


**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
ТАДЖИКИСТАН  
ТАДЖИКСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.С. ОСИМИ**

*На правах рукописи*



УДК 622.684:621.43.629

**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 – 2024

Работа выполнена на кафедре «Автоматизация технологических процессов и производств» в Таджикском техническом университете имени академика М.С. Осими

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

**Официальные оппоненты:** **Илолов Мамадшо**, доктор физико-математических наук, профессор Заведующий отделом математическое моделирование динамических процессов Центра иновационного развития науки и новых технологий НАН Таджикистана

**Калилов Маруф Махмудович**, кандидат физико-математических наук, доцента кафедры Информатики и информационной технологии Российско-Таджикский (Славянский) университет.

**Ведущая организация:** Таджикский Аграрный Университет имени Шириншох Шохтемур

Защита диссертации состоится «14» июнь 2024 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, 10, конференц-зал.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться на сайте Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими (<https://web.ttu.tj/ru/elonho/76>) и в библиотеке университета по адресу: 734042 г. Душанбе, проспект академиков Раджабовых, 10.

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент



Султонзода Ш.М.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**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, надежность и долговечность. Для обеспечения оптимального теплового режима автомобиля становятся жестче требования к эффективности систем охлаждения. Данное требование особенно актуально для автомобилей, которые функционируют в экстремальных условиях, особенно, при эксплуатации транспортных средств в строительстве крупных инженерных сооружений на подбье Рогунской ГЭС, расположенный в высокогорной зоне Республики Таджикистан. Известно, что в этих районах воздух разряжен, при этом в летний период, когда температура достигает максимальных значений и воздух имеет повышенную запыленность – факторы, которые негативно сказывающиеся на режим охлаждения двигателей внутреннего сгорания и приводят к понижению эффективности и надежности работы агрегатов грузового автомобиля.

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

В работе рассмотрены способы снижения температуры охлаждающей жидкости путем отбора тепла с применением дополнительного элемента охлаждения на основе современных компьютерных технологий, теории нечеткой логики и нейросетевых систем принятия решений. Система охлаждения двигателя предназначена для охлаждения рабочих цилиндров, крышек цилиндров, корпусов выпускных клапанов и выпускных коллекторов, а также охлаждения масла и воздуха.

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

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

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

- создание интерфейса пользователя, бортовой системы контроля, диагностики и управления системы охлаждения ДВС.

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

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

#### **НАУЧНАЯ НОВИЗНА РАБОТЫ:**

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

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

Практической целесообразностью применения дополнительного элемента в штатной системе охлаждения дизельного ДВС явилось стабильная работа двигателя в тяжёлых условиях эксплуатации и получении экономии топлива и уменьшение выбросов в атмосферу вредных веществ (СО, СН) по сравнению с традиционной системой охлаждения.

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

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

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

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

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

**Структура и объем диссертации.** Диссертация **Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы из 112 наименований. Основная часть диссертации изложена на 118 страницах. Работа иллюстрирована 60 рисунками и 10 таблицами.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

**В первой главе** предлагается описание работы системы охлаждения дизельного ДВС. Проведен обзор литературных источников из которого следует, что режим работы двигателя существенно влияет на его надежность, экономичность и экологические параметры. 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.

Целью системы охлаждения дизельного ДВС является обеспечение оптимального и стабильного теплового состояния ее деталей и узлов. Такая температура должна считаться оптимальной, при которой материалы деталей сохраняют свои прочностные свойства, моторные масла сохраняют высокую смазывающую способность.

Наши исследования направлены на совершенствование автоматических систем контроля теплового состояния дизельного ДВС и контроля параметров охлаждения двигателя с целью обеспечения их надежности при увеличении термомеханических нагрузок в сложных горных условиях.

Во время эксплуатации грузоподъемных машин, могут встречаться экстремальные ситуации, когда традиционные способы управления вентилятором и насосом не дают возможность поддерживать нужную температуру двигателя в пределах допустимого. Располагая электроприводом, как насоса, так и вентилятора можно воспроизвести пульсирующее изменение скоростного режима течения теплоносителей, что позволит уменьшить температуру охлаждающей жидкости на выходе из радиатора. Это можно реализовать с помощью разработки алгоритмов управления работой вентилятора и насоса, что позволит осуществить пульсирующее изменение скоростного режима теплоносителя.

Большая группа изобретателей и исследователей используют различные конструкции дополнительных элементов, которые приспосабливаются к существующим схемам системы охлаждения. Эти элементы адаптируются к существующим режимам и нагрузкам двигателя.

Исследованию повышения эффективности работы системы охлаждения дизелей посвящены работы Сайбова А.А., Панова Н.И., Турова Л.И., Лукова Н.М., Коссова Е.Е., Мартышевского М.И., Носова А.Н., Третьякова А.П., Логиновой Е.Ю., Балабин В.Н., Петриченко М.Р., Рыжова В.А., Салахова Р.Р., Ливенцева Ф.Л., Склифуса Я.К., Гогриччани Г. В. и др.

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.



**Рисунок 1** – Классификация систем охлаждения дизельных ДВС

Как правило, для эффективной работы дизеля необходимо обеспечить стабильное поддержание его теплового состояния, что позволяет экономить топливо, предотвращает падение мощности и уменьшает изнашивание деталей цилиндропоршневой группы. Стабилизация температуры ДВС реализуется системой водяного охлаждения принудительной циркуляции. Системы с дополнительным элементом охлаждения занимают отдельную позицию и имеют широкое распространение в особых областях.

**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.

#### **Идентификация параметров разгонной характеристики двигателя внутреннего сгорания.**

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 солярки, подаваемого в цилиндр ДВС, который в свою очередь связан с положением педали газа, расположенного в кабине автомобиля. В качестве выходного сигнала используется массив данных, отображающий разгонную скоростную характеристику двигателя, получаемого от тахометра, установленного на ДВС.

Для разгонного режима работы ДВС принята линеаризованная математическая модель, 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 с ледующего дифференциального управления

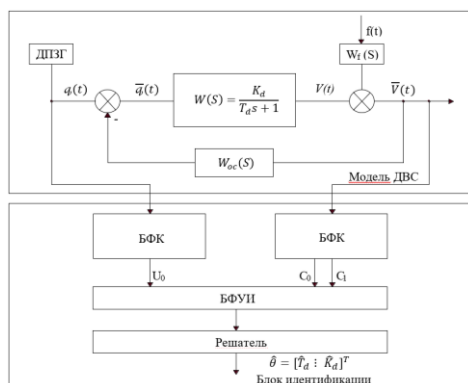
$$T_d^* \frac{d\bar{v}(t)}{dt} + \bar{v}(t) = K_d^* q(t) \quad (2)$$

здесь  $\bar{v}(t)$  – 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.



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

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

Используя, по отношению к дифференциальным уравнениям метод интегральной модуляции, 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:

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

Получим уравнение в виде:

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

$\{T_d^*, K_d^*\}$ - 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:

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

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

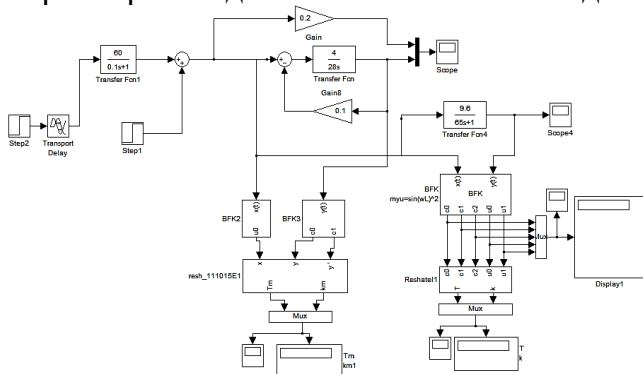
В этом случае уравнение идентификации можно записать в векторно – матричной форме:

$[C_1^*(k) : U_0^*(k)] \begin{bmatrix} T_d^* \\ K_d^* \end{bmatrix} = C_0^*$  или  $\Omega(k) \theta = C_0^*$ , где  $\Omega(k) = [C_1^*(k) : U_0^*(k)]$ - матрица наблюдения а,  $\hat{\theta} = [\hat{T}_d^* : \hat{K}_d^*]^T$ - вектор неизвестных параметров объекта.

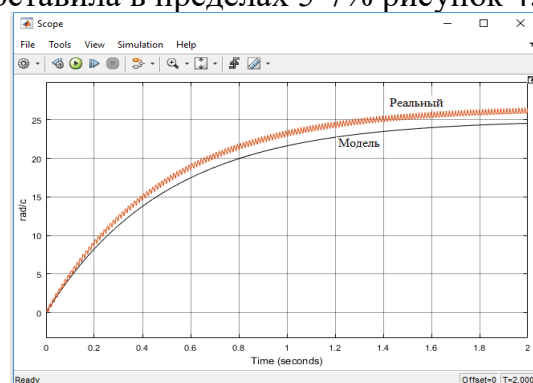
Применив к уравнению, метод наименьших квадратов, можно осуществить оценку вектора неизвестных параметров разгонной характеристики ДВС на основе следующего соотношения  $\hat{\theta} = (\Omega^T(k) \Omega(k))^{-1} \Omega^T(k) C_0(k)$ .

Оценка, работоспособности рассматриваемой системы идентификации определения параметров динамики ДВС, осуществлялась на основе примера, аппроксимирующего разгонную характеристику с помощью линейной модели с использованием пакета моделирования Matlab/Simulink, рисунок 3. Эксперимент показал, что данный подход, позволяет с достаточной точностью идентифицировать основные параметры разгонной характеристики ДВС.

В частности, в проведенном эксперименте ошибка оценки динамических параметров модели относительно исходных составила в пределах 5-7% рисунок 4.



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



**Рисунок 4** – Переходные характеристики разгона реальной (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.

### Интеллектуальная система контроля параметров системы охлаждения дизельного ДВС

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

Формально нечеткое множество  $\tilde{A}$  определяется как множество



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

$$\mu_{\tilde{A}}: X \rightarrow [0.1] \quad (8)$$

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

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

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

Необходимо построить нечеткое отношение, которое содержательно описывает упрощенную ситуацию поиска неисправности в системе охлаждения дизельного двигателя внутреннего сгорания. С этой целью в качестве предпосылок или причин неисправности будем рассматривать множество  $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$ , и у которые приведены в таблице 1.

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

- формирование базы правил систем нечеткого вывода. В которых условия и заключения представляются в терминах нечетких лингвистических высказываний.
- фаззификация входных переменных, т.е. введение нечеткости. Представление значений в нечетких высказываниях.
- агрегирование подусловий в нечетких правилах продукций. Представляет собой процедуру определения степени истинности условий по каждому из правил нечеткого вывода.
- активизация или композиция подзаключений нечетких правил продукции, или процедура нахождения степени истинности каждого из подзаключений правил нечетких продукций. В этом случае значение выходной лингвистической переменной  $W_i$  в каждом из подзаключений находится как решение уравнений  $C_i = \mu(w_i)$  ( $\forall i \in \{1, 2, \dots, q\}$ ), где  $q$ - общее количество подзаключений в базе правил.
- аккумулялирование заключений нечетких правил продукций.
- деффаззификация выходных переменных, как способ нахождения обычного (не нечеткого) значения для каждой из выходных лингвистических множеств  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_k\}$ , при этом используется формула

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

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

Конструктивное решение задачи определения некоторой зависимости или отношения, связывающего входные и выходные переменные модели, состоит в разработке специального математический аппарата. Такой аппарат существует и называется искусственные нейронных сети. При этом построение и настройка нейронных сетей осуществляется посредством их обучения на основе имеющейся и доступной информации.

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

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

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

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

$b$ - значение смещения,  $S$ - результат суммирования,  $x_i$  - компонент вектора входа или входного сигнала ( $i \in \{1,2, \dots, n\}$ ),  $Y$  -выходной сигнал нейрона,  $n$ - число входов нейрона,  $f$ - функция активации (передаточная функция) нейрона, представляющее собой некоторое нелинейное преобразование.

В общем случае:  $g_i, x_i, l \in R, (i \in \{1,2, \dots, n\})$   $x_i$  входные данные. Они могут быть простыми скалярными величинами или более сложными – векторами или многомерными матрицами.

$$x_i = a_i^{(1)}, i \in 1,2,3,4 \quad (13)$$

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

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

$W^{(2)}$ – вес на слое 2, а  $b^{(2)}$ – смещение на этом слое. Активация  $a^{(2)}$  вычисляется с помощью функции активации  $f$ . Например, эта функция  $f$  является нелинейной (как сигмоид, ReLU и гиперболический тангенс) и позволяет сети изучать сложные паттерны в данных. Представим для 2 слоя ее параметры в матричной форме. операции можно применить к любому слою нейронной сети.  $W^{(1)}$ – это матрица весов размерности  $(n, m)$ , где  $n$  – это количество выходных нейронов (нейронов на следующем слое), а  $m$  – число входных нейронов (нейронов в предыдущем слое). В нашем случае  $n = 2$  и  $m = 4$ .

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Оценка между  $s$  и  $y$  происходит через функцию потерь. Она может быть простой как среднеквадратичная ошибка или более сложной как перекрестная

энтропия. Мы назовем эту функцию потерь  $C$  и обозначим ее следующим образом:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Пока не будет достигнут критерий остановки выполняется следующее:

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

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

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

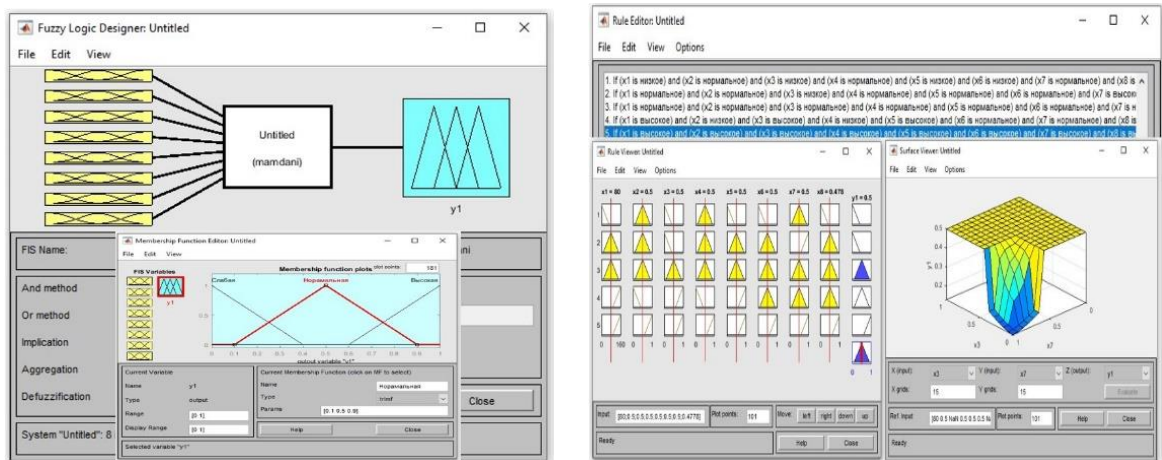
- Тета ( $\theta$ ) – это скорость обучения. Он определяет влияние градиента.
- $w$  и  $b$  – матричные представления весов и смещений.
- Производная  $C$  по  $w$  или  $b$  может быть вычислена с использованием частных производных  $C$  по отдельным весам или смещениям.
- Условие завершения выполняется, как только функция потерь минимизируется.

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

**Таблица 1** – Значения лингвистических параметров

Наименование параметра	Лингвистические переменные
------------------------	----------------------------

	низкое	нормальное	высокое
<b>Входные переменные</b>			
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
<b>Выходные переменные</b>			
Мощность, развиваемая ДДВС $y$	Слабая	Нормальная	Высокая



**Рисунок 5** – Результаты моделирования ДДВС 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.

### **Позиционное управление системой охлаждения ДВС с применением элементов искусственного интеллекта**

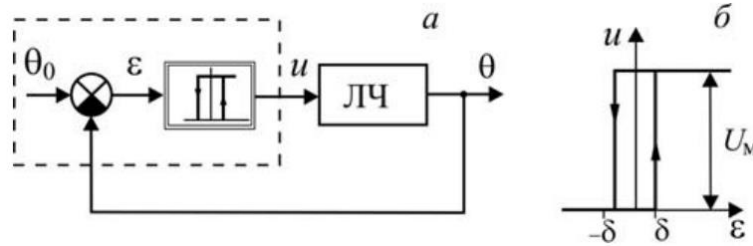
В этой части работы представлен системный подход к охлаждению двигателя и предлагается новая надежная модель управления, основанная на использовании дополнительного отбора тепла от системы охлаждения при контроле параметров окружающей среды, состояния компонентов системы охлаждения и возможности прогнозирования 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 условию 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  $\Theta$  как температура охлаждающей жидкости.



**Рисунок 6** – Система автоматического регулирования с релейным элементом  
а - структурная схема системы; б – статические характеристики релейного элемента.

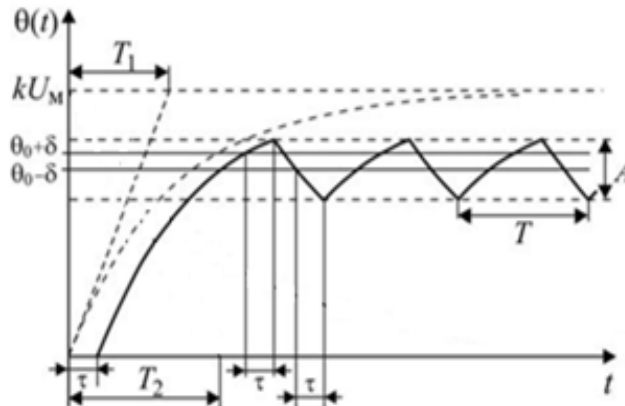
Если на вход релейного элемента подать величину отклонения  $\varepsilon$ , характеристика релейного элемента в статике описывается выражением.

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

Для релейного регулятора параметрами настройки являются величина  $\delta$ , 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:

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

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



**Рисунок 7** – Релейное регулирование температурой теплоносителя.

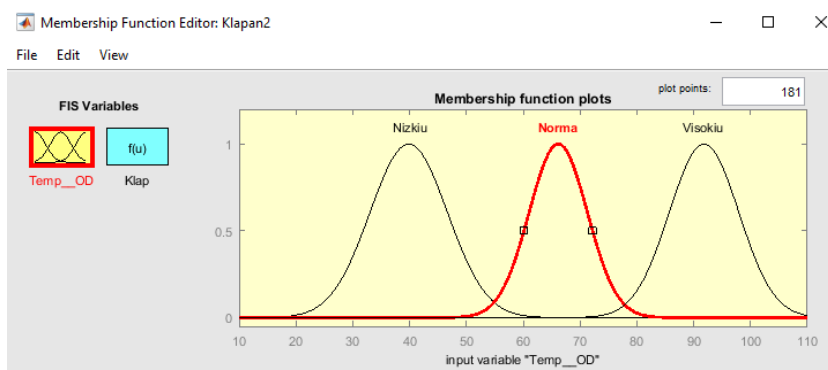
Элемент охлаждения, подключенный в систему охлаждения, управляется с помощью реле, на которое подается напряжение, равное  $U_M$ . Изменение температуры начинается с момента времени  $t = \tau, T_2 = T_1 + \tau$  так как, объект управления обладает запаздыванием. Когда температура охлаждающей жидкости достигает значения  $\theta = \theta_0 + \delta$  подключается дополнительный элемент охлаждения к  $U_M$ . Существует тепловая инерция объекта, которая является причиной некоторого возрастания температуры в течении времени  $\tau$ , а затем начнет 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.

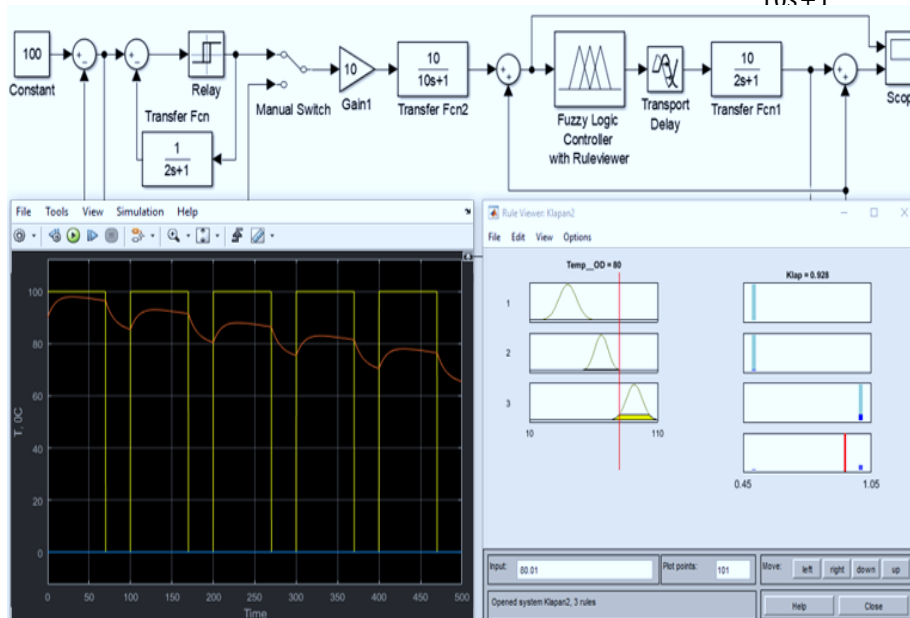
Формализация поставленной задачи предполагает определения входных воздействий и выходных параметров технического объекта, затем сопоставляя термы с конкретными физическими переменными выбирают, переменные управления в виде лингвистических переменных.

Для получения количественных значений каждой выходной переменной, которое обычно используется специальными устройствами, внешними по отношению к системе нечеткого вывода используется процесс дефаззификации.



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

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

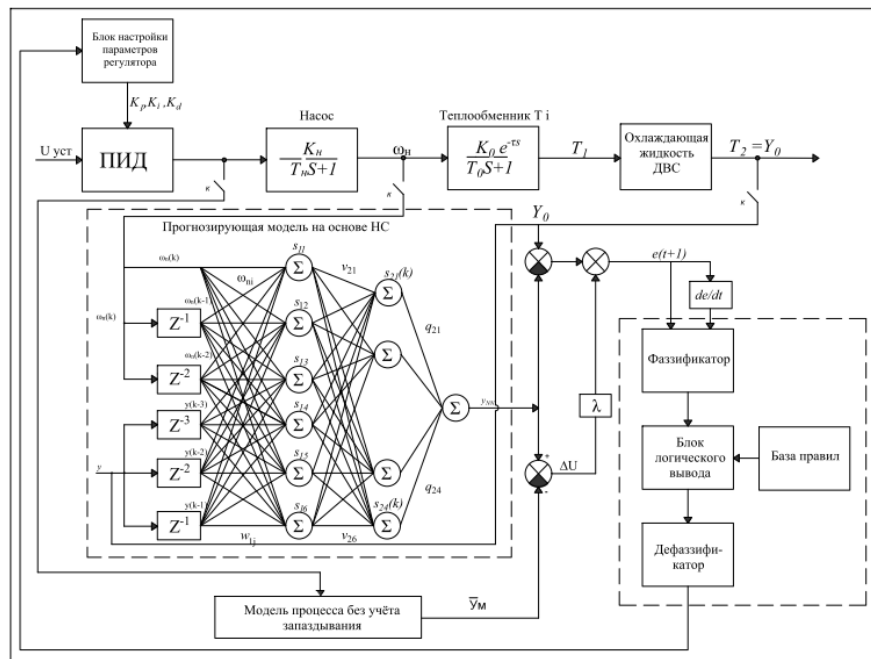


**Рисунок 9** – Схема моделирования нечеткого регулирования температуры системы охлаждения двигателя с релейным регулятором

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

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.



**Рисунок 10** – Система принятия решения с прогнозирующей моделью. Контроллер прогнозирования на основе нейронной сети (NN), использует нейросетевую модель управляемого объекта для прогнозирования будущих показателей значений ошибки управления на основе обучения проведенных сигналов. Прогнозы используются процедурой численной оптимизации для определения управляющего сигнала, который минимизирует ошибку на заданном интервале:  $N_2 N_u$ .

$$E(k) = \sum_{j=N_1}^{N_2} (y_o(k+j) - y_m(k+j))^2 + \lambda \sum_{j=1}^{N_u} \Delta u(k+j-1) \quad (30)$$

где  $N_1$ ,  $N_2$  и  $N_u$  - горизонты прогнозирования и управления, соответственно, по которым оцениваются ошибка отслеживания и приращения управления, а  $k$  - время в дискретной временной области. Параметр  $\lambda$ , представляет собой вклад приращений управления в критерий эффективности,  $u_{уст}$  - опорный сигнал,  $y_m$  - ответ модели NN, а  $\Delta u$  - последовательность будущих приращений управления, которые должны быть рассчитывается в процедуре оптимизации. Связи со сложностью определения параметра  $\lambda$  оптимизационными методами, уравнение (3.5) представим в следующей форме:

$$E(k) = \sum_{j=1}^{N_2} y_{op}(k+j) - y_{NN}(k+j) + \lambda \Delta u(k+j) \quad (31)$$

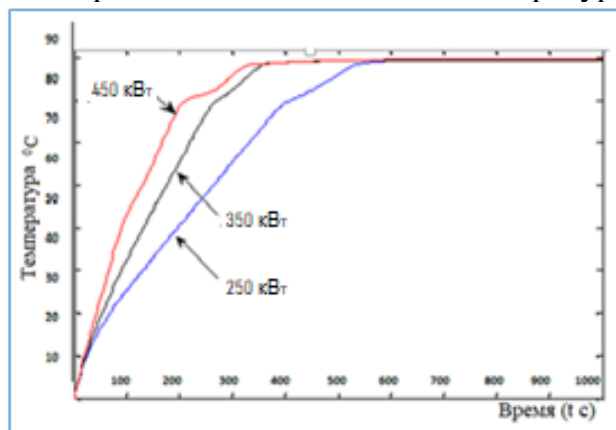
где  $\lambda = y_m(k+j) - y_{NN}(k+j)$  - формируемое за счёт модели процесса без учёта запаздывания.

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 входа 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 контроллера для управления температурой охлаждающей жидкости при трех развиваемых двигателем мощностях. Заданное значение составляет 85 °С. Время установления меньше для более низких мощностей при заданных значениях температуры



**Рисунок 11** – Работа нечеткого регулятора для разных мощностей двигателя

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

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:

$$Q_{\text{ож}} = f(G_{\text{ож}}, T1, T2, c_p) \quad (32)$$

где  $G_{\text{ож}}$ , – расход ОЖ [кг/ч],  $T1$ - температура ОЖ на входе в радиатор [°С],  $T2$  - температура ОЖ на выходе из радиатора [°С],  $c_p$  – теплоемкость ОЖ [кДж/(кг °С)].

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

$$Q_{\text{ож}}^* = c_p(G_{\text{ож}} \pm \Delta G_{\text{ож}})[(T2 \mp \Delta T2) - T1] \quad (33)$$

Здесь температура ОЖ на входе радиатора переменна и является функцией расхода ОЖ. Уравнение (33) описывает контур после воздействия возмущающих факторов на систему охлаждения. Уравнения, системы охлаждения при переходе из установившегося стационарного температурного режима к нестационарному описываются:

$$Q_{\text{ож}} = c_p G_{\text{ож}} (T2 - T1) \quad (34)$$

$$Q_{\text{ож}}^* = c_p(G_{\text{ож}} \pm \Delta G_{\text{ож}})[(T2 \mp \Delta T2) - T1]. \quad (35)$$

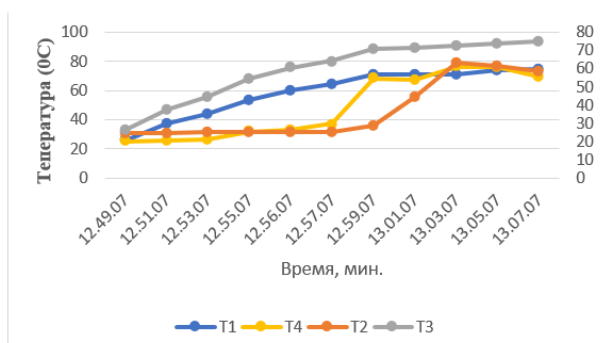
Исследования проводились на стенде, разработанный автором на кафедре «Автоматизация технологических процессов и производств».

Стенд создан на базе двигателя ВАЗ 2101, 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.



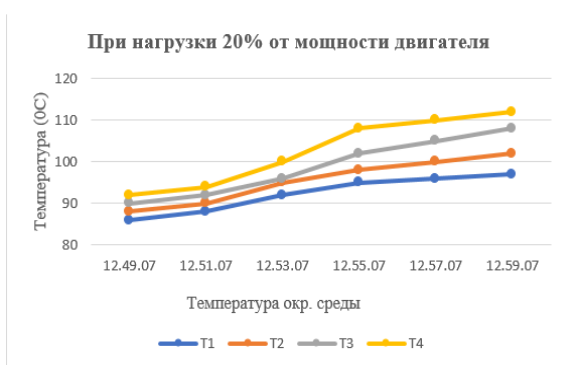


запаздыванием, чем температура рубашки цилиндров. По виду графиков можно установить, что время запаздывания составляет 6 мин., время установившегося значения температуры двигателя составляет 14 мин. Эксперимент проводился при температуре окружающей среды 25.6<sup>0</sup>С. Вентилятор ВВ был отключен.

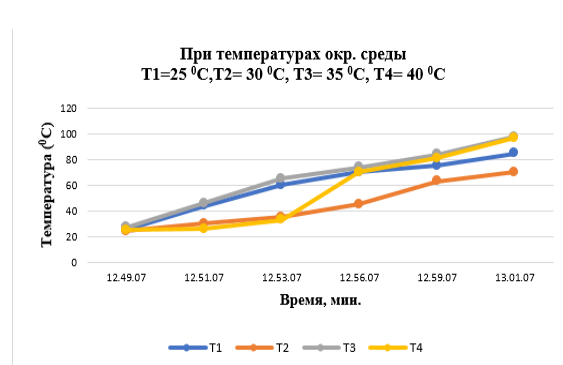


**Рисунок 14** – Работа двигателя в холостом режиме

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



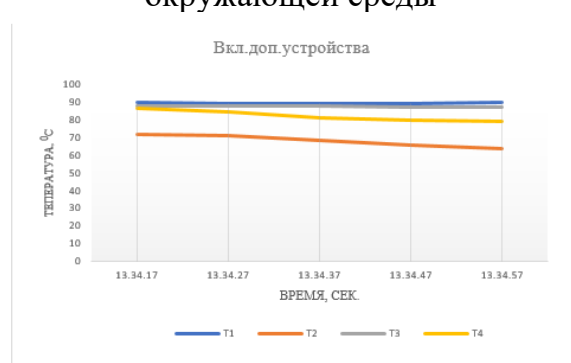
**Рисунок 15** – Работа двигателя при 20% нагрузке



**Рисунок 16** – Работа двигателя при различных температурах окружающей среды



а)



б)

**Рисунок 17** – Работа двигателя при включении дополнительного устройства

На графиках рисунка 16, при подаче на двигатель, 20 % нагрузки наблюдается завышение уровня рабочей температуры двигателя. Время установившегося значения температуры двигателя составляет 6 мин. установившегося значения температуры двигателя составляет 14 мин. Вентилятор бытовой работал при самых

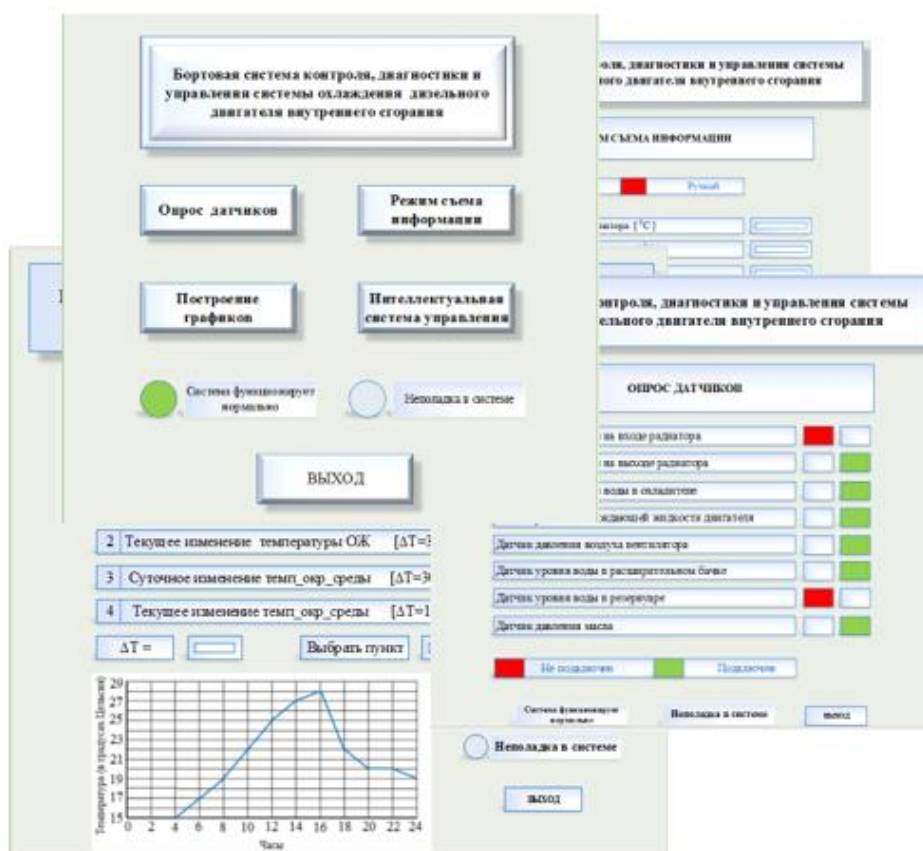
маленьких оборотах. На рисунке 16 приведены графики изменения температуры двигателя при различных температурах окружающей среды.

На графиках рисунка 17 показаны результаты, использования дополнительного устройства охлаждения при различных масштабах времени. Графики показывают, как резко падает температура рубашки двигателя и радиатора после открытия дополнительного устройства.

При максимальной температуре  $T > 100^{\circ}\text{C}$  двигателя произведено подключение дополнительного устройства, а) при шаге по времени равной 2 мин., б) при шаге по времени равной 10 сек.

Надо отметить, что 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 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 с какого, либо датчика. При этом система переходит под управление интеллектуальной системы до устранения неполадки. Затем система переходит в нормальный режим работы.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЯ**

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

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

3. Установлено, что ряд исследований направлены на использовании дополнительного оборудования в системе охлаждения – электровентиляторов, опрыскивателей радиатора, а также применение других дополнительных элементов 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 экспериментального исследования работы двигателя под нагрузкой, разработана схема с 3-х фазным асинхронным двигателем, подключенным к коробке

передач, который эксплуатируется в генераторном режиме с заданными нагрузками [9-А, 14-А].

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

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

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

### *Публикации в материалах научных конференций:*

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

[12 – А]. **Зиёев Ш.Ш.** Управление температурой теплоносителя в системе охлаждения двигателей внутреннего сгорания / Ш.Ш. Зиёев, Н.И. Юнусов, С.А. Махмадов, Ш.Ё. Холов // Материалы Международной научно-практической конференции «Применение информационно-телекоммуникационных технологий в создании электронного правительства и индустриализации страны» 2020г. стр. 14-19.

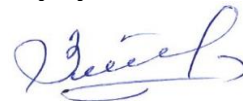
[13 – А]. **Зиёев Ш.Ш.** Исследование влияния на переходный процесс САР постоянного времени дополнительного устройства охлаждения дизельного ДВС / Ш.Ш. Зиёев, Н.И. Юнусов, Ш. Амиршоев, М.К. Оева // Материалы республиканской научно-практической конференции “Наука – основа инновационного развития” Таджикский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

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



**ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН  
ДОНИШГОҶИ ТЕХНИКИИ ТОҶИКИСТОН  
БА НОМИ АКАДЕМИК М. С. ОСИМӢ**

**Бо ҳуқуқи дастнавис**



УДК 622.684:621.43.629

**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  
ихтисоси **05.13.11** - «Таъминоти математикӣ ва нармафзории мошинҳои  
ҳисоббарорӣ, муҷтамаҳо ва шабакаҳои компютерӣ»



Қор дар кафедраи автоматонии равандҳои технологӣ ва истеҳсолоти Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М. С. Осимӣ иҷро шудааст

**Роҳбари илмӣ:** **Юнусов Низомиддин Исмоилович**, номзоди илмҳои техникӣ, дотсенти кафедраи «Автоматонии равандҳои технологӣ ва истеҳсолот» ДТТ ба номи акад. М. С. Осимӣ

**Муқарризони расмӣ:** **Илолов Мамадшо**, доктори илмҳои физикаю математика, профессор мудири шӯбаи моделсозии математикии протсессҳои динамикии Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои нави Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

**Калилов Маруф Махмудович**, номзоди илмҳои физикаю математика, дотсенти кафедраи Информатика ва технологияи информатсионии Донишгоҳи Славянии Россия ва Тоҷикистон

**Ташкилоти пешбар:** Донишгоҳи Аграрии Тоҷикистон ба номи Шириншоҳ Шохтемур

Ҳимояи диссертатсия «14» юни соли 2024 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 академикҳо Раҷабовҳо, 10, толори конфронсҳо баргузор мегардад.

Бо диссертатсия ва автореферат дар сомонаи Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ (<https://web.ttu.tj/ru/elonho/76>) ва дар китобхонаи донишгоҳ бо нишони 734042 ш. Душанбе, хиёбони академикҳо Раҷабовҳо, 10 шинос шудан мумкин аст.

Автореферат «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ соли 2024 фиристода шуд.

Котиби илмии  
Шӯрои диссертатсионӣ,  
номзоди илмҳои техникӣ, дотсент



Султонзода Ш.М.

## ТАВСИФИ УМУМИИ КОР

**Мубрамияти мавзӯи таҳқиқот.** Омилҳои муайянкунанда, ки ба истифодабарии техникаи воситаи нақлиёт таъсир мерасонад, қори боэтимод ва устувори муҳаррики он мебошад. Имрӯз ба муҳаррикҳои дарунсӯз (МДС) талаботҳои саҳт гузошта мешаванд – онҳо бояд иқтидори баланд ва ҳамзамон сарфакорӣ, эътимодноқӣ ва устуворӣ дошта бошанд. Барои таъмини речаҳои гармидиҳии 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 обии Роғун, ки дар минтақаи баландкӯҳи Ҷумҳурии Тоҷикистон ҷойгир аст, муҳим аст. Маълум аст, ки дар ин минтақаҳо ҳаво ҳолӣ аст, дар ҳоле ки дар фасли тобистон, вақте ки ҳарорат ба ҳадди аксар мерасад ва ҳаво ҷанги зиёд дорад омилҳое, ки ба речаҳои хунуккунии муҳаррикҳои дарунсӯз таъсири манфӣ мерасонанд, ба паст шудани самараноқӣ ва эътимодноқии қори агрегатҳои мошини боркаш оварда мерасонанд.

Дар соҳаи рушди нақлиёт ва табил додани кишварамон ба кишвари транзитӣ дар Стратегияи миллии рушди Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2030 ва Паёми Асосгузори сулҳу ваҳдати миллии-Пешвои миллат, Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон ба Маҷлиси Олии Ҷумҳурии Тоҷикистон вазифаи таъмини қори самаранокии нақлиёт ва инфрасохтори нақлиётӣ, ки ба рушди иқтимоӣ иқтисодии минтақаҳои кишвар мусоидат менамояд, гузошта шудааст.

Дар қор роҳҳои паст қардани ҳарорати моеъи хунуккунанда тавассути истифодаи унсӯри иловагии хунуккунӣ дар асоси технологияҳои компютери муосир, назарияи мантиқи ноаниқ ва системаҳои қабули қарорҳои шабақаи нейронӣ, қори муътадили системаи хунуккунии муҳаррики дарунсӯзи дизелӣ таъмин қарда мешавад.

**Мақсади қори диссертатсионӣ** - баланд бардоштани сатҳи муътадилсозии речаҳои ҳарорати системаи хунуккунии муҳаррикҳои мошинҳои боркаш мебошад, ки ба сарфаи сӯзишворӣ, қам қардани фарсудаҳои қисмҳои муҳаррик, ки ба гармидиҳии ҳарорати баланд дучор мешаванд, имқон медиҳад ва аз паст шудани қувваи муҳаррикҳои мошинҳои дар шароити вазнин қоркунанда пешгирӣ мекунад, самаранокии истифодаи онҳо ба таври назаррас аз қониби системаи хунуккунӣ муайян қарда мешавад. Дар ин ҳолат, муътадилсозии режими ҳарорат бо истифодаи унсӯри иловагӣ ба даст оварда мешавад, ки имқон медиҳад ҳарорати моеъи хунуккунӣ бо истифода аз технологияи нейроноаниқ, ки дар асоси заминаи дониши аз қониби системаи экспертӣ таҳияшуда қарор қабул мекунад, зуд идора қарда шавад.

**Ҳадафҳои таҳқиқот.** Барои ноил шудан ба ҳадафи гузошташуда дар қор вазифаҳои зерин ҳал қарда мешаванд:

- бо дарназардошти шароити иқлимӣ ва табиӣ минтақаҳои кӯҳии Ҷумҳурии Тоҷикистон, аз қумла пастубаландшавии фишор ва ҳарорати баланди ҳаво, хусусиятҳои системаи хунуккунии дизелии МДС-ро таҳқиқ намудан;
- таҳқиқи речаҳои ҳароратии МДС – и дизелӣ ҳангоми тағйироти ногаҳонии ҳароратии муҳити атроф;
- таҳияи модели ташҳиси ҳолати таҷҳизоти хунуккунӣ дар муҳити Fuzzy Logic toolbox баътаи барномаҳои барномавии Matlab / Simulink;
- таҳқиқоти таҷрибавии речаҳои динамикии системаи хунуккунии МДС – и дизелӣ бо истифодаи зеҳни сунъӣ;
- эҷоди интерфейси қорбар, системаи назорати бортӣ, ташҳис ва идоракунии системаи хунуккунии МДС.

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

**Методҳои таҳқиқоти.** Барои назорат ва идоракунии системаи хунуккунӣ принципҳои ҳулосаи нодақиқ ва усули ташкилотҳои шабақаи нейронии моделҳои объекти таҳқиқшаванда истифода мешаванд.

## **НАВОВАРИИ ИЛМИИ РИСОЛА:**

- роҳҳои татбиқи вазифаи ташхис, пешгӯӣ ва муътадилсозии речаи ҳарорати МДС – и дизелӣ дар асоси принципҳои мантиқи нодақиқ ва технологияҳои шабакаи нейронӣ пешниҳод карда шудааст;
- системаи интеллектуалии назорат ва арзёбии параметрҳои системаи хунуккунии МДС – и дизелӣ таҳия шудааст;
- муайян кардани параметрҳои асосии хусусияти афзояндаи муҳаррики сӯзиши дохилӣ пешниҳод карда шудааст;
- дастгоҳи хунуккунии иловагии МДС – и дизелӣ таҳия ва амалӣ карда шуд;
- системаи идоракунии ноаниқ равандҳои гармӣ дар системаи хунуккунии МДС – и дизелӣ бо назардошти унсури иловагӣ пешниҳод карда шуд;
- идоракунии мавқеии системаи хунуккунии МДС – и дизелӣ бо истифодаи унсурҳои зехни сунъӣ пешниҳод карда шуд;
- системаи назорати пешгӯӣ ва идоракунии системаи хунуккунии МДС – и дизелӣ дар асоси мантиқи ноаниқ ва модели шабакаи нейронӣ таҳия шудааст.

**Аҳамияти назариявӣ ва амалии кор.** Дар рисолаи илмӣ мувофиқи мақсадҳои гузошташуда мушкилоти илмӣ-амалӣ оид ба эҷоди асосҳои назариявӣ ва амалии автоматикунонии равандҳои хунуккунии системаи МДС – и дизелӣ бо истифодаи назарияи мантиқи ноаниқ ва технологияҳои шабакаи нейронӣ ҳал карда шуданд.

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

**Муҳимият ва асоснокии натиҷаҳои кор** бо санади татбиқи натиҷаҳои пажӯҳиш тасдиқ карда мешавад. Натиҷаҳои кор ба раванди таълимии ДТТ ба номи академик М. С. Осими чорӣ карда шуданд. патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон.

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

**Санҷиши натиҷаҳои кор.** Натиҷаҳои асосии кор дар Маводҳои конфронси III - и илмӣ-амалии III аспирантон, магистрантон ва донишҷӯён «Илм асосҳои рушди инноватсионӣ (шаҳри Душанбе, ТТУ 26-27 апрели соли 2018), дар Маводҳои конфронси байналмилалӣ илмӣ-амалӣ «Истифодаи технологияҳои иттилоотӣ-телекоммуникатсионӣ дар таъсиси ҳукумати электронӣ ва саноатукунонии кишвар» (шаҳри Душанбе, 2020). Натиҷаҳои кор дар семинарҳои илмӣ кафедраи «Системаҳои автоматикунонидашудаи коркарди иттилоот ва идоракунии» ДТТ ба номи а. академик. М. С. Осимӣ чандин маротиба баррасӣ шудаанд.

**Нашрҳои асосӣ.** Дар мавзӯи диссертатсия 13 мақола нашр шудааст, аз он 7 дар нашрияҳои тавсияшудаи ҚОА Ҷумҳурии Тоҷикистон, 1 патенти хурди ҶТ, 2 дар хориҷа 4 дар маводи конфронсҳои илмӣ:

**Саҳми шахсии муаллиф.** Вазифа дар якҷоягӣ бо роҳбари илмӣ гузошта шудааст. Муаллиф модели математикию функционалии системаи хунуккуни бо унсури иловагӣ тартиб дода, тадқиқоти таҷрибавии шароити гармии системаи хунуккуниро анҷом додааст. Коркарди системаи идоракунии ҳарорати муҳаррик дар асоси мантиқи нейроноаниқ иҷро шудааст.

**Соҳтор ва ҳаҷми рисолаи илмӣ.** Диссертатсия аз муқаддима, 4 боб, хулоса ва рӯйхати адабиёт аз 112 номгӯй иборат аст. Қисми асосии рисола дар 118 саҳифа оварда шудааст. Кор бо 60 расм ва 10 чадвал тасвир шудааст.

## **МУНДАРИҶАИ АСОСИИ КОР**

Дар муқаддима аҳамияти мавзӯи кори диссертатсионӣ асоснок карда мешавад, мақсад ва вазифаҳои пажӯҳиш, нағзониҳои илмӣ онҳо, аҳамияти амалии онҳо муайян

карда шудааст, маълумот дар бораи озмоиш ва ҷорӣ кардани натиҷаҳои пажӯҳиши илмӣ оварда шудааст.

Дар боби аввал тавсифи кори системаи хунуккунии МСД – и дизелӣ пешниҳод карда мешавад. Таҳлили сарчашмаҳои адабӣ гузаронида шуд, ки аз он бармеояд, ки речаи кори муҳаррик ба эътимоднокӣ, сарфакорӣ ва параметрҳои экологии он таъсири назаррас мерасонад. Таҳлили ҷустуҷӯҳои адабии патентӣ ва таҳқиқоти муаллифон аҳамияти таҳқиқоти илмии давомдорро, ки ба беҳтар кардани речаи хунуккунии МСД, навсозии сохтори системаҳои хунуккунӣ, беҳинасозии равандҳои танзими автоматии ҳолати гармии МСД дар шароити истифода равона шудаанд, тасдиқ мекунанд.

Мақсади системаи хунуккунии МСД – и дизелӣ таъмини ҳолати гармии беҳина ва устувори ҷузъҳо ва гиреҳҳои он мебошад. Чунин ҳарорат бояд беҳина ҳисобида шавад, ки дар он маводҳои қисмҳо хосиятҳои устувории худро нигоҳ медоранд, равшанҳои муҳаррикӣ қобилияти баланди равшанро нигоҳ медоранд.

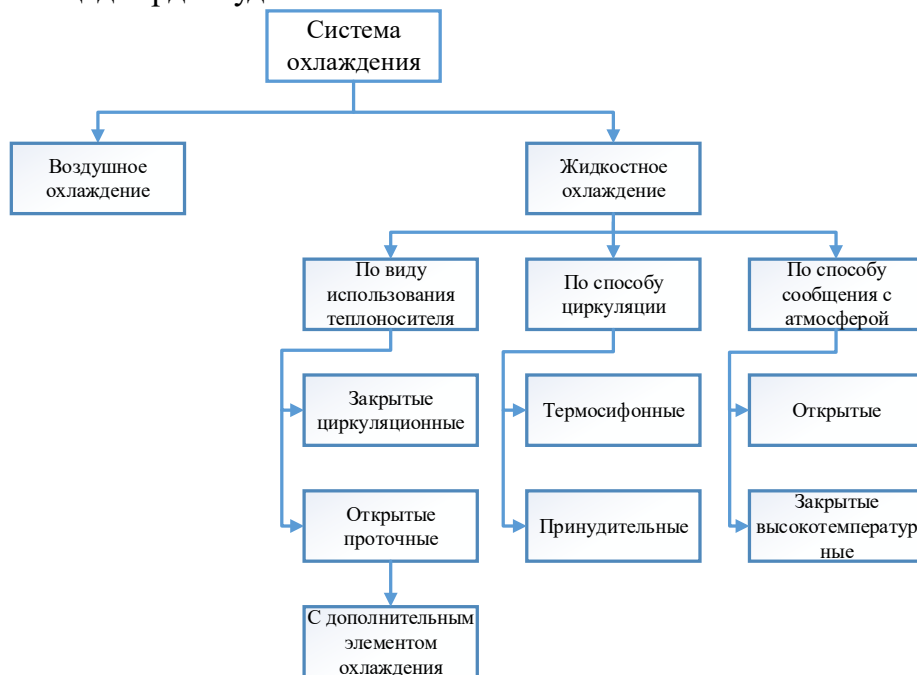
Пажӯҳиши мо ба тақмили системаҳои автоматии назорати ҳолати гармии оптималӣ ва назорати параметрҳои хунуккунии муҳаррик бо мақсади таъмини эътимоднокии онҳо ҳангоми зиёд кардани бори термомеханикӣ дар шароити мураккаби кӯҳӣ равона шудааст.

Ҳангоми истифодаи мошинҳои борбардор, ҳолатҳои шадид метавонанд ба амал оянд, вақте ки усулҳои анъанавии идоракунии вентилятор ва насос имкон намедиханд, ки ҳарорати зарурии муҳаррикро дар доираи иҷозатдодашуда нигоҳ доранд. Бо дастгоҳи барқӣ, ҳам насос ва ҳам вентилятор, метавон тағйироти таппандаи речаи суръати ҷараёни гармидиҳандаҳоро такрор кард, ки имкон медиҳад, ки ҳарорати моеъи хунуккунанда дар баромади радиатор кам карда шавад. Инро бо ёрии таҳияи алгоритмҳои идоракунии кори вентилятор ва насос амалӣ кардан мумкин аст, ки ба тағйирёбии таппандаи речаи суръати гармидиҳанда имкон медиҳад.

Гурӯҳи калони ихтироъкорон ва муҳаққиқон тарҳҳои гуногуни унсурҳои иловагиро истифода мебаранд, ки ба схемаҳои мавҷудаи системаи хунуккунӣ мутобиқ мешаванд. Ин унсурҳо ба речаҳои мавҷуда ва сарбории муҳаррик мутобиқ мешаванд.

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 МСД, ки ҳоло қабул шудааст, пешниҳод карда шудааст.



Расми 1 – Таснифи системаҳои хунуккунии МСД - и дизелӣ

Одатан, барои самаранок кор кардани дизел, нигоҳдории устувори ҳолати гармии онро таъмин кардан лозим аст, ки ба сарфаи сӯзишворӣ, пешгирии коҳиши қувваи барқ ва кам кардани фарсудаҳои ҷузъҳои гурӯҳи цилиндрӣ имкон медиҳад. Таъмини ҳарорати МСД бо системаи хунуккунии обии гардиши маҷбурӣ амалӣ карда мешавад. Системаҳои дорои унсури иловагии хунуккунӣ мавқеи алоҳидаро ишғол мекунад ва дар соҳаҳои махсус васеъ паҳн шудаанд.

**Боби дуюм** усулҳои таҳқиқи режимҳои ҳарорати МСД – и дизелӣ ва таҳияи модели математикии равандҳои мубодилаи гармӣ ва масса дар он вазифаи хеле мураккаб аст. Ин аз он сабаб аст, ки гармигунҷоиши унсурҳои, ки дар МСД - и дизелӣ гарм мешаванд, гуногун аст. Вазифаи боз ҳам мураккабтар моделсозии кори система бо унсури насбшуда, дар ин ҳолат дастгоҳи хунуккунии иловагии радиатор мебошад. Вазифа аз ҷиҳати он иборат аст, ки система чӣ гуна бо хориҷ кардани микдори иловагии энергияи гармӣ аз системаи хунуккунӣ кор мекунад.

**Муайян кардани параметрҳои хусусияти суръатбахшии муҳаррики дарунсӯз.**

Моделҳои МСД, ки дар шакли муодилаҳои дифференсиалӣ пешниҳод шудаанд, бо назардошти равандҳои термодинамикӣ ва кинематикӣ ва системаҳои ташкили омехтаҳо, инчунин гироншавии барқӣ хеле мураккаб мебошанд ва маълумоти зиёди ибтидоиро талаб мекунад ва ҳалли онҳо бо як қатор расмиҳои мураккаби ҳисобкунӣ алоқаманд аст. Аз ин рӯ, таҳияи усулҳои оддӣ мукамал барои арзбандии пешакии ҳолати МСД дар вақти воқеӣ тавачҷӯҳи муайяне дорад, масалан, таҳқиқ дар асоси хусусияти суръатбахшии МСД.

Тақризи хусусияти таҷрибавии суръатбахшанда бо моделҳои ҳаттӣ имкон медиҳад, ки параметрҳои динамикӣ, ба монанди вақти доимӣ ва коэффитсиенти ҳассосияти хусусияти суръатбахшии МСД, ки дар асоси онҳо ҳолати умумии МСД - и автомобилро бо роҳи муқоисаи ин параметрҳо бо арзишҳои меъёрии онҳо муайян кардан мумкин аст, зуд муайян карда шаванд.

Ҳангоми гузаронидани тартиби муайян кардани параметрҳои дар боло зикршудаи МСД ҳамчун таъсири вурудӣ ҳаҷми солярка ба цилиндраи МСД додасуда баррасӣ карда мешавад, ки дар навбати худ бо мавқеи педали газ, ки дар кабинаи автомобил ҷойгир аст, алоқаманд аст. Ҳамчун сигнали баромад массиви маълумот истифода мешавад, ки хусусияти суръатбахшии муҳаррики аз тахометри дар МСД насбшударо нишон медиҳад.

Барои речаи коркарди МСД модели математикии ҳаттӣ қабул карда шудааст, ки дар расми 2 оварда шудааст. Дар он операторҳои зерини модели умумии МСД қабул карда шудаанд: Оператори занҷири асосии интиқоли сигнал.

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

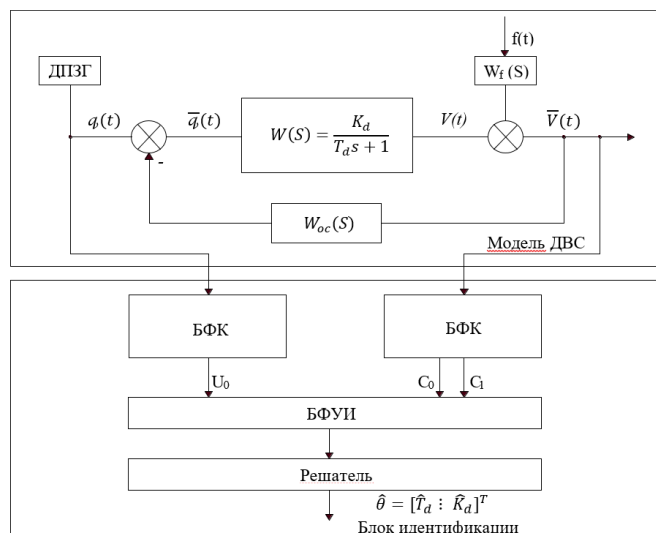
Оператори алоқии ҷавобӣ  $W_{oc}(S) = K_{oc}$  ва оператори таъсири ҳалалдоркунанда  $W_f(S) = K_f$ . Бо назардошти модели пешниҳодшуда, мо муодилаи динамикаи суръатбахшии МСД-ро дар шакли идоракунии дифференсиалии зерин менависем

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

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

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

$q^*(t)$  – функсияе, ки тағйироти мавқеи газро нисбат ба ҳомиши муайян мекунад.



**Расми 2** – Блок-схемаи сохтори системаи муайянкунии параметрҳои хусусияти идентификатсияи МДС

ДПЗГ - қосидаки (датчики) мавқеи раҳпӯшаки газ, БФК - блоки ташаккули коэффитсиентҳо, БФУИ - блоки ташаккули муодилаи идентификатсия, Решатель-асбоби ҳалли системаи муодилаҳои алгебравӣ.

Бо истифода аз усули модулятсияи интегралӣ, ки дар кафедраи мо таҳия ва васеъ истифода мешавад, нисбат ба муодилаҳои дифференциалӣ 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 ин ҷо  $\varphi(t, \tau)$ - ядрои оператори модулятсияи интегралӣ

Бо гирифтани ифодаи зерин:

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

Муодиларо дар шакли зерин ба даст меоварем:

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

$\{T_d^*, K_d^*\}$ - параметрҳои хусусияти суръатбахшии 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:

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

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

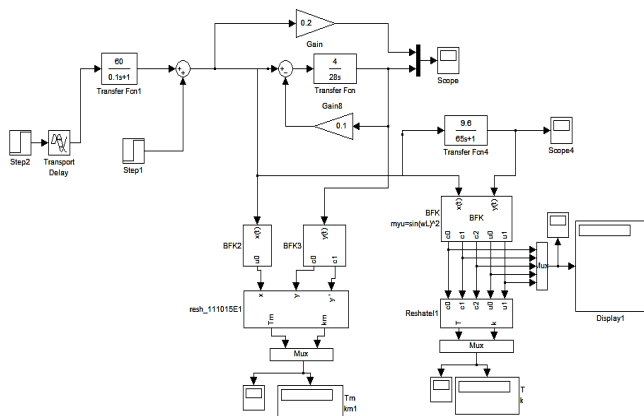
Дар ин ҳолат муодилаи идентификатсияро дар шакли векторӣ – матритсавӣ навиштан мумкин аст:

$[C_1^*(k) : U_1^*(k)] \begin{bmatrix} T_d^* \\ K_d^* \end{bmatrix} = C_0^*$  или  $\Omega(k) \theta = C_0^*$ , где  $\Omega(k) = [C_1^*(k) : U_0^*(k)]$ - матритсаи мушоҳида,  $\hat{\theta} = [\hat{T}_d^* : \hat{K}_d^*]^T$ - вектори параметрҳои номаълуми объект.

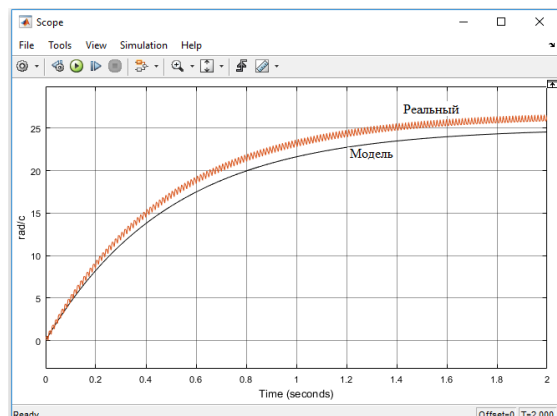
Бо истифодаи усули квадратҳои хурдтарин дар муодила, метавон вектори параметрҳои номаълуми хусусияти суръатбахшии МДС-ро дар асоси таносуби зерин арзёбӣ кард  $\hat{\theta} = (\Omega^T(k) \Omega(k))^{-1} \Omega^T(k) C_0(k)$ .

Арзёбии қобилияти кории системаи баррасишавандаи муайянкунии 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 суръатбахшии МДС бо дақиқии кофӣ муайян карда шаванд.

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



**Расми 3** – Схемай моделисозии системаи идентификатсияи параметрҳои хусусияти суръатбахшии МДС дар муҳити Matlab/Simulink



**Расми 4** – моделҳои воқеӣ (1) ва идентификатсияшудаи (2) хусусиятҳои таҳвили замони суръатбахшии МДС.

Системаи муайянкунии параметрҳои хусусияти идентификатсияи, метавонад ҳамчун арзёбии пешакии сифати кори муҳаррик ва инчунин дар варианти борти барои таҳлили ҷорӣ кори МСД истифода шавад.

### Системаи интеллектуалии идораи параметрҳои системаи хунуккунии МДС - и дизелӣ

Моделҳои математикии муҳаррикӣ аз адабиёт, дорои номуайянии параметрӣ ва сохторӣ мебошанд ва на ҳамеша равандҳои дар муҳаррик рухдодаро ба таври кофӣ инъикос мекунанд. Муҳаррики сӯзиши дарунӣ ҳамчун объекти идоракунии системаи ғайрисобити стохастикӣ мебошад.

Расман маҷмӯи номуайяни  $\tilde{A}$  ҳамчун маҷмӯи ҷуфтҳо ё наворҳои тартибдодашудаи шакл муайян карда мешавад:  $(x, \mu_{\tilde{A}}(x))$ , ки дар он  $x$  унсури баъзе маҷмӯи универсалӣ ё универсуми  $X$  аст,  $\mu_{\tilde{A}}(x)$ - функсияи мансубиятест, ки ба ҳар як элементи  $x \in X$  аз фосола рақами воқеӣ медиҳад, яъне ин функсия дар шакли инъикос муайян карда мешавад:

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

Дар ин сурат ифодаи  $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$  барои кадом  $x \in X$  маънии онро дорад, ки унсури  $x$  бешубҳа ба маҷмӯи номуайян  $\tilde{A}$  тааллуқ дорад, ва ифодаи  $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0$  маънии онро дорад, ки унсури  $x$  бешубҳа ба маҷмӯи номуайяни  $\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x))\}$  тааллуқ дорад.

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

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

Бояд муносибати нодақиқ сохта шавад, ки вазъияти соддашудаи ҷустуҷӯи норасоиро дар системаи хунуккунии муҳаррики дизелии сӯзиши дохилӣ муфассал тасвир мекунад. Бо ин мақсад, маҷмӯи  $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$  ва  $y$  - ро ҳамчун пешгуфтор ё сабабҳои вайроншавӣ баррасӣ мекунем, ки дар ҷадвали 1 оварда шудаанд.

Ҳолати махсуси системаҳои нодақиқи истехсолӣ системаҳои натиҷагирии нодақиқ мебошанд. Марҳилаҳои асосии натиҷагирии нодақиқ инҳоянд:

- ташаккули заминаи қоидаҳои системаҳои натиҷагирии нодақиқ. Дар он шартҳо ва ҳулосаҳо дар робита ба изҳороти нодақиқи забонӣ пешниҳод карда мешаванд.

- фаззификатсияи тағйирёбандаҳои воридотӣ, яъне ворид кардани нодақиқӣ. Муаррифии арзишҳо дар изҳороти нодақиқ.

- чамъбасти зершартҳо дар қоидаҳои нодақиқи маҳсулот. Ин тартиби муайян кардани дараҷаи ҳақиқати шартҳо аз рӯи ҳар як қоидаи натиҷагирии нодақиқ мебошад.

- фаъолсозӣ ё таркиби зерҳулосаҳои қоидаҳои нодақиқи маҳсулот, ё тартиби пайдо кардани дараҷаи ҳақиқати ҳар як зерҳулосаи қоидаҳои маҳсулоти нодақиқ. Дар ин ҳолат, арзиши тағйирёбандаи баромадии забоншиносии  $W_i$  дар ҳар як зергурӯҳ ҳамчун ҳалли муодилаҳои  $C_i = \mu(w_i)$  ( $\forall i \in \{1, 2, \dots, q\}$ ), ҷойгир аст, ки дар он  $q$  шумораи умумии зергурӯҳҳо дар пойгоҳи қоидаҳо мебошад.

- чамъ кардани ҳулосаҳои қоидаҳои нодақиқи маҳсулот.

- дефаззификатсияи тағйирёбандаҳои баромадӣ, ҳамчун роҳи ёфтани арзиши оддӣ (ғайри нодақиқ) барои ҳар як маҷмӯи баромадии забоншиносӣ  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_k\}$ , дар ин ҳолат 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 фаъоли маҳсулоти нодақиқ дар зерҳулосаҳо, ки дар онҳо баромади тағйирёбандаҳои забонӣ  $w_i$  мавҷуд аст.

Ҳалли конструктивии масъалаи муайян кардани баъзе вобастагӣ ё муносибате, ки тағйирёбандаҳои вуруд ва баромади моделро ба ҳам мепайвандад, аз таҳияи дастгоҳи махсуси математикӣ иборат аст. Ин дастгоҳ вучуд дорад ва онро шабакаҳои сунъии нейронӣ меноманд. Дар ин ҳолат, сохтан ва танзим кардани шабакаҳои нейронӣ тавассути омӯзиши онҳо дар асоси маълумоти мавҷуда ва дастрас амалӣ карда мешавад.

Қоидаҳои табдили сигналҳо аз рӯи модели математикии нейрон муайян карда мешаванд, ки онро дар шакли ифодаҳои таҳлилии зерин навиштан мумкин аст:

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

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

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

$b$ - арзиши ҷойивазкунӣ,  $S$ - натиҷаи чамъкунӣ,  $x_i$  - ҷузъи вектори вуруд ё сигнали вурудӣ ( $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ ),  $Y$ -сигнали барояндаи нейрон,  $n$ - шумораи вурудҳои нейрон,  $f$ - функсияи фаъолсозии (функсияи интиқол) нейрон, ки як навъ тағйирёбии ғайрихаттӣ мебошад.

Дар ҳар ҳолат:  $g_i, x_i, l \in R$ , ( $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ )  $x_i$  додаҳои вурудӣ. Онҳо метавонанд бузургҳои оддии скалярӣ ё векторҳои мураккабтар ё матритсаҳои бисёрҷониба бошанд.

$$x_i = a_i^{(1)}, i \in 1, 2, 3, 4 \quad (13)$$

Маҷмӯи аввали фаъолсозӣ  $a_i^{(1)}$  ба арзишҳои воридотӣ баробар аст. «Фаъолсозӣ» арзиши нейрон пас аз истифодаи функсияи фаъолсозӣ мебошад. Арзишҳои ниҳой дар нейронҳои пинҳонии  $z_1$  бо истифода аз вурудоти  $z_1$  – даромадҳои баркашида дар қабати 1 ва  $a^l$  фаъолшавӣ дар қабати  $L$  ҳисоб карда мешаванд. Барои қабати 2 муодилаи чунин хоҳад буд:

$$z^{(2)} = W^{(1)}x + b^{(2)} \quad (14)$$

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

$W^{(2)}$  – вазн дар қабати 2, ва  $b^{(2)}$  – ҷойивазкунӣ дар ин қабат. Фаъолсозии  $a^{(2)}$  бо истифода аз функсияи фаъолсозии  $f$  ҳисоб карда мешавад. Масалан, ин функсия  $f$



гайрихаттӣ аст (ба монанди сигмоид, ReLU ва тангенс гиперболай) ва ба шабака имкон медиҳад, ки намунаҳои мураккаби додаҳо омӯзанд. Параметрҳои онро барои қабати 2 дар шакли матритса пешниҳод мекунем. амалиётро ба ҳар қабати шабакаи нейронӣ татбиқ кардан мумкин аст.  $W^{(1)}$  – матритсаи вазнҳои андозанокӣ  $(n, m)$ , ки дар он  $n$  шумораи нейронҳои баромадӣ (нейронҳо дар қабати оянда) ва  $m$  шумораи нейронҳои воридотӣ (нейронҳо дар қабати қаблӣ) мебошад. Дар ҳолати мо,  $n = 2$  ва  $m = 4$ .

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

Дар ин ҷо рақами якум дар индекси поёнии ҳар кадоме аз вазнҳо ба индекси нейрон дар қабати оянда мувофиқат мекунад (дар ҳолати мо ин қабати дуҷуми пинҳон аст) ва рақами дуҷум ба индекси нейрон дар қабати қаблӣ (дар ҳолати мо, ин қабати вуруд аст).  $x$  вектори вуруди андоза  $(m, 1)$  мебошад, ки дар он  $m$  шумораи нейронҳои воридотӣ мебошад. Дар ҳолати мо,  $m = 4$ .

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

$b^1$  – ин вектори ҷойивазкунии андозанокӣ аст  $(n, 1)$ , дар инҷо  $n$  – шумораи нейронҳо дар қабати ҷорӣ. Дар ҳолати мо  $n = 2$ .

$$b^{(1)} = [b_1^{(1)} b_2^{(1)}]^T \quad (17)$$

Муодила барои  $z^{(2)}$  – ро дунбол карда, мо метавонем таърифи дар боло овардашудаи определения  $W^{(1)}$ ,  $x$  ва  $b^{(1)}$  – ро барои гирифтани муодилаи  $z^{(2)}$  истифода барем:

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

Қисми охири шабакаи нейрон қабати баромад аст, ки арзиши пешбинишударо медиҳад. Дар мисоли мо, он ҳамчун як нейрон ба таври зерин ҳисоб карда мешавад:

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

Арзёбии байни  $s$  ва  $y$  тавассути функсияи талафот сурат мегирад. Он метавонад ҳамчун хатои миёнаи квадратӣ оддӣ бошад ё ҳамчун энтропияи салибӣ мураккабтар бошад. Мо ин функсияи талафотро  $C$  меномем ва онро ба таври зерин нишон медиҳем:

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

дар ин ҷо  $cost$  метавонад ба хатои миёнаи квадратӣ, энтропияи салибӣ ё ягон функсияи талафоти дигар баробар бошад.

Дар асоси арзиши  $C$ , модел «медонад», ки параметрҳои онро то чӣ андоза танзим кардан лозим аст, то ба арзиши баромади интизории  $y$  наздик шавад. Ин бо усули паҳншавии баръакс хатогӣ рух медиҳад.

Паҳншавии баръакс ба кам кардани функсияи талафот тавассути ислоҳи вазнҳо ва тағйирёбии шабака равона карда шудааст. Дарачаи ислоҳот бо градиентҳои функсияи талафот нисбат ба ин параметрҳо муайян карда мешавад.

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

Натиҷаи функсияи  $C$  ҳассосияти тағйирёбии арзиши функсияро (арзиши баромад) нисбат ба тағйирёбии аргументи  $x$  (арзиши воридотӣ) инъикос мекунад. Ба ибораи дигар, ҳосилшуда ба мо мегӯяд, ки  $C$  ба кадом самт ҳаракат мекунад.

Барои як вазни  $(W_{jk})$  градиент баробар аст:

$$\frac{\partial c}{\partial w_{jk}^l} = \frac{\partial c}{\partial z_j^l \partial w_{jk}^l} \quad (\text{Қоидаи занҷирӣ})$$

$$z_j^l = \sum_{k=1}^m W_{jk}^l a_k^{l-1} + b_j^l \quad (m - \text{шумораи нейронҳо дар қабаи } l - 1)$$

$$\frac{\partial z_j^l}{\partial w_{jk}^l} = a_k^{l-1} \quad (\text{Ҳисобкунии ҳосилшуда})$$

$$\frac{\partial c}{\partial w_{jk}^l} = \frac{\partial c}{\partial z_j^l} a_k^{l-1} \quad (\text{Арзиши ниҳой})$$

Маҷмӯи шабеҳи муодилаҳоро ба  $(b_j^l)$  низ татбиқ кардан мумкин аст.

Қисми умумӣ дар ҳарду муодила аксар вақт «градиенти маҳаллӣ» номида мешавад ва ба таври зерин ифода карда мешавад:

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

То расидан ба меъёри қатъкунӣ формулаи зер иҷро карда мешавад:

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

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

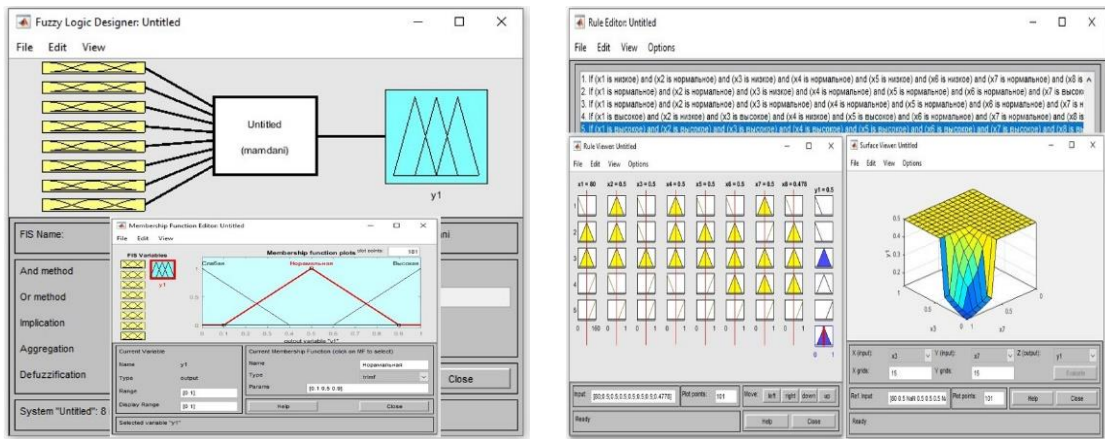
Алгоритми беҳинасоии вазнҳо ва ҷойивазкуниҳо (инчунин пастшавии градиентӣ номида мешавад). Арзишҳои ибтидоии  $w$  ва  $b$  ба таври тасодуфӣ интихоб карда мешаванд.

- Тета ( $\theta$ ) – ин суръати омӯзиш аст. Он таъсири градиентро муайян мекунад.
- $w$  ва  $b$  – намоиши матритсавии вазнҳо ва ҷойивазкуниҳо.
- Ҳосилаи  $C$  аз рӯи  $w$  ё  $b$  метавонад бо истифода аз ҳосилаҳои хусусии  $C$  аз рӯи вазнҳои алоҳида ё ҷойивазкунӣ ҳисоб карда шавад.
- Шарти анҷом вақте иҷро мешавад, ки функсияи талафот кам карда шавад.

Моделҳои нодақиқи системаи сӯзишвории МСД бо истифода аз MATLAB/Simulink таҳия шудааст. Дар ин модел, тағйирёбандаҳои вуруд аз MATLAB ба муҳити корӣ интиқол дода шудаанд. Фазификатсия мувофиқи параметрҳои, ки ба кори системаи сӯзишворӣ (ҷадвали 1) ва намуди функсияи мансубият таъсир мерасонанд, гузаронида шуд. Натиҷаҳои моделсозӣ дар расми 5 оварда шудаанд.

**Ҷадвали 1** – Арзиши параметрҳои лингвистикӣ

Номи параметр	Тағйирёбандаҳои лингвистӣ		
	паст	меъёрӣ	баланд
Тағйирёбандаҳои вурудӣ			
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
Ҳарҷоти 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 баромадӣ			
Иқтидори тақвиятдодаи ДМСД $y$	Суст	Меъёрӣ	Баланд



**Расми 5** – Натиҷаҳои моделisasiи ДМСД дар бастваи Fuzzy Logic Toolbox - и системаи MATLAB

Дар боби сеюми рисолаи илмӣ тахияи системаи идоракунии раванди хунуккунии МСД – и дизелӣ дар асоси мантиқи нодақиқ ва модели шабакаи нейронӣ пешниҳод карда шудааст.

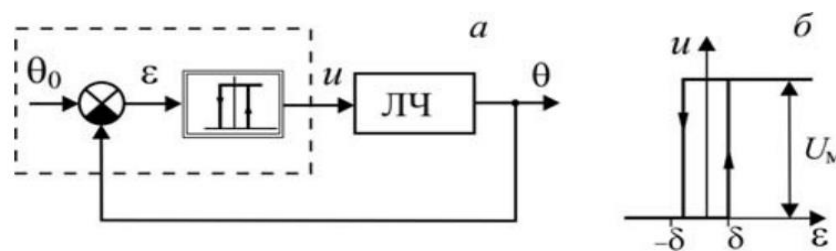
### Идоракунии мавқеи системаи хунуккунии МСД бо истифодаи унсурҳои зеҳни сунъӣ

Дар ин қисми кор равиши системавӣ ба хунуккунии муҳаррик пешниҳод карда мешавад ва модели нави бозътимоди 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 оқилона дар асоси ҳолати унсурҳои системаи хунуккунии асос ёфтааст, аз ин рӯ истифодаи модели муҳаррик ва системаи хунуккуниро талаб мекунад.

Схемаи системаи релеи дар шакли операторӣ-сохторӣ аз унсури релеи думавқеӣ РЭ иборат аст. Хусусияти статикӣ унсури релеи думавқеӣ бо гистерезис ва қисми хаттӣ ЛЧ дар расми 6 оварда шудааст:

- ба даромадгоҳи РЭ бузургии дода мешавад, ки аз инҳирофи  $\varepsilon = \theta_0 - \theta$  иборат аст.
- тағйирёбандаи воридотӣ бо бузургии танзимшавандаи  $\Theta$  ҳамчун ҳарорати моеъи хунуккунии пешниҳод карда шудааст.



**Расми 6** – Системаи танзими автоматӣ бо унсури релеи а - схемаи сохтории система; б - хусусиятҳои статикӣ унсури релеи.

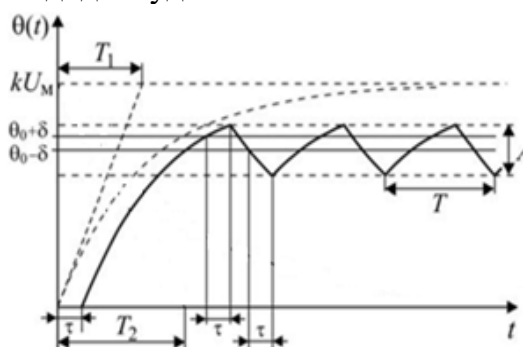
Агар ба вуруди унсури релей бузургии инхирофи  $\varepsilon$  дода шавад, хусусияти унсури релей дар статика бо ифодаи зер тавсиф карда мешавад.

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

Барои танзимгари релеии параметрҳои танзимот бузургии  $\delta$ , ки паҳнои ҳалқаи гистерезисро муайян мекунад ва арзиши максималии  $U_M$  дар рафти рэ мебошанд. Системаи хунуккунӣ, ҳамчун объекти танзимкунӣ, метавонад бо системаи муодилаҳои дифференсиалии тартиби аввал бо доимии гуногуни вақт дар фосилаҳои гармидиҳӣ ва хунуккунӣ тасвир карда шавад:

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

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



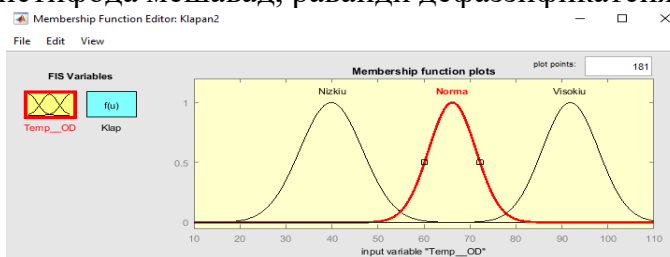
**Расми 7** – Танзими релеии ҳарорати хунуккунанда.

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 объекти 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 вучуд дорад, ки сабаби афзоиши ҳарорат дар тӯли вақти  $\tau$  мебошад ва сипас ба пастшавӣ оғоз мекунад.

Барои баланд бардоштани сифат ва самаранокии идоракунии речаи ҳарорат дар системаи хунуккунии MSD, мо истифодаи дастгоҳи идоракунии нодақиқро пешниҳод кардем, ки таъсири параметрҳои беназоратро ба объект ба назар мегирад.

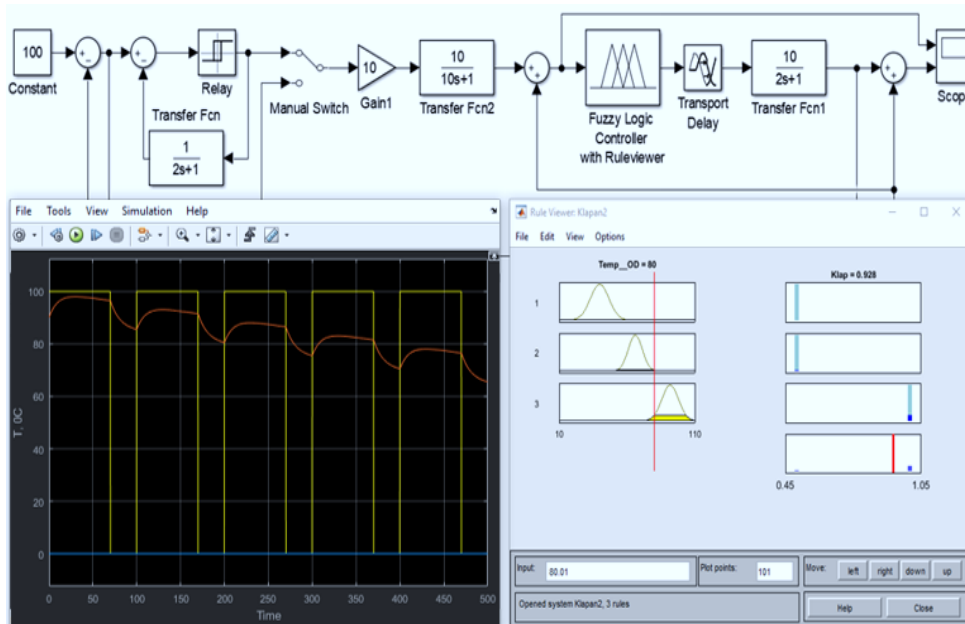
Расмикунони вазифаи гузошташуда муайян кардани таъсирҳои вурудӣ ва параметрҳои баромадии объекти техникро пешниҳод мекунад, сипас бо муқоисаи истилоҳҳо бо тағйирёбандаҳои мушаххаси физикӣ тағйирёбандаҳои идоракуниро дар шакли тағйирёбандаҳои лингвистикӣ интихоб мекунад.

Барои гирифтани арзишҳои миқдории ҳар як тағйирёбандаи баромадӣ, ки одатан аз ҷониби дастгоҳҳои махсус, ки нисбат ба системаи натиҷагирӣ нодақиқ беруна мебошанд, истифода мешавад, раванди дефазификатсия истифода мешавад.



**Расми 8** – Графики функцияи мансубият барои истилоҳҳои тағйирёбандаи забонӣ «ҳарорати моеъи хунуккунӣ»

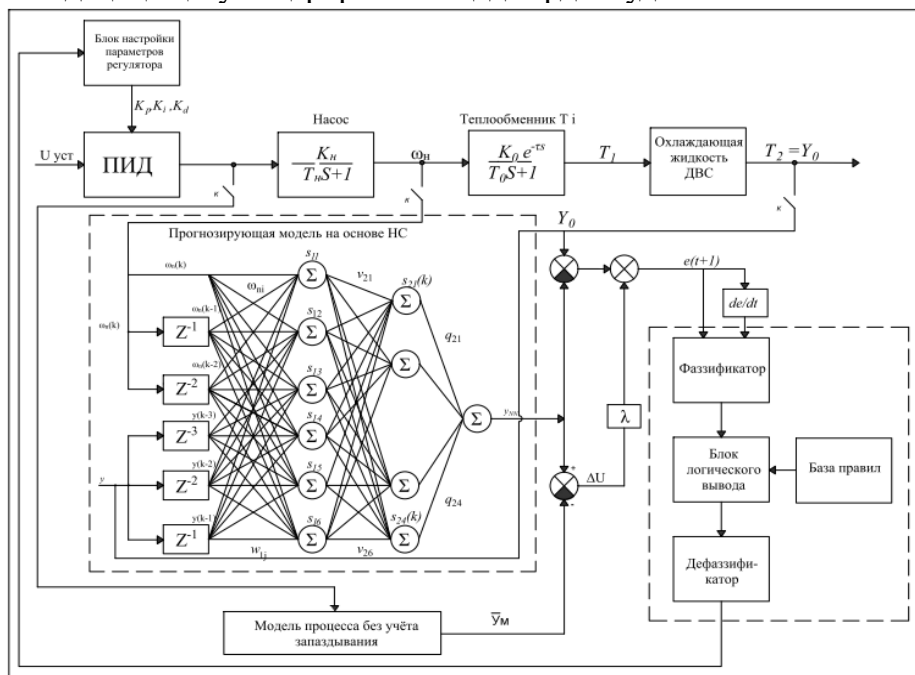
Схемаи идоракунии системаи хунуккунӣ бо истифодаи контроллери нодақиқ, ки дар бастаи барномаҳои Matlab/Simulink татбиқ шудааст, дар расми 9 оварда шудааст. Дар осиллограмма пастшавии ҳарорати моеъ дар баромади радиатор ҳангоми интиқоли он тавассути ДУ, бо функцияи интиқоли  $\frac{10}{10s+1}$  равшан ба назар мерасад



**Расми 9** – Схемаи моделисозии танзими нодақиқи ҳарорати системаи хунуккунии муҳаррик бо танзимгари релей

**Дар боби 4** истифодаи технологияи зеҳни сунъӣ барои ҳалли масъалаи мӯътадилсозии речаи ҳарорати системаи хунуккунии ДМСД баррасӣ карда мешавад

Барои қабули автомати қарор аз ҷониби система бо назардошти ҳолати техникий унсурҳои системаи хунуккунӣ, инчунин ҳосиятҳои муҳити атроф системаи мӯътадилсозии ҳарорати хунуккунанда бо модели пешгӯикунандаи шабакаи нейронӣ ва контроллери нодақиқи қабули қарор пешниҳод карда шудааст.



**Расми 10** – Системаи қабули қарор бо модели пешгӯикунанда

Контроллёри пешгӯии шабакаи нейронӣ (NN) модели шабакаи нейронии объекти идорашавандаро барои пешгӯии нишондиҳандаҳои ояндаи арзишҳои хатой идоракунӣ дар асоси омӯзиши сигналҳои гузаронидашуда истифода мебарад. Пешгӯиҳо бо тартиби беҳинасозии рақамӣ барои муайян кардани сигнали идоракунӣ истифода мешаванд, ки хатогиро дар фосилаи 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  $N_u$  - уфуқҳои пешгӯӣ ва идоракунӣ, мутаносибан, ки хатогии пайгирӣ ва афзоиши назоратро баҳо медиҳанд ва  $k$  вақт дар минтақаи вақти дискретӣ аст. Параметри- $\lambda$ , саҳми афзоиши идоракуниро дар меъёри самаранокӣ ифода мекунад,  $u_{уст}$  сигнали такягоҳ,  $y_m$  ҷавоби модели NN, ва  $\Delta u$  пайдарпаии афзоиши идоракунии оянда, ки бояд дар тартиби беҳинасозӣ ҳисоб карда шавад. Алоқаҳо бо мураккабии муайян кардани параметри  $\lambda$  бо усулҳои беҳинасозӣ, муодилаи (3.5) - ро дар шакли зерин муаррифӣ мекунем:

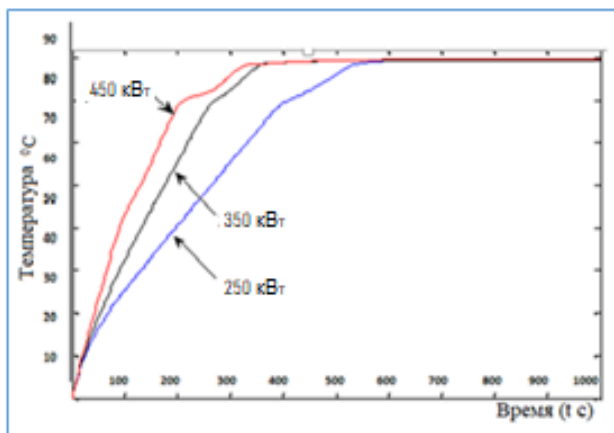
$$E(k) = \sum_{j=1}^{N_2} y_{op}(k+J) - y_{NN}(k+J) + \lambda \Delta u(k+J) \quad (28)$$

Дар инҷо  $\lambda = y_m(k+J) - y_{NN}(k+J)$  - ташаккулёбанда аз ҳисоби модели раванд бе назардошти таъхир.

Дар сохтори пешниҳодшудаи NNPC шабакаи дуқабата бо функсияҳои интиқоли сигмоидалӣ дар қабати пинҳонӣ ва функсияҳои интиқоли хаттӣ дар қабати баромад истифода мешавад. Шабакаи нейронӣ дорои 6 вуруди раванд бо чор унсурӣ таъхир, 3 ва як қабати пинҳонӣ бо 4 нейрони Расми 11 мебошад.

Барои ба назар гирифтани ҳолати унсурҳо ва ҳарорати муҳити атроф системаи қабули қарор дар асоси маълумоти блоки назорат, ташхис ва идоракунӣ, ки ба намуди маҷмӯаҳои нодақиқи лингвистикӣ табдил дода шудааст, таҳия шудааст.

Дар расми 11 кори контроллёри нодақиқ барои идоракунии ҳарорати моеъи хунуккунӣ бо се қувваи инкишофёфтаи муҳаррик нишон дода шудааст. Арзиши додашуда  $85^\circ\text{C}$  аст. Вақти муқарраркунӣ барои иқтидорҳои пасттар дар арзишҳои додашудаи ҳарорат камтар аст



**Расми 11** – Кори танзимгари нодақиқ барои иқтидорҳои гуногуни муҳаррик

Вазифаи асосии контроллёр нигоҳ доштани ҳарорат дар баромади муҳаррик дар наздикии арзиши додашуда дар посух ба тағйирёбии суръати гардиш ва бори



муҳаррик мебошад. Модулҳои идоракунии дар стенд сохташуда имкон медиҳанд, ки арзишҳои сарборӣ ва суръати муҳаррик новобаста аз якдигар тағйир дода шаванд.

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 дастгоҳи иловагӣ (ДУ) муайян карда мешавад. Муодилаи функционалии миқдори гармӣ дар моеъи хунуккунанда метавонад дар шакли зерин навишта шавад:

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

Дар инҷо  $G_{\text{ож}}$  – ҳароҷоти моеъи хунуккунанда [кг/с],  $T1$  – ҳарорати моеъи хунуккунанда дар вуруд ба радиатор [ $^{\circ}\text{C}$ ],  $T2$  – 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:

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

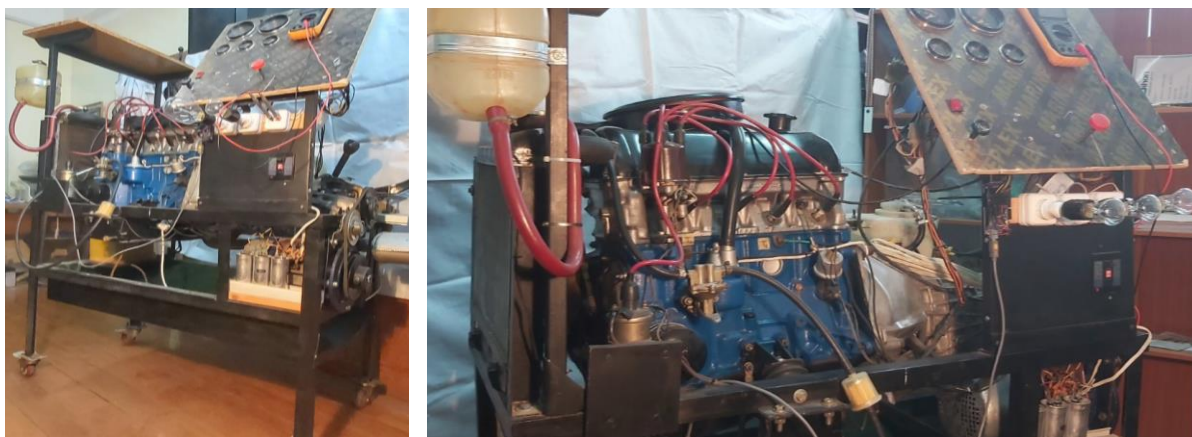
Дар ин ҷо ҳарорати моеъи хунуккунанда дар даромадгоҳи радиатор тағйирёбанда аст ва функсияи ҳароҷоти моеъи хунуккунанда мебошад. Муодилаи (33) контурро пас аз таъсири омилҳои ҳалалдоркунанда ба системаи хунуккунӣ тавсиф мекунад. Муодилаҳо, системаҳои хунуккунӣ ҳангоми гузаштан аз речаи ҳарорати статсионарии муқарраршуда ба режими ғайриватсионарӣ тасвир карда мешаванд:

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

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

Таҳқиқотҳо дар стенде, ки муаллиф дар кафедраи «Автоматикунии равандҳои технологӣ ва истехсолот» таҳия кардааст, гузаронида шуданд.

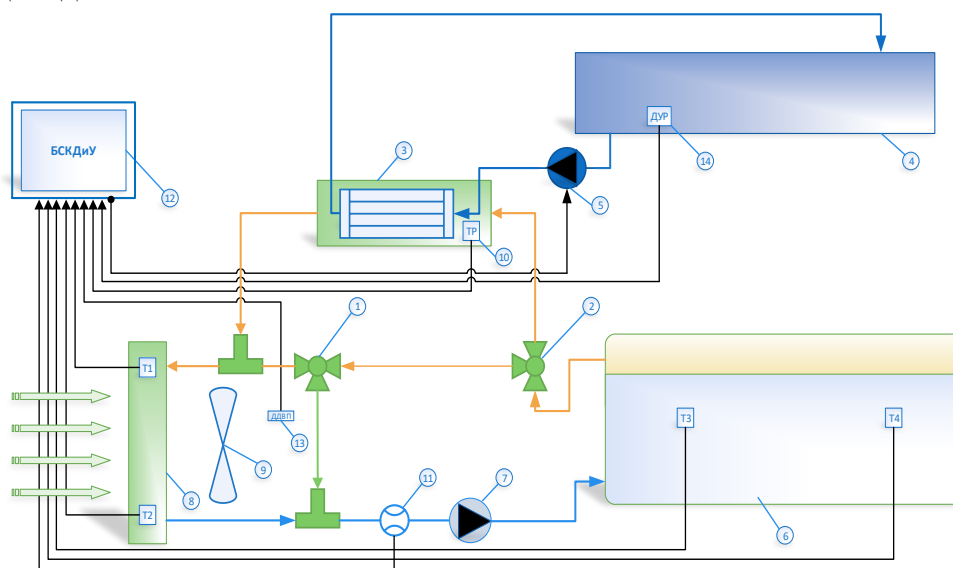
Стенд дар асоси муҳаррики ВАЗ 2101 сохта шудааст, ба ҳайси сарборӣ генератор дар асоси муҳаррики сефазаи асинхронӣ (АД) навъи АИР 90Л4У2 истифода мешавад, ки дар он ба ҳайси сарборӣ, сарбории фаъл, ки аз лампаҳои 100 ва зиёда аз он иборат аст, истифода мешавад. Сенсорҳои ҳарорати DS18B20. Микроконтроллер (МК) Arduino Mega, маълумоти гирифташударо коркард мекунад ва маълумотро ба ноутбук интиқол медиҳад, ки интерфейси корбарро ба муҳаккиқ 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 цилиндраи аввал насб карда шудааст, сенсори  $T4$  дар корпуси

цилиндраи чорум насб карда шудааст. Сенсори T1 дар вуруд ва сенсори T2 дар баромади радиатор насб карда шудааст. Натиҷаҳои сенсорҳо бо пинҳои МК пайваст карда шудаанд.

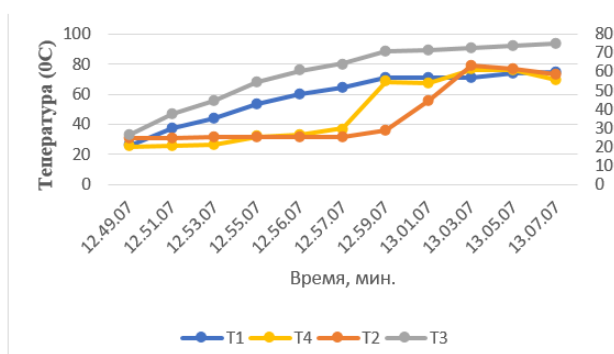


**Расми 13** – Системаи хунуккунӣ бо дастгоҳи иловагӣ

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

Барои арзёбии устувории речаи ҳарорати муҳаррики автомобилӣ, дар стенди таҳқиқоти дар боло нишондодашуда, таҳқиқоти динамикаи ҳарорати моеъи хунуккунии МСД 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.

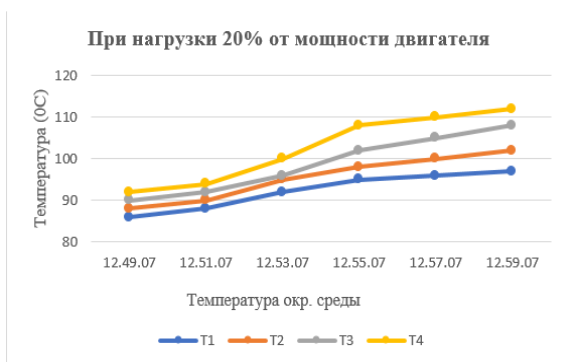
Ҳарорати муҳити атроф бо радиатори рағғани дар озмоишгоҳ насбшуда шабеҳсозӣ карда шуд. Вентилятори ҳонагӣ бо суръати тағйирёбанда суръати ҳаракати мошинро шабеҳсозӣ кард. Дар марҳилаи аввал, кори системаи хунуккунӣ дар ҳолати ҳаракати ғайрикорӣ баррасӣ карда шуд. Аз графикҳои овардашуда маълум мешавад, ки ҳарорати радиатор (T1, T2) бо таъхир назаррас аз ҳарорати куртаи цилиндр боло меравад. Аз рӯи намуди графикҳо муайян кардан мумкин аст, ки вақти таъхир 6 дақиқаро ташкил медиҳад, вақти муқарраршудаи ҳарорати муҳаррик 14 дақиқаро ташкил медиҳад. Озмоиш дар ҳарорати муҳити атроф  $25.6^{\circ}$  гузаронида шуд. Вентилятори ВБ ҳомӯш карда шуда буд.



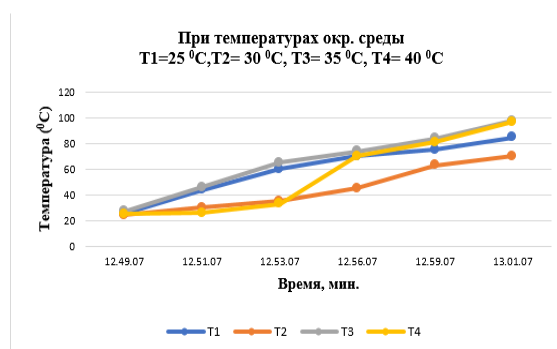
**Расми 14** – Кори муҳаррик дар речаи ҳаракати ғайрикорӣ



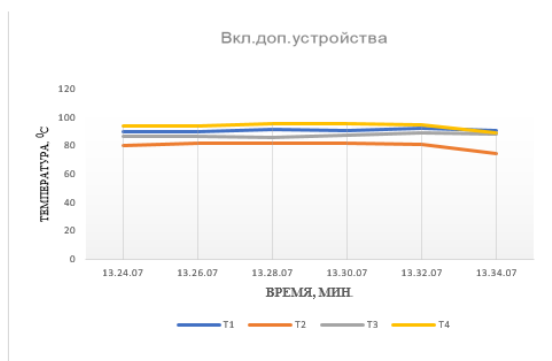
Барои таҳқиқи кори муҳаррик дар зери бор АД – 10 кВт, ки дар речаи генераторӣ кор мекунад, истифода шуд. Вазни фаъол 20% қувваи муҳаррикро ташкил медиҳад, яъне 12,8 л.с. ё 9,4 кВт. Ба баромади генератор нӯҳ лампаи 1 кВт пайваस्त карда шуд, барои ҳар як фаза се лампа.



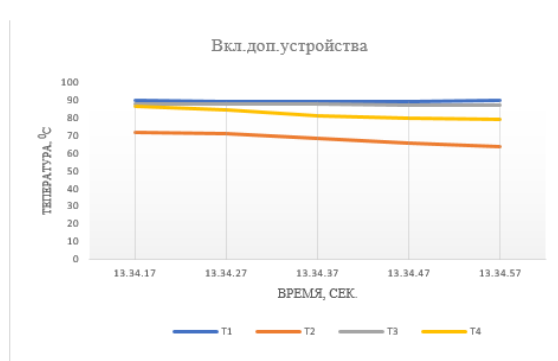
**Расми 15** – Кори муҳаррик дар сарбории 20%



**Расми 16** – Кори муҳаррик дар ҳарорати гуногуни муҳити зист



а)



б)

**Расми 17** – Кори муҳаррик ҳангоми фаъол кардани дастгоҳи иловагӣ

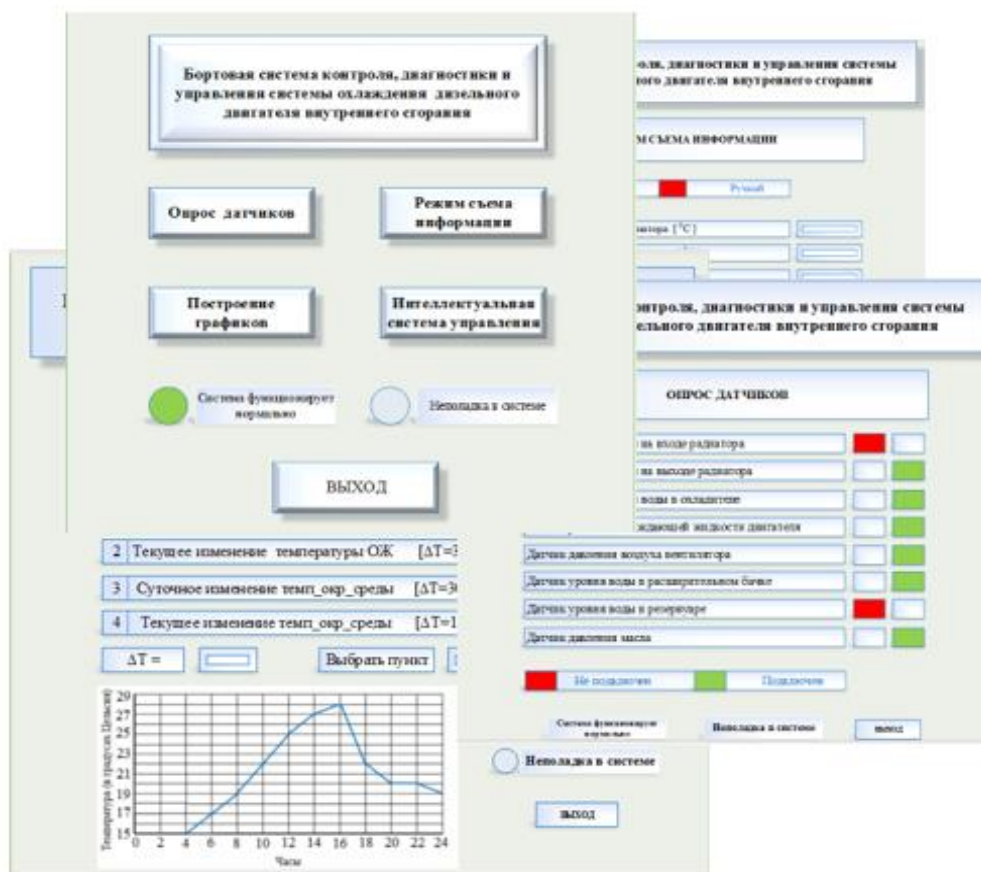
Дар графикаҳои расми 16, ҳангоми ба муҳаррик додани 20% сарборӣ, баландшавии сатҳи ҳарорати кории муҳаррик мушоҳида мешавад. Вақти арзиши муқаррарнамудаи ҳарорати муҳаррик 6 дақиқаро ташкил медиҳад. арзиши муқаррарнамудаи ҳарорати муҳаррик 14 дақиқаро ташкил медиҳад. Вентилятор дар гардишҳои хурдтарин кор мекард. Дар расми 16 графикаҳои тағйирёбии ҳарорати муҳаррик дар ҳарорати гуногуни муҳити атроф оварда шудаанд.

Дар графикаҳои расми 17 натиҷаҳо, истифодаи дастгоҳи хунуккунии иловагӣ дар микёси гуногуни вақт нишон дода шудаанд. Графикаҳо нишон медиҳанд, ки пас аз кушодани дастгоҳи иловагӣ ҳарорати куртаи муҳаррик ва радиатор чӣ қадар паст мешавад. Дар ҳарорати Максимальии ( $T_u > 100^{\circ}\text{C}$ )– и муҳаррик пайваस्तкунии дастгоҳи иловагӣ иҷро карда шуд, **а)** ҳангоми қадам дар вақти баробар ба 2 дақиқа, **б)** ҳангоми қадам дар вақти баробар ба 10 сония.

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

**Системаи назорат, таҳсис ва идоракунии боргӣ (БСКД и У)** аз ду қисм иборат аст. Қисми аввал системаи ҷамъоварӣ ва коркарди иттилооти «MONHAR» мебошад, ки вазифаи он ҷамъовари 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 таҳлили 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 дақиқаро ташкил медиҳад. Система назорати даврии фаъолияти унсури системаи хунуқкунии муҳаррикро пешбинӣ мекунад:

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

Дар ин ҳолат дар интерфейс лампаи сигналии сурх «Вазъияти садамавӣ» фурузон мешавад ва сигнали садоӣ дода мешавад. Система то бартараф шудани ҳолати фавқулодда дар ҳолати интизорӣ қарор дорад.

Ҳолатҳои фавқулодда: харчи 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 зеҳнӣ мегузарад. Пас система ба ҳолати муқаррарии кори мегузарад.

## ХУЛОСА

1. Баррасии манбаъҳои адабӣ гузаронида шуд, ки аз он хулоса бароварда шуд, ки фаъолияти устувори системаи хунуқкунии муҳаррик ба эътимоднокии истифодаи он,

сарфакорӣ ва параметрҳои экологӣ таъсири назаррас мерасонад[1-А, 5-А, 7-А, 11-А, 12-А, 14-А].

2. Таҳлили ҷустуҷӯҳои адабӣ-патентӣ ва таҳқиқоти гузаронидашудаи муаллифон аҳамияти таҳқиқоти илмӣ давомдорро, ки ба беҳтар кардани речаи хунуккунии МСД, навсозии сохтори системаҳои хунуккунӣ, беҳинасозии равандҳои танзими худкори ҳолати гармии МСД дар шароити истифода равона шудаанд, тасдиқ мекунанд[5-А, 7-А, 10-А, 11-А, 12-А, 14-А].

3. Муайян карда шудааст, ки як қатор пажӯҳишҳо ба истифодаи таҷҳизоти иловагӣ дар системаи хунуккунӣ – вентиляторҳои барқӣ, пошандаи радиатор, инчунин истифодаи дигар унсурҳои иловагии хунуккунии мустақим равона карда шудаанд, ки як қатор камбудии ҷиддӣ дорам, ки бартараф кардани онҳо вазифаи ин кор мебошад[3-А, 4-А, 6-А, 9-А].

4. Маълум шуд, ки дар адабиёт идоракунии зехнии вентиляторҳо ва насосҳои гардиши системаи хунуккунии муҳаррик ҷойгоҳи махсус дорад. Ин тағйироти ҷиддии сохти муҳаррикро талаб мекунад, ки монеаи асосии истифодаи васеи чунин системаҳо мебошад систем [4-А, 7-А, 9-А].

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

6. Системаи идоракунии худкори мӯътадилсозии речаи ҳарорати системаи хунуккунии муҳаррик бо унсури иловагӣ таҳия шудааст. Ҳамчун танзимгари худкор системаи қоидаҳои пойгоҳи дониш, ки аз ҷониби системаи коршиносон таҳия шудааст, истифода шудааст[1-А, 4-А, 6-А, 9-А].

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

8. Барои таҳқиқи таҷрибавии кори муҳаррик дар зери сарборӣ, схемаи дорои муҳаррики 3-фазаи асинхронӣ, ки ба қуттии интиқол пайваст шудааст, ки дар речаи генераторӣ бо сарбории додасида истифода мешавад, таҳия карда шуд[9-А, 14-А].

9. Нармафзори микроконтроллер барои ҷамъоварӣ ва коркарди маълумоти таҷрибавӣ бо гусастагии гуногун ва миқёси гуногуни вақт таҳия ва татбиқ карда шудааст. Интерфейси ин система имкон медиҳад, ки маълумот дар шакли ҷадвал ва инчунин дар шакли графикаҳо пешниҳод карда шавад[8-А, 9-А].

10. Речаҳои гуногуни кори системаи хунуккунӣ, ҳарорати система ҳангоми ҳаракати ғайрикорӣ, речаҳои гуногуни суръат, зери сарборӣ, сатҳ ва бузургӣ, ки дар стенд бо роҳҳои гуногун шабеҳсозӣ карда шудаанд, таҳқиқ карда шуданд[6-А, 8-А, 10-А].

11. Патенти дастгоҳ барои хунуккунии иловагии муҳаррики сӯзиши дохилӣ, ТҶ 1447, Дархости № 1801183 аз 01.03.2018 гирифта шудааст. Дар Феҳристи давлатии ихтирооти Ҷумҳурии Тоҷикистон аз 20.06.2018 ба қайд гирифта шудааст[10-А].

12. Системаи назорат, ташхис ва идоракунии боргӣ (БСКД и У) бо системаи хунуккунии МСД таҳия шудааст, ки дар асоси маълумоти аз сенсорҳо ва системаи қоидаҳои истеҳсоли гирифташуда қарор қабул мекунад[8-А, 9-А].

13. Дар асоси таҷрибаи гирифташуда, такмили минбаъдаи системи хунуккунӣ, ба коркард фирисодани қонунҳои беҳинаи идоракунии параметрҳои хунуккунӣ вобаста ба шароити истифодаи муҳаррик ва ҷорӣ кардани контроллерҳои барномарезишаванда ба системаҳои идоракунии худкори параметрҳои хунуккунии МСД дар асоси истифодаи фановариҳои зехнии компютерӣ пешниҳод карда мешавад[7-А].

## ФЕҲРИСТИ ИНТИШОРОТИ ИЛМӢ АЗ РӮИ МАВЗӮИ ДИССЕРТАТСИЯ

*Наширӣҳо дар маҷаллаҳои илмие, ки Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ва КОА-и ФР эътироф намудаанд.*

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

### *Наиш дар маводҳои конференсияҳои илмӣ*

[11 – М]. **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.

[12 – М]. **Зиёев, Ш.Ш.** Управление температурой теплоносителя в системе охлаждения двигателей внутреннего сгорания / Ш.Ш. Зиёев, Н.И. Юнусов, С.А. Махмадов, Ш.Ё. Холов // Материалы Международной научно-практической конференции «Применение информационно-телекоммуникационных технологий в создании электронного правительства и индустриализации страны» 2020г. стр. 14-19.

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

[14 – М]. **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.

## АННОТАТСИЯ

ба рисолаи номзодии 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 рӯи 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 сунъӣ, алгоритми идоракунии.

**Кори диссертатсионӣ** ба таҳияи системаи назоратӣ, таҳхис ва идоракунии бортии системаи хунуккунии муҳаррикҳои дарунсӯзи дизелии мошинҳои боркаш, ки дар шароити душвори қуҳсор 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 сунъӣ тадқиқ шуданд. Дар стенти 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 бозътимоди 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 арзишҳои додашудаи суръати муҳаррик, истеъмоли 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 речаҳои ҳарорати муҳаррик дар ҳудуди зарурӣ, ки дар он системаи қоидаҳои базаи дониш ҳамчун контроллери автоматии ноаниқи системаи экспертии таҳияшуда истифода шудааст, имконият дорад.

Интерфейси таҳияшудаи системаи назорат, таҳхис ва идоракунии борти 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 грузоподъемных машин, 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 системы охлаждения при контроле параметров окружающей среды, состояния компонентов системы охлаждения и возможности прогнозирования режима теплопередачи, который происходит в системе охлаждения для заданных значений частоты вращения двигателя, расхода топлива, давления охлаждающей жидкости, температуры и ее расхода.

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.









