрезентативные и существенные характеристики. Различают три основных типов глубокого обучения: сверточную нейронную сеть (CNN-Convolutional neural network), (рисунок 1.4), глубокую нейронную сеть (DNN- Deep Neural Networks) (рисунок 1.5) и сеть глубоких убеждений (DBN- Deep belief network), (рисунок 1.6), [119,120,121]. В последнее время обучение с

использованием глубоких архитектур широко применяется для интеллектуальной диагностики неисправностей [122,123,124]. В отличие DBN и CNN, DNN состоит из набора автокодировщиков, которые не подлежат контролю и просты в реализации [125,126]. Благодаря глубокой архитектуре DNN может извлекать чувствительные к сбоям функции из необработанных сигналов, чтобы эффективно выявлять нелинейную связь между симптомами и неисправностями. В статье, направленной на решение проблемы ограничения одного датчика и автоматическое извлечение чувствительных к сбоям функций без предварительной ручной обработки, предлагается и проверяется модель глубокого обучения с многоканальными сенсорными сигналами.

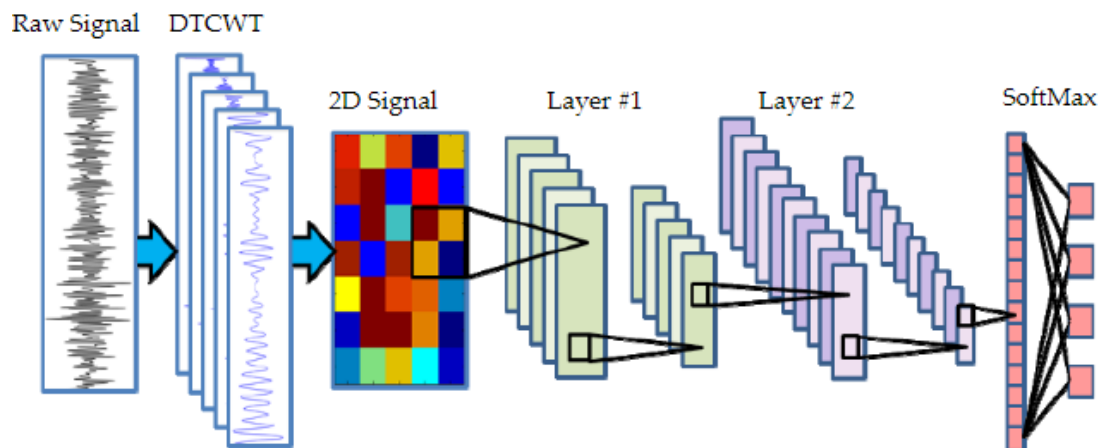


Рисунок 1.4 — Архитектура свёрточной нейронной сети.

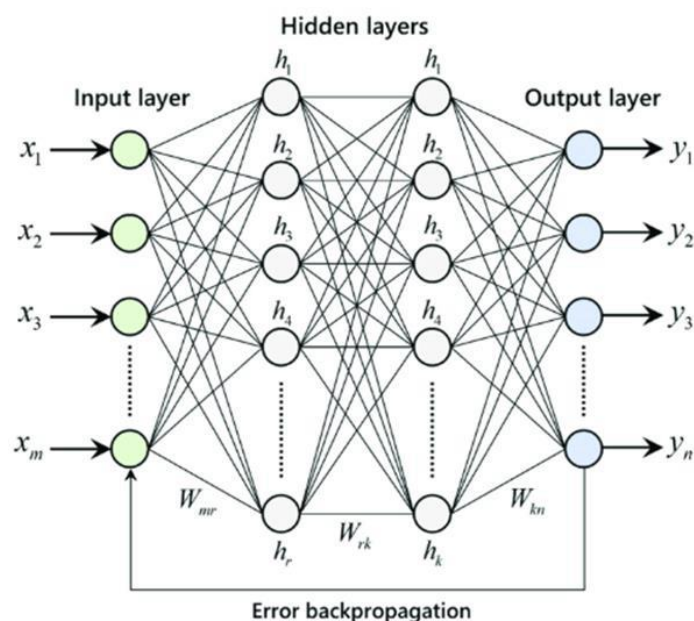


Рисунок 1.5 — Структурная схема глубокой нейронной сети.

Процесс обучения автокодировщика, всегда содержит два этапа: кодирование и декодирование [127]. Учитывая набор выборок $X = \{x_1, \dots, x_i, \dots, x_M\}$, $x_i \in \mathbb{R}^N$, где M обозначает размер выборки. Автокодировщик — это один из видов искусственных нейронных сетей, позволяющий применять обучение без учителя на основе метода обратного распространения ошибки.

На этапе кодирования входные данные x_i преобразуется в низкоразмерное пространство признаков для изучения аппроксимации входных данных, как показано ниже:

$$h(i) = f_{\theta}(x_i) \quad (1.1)$$

где f_{θ} — обозначает функцию кодирования; $\theta = [W, b]$ — значения параметров между первым слоем и вторым слоем.

На этапе декодирования входные данные x_i можно восстановить в выходном слое следующим образом:

$$\hat{x}_i = g_{\hat{\theta}}(h(i)) \quad (1.2)$$

В котором $g_{\hat{\theta}}$ обозначает функцию декодирования, \hat{x}_i обозначает реконструкцию исходных данных x_i , и $\hat{\theta} = [\hat{W}, \hat{b}]$ — параметры между вторым и третьим слоями.

Путем минимизации средней ошибки восстановления M выборок набор параметров $\{\theta, \hat{\theta}\}$ на стадиях кодирования и декодирования могут быть оптимизированы:

$$Q_{AF}(\theta, \hat{\theta}) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M L(x_i, \hat{x}_i) \quad (1.3)$$

$$L(x, \hat{x}) = \|x_i - \hat{x}_i\|^2 \quad (1.4)$$

где $L(x, \hat{x})$ представляет собой функцию ошибки реконструкции для измерения расхождения между исходными данными и их реконструкцией.

Построение глубокой нейронной сети для обучения глубоким функциям.

Метод глубокого обучения с объединением функций многоканальных сенсорных сигналов включает в себя три части: построение глубокой архитектуры для изучения функций, объединение глубоких функций, извлеченных из многоканальных сенсорных данных, и построение

интеллектуальной диагностической модели с использованием Softmax Regression [16].

Собрав N автокодировщиков, постройте DNN с N скрытыми слоями, чтобы иерархически изучать основные характеристики на основе сенсорных данных. Первый автокодировщик состоит из входного слоя, первого скрытого слоя и так далее. Обучение DNN состоит из двух разделов: предварительное обучение и тонкая настройка. В ходе процесса первого раздела, основанного на обучении без учителя, вектор кодера $x(i)$, полученный от первого автокодировщика, равен: [128].

В ходе выполнения первого раздела, основанного на обучении без учителя, вектор кодера $x(i)$, полученный от первого автокодировщика, равен:

$$h(i)^1 = f_{\theta^1}(x_i) \quad (1.5)$$

где θ^1 - представляет параметр первого автокодировщика.

Тогда первый вектор кодера $h(i)^1$ вводится во второй автокодировщик, который состоит из первого скрытого слоя, второго скрытого слоя и так далее. Таким образом, N -й вектор кодера $x(i)$ получается следующим образом:

$$h(i)^N = f_{\theta^N}(h(i)^{N-1}) \quad (1.6)$$

где θ^N — параметр N -го автокодировщика.

По сравнению со случайными параметрами, минимизирующими ошибку обучения, предварительное обучение DNN без учителя может улучшить обобщенность параметров. В процессе точной настройки параметров в обратном направлении на основе контролируемого обучения с помощью алгоритма ОР (обратного распространения) возможности обучения признаков еще больше расширяются. Алгоритм ОР сравнивает выходные данные выходного слоя с соответствующей меткой, чтобы вычислить значение потерь. Функция потерь показана ниже:

$$Q_{DNN}(\theta) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M L(x_i, h(i)^N) \quad (1.7)$$

где $\theta = \{\theta^1, \theta^2, \dots, \theta^N\}$, соответствует N скрытым слоям. Частная производная параметра решается, а затем параметр обновляется с помощью алгоритма

градиентного спуска. Параметры можно оптимизировать с помощью подбора параметра скорости обучения μ следующим образом:

$$\theta = \theta - \mu \frac{Q_{DNN}(\theta)}{\partial \theta} \quad (1.8)$$

Во время обучения DNN серия нелинейных преобразований предварительного обучения фиксирует локальные изменения входных данных, а точная настройка извлекает выделенную информацию из входных данных.

Объединение глубоких функций, извлеченных из многоканального сигнала

С целью получения более полных и надежных данных, устанавливаются S-сенсоры для сбора многоканальных сигналов и построения нескольких DNN, то есть многоканальную глубокую нейронную сеть (MDNN) [128]. Пусть $F = \{f_1, \dots, f_i, \dots, f_n\}$, чтобы представить глубокую функцию, полученную из MDNN, в которой $f_i = [f_1^1, \dots, f_1^{s_i}, \dots, f_1^k] \in \mathbb{R}^D$, n - представляет размер выборки, а S - представляет количество датчиков. Используя матрицу проекции $A \in \mathbb{R}^{D \times d}$, глубокие элементы с размером D преобразуются в размер d , как показано ниже:

$$f_i^* = A^T f_i, \quad i = 1, \dots, n \quad (1.9)$$

Целевая функция LPP представляет собой следующую формулу:

$$\min \sum_{ij} (f_i^* - f_j^*)^2 W_{ij} \quad (1.10)$$

$$W_{ij} = \begin{cases} \exp\left(-\frac{\|f_i - f_j\|}{t}\right), & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (1.11)$$

где W_{ij} - представляет собой матрицу для измерения отношений различных компонентов в глубоких функциях. С помощью алгебраических формул преобразуйте целевую функцию в следующую формулу:

$$\min A^T F L F^T A \quad (1.12)$$

где $L = Q - W$ - матрица Лапласа, в которой Q — диагональная матрица W . Затем описанная выше проблема с ограничением преобразуется в обобщенную проблему собственных значений. Решение вышеуказанной целевой функции может быть достигнуто из собственных векторов, соответствующих

минимальным собственным значениям.

Процедура интеллектуальной диагностической модели

Слитые глубинные признаки $F^* = ATF$, могут отражать изменение условий который будет введен в следующий классификатор неисправностей, определяемый на основе softmax регрессии. Как показано на рисунке 1.6, предлагаемый метод с многоканальными сенсорными данными содержит две части: обучающую диагностическую модель, основанную на объединении глубоких функций многоканальных данных и распознавания ошибок.

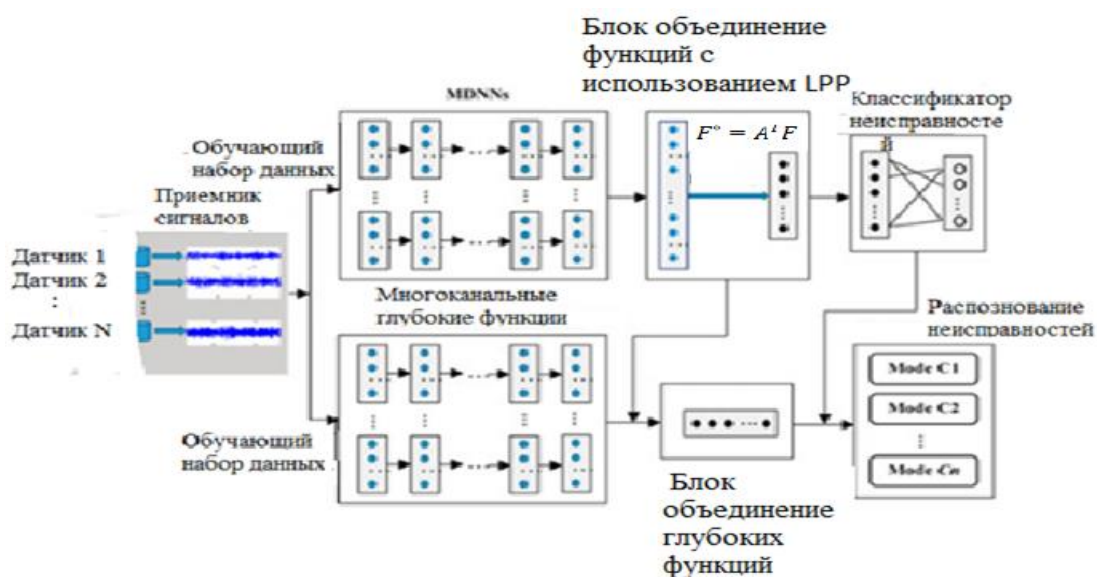


Рисунок 1.6 - Процедура формирования предлагаемой модели

Экспериментальная установка

На испытательном стенде ДВС (рисунок 1.7), реализованы ряд экспериментов с вибродатчиками ориентированными в пространстве согласно принятым в алгоритме требованиям. Испытательный стенд содержит пульт управления, двигатель внутреннего сгорания и в качестве нагрузки на двигатель, использован трехфазный генератор с набором активных балластов. Скорость вращения можно контролируется с помощью акселератора установленного на пульте управления. Разработанный, учебный стенд предназначен для моделирования функционирования двигателя при различных нагрузках и скоростях вращения с учетом параметров окружающей среды.

Для осуществления надежного мониторинга в экспериментальном стенде два датчика виброускорения расположены в ортогональных положениях, чтобы собирать более стабильные многоканальные сенсорные данные по разным путям передачи сигналов. Датчики такого типа часто используются для регистрации высокочастотных сигналов в механической вибротехнике. Характеристики датчиков виброускорения — широкая частотная характеристика, широкий динамический диапазон и высокая надежность. На рисунке 6 показано расположение нескольких датчиков подсоединенных через микроконтроллер Arduino Mega 2560 к компьютеру.

Чтобы собрать достаточное количество надежных данных для представления каждого режима неисправности, реализовано 10 симуляций сбора данных. При сборе и обработке данных длительность составляет 2 с и количество сигналов составляет 25 измерений. Каждое моделирование занимает 10 с. Таким образом, от каждого датчика получают 1750 сигналов вибрации, соответствующих каждому отдельному режиму. Собранные сигналы делятся на обучающее подмножество с 1400 сигналами и тестовое подмножество с 350 сигналами. Каждый сигнал вибрации содержит 1024 точек измерения.

Эксперимент осуществлен на базе вышеназванного учебного стенда имеющего двигатель ВАЗ 2101, датчики вибрации типа СЕМВ TR-P интегрированные, предназначенные для измерения абсолютной вибрации опоры вращающейся машины, в качестве нагрузки используется генератор на основе трех фазного асинхронного двигателя типа АИР 90L4Y2, где в качестве нагрузки используется активная нагрузка, состоящая из балластных лампочек. Микроконтроллер Arduino Mega, обрабатывает снятые данные и передает данные ноутбуку, которая представляет исследователю, интерфейс пользователя.



Рисунок 1.7 - Общий вид испытательного стенда

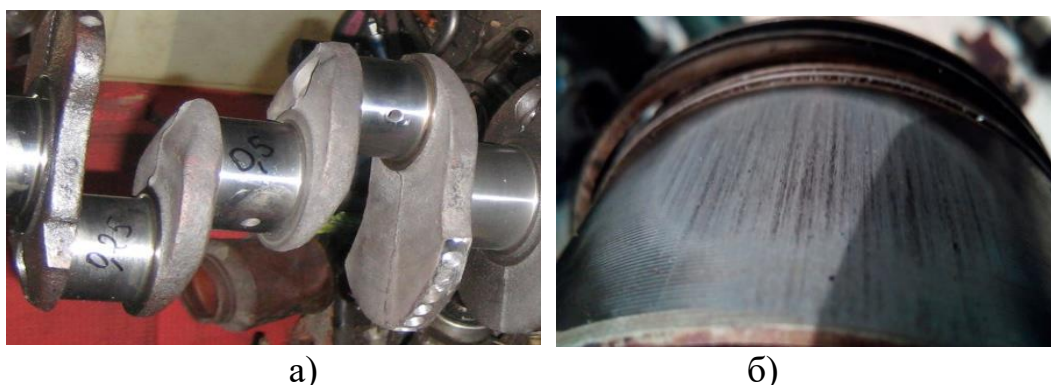


Рисунок 1.8 - Оценка дефекта коренного вала (рисунок 7 а) и поршневой части (рисунок 7 б) ДВС на основе многоканальной диагностики с применением глубокой нейронной сети

Чтобы избежать неоднородности и избыточности глубоких функций из многоканальных данных, мы объединяем эти глубокие функции с помощью проекции с сохранением локальности. Оценка дефекта коренного вала и поршневой части ДВС на основе многоканальной диагностики с применением глубокой нейронной сети приведены на рисунках 1.8а и 1.8б. Результаты экспериментов показывают, что предлагаемый метод может адаптивно извлекать глубокие особенности из исходных данных.

Износ поверхности упорных полуколец. является неизбежным дефектом, который возникает в процессе длительной эксплуатации автомобиля. Такая деформация вызывает увеличенное осевое смещение вала, из-за чего значительно возрастает нагрузка на шатунно-поршневую группу. В процессе каждого выжима сцепления система получает разную нагрузку. В итоге происходит преждевременный износ поверхности коленвала. Исследования, проведенные архитектурой глубокого извлечения и объединения признаков на основе многоканальных сенсорных вибродиагностических сигналов позволяют без разборную проверку двигателя и эффективно распознавать закономерности неисправностей главной передачи с наилучшей диагностической точностью 95,84%.

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 использовании дополнительного оборудования - электроventilяторов, опрыскивателей радиатора также применение дополнительных элементов охлаждения.
4. Особое место в литературе занимает интеллектуальное управление ventиляторами 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.

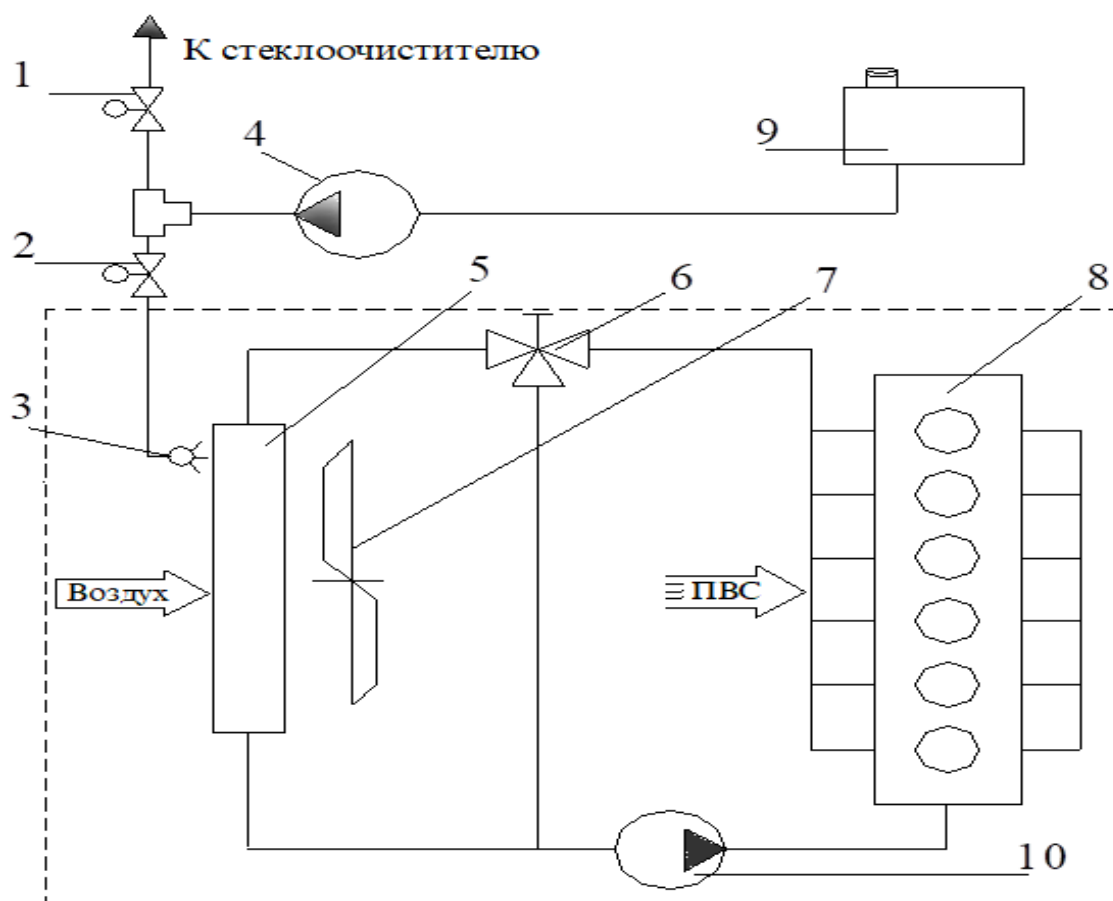
ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ДИЗЕЛЬНОГО ДВС

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].

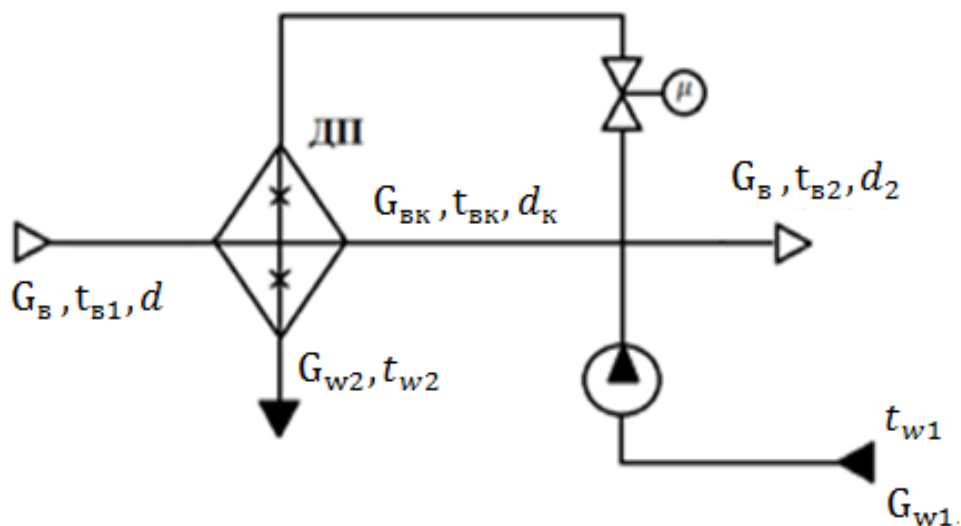
Схема камеры орошения представлена на рисунок 2.1. Камера орошения представляет собой систему охлаждения дизельного двигателя внутреннего сгорания (ДДВС), включающий в себе: радиатор 5, электрический насос 4 для подачи охлаждающей воды в дополнительно установленный опрыскиватель 3, а также электрических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



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 опрыскивателю, 5 – радиатор, 6 – термостат, 7 – вентилятор, 8 – корпус двигателя, 9 – резервуар охлаждающей воды, 10 – штатный циркуляционный насос(помпа), ПВС – паровоздушная смесь.

Рисунок 2.1 - Схема дополнительного охлаждения радиатора автомобиля

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.



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 минуя камеру,

α – регулятор воздушного потока (жалюзи в некоторых машинах),

μ – регулирующий клапан воды дополнительного источника (рисунок 2.2),

ДП – дождевальное пространство вокруг радиатора и двигателя,

G_{BK} – величина расхода воздушного потока из камеры,

t_{BK} – температура воздушного потока на выходе из камеры,

d_K – влагосодержание воздуха, прошедшего обработку,

$G_{Bб}$ – расход воздуха мимо радиатора (типа байпас).

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

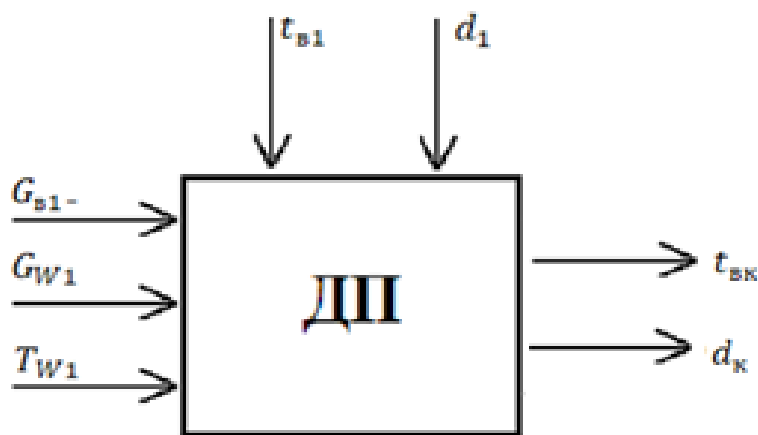


Рисунок 2.3 - Схема дождевого пространства под капотом автомобиля

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

$$t_{w2} = t_{w1} + \frac{c_B G_{BK}}{c_w G_{w2}} \left[(t_{B1} - t_{BK}) + \frac{1}{c_B} (d_1 - d_K) \right]. \quad (2.5)$$

Уравнение связи между температурой на выходе оросительной камеры (радиатор с опрыскивателем) между температурой воды на входе и температурой на выходе камеры орошения будет иметь вид

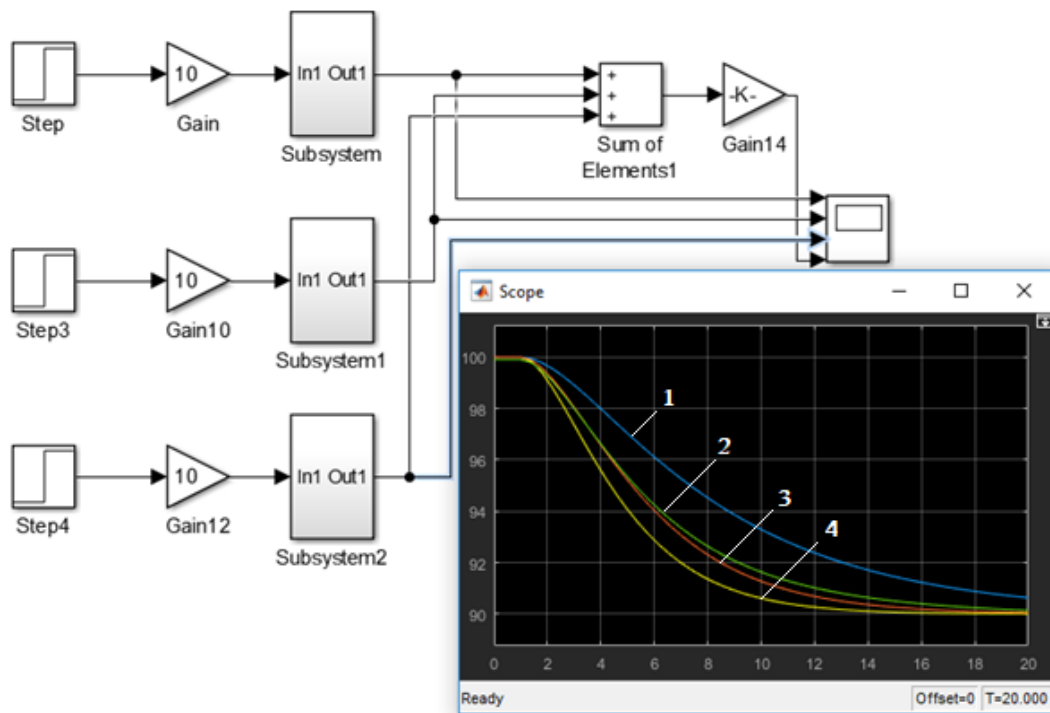
$$T_K \frac{dt_{BK}}{d\tau} + t_{BK} = t_{w1} \quad (2.6)$$

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

V_p – ёмкость радиатора, $V_{оп}$ – ёмкость опрыскивателя. В терминах теории автоматического управления, полученная модель является апериодическим звеном первого порядка с постоянным времени T_K .

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 рисунке 2.4.



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

Рисунок 2.4 - Реализация математической модели в среде MATLAB /Simulink

Как видно из приведенных графиков, падение температуры на 10 градусов в двигателе происходит более интенсивно, при использовании впрыска воды на поверхность радиатора, кривая 4.

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

Математическое моделирование тепло и массообменных процессов в ДВС представляет собой относительно сложной задачей. Это в первую очередь определяется тем, что различные детали, подвергающиеся высокой температуре в ДВС, имеют различную теплоемкость. Задача усложняется еще больше, если моделирование работы системы выполняется с учетом дополнительного установленного элемента охлаждения. Необходимо установить, как будет функционировать система с отводом некоторого дополнительного количества тепловой энергии из общей системы охлаждения.

При сгорании топливовоздушной смеси в цилиндрах, система охлаждения ДВС осуществляет прием этой тепловой энергии Q_T . Причем, количество этой тепловой энергии зависит на прямую от нагрузки на двигатель. Известно, что процесс отвода тепла из системы происходит в основном, излучением этой энергии в атмосферу через нагретые поверхности – Q_{OC} , систему выпуска выхлопных газов – $Q_{ВГ}$, охлаждающей жидкостью – $Q_{ОЖ}$, 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 поддержания рабочего уровня температуры охлаждения двигателя, при тяжелых высокогорных условиях работы двигателя, интенсивной перевозки больших грузов по крутым подъемам и спускам, а также высокой температуры окружающей среды и т.д.

Специалисты утверждают, что размах температур выше $60^{\circ}C < 80^{\circ}C < 110^{\circ}C$ при эксплуатации двигателя приводит к резкому снижению

его ресурса. Если в системе охлаждения, точность поддержания температурного режима колеблется вокруг $\mp(2-5)$ градусов [45,46], то система полностью отвечает требованиям эксплуатации. Можно отметить, что такая система достаточно эффективна в отношении экономии топливного ресурса.

Известны случаи, когда определенные условия (высокая температура воздуха, небольшая скорость перемещения транспортного средства) не дают возможность радиатору отводить необходимое количество тепла, т.е. штатные возможности предусмотренные производителем не справляются со своей задачей, в таких случаях некоторыми авторами предлагается использовать искусственное охлаждение, использующее 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.

Теоретические и практические исследования установленного элемента в системе теплообмена на модели позволяют, как правило, априорно оценить тепловые процессы происходящие в системы охлаждения двигателя и наглядно представить их с помощью средств визуализации.

Известно, что система охлаждения двигателя подчиняется законам термодинамики и состоит из трех самостоятельных частей -модулей. Первый модуль – жидкостный контур, второй теплообменник и третий модуль, это воздушный контур. На основании законов термодинамики, процессы передачи теплоты описываются следующими уравнениями

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

$$Q_B = f(c_{p_B}, G_B, T_B); \quad (2.8)$$

$$Q_F = f(k_T, F_{ОЖ}, \bar{T}_{ОЖ}, \bar{T}_B, G_{дв}, \bar{T}_{дв}) \quad (2.9)$$

где $T_{\text{ож}}$ – температура охлаждающей жидкости; $T_{\text{в}}$ – температура воздуха, (°C); $\bar{T}_{\text{ож}}, \bar{T}_{\text{в}}, \bar{T}_{\text{дв}}$ – средняя температура охлаждающей жидкости, воздуха и дополнительной впрыскиваемой воды (°C); $G_{\text{ож}}, G_{\text{в}}, G_{\text{дв}}$ – расход охлаждающей жидкости, воздуха и дополнительной впрыскиваемой воды, (кг/с); F – площадь охлаждаемой поверхности (м²); $Q_{\text{ож}}, Q_{\text{в}}$ – тепловой расход, влияющий на охлаждающую жидкость и расход воздуха (кДж/с); $Q_{\text{ф}}$ – тепловой поток за единицу времени, передаваемое поверхностью охлаждения жидкости к потоку воздуха (кДж/с); $c_{\text{рож}}, c_{\text{рв}}$ – средняя теплоемкость охлаждающей жидкости и потока воздуха, (кДж/кг·K); k_T – коэффициент теплопередачи поверхности охлаждения (кВт/(м²K)).

Тепловую энергию, выделяющуюся при сгорании топлива, можно представить, как количество теплоты на единицу времени Q_T (кДж/с) и выразить уравнением теплового баланса дизеля

$$Q_T = Q_{\text{кпд}} + Q_{\text{ож}} + Q_{\text{м}} + Q_{\text{вг}} + Q_{\text{ост}}, \quad (2.10)$$

где $Q_{\text{кпд}}$ – эквивалентная эффективная мощность (кДж/с); $Q_{\text{ож}}$ – энергия расходуемая на нагрев системы охлаждения (кДж/с); $Q_{\text{м}}$ – количество теплоты, расходуемая для нагрева системы смазки (кДж/с); $Q_{\text{вг}}$ – количество теплоты, уносимой отработавшими газами (кДж/с); $Q_{\text{ост}}$ – остаточный член теплового баланса (кДж/с).

С другой стороны, количество теплоты, Q_T (кДж/с), которое выделяется при сгорании жидкого топлива, можно рассчитать по следующей формуле:

$$Q_T = 0,012gN_e, \quad (2.11)$$

где N_e – эффективная мощность двигателя, полученная при сгорании топлива (кВт).

Согласно составляющим уравнения теплового баланса (2.12), в качестве полезной работы используется, только определенная часть энергии сжигаемого в машине топлива. Одним из составных частей расхода тепловой энергии — это количество теплоты, поступающей в охлаждающую жидкость системы охлаждения,

$$Q_{OЖ} = G_{OЖ} c_{p_{OЖ}} \rho_{OЖ} (T_{OЖ2} - T_{OЖ1}), \quad (2.12)$$

где $G_{OЖ}$ – расход теплоносителя ($\text{м}^3/\text{с}$); $c_{p_{OЖ}}$ – теплоемкость охлаждающей жидкости ($\text{кДж}/\text{кг}\cdot\text{К}$); $\rho_{OЖ}$ – плотность теплоносителя ($\text{кг}/\text{м}^3$).

Кроме того, расход выработанного тепла дизельными двигателями осуществляется следующим образом: передача тепла в охлаждающую жидкость составляет 20...25% [46]. Это то количество теплоты, которое исходит от газов сгоревшего топлива, поступающие через стенки цилиндров. Более того, в двигателе имеется вторичный источник тепла – работа трения поршня – гильзы, вкладыша – вала, подшипников и т.д., Специалистами отмечается, что теплота трения в рабочем состоянии двигателя, превращается в теплоту, передающийся в охладители - жидкость и масло. Как правило, при исследовании теплового баланса, теплоту трения специально не выделяют, из-за малости его величины по сравнению рабочих температур цилиндров. Не трудно прийти к очень важному заключению, что чем больше будет расход на охлаждение жидкости, воздуха и масла, тем меньше потребуется расход на трение, т.е. будет меньше износ деталей [47].

Двигатели внутреннего сгорания относятся к числу наиболее экономичных двигателей. КПД лучших образцов ДВС 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 $Q_{OЖ}$ 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 $G_{OЖ}, G_{дв}$ (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 $T_{ОЖ}(t)$, фактическая температура двигателя. Система имеет две выходные переменные, а именно: массовый расход охлаждающей жидкости радиатора $G_{ОЖ}(t)$ и массовый расход воды, распыляемый на поверхность радиатора $G_{ДВ}(t)$, Основной теплообменник в виде радиатора имеет расход $G_{ОЖ}(t)$ [0.4, 2] л / сек, а для расхода воды впрыскиваемый на радиатор $G_{ДВ}(t)$ принято соответственно [0.01, 0.2] л / сек. Наше устройство было построено с учетом расхода впрыскиваемой воды 0.035 л/сек. Диаметр трубы D при этом составляет 20 мм, длина $L = 400$ мм. Диаметр отверстий d принят равным 1

мм. Количество отверстий n равно 7. При таком расходе 40 литров воды хватит на 20 мин. непрерывного впрыска воды на радиатор автомобиля.

Таблица 2.1 - Формирование управления по состоянию лингвистической переменной

Наименование параметра	Лингвистическая переменная - температура ОЖ				
	Термы				
	Очень низкая	Низкая	Норма	Высокая	Очень высокая
	$10 \div 40$	$41 \div 70$	$71 \div 90$	$91 \div 100$	$101 \div 110$
Состояние клапана	0	0	0	1	1

Задача нечеткого контроллера, открывать клапан впрыска воды на радиатор, если возникает некоторая температурная ошибка. Правила базы знаний включают в себя данные о состоянии основных узлов системы охлаждения двигателя – вентилятора, насоса циркуляции ОЖ, термостата, дополнительного устройства, 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. Приведем примеры правил базы знаний с учетом вышесказанного:

1. Если «Температура очень высокая» И «Насос работает» И «Вентилятор работает» И «Давление масла нормальное» И «Уровень ОЖ нормальное», ТО «Открыть клапан»;
2. Если «Температура высокая» И «Насос работает» И «Вентилятор работает» И «Давление масла нормальное» И «Уровень ОЖ нормальное», ТО «Открыть клапан»
3. Если «Температура норма» И «Насос работает» И «Вентилятор работает» И «Давление масла нормальное» И «Уровень ОЖ нормальное», ТО «Закрыть клапан»;

4. Если «Температура низкая» И «Насос работает» И «Вентилятор работает» И «Давление масла нормальное» И «Уровень ОЖ нормальное», ТО «Заккрыть клапан»

5. Если «Температура очень низкая» И «Насос работает» И «Вентилятор работает» И «Давление масла нормальное» И «Уровень ОЖ нормальное», ТО «Заккрыть клапан».

Количество таких правил составляющих базу знаний системы всего 97.

В систему управления с нечеткой логикой, введено постоянное внешнее возмущение воздуха чтобы имитировать транспортное средство, движущееся с низкой скоростью, Параметры тепловой модели, использованные при моделировании: $c_{p_{ож}} = 17,14$ кДж/К,

$c_{p_{вг}} = 8,36$ кДж / К, $c_{p_{в}} = 4,18$ кДж / кгК, $c_{p_{м}} = 1$ 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), таблица 2.1.

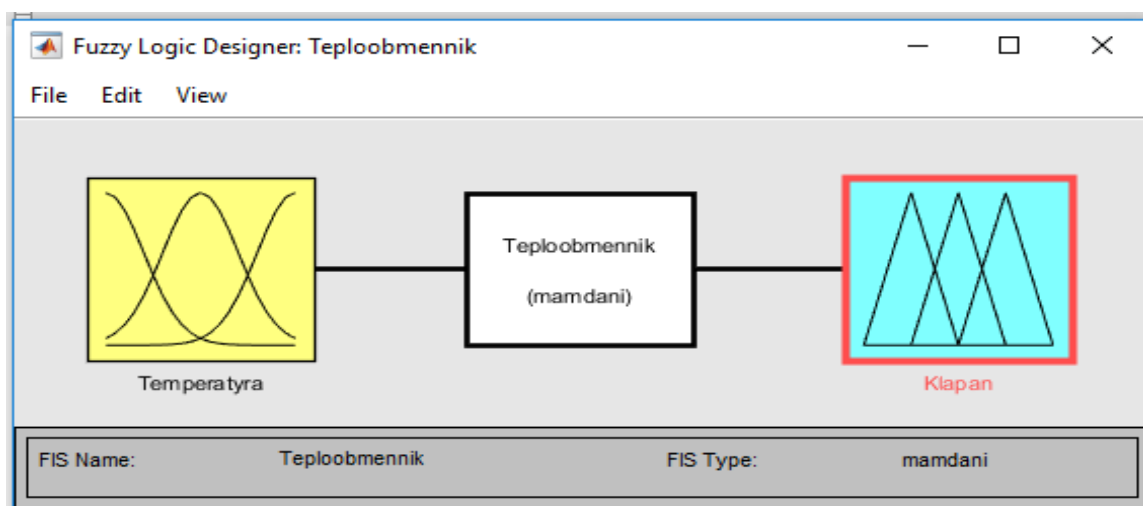


Рисунок 2.5 - Функциональная схема регулирования температуры ОЖ и идентификации неисправностей в окне редактора MATLAB

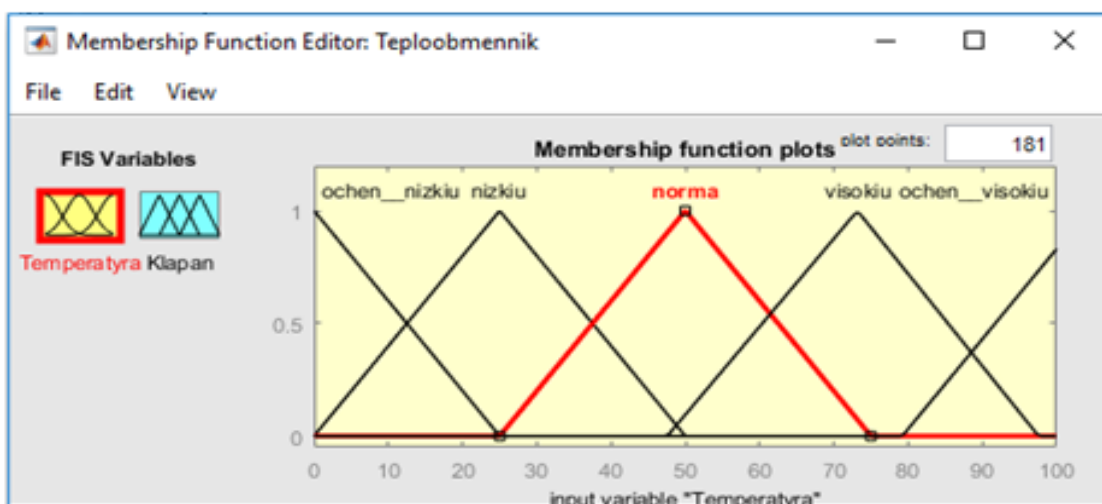


Рисунок 2.6 - Функция принадлежности для переменной, определяющей состояние регулирующего клапана

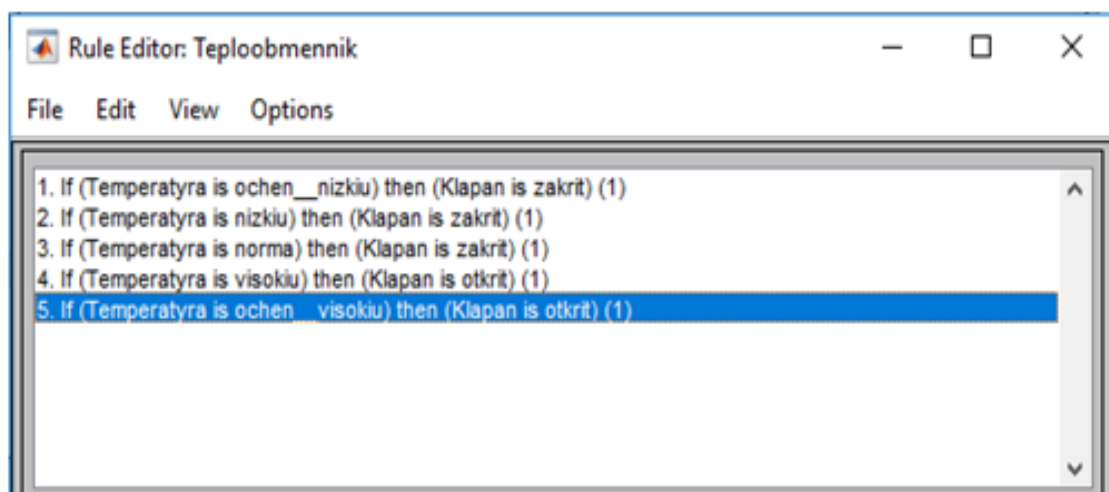


Рисунок 2.7 - Формирование базы правил

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.

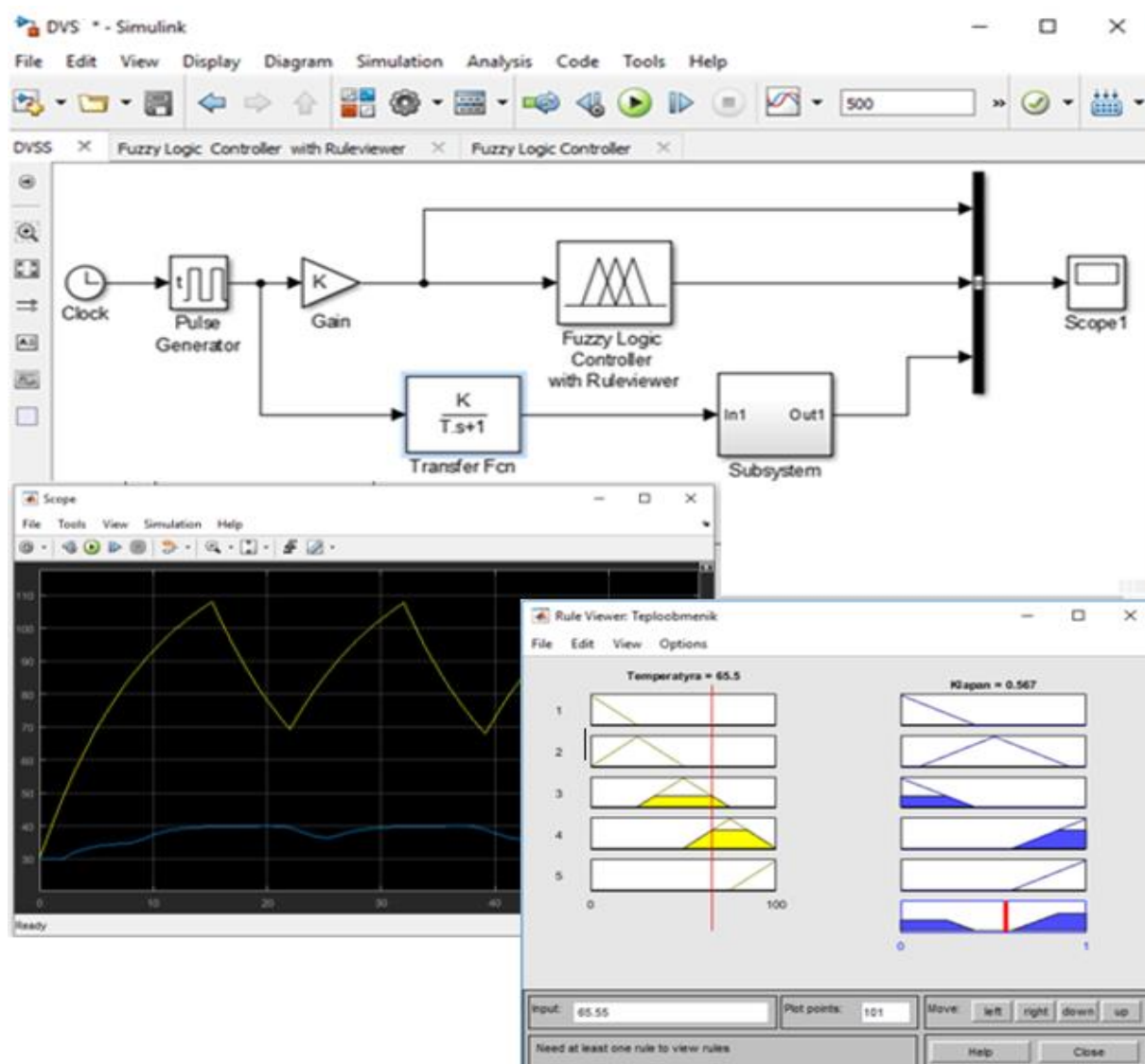


Рисунок 2.8 – Моделирование процесса охлаждения с дополнительным устройством с применением Fuzzy Logic Controller в среде Simulink

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.

2.3. Идентификация параметров разгонной характеристики двигателя внутреннего сгорания

Надежность функционирования современного автомобиля, которая является сложным техническим объектом и во многом зависит от значений технических параметров ДВС и соответствия их номинальным значениям [49,50].

Можно перечислить множество различных способов диагностики технического состояния двигателя, зачастую они требуют разбора данного объекта или сопряжены организацией применения специальных методов использующие методы вибрационного анализа [51-56] 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

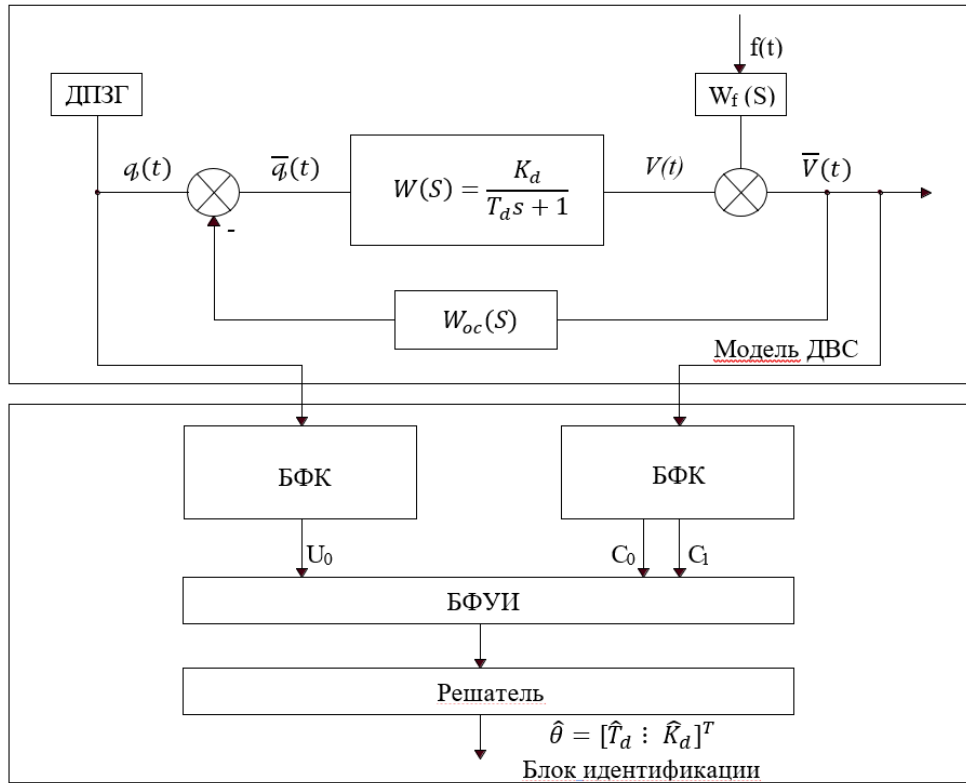
$$T_d^* \frac{d\bar{v}(t)}{dt} + \bar{v}(t) = K_d^* q^*(t) \quad (2.14)$$

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

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

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

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



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

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

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:

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

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

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

$[C_1^*(k) : U_1^*(k)] \left[\frac{T_d^*}{K_d^*} \right] = C_0^*$ или $\Omega(k) \theta = C_0^*$, где $\Omega(k) = [C_1^*(k) : U_0^*(k)]$ – 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.

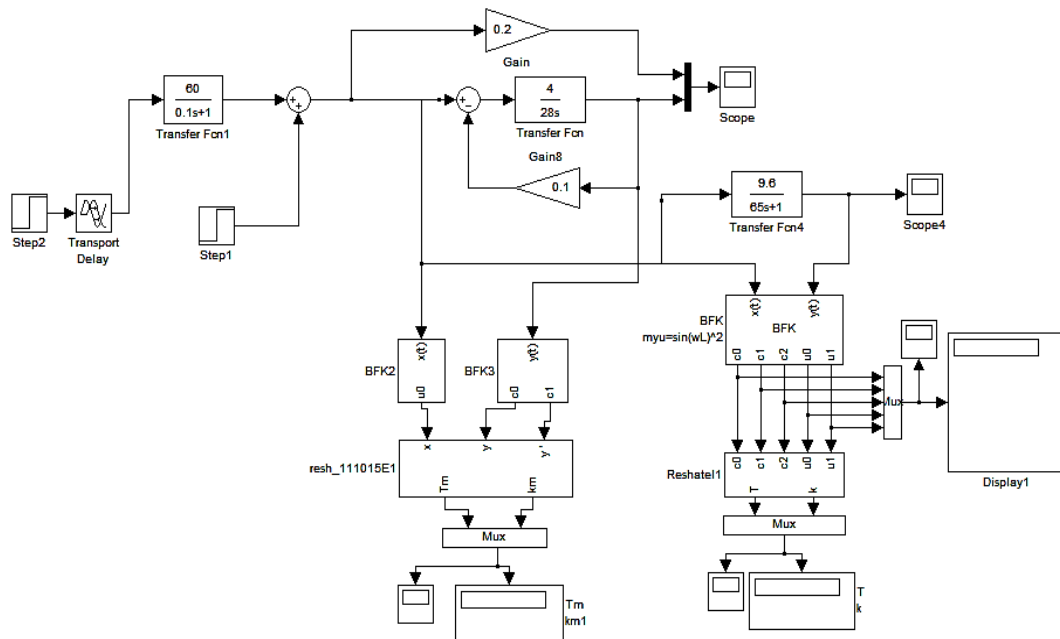


Рисунок 2.10 - Схема моделирования системы идентификации параметров разгонной характеристики ДВС в среде MATLAB/Simulink

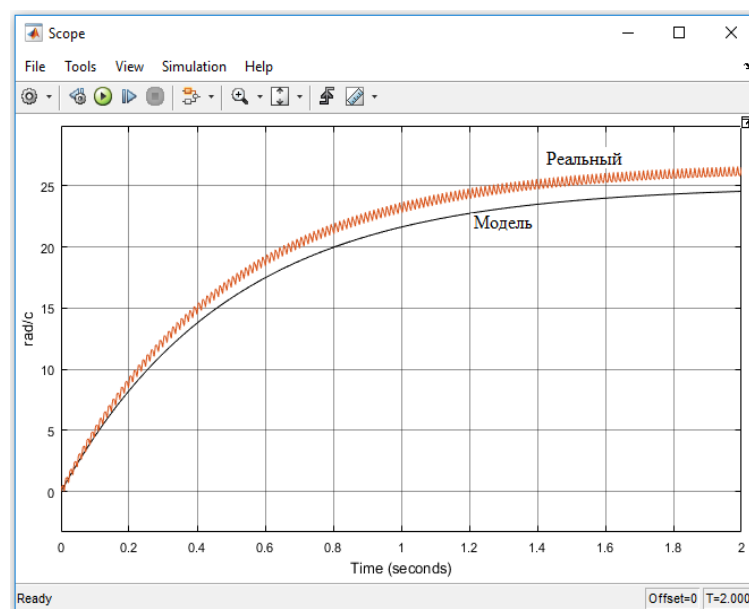


Рисунок 2.11 - Переходные временные характеристики разгона исходной (1) и идентифицированной (2) моделей ДВС

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 двигателя

Математические модели двигателя, приводимые в литературе, содержат структурные и параметрические неточности, и часто не отвечают требованиям адекватности отображения тепловых процессов, происходящих в двигателе [74]. Это происходит потому, что не всегда учитывается тот факт, что двигатель, как объект управления является нелинейной, нестационарной и стохастической системой.

Постановка задачи по созданию системы диагностики состояния системы охлаждения двигателя, дает возможность оценить основные показатели функционирования ДВС в различных режимах, является актуальной и предполагает разработки новых методов, которые не знают аналогов в существующей области исследования. 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].

Размытое или нечеткое множество \tilde{A} можно представить как множество упорядоченных пар $(x, \mu_{\tilde{A}}(x))$, где $x \in X$ это элемент некоторого универсального множества X , а $\mu_{\tilde{A}}(x)$ - функция принадлежности, т.е. степень соответствия, каждому x присваивается значение из интервала $[0,1]$, таким образом данная функция есть отображение вида:

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

Если $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ это означает, что элемент x четко принадлежит множеству \tilde{A} , если $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0$ это означает, что элемент x четко не принадлежит 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.

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

Техническая диагностика неисправностей, предусматривает решение двух задач: решения нечетких уравнений и неравенств, и способ получения заключений с использованием правил.

Построим систему нечетких отношений, которые упрощенно описывают ситуацию поиска неисправностей в системе охлаждения двигателя. В качестве причин неисправности представим 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 множества возьмем множество выводов или отражений неисправности $Y = \{y_1, y_2, y_3\}$, где y_1 – процедура пуска двигателя, y_2 – степень устойчивости функционирования двигателя, y_3 – процедура развития мощности двигателем.

Связь между множествами X и Y , отражающий причину и следствие можно представить в виде пары нечеткого множества $\tilde{P} = \{(x_i, y_j), \mu_{\tilde{P}}(x_i, y_j)\}$, в виде матрицы $M_{\tilde{P}} = \{\mu_{\tilde{P}}(x_i, y_j)\}$. В случае, если в результате контроля состояния автомобиля установлено, что процедура запуска двигателя не выполняется, хотя он в рабочем режиме устойчив и развивает полную мощность, то такое состояние будет представлена в виде нечеткого множества

$$\tilde{B} = \{(y_1, b_1), (y_2, b_2), (y_3, b_3)\}$$

Для определения возможных причин неустойчивой работы двигателя, на основе экспертных данных, представленных в виде нечеткого отношения \tilde{R} , необходимо найти такое множество $\tilde{A} = \{x_1, \mu_{\tilde{A}}(x_1)), \dots (x_5, \mu_{\tilde{A}}(x_5))\}$, которое соответствовало бы нечеткому множеству $\tilde{B} = \{\mu_{\tilde{A}}(x_i)\}$, представленное вектором $b = \{b_1, b_2, b_3\}$.

В системах с продукционными нечеткими правилами, результаты представляют собой нечеткие выводы. Перечислим основные этапы формирования нечеткого вывода:

- Создание базы правил нечеткого вывода, в которых как условия, так и действия выражаются нечеткими лингвистическими переменными.
- Процедура фаззификации входных четких переменных, в нечеткие. Представление значений в нечетких высказываниях.
- Процедура агрегирования подусловий в нечетких продукционных правилах. Определяет степень истинности условий по каждому составному условию в правиле нечеткого вывода.
- Активизация т.е. процедура определения истинности каждого нечеткого правила, составляющее подзаключение. Значения выходной лингвистической переменной W_i , входящее в подзаключения определяется решением уравнений $C_i = \mu(w_i) (\forall i \in \{1, 2, \dots, q\})$, где q – предельное число подзаключений в базе продукционных правил.
- Аккумуляция - процедура определения функции принадлежности для множества выходных лингвистических переменных.
- Дефаззификация выходных переменных, как способ вычисления четкого значения, входящих в выходное лингвистическое множество $W = \{w_1, w_2, \dots, w_k\}$, 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 – число нечетких продукционных правил в подзаключениях, в которых присутствует выходная лингвистических переменная w_i .

Особенностью решаемого круга задач, связанного с диагностикой неисправностей в системе контроля и управления температурой ОЖ, является выявление существующих зависимостей или отношений, которые связывают входные и выходные переменные в этой системе. Определение этих закономерностей в теоретико-множественном или в явном аналитическом виде не всегда возможно, по разным причинам - недостатка информации, либо сложности учета конкретного фактора, оказывающего влияние на данную взаимосвязь и так далее. При существующих неопределенностях, конструктивные решения задачи можно получить, применяя специальный математический аппарат, называемый искусственные нейронные сети. Алгоритм метода предполагает в процессе обучения нейронной сети производит ее настройку на основе имеющейся и доступной информации.

В пакете расширения Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB / Simulink, одним из первых сетей с гибридной архитектурой представлены в виде программы ANFIS (Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System) - адаптивной системы нейро-нечеткого вывода. ANFIS реализован в виде нейронной сети с одним выходом и многими входами, отражающие лингвистические переменные, представленные термами. Эти термы, как правило, описываются функциями принадлежности, являющимися стандартными для системы MATLAB, в тоже время, термы выходной лингвистической переменной представляются линейной, а также и возможно некой постоянной функцией принадлежности.

Принятая в настоящее время математическая модель нейрона, определяет правила представления сигналов, которая изображается в следующей форме:

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

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

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

b – значение смещения;

S – сумма входных взвешенных сигналов со смещением;

x_i – вектор входных сигналов, где $i \in \{1, 2, \dots, n\}$, n – число входов нейрона;

Y – выходной сигнал нейрона;

f – активационная функция, ее еще часто называют, передаточной функцией отдельного нейрона, которое представляется в виде некоторого нелинейного преобразования.

Для определенного слоя сети можно обобщенно записать следующее:

$$W_i, x_i, b \in R, (i \in \{1, 2, \dots, n\}), \quad x_i = a_i^{(1)}, \quad i \in 1, 2, \dots, n. \quad (2.25)$$

Здесь мы видим, что первый результат активаций $a_i^{(1)}$ равен самим входным величинам. Слово активация при этом означает, значение i - того нейрона, полученного в результате применения функции активации. Окончательные значения нейрона z_1 в скрытых слоях находятся как сумма взвешенных входов в слое l и a^l активаций в слое L . К примеру, для второго слоя $l = 2$ уравнения будет выглядеть следующим образом:

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

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

$W^{(1)}$ и $W^{(2)}$ – соответственно веса на первом и на втором слое, а $b^{(2)}$ – значение смещения на втором слое. С помощью функции f вычисляется активация $a^{(2)}$. Она может быть представлена сигмоидой, ReLU или гиперболическим тангенсом и позволит сети учесть сложные паттерны в представленных данных. Представим для 2 слоя ее параметры в матричной форме. Эту операцию в принципе можно использовать для любого слоя нейронной сети. Матрицу весовых коэффициентов $W^{(1)}$ размерности (n, m) , здесь n – это число нейронов на выходе текущего слоя т.е. это число нейронов на следующем слое сети, а m – количество нейронов на входе слоя т.е. число нейронов в предыдущем слое сети. Примем для примера $n = 2$ и $m = 4$ тогда.

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

Как видно из выражения 2.27 первый нижний индекс каждого элемента матрицы $W^{(1)}$ соответствует номеру нейрона в следующем слое т.е. это нейрон в скрытом слое, а второе нижний индекс соответствует номеру нейрона в предыдущем слое т.е. это входной слой. Возьмем вектор x в качестве входного вектора размерностью m , где m – число нейронов на входе сети. Как указывалось ранее $m = 4$.

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

$b^{(1)}$ – вектор смещений размерностью n , где n – количество всех нейронов на текущем слое т.е. $n = 2$.

$$b^{(1)} = [b_1^{(1)} b_2^{(1)}]^T \quad (2.29)$$

В уравнении 2.26 для получения $z^{(2)}$ можем раскрыть в матричной форме:

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

В заключении прямого хода по нейронной сети отметим следующие достижения:

- $x = a^{(1)}$ - активация на входном слое;
- $z^{(2)} = W^{(1)}x + b^{(1)}$ - значение нейрона на первом скрытом слое;
- $a^{(2)} = f(z^{(2)})$ - значение функции активации на первом скрытом слое;
- $S = W^{(2)}a^{(2)}$ - значение активации на первом скрытом слое.

Получаемым результатом при прямом проходе сети будет оценка, прогнозного значения s соответствующего выходного ожидаемого значения y . Следует отметить, что значения y являются частью обучаемого набора данных сети (x, y) , здесь x является входными данными. Среднеквадратическую ошибку, перекрестной энтропии или любой другой функции потерь обозначим как

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

Анализируя значения C , сеть «знает», как нужно скорректировать веса, чтобы приблизиться к известному или ожидаемому выходу y . Реализуется это как правило, методом обратного распространения ошибки.

Метод обратного распространения ошибки предполагает минимизацию функции потерь с помощью корректировки весов W и смещений b нейронов сети. Величина корректировки вычисляется с помощью градиента функции потерь по отношению к этим весам.

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

Чувствительность к изменению выходного значения относительно изменения аргумента x т.е. входного значения определяется функцией производной C . Можно сказать, что производная указывает в каком направлении движется C .

Подсчитаем градиент только для веса (W_{jk}):

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

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

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

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

Таким же образом можно вычислить с помощью этих уравнений и (b_j^l) .

Так называемый локальный градиент вычисляется следующим образом:

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

Следующие настройки будут выполняться пока не будет достигнут минимум установленного критерия.

Процедура нахождения оптимальных весов w и смещений b осуществляется методом наискорейшего или градиентного спуска. Начальные значения w и b выбираются случайным образом.

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

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

где θ – параметр, определяющий скорость обучения т.е. степень влияние градиента; w , b – веса и смещение представленные в виде матриц. Как видно из формулы представления, производная C по основанию w и b вычисляется с применением частных производных C на основе значений отдельных весов или смещений.

Топливная система двигателя представлена в виде нечеткой модели с использованием пакета программ MATLAB Simulink с целью исследования систем нечетких выводов диагностик отказов. Данные входных переменных для построения модели, были перемещены из MATLAB рабочую среду. Процедура фаззификации проведена с учетом с параметров, влияющих на работу топливной системы (таблица 2.2) и типов функции принадлежности. Результаты моделирования приведены на рисунок 2.12 и рисунок 2.13.

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 ДВС y	Слабая	Нормальная	Высокая

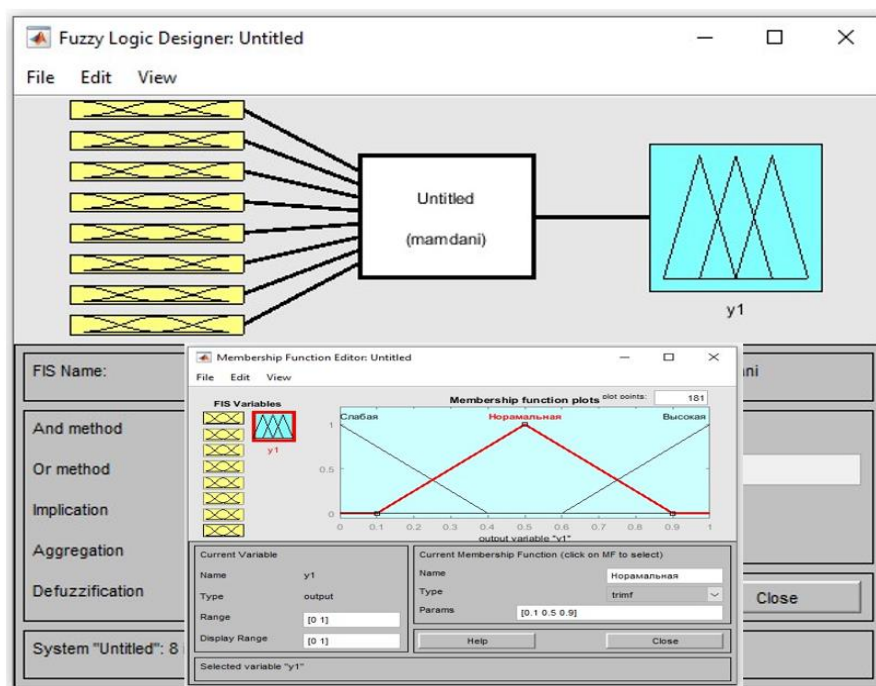


Рисунок 2.12 - Результаты моделирования ДДВС в пакете Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB

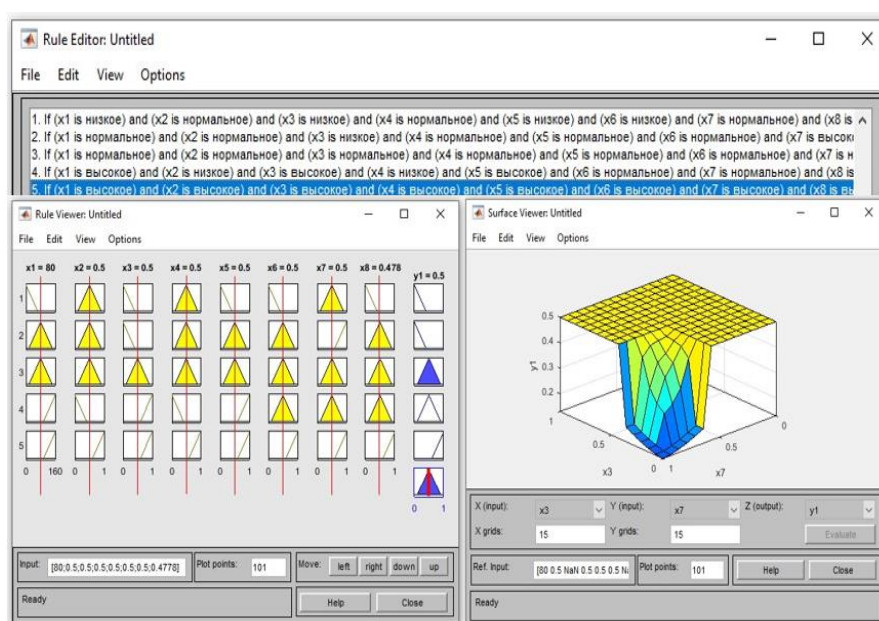


Рисунок 2.13 - Процесс моделирования на Fuzzy Logic Toolbox

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. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ И АЛГОРИТМОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ ДВС

3.1. Разработка нейронного нечеткого регулятора термического состояния двигателя

Эффективное внедрение в жизнь гидротехнических сооружений разработанных проектов немыслимо без решения транспортных проблем, и в первую очередь, проблем автомобильного транспорта. Характерной особенностью Республики Таджикистан то, что она является горной страной, расположенной на высотах $300 \div 7400$ м, резко-континентальными климатическими условиями, которые оказывают большое влияние на режимы эксплуатации автомобилей, особенно грузовых. Эти условия проявляют себя при работы автомашин в строительстве крупных инженерных сооружений на подобие Рогунской ГЭС, расположенной на высокогорной зоне Республики [76,77]. Необходимо отметить, что транспортное средство, перевозящее тяжелые грузы, движется часто, по замкнутому маршруту дорогами, имеющими различные степени крутизны и высоты. В условиях, когда температура и давление воздуха достигают экстремальные значения, которые усложняют режим охлаждения двигателя внутреннего сгорания, понижается эффективность и надёжность двигателя грузового автомобиля.

Нормальная работы системы охлаждения ДВС целиком зависит от ряда факторов, которые существенно влияют на работу двигателя – это число оборотов вала двигателя в единицу времени, величина крутизны подъема дороги в пути движения транспорта, термическое состояние охлаждающей жидкости в двигателе автотранспорта.

Для повышения эффективности работы системы охлаждения используется, предложенное и запатентованное автором [48,78] дополнительное устройство охлаждения, позволяющее за достаточно короткий срок снизить температуру ОЖ в системе на 5-7 градусов. Предложенное устройство, охлаждения охлаждает систему за счет впрыска

воды из дополнительного источника на поверхность радиатора, только в случае, когда температура жидкости внутри радиатора превышает номинальное значение, в следствии влияния перечисленных выше отрицательных факторов.

На основании изучения результатов экспериментальных исследований было выявлено, что термические процессы происходящие в системе охлаждения двигателя достаточно сложны и имеют статистическую неопределенность, особенно при экстремальных условиях эксплуатации автомобиля. Для решения задачи в указанных условиях наиболее перспективным аппаратом является предложенный автором, адаптивный нейро - нечеткий регулятор [79-82], который управляет температурным системы охлаждения двигателя автомобиля, использующая автономный блок охладителя рисунок 3.1.

Известны ряд работ, которые применяют технологию нечеткой логики в задаче управления температурой [83–85], охлаждающей жидкости с дополнительной системой управления системы охлаждения двигателя автомобиля. Нужно отметить, что в этих работах отсутствует узел с нейронной сетью, которая реализует нейросетевую модель процесса с запаздывающим элементом.

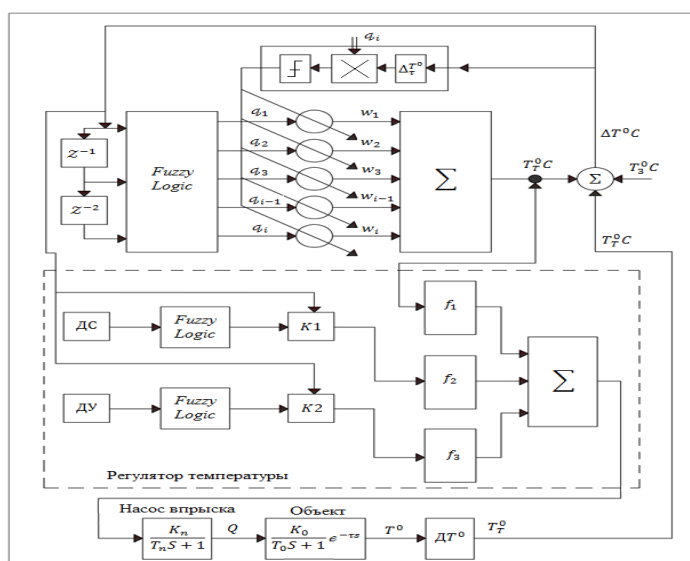


Рисунок 3.1 - Структурная схема системы управления процессом охлаждения жидкости на основе нечеткого нейронного регулятора

В приведенном выше рисунке приняты следующие обозначения: ДС – датчик частоты вращения вентилятора, ДУ – датчик измерения угла подъема дороги, ΔT^0 – величина рассогласования температур, К1, К2 – ключи сигнальных контуров. f_1, f_2, f_3 – функции активации нейронов. T^0 – температура двигателя. Система охлаждения как объект управления рассматривается как апериодическое звено с запаздыванием, передаточная функция которого имеет вид

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

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, соответственно коэффициент усиления и постоянное времени; τ – величина времени запаздывания.

Передаточную функцию запаздывающего элемента с помощью разложения в ряд Паде [12] можно представить в традиционной форме

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

Теперь, передаточная функция объекта управления (ОУ) будет выглядеть в следующем виде

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

Связь между входным (температура на стенках цилиндров) и выходным (реакция на импульсное воздействие) сигналом, для данного процесса можно записать в виде интеграла свертки

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

где $q(t - \tau)$ – сигнал на входе объекта, $g(\tau)$ – импульсная характеристика объекта. Интеграл свертки можно представить в дискретной форме следующим образом

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

Реакцию системы на импульсное воздействие $g(\tau)$, также можно представить в виде суммы произведений взвешенных функций $w_1(j), \dots w_i(j), \dots w_N(j)$, $j \in (N + 1), (N + 2)$ на соответствующие координаты. Эти сигналы активизируются при появлении ошибки рассогласования, которая зависит от величины сигналов, снятых с датчиков температуры, угла подъема дороги и частоты вращения вала двигателя. Алгоритм адаптации должен быть выбран таким, чтобы веса $w_i(j)$ должны приближаться к коэффициентам $g_1 \dots g_N$ как можно ближе, следует отметить, что в уравнение (3,5), j обозначает номер итерации.

В терминах сетевой нейронной технологии, весовые коэффициенты отдельных нейронов выполняют функции синапсов

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

Применяя обозначения (3.5) и (3.6) будем иметь

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

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 $\mathcal{E}_i(j)$ выполняет роль функции ускорения настройки вектора \vec{w}_{j+1} , коэффициентов нейрона.

Рекуррентный алгоритм вычисления весовых коэффициентов нейрона, входящий в уравнении (3.9) можно представить как

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

здесь $j = 1, 2, \dots, N$ текущий этап итерации, с учетом этого определим рекуррентную формулу

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

с помощью которой вычисляются весовые коэффициенты нейрона. Предложенная адаптивная нечеткая сеть состоит из фаззификатора исходных координат и синапсов (весовые коэффициенты) в соответствии с числом проекций входного вектора, а также блок, выполняющий суммирование и вычитания, кроме того, блок адаптации, дефаззификатор здесь не используется, в связи с тем, что используется алгоритм Мамдани.

Задачу решим, используя экспертную систему оценок и введем следующие термы для блока фаззификатора: «низкий», «средний», «повышенные», «высокие». Представим эти термы с учетом представленных систем ограничений.

Таблица 3.1 - Скорость вращения коленчатого вала автомобиля

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

Определим термы для отклонений дороги относительно горизонта, так называемого угла подъема движения автомобиля (обычно измеряют с помощью датчика угломера – инклинометра). В таблице 3.2 приведены данные термов лингвистической переменной «Угол подъема».

Таблица 3.2 - Угол подъема пути

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

Функции принадлежности для ошибки рассогласования $\Delta \varepsilon$ управляемого параметра температуры жидкости в радиаторе определяются термами лингвистической переменной «Температура жидкости»,

относительно ее установленного значения: Отрицательное – О, Нулевое – Н, Большое – Б, Положительное – П, Среднее – С, Малое – М.

Система термов лингвистических переменных ε и $\Delta\varepsilon$ для такого ПИ (пропорционально-интегрального) фазорегулятора может быть предоставлено в виде следующей таблицы 3.3.

Таблица 3.3 – Система термов 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	З	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

На рисунке 3.1 приведена структурная схема управления температурой ОЖ двигателя. В приведенной схеме имеется возможность включения или отключения ключами К1 и К2 информационных каналов с датчиками скорости и угла подъема, в соответствии с уровнем ошибки рассогласования по температуре объекта управления.

Адаптацию синаптических коэффициентов нейрона можно, осуществить с помощью оптимизационного алгоритма Уидроу-Хоффа [86], который использует метод наискорейшего спуска, для минимизации ошибки рассогласования

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

где $q_{\text{ж}}$ – желаемая величина вектора колебания температуры объекта,

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

Весовой коэффициент w_i на $(k + 1)$ шаге итерации с учетом его значения на k -ом шаге вычисляется с применением следующей формулы

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

N – параметр, регулирующий скорость сходимости алгоритма настройки весов синапсов входов нейрона. Адаптация нейронной сети состоит в

преобразовании сигналов, которые поступают из блока фаззификатора в виде сигналов $\{q_1, q_2, \dots, q_k\}$, другими словами, вектора входных сигналов подстраиваются так, чтобы величина ошибки рассогласования приближалось к минимуму.

В непрерывном представлении, способ настройки весовых коэффициентов можно представить будет иметь вид нижеследующего полинома.

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

Квадратичная форма управления (3.6) относительно ошибки будет выглядеть как

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

В общем виде частная производная функционала \mathcal{F} от весовых коэффициентов синапсов каждого нейрона, можно выразить формулой (3.15), где параметры настройка нейрона w_{ik} согласно выражению (3.14) при определенных условиях обеспечивают минимум \mathcal{F} . Здесь k — определяет номер соответствующего ($k=1,2,3$) контура управления $\mathcal{E}_k(t)$.

Преобразовав выражение (3.15) с использованием функции $sign(x)$ повысим быстродействие контура управления

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

Полученный сигнал с выхода нейрона направляется в функцию активации \mathcal{F}_i , после чего формируется процесс интегрирования системы управления насосом терморегулирующего опрыскивателя радиатора автомобиля.

В непрерывных системах управления в качестве функции принадлежности, как правило, используются (L-R) - функции с гладкой формой [14]. Эти функции задаются в виде $f(x) = e^{-|x|^p}$ либо $f(x) = \frac{1}{1+|x|^p}$. Параметр возьмем $p = 2$. В этом случае нечеткое число (L-R) типа, будет представлено как $Q = \{q, \mu(q)\}$, тогда его функция принадлежности,

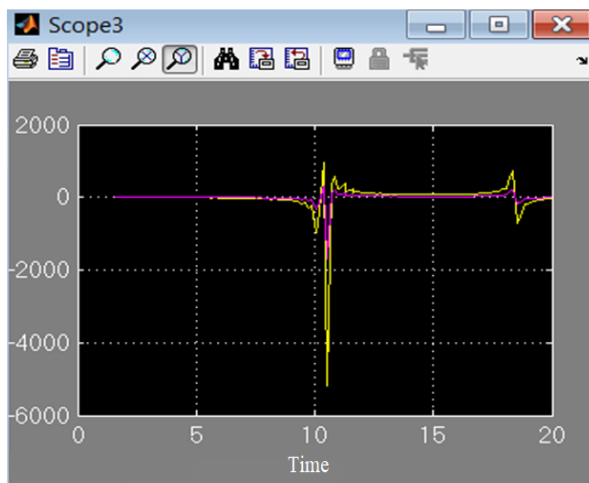
представить собой композицию, состоящую из функции - L и некоторой функции - R

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

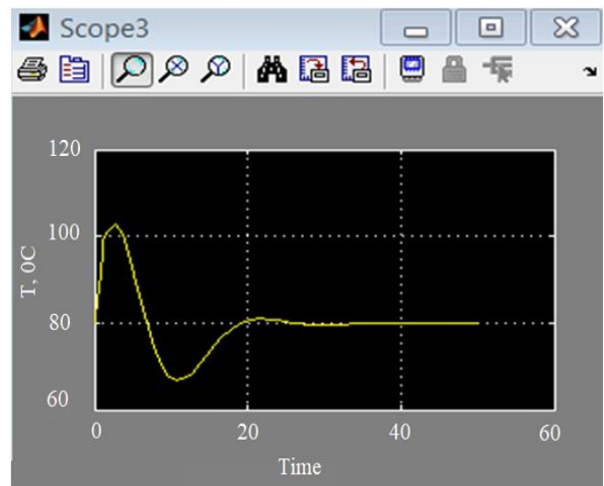
Передаточная функция нейрона или функция активации нейрона в нашем случае принята как сигмоидальная.

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

На рисунках 3.2. а), б) приведены результаты моделирования, предложенной нейро-нечеткой системы управления в среде MATLAB/Simulink.



а)



б)

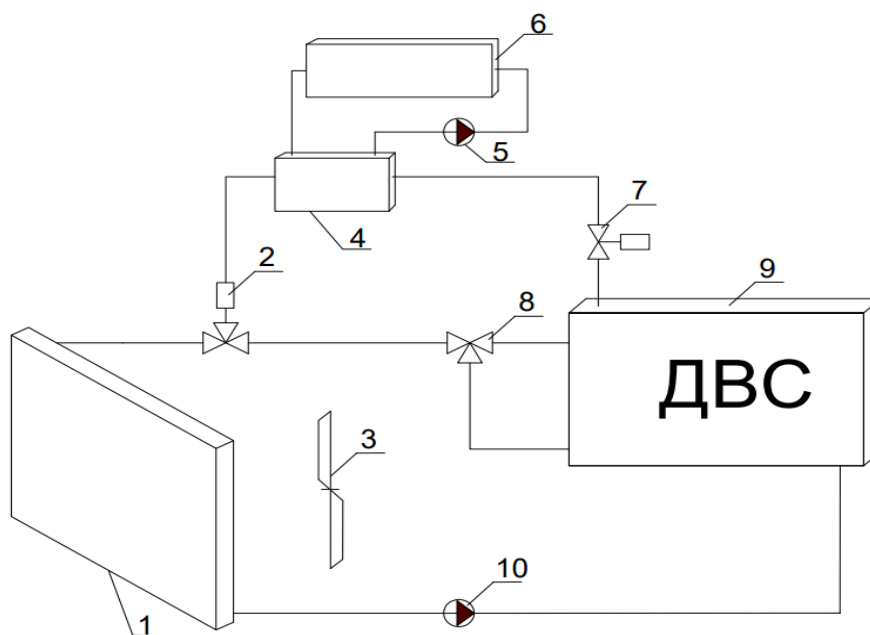
Рисунок 3.2. - а) Переходной процесс изменения функции ошибки и ее производной в системе регулирования температуры. - б) График изменения температуры охлаждающей жидкости внутри радиатора ДВС автомобиля при работе регулятора охладителя.

Так как исследуемый объект имеет запаздывающий характер, поэтому в системе охлаждения присутствуют некоторые колебания.

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].



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.

Рисунок 3.3 - Система охлаждения ДВС с дополнительным охлаждением

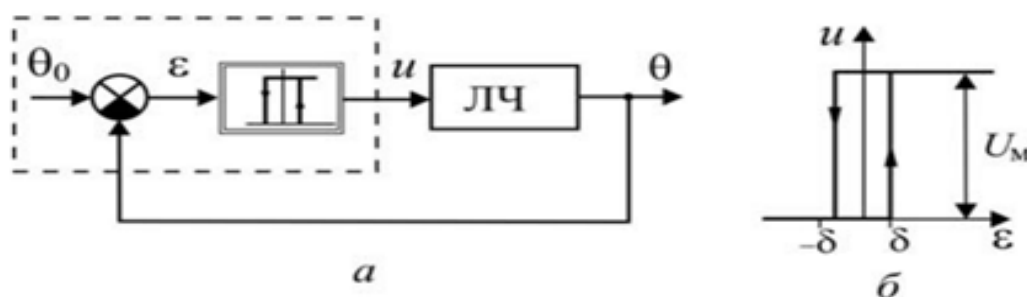
Схема работы системы охлаждения, транспортного средства, основанная на предложенной модели системы управления транспортного средства представлена на рисунок 3.4.

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 3.4:

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



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

Рисунок 3.4 - Система автоматического регулирования с релейным элементом

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 3.5.

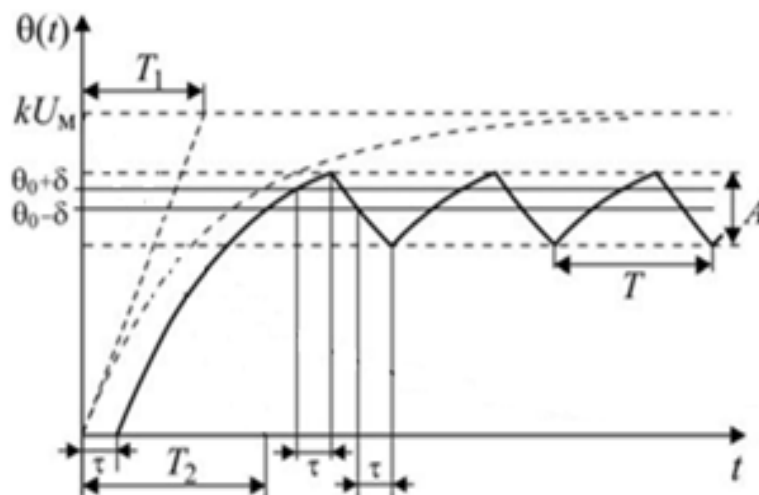


Рисунок 3.5 - Релейное регулирование температурой теплоносителя в системе охлаждения

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]:

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

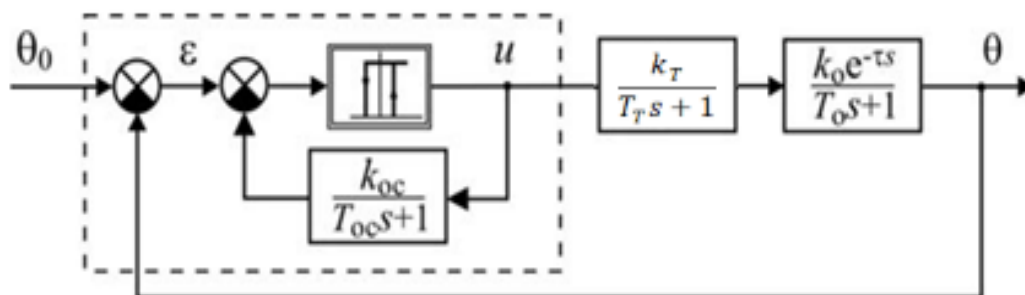


Рисунок 3.6 - Структурная схема САР температуры с дополнительным отводом тепла и релейным регулятором

На рисунок 3.7 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.

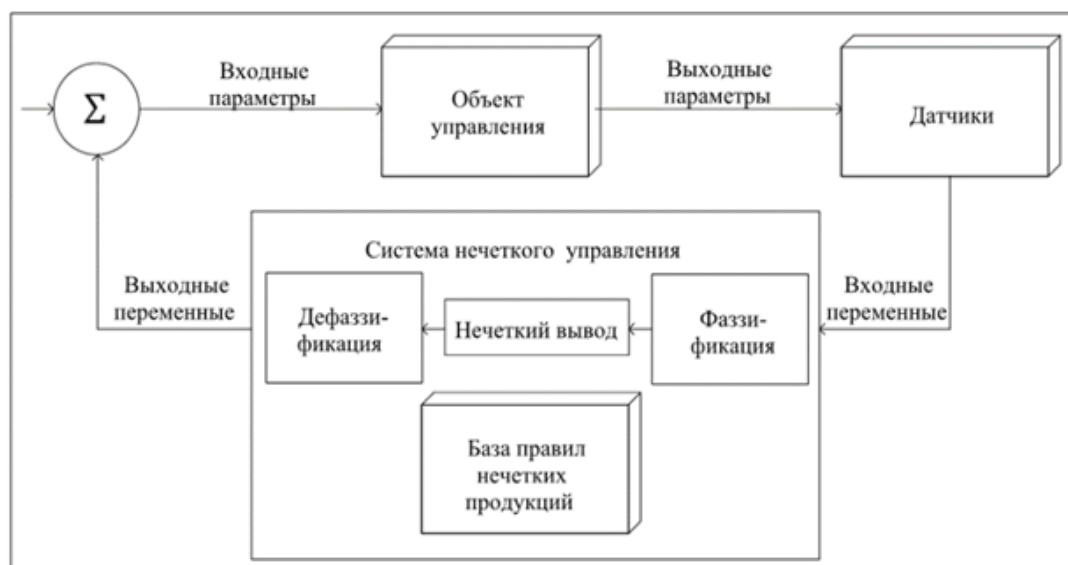


Рисунок 3.7 - Структурная схема с применением нечеткого управления температурой системы охлаждения

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



Рисунок 3.8 - 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.

Логический вывод осуществляется на основе правил базы знаний, которые формируются на основе знаний специалистов или знаний экспертов в данной проблемной области и может быть представлена в виде продукционных правил установленного вида. Фаззификация является процедурой установления некоторого соответствия между конкретным значением входной переменной (x) и значением функции принадлежности $\mu(x)$, нечеткой лингвистической переменной, называемый часто термом [7]. Терм — это множества, которые образуются из нечетких переменных (холодно, тепло, жарко) представленных одномерной функцией принадлежности $\mu(x)$. Множество A задается как $A = \{x, \mu_a(x)\}$.

Процесс агрегирования предусматривает реализацию процедуры определения степень истинности правил системы нечеткого вывода. Так как все нечеткие высказывания, составляющие базу правил представлены в виде < лингвистические переменные составляющие высказывания A > <условия> < лингвистические высказывания B >, K . Где K это весовой уровень правила, при

$K=1$, уровень истинности на шаге обобщения или агрегирования остаются без изменения [90]. Когда, условие состоит из нескольких подусловий, причем эти лингвистические переменные в этих подусловиях попарно не равны между собой, в этом случае истинность правила определяется итоговым высказыванием.

Величина функции принадлежности $\mu_a(x)$ нечетких множеств A определяется на этапе активизации для каждой из выходных лингвистических переменных. Определение значения функции принадлежности для каждого подзаключения выполняется как:

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

где $\mu(y)$ – функция принадлежности - значение выходной переменной y ; c_k – истинность некоторых из подзаключений.

Для отдельной выходной переменной сети, функции принадлежности определяется как аккумулярование т.е. объединения с использованием операции дизъюнкции имеющие максимальные значения истинности заключений.

В системах управления, как правило используются количественные значения выходной переменной, которое воздействует на исполнительный механизм объекта, являющийся внешним по отношению к нечеткому регулятору. Для получения четких значений от нечетких термов в системах нечеткого вывода, используется процесс дефаззификации. Для этого преимущественно применяется, известный метод центра тяжести функций принадлежности.

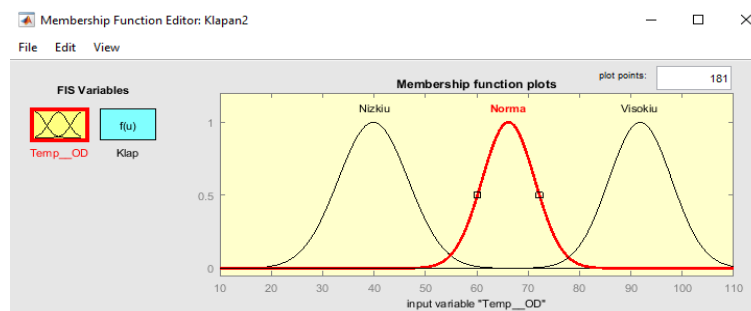


Рисунок 3.9 - График функции принадлежности для термов лингвистической переменной «температура охлаждающей жидкости»

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.

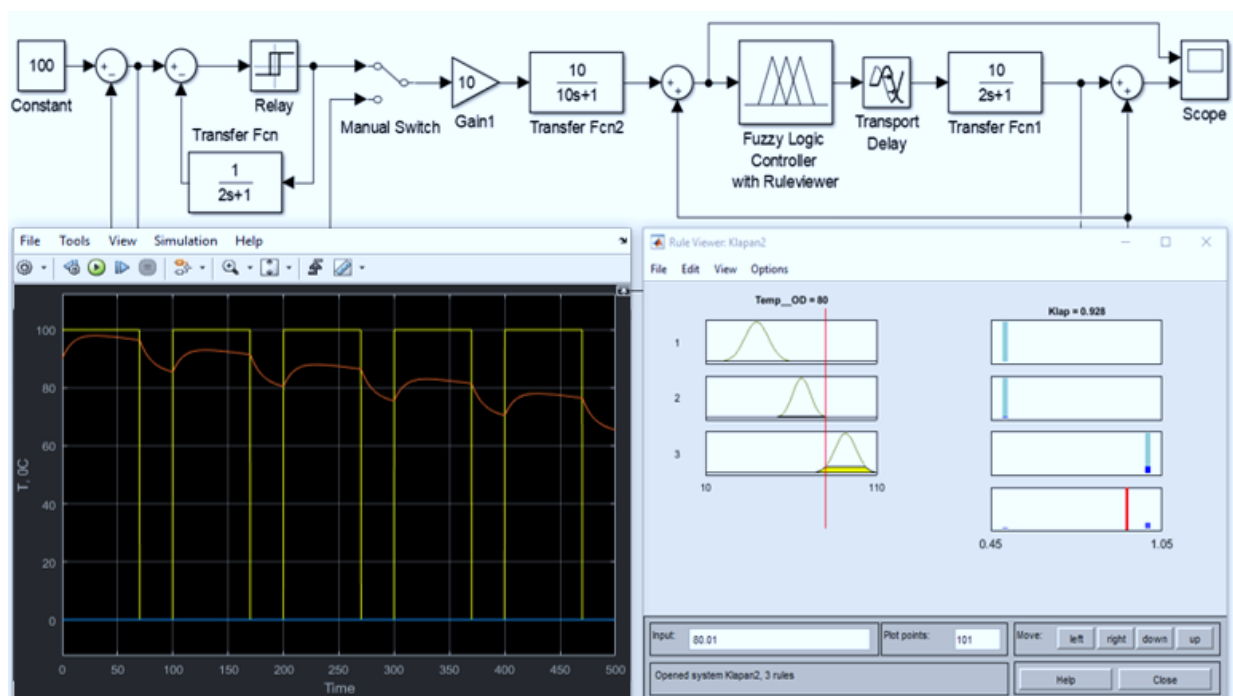


Рисунок 3.10 - Схема моделирования нечеткого регулирования температуры системы охлаждения двигателя с релейным регулятором

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 ДВС на основе принципов нечеткой логики и алгоритмов искусственной нейронной сети

Одним из современных методов диагностики ДВС, имеющее наибольшее распространение это мотортестеры и встроенные системы диагностики. Упомянутые устройства широко распространены особенно в двигателях, оборудованных системой электронного управления. Эти системы способны производить контроль параметров двигателя, а также устройств входящих в ее состав, и производит самодиагностику [91].

Мотортестеры, входящие в состав диагностических приборов, являются консольными устройствами, которые имеют свой комплект датчиков. Эти приборы позволяют оценивать состояния ряда параметров двигателя независимо от системы электронного управления – число оборотов вала, угол опережения зажигания, неравномерность скорости вращения, напряжение на зажимах аккумулятора, напряжение на низкой и высокой стороне обмотке системы зажигания и другие. С целью определения допустимых значений контролируемых параметров и диагностики эти приборы имеют возможность выполнять тестовые режимы функционирования двигателя.

Эти системы имеют ряд недостатков, к которым можно отнести: ограниченные возможности определения общего состояния ДВС и

рассчитаны, преимущественно, для обнаружения неисправностей, а также локализацию отказов уже после появления.

Как уже было отмечено, невозможно представить современные дизельные двигатели без встроенных электронных систем управления двигателем (ЭСУД), которые выполнены на основе микропроцессорных систем. Сигналы управления при этом вычисляются с помощью разработанных программ на основе собранных данных в ПЗУ системы. На заводе при калибровке двигателей заполняются на основе проводимых экспериментов, а также эти данные представляются в виде многомерных таблиц. Применение ЭСУД обусловлено большой сложностью двигателя как объекта автоматического управления. Отмеченные уже сложности объясняют применение таких таблиц и считаются наиболее экономичными с точки зрения вычислительных мощностей управляющих блоков и сложности, применяемых алгоритмов. При таком управлении принятые решения далеки от оптимальных потому, что технические параметры имеют большой разброс каждого отдельного двигателя, а также, в связи с тем, что управляющие сигналы рассчитываются по тем же табличным значениям. Определяющими факторами при этом, являются точность данных таблицы, и производительность, а также разрядность микропроцессора, являющегося основой ЭСУД [92].

Недостатками этих устройств, которые отражают преимущества встроенной системы диагностики, являются небольшое число контролируемых параметров, которое заложено разработчиками в ЭСУД, кроме того, нужно отметить низкий уровень универсальности. Контролируемые и сохраняемые данные представлены в основном, как высокое и низкое значение сигнала, принятого от датчика, при этом отклонения сигнала от нормы должны сохраняться продолжительное время для обработки системой. Данные, относящиеся к кратковременным отклонениям ЭСУД, не фиксирует.

Общее состояние двигателя определяется ограниченным числом контролируемых параметров: эффективные значения момента на валу двигателя, выработанная мощность, расход топлива, угол опережения зажигания, состав отработанных газов.

Анализ литературных, источников, показывает, что известные математические модели двигателя имеют, как правило структурные и параметрические неопределенности и в следствии чего не адекватно оценивают механические, тепловые и химические процессы двигателя.

Подводя итог вышесказанному, нужно отметить, что создания диагностических систем, которые позволили бы отразить основные параметры двигателя при различных скоростях вращения и нагрузках на валу двигателя, с учетом состояния окружающей среды, является актуальной и требует создания оригинальных подходов, отличающихся от существующих. Одним из таких методов является использование современных методов идентификации и управления на основе принципов нечеткой логики и нейросетевых технологий. Дизельный двигатель как объект автоматического управления, представляет собой систему, имеющую нелинейный нестационарный и стохастический характер. Как объект управления, двигатель, эксплуатируется в различных режимах и подвержен воздействию внешних, изменяющихся во времени возмущающих факторов [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 3.11 приведена концептуальная схема диагностики и прогнозирования технического состояния ДВС на базе искусственного

интеллекта. Полученные от датчиков сигналы поступают на программно–логический контроллер.

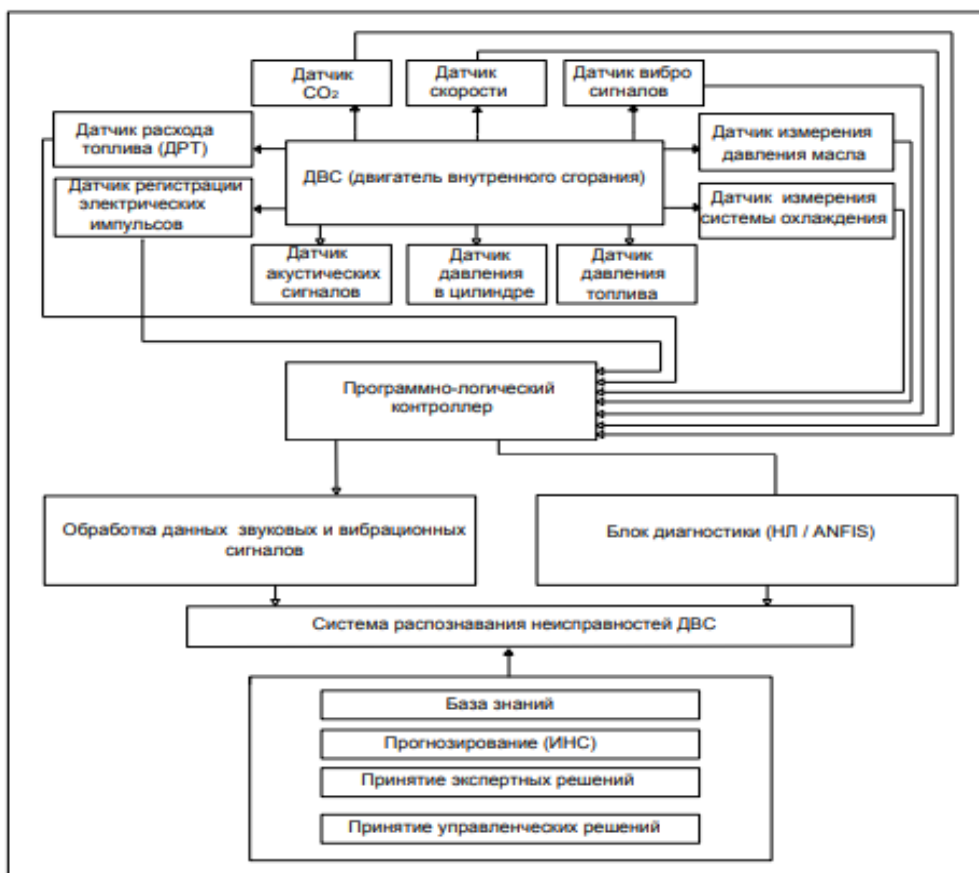


Рисунок 3.11 - Концептуальная схема диагностики и прогнозирования технического состояния дизельного ДВС на базе ИИ и нечеткой логики

При разработке базы знаний экспертной системы были использованы результаты индицирования, которые были фаззифицированы значениями параметров лингвистических переменных, соответственно термами: 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	p _{exp}	[55...63]	[63...67]	[67...75]
Температура выпускных газов, °C	tr	[270...285]	[285...315]	[315...330]

Максимальное давление в топливopроводе высокого давления, бар	Fpmax	[500...520]	[520...580]	[580...600]
Содержание CO в выбросах, %	CO	[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]

Результат моделирования нечеткого классификатора в среде MATIAB/Simulink для диагностики отказов показано на рисунке 3.13. Входные переменные модели переданы из MATIAB рабочую среду для построения нечеткого классификатора отказов. Фаззификация выполнена с учетом количества членов и разработанных функции принадлежности в соответствии с данными таблицы 3.5. Разработана система правил, осуществляющий систематический контроль в интервале допустимых значений параметров.

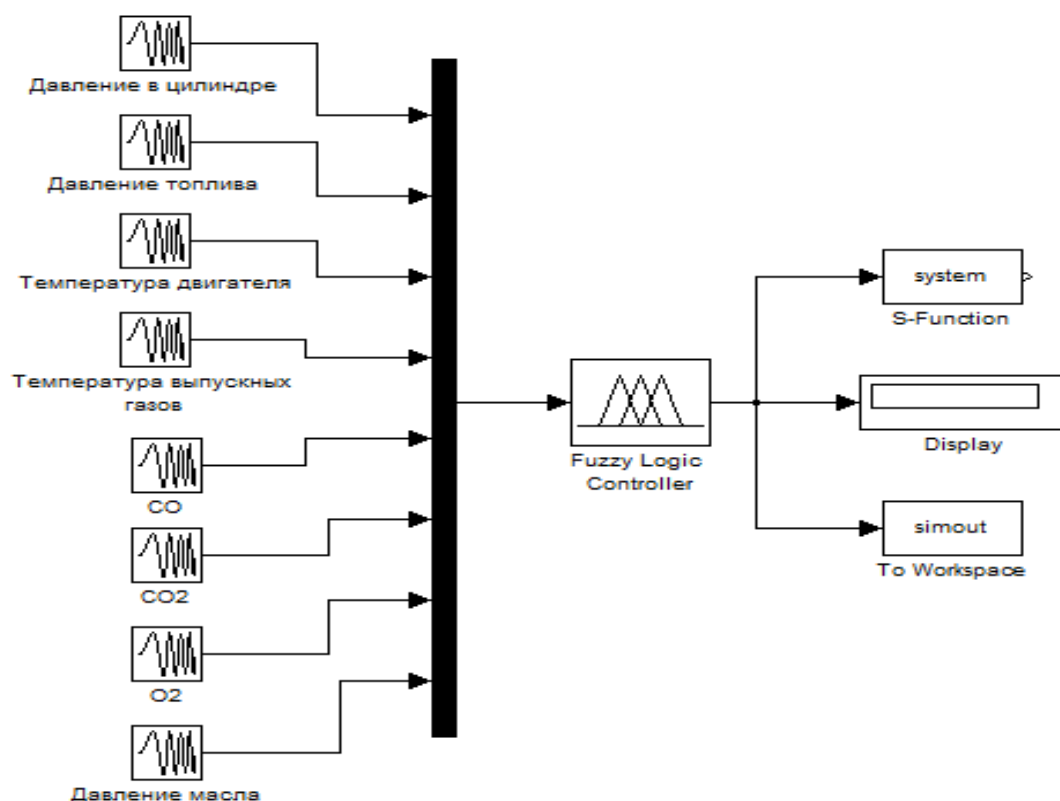


Рисунок 3.12 - Модель, разработанная в MATLAB/Simulink для диагностики отказов с применением контроллера нечеткой логики

На рисунок 3.13 показан результат моделирования неисправностей топливной системы ДВС в трехмерном пространстве.

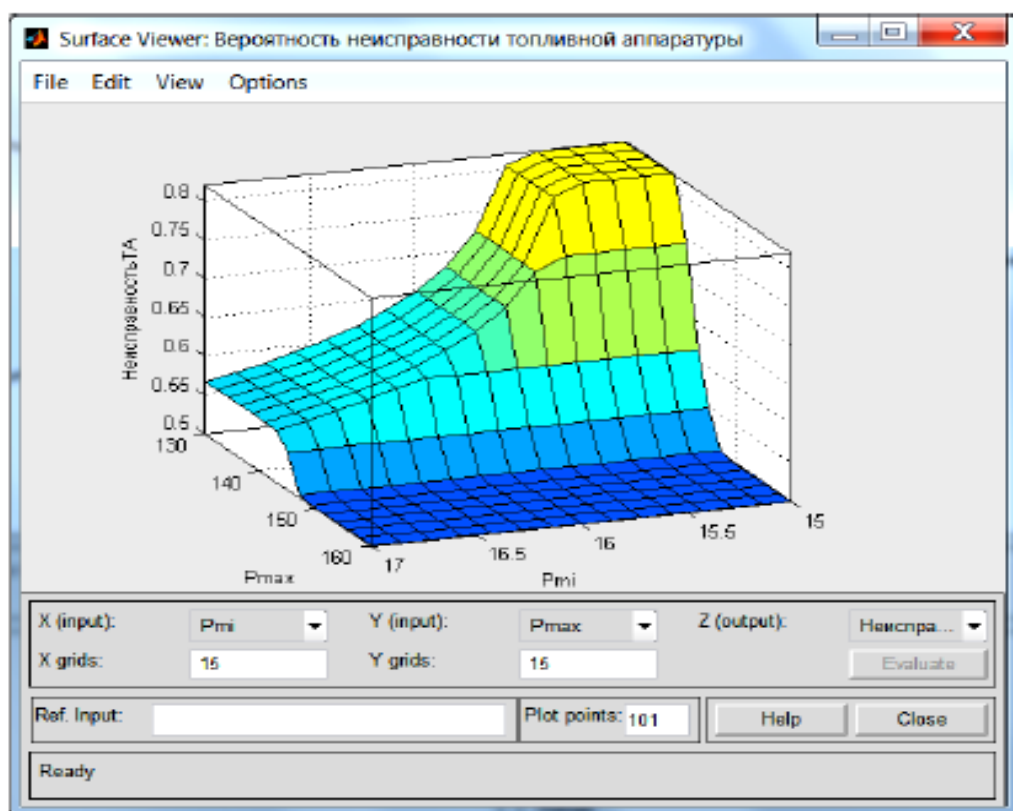


Рисунок 3.13 - Синтезированная поверхность «входы–выход» при неисправности топливной аппаратуры

Согласно разработанной концепции применения алгоритмов нейро–нечёткой логики для устранения проблем при решении задач 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 модель нейронной сети с элементами нечеткой логики с целью исследования процесса стабилизации температурного режима охлаждающей жидкости.
- Среде MATLAB реализована математическая модель систем с позиционным регулированием температуры охлаждающей жидкости.
- Разработана интеллектуальная система позиционного контроля и управления системой стабилизации температуры ДВС

ГЛАВА 4. ПРИМЕНЕНИИ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДВС

4.1. Исследование температурных режимов работы систем охлаждения грузовых автомобилей с применением дополнительного теплообменника

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), $T1$ – величина температуры охлаждающей жидкости на входе радиатора ($^{\circ}\text{C}$), $T2$ – величина температуры ОЖ на выходе радиатора ($^{\circ}\text{C}$), c_p – теплоемкость ОЖ (кДж/(кг $^{\circ}\text{C}$)). Зависимость (4.1) определяет состояние или теплосодержание ОЖ 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 изменение состояния

контура охлаждения под воздействием возмущающих факторов. Система уравнений, контура охлаждения в переходном режиме - от стационарного к нестационарному температурному режиму 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, разработанного автором на кафедре «Автоматизация технологических процессов и производств». Стенд оснащен датчиками и ноутбуком для сбора и обработки экспериментальных данных, полученных от датчиков, результаты произведенных расчетов представляются в виде таблиц или графиков.

4.2. Прогностический контроль и управление процессом охлаждения дизельного двигателя с применением элементов нечеткой логики и модели нейронной сети.

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.

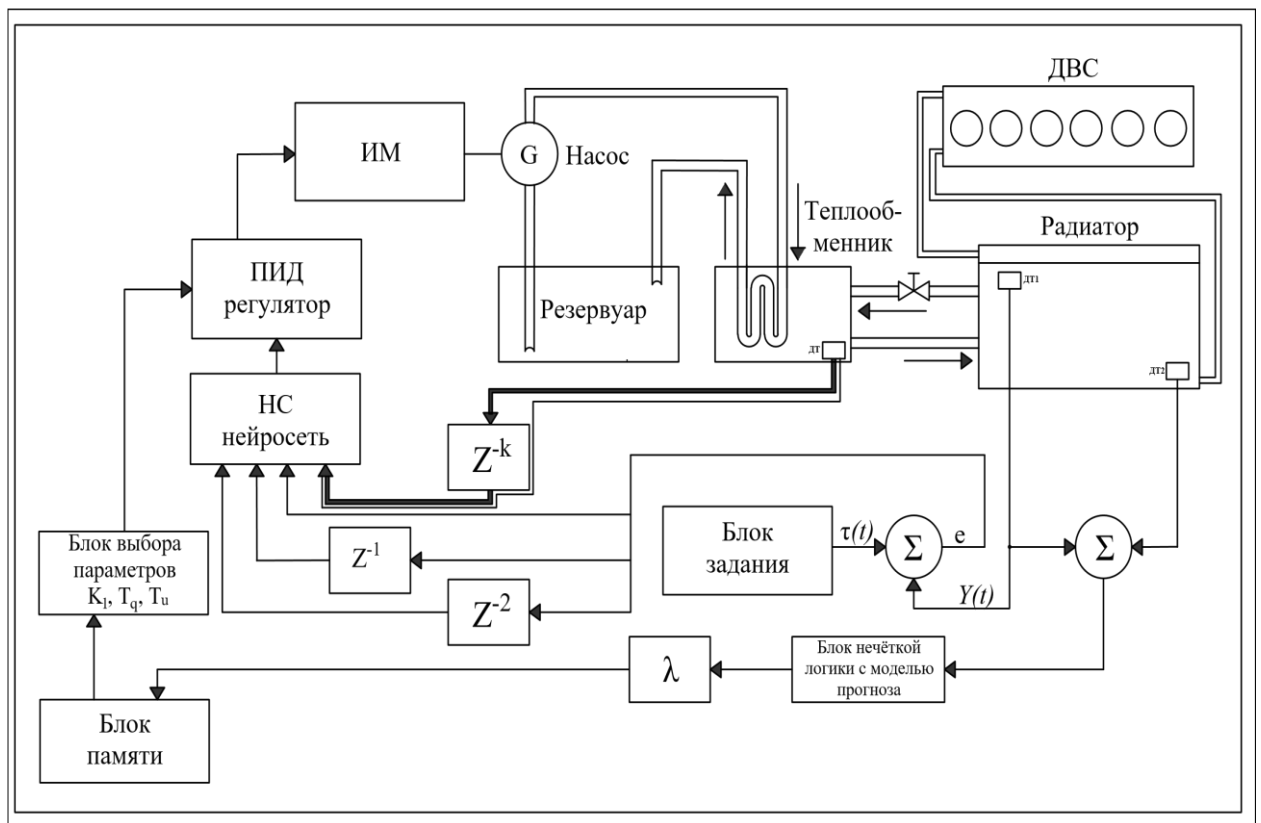


Рисунок 4.1 - Структурная схема системы охлаждения дизельного ДВС с прогнозирующей нейросетевой моделью

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 уравнение 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.

Передача теплового потока от теплоносителя через стенку в другую среду, состоит из нескольких основных этапов: первый этап состоит из передачи тепла от более горячего теплоносителя к менее горячей стенке, поглощение этого тепла стенкой с последующим ее нагревом и распределением по стенке и дальнейшая передача тепла от этой стенки к холодному теплоносителю (например, воздуху). 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 (ОЖ) 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 – значение температуры ОЖ на входе двигателя (°C);

T_2 – значение температуры ОЖ на выходе из двигателя (°C).

Наконец, основные дифференциальные уравнения системы теплообмена резюмируются следующим образом:

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

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 – значение массы воды, поступающий в дополнительный теплообменник от независимого источника;

\dot{m}_b – массовый расход ОЖ блока цилиндров двигателя;

ε – к. п. д., радиатора.

В вышеприведенном уравнении (4.11) для змеевика (конструктивное выполнение дополнительного теплообменника) (рисунок 4.2) контактная площадь поверхности теплообмена охлаждающей жидкости принята около 0,64 м².

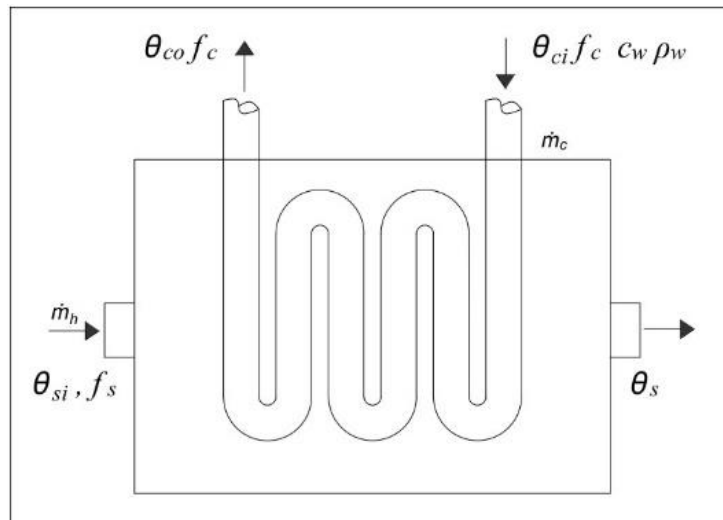


Рисунок 4.2 - Конструктивная схема теплообменника для дополнительного охлаждения жидкости дизельного двигателя внутреннего сгорания.

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

где Q_a – тепловая мощность двигателя; f_c – расход ОЖ двигателя; f_s – расход дополнительного охладителя; ρ_w – плотность ОЖ двигателя; C_w – удельное теплоемкость ОЖ двигателя; θ_{si}, θ_s – входная температура и выходная температура дополнительного охладителя; θ_{co}, θ_{ci} – соответственно температуры входящей и выходящей охлаждающей жидкости двигателя; 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. Распределение температур зависящий от геометрических параметров объекта как теплообменника обуславливает математическое описание статики системы. Изменение теплового состояния системы описываются в виде дифференциальных уравнений, при учете одной пространственной координаты, если задачу рассматривать в пространстве трех координат, то дифференциальными уравнениями в частных производных. В качестве независимых переменных в этом случае, будут выступать пространственные координаты системы. При учете тепловых эффектов, распределённых в

пространстве, динамика процесса описывается уравнениями в частных производных, следует отметить, что одной из независимых переменных будет время.

Поэтому применение нейросетевых технологий для решения задачи управления тепловым режимом охлаждения двигателя внутреннего сгорания позволяет, не прибегая к изучению сложных математических моделей процесса, построить эффективную систему автоматического управления. Вспомним, что классические ПИД регуляторы вырабатывают управляющие сигнала на основе интегрирования и дифференцирования входного сигнала. Если учесть, что регуляторы, как правило, имеют фиксированную структуру, то невозможно качественно управлять системой при не стационарности координат исследуемого объекта. Таким образом, управление при таких условиях становится возможным если использовать адаптивные системы, или использованием регуляторов, построенных с применением теории расплывчатых множеств [101,102]. Для управления объектом нечеткие регуляторы используют систему продукционных правил, построенных на основе экспертных знаний (учета особенностей регулируемого процесса). Настройка этих регуляторов не требует построения адекватной математической модели объекта, достаточно знания правил и особенностей управления переменными объекта.

4.3. Разработка нечеткого контроллера для

Построенный в программной среде MATLAB нечеткий контроллер имеет два входа и одним выход. В качестве входных переменных приняты температурная погрешность теплоносителя (ΔT) и мощность двигателя (P). Температурная погрешность ΔT — это разница между заданным значением температуры и фактической температурой охлаждающей жидкости. Выходная мощность P — это результат произведения нагрузки двигателя на скорость его перемещения. Выходной переменной является температура охлаждающей жидкости двигателя, которая зависит от частоты вращения электродвигателя насоса дополнительного 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 подачу 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, $u_{опс}$ – 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 функциями активации в скрытом слое, а в выходном слое линейными функциями активации. Величина разности предсказанного значения от выхода объекта и выхода нейронной сети является

сигналом, обучающим нейронную сеть. В нейросетевой модели объекта результаты, полученные от предыдущих входов и выходов, используются для предсказания будущих значений процесса на выходе сети.

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 4.3). Для обучения данной нейронной сети использован метод алгоритм Левенберга–Марквардта (*LM*) [105].

При составлении системы нечетких продукционных правил используются следующие термы лингвистических переменных: *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 термов может быть любым, однако с возрастанием их числа существенно увеличивается сложность, составления правил для всех комбинаций входных переменных, как правило, количество термов переменной не превышает числа семь. [106].

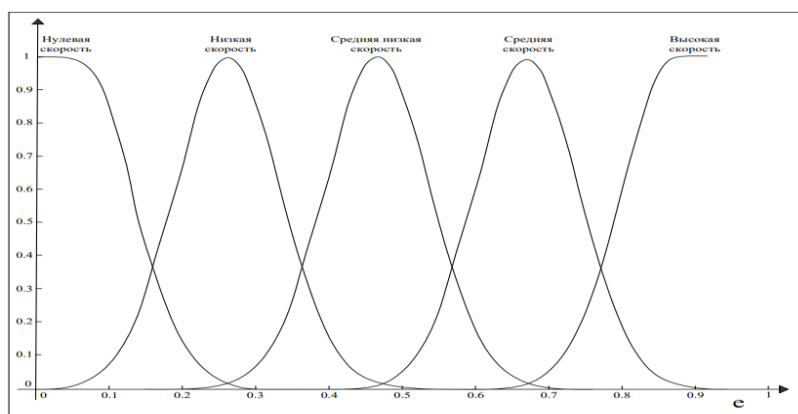


Рисунок 4.3 - Функции принадлежности блока нечеткой логики для параметров ПИД регулятора насоса.

Представим диапазон изменения ошибки системы e как множества N, Z, P , а диапазон представления управляющего воздействия – как множества NL, NM, Z, PM, PL . С привлечением экспертов мы составили такие правила функционирования нечеткого регулятора [107–110] приведенные ниже:

$$\begin{aligned}
 R\ 1: & \text{ IF } e = N \text{ AND } de/dt = P \text{ THEN } u \sim = Z \\
 R\ 2: & \text{ IF } e = N \text{ AND } de/dt = Z \text{ THEN } u \sim = NM \\
 R\ 3: & \text{ IF } e = N \text{ AND } de/dt = N \text{ THEN } u \sim = NL \\
 R\ 4: & \text{ IF } e = Z \text{ AND } de/dt = P \text{ THEN } u \sim = PM \\
 R\ 5: & \text{ IF } e = Z \text{ AND } de/dt = Z \text{ THEN } u \sim = Z \\
 R\ 6: & \text{ IF } e = Z \text{ AND } de/dt = N \text{ THEN } u \sim = NM \\
 R\ 7: & \text{ IF } e = P \text{ AND } de/dt = P \text{ THEN } u \sim = PL \\
 R\ 8: & \text{ IF } e = P \text{ AND } de/dt = Z \text{ THEN } u \sim = PM \\
 R\ 9: & \text{ IF } e = P \text{ AND } de/dt = N \text{ THEN } u \sim = Z.
 \end{aligned} \tag{4.15}$$

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: $u_i = u_{i-1} + \Delta u_i$.

Эти правила, позволяют получить значение переменной управления $u \sim$ как выходного сигнала нечёткого регулятора. Для оценки термов построены функции принадлежности $u \sim$ множеству U , которое получено на основе операций логического вывода над множествами, образующими систему нечетких правил (4.15).

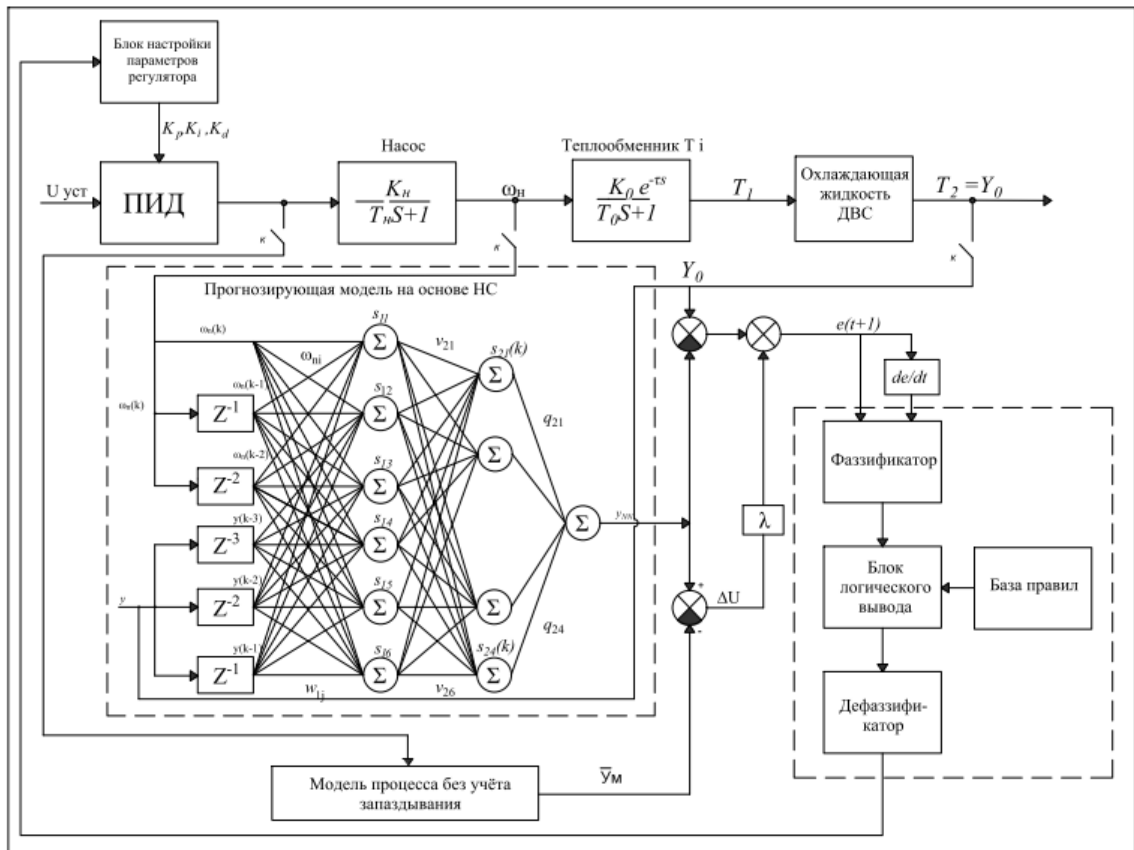


Рисунок 4.4 - Система принятия решения с прогнозирующей моделью

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 тангенциальная [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.

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

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

где i – номер слоя, j – номер нейрона в слое. Приведенная система, которая регулирует температуру охлаждающей жидкости работает таким 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.

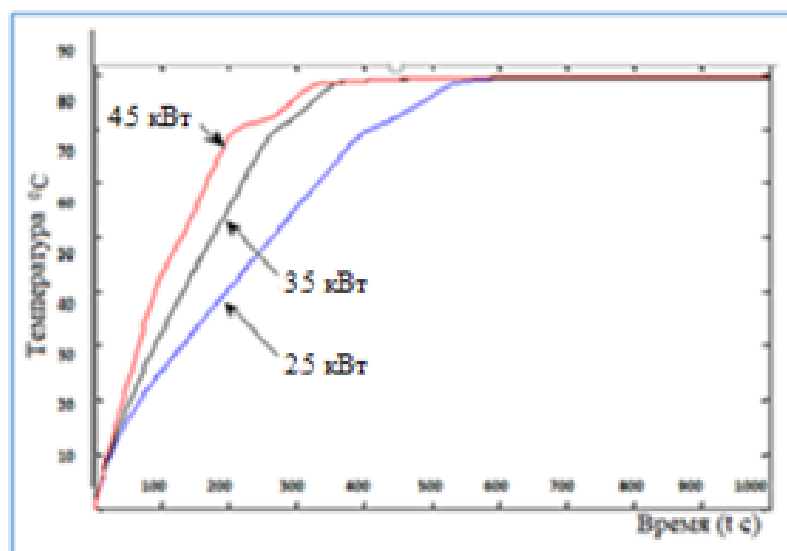


Рисунок 4.5 - Работа нечеткого регулятора для разных мощностей двигателя

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°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. Расчет технико - экономического сравнения вариантов исполнения дополнительного устройства охлаждения двигателя внутреннего сгорания

Для определения лучшего варианта использован метод вариантного проектирования. В данном исследовании было проведено сравнение вариантов конструктивного исполнения дополнительного охладителя ДВС открытого исполнения и закрытого исполнения.

Охладитель открытого исполнения представляет собой U образный трубопровод с отверстиями, соединённый с резервуаром автономного источника холодной воды через циркуляционный насос. Сигнал с термодатчика управляет клапаном подачи воды на охладитель и циркуляционным насосом. При открывании клапана вода впрыскивается на поверхность радиатора т.е., испаряясь вода частично расходуется. Время впрыска составляет 3 – 5 секунд.

Охладитель закрытого исполнения состоит из змеевика соединенного с системой охлаждения двигателя, который заключен в корпус, наполненный холодной водой. Сосуд корпуса охладителя соединен с резервуаром холодной воды. При открывании термостата горячая жидкость от двигателя поступает в змеевик, отдав своё тепло воде, возвращается через радиатор обратно в двигатель. В это время включается циркуляционный насос, и холодная омывает змеевик. Цикл работы повторяется через 3 – 5 секунд до закрытия дополнительного термостата.

Для сравнения вариантов исполнения охладителей, открытого и закрытого типов, необходимо определить следующие показатели:

- расчет объема воды в резервуаре;
- тип, количество и объемы применяемого материала;
- трудовые затраты на изготовление и монтаж изделия;
- затраты на обслуживание конструкций в процессе эксплуатации;

- сметная стоимость изделий.

4.6.Определение объема резервуара

4.6.1Определение необходимого объема воды для варианта открытого исполнения

Для впрыскивания холодной воды на поверхность радиатора используется трубка длиной $l = 1480$ мм, внутренним диаметром равным $D = 12$ мм, изогнутая в форме U, высверленными отверстиями диаметром $d = 1$ мм в количестве $n = 30$ шт. вдоль неё. Ёмкость впрыскивателя $V = S_{\text{впр}} \cdot l = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot l$.

$$l = \frac{3.14 \cdot 0.0144}{4} \cdot 14.8 = 0.0113 \cdot 14.8 = 0.167 \text{ л}$$

Площадь поперечного сечения отверстия $S_{\text{отв}} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 1}{4} = 0.8 \text{ мм}^2$ или $S_{\text{отв}} = 0,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$. Суммарная площадь отверстий равно $S_{\text{общ}} = n \cdot S_{\text{отв}} = 30 \cdot 0,8 \cdot 10^{-6} = 24 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$. Скорость истечения воды из отверстия $V = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Общий объемный расход воды за одну секунду $Q = S_{\text{общ}} V = 24 \cdot 10^{-6} \cdot 5 = 12 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$. За 1 час непрерывной работы устройство израсходует:

$$Q_{\text{час}} = 12 \cdot 10^{-5} \cdot 3600 = 432 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{ч}} = 0.43 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

Если часовой расход воды составляет $Q_{\text{час}}$, то на сколько времени хватит запасенной воды резервуара ёмкостью $G = 20$ литров?

$$T = \frac{G}{Q_{\text{час}}} = \frac{20}{0.43} = 46.5 \text{ ч.}$$

Это значит, если ежедневно устройство будет работать по одному часу, воды в резервуаре, ёмкостью 20 литров хватит на 46 дней и 5 часов.

4.6.2.Расчет емкости резервуара дополнительного охладителя закрытого типа

Массовый расход горячей жидкости (антифриза типа «Тосол») составляет $Q = 1 \frac{\text{л}}{\text{мин}}$ или $Q = 0.060 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$. Определим мощность W

вырабатываемой потоком горячей жидкости из двигателя, который циркулирует в системе, проходя через змеевик охладителя:

$W = Q \cdot c \cdot (t_{\text{ВЫХ}} - t_{\text{ВХ}})$, где $Q = 0.060 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$, $c = 1163 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{град}}$ удельная теплоёмкость антифриза 50% раствора, $(t_{\text{ВЫХ}} - t_{\text{ВХ}}) = 95 - 90 = 5 \text{ град}$.

$$W = 0.060 \cdot 1163 \cdot 5 = 348.9 \approx 350 \frac{\text{Вт}}{\text{ч}}.$$

За 1 час вода в теплообменнике нагреется от 90°C до 95°C .

Определим время T нагрева воды в резервуаре 20л плюс 5л в теплообменнике всего 25л:

$$T = P \cdot m \cdot c \cdot (t_{\text{ВЫХ}} - t_{\text{ВХ}}),$$

где P – мощность нагревателя 350 Вт;

c – удельная теплоёмкость воды $4186 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$;

m – 25 л или 25 кг, т.к. плотность воды $1 \frac{\text{кг}}{\text{л}}$;

$(t_{\text{ВЫХ}} - t_{\text{ВХ}})$ – разность температур $(95 - 90) = 5$ град.

$$Q = 25 \cdot 4186 \cdot 5 = 523250 \text{ Дж}.$$

По известной формуле определим время, затраченное на обогрев воды на 5 градусов $T = \frac{Q}{P} = \frac{523250}{350} = 1495 \text{ с} = 24.92 \text{ мин}$.

Таким образом, примерно за 25 минут непрерывной работы 25 литров воды нагреется всего на 5 градусов.

Определим циркуляционный расход жидкости (антифриза) с удельной теплоёмкостью равной $c = 3.28 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$:

$$G = \frac{Q}{c \cdot (t_{\text{ВЫХ}} - t_{\text{ВХ}})} = \frac{350}{3.28 \cdot 5} = 21.3 \frac{\text{кг}}{\text{с}} = 0.36 \frac{\text{кг}}{\text{мин}}.$$

4.7. Расчет расхода материалов и комплектующих

4.7.1. Расчет змеевика

Рисунок 4.6. Основные размеры змеевика. $d_{\text{труб}}$ – диаметр трубки; h_3 – величина зазора между витками; n – количество витков;

Определим высоту змеевика h по формуле:

$$h = n \cdot d_{\text{труб}} + (n - 1) \cdot h_3 = 10 \cdot 13 + (10 - 1) \cdot 2 = 148 \text{ мм.}$$

Средний диаметр $d_{\text{ср}}$ по следующему выражению

$$d_{\text{ср}} = (d_1 + d_2) \frac{1}{2} = \frac{80 + 106}{2} = 93 \text{ мм.}$$

Длина трубки одного витка змеевика l равна

$$l = \pi \cdot d_{\text{ср}} = 3.14 \cdot 93 = 292 \text{ мм.}$$

Длина трубки змеевика L

$$L = n \cdot l = 10 \cdot 292 = 2920 \text{ мм.}$$

С учетом расхода на соединения общая длина трубки $L_{\text{общ}}$ примем равным

$$L_{\text{общ}} = 3000 \text{ мм.}$$

Ёмкость змеевика V равно:

$$V = L_{\text{общ}} \cdot \frac{\pi \cdot d_0^2}{4},$$

где d_0 - внутренний диаметр трубки

$$V = 3000 \cdot \frac{3/14 \cdot 144}{4} = 339120 \text{ мм}^2 = 3.4 \text{ л.}$$

4.7.2. Составим список материалов

Ёмкость: прочный пластик, ёмкостью 5л.

Впрыскиватель: алюминиевая U – образная трубка.

Змеевик: алюминий, длина 3м, внутренний диаметр трубы 12мм,

Количество витков 10, расчетная ёмкость 3.4л.

Резервуар холодной воды: алюминиевая трубчатая ёмкость 20л.

Шланги: резина армированная, внутренний диаметр 12мм, общая длина 3м.

Хомуты: не ржавеющая сталь, 12 шт, диаметр 20 – 30мм.

Фитинги и соединения: не ржавеющая сталь, тройники 3шт, уголки 2шт, переходники 4шт,

Крепежные элементы; кронштейны для ёмкостей и насоса, болты, гайки, шайбы.

Насос: центробежный, производительность 2л/мин, напор 5м, напряжение питания 12В.

Расходные материалы: герметик для резьбовых соединений, антифриз, хладагент – холодная вода.

Таблица 4.3 - Расходы на материалы для 1 и 2 вариантов.

Наименование материала	количество		Единица измерения		Цена Сомони		Стоимость Сомони	
	1вар	2вар	1вар	2вар	1вар	2вар	1вар	2вар
Ёмкость 5л	1	0	1	0	20	-	20	-
Резервуар холодной воды 20л	1	1	шт	шт	80	80	80	80
Трубка алюминиевая Ø 0,012 м	1,6	0	м	0	300	-	300	-
Змеевик алюминиевая трубка Ø 0,008 м	0	3	0	м	-	563	-	563
Шланги	2	3	м	м	24	24	48	72
Хомуты	1	1	комплект		60	60	60	60
Фитинги и соединения	1	1	комплект		45	45	45	45
Монтажные провода	1	1	комплект		120	120	120	120
Насос	1	1	шт	шт	380	380	380	380
ИТОГО							1053	1320

4.8.Расчет трудовых затрат на изготовление сравниваемых устройств

Для расчета трудовых затрат на изготовление и монтаж дополнительного устройства охлаждения двигателя внутреннего сгорания, необходимо определить этапы выполнения разработок, которые заключаются в проектирование, изготовление и монтаж изделия.

4.9.Определение этапов работы для варианта открытого типа

1. **Этап проектирования включает в себе разработку чертежей и расчет**
У образного впрыскивателя, расчет необходимого резерва воды, выбор

насоса и необходимых материалов для трубчатого впрыскивателя и комплектующих.

2. **Поиск и закупка** алюминиевая трубки длиной 1м 56см, прочной алюминиевая трубчатая ёмкость на 20л, насоса на 20 Вт, других необходимых материалов и комплектующих и организация их доставки.
3. **Изготовление** U образного трубчатого впрыскивателя, выполнение конструкции для закрепления резервуара и насоса, изготовление других элементов конструкции, сборка компонентов.
4. **Монтаж** предполагает установку охладителя и резервуара на место, подключение трубопроводов и насоса, проверка системы на герметичность и работоспособность.
5. **Тестирование** заключается в проведение тестов на эффективность работы охладителя, наладка схемы управления.

4.10.Определение этапов работы для варианта закрытого типа.

1. **Этап проектирования** для второго варианта или варианта закрытого типа дополнительного охладителя включает в себе разработку чертежей змеевика, корпуса змеевика, расчет и выбор резервной ёмкости и других необходимых материалов и комплектующих.
2. **Поиск и закупка** необходимых материалов и комплектующих и организация доставки.
3. **Изготовление** змеевика, корпуса змеевика, создание резервуара, выполнение конструкции для закрепления резервуара, насоса и термостата, изготовление других элементов конструкции, сборка компонентов.
4. **Монтаж предусматривает** установку охладителя и резервуара на место, подключение термостата, трубопроводов и насоса, проверка системы на герметичность и работоспособность.

5. **Тестирование** предполагает проведение тестов на эффективность работы охладителя, насоса, термостата наладка схемы управления.

4.11. Оценка трудозатрат по каждому этапу

Квалификация работников: 1 инженер с часовой ставкой 15,6 сомони/ч, токарь 3 разряда часовая ставка 7,8 сомони/ч, слесарь 4 разряда часовая ставка 9,4 сомони/ч, электрик 3 разряда часовая ставка 7,8 сомони/ч.

Время на каждый этап:

Расчет трудозатрат по этапам для 1 варианта: проектирование – 20 часов, изготовление – 23 часов, монтаж – 14 часов, тестирование – 6 часов.

Трудозатраты на проектирование $TЗ_{пр} = 15,6 \cdot 20 = 312$ сомони.

Трудозатраты на изготовление $TЗ_{из} = 7,8 \cdot 3 + 9,4 \cdot 20 = 23,4 + 188 = 211,4$ сомони.

Трудозатраты на монтаж $TЗ_{мн} = 15,6 \cdot 4 + 9,4 \cdot 6 + 7,8 \cdot 4 = 62,4 + 56,4 + 31,2 = 150$ сомони.

Трудозатраты на тестирование, наладка $TЗ_{тн} = 5,6 \cdot 3 + 7,8 \cdot 3 = 46,8 + 23,4 = 70,2$ сомони.

Общие трудозатраты вычисляется как сумма трудовых затрат для 1 варианта:

$$TЗ_{общ} = TЗ_{пр} + TЗ_{из} + TЗ_{мн} + TЗ_{тн} = 312 + 211,4 + 150 + 70,2 = 743,6 \text{ сомони}$$

Дополнительные расходы $TЗ_{доп} = TЗ_{общ} \cdot 8\% = 743,6 \cdot 8\% = 59,49$ сомони.

Для 2 варианта

Расчет трудозатрат по этапам: проектирование – 24 часов, изготовление – 32 часов, монтаж – 18 часов, тестирование – 10 часов.

Трудозатраты на проектирование $TЗ_{пр} = 15,6 \cdot 24 = 374,4$ сомони,

Трудозатраты на изготовление $TЗ_{из} = 15,6 \cdot 2 + 7,8 \cdot 5 + 9,4 \cdot 25 = 31,2 + 39 + 235 = 305,2$ сомони.

Трудозатраты на монтаж $TZ_{\text{мн}} = 15,6 \cdot 4 + 9,4 \cdot 6 + 7,8 \cdot 4 + 7,8 \cdot 4 = 62,4 + 56,4 + 31,2 + 31,2 = 181,2$ сомони.

Трудозатраты на тестирование, наладка $TZ_{\text{тн}} = 15,6 \cdot 3 + 7,8 \cdot 7 = 46,8 + 54,6 = 101,4$ сомони.

4.12. Расчет общей трудозатраты

Общие трудозатраты вычисляется как сумма трудовых затрат для 2 варианта:

$TZ_{\text{общ}} = TZ_{\text{пр}} + TZ_{\text{из}} + TZ_{\text{мн}} + TZ_{\text{тн}} = 374,4 + 305,2 + 181,2 + 101,4 = 962,2$ сомони

Дополнительные расходы $TZ_{\text{доп}} = TZ_{\text{общ}} \cdot 8\% = 962,2 \cdot 8\% = 76,97$ сомони.

4.13. Учет накладных расходов

Затраты на электроэнергию.

$N_{\text{уст}}$ – потребляемая мощность устройства кВт.

$N_{\text{комп}}$ - потребляемая мощность компьютера кВт.

$N_{\text{мон}}$ - потребляемая мощность монитора кВт.

$N_{\text{прн}}$ - потребляемая мощность принтера кВт.

$N_{\text{уст}} = N_{\text{комп}} + N_{\text{мон}} + N_{\text{прн}} = 0,4 + 0,25 + 0,25 = 0,9$ кВт.

$СТ_{\text{эн}}$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии для производства составляет с учетом НДС 92.22 дирам.

$C_{\text{эн}}$ – расход электроэнергии компьютером для 1 варианта.

$C_{\text{эн}} = N_{\text{уст}} \cdot T_{\text{пр}} = 0,9 \cdot 20 = 18$ кВт · ч.

$СТ_{\text{эн}} = 18 \cdot 92,22 = 1\,659,96$ дирам = 16,60 сомони.

$C_{\text{эн}}$ – расход электроэнергии компьютером для 2 варианта

$C_{\text{эн}} = N_{\text{уст}} \cdot T_{\text{пр}} = 0,9 \cdot 24 = 21,6$ кВт·ч.

$$CT_{\text{эн}} = 21,6 \cdot 92,22 = 1991,95 \text{ дирам} = 19,92 \text{ сомони.}$$

$$\text{Стоимость электродрели} - CT_{\text{эд}} = 719 \text{ сомони}$$

$$\text{Стоимость болгарки} - CT_{\text{бл}} = 1500 \text{ сомони}$$

$$\text{Стоимость сварочного аппарата} - CT_{\text{св}} = 5000 \text{ сомони}$$

$$\begin{aligned} \text{Стоимость комплекса технических средств (КТС)} \quad CT_{\text{ктс}} &= CT_{\text{эд}} + CT_{\text{бл}} + \\ &CT_{\text{св}} + CT_{\text{эн}} = 719 + 1500 + 5000 + 19,92 = 7238,92 \text{ сомони} \end{aligned}$$

$$\text{Расходы на инструменты и оборудование} - CT_{\text{рио}} = CT_{\text{ктс}} \cdot 10\% = 723,9 \text{ сомони.}$$

$$\text{Накладные расходы 8\% от суммы: } CT_{\text{рио}} + TЗ_{\text{общ}} + CT_{\text{м}} + TЗ_{\text{доп}}$$

$$CT_{\text{нак}} = CT_{\text{рио}} + TЗ_{\text{общ}} + CT_{\text{м}} + TЗ_{\text{доп}} = 258,0 \text{ сомони для 1 варианта.}$$

Для 2 варианта:

$$CT_{\text{рио}} + TЗ_{\text{общ}} + CT_{\text{м}} + TЗ_{\text{доп}} = 3159,07 \text{ сомони.}$$

$$CT_{\text{нак}} = 315,9 \text{ сомони.}$$

4.14.Итоговая смета

На основе всех вышеуказанных данных составим итоговую смету, где отражаются общие трудозатраты, затраты на материалы, накладные расходы, расходы на инструменты и оборудование.

Таблица 4.4. Итоговая смета

Наименование расходов	Для 1 варианта	Для 2 варианта
	Сомони	Сомони
Общие трудовые затраты	743,6	962,2
Затраты на материалы	1053	1320
Расходы на инструменты и оборудование 10% от КТС	723,9	

Дополнительные расходы	59,49	76,97
Накладные расходы	258,0	315,9
ИТОГО:	2 838	3 399

Выводы по технико-экономическому сравнению

Технико-экономическое сравнение вариантов исполнения дополнительного охладителя показывает, что расходы по первому варианту исполнения меньше, чем по второму варианту. Учитывая то, что первый вариант предполагает открытое исполнение, т.е. вода в нем убывает при впрыске и поэтому требуется ежемесячное пополнение резервуара водой. Кроме того, на поверхности радиатора создается паровоздушная прослойка, оказывающая влияние не только на термическое состояние радиатора, но и на его физическое состояние. Второй вариант оказывает более мягкое влияние на термодинамическое состояние радиатора, а также холодная вода циркулирует в замкнутой системе, подвергаясь воздушному охлаждению, благодаря особой конструкции резервуара. Учитывая экологичность второго варианта исполнения, это устройство дополнительного охлаждения предпочтительнее, несмотря на большую требуемую величину расхода.

4.15. Определение конструктивных размеров дополнительного охладителя.

Главное устройство охладителя открытого типа состоит изогнутой U образной трубки с отверстиями, расположенными на фронтальной плоскости рисунок 4.6.

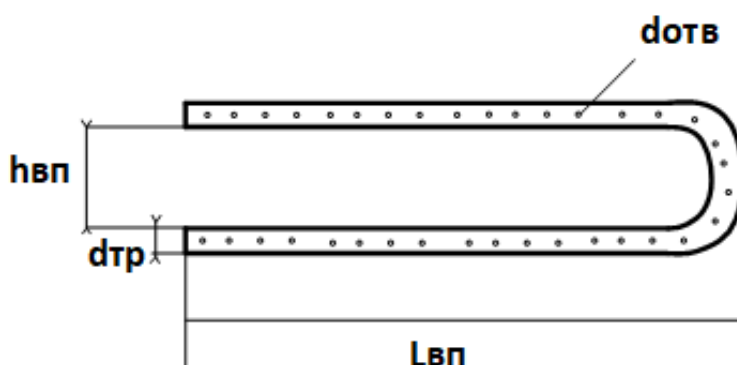


Рисунок 4.6 – Габаритные размеры впрыскивателя.

$L_{\text{тр}}$ – длина трубки (м); $d_{\text{тр}}$ – диаметр трубки (м); $d_{\text{отв}}$ – диаметр отверстия (м);
 n – число отверстий.

Площадь поперечного сечения отверстия равно:

$S_{\text{отв}} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 1}{4} = 0.8 \text{ мм}^2$ или $S_{\text{отв}} = 0,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$. Суммарная площадь отверстий равно $S_{\text{общ}} = n \cdot S_{\text{отв}} = 30 \cdot 0,8 \cdot 10^{-6} = 24 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$.

Длина трубки:

$L_{\text{тр}} = 700 + 700 + 120 = 1520 \text{ мм} = 1,52 \text{ м}$. С учетом расхода на соединения длину трубки выберем $L_{\text{тр}} = 1,6 \text{ м}$.

4.16. Расчеты основных конструктивных размеров охладителя закрытого типа

Основное устройство охладителя закрытого исполнения, это змеевик. Внутренний диаметр трубки $d_{\text{втр}}$ – диаметр трубки (м); $L_{\text{тр}}$ – длина трубки (м); $l_{\text{вит}}$ – длина одного витка змеевика; n – количество витков; $l_{\text{заз}}$ – величина зазора между витками; d_1 – внутренний диаметр витков; d_2 – внешний диаметр витков; d_3 – средний диаметр витков.

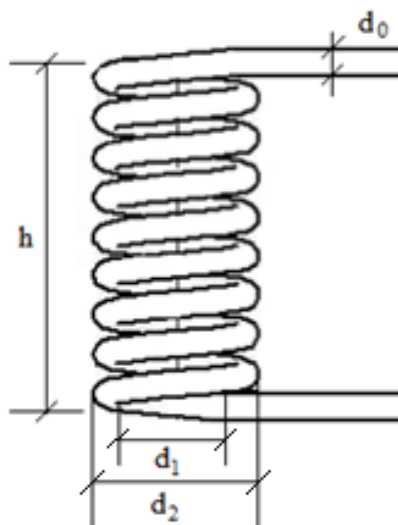


Рисунок 4.7 - Основные размеры змеевика.

Длина одного витка равна:

$$l = \pi \cdot d_{\text{ср}} = 3.14 \cdot 93 = 292 \text{ мм.}$$

Средний диаметр $d_{\text{ср}}$ определим по следующему выражению

$$d_{\text{ср}} = (d_1 + d_2) \frac{1}{2} = \frac{80 + 106}{2} = 93 \text{ мм.}$$

Зная величину зазора между витками — $l_{\text{зая}}$ и n — количество витков, определим высоту змеевика - h по формуле:

$$h = n \cdot d_{\text{тр}} + (n - 1) \cdot h_{\text{з}} = 10 \cdot 13 + (10 - 1) \cdot 2 = 148 \text{ мм.}$$

Длина трубки змеевика L

$$L = n \cdot l = 10 \cdot 292 = 2920 \text{ мм.}$$

С учетом расхода на соединения, общая длина трубки $L_{\text{общ}}$ примем равным

$$L_{\text{общ}} = 3000 \text{ мм.}$$

$$L_{\text{общ}} = h_{\text{вп}} + 2 \cdot l_{\text{вп}} = 0.12 + 2.88 = 3 \text{ м.}$$

Ёмкость змеевика V равно:

$$V = L_{\text{общ}} \cdot \frac{\pi \cdot d_0^2}{4},$$

где d_0 - внутренний диаметр трубки

$$V = 3000 \cdot \frac{3/14 \cdot 144}{4} = 339120 \text{ мм}^2 = 3.4 \text{ л.}$$

Расчет резервуара.

Примем основные размеры резервуара, состоящего и из n алюминиевых труб длиной каждая $l_{\text{тр}}$, диаметром $d_{\text{тр}}$, ширина торцового накопителя $l_{\text{нак}}$, ширина и высота стенки накопителя равны $h_{\text{ст}}$.

$$\text{Площадь стенки равно } S_{\text{ст}} = h_{\text{ст}} \cdot h_{\text{ст}} = 0,36 \cdot 0,36 = 0,13 \text{ м}^2.$$

$$\text{Объем одного накопителя торцового } V_{\text{нак}} = S_{\text{ст}} \cdot l_{\text{нак}} = 0,13 \cdot 0,05 = 0,0065 \text{ м}^3.$$

Объем одной трубы $V_{\text{тр}} = S_{\text{тр}} \cdot l_{\text{тр}} = 0,0012 \cdot 0,8 = 0,001 \text{ м}^3$.

Общий объем резервуара: $V_{\text{общ}} = V_{\text{тр}} \cdot n + V_{\text{нак}} \cdot 2 = 0,001 \cdot 16 + 0,0065 \cdot 2 = 0,016 + 0,013 = 0,029 \text{ м}^3$ или 29 л.

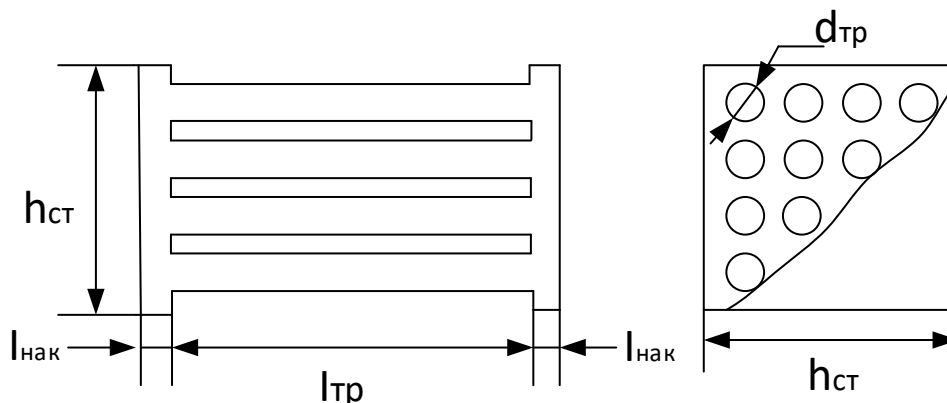


Рисунок 4.8 - Основные размеры резервуара.

Таким образом, мы определили основные размеры элементов системы дополнительного охлаждения двигателя.

4.17. Экспериментальные исследования тепловых режимов двигателя на стенде

Стенд создан на базе двигателя внутреннего сгорания, в качестве нагрузки используется генератор на основе трех фазного асинхронного двигателя (АД) типа АИР 90L4Y2, где в качестве нагрузки используется активная нагрузка, состоящая из лампочек 100 и более Вт. Датчики температуры DS18B20. Микроконтроллера (МК) Arduino Mega, обрабатывает снятые данные и передает данные ноутбуку, которая представляет исследователю, интерфейс пользователя[112].

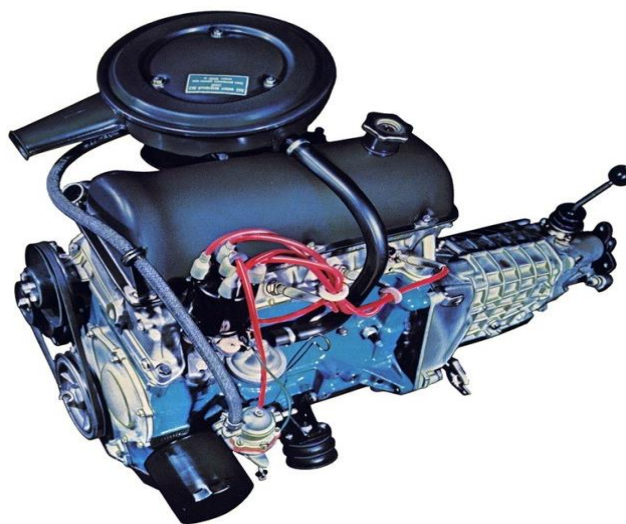


Рисунок 4.9 - Двигателя ВАЗ 2101. Общий вид

4.18.Имитация нагрузки на ДВС

Нагрузка на двигатель создаётся генератором - асинхронным двигателем, работающим в режиме генератора.



Рисунок 4.10 - Общий вид асинхронного электродвигателя

Мощность электродвигателя составляет 10 кВт – это трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором номинальной частотой вращения равный 1460 оборотов в минуту, общепромышленного, кранового, тягового типа с напряжением 380/660В. Он обычно используется для привода промышленных установок. Другие данные приведены шильдике электромотора, где указаны его основные характеристики. Таблица 4.5

Таблица 4.5 - 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, %
АИР132М4	1460	72,4	22,5	38	0,0349	7	88,4

Двигатель соединен по схеме звезда. Для этого 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 4.10.

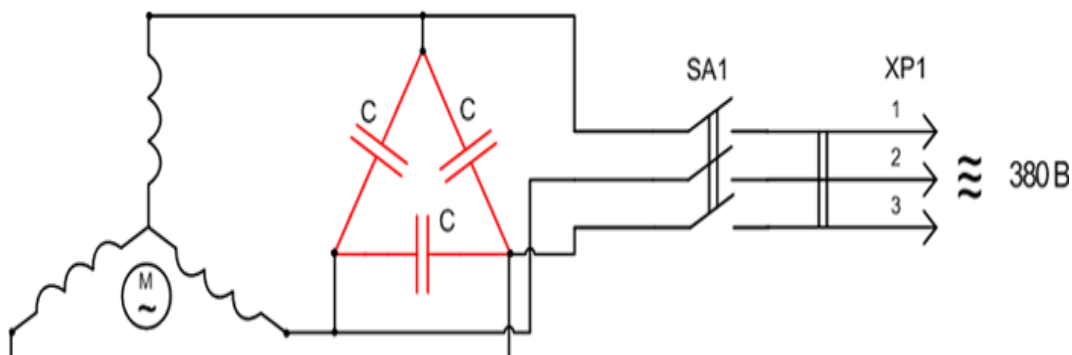


Рисунок 4.11 - Схема подключения асинхронного электродвигателя в качестве генератора



Рисунок 4.12 - Конденсаторы двойной ёмкости серии СВВ65

Для проведения экспериментов на учебно – исследовательском стенде произведен выбор элементов, приборов и устройств, согласно требованиям установленных стандартов.

4.19. Приборы для измерения температуры

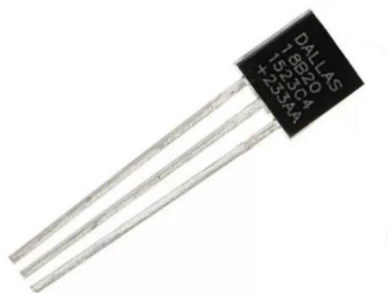


Рисунок 4.13 - Цифровой датчик температуры DS18B20

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 4.14.

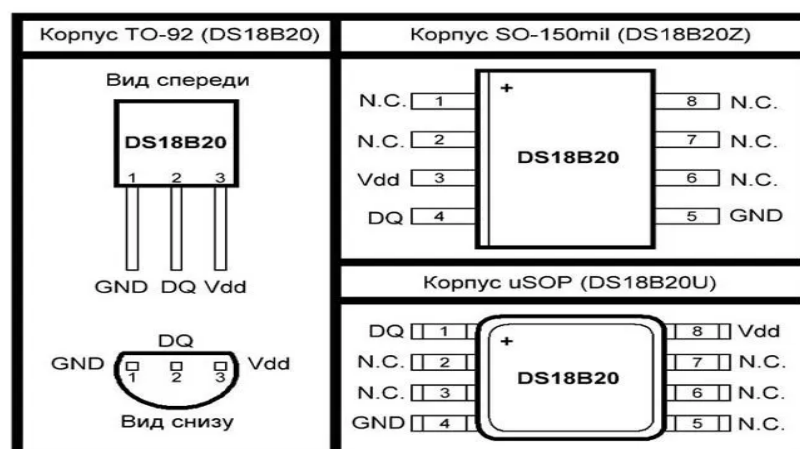


Рисунок 4.14 - Виды корпусов и распиновка DS18B20

На рисунке 4.15 показана структурная схема датчика DS18B20. Эта микросхема содержит в себе целый ряд электронных блоков и модулей, которые выполняют определенные функции.

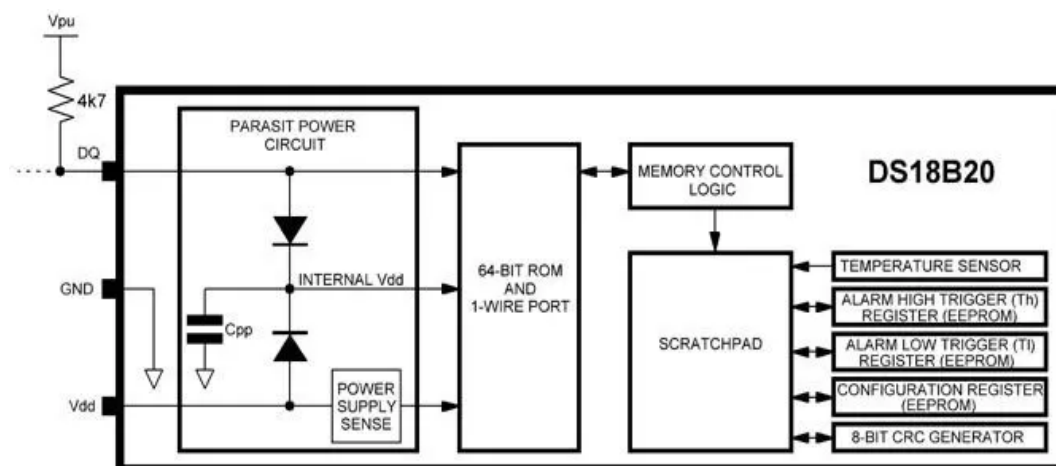


Рисунок 4.15 - Структурная схема DS18B20

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.

4.20. 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.

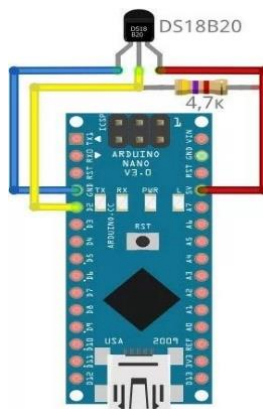


Рисунок 4.16 - Схема прямого подключения одиночного датчика

Для сбора и обработки информации выбран микроконтроллер Arduino. Программирование осуществляется в интегрированной среде Arduino (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 Arduino может быть использован вход или выход. Уровень высокого напряжения на выводах 5 В. Текущий ток каждого вывода ограничен на уровне 20 мА. Максимально допустимое значение этого параметра 40 мА.



Рисунок 4.17 - 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 измениться при использовании вывода AREF и программой.

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

AREF – опорное напряжение аналога 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 Arduino (IDE) включен монитор обмена по последовательному интерфейсу, который позволяет посылать и получать с платы данные.

4.21. Расходомер для измерения скорости потока теплоносителя

В качестве датчика расхода жидкости выбран датчик типа YF – G1. Через этот датчик протекает от 2 до 100 л в минуту жидкость, имеющий давление около 2 Мпа, с допустимой температурой от 1°C до 120°C. Питание прибора рассчитано на постоянное напряжение от 3,3 до 24 В, максимально возможный ток потребления составляет величину до 20 мА. В состав прибора входит выходной кабель длиной 15 см с тремя проводами конец, которых имеет разъём JST SM–3 Female.



Рисунок 4.18 - 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

Следует особо отметить, что этот датчик можно подключать к любым микроконтроллерам, к примеру Arduino, Raspberry Pi или ESP32.

Микросхема, установленная на датчике YF–G1, формирует последовательность импульсов прямоугольной формы. Величина скважности 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 – расход воды в л/с, F – частота изменения импульсов в Гц, число импульсов, снятое с 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 $Q = 0.0695 \text{ л/сек}$

Данные эти как правило приблизительные, на практике они изменяются в зависимости расхода 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 4.19 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.

4.22. Устройство для измерения напора воздуха, создаваемого вентилятором

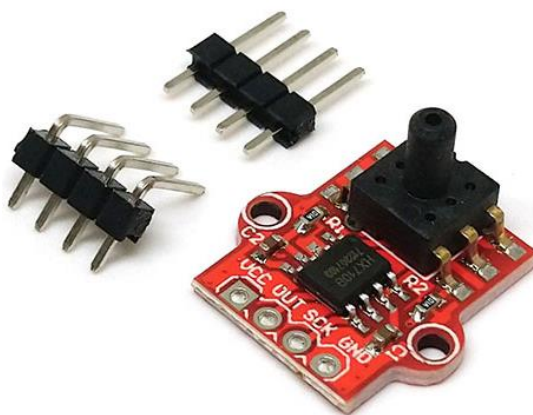


Рисунок 4.19 - Плата с датчиком давления и микросхемой АЦП.

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.

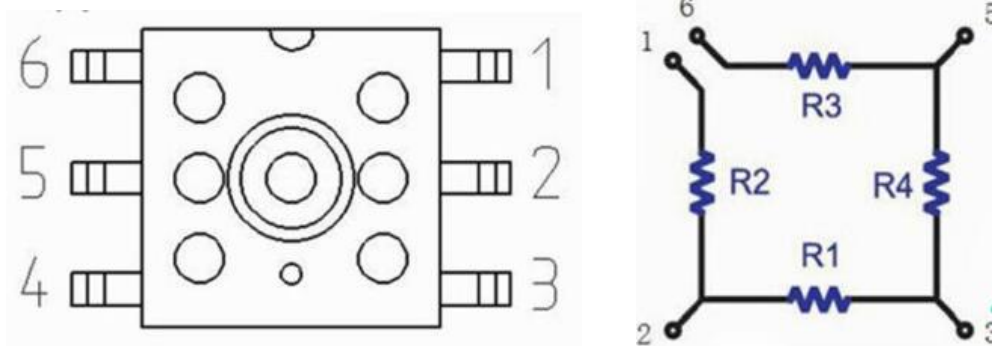


Рисунок 4.20 - Датчик MPS20N0040D в виде моста Уинстона

Микросхема HX710B, является 24–битным аналога–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 4.21 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.

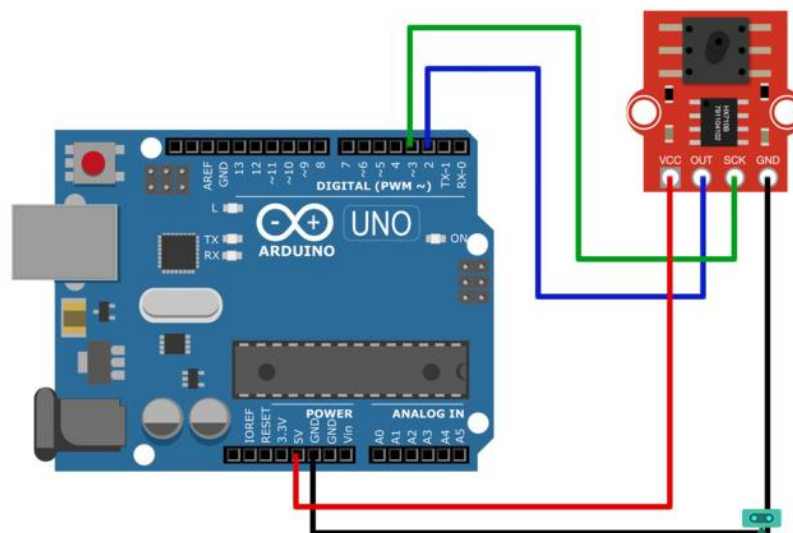


Рисунок 4.21 - Принципиальная схема датчика давления с платой Ардуино.

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

4.23. Описание исследовательского стенда

На рисунке 4.22 приведена функциональная схема системы охлаждения двигателя с дополнительным устройством.

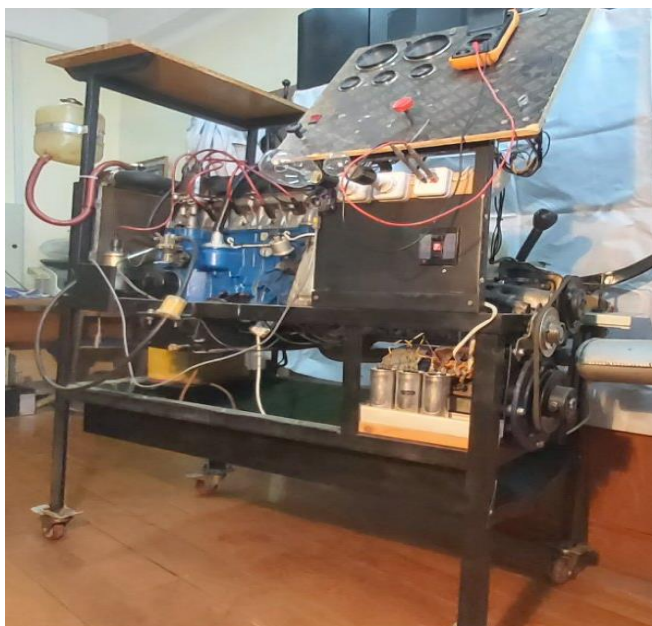


Рисунок 4.22 - Общий вид учебно-исследовательского стенда

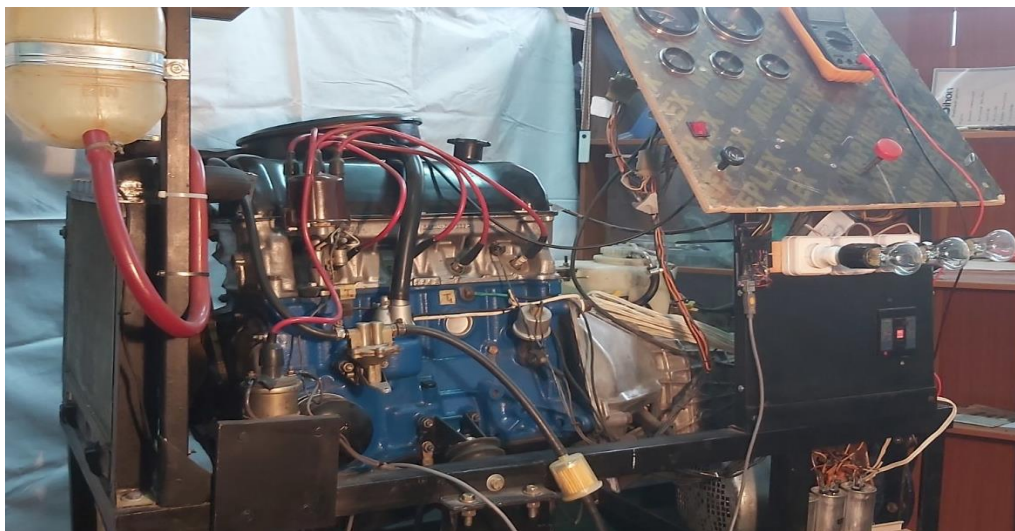
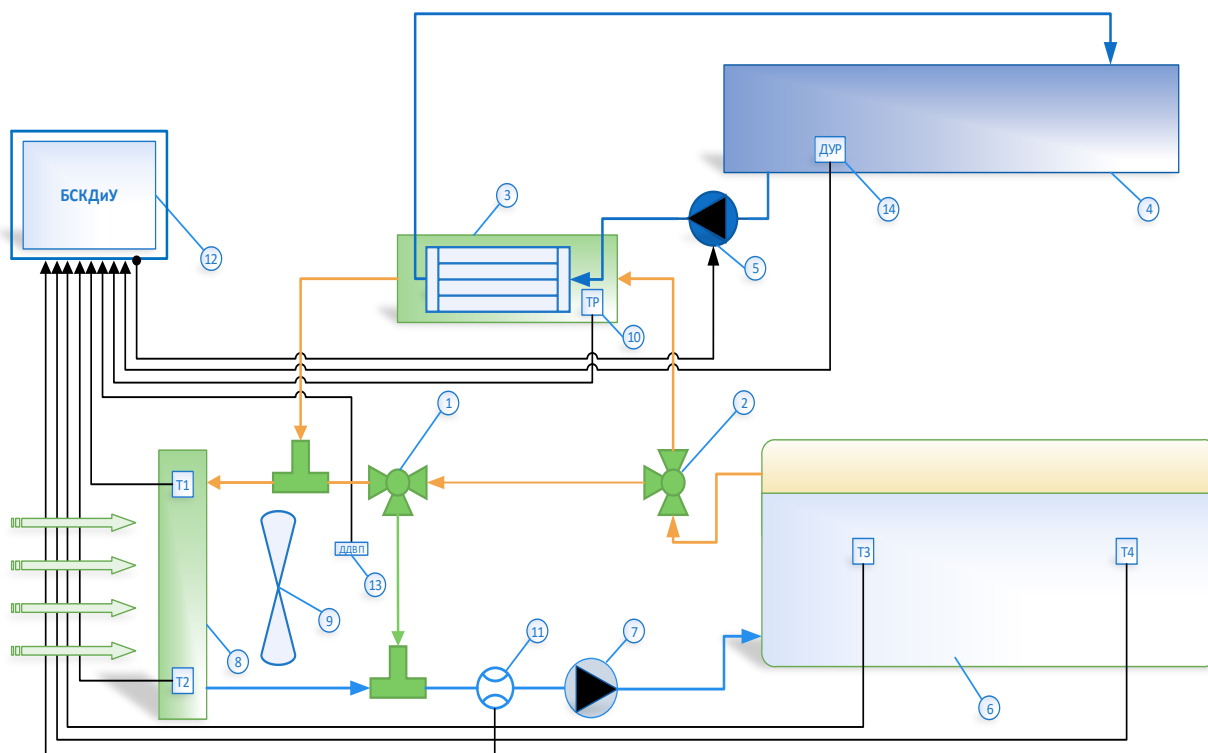


Рисунок 4.23 - Внешний вид стенда с системой сбора и обработки информации.

На рисунке 4.24 приведена схема системы охлаждения двигателя с дополнительным устройством. В схеме показаны места установки датчиков температуры, Т3 – датчик установлен на корпусе первого цилиндра, датчик Т4 установлен на корпусе четвертого цилиндра [84]. Датчик Т1 установлен на входе, а датчик Т2 на выходе радиатора. Выходы датчиков соединены через пины МК.



1 – термостат ($80^{\circ} \leq T_y \leq 100^{\circ}C$), 2 – термостат ($T_y > 100^{\circ}C$), 3 – дополнительное устройство, 4 – резервный бак с водой, 5 – дополнительный водяной насос, 6 – ДВС, 7 – штатный водяной насос, 8 – радиатор, 9 – вентилятор, 10 – термореле, T1, T2, T3, T4 – датчики температуры, 11 – датчик расходомер, 12 – бортовая система контроля диагностики и управления, 13 – датчик давления воздушного потока, 14 – датчик уровня воды в резервуаре

Рисунок 4.24 - Функциональная схема системы охлаждения с дополнительным устройством

В качестве устройства 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 4.25. 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.

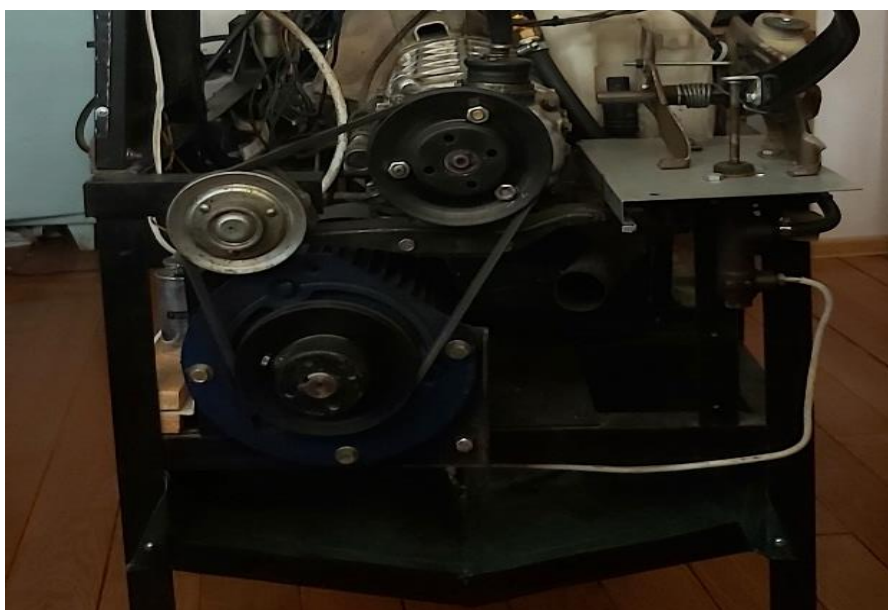


Рисунок 4.26 - Устройство, реализующий нагрузку на двигатель, используемый на стенде

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 4.27.

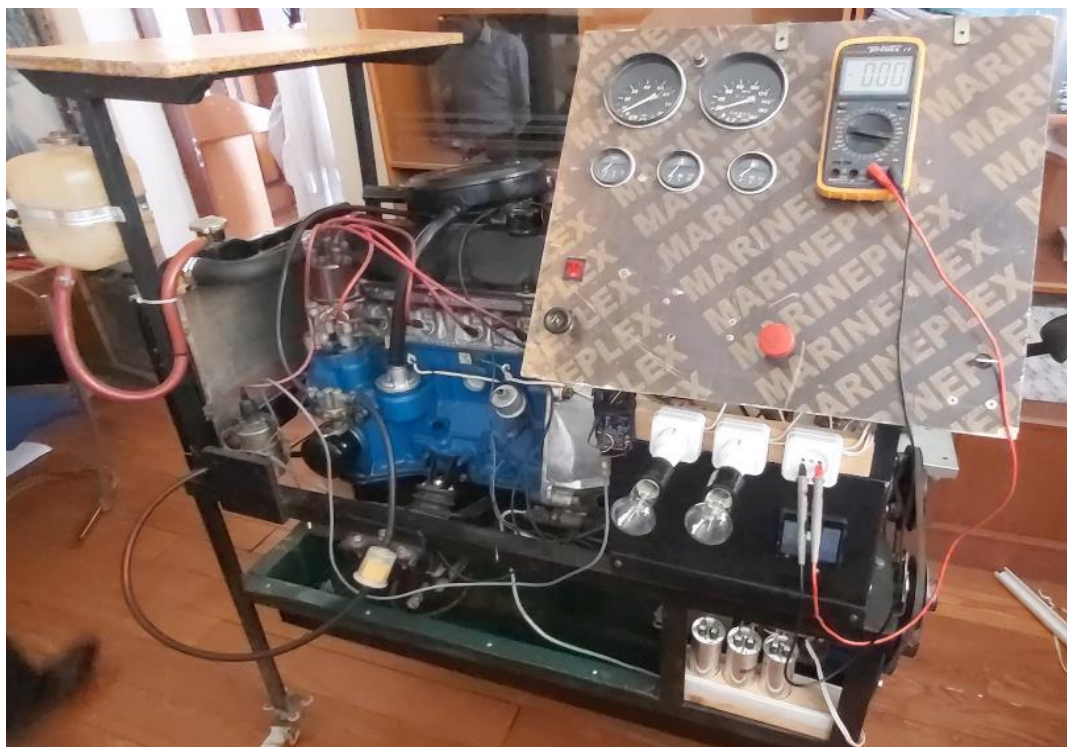


Рисунок 4.27 – Пульт контроля и управления с видом розеток для подключения дополнительной нагрузки на двигатель

4.24. Стендовые испытания системы охлаждения двигателя.

С целью определения степени устойчивости перепадов температур автомобильного двигателя проведены исследования динамики температуры охлаждающей жидкости ДВС на исследовательском стенде [84]. 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 [84]. 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 обдув радиатора двигателя автомобиля. На первом этапе работа системы охлаждения рассматривалось в режиме холостого хода. Из приведенных графиков видно, что температура на радиаторе (T_1 , T_2) 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. На приведенном графике отчётливо видно, когда открывается большой круг циркуляции, охлаждающий жидкости.

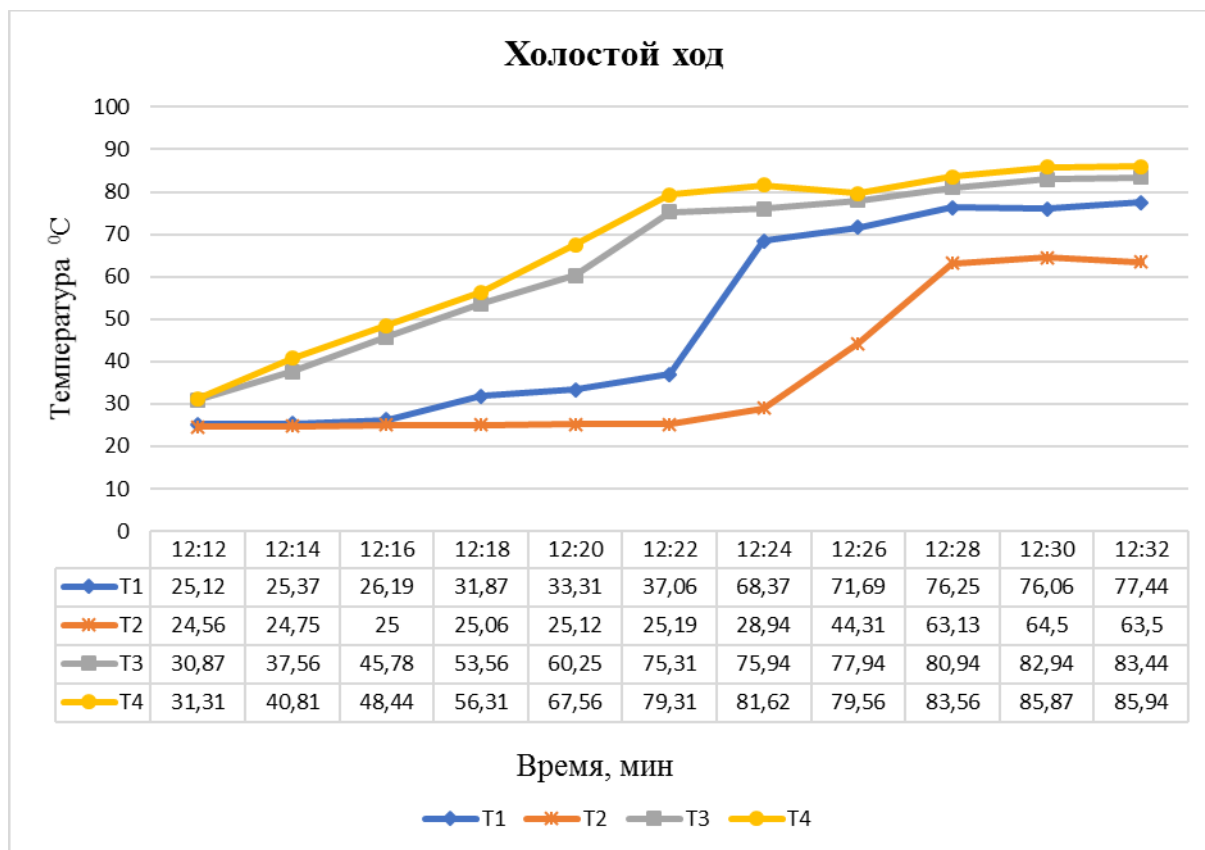


Рисунок 4.28 - Работа двигателя в холостом режиме

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.

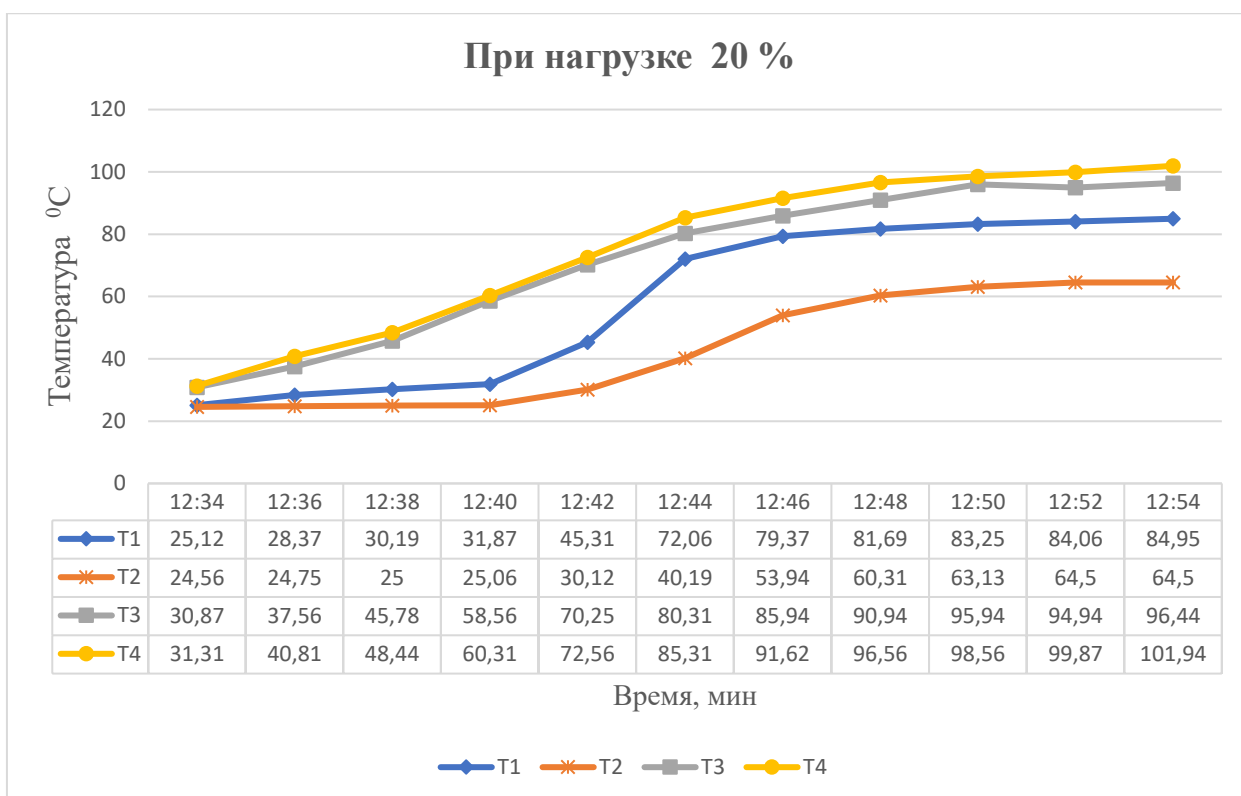


Рисунок 4.29 - Работа двигателя при 20% нагрузке

На графиках рисунка 4.29, при подаче на двигатель, 20% нагрузки наблюдается завышение уровня рабочей температуры двигателя. Время установившегося значения температуры двигателя составляет 6 мин.

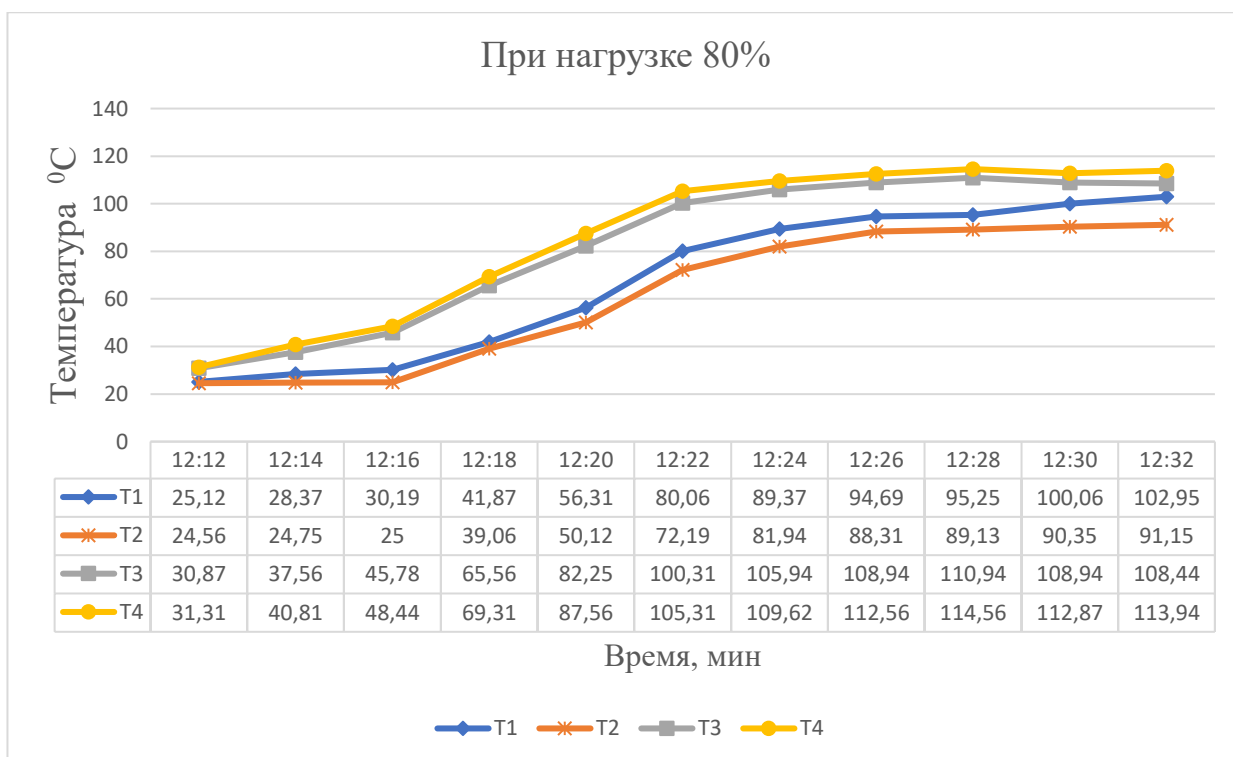


Рисунок 4.30 - Работа двигателя при 80% нагрузке

На графиках рисунка 30, показаны изменения температур при подаче на двигатель, 80 % нагрузки как видно из рисунка происходит завышение уровня рабочей температуры двигателя. Вентилятор бытовой работал при малых оборотах со скоростью 3м/сек.

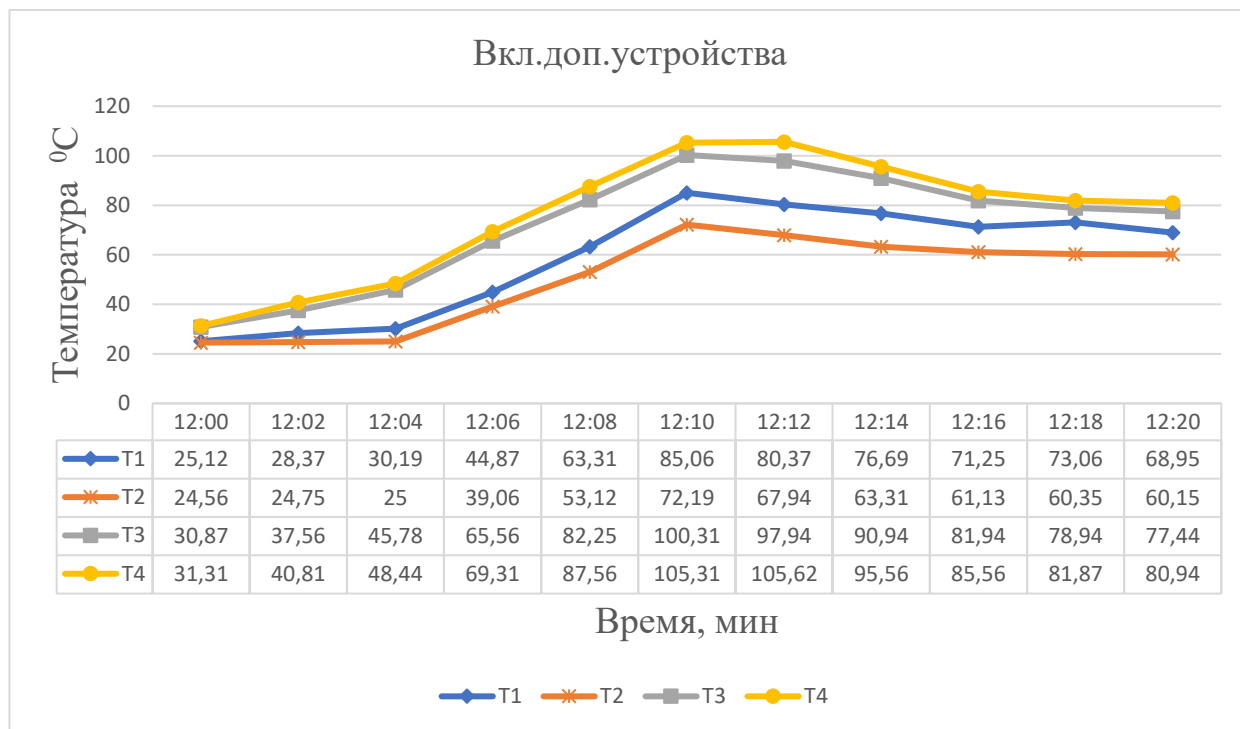


Рисунок 4.31 – Работа двигателя при включении дополнительного устройства

При максимальной температуре $T > 100^{\circ}\text{C}$ двигателя произведено автоматическое подключение дополнительного устройства, 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.

Применение устройство на объекте в полевых условиях.

Работа проводилась на территории строительства плотины Рогунской ГЭС, на рисунке 4.32 показана условие работы грузового транспорта с применением дополнительного охладителя. Транспортные средства типа КАМАЗ и БЕЛАЗ испытывают большие нагрузки и подвергаются влиянию внешней среды – высокая температура и разрежённость воздуха, что зачастую

приводит к перегреву двигателя. Применение охладителя позволяет стабилизировать температуру двигателя в экстремальных условиях, когда штатные системы охлаждения не имеют возможность снизить температуру охлаждающей жидкости.



Рисунок 4.32 – Работа устройства дополнительного охлаждения в полевых условиях

4.25. Расчет экономической эффективности внесенного изменения в систему охлаждения двигателя

Применение дополнительного устройства в системе охлаждения двигателя автомобиля привело к некоторому его удорожанию, но улучшило технические характеристики машины. Расчет показателей экономической эффективности, которое обоснует целесообразность конструкторских изменений произведем с учетом вида требуемых характеристик.

Таблица 4.6. - Условные обозначения расчетных параметров

Наименование параметров	Условное обозначение	Примечание
Единовременные затраты на создания устройства	EVZ	Сомони
Фонд оплаты труда разработчиков	FOTr	Сомони
Ставка единого социального налога	ESN	31,5% от FOTr
Прочие расходы 200% от FOTr	Pr	Сомони
Трудоемкость работы	Tr	Часов

Средняя часовая ставка работника	Sr	Сомони/ час
Средняя месячная заработная плата одного разработчика	ZPr	Сомони
Среднее количество рабочих дней в месяц	RD	21 рабочих дней
Длительность одной рабочей смены	DS	8 часов
Срок окупаемости	SO	Лет
Объем производства	OP	Единиц
Затраты на сырье и материалы	SiM	Сомони
Расход на соответствующие материалы и сырья	R	Сомони
Цена единицы материала или сырья	STed	Сомони
Затраты на покупные комплектующие	PK	Сомони
Количество соответствующих комплектующих	K	Единиц
Фонд оплаты труда основных производственных рабочих с ESN;	FOTopr s ESN	Сомони
Трудоемкость работы основного производственного рабочего	Topr	Часов
Часовая тарифная ставка основного производственного рабочего	Sopr	Сомони
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования	RSEO	Сомони

Единовременные затраты для создания устройства с учетом фонда оплаты труда разработчиков (конструкторов и технологов) дополнительного устройства охлаждения, ставка единого социального налога и прочих расходов определим по формуле:

$$EVZ = FOTr \cdot (1 + ESN) + Pr, \quad (4.22)$$

Фонд оплаты труда разработчиков формируется из общей трудоемкости работы разработчиков данного технического решения и средней часовой ставка работы одного разработчика.

$$FOTr = Tr \cdot Sr, \quad (4.23)$$

С помощью следующей формулы находим среднюю часовую ставку разработчика устройства

$$Sr = ZPr / (RD \cdot DS). \quad (4,24)$$

Поставив в формулу расчетные значения определим сколько сомони в час зарабатывает разработчик устройства.

$$Sr = 30\,000 / (21 \cdot 8) = 178.58 \text{ сомонй/час}$$

Полученный результат округляем для упрощения дальнейших расчетов до 180 сомонй/час

$$FOTr = 120 \cdot 180 = 21\,600 \text{ сомонй.}$$

$$EVZ = 21600 (1 + 0,315) + 21600 \cdot 2 = 71604 \text{ сомонй.}$$

Таблица 4.7 - Расчет общей трудоемкости, часов работы разработчиков:

Наименование работы	Затраты времени в часах
Эскизный проект	10
Технический проект	20
Разработка технической документации	30
Отладка опытного образца	15
Испытания на надежность	5
Эксплуатационные испытания	15
Корректировка технической документации	15
ИТОГО	120

Количество составных частей устройства, выпускаемых производством в сумме, не превышает 100 единиц в течении одного года. Предполагается, что усовершенствование или замена проектируемого устройства на предприятии осуществится через, примерно, полтора года. Итоговый результат расчета единовременных вложений представляет собой:

Таблица 4.8 - Результат расчета единовременных вложений

Наименование показателя	Условное обозначение	Единица измерения	Величина показателя
Единовременные затраты	EVZ	Сомони	71 604
Объем производства	OP	Единиц	100
Единовременные затраты	EVZed	Сомони	478
Срок окупаемости	SO	Лет	1,5

Себестоимость нового устройства рассчитывается по следующей схеме:

необходимо определить затраты на сырье, материалы и покупные комплектующие;

фонд оплаты труда основных производственных рабочих рассчитывается с учетом ставки единого социального налога;

в итоге определяются расходы на содержание и эксплуатацию оборудования.

По приведенной ниже формуле определяется затраты на сырье, материалы и покупные комплектующие

$$SiM = \sum_1^n (R \cdot STed), \quad (4.25)$$

здесь n – количество покупных материалов.

Затраты на покупные комплектующие

$$PK = \sum_1^m (K \cdot STed), \quad (4.26)$$

m - количество покупных комплектующих.

K – число единиц, соответствующих комплектующих, ед.

Фонд оплаты труда основных производственных рабочих с ESN рассчитывается по формуле

$$FOTopt s ESN = (1 + ESN) \sum (Topt r \cdot Sop r), \quad (4.27)$$

При оценке трудоемкости работы основного производственного рабочего T_{opr} учитывается конкретная специальность, разряд выполняемая работа на конкретном оборудовании.

Почасовая тарифная ставка рабочего S_{opr} с учетом конкретной специальности и разряда. Примерный технологический процесс по изготовлению дополнительного устройства охлаждения представлен в таблица 4.7. Расчет затрат на сырье, материалы и фонда оплаты труда приведены в таблицы 4.8, 4.9.

Таблица 4.9 - Расчет ориентировочного технологического процесса

Операция	Время, ч	Работник (специальность, разряд)	S_{opr} , сом.
Точение	4	Токарь 3 р	150
Сверление	6	Расточник 4 р	200
Доводка	7,5	Шлифовщик 4 р	25

Таблица 4.10 - Расчет SiM

Наименование	Ед. изм.	Цед, сом.	P , ед.	Стоимость, сом.
Листовой металл	т	17000	0,45	7 650
Нержавеющая сталь	кг	150	4,5	675
Пластмасса	пм	340	10	3 400
Резиновая трубка	м3	1500	0,7	1 050
ВСЕГО				12775

Таблица 4.11 - Расчет FOT_{opr} с ESN

Операция	Время, ч	S_{opr} , сом.	Стоимость, сом.
Точение	4	150	600
Сверление	6	200	1 200
Доводка	7,5	250	1 875
ESN			1158

ВСЕГО	4 833
-------	-------

При расчете RSEO учитываются также затраты на ремонт оборудования. Они, как правило, определяются в процентах от стоимости используемого оборудования. Данные, которые рассчитаны по содержанию и эксплуатации оборудования данного предприятия

$$RSEO = 1409 \text{ сомон}.$$

Таблица 4.12 - Результаты расчета себестоимости нового изделия.

Наименование показателя	Условное обозначение	Стоимость сомони
Сырье и материалы	SiM	12 775
Покупные комплектующие	PK	8750
Фонд оплаты труда основных производственных рабочих с ESN	FOTopr s ESN	4833
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования	RSEO	1409
Единовременные затраты на единицу нового изделия	EVZed	478
Себестоимость единицы нового изделия	Sned	28 245

Следует особо отметить, что приведенный способ решения поставленной задачи используется в случаях, когда применение данного технического решения не влечет за собой явного повышения экономических показателей.

Некоторые изменения в экономических показателях себестоимости нового оборудования рассчитываются как приведено ниже

Установим цену всей машины равным 300 000 сомон. Ориентировочную себестоимость старых (заменяемых) узлов – 15 000 сомон. В результате проведенных расчетов, себестоимость новых узлов составило 28 245 сомон. Таким образом, повышение цены машины за счет замены

старых узлов на новые равно 13 245 сомонь, что составляет в процентах от цены, всего 4,42 % .

Известно, что экономическое обоснование считается успешным, если повышение цены всей машины сопоставимо с улучшением необходимых показателей технических характеристик автомобиля.

Экономический эффект от внедрения, предложенного нового решения состоит в увеличении срока службы системы охлаждения двигателя во время работы автомобиля при сохранении других важных технических характеристик. Кроме того, применение этого решения, приведет к сокращению срока износа деталей, которые подвергаются высокотемпературному нагреву, а также других, конструктивных элементов системы охлаждения двигателя, что приведет к повышению экологичности и надежности всего автомобиля в целом, создается комфортное условие труда для водителя. Интерпретация последствий посредством данных - экономических показателей, является чрезвычайно затруднительной задачей. Тем не менее, руководство строительства Рогунской ГЭС, по оценкам специалистов, ощутить прирост производительности труда (примерно на 5%).

Таблица 4.13 - Экономическая оценка эксплуатации транспортного средство

Показатель	ДО	ПОСЛЕ	Изм.
Средний годовой пробег, км	30 000		—
Средний расход топлива, л/100 км	12	10	–2
Стоимость 1 литра топлива, сом.	11.40		—
Годовые расходы на топливо, сом.	115 200	96 000	–19 200
Пробег до ТО, км	10 000	13 000	3 000
Затраты на одно ТО, сом.	12 000		—
Годовые затраты на ТО, сом.	36 000	27 692	–8 308
Суммарная годовая экономия, сом.	27 508		—
Срок окупаемости дополнительных			

капитальных вложений,		
лет,	0,48	—
мес.	5,78	—

4.26. 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 4.33 - 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 «Система 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».

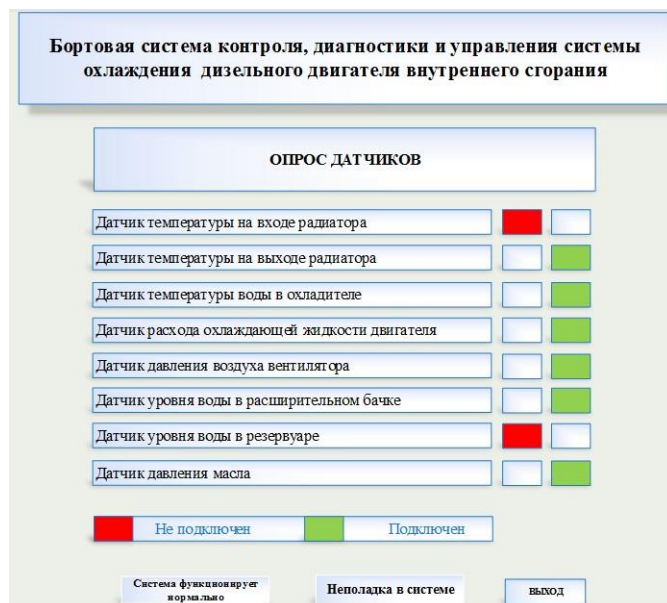


Рисунок 4.34 - Внешний вид Меню программы «Опрос датчиков»

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 «Система функционирует нормально». Для выхода из этой программы нужно нажать кнопку «ВЫХОД», управление вернется в основное меню.

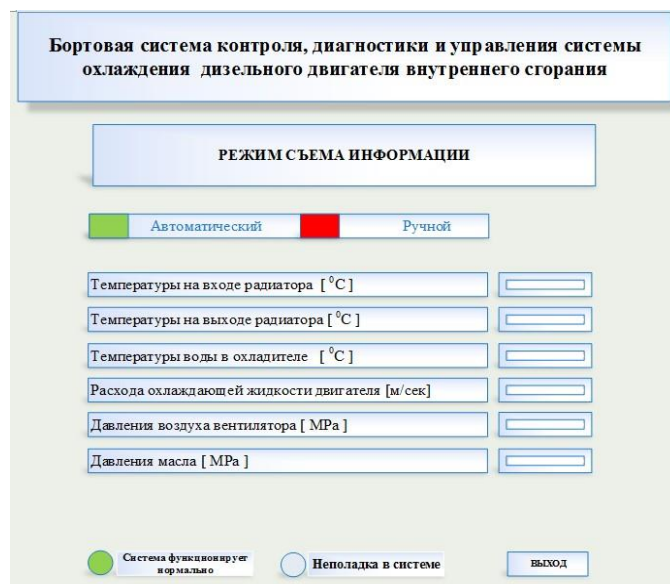


Рисунок 4.35 - Внешний вид пункта меню «Режим съема информации»

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 пуска–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.

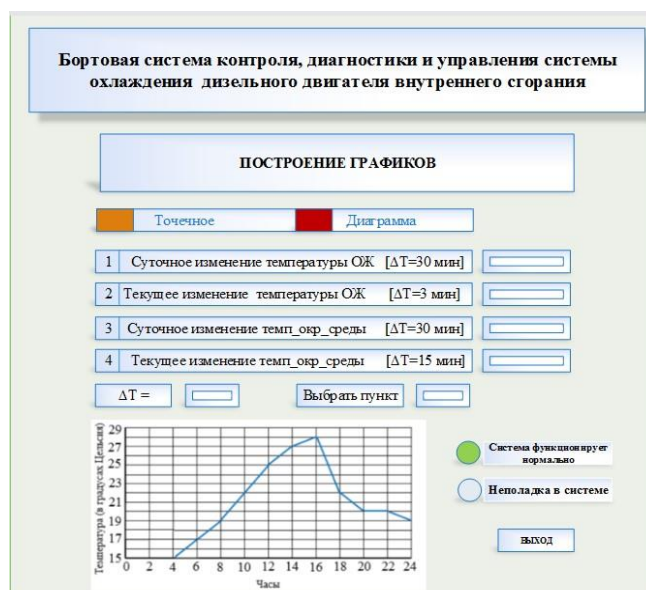


Рисунок 4.36 - Внешний вид программы меню «Построение графиков»

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.

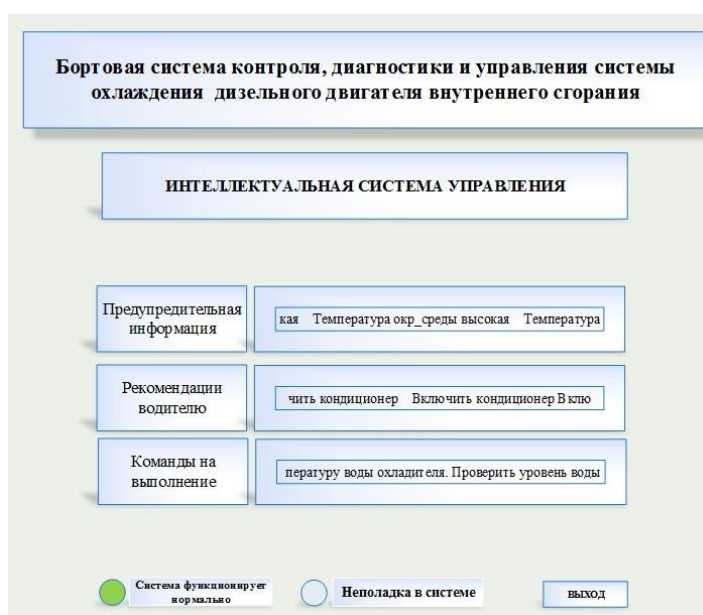


Рисунок 4.37 - Внешний вид пункта меню «Интеллектуальная система управления»

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. На основе проведенного литературного обзора, сделан вывод о том, что не всегда штатные устройства системы охлаждения справляются с своей задачей – поддержания на заданном уровне, температурного режима двигателя, что влияет на надежность его эксплуатации, экономичность и экологические параметры. Для стабилизации температурного режима, авторами часто используются системы управление циркуляционным насосом или дополнительным вентилятором [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 имитации нагрузки на двигатель разработана схема с использованием асинхронного электродвигателя, подключенного к коробке передач, эксплуатируемый в генераторном режиме с подключением на его выход активной нагрузкой, различной величины [9-А, 14-А].

9. Разработан программный комплекс для микроконтроллера для сбора и обработки экспериментальных данных снятых с объекта с различной дискретизацией и различных интервалов в временной области. Интерфейс этой системы, позволяет представлять информацию, как в табличной форме, так и 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 предложенное автором устройство для дополнительного охлаждения двигателя внутреннего сгорания, ТЖ 1447, Заявка № 1801183 от 01.03.2018г. Зарегистрировано в государственном реестре изобретений РТ 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 параметров 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.

Систему с дополнительным теплообменником, предложенный автором, который создает контур охлаждения функционирующая только при наличии условий нормальной эксплуатации, всех составляющих системы охлаждения, рекомендовано 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 «Monhar» 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, а также функции определения технического состояния элементов системы охлаждения.

Полученные результаты исследований могут быть использованы при разработке элементов искусственного интеллекта, осуществляющих функции контроля и управления не только системой охлаждения автомобилей в сложных эксплуатационных условиях, но и для подогрева системы в зимних условиях эксплуатации, при введении незначительных изменений.

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/>. (дата обращение 10.02.2025)
14. Штовба, С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB/ С.Д. Штовба. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
15. Драгомиров С. Г. и др. Математическая модель системы автоматического регулирования температуры двигателя. // Электроника и электрооборудование транспорта. № 2-3. 2010. с. 2-5.
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 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2007 on type approval of motor vehicles with respect to emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 5 and Euro 6) and on access to vehicle repair and maintenance information (Text with EEA relevance)
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 Boretti, 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. Основы расчета и проектирования. Изд. 2-е, перераб. и доп. М, «Машиностроение», 1978. 264с.
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. 26-32.

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. Гольдберг А.М. Галямичев В.А. Тепловой расчет четырехтактного двигателя / Методические указания для студентов лесомеханического факультета спец. 0519 -Л. 1985
47. Бурков, В.В. Аллюминиевые теплообменники сельскохозяйственных и транспортных машин / В.В. Бурков. Л: Машиностроение, 1985. 240 с.
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. 2015г. 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. (дата обращения 05.01.2025)

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. Апелинский 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. Волг ГТУ. Межвуз. Сб. науч. ст. 2013. Т.5, №12. 42–46 с.

67. Вейвлет-анализ. Основы теории, Блаттер, Кристиан, Кренкель, Т. Э.; Кюркчан, А. Г., 2006г.-271с.

68. Ramos J.I. Mathematical Modelless 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 состояние двигателя внутреннего сгорания / У.А. Турсунбадалов, Тиллоев К.З и др. // «Всероссийская научно-техническая конференция». 2019. Т. 11 №. 1 Стр.20-28

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. Барский А. Б. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления: монография / А. Б. Барский. - Москва: РУСАЙНС, 2024.- 186 с.

76. Станюкович К.В., Таджикистан природа и природные ресурсы. / К.В. Станюкович, Х.М. Сайдмурадов –Душанбе: Изд.-во. Дониш, 1982–600с.

77. Рауфов Р.Н. Экономика–географические особенности территориальной организации и оценка эффективности использования гидротехнических

сооружений в юго-западном 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. Вятчин Д.А. Нечеткие методы автоматической классификации. – Минск: УП. “Технопринт”, 2004–219с.

83. Усков А.А. Системы с нечеткими моделями объектов управления. Монография. – Смоленск: СФРУК, 2013. – 153 с.: ил

84. Казанцев С. А., Пермяков М. Е., Дучков А. Д. Устройство для оперативного температурного мониторинга // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15-26 апреля 2013 г.). - Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 2. -С.203-207.

85. Юнусов Н.И., Зиёев Ш.Ш., Махмадов С.А., Холов Ш.Ё. Управление температурой теплоносителя в системе охлаждения двигателей внутреннего сгорания. 2020.- 14-19 с.

86. Widrow, B., Stearns, S.D.: Adaptive signal processing. Prentice–Hall, Englewood Cliffs, N.J. (1985).

87. Трифонов А. В., Покусаев М. Н. Анализ способов повышения энергоэффективности насосов систем охлаждения судовых двигателей // Науч. проблемы трансп. Дальнего Востока и Сибири. 2018. № 1. С. 122–126.
88. Агафонов, С.А. Дифференциальные уравнения / С.А. Агафонов, А.Д. Герман, Т.В. Муратова. – МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. (Сер. Математика в техническом университете; Вып. VII).
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. Круглов В.И., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. – М.: Изд. Физ. мат. лит., 2002. – 312 с.
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 // Вестник Кременчущького державного политехничного университету. – 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. Иванова Г.М., Кузнецов Н.Д, Чистяков В.С. Теплотехнические измерения и приборы: Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1984. – 232с.
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. Сахин В.В. Теплообмен в однородной среде (теплопередача): учебное пособие / В.В. Сахин; Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2017. 121 с.

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).

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.

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. Р. Б. Рыбка, А. Г. Сбоев и И. И. Иванов. — «Численное моделирование процедуры синтаксического разбора с использованием нейронных сетей». — В: Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Лингвистика и межкультурная коммуникация 3 (2015), с. 28—33. — URL: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/lingvo/2015/03/2015-03-04.pdf>.

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. Пашенко, Нечеткие регуляторы и системы управления, Пробл. управл., –2004, №3, –С.2–14.
106. Константинов И.С., Филатов А.Г., Касьянов Ю.В. Принципы построения интеллектуальных автоматизированных систем управления с нечетким регулированием на базе логико-лингвистических моделей представления знаний // Сборник трудов Седьмых Академических чтений РААСН “Современные проблемы строительного материаловедения”.- Белгород.-2001.С.154-158
107. Ю.И. Кудинов, И. Н. Дорохов, Ф. Ф. Пашенко, 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. 256 с.
109. Леоленков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH. – 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.
113. Ye, Q.; Liu, C. A Multichannel Data Fusion Method Based on Multiple Deep Belief Networks for Intelligent Fault Diagnosis of Main Reducer. Symmetry 2020, 12, 483. [Google Scholar] [CrossRef][Green Version]
114. Fang, H.-W.; Ma, J. Analysis of transformation countermeasures of automobile manufacturing enterprises from production type to service type. J. Chang'an Univ. (Nat. Sci. Ed.) 2013, 33, 131–136. [Google Scholar].

115. Зиёев Ш.Ш. Позиционное управление системой охлаждения ДВС с применением элементов искусственного интеллекта. Политехнический вестник. Серия Интеллект. Инновации. Инвестиции. № 3 (55) 2021. стр. 68-73
116. Ян Гудфеллоу, Йошуа Бенджио, Аарон Курвилль. Глубокое обучение. М.: Лит.Рис. 2022. 315 стр.
117. Турсунбадалов У.А. Автоматизированная система диагностики состояния двигателя внутреннего сгорания на основе нейропараметрических методов идентификации: дис.канд.техн.наук. Душанбе. 2018.
118. Джалолов У.Х., Турсунбадалов У.А., Абдуллоев М.А., Юнусов Н.И. Идентификация процесса износа вкладышей шатунных подшипников ДВС на основе анализа виброакустических сигналов. Политехнический вестник. Серия Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2018. -№3 (43). - С. 16-21. УДК 57.087+159.9:62.
119. LeCun, Y.; Bengio, Y.; Hinton, G. Review: Deep learning. Nature 2015, 521, 436–444. [Google Scholar] [CrossRef]
120. Liu, W.; Wang, Z.; Liu, X.; Zeng, N.; Liu, Y.; Alsaadi, F.E. A survey of deep neural network architectures and their applications. Neurocomputing 2017, 234, 11–26. [Google Scholar] [CrossRef]
121. Yao, L.-J.; Ding, J.-X. An On-line Vibration Monitoring System for Final Drive of Automobile. Noise Vib. Control 2017, 27, 54–57. [Google Scholar]
122. Chandra, B.; Sharma, R.K. Fast learning in Deep Neural Networks. Neurocomputing 2016, 171, 1205–1215. [Google Scholar] [CrossRef]
123. Suk, H.-I.; Lee, S.-W.; Shen, D.; Initiative, T.A.D.N. Hierarchical feature representation and multimodal fusion with deep learning for AD/MCI diagnosis. NeuroImage 2014, 101, 569–582. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed][Green Version]
124. Sun, W.; Shao, S.; Zhao, R.; Yan, R.; Zhang, X.; Chen, X. A sparse auto-encoder-based deep neural network approach for induction motor faults classification. Measurement 2016, 89, 171–178. [Google Scholar] [CrossRef]

125. Hinton, G.; Mohamed, A.-R.; Jaitly, N.; Vanhoucke, V.; Kingsbury, B.; Deng, L.; Yu, D.; Dahl, G.; Senior, A.W.; Nguyen, P.; et al. Deep Neural Networks for Acoustic Modeling in Speech Recognition: The Shared Views of Four Research Groups. *IEEE Signal Process. Mag.* 2012, 29, 82–97. [Google Scholar] [CrossRef]
126. Shao, H.; Jiang, H.; Zhao, H.; Wang, F. A novel deep autoencoder feature learning method for rotating machinery fault diagnosis. *Mech. Syst. Signal Process.* 2017, 95, 187–204. [Google Scholar] [CrossRef]
127. Shin, H.-C.; Orton, M.R.; Collins, D.J.; Doran, S.J.; Leach, M.O. Stacked Autoencoders for Unsupervised Feature Learning and Multiple Organ Detection in a Pilot Study Using 4D Patient Data. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 2013, 35, 1930–1943. [Google Scholar] [CrossRef]
128. Shin, H.-C.; Orton, M.R.; Collins, D.J.; Doran, S.J.; Leach, M.O. Stacked Autoencoders for Unsupervised Feature Learning and Multiple Organ Detection in a Pilot Study Using 4D Patient Data. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 2013, 35, 1930–1943. [Google Scholar] [CrossRef]

**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.** Многоканальная сенсорная система диагностики дефектов двигателя внутреннего сгорания с использованием глубокой нейронной сети [Текст] / Ш.Ш. Зиёев, У.Х. Джалолов, Н.И. Юнусов, Р.М. Бандишоева // Политехнический вестник. Серия Интеллект. Инновации. Инвестиции. №1 (65) 2024г. стр. 56-62.

[11–А]. **Зиёев Ш.Ш.** Устройство для дополнительного охлаждения двигателей внутреннего сгорания. Патент TJ 909, 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:

[12–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» ТТУ 26–27 апрель 2018 стр. 270–273.

[13–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.

[14–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.

[15–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

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

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,
Web: www.web.ttu.tj **E-mail:** info@ttu.tj

УТВЕРЖДАЮ
Ректор ТТУ им. акад. М.С. Осими
Давлатзода Шухрат Камбар

« 08 » _____ 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 ДВС 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.).

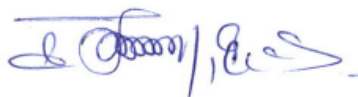
Полученные результаты позволяют сделать вывод об эффективности применения дополнительного охладителя для стабилизации температурного режима работы двигателя под нагрузкой в различных температурных режимах окружающей среды. Используются имитации температурных режимов путем подогрева воздуха помещения, 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»

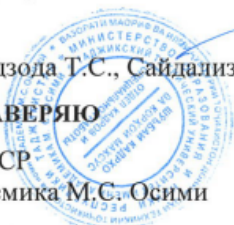


Бандишоева Р.М.

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

ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН
ҶАМҶИЯТИ САҶОМИИ
КУШОДАИ
«СОХТМОНИ АСОСИ»



РЕСПУБЛИКА ТАДЖИКИСТАН
ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ
ОБЩЕСТВО
«СОХТМОНИ АСОСИ»

735417, Чумхурии Тоҷикистон, шаҳри Рӯғун, Майдони сохтмони №1, Тел: (83134) 2-22-56, E-mail: Sokhtmoni_asosi@mail.r
с/х 20202972016900042394, МФО: 350101369, х/к 204029722413691, ЦСК "Ориёнбанк" дар шаҳри Душанбе

«УТВЕРЖДАЮ»
Генерального Директор
Открытого акционерного
общества
«Сохтмони асоси»

Карчиев Д.Дж.
«23» 05 2024

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ, 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: на тему: «Бортовая система стабилизации температуры охлаждающей жидкости ДВС грузовых автомобилей с применением интеллектуальных технологий»

Комиссия в составе: председателя Мирзоева Ф.С. и членов комиссии Хакимова С.А. и Султонова М.Х. свидетельствует о том, что применение бортовой системы стабилизации температуры ДВС, были реализованы следующие научные результаты, полученные в кандидатской диссертации Зиёева Ш.Ш.

- Стабилизация температуры охлаждающей жидкости двигателя внутреннего сгорания (ДВС) грузовых автомобилей с учетом горных карьерных условий при строительстве гидротехнических сооружений в Республике Таджикистан;
- Экспертная система контроля технического состояния элементов системы охлаждения и принятия управленческих решений на основе построения прогностической нейросетевой модели системы охлаждения ДВС.

Реализация материалов диссертации Зиёева Ш.Ш. позволила

- Стабилизировать температуру охлаждающей жидкости с применением дополнительного устройства при эксплуатации большегрузного самосвала в условиях горных карьеров;

- Принятие системных управленческих решений по снижению температуры охлаждающей жидкости ДВС с учетом условий окружающей среды работающих высокогорных карьерных условиях;

Материалы диссертации использованы в следующих документах, материалах и разработках:

Разработанная методика внедрена в автотранспортных предприятиях дочернего акционерного общества "Сохтмони асоси" Республики Таджикистан.

Полученные результаты приняты к сведению в различных горных карьерных условиях при строительстве ГТС.

По результатам реализации получен следующий положительный эффект:

- улучшены условия эксплуатации большегрузных автомобилей, позволяющие увеличить их пробег;
- численные значения параметров математических моделей определены для конкретных моделей их эксплуатации в определенных дорожных условиях достоверность, которых согласуются с реальными данными с достаточной точностью;
- разработанный способ внедрен в ряд автотранспортных предприятий и в полном объеме отражена в 5 научных публикациях, которые входят в перечень, рекомендованный ВАК РТ;
- полученные соискателем результаты исследований по форме и содержанию характеризуются внутренним единством и направлены на решение поставленной задачи;

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ КОМИССИИ:

Начальник отдела главного механика



Мирзоев Ф. С.

ЧЛЕНЫ КОМИССИИ:

Главный инженер отдела главного механика



Хакимов С.А.

Инженер производственно-технического отдела



Султонов М. Х.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

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];

```



```

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.RowStyles.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
Sans Serif", 11.25F);
        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 = "Ποροτχο";
        //
        // 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; }
    }
}

```