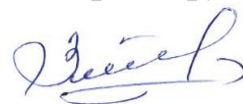


**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
ТАДЖИКИСТАН**

**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**

АВТОРЕФЕРАТ

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

Душанбе – 2025

Работа выполнена на кафедре «Автоматизация технологических процессов и производств» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими

Научный руководитель: **Юнусов Низомуддин Исмоилович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств» ТТУ имени акад. М.С. Осими

Официальные оппоненты: **Нишанов Ахрам Хасанович**, д.т.н., профессор, кафедры «Системное и прикладное программирование» Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий

Каюмов Махмадзоир Махмараджабович, доктор философии PhD заведующим отделом нанотехнологии и наноматериалов Физико-технического института имени С.У. Умарова НАНТ

Ведущая организация: Технологический университет Таджикистана

Защита диссертации состоится «19» сентября 2025 года в 14:00 часов на заседании диссертационного совета 6D.KOA-049 при Таджикском техническом университете имени академика М.С. Осими по адресу: 734042, г. Душанбе, проспект академиков Раджабовых, 10а, e.mail: sultonzoda.sh@mail.ru

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться на сайте Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими <https://web.ttu.tj>

Автореферат разослан

2025г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Султонзода Ш.М.

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 диссертационного исследования:

- 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 нечеткого вывода и метод нейросетевых организаций моделей исследуемого объекта.

Научная новизна работы:

- предложены способы реализации задача 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 (СО, СН) по сравнению с традиционной системой охлаждения.

Важность и обоснованность результатов работы. Подтверждается актом внедрения результатов исследования. Результаты работы были внедрены в учебном 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 и списка литературы из 122 наименований. Основная часть диссертации изложена на 179 страницах. Работа иллюстрирована 68 рисунками и 21 таблицами.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования, их научная новизна, определена практическая значимость, приведены сведения об апробации и внедрении результатов научного исследования.

Первая глава 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.

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.

Введение дополнительных элементов, как правило, влечет за собой необходимость корректировки функционирования системы охлаждения на определенных режимах эксплуатации двигателя.

На рисунке 1 представлена упрощенная классификация систем охлаждения ДВС, принятая в настоящее время.

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.



Рисунок 1 – Классификация систем охлаждения дизельных ДВС

Вторая глава методы исследования температурных режимов дизельного ДВС и разработка математической модели тепло и массообменных процессов в ней, является достаточно сложной задачей. Это связано с тем, что теплоемкость элементов, нагреваемых в дизельных ДВС различна. Еще более сложной задачей является моделирование работы системы с установленным элементом, в данном случае устройством дополнительного охлаждения радиатора. Задача состоит в том, чтобы понять, как будет функционировать система с отводом некоего дополнительного количества тепловой энергии из системы охлаждения.

Модели ДВС представленные в виде дифференциальных уравнений, с учётом термодинамических и кинематических процессов и систем смесеобразования, а также электрического зажигания оказываются достаточно сложными и требуют большого количества исходных данных и их решение сопряжено с рядом сложных вычислительных процедур. Поэтому, разработка простых компактных методов предварительной оценки состояния ДВС в режиме реального времени представляют определенный интерес, например, диагностика на основе разгонной характеристики ДВС.

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 вышеуказанных параметров ДВС в качестве входного воздействия рассматривается объем дизельного топлива, подаваемого в цилиндр ДВС, который в свою очередь связан с положением рычага управления подачей топлива. 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, которая представлена на рисунке 2, где приняты следующие операторы обобщенной модели ДВС: Оператор главной цепи передачи сигнала.

$$W(S) = \frac{K_d}{T_d S + 1} \quad (1)$$

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 управления

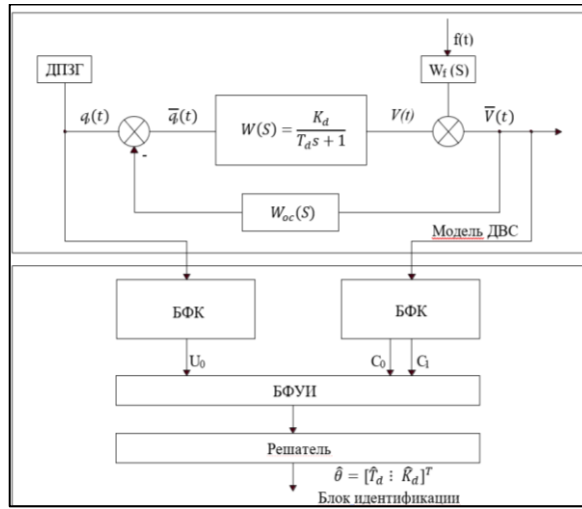
$$T_d^* \frac{d\bar{v}(t)}{dt} + \bar{v}(t) = K_d^* q^*(t) \quad (2)$$

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

Параметры, входящие в уравнение (2) определяются следующими соотношениями:

$$T_d^* = \frac{T_I}{1 + K_I K_{oc}}; \quad K_d^* = \frac{K_I}{1 + K_I K_{oc}} \quad (3)$$

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



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

Рисунок 2 – Структурная блок–схема системы идентификации параметров разгонной характеристики ДВС

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

$$T_d^* \int_{\tau=t-T}^{\tau=t} \varphi(t, \tau) \bar{v}'(\tau) d\tau + \int_{\tau=t-T}^{\tau=t} \varphi(t, \tau) \bar{v}(\tau) d\tau = K_d^* \int_{\tau=t-T}^{\tau=t} \varphi(t, \tau) q(\tau) d\tau \quad (4)$$

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

Приняв следующие обозначения:

$$C_1(t) = \int_{\tau=t-T}^{\tau=t} \varphi'(t, \tau) \bar{v}(\tau) d\tau; C_0(t) = \int_{\tau=t-T}^{\tau=t} \varphi(t, \tau) \bar{v}(\tau) d\tau; U_0(t) = \int_{\tau=t-T}^{\tau=t} q(\tau) \varphi(t, \tau) d\tau \quad (5)$$

Получим уравнение в виде:

$$T_d^* C_1(t) + C_0(t) = K_d^* U_0(t) \quad (6)$$

где $\{T_d^*, K_d^*\}$ - 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:

$$C_1^*(k) = \frac{\Delta T_u}{T_u} \sum_{K=0}^{n-1} \bar{v}(k) \left[\frac{\Delta T_D}{2T_D} (\varphi(k) - \varphi(k-1)) \right] \quad (7)$$

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

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

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

где $\Omega(k) = [C_1^*(k) : U_0^*(k)]$ - матрица наблюдения, $\hat{\theta} = [\hat{T}_d^* : \hat{K}_d^*]^T$ - 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 динамических параметров ДВС осуществлялась на основе примера, аппроксимирующего разгонную характеристику с помощью линейной модели с использованием пакета моделирования Matlab/Simulink, который показан на рисунке 3. Эксперимент показал, что данный подход, позволяет с достаточной точностью идентифицировать основные параметры разгонной характеристики ДВС.

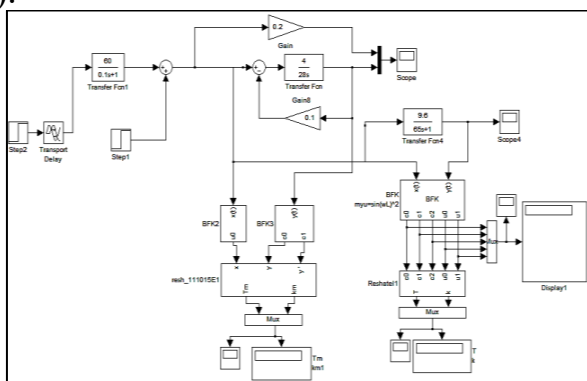


Рисунок 3 – Схема моделирования системы идентификации параметров разгонной характеристики ДВС в среде MATLAB/Simulink

Рисунок 4 – 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.

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:

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 $\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x))\}$.

$$A_s = \{(x, \mu_{\bar{A}}(x)) > 0\}, \quad \forall x \in X \quad (9)$$

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 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

$$C_i = \mu(w_i) \quad (\forall i \in \{1, 2, \dots, q\}),$$

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

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n c_i w_i}{\sum_{i=1}^n c_i} \quad (10)$$

где n – число нечетких продукционных правил в подзаключениях, в которых присутствует выходная лингвистическая 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.

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

$$S = \sum_{i=1}^n W_i x_i + b; \quad (11)$$

$$Y = f(S), \quad (12)$$

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:

$$W_i, x_i, b \in R, (i \in \{1, 2, \dots, n\}), x_i = a_i^{(1)}, i \in 1, 2, \dots, n. \quad (13)$$

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:

$$\begin{aligned} z^{(2)} &= W^{(1)}x + b^{(2)} \\ a^{(2)} &= f(z^{(2)}), \end{aligned} \quad (14)$$

$W^{(1)}$ 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 сигмной, 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.

$$W^{(1)} = \begin{bmatrix} W_{11}^{(1)} & W_{12}^{(1)} & W_{13}^{(1)} & W_{14}^{(1)} \\ W_{21}^{(1)} & W_{22}^{(1)} & W_{23}^{(1)} & W_{24}^{(1)} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Как видно из выражения 15 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 $m = 4$.

$$x = [x_1 x_2 x_3 x_4]^T \quad (16)$$

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

$$b^{(1)} = [b_1^{(1)} b_{21}^{(1)}]^T \quad (17)$$

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

$$z^{(2)} = \begin{bmatrix} W_{11}^{(1)}x_1 + W_{12}^{(1)}x_2 + W_{13}^{(1)}x_3 + W_{14}^{(1)}x_4 \\ W_{21}^{(1)}x_1 + W_{22}^{(1)}x_2 + W_{23}^{(1)}x_3 + W_{24}^{(1)}x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1^{(1)} \\ b_2^{(1)} \end{bmatrix} \quad (18)$$

В уравнении 14 для получения $z^{(2)}$ можем раскрыть в матричной форме:

$$S = W^{(2)}a^{(2)} \quad (19)$$

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

$$C = cost(s, y) \quad (20)$$

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.

$$\frac{\partial C}{\partial x} = \left[\frac{\partial C}{\partial x_1}, \frac{\partial C}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial C}{\partial x_m} \right] \quad (21)$$

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}) :

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial W_{jk}^l} &= \frac{\partial C}{\partial z_j^l \partial W_{jk}^l} && \text{(правило вычисления градиента);} \\ z_j^l &= \sum_{k=1}^m W_{jk}^l a_k^{l-1} + b_j^l && (m - \text{число нейронов на } (l-1) \text{ слое);} \\ \frac{\partial z_j^l}{\partial W_{jk}^l} &= a_k^{l-1} && \text{(собственно вычисление производной);} \\ \frac{\partial C}{\partial W_{jk}^l} &= \frac{\partial C}{\partial z_j^l} a_k^{l-1} && \text{(итоговое значение).} \end{aligned}$$

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

Так называемый локальный градиент вычисляется следующим образом:

$$\delta_j^l = \frac{\partial C}{\partial z_j^l} \quad (22)$$

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.

$$W = W - \theta \frac{\partial C}{\partial W} \quad (23)$$

$$b = b - \theta \frac{\partial C}{\partial b} \quad (24)$$

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.

Таблица 1 – 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

Нечеткая модель топливной системы ДВС разработана с использованием MATLAB/Simulink. В этой модели входные переменные были переданы из MATLAB рабочую среду. Фаззификация была проведена в соответствии с параметрами, которые влияют на работу топливной системы (таблица 1) и типа функции принадлежности. Результаты моделирования приведены на рисунке 5.

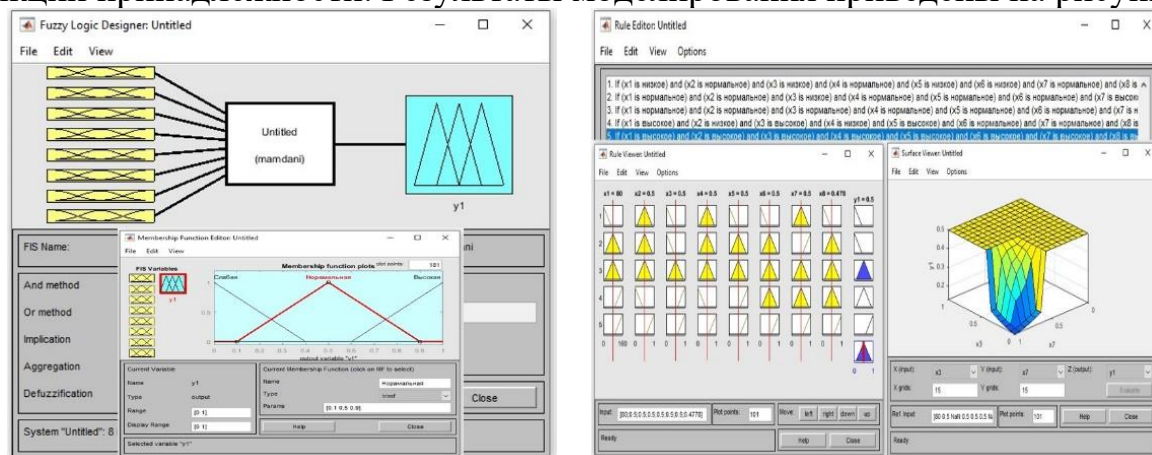


Рисунок 5 – Результаты моделирования ДВС в пакете Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB

В третьей главе диссертационного исследования представлены разработка системы управление процессом охлаждения дизельного ДВС на основе нечеткой логики и нейросетевой модели.

Представлен 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.

Эти данные в модель поступают с объекта, а температура охлаждающей жидкости может быть получена из экспериментальных данных или рассчитана на основании модели радиатора. Контроллер вычисляет коррекцию расхода охлаждающей жидкости и подает соответствующее напряжение U_M на открытие клапана дополнительного элемента охлаждения, чтобы выполнить условие 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.

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 рисунке 6:

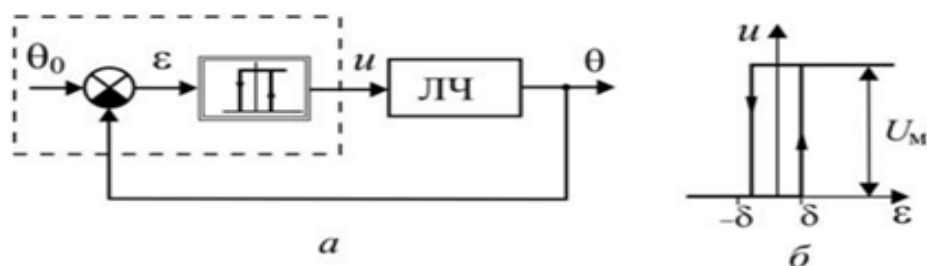
- на вход РЭ подается величина, представляющая собой отклонение $\varepsilon = \theta_0 - \theta$
- входная переменная представлена регулируемой величиной Θ как температура охлаждающей жидкости.

Если на вход релейного элемента подать величину отклонения ε , характеристика релейного элемента в статике описывается выражением.

$$U = \begin{cases} U_M & \text{если } (\varepsilon > \delta \text{ и } \dot{\varepsilon} > 0) \text{ или } (\varepsilon > -\delta \text{ и } \dot{\varepsilon} < 0); \\ 0 & \text{если } (\varepsilon < \delta \text{ и } \dot{\varepsilon} > 0) \text{ или } (\varepsilon < -\delta \text{ и } \dot{\varepsilon} < 0), \end{cases} \quad (25)$$

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:

$$\begin{aligned} T_1 \frac{d\theta(t)}{dt} + \theta(t) &= k_0 U_M, \\ T_2 \frac{d\theta(t)}{dt} + \theta(t) &= 0. \end{aligned} \quad (26)$$



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

Рисунок 6 – Система автоматического регулирования с релейным элементом

Графики изменения температуры при релейном регулировании с учетом чистого запаздывания τ показаны на рисунке 7.

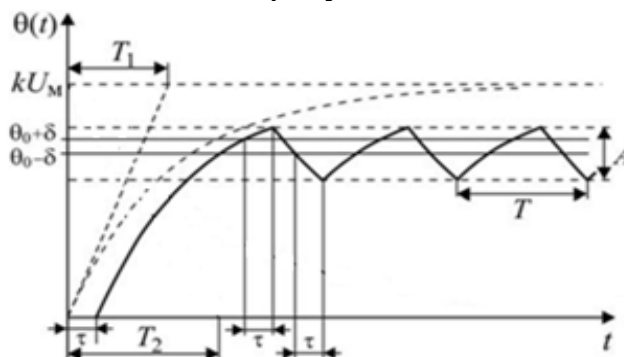


Рисунок 7 – Релейное регулирование температуры теплоносителя

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 течение времени τ , а затем начинает падать.

Для повышения качества и эффективности управления температурным режимом в системе охлаждения ДВС, нами, предложено использование аппарата нечеткого управления, учитывающее влияние неконтролируемых параметров на объект.

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

Для получения четких значений от нечетких термов в системах нечеткого вывода, используется процесс дефазификации. Для этого преимущественно применяется, известный метод центра тяжести функций принадлежности.

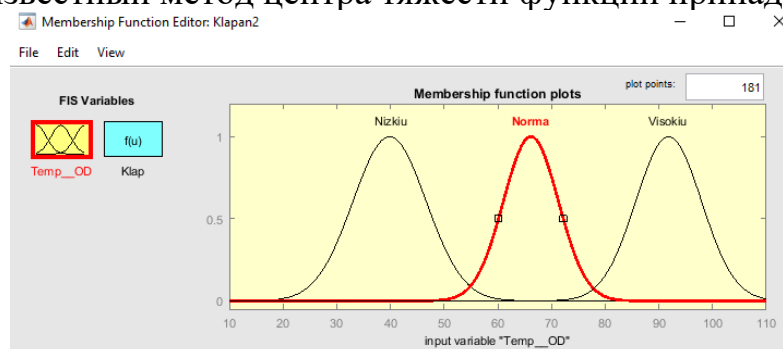


Рисунок 8 – График функции принадлежности для термов лингвистической переменной «температура охлаждающей жидкости»

Схема управления системой охлаждения с применением нечеткого датчика, реализованного в пакете программ MATLAB/Simulink, приведена на рисунке 9. На осциллограмме четко видно падение температуры жидкости на выходе радиатора при ее подаче через ДУ, с передаточной функцией $\frac{10}{10s+1}$

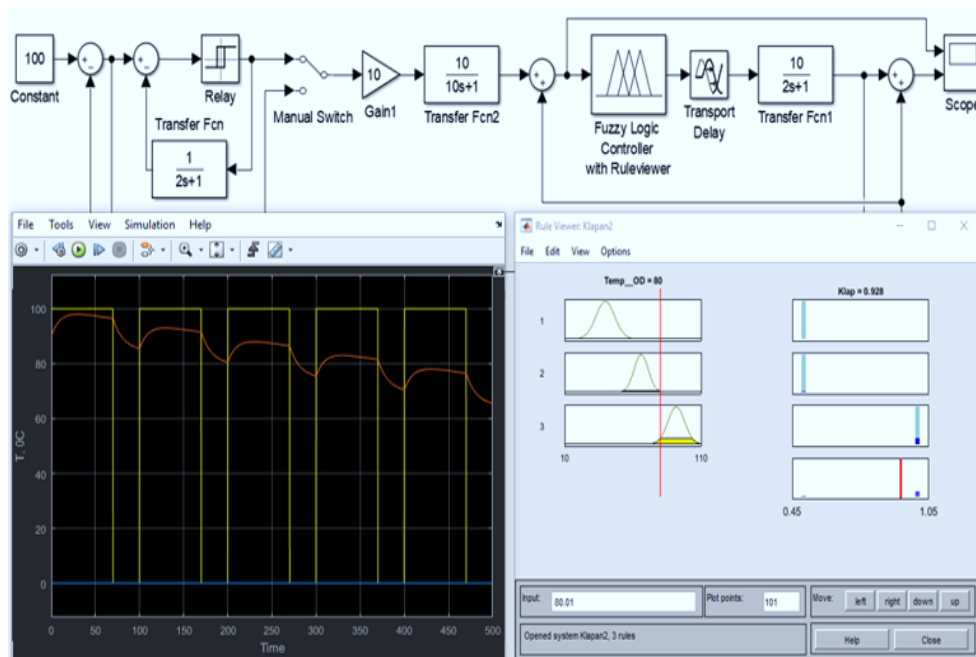


Рисунок 9 – Схема моделирования нечеткого регулирования температуры системы охлаждения двигателя с релейным регулятором

В главе 4 рассматривается применение технологии искусственного интеллекта к решению задачи стабилизации температурного режима системы охлаждения ДВС.

Для автоматического принятия решения системой с учетом технического состояния элементов системы охлаждения, а также свойств окружающей среды предложена система стабилизации температуры теплоносителя с прогнозирующей нейросетевой моделью и нечетким контроллером принятия решения.

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

$$E(k) = \sum_{j=N_1}^{N_2} (y_o(k+j) - y_m(k+j))^2 + \lambda \sum_{j=1}^{N_u} \Delta u(k+j-1) \quad (27)$$

где N_1 , N_2 и N_u - горизонты прогнозирования и управления, соответственно, по которым оцениваются ошибка отслеживания и приращения управления, k – дискретное время; λ – представляет собой параметр приращений управления в критерий эффективности; $u_{уст}$ – опорный сигнал; y_m – ответ модели NN ; Δu – последовательность будущих приращений управления, которые должны быть рассчитаны в процедуре оптимизации. Связи со сложностью определения параметра λ оптимизационными методами, уравнение (27) представим в следующей форме:

$$E(k) = \sum_{j=1}^{N_2} y_{op}(k+j) - y_{NN}(k+j) + \lambda \Delta u(k+j) \quad (28)$$

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

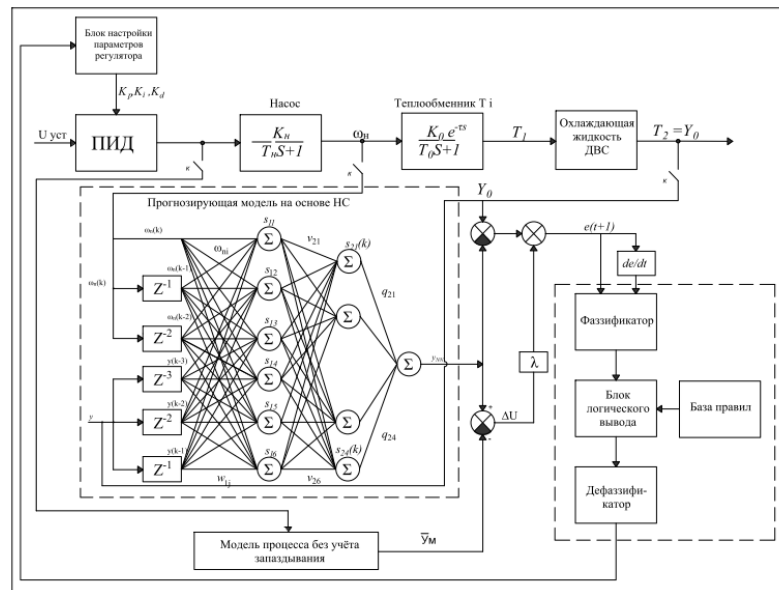


Рисунок 10 – Система принятия решения с прогнозирующей моделью

В представленной конструкции *NNPC* используется двухуровневая сеть с сигмоидальными передаточными функциями в скрытом слое и линейными передаточными функциями в выходном слое. Нейронная сеть имеет 6 входов процесса с четырьмя элементами задержки, 3 и один скрытый слой с 4 нейронами рисунок 10.

Для учета состояния элементов и температуры окружающей среды разработана система принятия решения на основе данных блока контроля, диагностики и управления, преобразованных к виду лингвистических нечетких множеств.

На рисунке 11 показана работа нечеткого датчика для управления температурой охлаждающей жидкости при трех развиваемых двигателем мощностях. Заданное значение составляет 85 °С.

Основная задача контроллера – поддерживать температуру на выходе двигателя вблизи заданного значения в ответ на изменения частоты вращения и нагрузки двигателя. Встроенные в лабораторный стенд модули управления, позволяют изменять значения нагрузки и скорости двигателя независимо друг от друга.

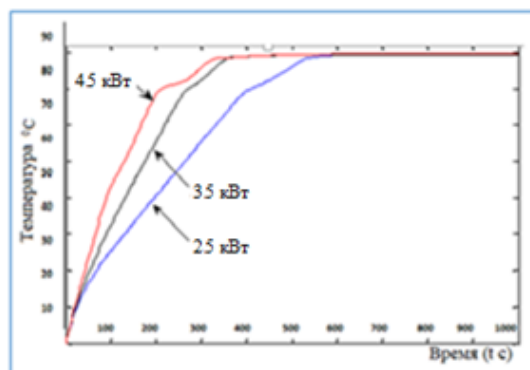


Рисунок 11 – Работа нечеткого регулятора для разных мощностей двигателя

Для обеспечения заданного температурного режима двигателя система охлаждения должна обеспечивать равенство отводимой теплоты контурами системы охлаждения. Это равенство полагает, что каждая составляющая взаимозависимы, т.е. отводимое количество теплоты ОЖ будет определяться параметрами радиатора, вентилятора и дополнительного устройства (ДУ). Функциональное уравнение количества теплоты в ОЖ можно записать в следующем виде:

$$Q_{\text{ож}} = f(G_{\text{ож}}, T1, T2, c_p) \quad (29)$$

где $G_{\text{ож}}$ – расход ОЖ кг/ч, $T1$ – температура ОЖ на входе в радиатор $^{\circ}\text{C}$, $T2$ – температура ОЖ на выходе из радиатора $^{\circ}\text{C}$, c_p – теплоемкость ОЖ кДж/(кг $^{\circ}\text{C}$).

Уравнение состояния жидкостного контура при открытии клапана термостата будет иметь вид:

$$Q_{\text{ож}}^* = c_p (G_{\text{ож}} \pm \Delta G_{\text{ож}}) [(T2 \mp \Delta T2) - T1] \quad (30)$$

Здесь температура ОЖ на входе радиатора переменна и является функцией расхода ОЖ. Уравнение (32) описывает контур после воздействия возмущающих факторов на систему охлаждения. Уравнения, системы охлаждения при переходе из установившегося стационарного температурного режима к нестационарному описываются:

$$Q_{\text{ож}} = c_p G_{\text{ож}} (T2 - T1) \quad (31)$$

$$Q_{\text{ож}}^* = c_p (G_{\text{ож}} \pm \Delta G_{\text{ож}}) [(T2 \mp \Delta T2) - T1]. \quad (32)$$

Исследования проводились на стенде, разработанного автором на кафедре «Автоматизация технологических процессов и производств».

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.

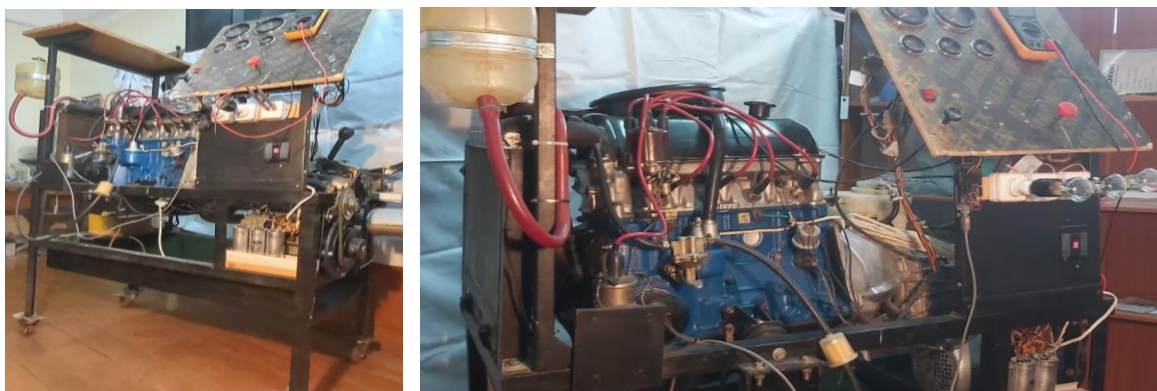
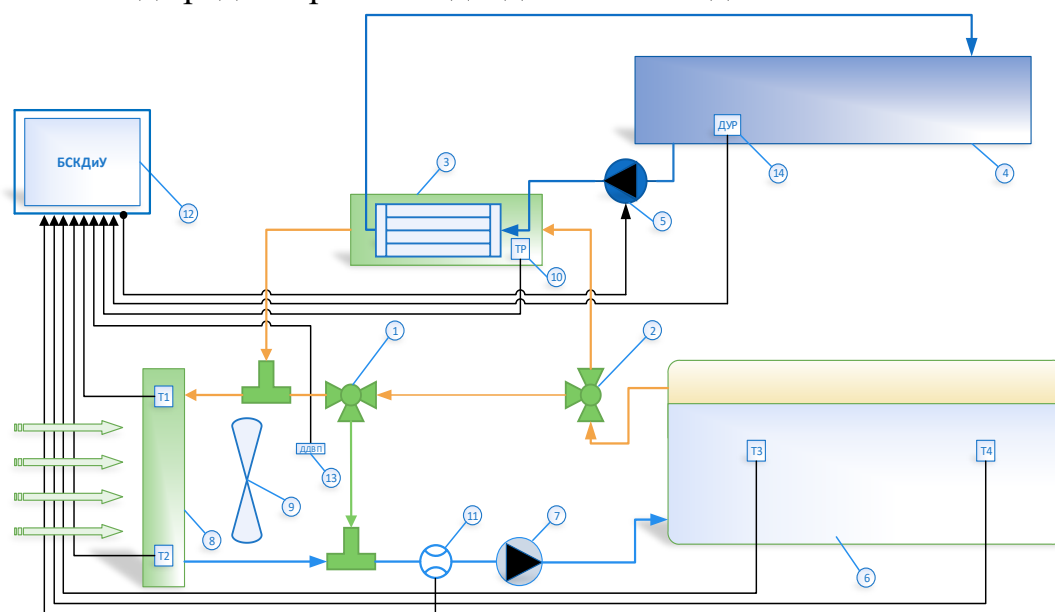


Рисунок 12 – Внешний вид стенда с системой сбора и обработки информации

На рисунке 13 приведена схема системы охлаждения двигателя с дополнительным устройством. В схеме показаны места установки датчиков температуры, $T3$ – датчик установлен на корпусе первого цилиндра, датчик $T4$

установлен на корпусе четвертого цилиндра. Датчик T1 установлен на входе, а датчик T2 на выходе радиатора. Выходы датчиков соединены пинами МК.



1 – термостат ($80^0 \leq T_y \leq 100^0 C$), 2 – термостат ($T_y > 100^0 C$), 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 13 – Система охлаждения с дополнительным устройством

Для оценки стабильности температурных режимов автомобильного двигателя проведены исследования динамики температуры охлаждающей жидкости ДВС, на указанном выше, исследовательском стенде. В качестве исходных данных использованы результаты контроля параметров работы двигателя, фиксируемые системой «MONHAR», разработанный автором.

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 (T1, T2) 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 окружающей среды $25.6^0 C$. Вентилятор был отключен.

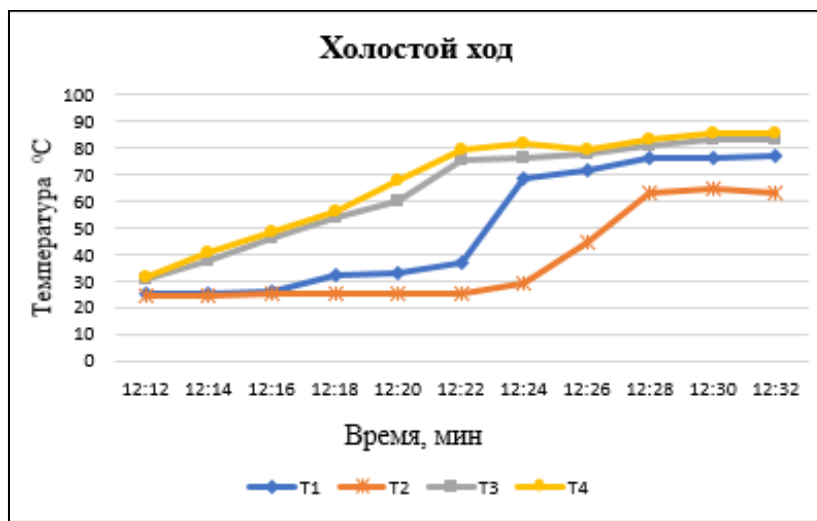


Рисунок 14 – Работа двигателя в холостом режиме

Для исследования работы двигателя под нагрузкой был использован асинхронный двигатель – 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.

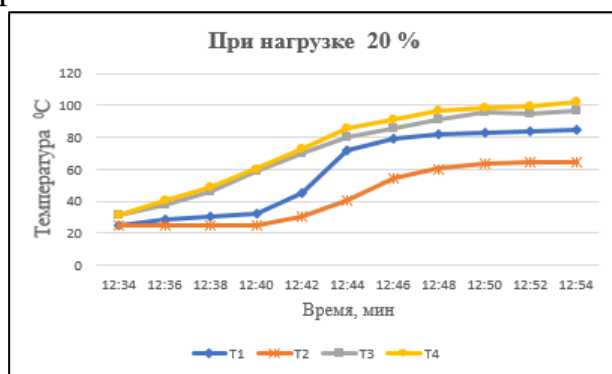


Рисунок 15 – Работа двигателя при 20% нагрузке

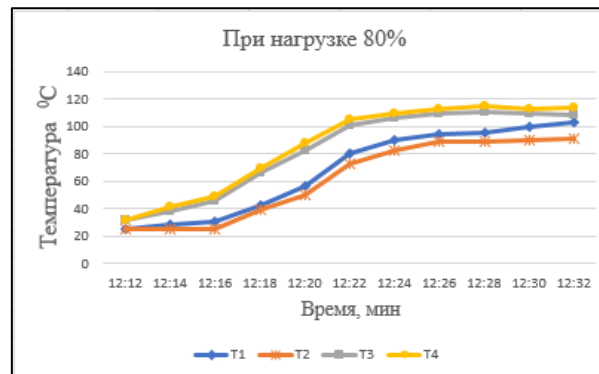


Рисунок 16 – Работа двигателя при 80% нагрузке

На графиках рисунка 16, 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.

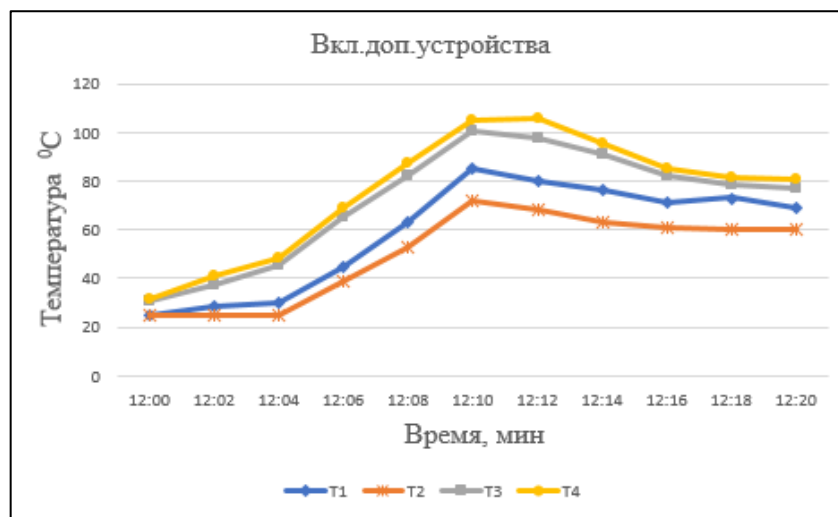


Рисунок 17 – Работа двигателя при включении дополнительного устройства

На графиках рисунка 17 показаны результаты, использования дополнительного устройства охлаждения. Графики показывают, как резко падает температура рубашки двигателя и радиатора после открытия дополнительного термостата который открывает проход горячей жидкости из блока к змеевику охладителя.

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

Надо отметить, что автор на стенде рассматривал только качественную характеристику системы охлаждения двигателя, так как физически, процессы теплоотдачи у бензинового и дизельного ДВС имеют серьезные отличия.

Бортовая система контроля, диагностики и управления (БСКД и У) состоит из двух частей. Первая часть – это система сбора и обработки информации “MONHAR”, задачей которого является сбор данных с датчиков и приборов и предварительная их обработка. Вторая часть состоит из комплекса программ, задачей которого является сравнение полученных данных с эталонными или допустимыми пределами, установленными Госстандартом. При обнаружении несоответствия измеренного значения или состояния элемента СО с эталонным или установленным диапазоном, экспертная система принимает решение. Решения могут иметь характер предупреждения, подачи совета или команды на выполнение того или иного действия. Для работы с бортовой системой контроля и диагностики, разработан интерфейс пользователя,

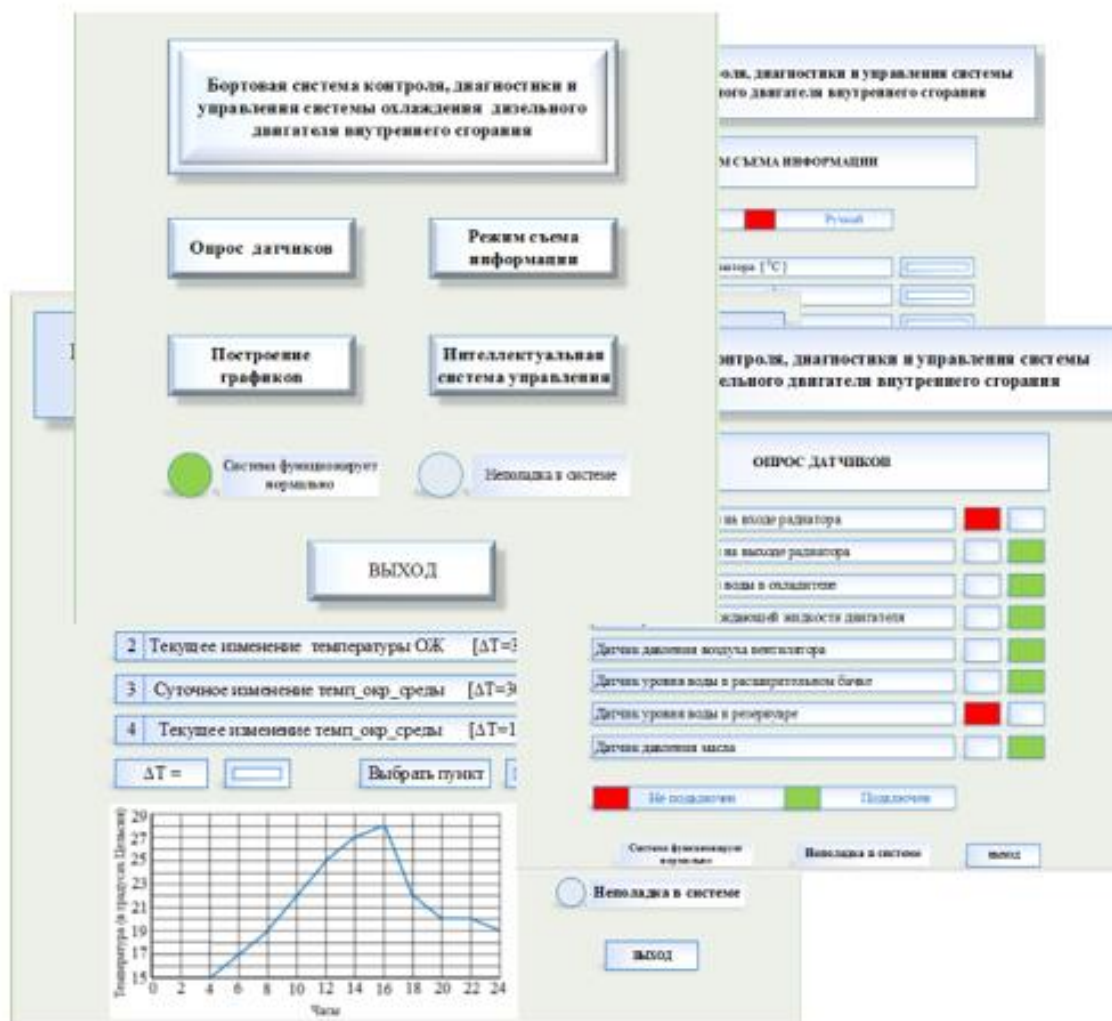


Рисунок 18 – Интерфейс пользователя

В нормальном режиме программа “MONHAR” функционирует с дискретностью 5 минут, с продолжительностью работы системы составляющей 0.7-1.5 минут. Система предусматривает периодический контроль функционирования элементов системы охлаждения двигателя:

Следует отметить, что система подает команду на открытие ДУ только в случае отсутствия аварийной ситуации.

При этом на интерфейсе загорается красная сигнальная лампочка «Аварийная ситуация» и подается звуковой сигнал. Система находится в режиме ожидания, пока не будет устранена аварийная ситуация.

Аварийные ситуации: нет расхода жидкости; не вращается вентилятор; отсутствует питание блока БСКДиУ; достигнут минимальный уровень воды в резервуаре; отсутствует сигнал от какого, либо датчика. При этом система переходит под управлением интеллектуальной системы до устранения неполадки. Затем система переходит в нормальный режим работы.

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 используется 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 прямооточного 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 параметрами охлаждения ДВС на основе применения интеллектуальных компьютерных технологий [7-А].

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

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.

Авторские свидетельства и патенты:

[11–А]. **Зиёев Ш.Ш.** Устройство для дополнительного охлаждения двигателей внутреннего сгорания. Патент ТЈ 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.

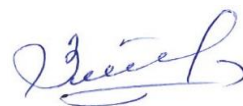
[14–А]. **Зиёев Ш.Ш.** Исследование влияния на переходный процесс САР постоянного времени дополнительного устройства охлаждения дизельного ДВС / Ш.Ш. Зиёев, Н.И. Юнусов, Ш. Амиршоев, М.К. Оева // Материалы республиканской научно–практической конференции “Наука – основа инновационного развития” Таджикский 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.

**ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН
ДОНИШГОҲИ ТЕХНИКИИ ТОҶИКИСТОН**

БА НОМИ АКАДЕМИК М. С. ОСИМӢ

Бо ҳуқуқи дастнавис



УДК 621.43.013:622.43+681.5

ЗИЁЕВ ШУҲРАТ ШАРОФИДИНОВИЧ

**СИСТЕМАИ БОРТИИ ИСТИҚРОРИ ҲАРОРАТИ МОЕЪИ
ХУНУККУНАНДАИ МДС МОШИНҲОИ БОРКАШ БО ИСТИФОДА АЗ
ТЕХНОЛОГИЯҲОИ ЗЕҲНӢ**

АВТОРЕФЕРАТ

рисолаи илмӣ барои дарёфти дараҷаи илмӣ номзади илмҳои техникӣ аз рӯи
ихтисосҳои 05.13.11 - "Таъминоти математикӣ ва барномавии мошинҳои
ҳисоббарор, комплексҳо ва шабакаҳои компютерӣ"

Душанбе – 2025

Қор дар Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М. С. Осимӣ дар кафедраи "Автоматикунории равандҳои технологӣ ва истеҳсолот" иҷро шудааст

Роҳбари илмӣ:

Юнусов Низомиддин Исмоилович, номзоди илмҳои техникӣ, дотсенти кафедраи "Автоматикунории равандҳои технологӣ ва истеҳсолот" ДДТ ба номи акад. М. С. Осимӣ

Муқарризони расмӣ:

Нишанов Аҳрам Хасанович, д.и.т., профессори кафедри «Барномасозии системавӣ ва амалӣ» Донишгоҳи технологияи иттилоотӣ ба номи Муҳаммад ал-Хоразми Тошкент

Қаюмов Маҳмадзоир Маҳмарачабович, доктори философии PhD мудири шуъбаи нанотехнология ва наномаводҳои Институти физика ва техникаи ба номи С.У. Умарови АМИТ

Ташкилоти пешбар:

Донишгоҳи технологияи Тадҷикистон

Ҳимояи диссертатсия "19" сентябри соли 2025 соати 14:00 дар ҷаласаи Шӯрои диссертатсионии 6D КОА-049 дар назди Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М. С. Осимӣ дар суроғай: 734042, шаҳри Душанбе, проспекти академикҳои Раҷабовҳо, 10а. e.mail:sultonzoda.sh@mail.ru

Бо рисолаи илмӣ дар китобхонаи Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М. С. Осимӣ ва дар сомонаи ташкилот <https://web.ttu.tj> шинос шудан мумкин аст

Автореферат

соли 2025 фиристода шуд.

Котиби илмӣ
Шӯрои диссертатсионӣ,
номзоди илмҳои техникӣ, дотсент



Султонзода Ш.М.

МУҚАДДИМА

Аҳамияти мавзӯи рисолаи илмӣ. Омили муайянкунандае, ки ба истифодабарии техникии воситаи нақлиёт таъсир мерасонад, кори боэътимод ва устувори муҳаррики он мебошад. Имрӯз ба муҳаррикҳои дарунсӯз (МДС) талаботи саҳт гузошта мешаванд – онҳо бояд иқтидори баланд ва ва ҳам-замон сарфакорӣ, эътимоднокии ва устуворӣ дошта бошанд. Барои таъмини речаи гармидихии оптималии воситаи нақлиёт талабот ба самаранокии системаҳои хунуккунӣ саҳттар мешавад. Ин талабот махсусан барои автомобилҳое, ки дар шароити шадид ғайолият мекунад, махсусан ҳангоми истифодаи воситаҳои нақлиёт дар соҳтмони иншооти калони муҳандисӣ ба монанди Нерӯгоҳи барқии оби Роғун, ки дар минтақаи баландкӯҳи Ҷумҳурии Тоҷикистон ҷойгир аст, муҳим аст. Маълум аст, ки дар ин минтақаҳо зичии ҳаво кам аст, дар ҳоле ки дар фасли тобистон, вақте ки ҳарорат ба ҳадди аксар мерасад ва ҳаво ҷанги зиёд дорад омилҳое, ки ба речаи хунуккунии муҳаррикҳои дарунсӯз таъсири манфӣ мерасонанд, ба паст шудани самаранокӣ ва эътимоднокии кори агрегатҳои мошини боркаш оварда мерасонанд.

Дар соҳаи рушди нақлиёт ва табдил додани кишвар ба кишвари транзитӣ дар Стратегияи миллии рушди Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2030 ва Паёми Асосгузори сулҳу ваҳдати миллий-Пешвои миллат, Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон ба Маҷлиси Олии Ҷумҳурии Тоҷикистон вазифаи таъмини кори самаранокӣ нақлиёт ва инфрасохтори нақлиётӣ, ки ба рушди иҷтимоию иқтисодии минтақаҳои кишвар мусоидат менамояд, гузошта мешавад.

Дар кор роҳҳои паст кардани ҳарорати моеъи хунуккунанда тавассути интиҳоби гармӣ бо истифодаи унсури иловагии хунуккунӣ дар асоси технологияҳои компютери муосир, назарияи мантиқи ноаниқ ва системаҳои қабули қарорҳои шабакаи нейронӣ баррасӣ карда мешаванд. Ба таъсири зиёди ҳарорат асосан цилиндрҳои корӣ, саракҳои цилиндрҳо, корпусҳои клапанҳои баромад ва коллекторҳо, инчунин рағғанҳои хунуккунӣ дучор мешаванд.

ТАВСИФИ УМУМИИ РИСОЛАИ ИЛМӢ

Мақсади кори диссертатсионӣ баланд бардоштани муътадилсозии ҳарорати системаи хунуккунии муҳаррикҳои дарунсӯзи мошинҳои боркаш мебошад, ки боиси сарфаи сӯзишворӣ, кам шудани фарсудадагии қисмҳои муҳаррик мегардад, ки ба гармидихии ҳарорати баланд дучор мешаванд ва аз паст шудани қувваи муҳаррикҳои мошинҳои дар шароити вазнин коркунанда пешгирӣ мекунад, самаранокии истифодаи онҳо ба таври назаррас аз ҷониби системаи хунуккунӣ муайян карда мешавад. Дар ин ҳолат, истиқрори речаи ҳарорат аз ҳисоби истифодаи унсури иловагӣ ба даст оварда мешавад, ки имкон медиҳад, ки ҳарорати моеъи хунуккунӣ бо истифода аз технологияи нейроноаниқ зуд идора карда шавад, ки дар асоси заминаи дониш, ки аз ҷониби системаи эксперти таҳия шудааст, қарор қабул мекунад.

Вазифаи таҳқиқот:

- омӯзиши хусусиятҳои системаи хунуккунии МДС - и дизелӣ бо дарназардошти шароити иқлимӣ ва табиӣ минтақаҳои кӯҳии Ҷумҳурии Тоҷикистон, аз ҷумла таназзули фишор ва ҳарорати баланди ҳаво;
- таҳқиқи речаҳои ҳароратии МДС - и дизелӣ ҳангоми тағйироти ногаҳонии ҳароратии муҳити атроф;
- таҳия ва таҳқиқи модели математикӣ, ки ҳолати таҷҳизоти системаи хунуккунии МДС-ро дар муҳити барномавии MATLAB/Simulink бо истифодаи бастаи Fuzzy Logic Toolbox муайян мекунад;
- таҳия ва татбиқи системаи ҷамъоварӣ ва коркарди сигналҳои мушоҳидашаванда аз сенсорҳои дар муҳаррики стенди омӯзишӣ насбшуда;
- гузаронидани тадқиқоти таҷрибавӣ оид ба речаҳои динамикии системаи хунуккунии МДС - и дизелӣ;
- таҳияи интерфейси графикии панели иттилоотии ронанда, ки вазифаҳои назорат, ташхис ва идоракунии системаи истиқрорсозии ҳароратро ҳал мекунад.

Объекти пажӯҳиш. Системаи хунуккунии муҳаррики дизелии дарунсӯз дар шароити минтақаҳои кӯҳии Ҷумҳурии Тоҷикистон.

Методҳои пажӯҳиш. Барои назорат ва идоракунии системаи хунуккунӣ принципҳои ҳулосаи ноаниқ ва усули ташкили шабакаи нейронии моделҳои объекти таҳқиқшаванда истифода мешаванд.

Навовариҳои рисолаи илмӣ:

- усулҳои татбиқи вазифаи ташхис, пешгӯӣ ва истиқрорсозии речаи ҳарорати МДС - и дизелӣ бо истифодаи принципҳои мантиқи ноаниқ ва технологияҳои шабакаи нейронӣ пешниҳод карда шуданд;
- системаи интеллектуалии назорат ва арзёбии параметрҳои системаи хунуккунии МДС - и дизелӣ таҳия шудааст;
- муайян кардани параметрҳои асосии хусусияти афзояндаи муҳаррики дарунсӯз пешниҳод карда шудааст, ки ба арзёбии зудии ҳолати объект имкон медиҳад;
- бо мақсади баланд бардоштани суръати системаи хунуккунии МДС - дизелӣ, дастгоҳи иловагии хунуккунӣ бо манбаи мухтори хунуккунӣ таҳия ва дар амал татбиқ карда шудааст;
- системаи идоракунии ноаниқи равандҳои ҳароратии системаи хунуккунии МДС бо унсури иловагии хунуккунии дар он ҷойгиршуда пешниҳод карда шудааст;
- Дар заминаи истифодаи унсурҳои зехни сунъӣ идоракунии мавқеии системаи истиқрорсозии ҳарорати моеъи хунуккунии МДС пешниҳод ва таҳқиқ карда шудааст;
- системаи зехнии назорати пешгӯӣ ва идоракунии речаи ҳарорати системаи хунуккунии МДС дар асоси мантиқи ноаниқ ва модели нейрошабакавӣ пешниҳод карда шуд.

Аҳамияти назариявӣ ва амалии кор. Дар рисолаи илмӣ тибқи ҳадафҳои гузошташуда вазифаҳои илмӣ-амалӣ оид ба эҷоди асосҳои назариявӣ ва амалии

автоматонии равандҳои системаи хунуккунии МДС бо истифодаи назарияи мантиқи ноаниқ ва технологияҳои шабакаҳои нейронӣ ҳал карда шуданд.

Мақсаднокии амалии истифодаи унсури иловагӣ дар системаи хунуккунии штатии МДС - и дизелӣ кори устувори муҳаррик дар шароити вазнини истифода ва ноил шудан ба сарфаи сӯзишворӣ ва кам кардани партовҳои моддаҳои зараровар ба атмосфера (СО, СН) дар муқоиса бо системаи анъанавии хунуккунӣ буд.

Аҳамият ва асоснокии натиҷаҳои кор бо санади татбиқи натиҷаҳои пажӯҳиш тасдиқ карда мешавад. Натиҷаҳои кор ба раванди таълимии ДТТ ба номи академик М. С. Осими қорӣ карда шуда ва патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон ба даст оварда шудааст.

Стенди омӯзишӣ – таҳқиқоти таҳияшуда барои гузаронидани корҳои лабораторӣ, инчунин гузаронидани корҳои илмӣ - таҳқиқоти хусусияти гуногун бо истифодаи унсурҳои зехни сунӣ ба истифодаи таҷрибавӣ қабул карда шудааст.

Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ.

Натиҷаҳои дар натиҷаи таҳқиқот ба даст овардашуда ба бандҳои зерини шиносномаи номгӯи ихтисосҳои Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон аз рӯи ихтисоси 05.13.11 - Таъминоти математикӣ ва барномавии мошинҳои ҳисоббарор, комплексҳо ва шабакаҳои компютерӣ аз рӯи бандҳои зерин мувофиқат мекунад:

Банди - 3. Моделҳо, усулҳо, алгоритмҳо, забонҳо ва воситаҳои нармафзор барои ташкили ҳамкориҳои барномаҳо ва системаҳои нармафзор;

Банди - 4. Системаҳои идоракунии маълумотҳо ва донишҳо;

Банди - 7. Интерфейси инсон ва мошин; моделҳо, усулҳо, алгоритмҳо ва нармафзор барои графикаи компютерӣ, визуализатсия, коркарди тасвирҳо, системаҳои воқеияти виртуалии алоқаи мултимедиявӣ.

Банди - 9. Моделҳо, усулҳо, алгоритмҳо ва инфрасохтори нармафзор барои ташкили коркарди маълумоти дар саросари ҷаҳон паҳншуда.

Санҷиши натиҷаҳои кор дар Маводҳои конфронси III - и илмӣ-амалӣ аспирантон, магистрантон ва донишҷӯён "Илм - асоси рушди инноватсионӣ (шаҳри Душанбе, ДТТ 26 - 27 апрели соли 2018), дар Маводҳои конфронси байналмилалӣ илмӣ – амалӣ "Истифодаи технологияҳои иттилоотӣ – телекоммуникатсионӣ дар таъсиси ҳукумати электронӣ ва саноатикунонии кишвар (шаҳри Душанбе, 2020) нашр шудаанд. Натиҷаҳои кор якҷанд мароиба дар семинарҳои илмӣ кафедраи "Автоматонии равандҳои технологӣ ва истехсолот" - и ДТТ ба номи академик. М.С. Осимӣ баррасӣ шуданд.

Нашрияҳои асосӣ дар мавзӯи диссертатсия. 15 мақола нашр шудааст, ки 8 – тои он дар нашрияҳои тавсияшудаи КОА Ҷумҳурии Тоҷикистон, патенти хурди ҚТ гирифта шудааст, ду кор дар хориҷа ва 4 дар маводи конфронсҳои илмӣ нашр шудааст.

Саҳми шахсии муаллиф. Вазифа дар якҷоягӣ бо роҳбари илмӣ гузошта шуд. Муаллиф модели математикӣ ва функционалии системаи хунуккуниро бо унсури иловагӣ таҳия кардааст, таҳқиқоти таҷрибавӣ речаи гармии системаи хунуккуниро иҷро кардааст. Системаи идоракунии речаи ҳарорати муҳаррик дар асоси мантиқи нейроноаниқ таҳия шудааст.

Сохтор ва ҳаҷми рисола. Рисолаи илмӣ аз муқаддима, 4 боб, хулоса, рӯйхати адабиёт аз 122 номгӯй ва 4 илова иборат аст. Қисми асосии рисола дар 179 саҳифа оварда шудааст. Кор бо 68 расм ва 21 ҷадвал тасвир шудааст.

МУНДАРИҶАИ АСОСИИ КОР

Дар муқаддима аҳамияти мавзӯи кори диссертатсионӣ асоснок карда мешавад, мақсад ва вазифаҳои пажӯҳиш, нағзониҳои илмии онҳо, аҳамияти амалии онҳо муайян карда шудаанд, маълумот дар бораи озмоиш ва ҷорӣ кардани натиҷаҳои пажӯҳиши илмӣ оварда шудааст.

Боби якум. Тамоюлҳои муосир дар доираи анъанаи рушди муҳарриқҳои дарунсӯз (МДС) тақмил додани усулҳои тезонидан ва баланд бардоштани суръати гардиши навард, истифодаи дастовардҳои муосир дар соҳаи электроника дар системаи назорат ва идоракунии мебошанд, ки дар маҷмӯъ ба афзоиши иқтидори онҳо имкон медиҳанд. Аз тарафи дигар, чунин беҳинасозии муҳарриқ табиатан сарбории гармӣ ва механикиро ҳам ба қисмҳои поршен ва ҳам ба қисмҳои гурӯҳи силиндрӣ, унсурҳои тақсимои газ, ба дигар дастгоҳҳо ва механизмҳои муҳарриқ зиёд мекунад. Дар робита ба ин, шартҳои муҳимтарини истифодаи боэътимоди МДС иҷрои ҳатмии талаботҳои мебошад, ки ба параметрҳо ва речаҳои фаъолияти системаи даргиронӣ, системаи рағандиҳӣ, системаи идоракунии худкор, инчунин системаи хунуккунии муҳарриқ пешниҳод карда мешаванд. Системаи танзим ва идоракунии автоматӣ имкон медиҳад, ки параметрҳои зарурии система ҳангоми истифодаи муҳарриқи автомобил таъмин карда шаванд. Сатҳи имрӯзаи пешрафти илм ва технология имкон медиҳад, ки танзимгарони автоматии электронӣ барои назорат ва танзими параметрҳои асосии объект истифода шаванд. Одатан, ин дастгоҳҳо дар дастгоҳҳои интиқоли сӯзишвории моеъ дар МДС-и муосир истифода мешаванд, ки идоракунии речаҳои воядиҳии сӯзишворӣ, андозаи кунҷи тақсимои газ ва инчунин шароити тақсимои газро барои риояи марҳилаҳои мубодилаи газ таъмин мекунанд. Яке аз самтҳои ояндадори рушди МДС тақмили системаҳои танзим ва назорат аз ҳисоби истифодаи васеи микропротсессорҳои муосир мебошад.

Гурӯҳи калони ихтироъкорон ва муҳаққиқон тарҳҳои гуногуни унсурҳои иловагиро истифода мебаранд, ки ба схемаҳои мавҷудаи системаи хунуккунии мутобиқ мешаванд.

Ба таҳқиқоти баланд бардоштани самаранокии кори системаи хунуккунии дизелҳои корҳои Саибов А.А., Саидов Ш.В., Назаров В. А., Қодиров С. М., Камолов Т. М., Умирзаков А. М., Эфрос В. В., Кулчатский Р. И., Лейтсъянский Л. Г., Панов Н. И., Туров Л. И., Луков Н. М., Косов Е. Е., Мартишевский М. И., Носова А. Н., Третьякова А. П., Риждова В. А., Салахова Р. Р., Ливентсева Ф. Л., Склифус Я. К. ва ғайраҳо бахшида шудаанд.

Таҳқиқоти мо ба тақмил додани системаҳои автоматии назорат ва танзими ҳолати гармии МДС ва идоракунии параметрҳои системаи хунуккунии муҳарриқ ҳангоми зиёд кардани сарбории термомеханикӣ дар шароити мураккаби кӯҳӣ ниғаронида шудааст.

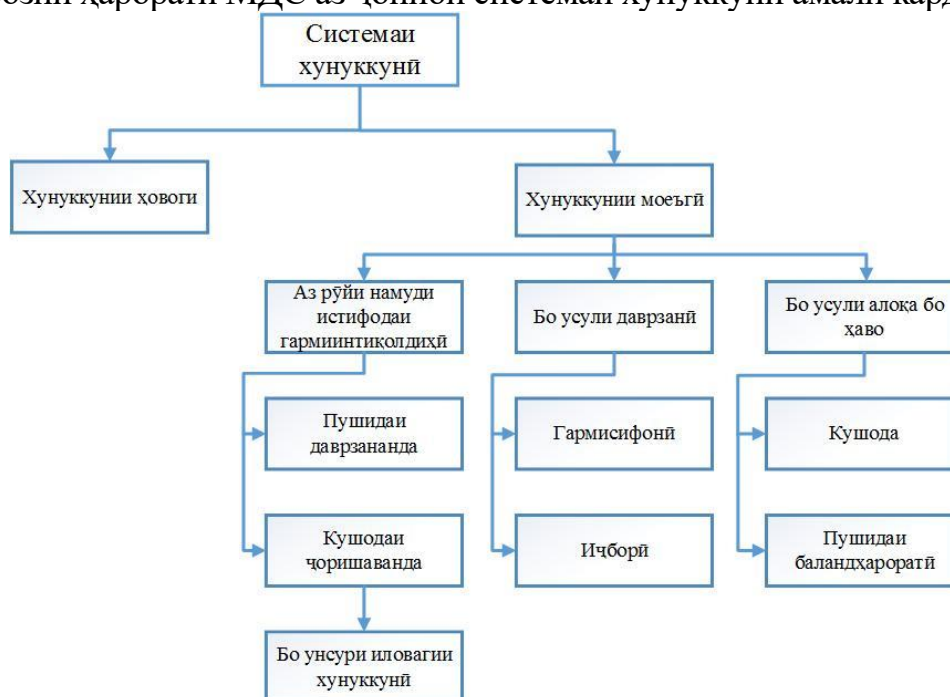
Вазифаи системаи хунуккунии муҳарриқ нигоҳ доштани ҳолати оптималӣ ва устувори ҳарорати гиреҳҳо ва қисмҳои он мебошад. Ҳарорати беҳтарин он аст, ки дар он қисмҳои муҳарриқ қувваи худро нигоҳ медоранд, қобилияти баланди рағанҳои

моторӣ нигоҳ дошта мешаванд. Ҳарорати оптималии муҳаррикҳоро тавассути такмил додани усулҳои танзим ва татбиқи системаҳои назорат ва идоракунӣ, ки тавассути онҳо ин усулҳо амалӣ карда мешаванд, ба даст овардан мумкин аст.

Ворид кардани унсурҳои иловагӣ, одатан, зарурати ислоҳи фаъолияти системаи хунуккуниро дар речаҳои муайяни истифодаи муҳаррик ба бор меорад.

Дар расми 1 таснифи соддашудаи системаҳои хунуккунии МДС, ки ҳоло қабул шудааст, оварда шудааст.

Маълум аст, ки кори самараноки муҳаррики дарунсӯз нигоҳдории устувори режими ҳарорати онро талаб мекунад, ин имкон медиҳад, ки сӯзишворӣ сарфакорона сарф карда шавад, ҳолатҳои коҳиши қувваи барқро баргараф кунад ва инчунин мӯҳлати истифодаи қисмҳои қисми силиндрӣ муҳаррикро зиёд кунад. Асосан истиқрорсозии ҳарорати МДС аз ҷониби системаи хунуккунӣ амалӣ карда мешавад.



Расми 1 – Таснифи системаҳои хунуккунии МДС - и дизелӣ

Боби дуюм. Усулҳои таҳқиқи речаҳои ҳароратии МДС - и дизелӣ ва таҳияи модели математикии равандҳои гармимубодила ва массамубодила дар он, вазифаи хеле мураккаб аст. Сабаб он аст, ки гармиғунҷоиши элементҳое, ки дар МДС - и дизелӣ гарм мешаванд, гуногунанд. Вазифаи боз ҳам мураккабтар, ин моделсозии кори система бо унсури насбшуда мебошад, дар ҳолати мо ин сохтори хунуккунии иловагии радиатор аст. Вазифа аз ҷиҳати он иборат аст, ки чӣ гуна система бо хориҷ кардани миқдори иловагии энергияи гармӣ аз системаи хунуккунӣ амал мекунад.

Моделҳои МДС, ки дар шакли муодилаҳои дифференсиалӣ пешниҳод шудаанд, бо назардошти равандҳои термодинамикӣ ва кинематикӣ ва системаҳои омехтагарӣ, инчунин сӯзонгари барқӣ хеле мураккаб мебошанд ва маълумоти зиёди ибтидоиро талаб мекунад ва ҳалли онҳо бо як қатор раванди ҳисоббарории мураккаб алоқаманди доранд. Аз ин рӯ, таҳияи усулҳои оддӣ мукамал барои

баҳодиҳии пешакии ҳолати МДС дар вақти воқеӣ, таваҷҷӯҳи муайянеро талаб мекунад, масалан, таҳҳис дар асоси хусусияти суръатафзоиши МДС.

Шабҳаҳаҳирии хусусияти таҳрибаҳири суръатафзоӣ бо моделҳои ҳаҳтӣ имкон медиҳад, ки идентификаҳирии очилии параметрҳои динамикиро, ба монанди доимии ваҳт ва коэффитсиенти ҳассосияти хусусияти суръатафзоиши МДС дар асоси онҳо ҳолати умумии МДС-и мошинро бо роҳи муқоисаи ин параметрҳо бо арзишҳои меъёрии онҳо муайян кардан мумкин аст.

Ҳангоми гузаронидани идентификаҳирии параметрҳои дар боло зикршудаи МДС ҳаҳмчун таъсири доҳилшаванда ҳаҳми сӯзишвории дизелии ба силиндри МДС додашаванда, ки дар наҳбати худ бо мавқеи фишанги идоракунии интиқоли сӯзишворӣ алоқаманд аст, баррасӣ карда мешавад. Ҳаҳмчун сигнали баромад массиви маълумот истифода мешавад, ки хусусияти суръатафзоиши муҳаррик аз таҳометр гирифта мешавад, ки он дар МДС наҳбшудааст, нишон медиҳад.

Барои речаи суръатафзоиши кори МДС модели математикии ҳаҳтӣ қабул карда шудааст, ки дар расми 2 оварда шудааст, дар он операторҳои зерини модели умумии МДС қабул карда шудаанд: Оператори занҷири асосии интиқоли сигнал.

$$W(S) = \frac{K_d}{T_d S + 1} \quad (1)$$

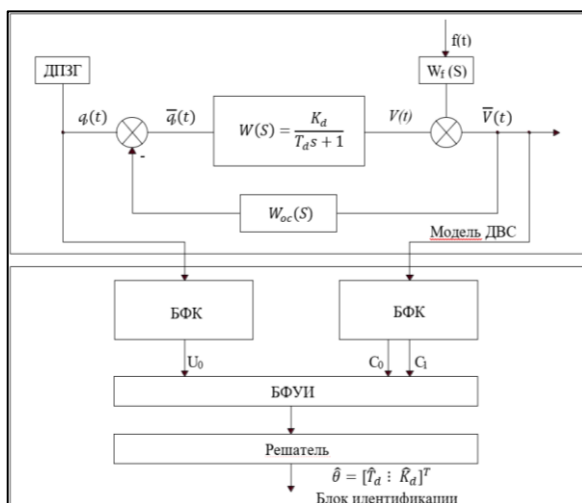
Оператори алоқаи акс $W_{oc}(S) = K_{oc}$ ва оператори таъсири ҳалалдоркунанда $W_f(S) = K_f$. Бо назардошти модели пешниҳодшуда, мо муодилаи динамикаи суръатбаҳиши МДС-ро дар шакли идоракунии дифференсиалии зерин менависем:

$$T_d^* \frac{d\bar{v}(t)}{dt} + \bar{v}(t) = K_d^* q^*(t) \quad (2)$$

дар инҷо $\bar{v}(t)$ – сигнали баромади назоратшаванда, ки аз таҳометр гирифта мешавад. Параметрҳои ба муодилаи (2) доҳилшуда бо таносубҳои зерин муайян карда мешаванд:

$$T_d^* = \frac{T_I}{1 + K_I K_{oc}}; \quad K_d^* = \frac{K_I}{1 + K_I K_{oc}} \quad (3)$$

$q^*(t)$ – функцияе, ки тағйироти мавқеи милаи газро нисбат ба ҳомӯшӣ муайян мекунад.



ДПЗГ - сенсори мавқеи милаи газ, БФК - блоки таҳаққули коэффитсиентҳо, БФУИ - блоки таҳаққули муодилаи муайянкунӣ, Ҳалкунанда - асбоби ҳалли системаи муодилаҳои алгебраӣ.

Расми 2 - Блок-шакли сохтори системаи муайянкунии параметрҳои хусусияти суръатафзории МДС

Бо истифода аз усули модулятсияи интегралӣ, ки дар кафедраи мо таҳия ва васеъ истифода мешавад, нисбат ба муодилаҳои дифференсиалӣ муодилаи зеринро ба даст меорем:

$$T_d^* \int_{\tau=t-T}^{\tau=t} \varphi(t, \tau) \bar{v}'(\tau) d\tau + \int_{\tau=t-T}^{\tau=t} \varphi(t, \tau) \bar{v}(\tau) d\tau = K_d^* \int_{\tau=t-T}^{\tau=t} \varphi(t, \tau) q(\tau) d\tau \quad (4)$$

дар инҷо $\varphi(t, \tau)$ - ядрои оператори модулятсияи интегралӣ

Ишораҳои зеринро қабул карда:

$$C_1(t) = \int_{\tau=t-T}^{\tau=t} \varphi'(t, \tau) \bar{v}(\tau) d\tau; C_0(t) = \int_{\tau=t-T}^{\tau=t} \varphi(t, \tau) \bar{v}(\tau) d\tau; U_0(t) = \int_{\tau=t-T}^{\tau=t} q(\tau) \varphi(t, \tau) d\tau \quad (5)$$

муодиларо дар шакли зерин ба даст меоварем:

$$T_d^* C_1(t) + C_0(t) = K_d^* U_0(t) \quad (6)$$

дар инҷо $\{T_d^*, K_d^*\}$ - параметрҳои хусусияти суръатафзории МДС, ки бояд муайян карда шаванд. Ҳисоб кардани арзишҳои дискретии коэффитсиентҳо, $C_1(t_i)$, $C_0(t_i)$ и $U_0(t_i)$ дар сурати истифодаи усули росткунҷаҳо, онро бо ёрии таносуби зерин муаррифӣ кардан мумкин аст:

$$C_1^*(k) = \frac{\Delta T_u}{T_u} \sum_{K=0}^{n-1} \bar{v}(k) \left[\frac{\Delta T_D}{2T_D} (\varphi(k) - \varphi(k-1)) \right] \quad (7)$$

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

Дар ин ҳолат муодилаи идентификатсияро дар шакли векторӣ – матритсавӣ навиштан мумкин аст:

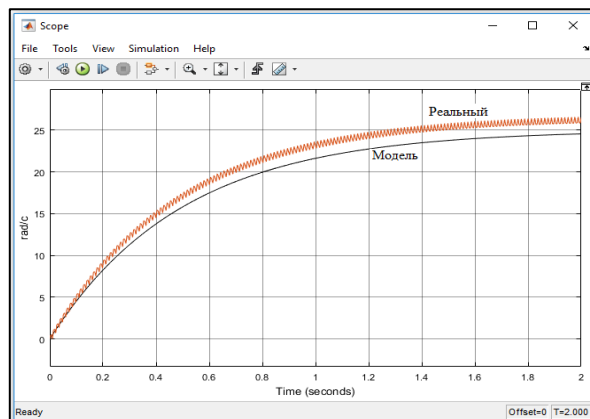
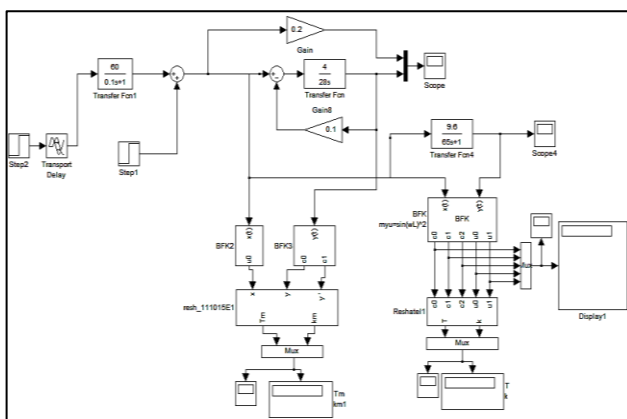
$$[C_1^*(k) : U_1^*(k)] \left[\frac{T_d^*}{K_d^*} \right] = C_0^* \text{ или } \Omega(k) \theta = C_0^*$$

дар инҷо $\Omega(k) = [C_1^*(k) : U_0^*(k)]$ - матритсаи мушоҳида, $\hat{\theta} = [\hat{T}_d^* : \hat{K}_d^*]^T$ - вектори параметрҳои номуайяни объект.

Бо истифодаи усули квадратҳои хурдтарин дар муодила, метавон вектори параметрҳои номаълуми хусусияти суръатафзории МДС-ро дар асоси таносуби зерин арзёбӣ кард $\hat{\theta} = (\Omega^T(k) \Omega(k))^{-1} (\Omega^T(k) C_0(k))$.

Арзёбии қобилияти кории системаи баррасишавандаи идентификатсияи параметрҳои динамикаи МДС дар асоси намунае, ки хусусияти суръатбахширо бо ёрии модели хаттӣ бо истифода аз бастаи моделии Matlab/Simulink, расми 3 наздик мекунад, амалӣ карда шуд. Озмоиш нишон дод, ки ин равиш имкон медиҳад, ки параметрҳои асосии хусусияти суръатафзории МДС бо дақиқии кофӣ муайян карда шаванд.

Аз ҷумла, дар озмоиши гузаронидашуда, хатои арзёбии параметрҳои динамикии модел нисбат ба параметрҳои ибтидоӣ дар доираи 5-7% расми 4-ро ташкил дод.



Системаи коркардшудаи муайянкунии параметрҳои хусусияти суръатафзоӣ метавонад ҳамчун арзёбии пешакии сифати кори муҳаррик ва инчунин дар варианти бортӣ барои таҳлили ҷорӣ кори МДС истифода шавад.

Моделҳои математикии муҳаррик, ки аз адабиёт маълуманд, дорои номуайянии параметрӣ ва сохторӣ мебошанд ва на ҳамеша равандҳои дар муҳаррик рухдодаро ба таври кофӣ нишон медиҳанд. Муҳаррики дизелии дарунсӯз ҳамчун объекти идоракунӣ системаи стохастикӣ ғайрихатии ғайристатсионарӣ мебошад.

Маҷмӯи номушаххас ва ноаниқи $\tilde{A}$ – ро метавон ҳамчун маҷмӯи ҷуфтҳои ботартиби $(x, \mu_{\tilde{A}}(x))$, пешниҳод кард, ки дар инҷо $x \in X$ ин унсури як маҷмӯи универсалии X аст, ва $\mu_{\tilde{A}}(x)$ – функсияи мансубият, яъне дараҷаи мувофиқат, ба ҳар x арзиши интервали $[0,1]$ дода мешавад, аз ин рӯ ин функсия инъикоскунандаи намуди зерин аст:

$$\mu_{\tilde{A}}: X \rightarrow [0,1] \quad (8)$$

Агар $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ аст, ин маънои онро дорад, ки унсур x ба маҷмӯи $\tilde{A}$ ба таври возеҳ тааллуқ дорад, агар $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0$ ин маънои онро дорад, ки унсур x дақиқан ба маҷмӯи $\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x))\}$ тааллуқ надорад.

Ҳомили маҷмӯи ноаники $\tilde{A}$ маҷмӯи оддии A_s , номида мешавад, ки он ва танҳо он унсурҳои универсумро дар бар мегирад, ки барои онҳо арзишҳои функсияи мансубияти маҷмӯи ноаники мувофиқ аз сифр фарқ мекунанд.

$$A_s = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) > 0\}, \quad \forall x \in X \quad (9)$$

Ташхиси техникии корношоямӣ ҳалли ду масъаларо пешбинӣ мекунад: ҳалли муодилаҳои ноаниқ ва нобаробарӣ ва роҳи ба даст овардани ҳулосаҳо бо истифода аз қоидаҳо.

Мо системаи муносибатҳои ноаниқро месозем, ки вазъияти ҷустуҷӯи камбудихоро дар системаи хунуккунии муҳаррик ба таври содда тасвир мекунанд. Ҳамчун сабабҳои вайроншавӣ, мо маҷмӯи $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$, - ро пешниҳод мекунем.

Дар системаҳое, ки қоидаҳои ноаниқӣ маҳсулноқ доранд, натиҷаҳо ҳулосаҳои ноаниқ мебошанд. Мо марҳилаҳои асосии ташаккули ҳулосаи

ноаниқро номбар мекунем:

- Таъсиси базаи қоидаҳои ҳулосаи ноаниқ, ки дар он ҳам шароит ва ҳам амалҳо бо тағйирёбандаҳои ноаниқ лингвистӣ ифода карда мешаванд.
- Тартиби фаззификатсияи тағйирёбандаҳои дақиқи дохилшаванда, ба ноаниқ. Пешниҳоди арзишҳо дар изҳороти ноаниқ.
- Тартиби чамъбасти зершартҳо дар қоидаҳои ноаниқ маҳсулноқ. Дарачаи ҳақиқати шартҳоро аз рӯи ҳар як шарт таркибӣ дар қоидаи ноаниқ муайян мекунад.
- Фаъолсозӣ яъне, тартиби муайян кардани ҳақиқати ҳар як қоидаи ноаниқ, ки зерхулосаро ташкил медиҳад. Арзишҳои тағйирёбандаи баромадии лингвистикӣ W_i , ки ба зерхулоса дохил мешаванд, бо ҳалли муодилаи зер муайян карда мешаванд

$$C_i = \mu(w_i) (\forall i \in \{1, 2, \dots, q\}),$$

дар инҷо q – шумораи маҳдуди зерхулосаҳо дар асоси қоидаҳои маҳсулноқӣ.

- Чамъкунӣ - тартиби муайян кардани функсияи мансубият барои маҷмӯи тағйирёбандаҳои лингвистикӣ хориҷшаванда.
- дефаззификатсияи тағйирёбандаҳои хориҷшаванда, ҳамчун роҳи ёфтани арзиши оддӣ (ғайри ноаниқ) барои ҳар як маҷмӯаҳои дохилшаванда ва хориҷшавандаи лингвистикӣ $W = \{w_1, w_2, \dots, w_k\}$, дар ин ҷо формулаи зерин истифода мешавад:

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n c_i w_i}{\sum_{i=1}^n c_i} \quad (10)$$

дар инҷо n – шумораи умумии қоидаҳои маҳсулноқии ноаниқ дар зерхулосаҳое, ки дар онҳо тағйирёбандаҳои хориҷшавандаи лингвистӣ w_i мавҷуд аст.

Хусусияти доираи ҳалшавандаи вазифаҳо, ки бо ташхиси корношоямиҳо дар системаи назорат ва идоракунии ҳарорати моеъи хунуккунанда алоқаманд аст, ошкор кардани вобастагӣҳо ё муносибатҳои мавҷуда мебошад, ки тағйирёбандаҳои дохилшаванда ва хориҷшавандаро дар ин система пайваст мекунанд. Муайян кардани ин қонуниятҳо дар шакли назариявӣ-маҷмӯӣ ё ошкоро таҳлилӣ на ҳамеша имконпазир аст, бо сабабҳои гуногуни норасоии иттилоот ё мураккабии баҳисобгирии омили мушаххасе, ки ба ин муносибат таъсир мерасонад ва ғайра. Дар сурати номуайянии мавҷуда, ҳалли конструктивии масъаларо бо истифода аз дастгоҳи махсуси математикӣ, ки шабакаҳои сунӣи нейронӣ номида мешавад, ба даст овардан мумкин аст. Алгоритми усул дар раванди омӯзиши шабакаи нейронӣ танзим кардани онро дар асоси маълумоти мавҷуда ва дастрас пешниҳод мекунад.

Моделҳои математикии нейрон, ки ҳоло қабул шудааст, қоидаҳои пешниҳоди сигналҳоро муайян мекунад, ки дар шакли зерин тасвир карда мешавад:

$$S = \sum_{i=1}^n W_i x_i + b; \quad (11)$$

$$Y = f(S), \quad (12)$$

дар инҷо W_i – вазни синапс ($i \in \{1, 2, \dots, n\}$);

b – арзиши ҷойивазкунӣ, S – натиҷаи чамъкунӣ, x_i – ҷузъи вектори дохилшаванда ё сигнали дохилшаванда ($i \in \{1, 2, \dots, n\}$), Y – сигнали хориҷшавандаи нейрон, n –

шумораи дохилшавандаи нейрон, f - функсияи фаъолсозии (функсияи интиқол) нейрон, онро аксар вақт функсияи интиқоли нейрони алоҳида меноманд, ки дар шакли баъзе тағйирёбии ғайрихатӣ ифода меёбад.

Барои қабати муайяни шабака метавон инҳоро ба таври умумӣ навишт:

$$W_i, x_i, b \in R, (i \in \{1, 2, \dots, n\}), x_i = a_i^{(1)}, i \in 1, 2, \dots, n. \quad (13)$$

Дар ин ҷо мо мебинем, ки натиҷаи аввали фаъолшавии $a_i^{(1)}$ ба худӣ бузургҳои дохилшаванда баробар аст. Калимаи фаъолсозӣ маънои i – и нейронро дорад, ки дар натиҷаи истифодаи функсияи фаъолсозӣ ба даст оварда шудааст. Арзишҳои ниҳони нейрони z_1 дар қабатҳои пинҳонӣ ҳамчун ҷамъи сигналҳои дохилшавандаи барқашидашуда дар қабати l ва a^l фаъолшавӣ дар қабати L мебошанд. Масалан, барои қабати дуҷуми $l = 2$ муодила чунин хоҳад буд:

$$\begin{aligned} z^{(2)} &= W^{(1)}x + b^{(2)} \\ a^{(2)} &= f(z^{(2)}), \end{aligned} \quad (14)$$

$W^{(1)}$ ва $W^{(2)}$ – мутаносибан вазнҳо дар қабати якум ва дуҷум, ва $b^{(2)}$ – арзиши ҷойивазкунӣ дар қабати дуҷум. Бо ёрии функсияи f фаъолшавии $a^{(2)}$. ҳисоб карда мешавад. Он метавонад бо сигмоид, ReLU ё тангенс гиперболикӣ пешниҳод карда шавад ва ба шабака имкон медиҳад, ки намунаҳои мураккабро дар маълумоти пешниҳодшуда ба назар гирад. Биёед параметрҳои онро дар шакли матритса барои 2 қабат пешниҳод кунем. Ин амалиётро асосан барои ҳар як қабати шабакаи нейрон истифода бурдан мумкин аст. Матритсаи коэффитсиентҳои вазни $W^{(1)}$ андозагирӣ (n, m) , дар ин ҷо n шумораи нейронҳо дар баромади қабати ҷорӣ аст, яъне ин шумораи нейронҳо дар қабати навбатии шабака аст ва m шумораи нейронҳо дар даромади қабат, яъне шумораи нейронҳо дар қабати қаблӣ шабака. Барои мисол $n = 2$ ва $m = 4$ мегирем пас

$$W^{(1)} = \begin{bmatrix} W_{11}^{(1)} & W_{12}^{(1)} & W_{13}^{(1)} & W_{14}^{(1)} \\ W_{21}^{(1)} & W_{22}^{(1)} & W_{23}^{(1)} & W_{24}^{(1)} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Тавре ки аз ифодаи 15 дида мешавад, индекси аввали поёнии ҳар як унсури матритсаи $W^{(1)}$ ба рақами нейрон дар қабати навбатӣ мувофиқат мекунад, яъне ин нейрон дар қабати пинҳонӣ аст, ва индекси дуҷуми поёни ба рақами нейрон дар қабати қаблӣ мувофиқат мекунад яъне ин қабати даромад аст. Вектори x – ро ҳамчун вектори даромади андозаи m мегирем, ки дар он m шумораи нейронҳо дар даромади шабака аст. Тавре ки қаблан гуфта шуд $m = 4$.

$$x = [x_1 x_2 x_3 x_4]^T \quad (16)$$

b^1 – вектори ҷойивазкунии андозаи n , ки дар он n шумораи ҳамаи нейронҳо дар қабати ҷорӣ аст, яъне $n = 2$.

$$b^{(1)} = [b_1^{(1)} b_{21}^{(1)}]^T \quad (17)$$

Бо истифода аз муодилаи $z^{(2)}$ мо метавонем таърифи дар боло овардашудаи $W^{(1)}$, x ва $b^{(1)}$ - ро барои гирифтани муодилаи $z^{(2)}$ истифода барем:

$$z^{(2)} = \begin{bmatrix} W_{11}^{(1)} x_1 + W_{12}^{(1)} x_2 + W_{13}^{(1)} x_3 + W_{14}^{(1)} x_4 \\ W_{21}^{(1)} x_1 + W_{22}^{(1)} x_2 + W_{23}^{(1)} x_3 + W_{24}^{(1)} x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1^{(1)} \\ b_2^{(1)} \end{bmatrix} \quad (18)$$

Дар муодилаи 14 барои гирифтани $z^{(2)}$ мо метавонем дар шакли матритса ошкор кунем:

$$S = W^{(2)}a^{(2)} \quad (19)$$

Дар хулосаи ҳаракати мустақим дар шабакаи нейронӣ дастовардҳои зеринро қайд мекунем:

- $x = a^{(1)}$ - фаълсозӣ дар қабати даромадӣ;
- $z^{(2)} = W^{(1)}x + b^{(1)}$ - арзиши нейрон дар қабати якуми пинҳон;
- $a^{(2)} = f(z^{(2)})$ - арзиши функсияи фаълсозӣ дар қабати якуми пинҳон;
- $S = W^{(2)}a^{(2)}$ - арзиши фаълсозӣ дар қабати якуми пинҳон.

Натиҷаи бадастомада ҳангоми гузариши мустақими шабака баҳодиҳии арзиши пешбинишудаи s - и арзиши мувофиқи баромади пешбинишудаи u хоҳад буд. Бояд қайд кард, ки арзишҳои u қисми маҷмӯи маълумоти омӯхташудаи шабака мебошанд (x, y) , дар ин ҷо x маълумоти дохилшаванда мебошад. Хатои ҳисоби миёнаквадратӣ, энтропияи салибӣ ё ягон функсияи дигари талафотро чунин ифода менамоем

$$C = cost(s, y) \quad (20)$$

Бо таҳлили арзишҳои C , шабака "медонад", ки чӣ гуна вазнҳоро барои наздик шудан ба баромади маълум ё интизоршудаи u танзим кардан лозим аст. Ин одатан бо усули паҳншавии баръакси хато амалӣ карда мешавад.

Усули паҳншавии баръакси хато кам кардани функсияи талафотро бо ёрии ислоҳи вазнҳои W ва ҷойивазкунии b -и нейронҳои шабакаро дар бар мегирад. Андозаи тасҳеҳ бо истифода аз градиенти функсияи талафот нисбат ба ин вазнҳо ҳисоб карда мешавад.

$$\frac{\partial C}{\partial x} = \left[\frac{\partial C}{\partial x_1}, \frac{\partial C}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial C}{\partial x_m} \right] \quad (21)$$

Ҳассосият ба тағйирёбии арзиши баромад нисбат ба тағйирёбии аргументи x яъне арзиши даромад бо функсияи ҳосилаи C муайян карда мешавад. Метавон гуфт, ки ҳосила нишон медиҳад, ки C ба кадом самт ҳаракат мекунад. Градиентро танҳо барои вазни (W_{jk}) ҳисоб мекунем:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial W_{jk}^l} &= \frac{\partial C}{\partial z_j^l \partial W_{jk}^l} && \text{(қоидаи ҳисобкунии градиент);} \\ z_j^l &= \sum_{k=1}^m W_{jk}^l a_k^{l-1} + b_j^l && (m - \text{шумораи нейронҳо дар қабати } (l-1)); \\ \frac{\partial z_j^l}{\partial W_{jk}^l} &= a_k^{l-1} && \text{(ҳисобкунии ҳосила);} \\ \frac{\partial C}{\partial W_{jk}^l} &= \frac{\partial C}{\partial z_j^l} a_k^{l-1} && \text{(ифодаи ниҳой).} \end{aligned}$$

Ҳамин тавр, бо истифода аз ин муодилаҳо ва (b_j^l) ҳисоб кардан мумкин аст.

Градиенти маҳаллӣ чунин ҳисоб карда мешавад:

$$\delta_j^l = \frac{\partial C}{\partial z_j^l} \quad (22)$$

Танзими зерин то расидан ба ҳадди ақали меъёри муқарраршуда иҷро карда мешаванд. Тартиби пайдо кардани вазнҳои оптималии w ва ҷойивазкунии

b бо усули поёнравии зудтарин ё градиентӣ амалӣ карда мешавад. Арзишҳои ибтидоии w ва b ба таври тасодуфӣ интихоб карда мешаванд.

$$W = W - \theta \frac{\partial C}{\partial W} \quad (23)$$

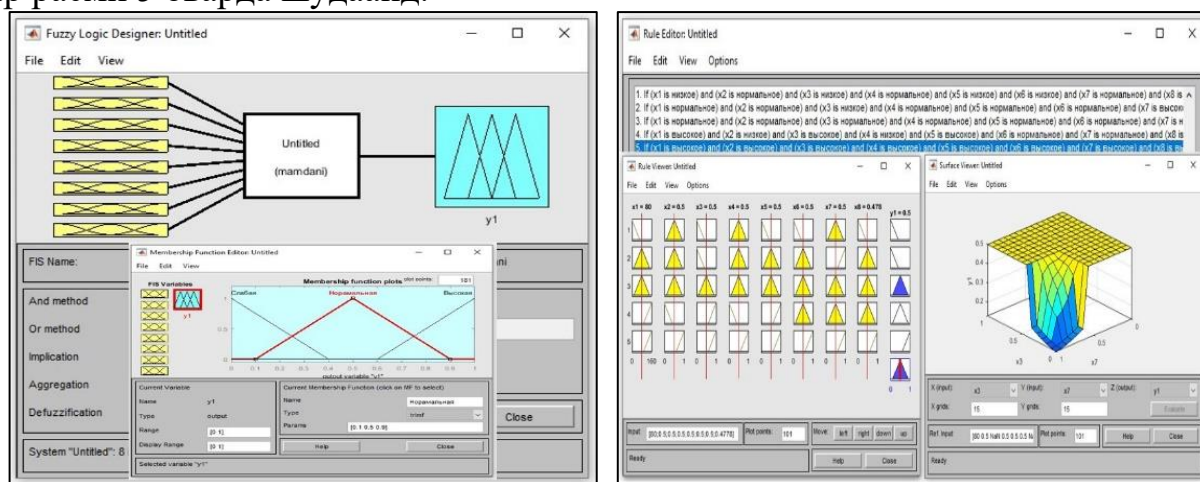
$$b = b - \theta \frac{\partial C}{\partial b} \quad (24)$$

дар инҷо θ – параметри муайянкунандаи суръати омӯзиш яъне дараҷаи таъсири градиент; w , b -вазн ва ҷойивазкунии дар шакли матритсаҳо пешниҳодшуда. Тавре ки аз формулаи муайянкунанда дида мешавад, ҳосилаи C аз r_{ui} асоси w ва b бо истифодаи ҳосилаҳои хусусии C дар асоси арзишҳои вазнҳо ё тағйирёбии алоҳида ҳисоб карда мешавад.

Ҷадвали 1 – Арзишҳои параметрҳои лингвистикӣ

Номҳои параметрҳо	Тағйирёбандаҳои лингвистикӣ		
	паст	муътадил	баланд
Тағйирёбандаҳои дохилшаванда			
Фишори баландтарин дар цилиндр x_1 , бар	130...141,5	141,5...148,5	148,5...160
Ҳарорати газҳои хоричшаванда x_2 , °C	270...285	285...315	315...330
Фишори моеъи хунуккунанда x_3 , бар	0,3...1,1	0.8...2.1	1.8...5.2
Ҳарорати моеъи хунуккунанда x_4 , °C	0.7...1	1.8...4.7	4.9...7.8
Ҳароҷоти сӯзишворӣ x_5 , кг/с	10.1...10.4	10.5...11	11.1...11.5
Ҳолати вентилятор x_6	0	1	
Ҳолати насоси гардишдиҳанда x_7	0	1	
Ҳарорати муҳити атроф x_8 , °C	-15...15	15...30	15.1...45
Тағйирёбандаҳои хоричшаванда			
Иқтидори тақвиятдодаи ДМДС y	Суст	Меъёрӣ	Баланд

Моделҳои ноаниқии системаи сӯзишвории МДС бо истифода аз MATLAB/Simulink таҳия шудааст. Дар ин модел, тағйирёбандаҳои дохилшаванда аз MATLAB ба муҳити корӣ фиристода шуданд. Фаззификатсия мувофиқи параметрҳои, ки ба кори системаи сӯзишворӣ (ҷадвали 1) ва намуди функсияи мансубият таъсир мерасонанд, гузаронида шуд. Натиҷаҳои моделсозӣ дар расми 5 оварда шудаанд.



Расми 5 – Натиҷаҳои моделсозии ДМДС дар бастаи Fuzzy Logic Toolbox - и системаи MATLAB

Дар **боби сеюми** рисолаи илмӣ таҳияи системаи идоракунии раванди хунуккунии МДС - и дизелӣ дар асоси мантиқи ноаниқ ва модели шабакаи нейронӣ пешниҳод карда шудааст.

Равиши системавӣ ба хунуккунии муҳаррик пешниҳод карда шудааст ва модели нави боэътимоди идоракунии дар асоси истифодаи интихоби иловагии гармӣ аз системаи хунуккунии ҳангоми назорати параметрҳои муҳити зист, ҳолати чузъҳои системаи хунуккунии ва қобилияти пешгӯии речаи интиқоли гармӣ пешниҳод карда мешавад.

Ин маълумот ба модел аз объект ворид мешавад ва ҳарорати хунуккунии метавонад аз маълумоти таҷрибавӣ гирифта шавад ё дар асоси модели радиатор ҳисоб карда шавад. Контроллер ислоҳи истеъмоли моеъи хунуккуниро ҳисоб мекунад ва шиддати мувофиқи U_M -ро барои кушодани клапани унсури иловагии хунуккунии барои иҷрои шарти идоракунии режими ҳарорат таъмин мекунад. Алгоритми идоракунии мо ба усули пешгӯии зехнӣ дар асоси ҳолати унсурҳои системаи хунуккунии асос ёфтааст, аз ин рӯ истифодаи модели муҳаррик ва системаи хунуккуниро талаб мекунад.

Схемаи системаи релей дар шакли операторӣ-сохторӣ аз унсури релеи (УР) думавқеӣ иборат аст. Хусусияти статикӣ унсури релеи думавқеӣ бо гистерезис ва қисми ҳаттӣ (ҚХ) дар расми 6 оварда шудааст:

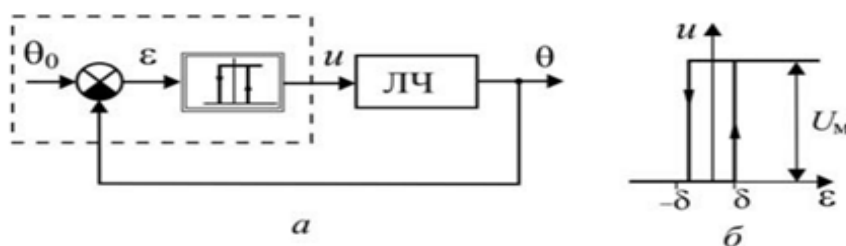
- ба даромади УР бузургии дода мешавад, ки аз инҳирофи $\varepsilon = \theta_0 - \theta$ иборат аст.
- тағйирёбандаи дохилшаванда бо бузургии танзимшавандаи Θ ҳамчун ҳарорати моеъи хунуккунии пешниҳод карда шудааст.

Агар ба даромади унсури релей бузургии инҳирофи ε дода шавад, хусусияти унсури релей дар статика бо ифодаи зер тавсиф карда мешавад.

$$U = \begin{cases} U_M & \text{если } (\varepsilon > \delta \text{ и } \dot{\varepsilon} > 0) \text{ или } (\varepsilon > -\delta \text{ и } \dot{\varepsilon} < 0); \\ 0 & \text{если } (\varepsilon < \delta \text{ и } \dot{\varepsilon} > 0) \text{ или } (\varepsilon < -\delta \text{ и } \dot{\varepsilon} < 0), \end{cases} \quad (25)$$

Барои танзимгари релеи параметрҳои танзимот бузургии δ , ки паҳнои ҳалқаи гистерезисро муайян мекунад ва арзиши максималии U_M дар рафти УР мебошанд. Системаи хунуккунии, ҳамчун объекти танзимкунии, метавонад бо системаи муодилаҳои дифференсиалии тартиби аввал бо доимии вақти гуногун дар фосилаҳои гармидиҳӣ ва хунуккунии тасвир карда шавад:

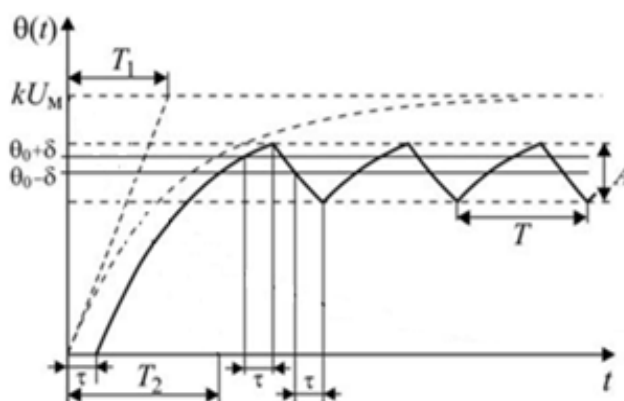
$$\begin{aligned} T_1 \frac{d\theta(t)}{dt} + \theta(t) &= k_0 U_M, \\ T_2 \frac{d\theta(t)}{dt} + \theta(t) &= 0. \end{aligned} \quad (26)$$



а - схемаи сохтории система; б - хусусиятҳои статикӣ унсури релеи.

Расми 6 – Системаи танзими автоматӣ бо унсури релеи

Графикаи тағйирёбии ҳарорат ҳангоми танзими релеӣ бо назардошти таъхири тоза ва дар расми 7 нишон дода шудааст.



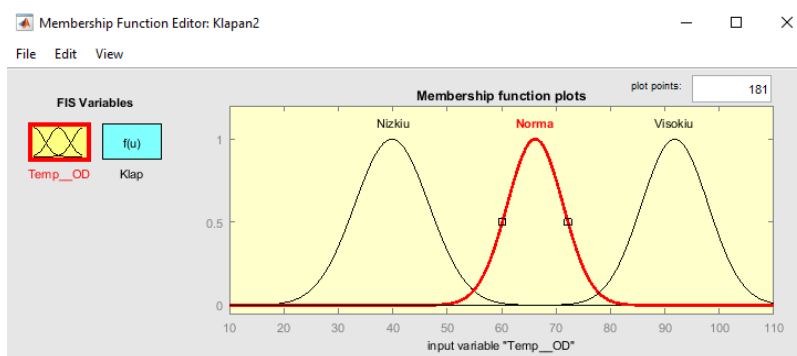
Расми 7 – Танзими релеии ҳарорати хунуккунанда

Унсури хунуккунӣ, ки ба системаи хунуккунӣ пайваست шудааст, бо ёрии реле идора карда мешавад, ки ба он шиддати баробар ба U_M дода мешавад. Тағйирёбии ҳарорат аз лаҳзаи $t = \tau$, $T_2 = T_1 + \tau$ оғоз меёбад, зеро объект идоракунӣ таъхир дорад. Вақте ки ҳарорати моеъи хунуккунӣ ба арзиши $\Theta = \Theta_0 + \delta$ мерасад, унсури иловагии хунуккунӣ ба U_M пайваст карда мешавад. Инерсияи гармии объект вуҷуд дорад, ки сабаби афзоиши ҳарорат дар тӯли вақти τ мебошад ва сипас ба пастшавӣ оғоз мекунад.

Барои баланд бардоштани сифат ва самаранокии идоракунӣ речаи ҳарорат дар системаи хунуккунӣ МДС, мо истифодаи дастгоҳи идоракунӣ ноаниқро пешниҳод кардем, ки таъсири параметрҳои беназоратро ба объект ба назар мегирад.

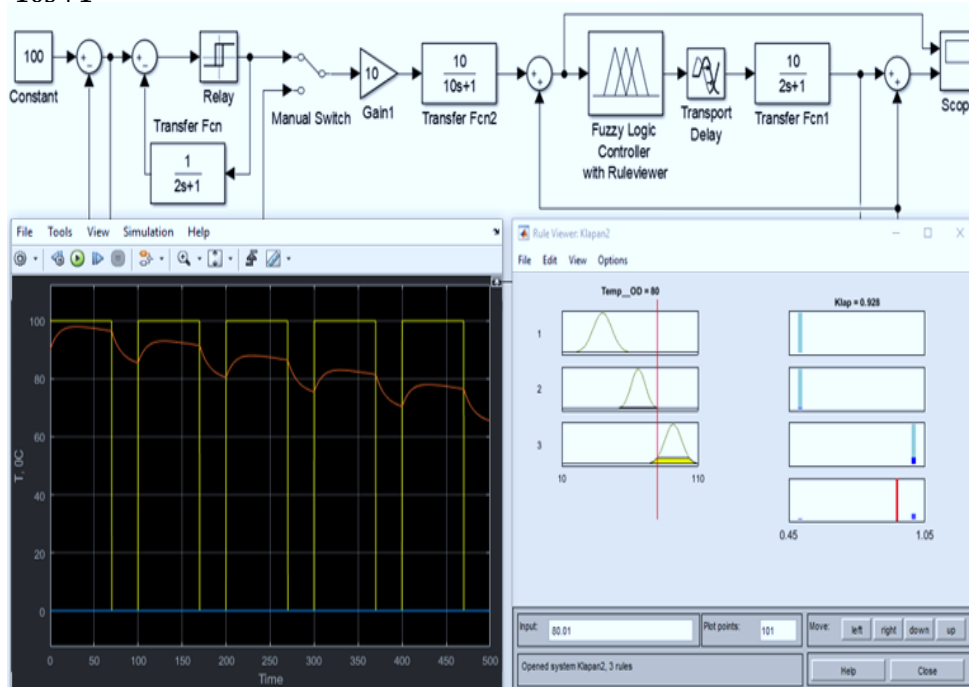
Расмикунонии вазифаи гузошташуда муайян кардани таъсирҳои даромадӣ ва параметрҳои баромадии объектҳои техникаро пешниҳод мекунад, сипас бо муқоисаи термҳо (паст, муътадил, баланд) бо тағйирёбандаҳои мушаххаси физикӣ тағйирёбандаҳои идоракуниро дар шакли тағйирёбандаҳои лингвистикӣ интиҳоб мекунад.

Барои гирифтани қиматҳои аниқ аз ҳар як термҳои ноаниқ дар системаҳои ноаниқӣ ҳулсабарории ноаниқ раванди дефаззификатсия истифода мешавад. Барои ин одатан усули маълуми маркази вазни функсияи мансубият истифода мешавад.



Расми 8 – Графики функсияи мансубият барои термҳои тағйирёбандаҳои лингвистии "ҳарорати моеъи хунуккунӣ"

Схемаи идоракунии системаи хунуккунӣ бо истифодаи контроллери ноаниқ, ки дар бастаи барномаҳои Matlab/Simulink татбиқ шудааст, дар расми 10 оварда шудааст. Дар осиллограмма пастшавии ҳарорати моеъ дар баромади радиатор ҳангоми интиқоли он тавассути сохтори иловагӣ(СИ), бо функцияи интиқоли $\frac{10}{10s+1}$ равшан ба назар мерасад.



Расми 9 – Схемаи моделсозии танзими ноаниқи ҳарорати системаи хунуккунии муҳаррик бо танзимгари релей

Дар **боби 4** истифодаи технологияи зехни сунъӣ барои ҳалли масъалаи истикрорсозии речаи ҳарорати системаи хунуккунии ДМДС баррасӣ карда мешавад.

Барои қабули автоматики қарор аз ҷониби система бо назардошти ҳолати техникий унсурҳои системаи хунуккунӣ, инчунин хосиятҳои муҳити атроф системаи истикрорсозии ҳарорати хунуккунанда бо модели пешгӯикунандаи шабакаи нейронӣ ва контроллери ноаниқи қабули қарор пешниҳод карда шудааст.

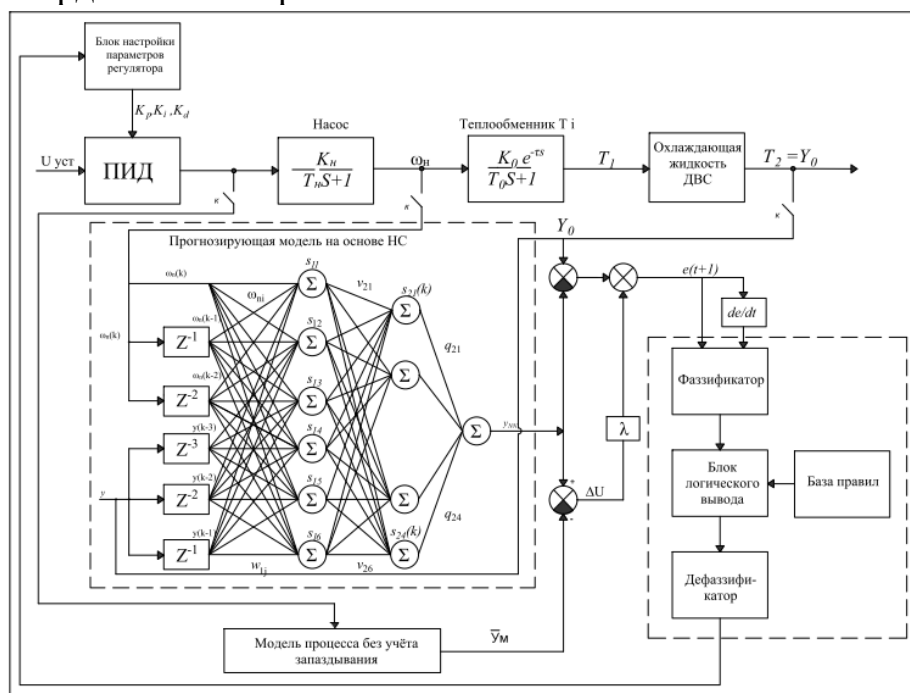
Пешгӯиҳо бо тартиби оптималгардонии рақамӣ барои муайян кардани сигнали идоракунии истифода мешаванд, ки ҳатогиро дар фосолаи додашуда кам мекунад: $N_2 N_u$.

$$E(k) = \sum_{j=N_1}^{N_2} (y_o(k+j) - y_m(k+j))^2 + \lambda \sum_{j=1}^{N_u} \Delta u(k+j-1) \quad (27)$$

дар инҷо N_1 , N_2 и N_u - уфукҳои пешгӯӣ ва идоракунии, мутаносибан, ки ҳатогии пайгирӣ ва афзоиши назоратро баҳо медиҳанд, k – вақти дискретӣ; λ – ин параметри афзоиши идоракунии ба меъёри самаранокӣ мебошад; $u_{уст}$ – сигнали асосӣ; y_m – ҷавоби модели NN ; Δu – пайдарпаии афзоиши идоракунии оянда, ки бояд дар раванди оптималгардонӣ ҳисоб карда шаванд. Алоқа бо мураккабии муайян кардани параметри λ бо усулҳои оптималгардонӣ, муодилаи (27) - ро дар шакли зерин муаррифӣ мекунем:

$$E(k) = \sum_{j=1}^{N_2} y_{op}(k+j) - y_{NN}(k+j) + \lambda \Delta u(k+j) \quad (28)$$

дар инҷо $\lambda = y_M(k+J) - y_{NN}(k+J)$ – ташаққулёбанда аз ҳисоби модели раванд бе назардошти таъхир.



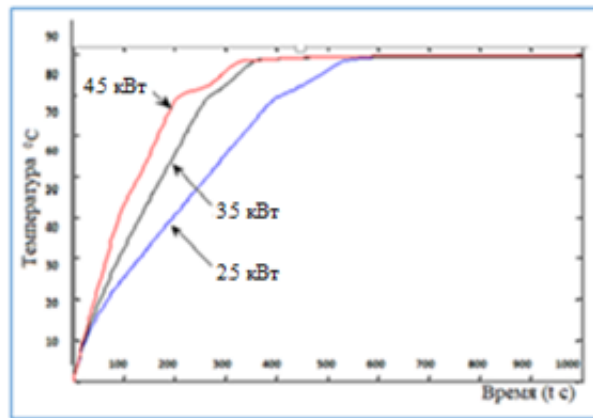
Расми 10 – Системаи қабули қарор бо модели пешгӯикунонда

Дар сохтори пешниҳодшудаи NNPC шабакаи дуқабата бо функсияҳои интиқолии сигмоидалӣ дар қабати пинҳонӣ ва функсияҳои интиқолии хаттӣ дар қабати баромад истифода мешавад. Шабакаи нейрон дорои 6 даромади раванд бо чор унсури таъхир, 3 ва як қабати пинҳонӣ бо 4 нейрон мебошад, расми 10.

Барои ба назар гирифтани ҳолати элементҳо ва ҳарорати муҳити атроф системаи қабули қарор дар асоси маълумоти блоки назорат, таҳҳис ва идоракуний, ки ба намуди маҷмӯаҳои ноаниқӣ лингвистикӣ табдил дода шудаанд, таҳия карда шудааст.

Дар расми 11 кори контроллерҳои ноаниқ барои идоракунии ҳарорати моеъи хунуккунӣ бо се қувваи аз ҷониби муҳаррик таҳияшуда нишон дода шудааст. Қимати додашуда 85°C мебошад.

Вазифаи асосии контроллер нигоҳ доштани ҳарорат дар баромади муҳаррик дар наздикии қимати додашуда дар посух ба тағйирёбии суръати гардиш ва сарбории муҳаррик мебошад. Модулҳои идоракунии дар стенди лаборатория насбшуда имкон медиҳанд, ки арзишҳои сарборӣ ва суръати муҳаррик новобаста аз якдигар тағйир дода шаванд.



Расми 11 – Кори танзимгари ноаниқ барои иқтидорҳои гуногуни муҳаррик

Барои таъмини речаи ҳарорати муайяни муҳаррик, системаи хунуккунӣ бояд баробарии гармии ҷудошударо бо контурҳои системаи хунуккунӣ таъмин кунад. Ин баробарӣ чунин мешуморад, ки ҳар як ҷузъ ба ҳамдигар вобаста аст, яъне миқдори гармии ҷудошудаи моеъи хунуккунанда аз параметри радиатор, вентилятор ва СИ муайян карда мешавад. Муодилаи функционалии миқдори гармӣ дар моеъи хунуккунанда метавонад дар шакли зерин навишта шавад:

$$Q_{\text{ож}} = f(G_{\text{ож}}, T_1, T_2, c_p) \quad (29)$$

Дар инҷо $G_{\text{ож}}$ – ҳароҷоти моеъи хунуккунанда [кг/с], T_1 – ҳарорати моеъи хунуккунанда дар даромад ба радиатор [$^{\circ}\text{C}$], T_2 – ҳарорати моеъи хунуккунанда дар баромад аз радиатор [$^{\circ}\text{C}$], c_p – гармиғунҷоиши моеъи хунуккунанда [кДж/(кг $^{\circ}\text{C}$)].

Муодилаи ҳолати контури моеъ ҳангоми кушодани клапани термостат чунин хоҳад буд:

$$Q_{\text{ож}}^* = c_p (G_{\text{ож}} \pm \Delta G_{\text{ож}}) [(T_2 \mp \Delta T_2) - T_1] \quad (30)$$

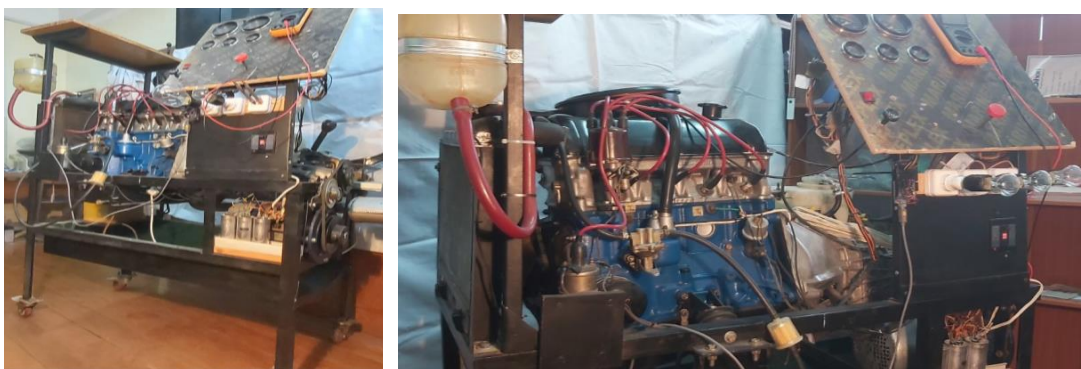
Дар ин ҷо ҳарорати моеъи хунуккунанда дар даромадгоҳи радиатор тағйирёбанда аст ва функсияи ҳароҷоти моеъи хунуккунанда мебошад. Муодилаи (32) контурро пас аз таъсири омилҳои ҳалалдоркунанда ба системаи хунуккунӣ тавсиф мекунад. Муодилаҳо, системаҳои хунуккунӣ ҳангоми гузаштан аз речаи ҳарорати статсионарии муқарраршуда ба речаи ғайрестатсионарӣ тасвир карда мешаванд:

$$Q_{\text{ож}} = c_p G_{\text{ож}} (T_2 - T_1) \quad (31)$$

$$Q_{\text{ож}}^* = c_p (G_{\text{ож}} \pm \Delta G_{\text{ож}}) [(T_2 \mp \Delta T_2) - T_1]. \quad (32)$$

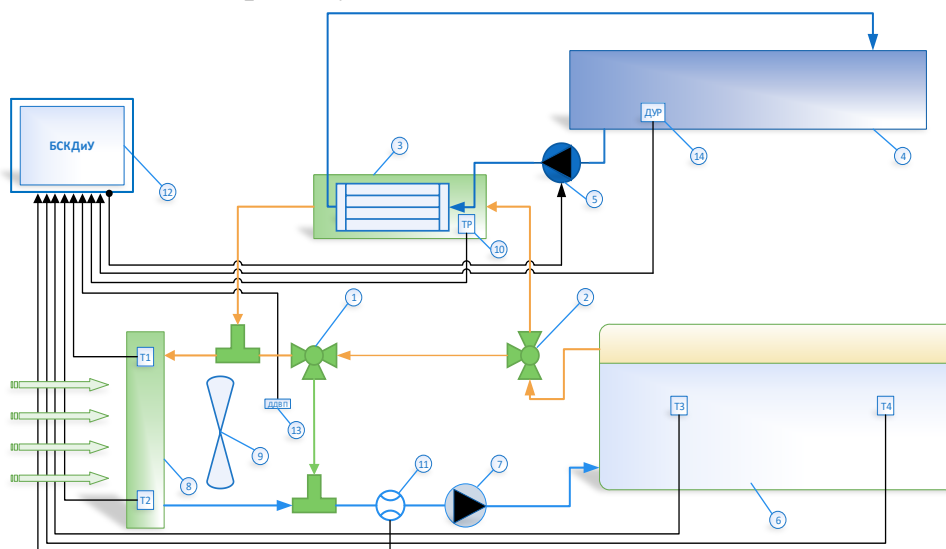
Таҳқиқот дар стенде, ки муаллиф дар кафедраи "Автоматикунории равандҳои технологӣ ва истеҳсолот" таҳия кардааст, гузаронида шуданд.

Стенд дар асоси муҳаррики дарунсӯз сохта шудааст, ба сифати сарборӣ генератор дар асоси муҳаррики асинхрони сефазаӣ (АД) навъи АИР 90Л4У2 истифода мешавад, ки дар он ба сифати сарборӣ сарбории ғайрифаъол, ки аз лампаҳои 100 Вт ва зиёда аз он иборат аст, истифода мешавад. Сенсорҳои ҳарорати DS18B20. Микроконтроллер (МК) Arduino Mega, маълумоти гирифташударо коркард мекунад ва маълумотро ба ноутбук интиқол медиҳад, ки интерфейси корбарро ба муҳаққиқ пешниҳод мекунад.



Расми 12 – Намуди берунии стенд бо системаи ҷамъоварӣ ва коркарди иттилоот

Дар расми 13 схемаи системаи хунуккунии муҳаррик бо дастгоҳи иловагӣ оварда шудааст. Дар схема ҷойҳои насби сенсорҳои ҳарорат нишон дода шудаанд, сенсори T3 дар корпуси силиндраи аввал насб карда шудааст, сенсори T4 дар корпуси силиндраи чорум насб карда шудааст. Сенсори T1 дар даромад ва сенсори T2 дар баромади радиатор насб карда шудааст. Натиҷаҳои сенсорҳо бо пинҳои МК пайваست карда шудаанд.

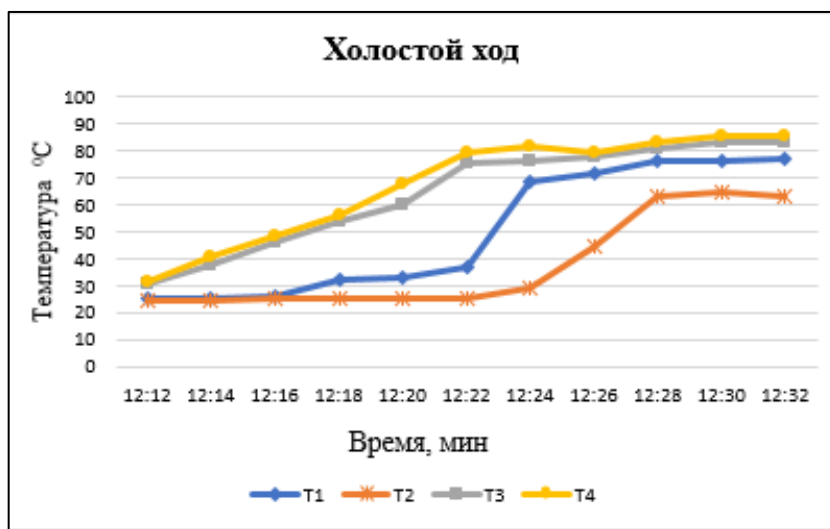


1-термостат($80^0 \leq T_y \leq 100^0C$), 2-термостат($T_y > 100^0C$), 3-дастгоҳи иловагӣ, 4-зарфи иловагӣ бо оби хунуккунӣ, 5-насоси иловагии об, 6-дизели МДС, 7-насоси обии штатӣ, 8-радиатор, 9-вентилятор, 10-термореле, T1,T2,T3,T4 сенсорҳои ҳарорат, 11-сенсори масрафсанҷ, 12- системаи назорати таҳсис ва идоракунии бортӣ, 13- сенсори фишори ҷараёни ҳаво, 14- сенсори сатҳи об дар зарф.

Расми 13 – Системаи хунуккунӣ бо дастгоҳи иловагӣ

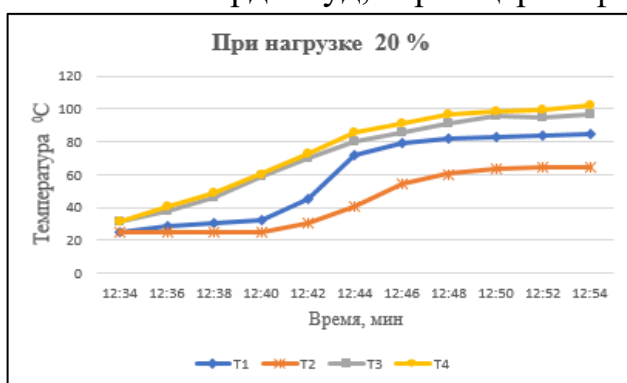
Барои арзёбии устувории речаи ҳарорати муҳаррики автомобилӣ, дар стенди таҳқиқотии дар боло нишондодашуда, таҳқиқоти динамикаи ҳарорати моеъи хунуккунии МДС гузаронида шуд. Ба ҳайси маълумоти ибтидоӣ натиҷаҳои назорати параметрҳои кори муҳаррик, ки аз ҷониби системаи "MONHAR", ки муаллиф таҳия кардааст, сабт карда мешаванд, истифода мешаванд.

Ҳарорати муҳити атроф бо радиатори рағғани дар озмоишгоҳ насбшуда шабеҳсозӣ карда шуд. Вентилятори хонагӣ бо суръати тағйирёбанда суръати ҳаракати мошинро шабеҳсозӣ кард. Дар марҳилаи аввал, кори системаи хунуккунӣ дар ҳолати беҳаракатӣ баррасӣ карда шуд. Аз графикҳои овардашуда маълум мешавад, ки ҳарорати радиатор (T_1 , T_2) бо таъхири назаррас аз ҳарорати куртаи цилиндр боло меравад, расми 14. Аз рӯи намуди графикҳо муайян кардан мумкин аст, ки вақти таъхир 6 дақиқаро ташкил медиҳад, вақти устувори ҳарорати муҳаррик 14 дақиқаро ташкил медиҳад. Озмоиш дар ҳарорати муҳити атроф 25.6°C гузаронида шуд. Вентилятор хомӯш карда шуда буд.

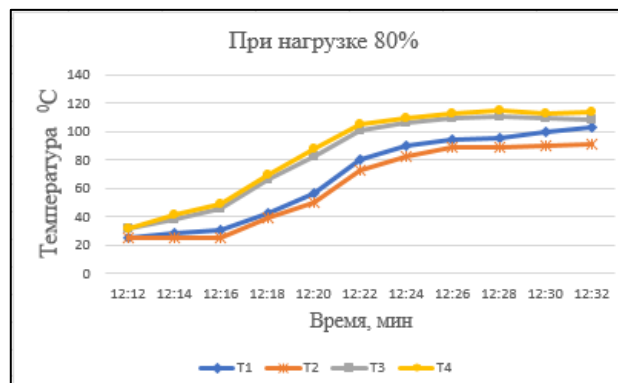


Расми 14 – Кори муҳаррик дар речаи беҳаракатӣ

Барои таҳқиқи кори муҳаррик дар зери бор АД – 10 кВт, ки дар речаи генераторӣ кор мекунад, истифода шуд. Вазни фаъол 20% қувваи муҳаррикро ташкил медиҳад, яъне 12,8 қ.а. ё 9,4 кВт. Ба баромади генератор нӯҳ лампаи 1 кВт пайваست карда шуд, барои ҳар як фаза се лампа.

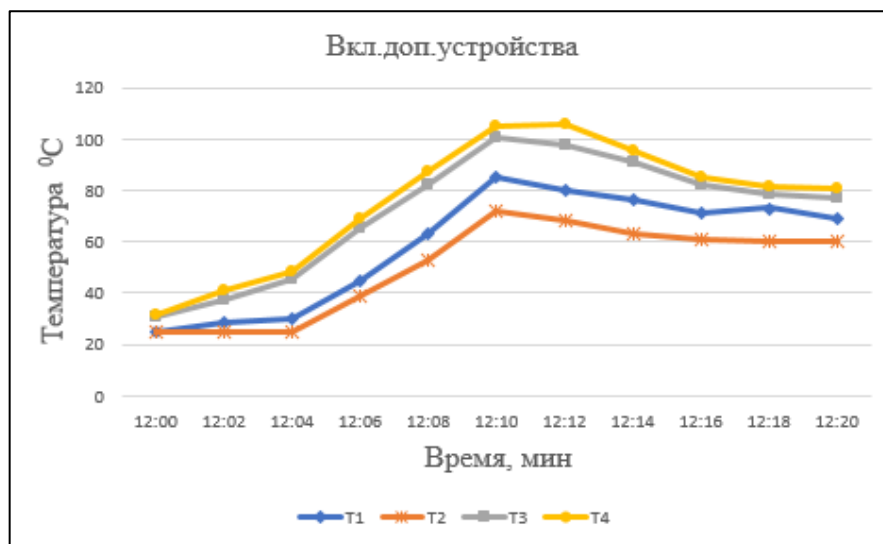


Расми 15 – Кори муҳаррик дар сарбории 20%



Расми 16 – Кори муҳаррик дар сарбории 80%

Дар графикаҳои расми 16, ҳангоми ба муҳаррик додани 80% сарборӣ, баландшавии сатҳи ҳарорати кории муҳаррик мушоҳида мешавад. Вентилятор дар гардишҳои хурдтарин бо суръати 3м/сон. кор мекунад.



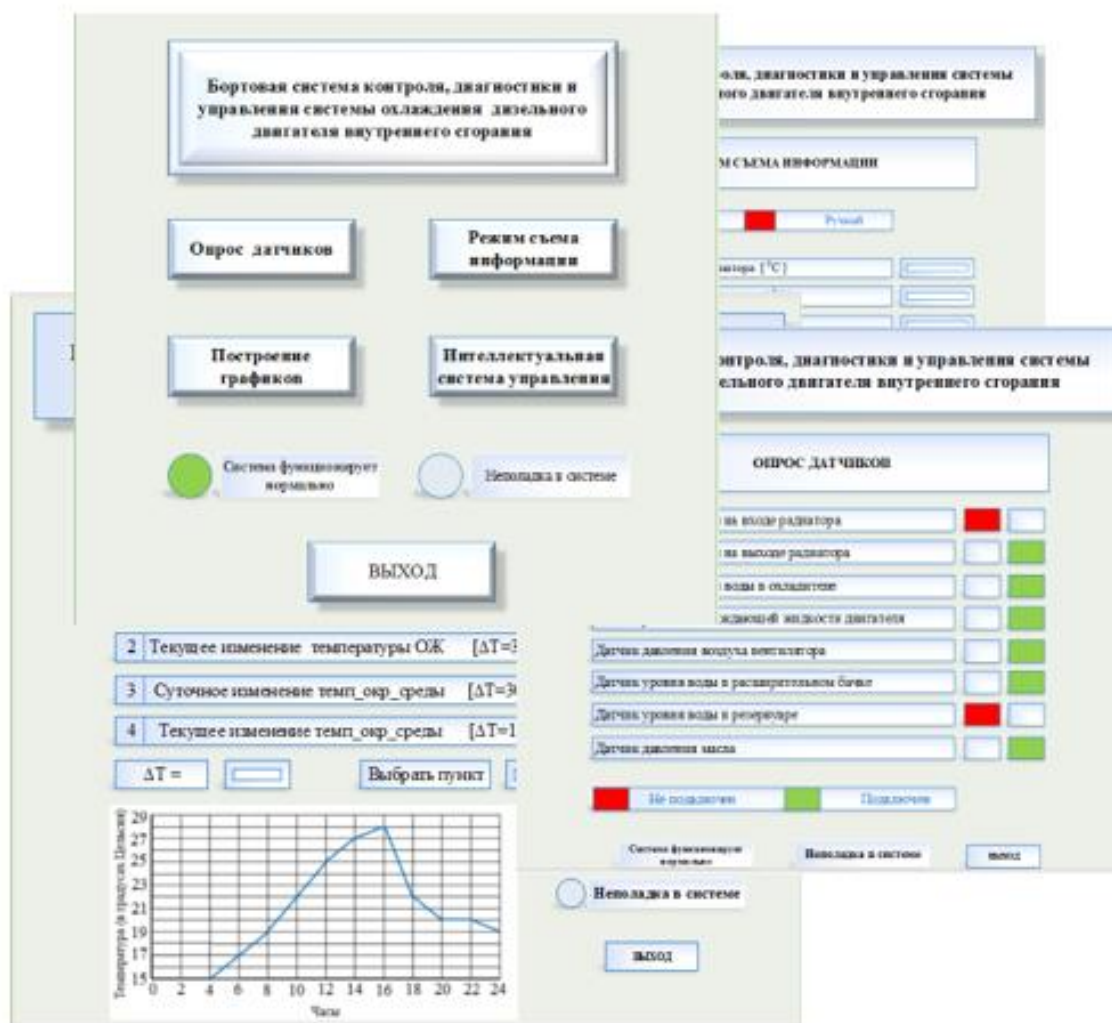
Расми 17 – Кори муҳаррик ҳангоми фаъол кардани дастгоҳи иловагӣ

Дар графикҳои расми 17 натиҷаҳои истифодаи сохтори хунуккунии иловагӣ дар микёси гуногуни вақт нишон дода шудаанд. Графикҳо нишон медиҳанд, ки пас аз кушодани термостати иловагӣ, ки гузариши моеъи гармро аз блок ба морпечи хунуккунанда таъмин мекунад, ҳарорати куртаи муҳаррик ва радиатор чӣ қадар зуд паст мешавад.

Дар ҳарорати максималии $T > 100^{\circ}\text{C}$ – и муҳаррик пайваستкунии дастгоҳи иловагӣ иҷро карда шуд.

Бояд қайд кард, ки муаллиф дар стенд танҳо хусусияти сифатии системаи хунуккунии муҳаррикро баррасӣ кардааст, зеро аз ҷиҳати ҷисмонӣ, равандҳои гармидиҳии МДС - и бензинӣ ва дизелӣ фарқиятҳои ҷиддӣ доранд.

Системаи назорат, таҳҳис ва идоракунии бортӣ (БСКД и У) аз ду қисм иборат аст. Қисми аввал системаи ҷамъоварӣ ва коркарди иттилооти "MONHAR" мебошад, ки вазифаи он ҷамъовариӣ маълумот аз сенсорҳо ва асбобҳо ва коркарди пешакии онҳо мебошад. Қисми дуюм аз маҷмӯи барномаҳо иборат аст, ки вазифаи он муқоисаи маълумоти гирифташуда бо ҳудуди эталонӣ ё қобили қабул, ки аз ҷониби Стандарти давлатӣ муқаррар шудааст, мебошад. Ҳангоми ошкор кардани номувофиқатии арзиши ченшуда ё ҳолати унсури С бо диапазони эталонӣ ё муқарраршуда, системаи экспертӣ қарор қабул мекунад. Қарорҳо метавонанд хусусияти огоҳӣ, пешниҳоди маслиҳат ё фармон барои иҷрои ин ё он амал дошта бошанд. Барои кор бо системаи назорат ва таҳҳиси бортӣ, интерфейси корбар таҳия шудааст.



Расми 18 – Интерфейси корбар

Дар речаи муқаррарӣ барномаи "MONHAR" бо гусастагии 5 дақиқа кор мекунад, бо давомнокии кори система 0.7-1.5 дақиқаро ташкил медиҳад. Система назорати даврии фаъолияти унсурҳои системаи хунуккунии муҳаррикро пешбинӣ мекунад.

Бояд қайд кард, ки система танҳо дар сурати набудани вазъияти ғавқулודда барои кушодани СИ фармон медиҳад.

Дар ин ҳолат дар интерфейс лампаи сурхи огоҳкунанда “Ҳолати ғавқулודда” дар мегирад ва сигнали садой дода мешавад. Система дар речаи мунтазирӣ қарор мегирад, то ҳолати ғавқулודда бартарф карда нашавад.

Ҳолатҳои ғавқулודда: харҷи моеъ вучуд надорад; вентилятор гардиш намекунад; қувваи барқи блоки БСКДиУ вучуд надорад; сатҳи ҳадди ақали об дар резервуар ба камтарин расидааст; сигнал аз ягон сенсор вучуд надорад. Дар ин ҳолат система то бартараф кардани мушкилот ба идоракунии системаи зехнӣ мегузарад. Пас аз ин система ба ҳолати муқаррарии корӣ мегузарад.

ХУЛОСА

1. Дар асоси таҳлили адабиёт хулоса бароварда шуд, ки на ҳамеша дастгоҳҳои штатии системаи хунуккунӣ вазифаи худ - дар сатҳи муайян нигоҳ доштани речаи

харорати муҳаррикро иҷро мекунанд, ки ба эътимоднокии истифодаи он, сарфакорӣ ва параметрҳои экологӣ таъсир мерасонад. Барои истиқрор кардани речаи ҳарорат, муаллифон аксар вақт системаҳои идоракунии насоси гардишӣ ё вентиляторӣ иловагиро истифода мебаранд [1-А, 5-А, 7-А, 11-А, 12-А, 14-А].

2. Таҳлили ҷустуҷӯҳои адабиётию патентӣ ва таҳқиқоти муаллифон аҳамияти таҳқиқоти илмӣ давомдорро, ки ба беҳтар кардани режими хунуккунии МДС, навсозии сохтори системаҳои хунуккунӣ, оптималгардонии равандҳои танзими автомати ҳолати гармии МДС дар шароити истифода равона шудаанд, тасдиқ мекунанд [5-А, 7-А, 10-А, 11-А, 12-А, 14-А].

3. Муқаррар карда шуд, ки як қатор таҳқиқотҳо ба истифодаи таҷҳизоти иловагӣ дар системаи хунуккунӣ – вентиляторҳои барқӣ, пошандаҳои радиатор, инчунин истифодаи дигар унсурҳои иловагии хунуккунии мустақим, ки як қатор камбудии ҷиддӣ доранд, равона карда шудаанд, ки бартараф кардани онҳо вазифаи ин кор аст [3-А, 4-А, 6-А, 9-А].

4. Ошкор карда шуд, ки дар адабиёт идоракунии зеҳнии вентиляторҳо ва насосҳои гардишӣ системаи хунуккунии муҳаррик ҷойгоҳи махсус дорад. Ин тағйироти ҷиддӣ сохтори муҳаррикро талаб мекунад, ки монеаи асосии истифодаи васеи чунин системаҳо мебошад [4-А, 7-А, 9-А].

5. Дар модели математикӣ, бо истифода аз технологияи зеҳни сунӣ, қобилияти дастгоҳи иловагии пешниҳодшуда барои истиқрор кардани речаи ҳарорати муҳаррик дар марзҳои зарурӣ нишон дода шудааст [8-А, 9-А, 14-А].

6. Системаи идоракунии автомати истиқрорсозии речаи ҳарорати системаи хунуккунии муҳаррик бо унсури иловагӣ таҳия шудааст. Ба сифати танзимгари автомати системаи қоидаҳои базаи дониш, ки аз ҷониби системаи экспертӣ таҳия шудааст, истифода шудааст [1-А, 4-А, 6-А, 9-А].

7. Стенди омӯзишӣ – таҳқиқотӣ барои гузаронидани таҳқиқоти таҷрибавӣ дар речаҳои гуногуни қори муҳаррик таҳия шудааст [6-А, 8-А, 10-А].

8. Барои шабеҳсозии сарбории муҳаррик схема бо истифода аз муҳаррики барқӣ асинхронӣ, ки ба қуттии интиқол пайваست карда шудааст, таҳия карда шудааст, ки дар речаи генераторӣ бо сарбории фаъл бо пайваст кардани сарбории фаъл ба баромади он, бо андозаи гуногун истифода мешавад [9-А, 14-А].

9. Маҷмӯаи барномавӣ барои микроконтроллер барои ҷамъоварӣ ва коркарди маълумоти таҷрибавӣ, ки аз объект бо дискретизатсияи гуногун ва фосилаҳои гуногун дар минтақаи вақт гирифта шудаанд, таҳия шудааст. Интерфейси ин система имкон медиҳад, ки маълумот ҳам дар шакли ҷадвал ва ҳам дар шакли графикҳо пешниҳод карда шавад [8-А, 9-А].

10. Речаҳои гуногуни қори системаи хунуккунӣ, ҳарорати система ҳангоми рафти беҳаракатӣ, речаҳои гуногуни суръат, зери сарборӣ, сатҳ ва андоза, ки дар стенд бо роҳҳои гуногун тақлид карда шудаанд, таҳқиқ карда шуданд [6-А, 8-А, 10-А].

11. Патент барои дастгоҳи пешниҳодкардаи муаллиф барои хунуккунии иловагии муҳаррики дарунсӯз ГИРИФТА шудааст, ТҶ 1447, Дархости № 1801183 аз 01.03.2018 дар Феҳристи давлатии ихтирооти ҚТ аз 20.06.2018 ба қайд гирифта шудааст [10-А].

12. Системаи назорати борти, таъхис ва идоракунии (БСКД ва У) системаи хунуккунии МДС таъхия шудааст, ки дар асоси маълумоти аз сенсорҳо гирифташуда ва системаи қоидаҳои истеҳсоли қарор қабул мекунад [8-А, 9-А].

13. Дар асоси таҷрибаи гирифташуда, тақмили минбаъдаи системи хунуккунӣ, ба коркард фиристодани қонунҳои оптималии идоракунии параметрҳои хунуккунӣ вобаста ба шароити истифодаи муҳаррик ва ҷорӣ кардани контроллерҳои барномарезишаванда ба системаҳои идоракунии автоматики параметрҳои хунуккунии МДС дар асоси истифодаи технологияҳои зехнии компютерӣ пешниҳод карда мешавад [7-А].

ФЕҲРИСТИ ИНТИШОРОТИ ИЛМӢ АЗ РӢӢИ МАВЗУИ ДИССЕРТАТСИЯ

Наширияҳо дар маҷаллаҳои илмие, ки Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ва ҚОА-и ФР эътироф намудаанд:

[1-М]. **Зиёев, Ш.Ш.** Таъхис ва пешбиниҳои ҳолатҳои муҳаррикҳои дизелии дарунсӯз дар асоси принсипҳои мантиқи ноаниқ ва технологияи шабакаи зехнӣ / Ш.Ш. Зиёев, Н.И. Юнусов, У.Ҳ. Ҷалолов, У.А. Турсунбадалов // Паёми Донишгоҳи техникии Тоҷикистон №4(32) 2015с. саҳ. 66 – 70.

[2-М]. **Зиёев, Ш.Ш.** Таъхис бо истифодаи принсипҳои мантиқи нейроноаниқ дар мисоли системаи сӯзишвории МДСД / Ш.Ш. Зиёев, Н.И. Юнусов, У.Ҳ. Ҷалолов, У.А. Турсунбадалов // Паёми Донишгоҳи техникии Тоҷикистон, Баҳши Интеллект. Инноватсия. Инвеститсия. №3 (35) 2016с. саҳ. 28 – 33.

[3-М]. **Зиёев, Ш.Ш.** Системаи зехнии назорати параметрҳои сардкунии системаи МДД / Ш.Ш. Зиёев, Н.И. Юнусов, У.Ҳ. Ҷалолов, У.А. Турсунбадалов. // Паёми Донишгоҳи техникии Тоҷикистон, Баҳши Интеллект. Инноватсия. Инвеститсия. №4 (36)-2016с. саҳ. 23 – 29.

[4-М]. **Зиёев, Ш.Ш.** Идораи ноаниқ дар системаи сардкунии муҳаррики дизелии дарунсӯз бо таҷҳизоти иловагӣ / Ш.Ш. Зиёев, Н.И. Юнусов, У.Ҳ. Ҷалолов, У.А. Турсунбадалов // Паёми Донишгоҳи техникии Тоҷикистон, Баҳши Интеллект. Инноватсия. Инвеститсия. № 3 (47) 2019с. саҳ. 37 – 43.

[5-М]. **Зиёев, Ш.Ш.** Идентификация параметров разгонной характеристики двигателя внутреннего сгорания / Ш.Ш. Зиёев, У.Ҳ. Ҷалолов, 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-М]. **Зиёев, Ш.Ш.** Танзимгари нейро-ноаниқи ҳарорат барои системаи сардкунии муҳаррики дарунсӯшти мошинҳои боркаш / Ш.Ш. Зиёев, Н.И. Юнусов, У.Ҳ. Ҷалолов, У.А. Турсунбадалов // Паёми Донишгоҳи техникии Тоҷикистон, Баҳши Интеллект. Инноватсия. Инвеститсия. № 4 (52) 2020с. саҳ. 39 – 44.

[7-М]. **Зиёев, Ш.Ш.** Идоракунии мавқеии системаи хунуккунии муҳаррикҳои дарунсӯз бо истифодаи элементҳои зехни сунъӣ / Ш.Ш. Зиёев // Паёми Донишгоҳи техникии Тоҷикистон, Баҳши Интеллект. Инноватсия. Инвеститсия. № 3 (55) 2021с. саҳ. 68 – 73.

[8-М]. **Зиёев, Ш.Ш.** Назорати пешгӯишаванда ва идоракунии раванди хунуккунии муҳаррики дарунсӯзи дизелӣ дар асоси мантики ноаниқ ва модели шабакаи нейронӣ / Ш.Ш. Зиёев, Р.М. Бандишоева, У.Ҳ. Чалолов, М.А. Абдулло // Паёми Донишгоҳи техникии Тоҷикистон, Баҳши Интеллект. Инноватсия. Инвеститсия. № 4 (56) 2021с. саҳ. 65 – 74.

[9-М]. **Зиёев, Ш.Ш.** Омӯзиши режимҳои ҳарорати кори системаҳои хунуккунии муҳаррикҳои мошинҳои сохтмонӣ / Ш.Ш. Зиёев, Н.И. Юнусов, Б.Г. Ким, Р. А. Насруллоева // Маҷаллаи Сохтмонӣ ва мошинҳои роҳ. Наклиёти руи замин ва машину комплексҳои технологӣ. № 9/2023. 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.

Шаҳодатномаи муаллифи ва патентҳо:

[11-М]. **Зиёев, Ш.Ш.** Сохтор барои хунуккунии иловагии муҳаррикҳои дарунсӯз. Патент TJ 909, Ариза № 1801183 аз 01.03.2018 с. Дар Феҳристи давлатии ихтирооти Ҷумҳурии Тотористон ба қайд гирифта шудааст аз 20.06.2018 с. / Зиёев Ш.Ш., Юнусов Н.И., Чалолов У.Ҳ., Холов Ш.Ё., Турсунбадалов У.А., Бандишоева Р.М., Толибова С.Н.

Наиш дар маводҳои конференсияҳои илмӣ:

[12-М]. **Зиёев, Ш.Ш.** Омӯзиши кори дастгоҳи хунуккунии иловагии муҳаррикҳои дизелии дарунсӯзӣ / Ш.Ш. Зиёев, Н.И. Юнусов, У.Ҳ. Чалолов, У.А.Турсунбадалов, С.А. Махмадов // Маводҳои Конфронси III илмӣ – амалии аспирантҳо, магистрантҳо ва донишҷӯён «Илм – асосҳои рушди инноватсионӣ» ДТТ 26 – 27 апрели 2018с. саҳ. 270 – 273.

[13-М]. **Зиёев, Ш.Ш.** Идораи ҳарорати моеъи гарми интиқолдиҳанда дар системаи хунуккунии муҳаррикҳои дарунсӯзӣ / Ш.Ш. Зиёев, Н.И. Юнусов, С.А. Махмадов, Ш.Ё. Холов // Маводҳои Конфронси байналмилалӣ илмӣ – амалии «Татбиқи технологияҳои иттилоотӣ телекоммуникатсионӣ дар ташкили ҳукумати электронӣ ва индустрикунонии кишвар» 2020с. саҳ. 14 – 19.

[14-М]. **Зиёев, Ш.Ш.** Таҳқиқот ба раванди таъсири гузариши САТ вақти доимии дастгоҳи хунуккунии иловагӣ барои муҳаррики дарунсӯзии дизелӣ / Ш.Ш. Зиёев, Н.И. Юнусов, Ш. Амиршоев, М.К. Оева // Маводҳои конференсияи ҷумҳуриявӣ илмию амалии «Илм – асоси рушди инноватсия» Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Ошими. Душанбе. – 2023с. саҳ. 106 – 110.

[15-М]. **Зиёев, Ш.Ш.** Идоракунии дастгоҳи иловагии хунуккунии ҳарорати гармибаранда дар системаи хунуккунии муҳаррики дарунсӯз / Ш.Ш. Зиёев, Н.И. Юнусов, С.А. Махмадов, М.К. Оева // Маводҳои конференсияи ҷумҳуриявӣ илмию амалӣ дар мавзӯи «Татбиқи технологияҳои иттилоотӣ коммуникатсионӣ дар саноатунонии кишвар», баҳшида ба ҳадафи чоруми стратегияи миллӣ // Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Ошими. Душанбе, 2022с. саҳ. 395-402.

АННОТАЦИЯ

ба рисолаи номзоди Зиёев Шухрат Шарофидинович дар мавзӯи «Системаи бортии истиқрори ҳарорати моеъи хунуккунандаи МДС мошинҳои боркаш бо истифода аз технологияҳои зеҳнӣ» барои дарёфти дараҷаи илмӣ номзоди илмҳои техникӣ аз рӯйи ихтисоси 05.13.11 – Таъминоти математикӣ ва барномавии мошинҳои ҳисоббарор, комплексҳо ва шабакаҳои компютерӣ пешниҳод шудааст.

Калидвожаҳо: муҳаррики дарунсӯзи дизелӣ, модели математикӣ, мантиқи ноаниқ, технологияи шабакаи нейронӣ, микропротсессор, системаи хунуккунӣ, дастгоҳи иловагӣ, зеҳни сунӣ, алгоритми идоракунии.

Кори диссертатсионӣ ба таҳияи системаи назоратӣ, ташҳис ва идоракунии бортии системаи хунуккунии муҳаррикҳои дарунсӯзи дизелии мошинҳои боркаш, ки дар шароити душвори куҳсор истифода мешаванд, бахшида шудааст. Дар қор речаҳои гуногуни қори муҳаррикҳо бо истифода аз моделҳои математикӣ бо назардошти сарбории динамикӣ, шароити муҳити атроф ва ҳолати элементҳои системаи хунуккунӣ бо истифода аз технологияи зеҳни сунӣ тадқиқ шуданд. Дар дастгоҳи таълимӣ-тадқиқотӣ, ки муаллиф таҳия кардааст, бо истифода аз технологияҳои муосири иттилоотӣ барои қабул ва интиқоли додаҳо, системаҳои микропротсессорӣ барои қорқард ва қабули қарорҳо як қатор тадқиқотҳои амалӣ гузаронида шуданд.

Дар қор муносибати системавӣ ба хунуккунии муҳаррик пешниҳод шудааст ва модели боэътимоди идоракунии дар асоси истифодаи истихроҷи иловагии гармӣ аз системаи хунуккунӣ ҳангоми мониторинги параметрҳои муҳити атроф, ҳолати ҷузъҳои системаи хунуккунӣ ва қобилияти пешгӯии ҳолати интиқоли гармӣ, ки дар системаи хунуккунӣ барои бузургҳои додашудаи суръати муҳаррик, сарфи сӯзишворӣ, фишори моеи хунуккунӣ, ҳарорат ва масрафи он ба амал меояд.

Натиҷаҳои тадқиқоти амалӣ, ки дар қор оварда шудаанд ва моделонии математикии системаи хунуккунии пешниҳодшуда бо истифода аз модели шабакаи нейронӣ, нишон доданд, ки дастгоҳи иловагӣ барои истиқрор қардани речаи ҳарорати муҳаррик дар ҳудуди зарурӣ, ки дар он системаи қоидаҳои базаи дониш ҳамчун датчики автоматики ноаниқи системаи экспертии таҳияшуда истифода шудааст, имконият дорад.

Интерфейси таҳияшудаи системаи назорат, ташҳис ва идоракунии бортӣ ба ронанда маълумоти пурра дар бораи ҳолати унсурҳои системаи хунуккунӣ, инчунин дар ҳолати зарурӣ тавсияҳои системаи экспертиро барои қабули қарорҳои техникӣ пешниҳод мекунад.

АННОТАЦИЯ

на диссертацию Зиёева Шухрата Шарофидиновича на тему «Бортовая система стабилизации температуры охлаждающей жидкости ДВС грузовых автомобилей с применением интеллектуальных технологий» представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей.

Ключевые слова: дизельный двигатель внутреннего сгорания, математическая модель, нечёткая логика, нейросетевая технология, микропроцессор, система охлаждения, дополнительное устройство, искусственный интеллект, алгоритм управления.

Диссертационная работа посвящена разработке бортовой системы контроля, диагностики и управления системой охлаждения дизельных двигателей внутреннего сгорания грузовых автомобилей, эксплуатирующихся в тяжелых горных условиях. В работе исследованы различные режимы работы двигателя на математических моделях с учетом динамических нагрузок, условий окружающей среды, состояния элементов системы охлаждения с применением технологии искусственного интеллекта. Ряд натурных исследований проводились на учебно – исследовательском стенде, разработанным автором, с применением современных информационных технологий приёма и передачи данных, микропроцессорных систем для обработки и принятия решений.

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

Приведенные в работе результаты натурных исследований и математическое моделирование, предложенной системы охлаждения, с применением нейросетевой модели, показали способность дополнительного устройства стабилизировать температурный режим двигателя в требуемых границах, где в качестве нечеткого автоматического регулятора использована система правил базы знаний, разработанной экспертной системы.

Разработанный интерфейс бортовой системы контроля, диагностики и управления, представляет водителю полную информацию о состоянии элементов системы охлаждения, а также, при необходимости, рекомендации экспертной системы по принятию технических решений.

ANNOTATION

on the dissertation of Shuhrat Sharofidinovich Ziyoev on the topic “On-board system for stabilizing the coolant temperature of the low-combustion engine of trucks using intelligent technologies” submitted for the academic degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.13.11 – Mathematical and software for computers, complexes and computer networks.

Key words: diesel internal combustion engine, mathematical model, fuzzy logic, neural network technology, microprocessor, cooling system, additional device, artificial intelligence, control algorithm.

The dissertation work is devoted to the development of an on-board monitoring system, diagnostics and control of the cooling system of diesel internal combustion engines of lifting machines operating in difficult mountain conditions. The work examined various engine operating modes using mathematical models taking into account dynamic loads, environmental conditions, and the state of the cooling system elements using artificial intelligence technology. A number of field studies were carried out at a training and research stand developed by the author, using modern information technologies for receiving and transmitting data, microprocessor systems for processing and decision making.

The paper presents a systematic approach to engine cooling and proposes a reliable control model based on the use of additional heat extraction from the cooling system while monitoring environmental parameters, the condition of the cooling system components and the ability to predict the heat transfer mode that occurs in the cooling system for given values of engine speed, fuel consumption, coolant pressure, temperature and flow rate.

The results of field studies presented in the work and mathematical modeling of the proposed cooling system, using a neural network model, showed the ability of the additional device to stabilize the temperature regime of the engine within the required limits, where a system of knowledge base rules was used as a fuzzy automatic controller, developed expert system.

The developed interface of the on-board monitoring, diagnostics and management system provides the driver with complete information about the state of the cooling system elements, as well as, if necessary, recommendations from the expert system for making technical decisions.

Подписано к печати 20.08.2025.
Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная.
Тираж 60 экз.

Отпечатано в типографии ТТУ имени акад. М. С. Осими.
г. Душанбе, 734042, пр. акад. Раджабовых, 10а.