

**ТОШКЕНТ АВТОМОБИЛЬ ЙЎЛЛАРИНИ ЛОЙИҲАЛАШ, ҚУРИШ ВА
ЭКСПЛУАТАЦИЯСИ ИНСТИТУТИ ВА ТОШКЕНТ ШАҲРИДАГИ
ТУРИН ПОЛИТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.Т.09.01 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**ТОШКЕНТ АВТОМОБИЛЬ ЙЎЛЛАРИНИ ЛОЙИҲАЛАШ, ҚУРИШ ВА
ЭКСПЛУАТАЦИЯСИ ИНСТИТУТИ**

ИНОЯТХОДЖАЕВ ЖАМШИД ШУХРАТУЛЛАЕВИЧ

**НЕЙРОН ТАРМОҚЛАРИ ОРҚАЛИ ДВИГАТЕЛНИ АВТОМОБИЛЬ
МЕХАТРОН ТИЗИМИ БИЛАН ИНТЕГРАЦИЯ ҚИЛИШ
УСУЛЛАРИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

05.08.06 – Ғилдиракли ва гусеничали машиналар ва уларни ишлатиш

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент– 2017

Техника фанлари доктори диссертацияси автореферати мундарижаси
Оглавление автореферата диссертации доктора наук
Contents of dissertation abstract of doctor of sciences

Иноятходжаев Жамшид Шухратуллаевич
Нейрон тармоқлари орқали двигателни автомобиль мехатрон тизими
билан интеграция қилиш усуллари ишлаб чиқиш3

Иноятходжаев Жамшид Шухратуллаевич
Разработка методов интеграции двигателей с мехатронной системой
автомобилей с помощью нейронных сетей27

Inoyatkhodjaev Jamshid Shuhratullaevich
Engine and vehicle's mechatronics integration using neural networks methods
developing49

Эълон қилинган ишлар рўйхати
Список опубликованных работ
List of published works.....53

**ТОШКЕНТ АВТОМОБИЛЬ ЙЎЛЛАРИНИ ЛОЙИҲАЛАШ, ҚУРИШ ВА
ЭКСПЛУАТАЦИЯСИ ИНСТИТУТИ ВА ТОШКЕНТ ШАҲРИДАГИ
ТУРИН ПОЛИТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.Т.09.01 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**ТОШКЕНТ АВТОМОБИЛЬ ЙЎЛЛАРИНИ ЛОЙИҲАЛАШ, ҚУРИШ ВА
ЭКСПЛУАТАЦИЯСИ ИНСТИТУТИ**

ИНОЯТХОДЖАЕВ ЖАМШИД ШУХРАТУЛЛАЕВИЧ

**НЕЙРОН ТАРМОҚЛАРИ ОРҚАЛИ ДВИГАТЕЛНИ АВТОМОБИЛЬ
МЕХАТРОН ТИЗИМИ БИЛАН ИНТЕГРАЦИЯ ҚИЛИШ
УСУЛЛАРИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

05.08.06 – Ғилдиракли ва гусеничали машиналар ва уларни ишлатиш

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент– 2017

Фан доктори (Doctor of Science) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги олий аттестация комиссиясида В2017.1.DSc/T61 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Тошкент автомобиль йўлларини лойиҳалаш, қуриш ва эксплуатацияси институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифаси (www.tayl.uz) ва “Ziyonet” Ахборот таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи:

Шермухамедов Абдулазиз Адилхакович
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Мухитдинов Акмал Анварович
техника фанлари доктори, профессор

Арипджанов Мадамин Магруппович
техника фанлари доктори, профессор

Марио Лавелла
Doctor of science, professor (Италия)

Етакчи ташкилот:

Тошкент давлат техника университети

Диссертация ҳимояси Тошкент автомобиль йўлларини лойиҳалаш, қуриш ва эксплуатацияси институти ва Тошкентдаги Турин политехника университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.T.09.01 рақамли илмий кенгашнинг 2017 йил «___» _____ соат ___ даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 100060, Тошкент, А.Темур шоҳ кўчаси 20 уй. Тел./факс: (99871) 232-14-39, e-mail: tadi_info@edu.uz).

Диссертацияси билан Тошкент автомобиль йўлларини лойиҳалаш, қуриш ва эксплуатацияси институти Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (___ рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 100060, Тошкент ш., А.Темур шоҳ кўчаси, 20 уй. Тел.: (99871) 232-14-45.

Диссертация автореферати 2017 йил «___» _____ куни тарқатилди.
(2017 йил «___» _____ даги _____ рақамли реестр баённомаси).

А.А.Рискулов
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси, т.ф.д.

А.М.Бабоев
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш котиби, т.ф.н.

А.А.Мухитдинов
Илмий даражалар берувчи илмий
кенгаш қошидаги илмий семинар
раиси, т.ф.д., профессор

КИРИШ (докторлик диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда энергия ресурсларидан самарали фойдаланиш, уларни тежайдиган технология ва эксплуатация даврида атроф муҳитни сақлашга йўналтирилган юқори технологияларга эга бўлган автомобилсозлик корхоналарини қайта жиҳозлаш муҳим муаммолардан бири ҳисобланади. Бу борада дунёнинг ривожланган мамлакатларида, жумладан Германия, АҚШ, Япония, Франция, Италия, Жанубий Корея, Буюк Британия ва бошқа давлатларида автомобиль саноатида юқори самарадорликка эга бўлган янги технологияларни амалиётга жорий қилишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Республикамиз мустақиликка эришгач саноат ишлаб чиқаришида меҳнат ва энергия сарфини камайтириш, ресурсларни тежаш ҳамда эксплуатация давомида машиналар куч агрегатларидан чиқувчи атроф муҳитни ифлослантувчи газларни камайтувчи технологияларни қўллашга алоҳида эътибор қаратилди. Бу борада автомобиль ва унинг бутловчи қисмларини ишлаб чиқариш амалга оширилиб, муайян натижаларга эришилди, жумладан мамлакатимизда ишлаб чиқарилаётган автомобилларнинг агрегат қисмлари маҳаллийлаштирилди ва турли хил ҳажмдаги двигателларни ишлаб чиқариш ҳисобига автомобилларни модернизация қилиш имконияти яратилди. Шулар билан бир қаторда автомобилни ишлаб чиқаришда куч агрегатларини меҳатрон қурилмалар ёрдамида ўзаро интеграция қилиш орқали автомобилнинг техник тавсифларини такомиллаштириш талаб этилмоқда. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида¹ миллий иқтисодийнинг рақобатбардошлигини ошириш учун энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежамкор технологияларни кенг жорий этиш алоҳида таъкидлаб ўтилган. Бу борада двигатель ва автомобиль меҳатрон тизимларини нейрон тармоғи орқали интеграцияси, двигателнинг электрон бошқарувини меҳатрон адаптор орқали бошқариш, автомобиль двигателининг синов жараёнларини такомиллаштириш бўйича илмий тадқиқот ишларини олиб бориш муҳим аҳамият касб этмоқда.

Жаҳонда автомобиль двигателининг цилиндр ҳажмини камайтириш – даунсайзинг усули билан ёқилғи тежамкорлигини, чиқинди газлар ҳажмини камайтириш услубларини ишлаб чиқиш каби йўналишларда мақсадли изланишлар олиб бориш муҳим аҳамият касб этмоқда. Бу борада, жумладан, классик автомобиль назарияси ва автомобилсозликдаги замонавий технологиялар асосида двигателни автомобиль меҳатрон тизими билан интеграциясини таъминлаш, “Автомобиль меҳатроникаси-двигатель-электрон бошқарув тизими” муҳитида унинг ҳар бир элементининг ўзаро номувофиқлигини бартараф қилиш, интеграция қилинаётган двигателни ёқилғи тежамкорлигини ва экологик кўрсаткичларни баҳолаш услубларини

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида” ги Фармони

ишлаб чиқиш каби йўналишларда мақсадли илмий изланишларни амалга ошириш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2008 йил 16 декабрдаги ПҚ-1020-сон «Хорижий инвестициялар иштирокидаги куч агрегатлари ишлаб чиқарадиган «Дженерал Моторс Пауэртрейн – Ўзбекистан» корхонасини ташкил этиш тўғрисида»ги ҳамда 2010 йил 15 декабрдаги ПҚ-1442-сон «2011–2015 йилларда Ўзбекистон Республикаси саноатини ривожлантиришнинг устувор йўналишлари тўғрисида»ги қарорлари, 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармон ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти маълум даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланиши устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурстежамкорлик» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи². Автомобилсозлик саноати учун янги интеграция технологияларини ишлаб чиқиш ва такомиллаштиришга йўналтирилган кенг қамровли илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасалари, жумладан, Massachusetts Institute of Technology (АҚШ), Tokio Technology University қошидаги муҳандислик маркази (Япония), Ulsan University тадқиқот маркази (Жанубий Корея), Munich University (Германия), Zwickau Engineering Center (Германия), Chicago University қошидаги илмий-тадқиқот марказларида (АҚШ) кенг қамровли илмий-тадқиқотлар ишлари олиб борилмоқда.

Двигателни автомобиль мехатрон тизими билан нейрон тармоқлар орқали интеграциясини такомиллаштиришга оид жаҳонда олиб борилган илмий-амалий тадқиқотлар натижасида қатор, жумладан қуйидаги илмий натижалар олинган: двигатель ва автомобиль мехатроникаси интеграциясига оид иккилик тизим услуби ишлаб чиқилган (Massachusetts Institute of Technology, АҚШ); автомобиль бошқарув тизимида софт дастурлари ёрдамида автомобиль моделлараро интеграциясини таъминлаш услуби ишлаб чиқилган (Bosch, Германия); нейрон тармоқлар ишлаш принципларига қараб сунъий, гибрид, аниқ ва ноаниқларга таснифлаш орқали танлаш услублари ишлаб чиқилган (Tokio Technology University, Япония).

Дунёда двигателни автомобиль мехатроника тизимига нейрон тармоқлар орқали интеграция қилиш муайян усулларини ишлаб чиқиш бўйича қуйидаги устувор йўналишларда тадқиқотлар олиб борилмоқда: саноат корхоналарини кенг миқёсда модернизация қилиш, техник ва технологик янгилаш, уларни энг замонавий юқори технологик ускуналар билан жиҳозлаш; саноат

² Диссертация мавзуси бўйича хорижий-тадқиқотлар шарҳи <http://www.stat.berkeley.edu/~bartlett/nnl/>, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-79257-4_7, <https://www.autosar.org/>, ва бошқа маънабалар асосида ишлаб чиқилган.

тармоқларида замонавий илмий ютуқлар ва илғор инновация технологияларини такомиллаштириш; экспортга мўлжалланган рақобатдош саноат маҳсулотини ишлаб чиқариш; меҳнат унумдорлигини ошириш ҳамда ишлаб чиқариш харажатлари ва маҳсулот таннархини изчил пасайтириш; энергия ва ресурсларни тежайдиган замонавий технологияларни ишлаб чиқиш, саноат маҳсулотини ишлаб чиқаришда унинг ташқи бозордаги рақобатдошлигини таъминлайдиган халқаро сифат стандартлари ва техник регламентларни тизимли тарзда такомиллаштириш.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Дунё тажрибасида двигателни автомобиль мехатрон тизими билан интеграция масалалари бўйича турли услублар ишлаб чиқилган. Двигатель ва автомобиль интеграция масалалари билан Barrett D.S., Genta G., Berenji H.R. Daniels J., Egger K., Warga J., Ludwig A., McBeath S., Reimpell J., Stoll H., Runge W., Schoner H., Луканин В.Н., Шатров М.Г., Петров А.Б., Фролов Ю.Н. Лебедев О.В., Қодиров С.М., Мухитдинов А.А., Файзуллаев Э.З. ва бошқалар томонидан олиб борилган. Бироқ, двигателларни автомобиль мехатроникаси ва бошқарув тизимига интеграцияси муаммолари бўйича тадқиқотлар етарлича ўтказилмаган. Лекин юртимизда двигатель ишлаб чиқарилмагунча, платформаларо интеграциянинг илмий-амалий муаммолари бўйича назарий тадқиқотлар ўтказиш эҳтиёжи мавжуд.

Бундан ташқари, уларда бир неча технологик жараёнларни бирлаштириш орқали интеграция схемалари, бошқариладиган объект модели орқали бошқарув тизими архитектурасини мослаштириш ва уларни унификация қилиш, бошқарув алгоритмларни нейрон алоқали тизимлар орқали ўзини-ўзи тизимлаштирувчи ва диагностика қилувчи тизимига илмий ҳамда амалий асос солиш, бу услублар ягона йўналишга умумлаштириш заруриятини юзага келтиради. Шунинг учун, маҳаллий ишлаб чиқариладиган автомобиль мехатрон тизимига қувватли агрегатининг интеграцияси электрон бошқарув тизими назариясини такомиллаштиришга қаратилган илмий тадқиқотлар устувор йўналиш ҳисобланади.

Республикамизда автомобиль ишлаб чиқариш жараёнига жорий этишда асосан тайёр дизайнлаштирилган модел олиниб унинг асосий қисмлари, жумладан унинг двигатели, маҳаллийлаштирилади. Бу каби жараёнларда бир қатор амалий муаммолар вужудга келади: автомобилни экспорти учун экологик чекловлари, ёқилғи сарфи бўйича талаби мамлакат ва ҳудудлар бўйича фарқлилиги; автомобилнинг опциялари бўйича хилма- хилликка ҳаридорлар талаби. Юқоридагилар, маълум бир автомобиль моделида (платформасида) бир неча хил двигател турлари билан жиҳозлашни талаб қилади. Ишлаб чиқарувчиларга қўйилган стандарт талабларига мос гибрид нейрон тармоқларни илмий асослаб бериш етарли даражада ўрганилмаган. Шундан келиб чиққан ҳолда, талабга мос автомобилни турли двигателлар билан интеграция қилиш бўйича тадқиқотлар олиб бориш долзарб вазифалардан ҳисобланади.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент автомобиль йўлларини лойиҳалаш, қуриш ва эксплуатацияси институти ва «Дженерал Моторс Пауэртрейн Узбекистан» АЖ, ҳамда «Дженерал Моторс Пауэртрейн Европ» ҳамкорлигидаги L2C-J200-сонли «Янги турдаги двигателларини янгиланган Chevrolet Genra J200 автомобилига мослаштириш» лойиҳаси, шунингдек, «Янги турдаги Евро 6 двигателини жорий қилиш туфайли техник редизайн» (Technical Cost reduction) лойиҳалари асосида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади нейрон тармоқлари орқали двигателни автомобиль мехатрон тизими билан интеграция қилиш услубларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

двигателни автомобиль мехатрон тизими билан нейрон тармоқлар орқали интеграцияси услубларини замонавий ҳолатини таҳлил этиш;

автомобилларнинг мехатрон тизимларини ва двигателларни янги нейрон тармоғига асосланган алгоритмли электрон бошқарув орқали интеграцияси усулларини ишлаб чиқиш;

двигателнинг электрон бошқаруви моделини мехатрон адаптор орқали бошқариш услубларни ишлаб чиқиш;

тармоқнинг кирувчи ва чиқувчи маълумотларини ҳисоблаш имкониятини берадиган нейрон тармоқ моделини ишлаб чиқиш;

автомобиль двигателининг “совуқ” ва “иссиқ” синовлари натижаларини таҳлил қилиш ва синовларни мехатрон адаптор ёрдамида такомиллаштириш усулини ишлаб чиқиш;

интеграция қилинаётган двигателни қуввати ва бурувчи моментини асослаш;

интеграция қилинаётган двигателни ёқилғи тежамкорлиги ва экологик кўрсаткичларини баҳолаш услубини ишлаб чиқиш;

тадқиқот натижаларини қўллаш бўйича тавсиялар ишлаб чиқиш ва тегишли иқтисодий самарадорликни баҳолаш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида автомобиль, унинг мехатрон адапторлик двигатели ва нейрон тармоғига асосланган бошқарув тизимлари олинган.

Тадқиқотнинг предмети двигателнинг асосий эксплуатацион кўрсаткичлари ва уни бошқариш алгоритмлари, автомобилни двигатель билан интеграция жараёнлари ва босқичлари, автомобиль конструктив-технологик ўлчамлари ҳамда иш тартибларини ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида классик механика, математик таҳлил ва математик статистика усуллари, назарий механика, тажрибани поғонали жараёнларни компьютерлаштирилган (имитацион ва симуляция) тизимлари орқали таҳлил қилиш усуллари, автомобиль назарияси, синтез усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгиллиги қуйидагилардан иборат:

двигателни автомобиль мехатрон тизимига нейрон алоқалар

архитектурасига асосланган бошқарув тизими орқали интеграция қилиш услуги ишлаб чиқилган;

двигателни бошқарув тизими маълумотлари таҳлили ва бошқарувчи органларига етказиб беришнинг услуги (*нейрон алоқаларнинг дисперсияси*) яратилган ва унинг унумдорлиги асосланган;

учинчи авлод – йиғма маълумотларни таҳлиллаш ва оптимал режимларни танлаш турли автомобиль синфлари учун мехатроника тизимига эга бошқарув алгоритми яратилган;

ўт олдириш тизими учун мехатрон адаптор модели ишлаб чиқилган;

нейрон тармоқлари орқали двигателни бошқарув модели ишлаб чиқилган;

бошқарув тизимидаги нейрон алоқаларни интеграция сўровларига асосан танлаш усуллари ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

енгил автомобилларни ишлаб чиқарувчилар учун маълум бир платформада янги ёки такомиллаштирилиётган автомобиллар учун двигателларни интеграция қилиш технологияси яратилган;

двигател ишлаб чиқариш жараёнида мехатрон адаптор қўллаш ҳисобига муайян мосланувчан ва ресурс тежамкор технологиялар жорий этилган (“GMPT TIS OP1900 for J200” технологик жараёнини такомиллаштириш);

двигателнинг ёқилғи тежамкорлигини ва экологик характеристикаларини автомобилнинг мехатрон тизими орқали такомиллаштириш усули яратилган;

бошқарув алгоритми ва бошқарув тизимининг янги архитектураси автомобилни электрон бошқариладиган агрегатлар иши ва уларнинг диагностикаси такомиллаштирилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончилиги изланишларнинг замонавий услуб ва воситалардан фойдаланган ҳолда ўтказилганлиги, машиналарнинг параметрлари ва иш режимларини назарий жиҳатдан асослаш назарий механика ва олий математика қоидалари асосида амалга оширилганлиги, тажрибалар натижаларига математик статистика услублари билан ишлов берилганлиги, назарий ва амалий тадқиқотлар натижаларининг ўзаро адекватлиги, двигателлар синовлари ўтказилиб, унинг кўрсаткичлари “совук”, “иссиқ”, динаметрик стендларида аниқланганлиги, тадқиқот объекти амалиётга, ишлаб чиқариш жараёнига жорий қилинганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти автомобиллар, уларни мехатроникаси ва двигателлар нейрон тармоқлар орқали интеграция модели, аналитик боғланишлар ва ҳисобий услублар ишлаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти ишлаб чиқилган усулларни автомобиль ва двигатель ишлаб чиқаришда ресурстежамкор технологияси ҳамда қурилмаларни ишлаб чиқилганлиги, иш унумдорлигининг ошишига, синов ва эксплуатация жараёнида ёқилғи харажаларини қисқартириш, ишлаб

чиқариш меҳнат сарфи ва фойдаланиш харажатларини камайганлиги билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Двигателни автомобиль мехатрон тизимига нейрон алоқалар архитектурасига асосланган бошқарув тизими орқали интеграция қилиш услуги натижалари асосида:

двигателни бошқарув тизими маълумотлари тахлили ва бошқарувчи органларига етказиб бериш услуги “Дженерал Моторс Пауэртрейн Ўзбекистан” АЖга жорий этилган (“Ўзавтосаноат” компаниясининг 2017 йил 14 августдаги 45/04-25-2688-сон маълумотномаси, технологик жараён техник шарти (Ts 22596387-01:2015)). Жорий этилиши ишлаб чиқариш самарадорлигини 9% ошириш, тажриба ва машиналарнинг завод синовларини ўтказиш харажатларини 6,5% камайтириш, ишлаб чиқаришда меҳнат унумдорлигини 11% ошириш имконини берган;

ўт олдириш тизими учун ишлаб чиқилган мехатрон адаптор модели ва унинг параметрларини асослаш услуги “Дженерал Моторс Пауэртрейн Ўзбекистан” АЖга жорий этилган (“Ўзавтосаноат” компаниясининг 2017 йил 14 августдаги 45/04-25-2688-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижасида ўт олдириш тизими учун ишлаб чиқилган мехатрон адаптор модели двигателларни синаш жараёнини такомиллаштириш имконини берган;

йиғма маълумотларни таҳлиллаш ва оптимал режимларни танлаш услуги “Ўзавтосаноат” компаниясининг корхоналарига, жумладан “Дженерал Моторс Пауэртрейн Ўзбекистан” АЖ, ва “UzKoji” ҚК жорий этилган (“Ўзавтосаноат” компаниясининг 2017 йил 14 августдаги 45/04-25-2688-сон маълумотномаси). Ишлаб чиқилган йиғма маълумотларни таҳлиллаш ва оптимал режимлари турли автомобиль синфлари учун мехатроника тизимли J200 автомобили ва L2C BDOHC 1.5 двигателини тажриба-конструкторлик ва завод синовларини ўтказиш жараёнида қўлланилди. Илмий-тадқиқот натижасида ишлаб чиқариш жараёнида 48,4 кВт энергияни ва 6400 литр ёқилғи харажатларини қисқартириш, ишлаб чиқаришда меҳнат сарф-харажатларини 800 одам·соатга камайтириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари жумладан 5та халқаро ва 10 республика илмий-амалий анжуманларда муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 20та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 13 та мақола, жумладан, 10 таси республика ва 3 таси хорижий журналларда нашр этилган, 1та патент олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 178 бетни ташкил этган.

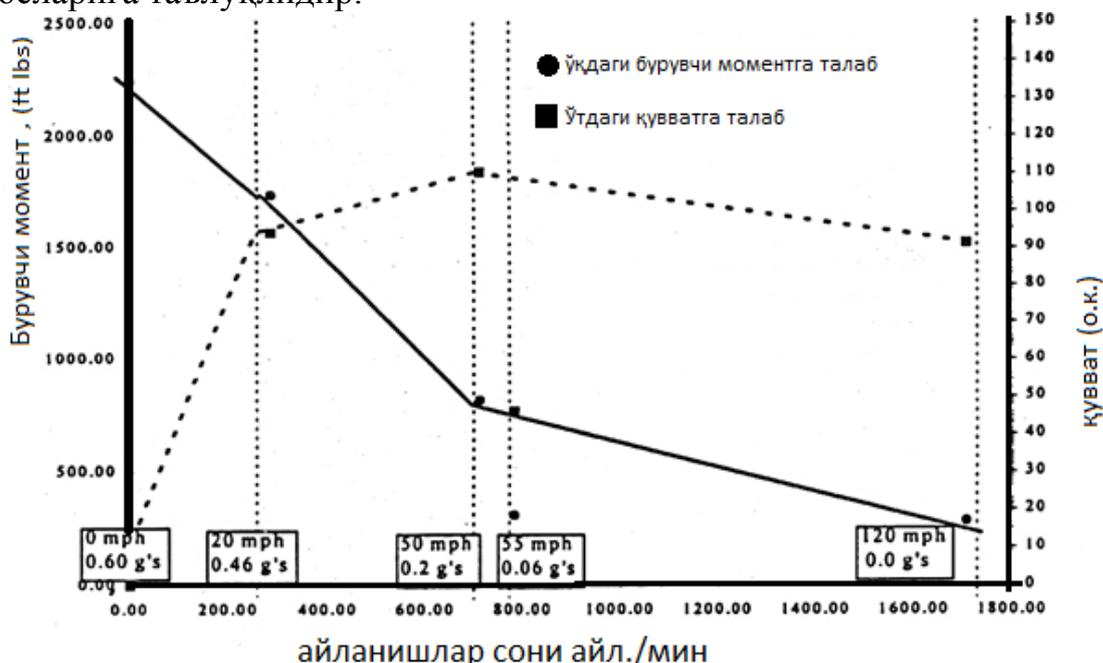
ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация тадқиқотининг долзарблиги ва зарурлиги асосланган. Тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари ҳамда объект ва предметлари шакллантирилган. Ўзбекистон Республикаси фан ва технологияси тараққиётининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган. Тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган. Олинган натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти ҳамда ишончлилиги очиқ берилган. Тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Муаммонинг қўйилиши ва тадқиқот вазифалари**» деб номланган биринчи бобида двигателни автомобилга интеграциялашнинг асосий усуллари ва бу жараёнда қўлланадиган методик ишлар ифодаланган.

Автомобиль двигателни танлашда двигателнинг асосий кўрсаткичларини ҳисоблаш турли усуллар ва ўзига хосликлар кўрсатилган. 1-расмда куч агрегатидан (двигател/трансмиссия) керакли буровчи момент ва қувват айланма частотаси тезлиги бўйича ўзгариши турли автомобиль тезликларида ифодаланган.

Буни Barrett D.S., Berenji H.R. Daniels J., Egger K., Warga J., Ludwig A., McBeath S., Reimpell J., Stoll H., Runge W., Schoner H. ишларида аниқлаган. Шу каби услублар 1-бобда кенг ёритилган бўлиб, бу двигателни лойиҳалаш асосларига таълуқлидир.



1–расм. Двигателдан талаб этиладиган максимал бурувчи момент ва қувват

Аммо, бу каби лойиҳалаш жараёнлардан ташқари двигателни автомобиль мехатроникасига, унинг бошқариш тизимига интеграциялашнинг илмий ва амалий муаммолари бор. Илмий муаммоларига қуйидагилар киради:

- ишлаб чиқарилиши мўлжаланган ёки ишлаб чиқарилаётган автомобиллар учун двигателни автомобиль мехатроникасига интеграция қилишнинг ягона услубини ишлаб чиқиш ва уларни ишончилигини асослаб бериш;

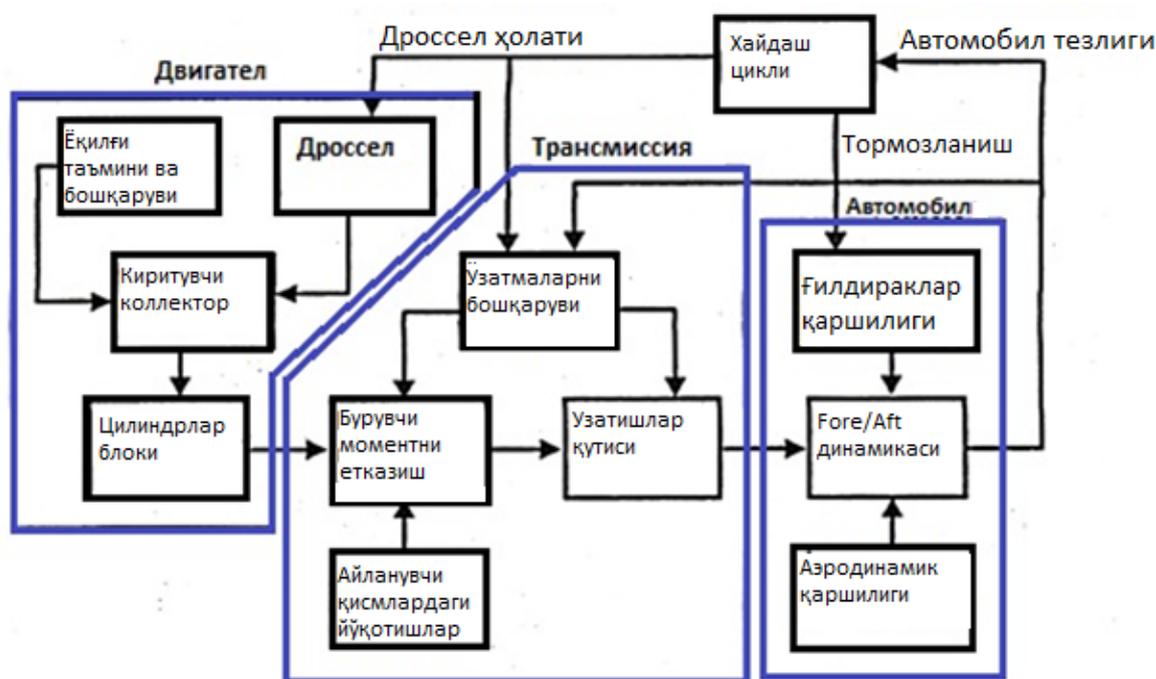
- двигателни бошқарув алгоритмлари ва унинг архитектурасига мослаштириш ва бошқарув математик моделини яратиш.

Амалий муаммолар:

- ишлаб чиқариш жараёнига интеграция моделини тадбиқ этиш;
- стенд ва йўл тажрибаларида бошқарув архитектурасини қўллаш.

Диссертациянинг 1-бобида ушбу муаммолар атрофлича ўрганиб чиқилган ва келгуси бобларда уларнинг ечимлари тавсия этилган.

2-расмга кўра, бошқарув кўп тизимли бўлиб бир–бирига боғлиқ ташкил этувчилар таъсир қилади ва ушбу бошқарув тизимни лойихалаётганда шу боғлиқларни инобатга олиб тизимлаштириш лозим.



2–расм. Бошқарув тизимини ташкил этувчилари схемаси

Илмий адабиёти таҳлили шуни кўрсатдики, двигателни автомобиль мехатроникаси билан интеграцияси асосий муаммолари якуний маҳсулотга бўлган йиғма талаблар. Бу бир платформада автомобиль моделлар қаторини кенгайтиришга олиб келади ва турли авлод, синф автомобиль ҳамда двигателлар мослашуви илмий муаммосини келтириб чиқаради.

Ўрганиб чиқилган ишларда автомобиль мехатрон тизимларини таснифи, ўзаро боғлиқлиги кенг ёритилган. Лекин уларда ҳар хил тоифадаги двигатель ва автомобиль мехатроникаси интеграцияси кўриб чиқилмаган. Бу ўз навбатида мавжуд бўлган автомобиль қисмларини такомиллашган агрегатлар билан алмаштириш муаммосини туғдиради.

Диссертациянинг «Двигателни бошқарув тизими ва уни автомобилнинг бошқа қисмларини бошқарув тизимлари билан интеграцияси» деб номланган биринчи бобида бошқарув тизимида жараёнларини ва бошқарув актуаторларини сенсорлар билан боғлиқлиги кўриб чиқилган.

EGR (чиқувчи газлар рециркуляция клапани)дан ҳаво ҳажми ўтишини ҳисоблаш учун двигателнинг айланишлар сони ва цилиндрлардаги ҳаво миқдори ишлатилади. Бу калибрлаш кўрсаткичлар двигател қувватини ўзгариши ва чиқувчи газлар концентрацияси жоизлиги ўлчовда асосланган.

EGRга керакли ҳажм ҳаво ҳажми оқими коэффиценти ҳисобига асосланган:

$$V_{EGR} = Des. \% EGR \times V_{AIR} / (1 - \% EGR)$$

Бу ерда:

V_{EGR} - EGRга керакли ҳажм;

Des. % EGR – керакли (калибрлашда белгиланган) чиқувчи газлар концентрацияси фоизи;

V_{AIR} – ҳаво ҳажми;

% EGR - чиқувчи газлар концентрацияси фоизи.

Бу ҳисоб рециркулятор клапанининг ишлаш модели двигателни электрон бошқарув блоки (ЭББ) алгоритмига киритиш учун керакдир.

Шу билан бир вақтда, қуйидаги ўзгарувчан кўрсаткичларни алгоритмга киритиш лозим:

- барометрик босим;
- совутиш суюқлигининг температураси;
- эквивалентлик коэффиценти;
- трансмиссиянинг узатиш сони.

Оқимнинг эффектив юзаси учун оқим босимининг ҳисоби қилинади. Оқимни эффектив юзаси киритишга чиқариш босими коэффиценти вертикал топодиаграмма ўқи орқали қўйидаги қонуният орқали қўрилади:

$$cd \times Ae = m_{egr} \times \left[\frac{\sqrt{T_e \times R_e}}{P_e} \right] \times \left[\frac{1}{\Psi} \right]$$

бу ерда:

A_e – оқим босими;

C_d - EGR клапани газсизланиш коэффиценти;

$mass_{egr}$ – чиқиш газлари ҳажми;

T_e - чиқиш газлари температураси;

P_e - чиқиш газлари босими;

R_e – газ ўзгармас кўрсаткичи;

Ψ – ташқи омиллар коэффиценти.

Киритилаётган янги Ψ коэффиценти ташқи омилларга боғлиқ ва хар хил ҳажмларда босим фарқи ($P_r = P_{map} / P_e$) каби кўрсаткичларни ўз ичига олади ва клапан орқали ўтадиган оқим ҳаракатини белгилайди.

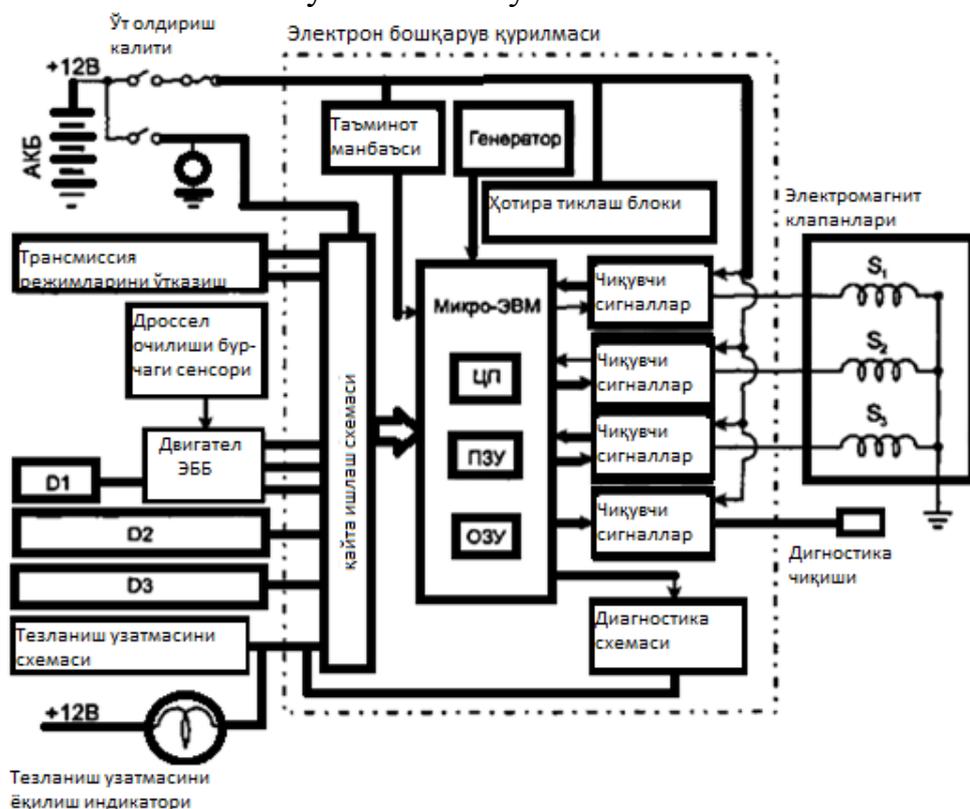
Трансмиссиянинг электрон бошқарув тизими. 3-расмда автомобиль трансмиссиясининг электрон бошқарув тизими кўрсатилган. Электрон

бошқарув тизими илашиш муфтасини уланиши ёки узулишини сенсорлардан олинган сигналлар асосида бошқаради. Бу сигналлар электромагнит қалпоғига етказилади. Қалпоқлар сони иккита бўлиб, актуатор вазифасини бажаради ва драйвмоторни ўчириб-ёқилишини таъминлайди.

Бу иккита қалпоқ “очиқ-ёпиқ” ҳолатларини бирикмаси орқали гидравлик тизим тўртта узатма ҳолатини таъминлайди (1, 2, 3 ва кўтарувчи узатма).

Автоматик трансмиссияда (дастур) бошқарув қоидалари двигателдан филдиракларга қувватни тортув-тезланиш хусусиятларни, ёқилғи тежамкорлигини инобатга олинганда оптимал узатмани таъминлайди.

Бу дастур устуворлик асосида кўрсаткичларни классификация қилади ёки бу классификация оператор томонидан бошқарув алгоритмига киритилган бўлиши лозим. Чунки баъзи бир ҳолатларда кирувчи кўрсаткичлар бир - бирига зид бўлиши ёки бир нечта кўрсаткичларни таъминлаш имконияти бўлмаслиги мумкин.



3–расм. Автомобиль трансмиссиясининг электрон бошқарув тизими: D_1 – совутиш суюқлигининг ҳарорат датчиги; D_2 – спидометрга ўрнатилган автомобиль тезлиги датчиги; D_3 – автоматик трансмиссияга ўрнатилган, автомобил тезлиги датчиги

Иккинчи боб натижасида қуйидаги хулосалар қилинди: ишлаб чиқилган маълумотни ёпиқ тармоқлар орқали етказиб бериб кирувчи ва чиқувчи сигналларни ЭББдан актуаторларга етказиб берувчи янги электрон бошқарув тизимининг бошқарув архитектураси талаб қилинган ёқилғи-ҳаво керакли 1:14,7миқдорида таъминлаши мумкин.

Нейрон тармоқлари дисперсияси орқали сигналларни синфларга тақсимлаш, яъни, бирламчи – жараёнга бевосита таъсир қилувчи, ва иккиламчи – жараёнда қўшимча маълумот йиғиш учун ишлатиладиган сигналларга бўлиш, шу билан бир қаторда иккиламчи сигналлар узок муддатли коррекция, бирламчилар – қисқа муддатли коррекция қилиниши лозимлиги асосланди. Бу бошқарувда гибридлаш деб тавсифланди.

Бошқарув тизимида ягона авлодик ва ягона синфлик бошқарувда шасси, осма бу тизимга интеграллаш мумкинлигини кўрсатди.

Механик дросселдан электрон дросселга ўтиш фақат учинчи авлод бошқарув тизими учун амалга оширилиши асосланди. Бу аввал яратилган автомобиллар учун маълум бир муамо туғдириши мумкин.

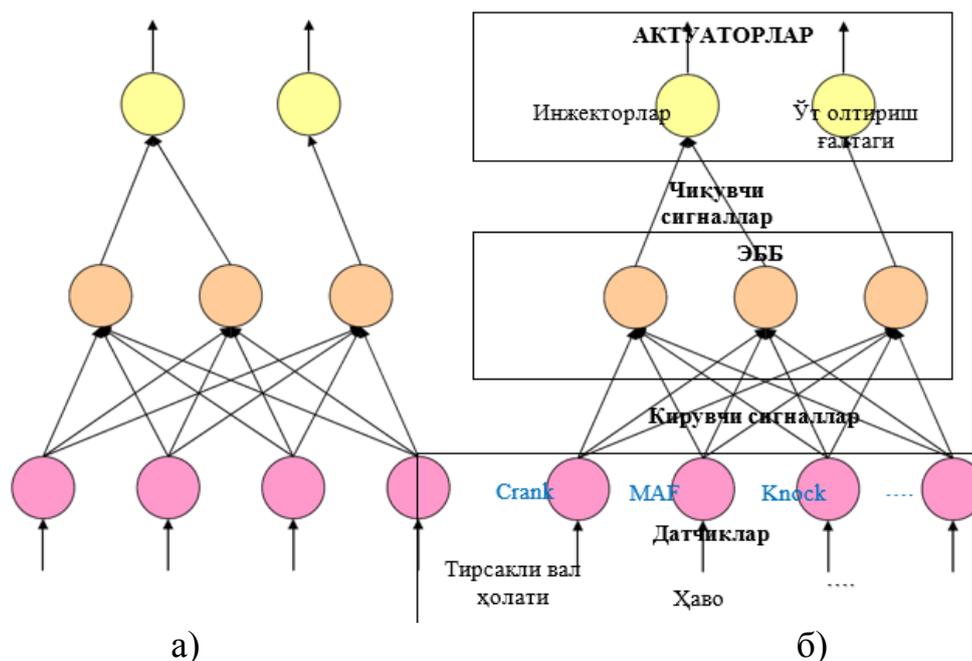
Диссертациянинг **“Автомобил мехатрон тизимини бошқарув алгоритмлари ва уни шакллантириш. Қувватли агрегатни бошқариш математик модели”** деб номланган иккинчи бобида нейрон тармоқларни имкониятлари таҳлилланади. Мехатрон тизимидаги қисмларни бошқарув алгоритмлари, бошқарув модели таҳлилланган, модель имитацияси ҳисоби таҳдим қилинган ва нейрон тармоқларни моделаштириш асосланган. Шунингдек, бобда гибрид ноаниқ нейрон тармоқларни орқали ВДОНС двигателини J200 автомобиль платформасига интеграцияси асосланган.

4-расмда муаллиф томонидан таклиф этилган автомобил двигателини нейрон тармоқлар тизими орқали бошқарув тизими келтирилган. Бу тизим ўз навбатида автомобил мехатрон тизими билан қўшилиб ягона бошқарув тизимни ҳосил қилади. Бу тизим нейрон қатламлар асосида яратилган ва универсал кўринишда бўлади. Янги ёки мавжуд автомобил платформаси мехатроникаси қатлам сифатида тизимга киритилади ва нейрон архитектураси бу қатламни қисқа вақтда ўзлаштириш имконига эга.

Бу архитектурадаги ноаниқлик – аниқ бир чегаралар йўқлиги ва бу кенгайишга имконият дегани. Тизим суб–тизимларни кўрсаткичларини ўрганиб, уни шакллантириши мумкин. Оператор фақат кирувчи ва чиқувчи кўрсаткичларни киритиши керак ҳолос. ННТ қанча кўп реал ҳолатларда ишласа, шунча уни “ўрганиш” имкониятлари ва маълумотлар базасини бошқариш такомиллашиб боради.

4-расмда қатламлар ўзаро алоқаси ҳам кўрастилган:

- биринчи қатлам кирувчи маълумотни қабул қилиб, уни саралаб беради;
- иккинчи қатлам ННТ орқали жараёнларни бошқаради – электрон бошқарув тизимидаги жараёнлар;
- учинчи чиқувчи кўрсаткичларига жавобгар – актуаторлар;
- тўртинчи қатлам – пост-процессинг ва ягона тизим ишини диагностикаси ҳамда маълумотларни сақлаш, коммуникаторлар орқали етказиб беришга жавобгар.



4–расм. Ноаниқ нейрон тизим (ННТ) архитектураси: а) ННТ намунаси; б) ННТ автомобил двигателини бошқарув архитектураси

Ноаниқ нейрон алоқаларни бошқарув алгоритми сифатида қўллаш бошқарув тизимини узлуксиз оптималлаштиришга ҳамда юқори эксплуатацион кўрсаткичларни сақлашга имконият беради.

Йиғилган маълумот базасини автокоррекцияси автомобил двигателини ишини ва уни автомобил мехатроникаси билан ўзаро таъсирини таҳлил қилиш имконини беради.

Биз томондан таклиф этилаётган услуб ишлаб чиқариш жараёнида бошқарув маълумотларини электрон бошқарув тизимига киритилиши мумкин. Бу маълумотлар интеграция жараёнини янада тежамкор ва аниқроқ қилади.

Моделлаш натижаларининг таҳлили давомида ўт олдириш нуқтасини созлаш бирламчи аҳамиятга эгаллиги аниқланди. Бу нуқта тезлик ва қувватли агрегатни юкланишига қараб ўзгаради.

Моделни стенд ва йўл синовларига оптимал ҳолатда тайёрлаш ва уни лойиҳалашдаги камчиликларни бартараф қилиш учун ВДОНС двигателини J200 (Chevrolet Genra) платформасига интеграция симуляция синовлари ўтказилди.

Муаллиф томонидан интеграция жараёнида сигналларни саралаш услуги таклиф этилган. Бунинг асосида бошқарув тизимини операцион хотирасига сигналларни қўллаш алгоритми ҳамда бирламчи ва иккиламчи сигналларни йиғиш, таҳлиллаш алгоритмлари киритилади. Иккиламчи сенсорлар ёки бошқа маълумотлар манбалари орқали олинган маълумот клаустери тўлган бўлса, бу кластер форматланади. Бундай маълумотни тақсимлаш оператор ёки тизимлаштириш орқали белгиланиши мумкин.

Бундай услубни биз янги атама билан яъни – “Нейрон тизимини дисперсияси” деб атадик.

Автомобил ҳаракатида унга турли омиллар таъсир қилади. Бу омиллар автомобилни динамик хусусиятига ижобий ва салбий таъсир этиши мумкин. Тизим динамикаси ўзгарганда лойиҳаланган кўрсаткичларнинг ишлаш қонунияти чегараси мавжуд. Бу барқарор ҳолатдан бекарор ҳолатга ўтиш чегараларидир. Бунинг учун тизимни математик моделлашда шу омил кўрасткичини киритиш лозим.

ННТ ни Ванга-Мендел орқали ҳисоблаймиз.

Қатламлар чиқувчи кўрсаткичлари FP қуйидагича бўлади:

$$FP[i \cdot M + j] = \frac{1}{1 + \left(\frac{X[i] - C[i \cdot M + j]}{D[i \cdot M + j]} \right)^2}, \quad (2.1)$$

бу ерда $i = 0..N - 1$, $j = 0..M - 1$,

M – вариатив функциялар сони (вольтаж, импульслар жадаллиги ва шу кабилар);

$C [i \cdot M + j]$ – марказ ва $D[i \cdot M + j]$ тармоқ кенглиги (ташқил этувчилар кўплигига боғлиқ) – чизиксиз хусусиятлар.

Қатлам II кирувчи сигналлардан иборат (PV). Сигналлар қуйидагича ҳисобланади:

$$PV[i] = \prod_{j=0}^{N-1} FP[j] \quad , \quad (2.2)$$

бу ерда $i = 0..K - 1$, ва $K = MN$.

Қатлам III (электрон бошқарув қурилмадаги (ЭБК/ЭББ жараёнлар) икки хил сигналлардан иборат: биринчиси (S1) чиқувчи сигналлар учун шартларни созлайди, иккинчиси (S2) – агрегат сигналларни интерпретация қилади (шарҳлайди). Чиқувчи сигналлар қуйидагича ҳисобланади:

$$\begin{aligned} S1[j] &= \sum_{i=0}^{K-1} W[j, i] \cdot PV[i], \\ S2[j] &= \sum_{i=0}^{K-1} PV[i]. \end{aligned} \quad , \quad (2.3)$$

бу ерда $j = 0..L - 1$, L – чиқувчи сигналлар (агрегатлар) сони, $W[j, i]$ – тармоқнинг чизикли хусусиятлари.

Қатлам IV (актуаторлар/ бажарувчи қурилмалар) чиқувчи сигналлардан иборат ва қуйидагича ҳисобланади:

$$Y[i] = S1[i] / S2[i], \quad (2.4)$$

бу ерда $j = 0..L - 1$.

Қувватли агрегат/двигател бошқарув жараёнини оптималлаштириш двигател қисмларининг ейилиши натижасида кўрсаткичлар ўзгаришидан қатъий назар, двигател ишига салбий таъсирининг олдини олади.

Двигателни автомобилга интеграциясидан яна бир мақсад - бири ишлаб чиқаришдаги тарқатиш қийматларини камайтириш. Бу қийматлар мақсулот таннархини кўтарилишига олиб келади ва бозорда уни рақобатбардошлигини камайтиради.

Тадбиқ этилаётган нейрон тармоғи тузилишини танлаш. Илмий тадқиқотимизда биз бир нечта нейрон тармоқларни ўрганиб чиқдик ва уларни автомобил бошқарув тизимида қўллаш бўйича тафсилотларни ишимиз давомида кўрсатиб бердик.

Нейрон тармоғига асосланган бошқарув тизими учун математик модел яратиш уни ҳисобладик. Бу ҳисоблар нейрон тармоқларни тизимга қўйилган мақсадга кўра танланилиши мумкин. Уларни [нейрон тармоқларни] асосий хусусиятлари – мосланувчанлиги.

Тармоқ алгоритминини танлаш услубини яратиш ва унинг тузилишини шакллантириш учун илмий изланишимизда бир неча босқич ва услублар таклиф этдик. Бу уч услубдан иборат. Улар чиқувчи кўрсаткичларга (сигналлар, маълумотлар) кўра имитацион моделларини таққослашга асосланган.

Биринчи усул ўзини савиясини оширишда фойдаланадиган маълумотларни йиғиш ва таҳлиллаш тури бўйича тақсимланади: иш бажариш давомида, синов маълумотларни маълумотлар базасига сақлаш орқали; *иккинчи усул* – тасдиқлаш усули: динамик, яъни ўзгарувчан маълумотларни тақсимлаш; *учинчи усул* – маълумотларни тақсимлашсиз статистика асосида маълумотларни йиғиш.

Уч усул ёрдамида имитацион синаш натижасида қуйидаги хулосалар чиқарилди:

– ҳажми кўп бўлмаган маълумот билан тасдиқлаш усулини қўллаш мақсадга мувофиқ;

– олинган маълумотларни тахминий танловида статистика асосида маълумотларни йиғиш усулини қўллаш мақсадга мувофиқ;

– ўзини савиясини оширишга асосланган усул тизимни (автомобил ёки двигател) қисқа муддат ишлаганда ўзини тўла-тўқис оқламади. Бу усул тизимни узоқ муддатли ишида ёки шаклланган базада самарадорлиги кўрсатди.

Тизимни моделлаш иккита поғонадан иборат. Биринчиси, оператор командаси асосида, ўзгариш динамикасини инобатга олган ҳолатда, тизимни моделини яратиш. Иккинчиси, моделни танлов алгоритмларини танлаш ва иш жараёнига баҳо бериш.

Двигателни бошқарув математик модели ва унинг ечими. Қўйилган мақсад двигателни ишлаш жараёнида математик тегламалар ва тизимдаги ўзаро боғланишлар орқали ўрганиш. Инжекторлик двигателларни асосий техник кўрсаткичлар аниқлаш учун қонуниятлари ҳисобига асослаган. Булар учқун бериш ва пуркаш вақтини (тирсакли вални айланиш бурчаги бўйича) аниқлаш. Тенглама динамик кўрсаткичларни ўзаро боғлиқлиги учун келтирилади.

Турбокучайтиришсиз двигател учун тирсакли вал айланиш частотаси $\omega(t)$ нинг дифференциал чизикли тенгламаси кўйидаги шаклга эга:

$$T_D \frac{d\omega(t)}{dt} + K_D \omega(t) = h(t) - T_C M_C(t). \quad (3.1)$$

бу ерда $h(t)$ – ёқилғи пуркаш ва ўт бериш (учкун), ВДОНС двигатели учун фақат учкун бериш, вақти; $M_C(t)$ – юкланиш кўрсаткичи; t – вақт; T_D , K_D , T_C – двигателни конструктив ўзига хослигини инобатга олувчи доимий кўрсаткичлар.

Ўт бериш $h(t)$ (3.1.) тенглама ёрдамида ҳисобланади:

$$h(t) = T_D \frac{d\omega(t)}{dt} + K_D \omega(t) + T_C M_C(t). \quad (3.2)$$

Синаш жараёнида ИЁД бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтиш учун t_i ва ω_i олинади. t_i ва ω_i айнан шу ҳолат учун олинандиган кўрсаткичлар, i – ҳолатдан ҳолатга ўтиш нуқтаси.

Берилган интервалда частоталарни ўзгариш оралиғи чизикли тенглама орқали аниқланади, агар $\omega_i - t_i$ вақт учун керакли бошланғич тирсакли вал частотаси $\omega_{i+1} - t_{i+1}$ вақт учун керакли якуний тирсакли вал частотаси.

$\omega(t)$ тенгламаси кўйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\omega(t) = \frac{\omega_{i+1} - \omega_i}{t_{i+1} - t_i} \cdot t - \frac{t_i(\omega_{i+1} - \omega_i)}{t_{i+1} - t_i} + \omega_i, \quad (3.3)$$

бу ерда $i = \overline{1, n}$; n – ИЁДни бир ҳолатдан бошқа ҳолатга ўтиш нуқталар сони.

(3.2) тенглама ва берилган частоталарни ўзариш кўрсаткичлари бўйича, $h(t)$ ни кўйидаги тенглама билан ифодалаймиз:

$$h(t) = T_D \frac{\omega_{i+1} - \omega_i}{t_{i+1} - t_i} + K_D \frac{\omega_{i+1} - \omega_i}{t_{i+1} - t_i} \cdot t - K_D \frac{t_i(\omega_{i+1} - \omega_i)}{t_{i+1} - t_i} + K_D \omega_i + T_C M_C(t), \quad (3.4)$$

бу ерда $i = \overline{1, n}$.

Автоном, мустақил турбокучайтиргичли ИЁД учун чизикли дифференциал тенглама кўйидаги ифодаланади:

$$T_2^2 \frac{d^2\omega(t)}{dt^2} + T_1 \frac{d\omega(t)}{dt} + T_0 \omega(t) = T_h \frac{dh(t)}{dt} + K_h h(t) - T_M \frac{dM_C(t)}{dt} - K_M M_C(t), \quad (3.5)$$

бу ерда T_2 , T_1 , T_0 , T_h , K_h , T_M , K_M – двигателнинг конструктив ўзига хослигини инобатга олувчи доимий кўрсаткичлар.

Агар ИЁДни чиқувчи кўрсаткичларини аниқлаш орқали кўриб ҳисоблайдиган бўлсак (3.3), чизикли ω – тирсакли вал частотаси вақтга боғлиқлигини кўрсатади. Бошланғич шарт ИЁДни текис ишлаш ҳолатига кўра олинади.

Ноаниқ коэффициентлар усули ва Лаплас тенгламасининг ўзгаришини инобатга олган ҳолда кўйидаги тенгламани ечамиз:

$$\begin{aligned}
h(t) = & \frac{T_0 \cdot (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_h (t_{i+1} - t_i)} \cdot t + \left(\frac{T_1 (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_h (t_{i+1} - t_i)} - \frac{T_0 \cdot t_i (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_h (t_{i+1} - t_i)} + \right. \\
& + \frac{K_M M_C}{K_h} - \frac{T_0 \cdot T_h (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_h^2 (t_{i+1} - t_i)} \left. \right) + \left(\frac{T_0 \cdot T_h (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_h^2 (t_{i+1} - t_i)} - \right. \\
& \left. - \frac{T_1 (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_h (t_{i+1} - t_i)} + \frac{T_0 \cdot t_i (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_h (t_{i+1} - t_i)} - \frac{K_M M_C}{K_h} \right) \cdot e^{-\frac{K_h \cdot t}{T_h}},
\end{aligned} \tag{3.6}$$

бу ерда $i = \overline{1, n}$.

Агар ИЁДни ўзгарувчан юкланиш бўйича кўрадиган бўлсак, бунда ҳам ноаниқ коэффициентлар усули ва Лаплас тенгламасининг ўзгаришини назарда тутган ҳолда қуйидаги тенгламани ечамиз:

$$\begin{aligned}
M_C(t) = & -\frac{T_0 \cdot (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_M (t_{i+1} - t_i)} \cdot t + \left(\frac{T_1 (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_M (t_{i+1} - t_i)} - \frac{T_0 \cdot t_i (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_M (t_{i+1} - t_i)} + \right. \\
& + \frac{K_h \cdot h}{K_M} - \frac{T_0 \cdot T_M (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_M^2 (t_{i+1} - t_i)} \left. \right) - \left(\frac{T_0 \cdot t_i (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_M (t_{i+1} - t_i)} + \right. \\
& \left. + \frac{T_1 (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_M (t_{i+1} - t_i)} - \frac{T_0 \cdot T_M (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_M^2 (t_{i+1} - t_i)} - \frac{K_h \cdot h}{K_M} \right) \cdot e^{-\frac{K_M \cdot t}{T_M}},
\end{aligned} \tag{3.7}$$

Бу ерда $i = \overline{1, n}$.

Тенглама натижасида олинган ҳисоблар синов объектини (ИЁДни) бошқариш иккита кирувчи (тизим учун кирувчи, объект учун чиқувчи) кўрсаткичлар: ўт олдириш вақти ва тирсакли валда юкланишнинг ўзгаришига имкон беради. ИЁДни дифференциал тенгламаси қуйидаги якуний кўринишга эга бўлади:

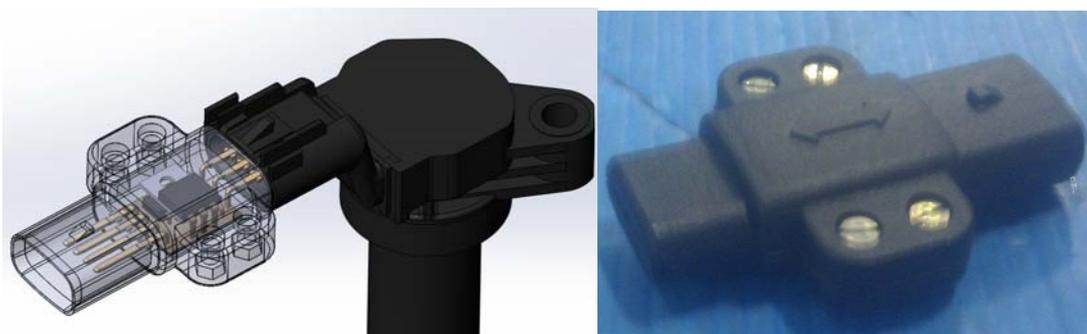
$$h(t) = T_D \frac{\omega_{i+1} - \omega_i}{t_{i+1} - t_i} + K_D \frac{\omega_{i+1} - \omega_i}{t_{i+1} - t_i} \cdot t - K_D \frac{t_i (\omega_{i+1} - \omega_i)}{t_{i+1} - t_i} + K_D \omega_i + T_C M_C(t) + K_A \omega_i \tag{3.8}$$

Диссертациянинг “**Эксперимент натижаларининг таҳлили**” деб номланган тўртинчи бобида синов услуги, ВДОНС двигатели стенд синовлари (ўт олдиришсиз ва иссиқ синовлар), интеграция қилинган маҳаллий ишлаб чиқарилган автомобилни йўлдаги ва имитацион синовлар натижаси ҳамда уларнинг таҳлили келтирилган.

Синовлар халқаро ва GM стандартлари бўйича ўтказилган.

Илмий изланиш давомида ўт бериш ғалтагини мехатрон адаптер таклиф этилди (5 расм) унинг кўрсаткичлари ўрганиб чиқилда ва асосланди (5-расм). Бу мехатрон модули ўт олдириш ғалтагининг игнители, яъни ўт олдириш вақтини ҳар бир цилиндр учун мустақил ҳисоблаб, энг оптимал вақтда учқун ҳосил қилиш учун сигнал беради. Бунинг асоси электрон тизим бўлиб, физик хусусиятлари ғалтакка келаётган сигналларни Вольт-Ампер кўринишига ўтказиб беради.

Адаптер мехатрон сигналларни йўқотишсиз етказиб беришга мўлжалланган бўлиб, бевосита двигателни электрон бошқарув қурилмасига улайди.

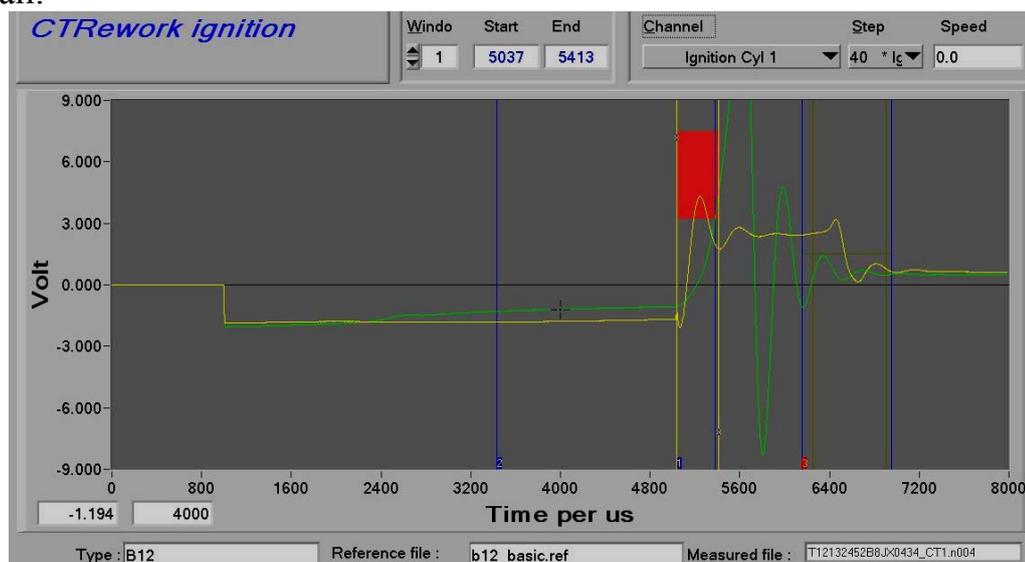


**5-расм. Ўт бериш ғалтагининг мехатрон адаптери
(чап томонда лойиҳаланган модели, ўнг томонда саноат намунаси)**

Тадқиқот жараёнида мехатрон адаптер ташқи уланиш кўринишига эга. Лекин саноатда ишлатилганда ўт олдириш ғалтаги ичида жойлашганлиги сабабли ихчам кўринади. Услуб двигателни электрон бошқарув қурилмасидан сигналларни бурувчи момент кўрсаткичи билан инобатга олган ҳолатдан келиб чиқиб, буюрувчи сигнални генерация қилишдан иборат.

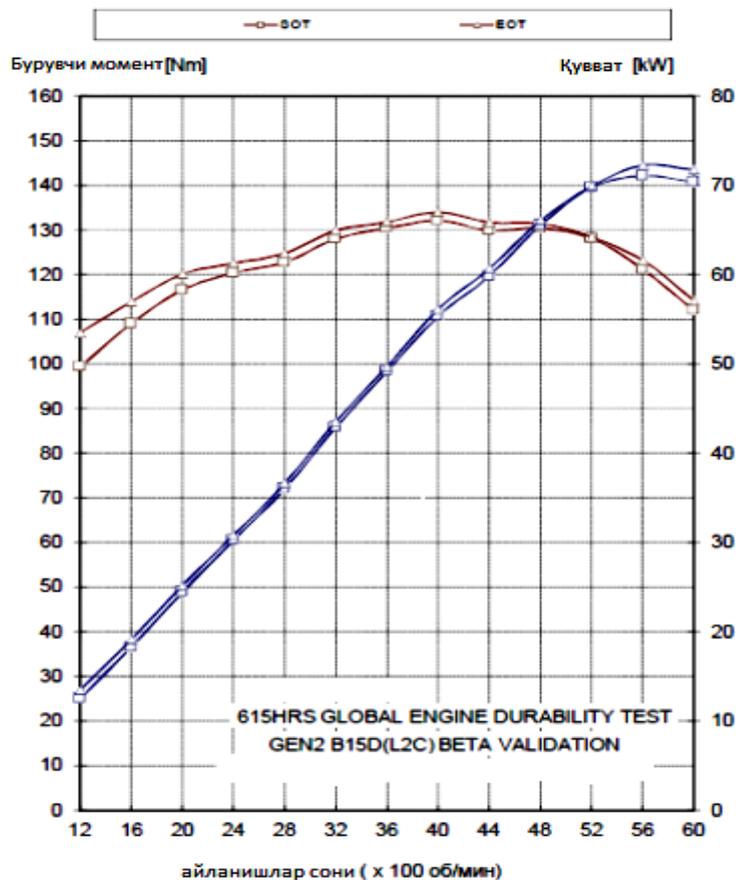
Ўт олдирмасдан (совуқ ҳолатда) ўтказиладиган синов двигателнинг асосий кўрсаткичларини ўт олдирмаган ҳолатда синов стендининг етакчи электр мотори орқали амалга оширилади. Электр мотор синовдаги двигателни юқори, ўрта ва паст айланишларда айлантиради ҳамда ишлаб чиқаришдаги бўлган асосий сифат кўрсаткичларини аниқлайди. Двигателлар яроқли ёки яроқсизлиги эмпирик услуб орқали сараланади.

6-расмда тадбиқ этилаётган объектни – адаптерни асосий кўрсаткичи: ўт беришга сигнал вақти ва унинг ток кучланиши (графикда сариқ рангли чизик) чегараланган кўрсаткичлар эканлигини кўриш мумкин. Яшил рангли чизик – адаптерсиз бўлган ғалтак кўрсаткичлари ифодаланган. Бу адаптерни ишчанлиги қайта синовлар билан ва синов натижалари таҳлили орқали асосланган.



6-расм. Игниторлик адаптор орқали ишловчи ўт олдириш ғалтагининг асосий кўрсаткичини синаш диаграммаси

Ўт олдирилган ҳолатда синов (иссиқ синов) двигателни асосий эксплуатацион кўрсаткичларини синаш учун мўлжалланган. Бу синов давомида двигателни ишлаш шароитлари автомобилни йўлда ишлаш ҳолатларига яқинлаштирган, яъни ўзгарувчан юкланиш, бурувчи момент, тебранишлар ва шу каби кўрсаткичлар.



7-расм. Двигателни иссиқ синов натижалари.

Шу қаторда иссиқ синов алоҳида яратилган. Лекин поғоналар бўйича фаркланадиган синов ўтказилади. Бу синов мақсади двигателни асосий техник кўрсаткичлари: максимал бурувчи момент, максимал қувват, ёқилғи тежамкорлиги, экологик ва бошқалар.

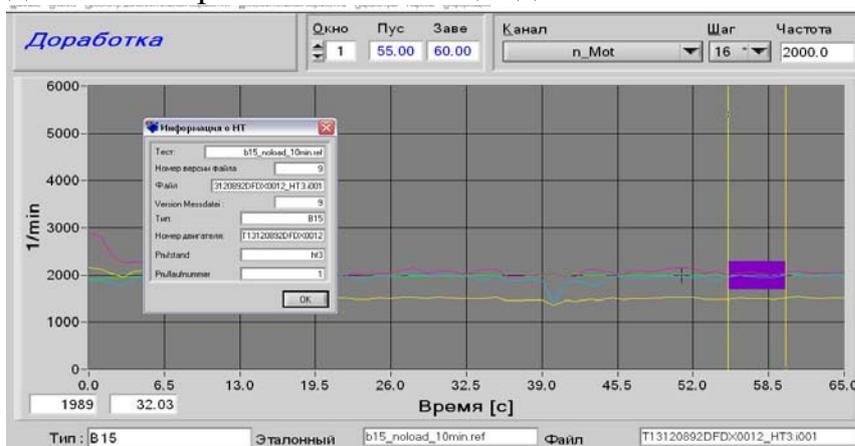
Интеграция қилинаётган ва синалаётган BDOHC 1,5 литр двигателга автомобил лойиҳалувчи муҳандислари томонидан қуйидаги минимал кўрсаткичлар қўйилган: максимал қувват – 75 кВт; бурувчи момент – 135 Н·м; ёқилғи тежамкорлиги (асосий синов йўл ҳолатида олинади) – ўртача максимал 9 л/100км; экологик кўрсаткичи – Евро 5.

Синов натижаларига кўра, максимал қувват – 79 кВт; бурувчи момент – 140 Н·м; экологик кўрсаткичи – Евро 5 га тенг бўлди ва барча қўйилган талабларга жавоб берди.

Иссиқ синов натижалари адекватлиги двигателни электрон бошқарув қурилмасига бериладиган сигналлар ва двигателда чиқувчи кўрсаткичларини таққослаш ҳамда бу кўрсаткичларни шу турдаги двигателларни кўрсаткичлари билан солиштириш орқали аниқланади. Диссертация ишининг учинчи бобида тақдим этилган математик моделидан бошқарув тизимида

фойдаланиб ўт олдириш вақти/даври h , тирсакли валдаги юкланиш M_C нинг кўрсаткичи турли поғоналарда 8-расмдаги сингари кўринишига эга бўлди.

Бу натижалар бизнинг двигателни бошқаруви математик моделимиз ишчанлигини ва тадқиқот объекти интеграция кўрсаткичлари қўйилган кўрсаткичларида жавоб беришини номаён қилди.



8-расм. Электрон бошқарув қурилма ва бошқарув моделини адекватлигини текшириш ва иссиқ синов натижаларини асослаш диаграммаси

Иссиқ синовдан кейин қувватли агрегат J200 платформасидаги маҳаллий ишлаб чиқарилаётган автомобилга интеграция қилинди (9-расм) ва унинг йўл синовлари амалга оширилди.

Бу синовларда тадқиқот объектининг реал ҳолатда асосий кўрсаткичлари синалиб, уни умумий ишчанлиги текширилди. Йўлдаги синов натижалари асосида иккита физик кўрсаткични аниқлаш мақсади қўйилган эди. Бу кўрсаткичлар ёқилғи тежамкорлиги ЕС 715/2007 ва ЕС 692/2008 директивалари ва ТУ- TSh64-22596387-001:2012; Ts 22596387-01:2015 ларга кўра бошқарув тизими оператордан сигналларни қабул қилиш ҳамда актуаторларга етказиш функциялари белгиланди.



9-расм. Интеграция қилинган қувватли агрегат. Йўлда синов учун тайёрланмоқда

Синов натижасида ёқилғи тежамкорлиги (асосий синов йўл ҳолатида олинади) – ўртача максимал 8,2 л/100км ни ташкил этди. Электрон бошқарув тизими сигналларни қабул қилиш ва актуаторларга етказиш диагностика ускунаси орқали лаёқатлилиги аниқланди.

Тўртинчи боб бўйича қуйидаги умумий хулосалар чиқарилди:

1. L2C J200 двигателни совуқ синови натижалари тахлили шуни кўрсатдики – барча синалаётган кўрсаткичлар сифат чегаралари жавоб беради ва тадбиқ этилаётган игниторлик адаптер керакли кўрсаткичлари: ўт олдириш вақти ва кучини таъминлайди.

2. Двигателни совуқ синови натижалари кўра адаптор 3дан 7,5гача Вольт сигнаlinesи 0,01 сонияда юқори аниқликда етказиб беради (бу сўралган 4÷6 Вольт 0,03 сония тезлик тўла-тўккиз таъминлайди). Бу ҳолат адаптор J200 платформасида фойдаланиладиган бошқа двигателарнидан ҳам юқори тезликларида ҳам ўз вазифасини таъминлашини кўрсатди.

3. Имитацион синовлар натижасига кўра максимал нолайиклик двигателни 2210 айланиши поғонанинг 2 секунда аниқланда ва 15 айланиш/соатга тенг бўлди, бу 0,68% ташкил қилди.

5. Интеграция қилинаётган двигателни кўрсаткичлари қуйидагилар: максимал қувват – 79 кВт; максимал бурувчи момент – 140 Н·м; ўртача максимал ёнилғи сарфи – 8,7 л.; экологик кўрсаткич – Евро 5, талаб қилинган кўрсаткичларга жавоб беради.

Диссертациянинг «Ишни техник-иқтисодий асосланиши» деб номланган иккинчи бобида илмий изланиш асосий натижаларининг ишлаб чиқариш ва ўқув жараёнига тадбиқ этишдан олинган техник-иқтисодий натижаларига бағишланган.

Техник-иқтисодий ҳисоблар двигателни ишлаб чиқариш жараёни учун саналган ва ишлаб чиқаришга тадбиқ этиш далолатномалари билан асосланган. Унга кўра, АЖ “Дженерал Моторс Пауэртрейн Ўзбекистон” корхонасида маҳаллий ишлаб чиқарилаётган двигателлар учун умумий иқтисод 700 минг АҚШ долларига тенг.

Интеграция қилинаётган двигатель шаҳарда 100 километрга 1,1 литр ёқилғи F3D16 двигателига қараганда камроқ сарф қилади. Ўрта ҳисобда йиллик 20000 км йўл учун бу 220 литр (бензин нарҳи 2800 сум/литрга) бу бир автомобилдан йилига 616 000 сум тежалади.

Келажакдаги лойиҳаларда таклиф этилаётган услублардан фойланиш мумкин. Ишнинг назарий маълумотлари Тошкент автомобиль йўлларини лоиҳалаштириш, қуриш ва фойдаланиш институти ва Тошкентдаги Турин Политехника Университети “Мехатроника”, “Саноат ишлаб чиқариш асослари”, “Саноат лойиҳалаш” фанларини ўқитишда фойдаланилмоқда.

ХУЛОСА

“Нейрон тармоқлари орқали двигателни автомобиль мехатрон тизими билан интеграция қилиш усуллари ишлаб чиқиш” мавзусидаги фан доктори диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижалари асосида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Нейрон тармоқлари орқали автомобил двигатели мехатроника тизими билан интеграция қилиш услуби ишлаб чиқилди. Ушбу услуб бир платформада бир нечи двигателларни муайян интеграция қилишга имконият берди.

2. Ёқилғи-хаво миқдорини 1:14,7 нисбатида таъминлаб берувчи, маълумотни етказишда ёпиқ тармоқ орқали ва барча электрон сигналларни электрон бошқарув қурилма орқали амалга оширувчи двигатель ва мехатрон тизимини интеграция услуби ишлаб чиқилди.

3. Нейрон тармоқлар автомобиль платформаси ва ундаги ўзига хосликлар бўйича қатламларга бўлинадиган ҳамда кирувчи–чиқувчи кўрсаткичлари автомобиль қисмларига эмас, нейрон қатламига дастурлаштирилдиган “Нейрон тармоқларни дисперсияси” деб аталувчи янги илмий атама назарияси ишлаб чиқилди. Ушбу илмий йўналиш автомобилларни sanoat ишлаб чиқариш жараёнида қўллаш йўллари асослаб берилди.

4. Нейрон тармоқларда қатламларни тизимлаш орқали янги кириш ва чиқиш кўрсаткичларга эга бўлиш имкониятини берувчи ва бу қатламларни бошқарадиган услубга ишлаб чиқилди. Ушбу услуб кириш сигналларни сони ўзгарганда ҳам керакли чиқувчи сигналлар сонини актуаторларга етказиб бериш имконини берди.

5. Электрон бошқариладиган ўт олдириш ғалтаги учун мехатрон қурилма – “игнитор” адаптори моделлаштирилиб, унинг физик хусусиятлари ва эксплуатацион кўрсаткичлари асосланди. Ишлаб чиқилган мехатрон адаптор модели двигателларни синаш жараёнини такомиллаштириш имконини берди. Бу ҳолат адаптор J200 платформасида фойдаланиладиган бошқа двигателарнидан ҳам юқори тезликларида ҳам ўз вазифасини таъминлашини кўрсатди.

6. Двигателни классига қараб ўт олдириш ғалтагини мехатрон адапторни хусусиятини кўрсаткичисини (K_A) ҳисоблаш модели ишлаб чиқилди ва асосланди. K_A коэффиценти двигателни айланиш сонлари ўзгариши ҳисобига мослаштириш асосида автомобилни ўт олдириш тизимини такомиллаштириш имконини берди.

7. Нейрон тармоғининг ишланган модели гибрид ноаниқ нейрон тармоғини кўрсаткичларини ҳисоблаб чиқишга имконият берди. Ушбу тармоқ сунний, аниқ ва бошқа нейрон тармоқларидан афзаллигини кўрсатди ҳамда интеграция жараёнини муайян олиб боришга имконини берди.

8. Совуқ ва иссиқ ҳолатда синов натижаларига кўра ишлаб чиқилган мехатрон адаптер 3 Вольтдан 7,5 Вольтгача токни 0,01 секунд аниқликда (талаб: 4÷6 Вольт, 0,03 секунд аниқликда) етказиб беришга хизмат қилади.

9. Интеграция қилинаётган двигателни қуйидаги кўрсаткичлари: максимал қувват – 79 кВт; максимал бурувчи момент – 140 Н·м асосланди. Меъёрий талабларда максимал қувват - 75 кВт ва максимал бурувчи момент – 135 Н·м дан кам бўлмаслигини белгилаб қўйилган.

10. Йўл синовлари ва таҳлилларга кўра интеграллаштирилган двигателни ёқилғи тежамкорлиги 11% га яхшиланди, бу ВДОНС двигатели ҳозирги F3D16 двигателдан кўра 100 километрга 1,1 литрга камроқ ёқилғи сарфлаш имконини берди. Интеграллаштирилаётган двигателни чиқинди газларини таҳлили унинг Евро 5 стандарларига тўғри келишини асосланди.

11. Мехатрон адапторини двигатель чиқариш ва янги лойиҳаларга ишга тушириш жараёнига тадбиқ этиш натижасида тўғридан–тўғри иқтисод 700 минг АҚШ долларини ташкил этди. Назарий ва синов натижаларига кўра ВДОНС двигателини J200 автомобили мехатрон тизимига нейрон тармоқлари ёрдамида интеграциясига кўра бир автомобилдан 20 минг километр юришдан 616 000 сўм иқтисод қилиш имконини берди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.27.06.2017.Т.09.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ИНСТИТУТЕ ПО
ПРОЕКТИРОВАНИЮ, СТРОИТЕЛЬСТВУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И ТУРИНСКОМ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ В ГОРОДЕ ТАШКЕНТЕ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ,
СТРОИТЕЛЬСТВУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

ИНОЯТХОДЖАЕВ ЖАМШИД ШУХРАТУЛЛАЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ИНТЕГРАЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ С
МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМОЙ АВТОМОБИЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

05.08.06 – Колесные и гусеничные машины и их эксплуатация

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА НАУКАМ

Ташкент – 2017

Тема диссертации доктора технических наук (DSc) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № B2017.1.DSc/T61.

Диссертация выполнена в Ташкентском институте по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице (www.tayi.uz) и на Информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель:	Шермухамедов Абдулазиз Адилхакович доктор технических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Мухитдинов Акмал Анварович доктор технических наук, профессор Орипджанов Мадамин Магрупович доктор технических наук, профессор Лавелла Марио (Италия) доктор технических наук, профессор
Ведущая организация:	Ташкентский государственный технический университет

Защита диссертации состоится «__» _____ 2017 года в ____ часов на заседании Научного совета DSc.27.06.2017.T.09.01 при Ташкентском институте по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог и Туринском политехническом университете в городе Ташкенте. (Адрес: 100060, г.Ташкент, проспект А.Темура, 20. Тел./факс: (99871) 232-14-39, e-mail: tadi_info@edu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского института по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог (зарегистрирована за № ____). Адрес: 100060, г.Ташкент, проспект А.Темура, 20. Тел.: (99871) 232-14-45.

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2017 года.
(реестр протокола рассылки № __ от «__» _____ 2017 года).

А.А.Рискулов

Председатель научного совета по
присуждению ученых степеней, д.т.н.

А.М.Бабоев

Ученый секретарь научного совета по
присуждению ученых степеней, к.т.н.

А.А.Мухитдинов

Председатель научного семинара при научном
совете по присуждению ученых степеней,
д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской диссертации)

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире ведутся исследования направленные на эффективное использование ресурсов и энергии, энергосберегающих технологий, усовершенствование технических средств, а также охрана окружающей среды при эксплуатации считается одной из главных задач современного автомобилестроения. Одной из проблем считается переоснащение автомобильных предприятий на новую технику и технологию. В этом отношении лидерами по внедрению высокоэффективных технологий в автомобильную промышленность считаются такие страны как Германия, США, Япония, Франция, Италия, Южная Корея, Великобритания и другие.

С обретением независимости в нашей стране обращается особое внимание на сокращение трудо- и энергозатрат в производстве, управлению производственными процессами с высокой эффективностью, ресурсосбережение, сборке агрегатов (интеграции узлов), повышению экологических показателей во время эксплуатации и производства автомобилей. В этом отношении определенные результаты имеет производство автомобилей и его деталей, в частности, локализация частей и агрегатов автомобиля создали благоприятную обстановку для развития направления. На ряду с этим нуждается в усовершенствовании направление интеграции двигателя с мехатронной системой автомобиля. В Стратегии развития³ Республики Узбекистан для дальнейшего повышения конкурентоспособности экономики отмечается о необходимости понижения энерго- и ресурсозатрат, широкое внедрении энергосберегающих технологий. Это является предпосылкой для научно-исследовательских работ по направлению интеграции двигателей с мехатронными системами автомобилей с помощью нейронных сетей, электронном управление мехатроникой автомобиля с помощью адаптора, усовершенствованию процесса испытания двигателя.

Понижение объема цилиндров в двигателе, т.е. даунсайзинг призван для повышения топливосбережения и понижения выбросов в атмосферу отработавших газов автомобильным транспортом. Проводимые целевые исследования в этом направлении в мире имеют важное значение. В частности, классическая теория автомобиля и новые технологии в автомобилестроении направленные на обеспечение интеграции двигателя с мехатронной системой автомобиля, в среде “Автомобильная мехатроника-двигатель-система электронного управления”, устранение несогласованности между элементами системы.

Постановление Президента Республики Узбекистан от 16 декабря 2008 года №ПП-1020 “О создании предприятия с участием иностранной инвестицией по производству силовых агрегатов Дженерал Моторс

³ Указ Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

Пауэртрейн – Узбекистан”, Постановление Президента Республики Узбекистан №ПП-1442 от 15 декабря 2010 года «О приоритетных направлениях развития промышленности Республики Узбекистан в 2011-2015 годы», а также Указ Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» и другие нормативные документы, изданные в данном направлении, служат укрепляющей базой для ведения и осуществления деятельности по направлению исследования данной диссертации.

Соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики. Диссертация выполнена в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики II. «Энергетика, энерго-ресурсосбережение, транспорт, машино- и приборостроение».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации⁴. По направлению разработки и совершенствованию технологий интеграции в основном, ведутся в исследовательских и образовательных центрах при Massachusetts Institute of Technology (США), Tokio Technology University (Япония), исследовательский центр при Ulsan University (Жанубий Корея), Munich University (Германия), Zwickau Engineering Center (Германия), научно-исследовательский центр при Chicago University (АҚШ).

Нейронные сети позволяют гибко приспособлять электронные актуаторы силовых агрегатов под систему управления. В зависимости от типа нейронных сетей они решают различные задачи и используют различные методы решения для интеграции. По интеграции двигателя с мехатронной системой автомобиля с использованием метода двоичной системы был заложен в Massachusetts Institute of Technology (США), разработкой софтов для системы управления и интеграции между различными моделями разработан компанией Bosch (Германия), метод выботки нейронных сетей из искусственной, четкой, гибридной и нечеткой сетей для решения конкретных задач разработан в Tokio Technology University.

В мире по решению проблем интеграции двигателей с мехатронной системой автомобиля проводятся изыскания по следующим приоритетным направлениям: широкая модернизация производственного процесса, обновление техники и технологии, оснащение новейшим оборудованием; усовершенствование направления промышленности передовыми методами и инновационными технологиями; производство экспортоориентированной конкурентоспособной продукции; производство продукции с высокой эффективностью и низкой себестоимостью; производство продукции отвечающей мировым стандартам и техническим регламентам.

⁴По теме диссертации обзор зарубежных исследований получен из <http://www.stat.berkeley.edu/~bartlett/nnl/>, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-79257-4_7, <https://www.autosar.org/>, а также других источников.

Степень изученности проблемы. В мировой практике разработаны различные способы интеграции двигателя с мехатронными системами автомобиля. Проблемами интеграции двигателей к автомобилям занимались Barrett D.S., Genta G., Berenji H.R. Daniels J., Egger K., Warga J., Ludwig A., McBeath S., Reimpell J., Stoll H., Runge W., Schoner H., Луканин В.Н., Шатров М.Г., Петров А.Б., Фролов Ю.Н. Лебедев О.В., Қодиров С.М., Мухитдинов А.А., Файзуллаев Э.З. и другие. Однако, проблеме интеграции двигателя с мехатронными системами автомобиля с помощью нейронных сетей уделялось недостаточное внимание.

В нашей стране до начала производства двигателей научно-техническая проблема интеграции двигателей межплатформами не стояла столь остро и на сегодняшний день существует такая потребность.

Кроме этого, нами разработан метод с учетом объединения нескольких технологических процессов производства, где модель управления построена на алгоритме нейронных сетей, так называемых смарт систем, которые позволяют само-организацию и само-диагностику для единой систематизации. Поэтому проблема интеграции двигателей производимых в Узбекистане с мехатронной системой автомобиля является приоритетным направлением данной работы.

В нашей республике в процессе производства автомобиля используется готовые разработанные, в зарубежных компаниях, модели и локализируются некоторые части, в том числе и двигатели. Такой процесс порождает некоторые проблемы прикладного и практического характера: трудность в соответствии экологическим нормам в стране экспорта автомобилей, различие в использовании стандартов на топливо, спрос потребителей в использовании различных двигателей в одной модели автомобиля. Вышеуказанное требует использование/оснащение нескольких видов двигателей в единой платформе автомобиля. Соответственно, актуально исследование в направлении интеграции различных двигателей на автомобиль одной модели и наоборот интеграция одного вида двигателя на различные модели автомобиля.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательскими работ высшего образовательного или научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация отражена в международном проекте L2C-J200 “Внедрение двигателей на обновленный автомобиль Chevrolet Gentra J200” на АО «Дженерал Моторс Пауэртрейн Узбекистан» и проекте “Технический редизайн с связи с внедрением стандарта Евро 6” «Дженерал Моторс Пауэртрейн Европ».

Целью исследования является разработка методов интеграции двигателей с мехатронными системами автомобиля с помощью нейронных сетей.

Задачи исследования:

разработка методов интеграции двигателей с мехатронными системами автомобилей с помощью нового алгоритма нейронных сетей электронного управления;

разработка модели электронного управления двигателем с помощью мехатронного адаптора;

разработка модели нейронной сети позволяющая рассчитать входные и выходные данные сети;

анализ результатов холодных и горячих испытаний двигателя автомобиля и совершенствование проведения тестовых испытаний для двигателей с апгрейдом с помощью мехатронного адаптора;

анализ мощности и крутящего момента интегрируемого двигателя;

анализ топливной экономичности и экологических показателей интегрируемого двигателя;

Оценка эффективности от внедрения результатов работы.

Объектами исследования является автомобиль, его двигатель с мехатронным адаптором и системы управления на основе нейронных сетей.

Предметом исследования является основные эксплуатационные параметры двигателей, его алгоритм управления; интеграционные процессы и этапы интеграции автомобиля с двигателем; конструктивно-технологические параметры.

Методы исследования. Используются классические методы механики, методы математического моделирования и математической статистики, теоретической механики, методы системного анализа с помощью компьютерного (имитационного) моделирования экспериментальных этапов, теории автомобиля, методы синтеза.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработан метод интеграции силовых агрегатов с мехатронными системами автомобилей с помощью архитектуры нейронных сетей;

разработана и обоснована модель мехатронного адаптора для системы зажигания;

разработана модель управления двигателем с использованием нейронных сетей в качестве основного элемента софта;

впервые создан алгоритм управления мехатронной системой третьего поколения – с системой анализа накопленной информации и выбора оптимальных режимов, для автомобилей с различным классом мехатронных элементов;

предложен новый метод и обоснована его эффективность для обработки, анализа и передачи данных в органы управления двигателем (дисперсия нейронных сетей);

определена методика выбора характеристик нейронных сетей в системе управления согласно запросу интеграции и законов их систематизации.

Практические результаты исследования заключается в следующем:

создана технология интеграции двигателей с усовершенствованными автомобилями или новыми автомобилями определённой платформы для производителей легковых автомобилей;

внедрен и обосновано применение электронного адаптора для двигательного производства для гибкого переоснащения и внедрения

ресурсосберегающих технологий (технологический процесс “GMPT TIS OP1900 for J200”);

усовершенствованная система управления мехатронными элементами автомобиля позволила повысить топливную экономичность и улучшить экологические показатели двигателей;

усовершенствован алгоритм управления, новая архитектура электронного управления актуаторами, а также их метод диагностики.

Достоверность полученных результатов исследования обеспечивается необходимым объемом экспериментальных исследований на современных приборах и испытательных стендах с применением стандартизированных методов; подтверждается удовлетворительным совпадением экспериментальных данных и результатов, полученных в ходе теоретических расчетов; параметры интегрируемого двигателя измерены современными измерительными средствами, а также испытаны на стендах по холодному, горячему, динамометрическому тесту, проведены имитационные испытания (максимально приближенные к реальным ездовым условиям); результаты исследований обсуждены на международных и республиканских научно-практических конференциях, опубликованы в периодических журналах, признанных ВАК РУ.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Разработанная методика позволяет внедрять изменения в двигателе и мехатронной системе автомобиля с минимальным количеством времени на перепроектирование и влиянием на процесс производства.

Разработанный алгоритм управления позволяет усовершенствовать мехатронную систему автомобиля, снижать количество загрязняющих элементов в выхлопных газах автомобиля, улучшать топливную экономичность.

Внедрение результатов исследования. На основании разработанного метода интеграции двигателей с мехатронной системой автомобиля с помощью нейронных сетей позволило:

разработать и внедрить метод подачи управляющих сигналов в систему оценки управления двигателем и подачи основных сигналов АО “Дженерал Моторс Пауэртрейн Узбекистан” (информация АО “Узавтосаноат” №45/04-25-2688 от 14 август 2017 года, технологическое условие (Ts 22596387-01:2015)). Внедрение результатов работы позволило повысить эффективность на 9%, сократить затраты на стендовые испытания на 6,5%, повысить эффективность рабочих процессов на 11%;

обоснованы параметры применяемой модели адаптора системы зажигания внедрен в АО “Дженерал Моторс Пауэртрейн Узбекистан” (информация “Узавтосаноат” АО №45/04-25-2688 от 14 августа 2017 года). По результатам научного исследования разработанная модель адаптора системы зажигания позволила усовершенствовать процесс испытания двигателя;

метод анализа свода информации и выбора оптимальных режимов управления внедрен на предприятиях АО “Узавтосаноат”, в частности АО

“Дженерал Моторс Пауэртрейн Узбекистан” , и СП “UzKoji” (информация АО «Узавтосаноат» №45/04-25-2688 от 14 августа 2017 года). Данный метод позволил оптимизировать процесс выбора оптимальных режимов для различных классов машин с различными типами мехатронных систем во время конструкторско-испытательных мероприятий и стендовых испытаний на примере внедрения двигателя L2C BDOHC 1.5 на автомобиль платформы J200. Опытно-испытательные мероприятия позволили сэкономить 48,4 кВт энергии и 6400 литров топлива, а трудозатраты сократились на 800 чел.·час.

Теоретический материал диссертации использован в монографии коллегии европейских авторов и используется в учебном процессе ВУЗов Европейского союза и Центральной Азии.

Апробация результатов исследования. Основные результаты исследований доложены и обсуждены на 5 международных и 10 республиканских научных мероприятиях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано более 20 печатных работ, в том числе рекомендованных Высшей аттестационной комиссией 13 статей, 10 статей в национальных журналах и 3 статьи в международных журналах, получен 1 патент.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка использованной литературы и приложения. Работа изложена на 173 страницах компьютерного текста.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность и необходимость данной работы. Сформулированы цели, задачи работы, объект и предмет исследования. Показано соответствие приоритетным направлениям развития науки и технологии Республики Узбекистан. Отражены научная новизна и прикладное значение, раскрыты теоретическая значимость и внедрение в практику. Кроме этого дана общая структура диссертации и опубликованность результатов исследования.

Первая глава диссертации «**Актуальность вопроса, постановка цели и задач исследования**» посвящена аналитическому обзору литературных источников по интеграции двигателя с автомобилем и применяемая методика.

Показаны основные критерии подбора двигателя по основным его показателям, расчет и особенности методики. На рис.1 показан необходимый крутящий момент и необходимая мощность которую должен выдать силовой агрегат для интеграции с автомобилем.

В работах Barrett D.S., Berenji H.R. Daniels J., Egger K., Warga J., Ludwig A., McBeath S., Reimpell J., Stoll H., Runge W., Schoner H. обращали основное внимание на основы проектирования двигателей и подбор параметров двигателя для проектируемого автомобиля.

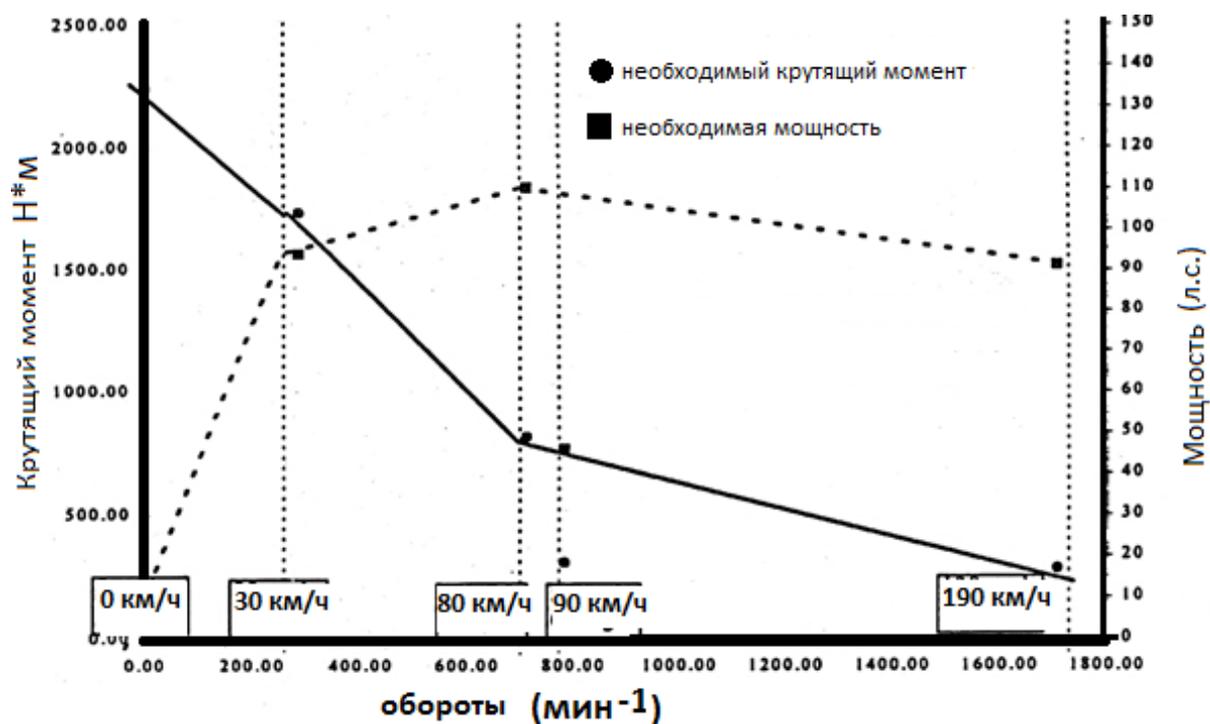


Рис.1. Максимальный крутящий момент и необходимая мощность которую должен выдать силовой агрегат

Однако, в таком процессе проектирования существует научно-практическая проблема интеграции двигателя с автомобильной мехатроникой и системой управления. К научной проблеме относятся следующее:

- разработка единой методики и обоснование её надежности для решения проблем интеграции двигателя с мехатроникой производимыми или проектируемыми автомобилями;
- разработка модели алгоритма системы управления двигателем с архитектурой управления;

Практические пролемы интеграции:

- внедрении модели в производственный процесс двигателей и авомобиля;
- приминение архитектуры управления в процессе стендовых и дорожных испытаний.

На рис.2 показана диаграмма взаимодействий показателей агрегатов и показателей автомобиля. Эти связи между агрегатами должны быть отражены также в алгоритме управления.

Анализ научной литературы и ранее проделанных работ показал что, основными проблемами интеграции двигателя с мехатронными системами автомобиля является совокупность требований к конечному продукту, который существенно расширяет модельный ряд автомобилей в одной платформе, тем самым порождая научную проблему адаптации мехатроники автомобиля и двигателя с различными поколениями и классами.

В изученных работах даны описания мехатронных систем автомобиля, взаимодействие элементов двигателя и автомобиля и общее описание

мехатроники. В них не рассматриваются факторы разнородности мехатронных элементов двигателя и автомобиля, что создаёт проблему интеграции двигателей с существующими или усовершенствующимися автомобилями.

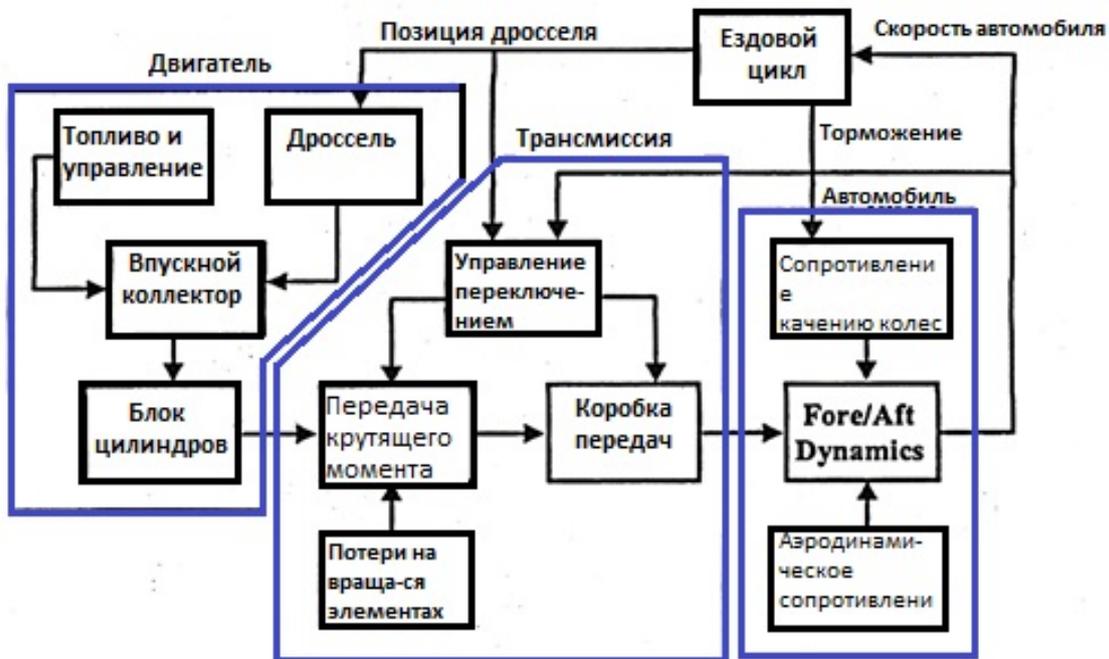


Рис.2. Диаграмма симуляционной модели

Во второй главе «Система управления двигателем и интеграция его с системой управления других узлов автомобиля» анализируется система управления и взаимодействие сенсоров и актуаторов.

Вращение коленчатого вала двигателя и масса воздуха в цилиндре используются при расчете работы EGR (клапан регулировки эмиссии). Эти значения калибровки основаны на измерении усилия двигателя и допусках концентрации, определяемых двигателем.

Расчет необходимого объема EGR основан на расчете коэффициента объема потока воздуха:

$$V_{EGR} = Des.\% EGR \times V_{AIR} / (1 - \%EGR)$$

где

V_{EGR} – необходимый объем для клапана рециркуляции;

Des. % EGR - необходимый процент открытия клапана EGR;

V_{AIR} – объем воздуха в выпускном коллекторе;

% EGR – концентрация выхлопных газов.

Этот расчет необходим для ввода математической модели работы клапана рециркулятора в алгоритм ЭБУ.

При этом необходимо учитывать и вносить в алгоритм изменения следующих величин:

- барометрическое давление;
- температура охлаждающей жидкости;
- коэффициент эквивалентности;
- передаточное число трансмиссии.

Давление потока рассчитывается для участка эффективного потока. Участок эффективного потока с коэффициентом давления выпуска к впуску, когда выставляется вертикальная ось топодиаграммы.

где A_e - давление потока;

$$cd \times A_e = m_{egr} \times \left[\frac{\sqrt{T_e \times R_e}}{P_e} \right] \times \left[\frac{1}{\Psi} \right]$$

C_d - коэффициент разряжения клапана EGR;

m_{egr} – объем выхлопа

T_e - температура выхлопных газов;

P_e - давление выхлопных газов;

R_e – газовая постоянная;

Ψ – коэффициент внешних факторов.

Вводимый Ψ коэффициент зависит от внешних факторов – давления в различных полостях ($P_r = P_{map}/P_e$) при перетечении через клапан.

P_{map} – давление на сенсоре MAP.

Система электронного управления трансмиссией. На рис.3 показан пример электронной системы управления трансмиссией автомобиля. На основании сигналов датчиков электронный блок управления (ЭБУ) вырабатывает команды на включение и выключение муфты сцепления. Эти команды подаются на электромагнитный клапан, который осуществляет включение и выключение привода сцепления. Для переключения передач используются два электромагнитных клапана.

По результатам второй главы были сделаны следующие выводы: с учетом новой архитектуры управления ЭБУ был разработан метод интеграции силовых агрегатов с мехатронной системой автомобиля с использованием замкнутых цепей при передаче информации и на основании контроля всех входных электронных сигналов и выходных сигналов к актуаторам ЭБУ, позволяющая обеспечить требуемые техническим условием соотношения топливно-воздушной в пропорции 1:14,7.

Обосновано, что использование всех трёх методов управления коррекции выходных сигналом путем дисперсии нейронных сетей, т.е. при сортировке входных и выходных сигналов они классифицируются на первостепенные – непосредственно влияющие на выходные команды, и второстепенные - влияние величины сигналов используется при расчете, но не существенны; при этом второстепенные будут иметь долгосрочную коррекцию, первостепенные – краткосрочную коррекцию, а пост-конвекторное управление – данные влияющие на процесс горения и выхлоп. Тем самым система будет иметь гибридизацию управления коррекциями в системе управления.

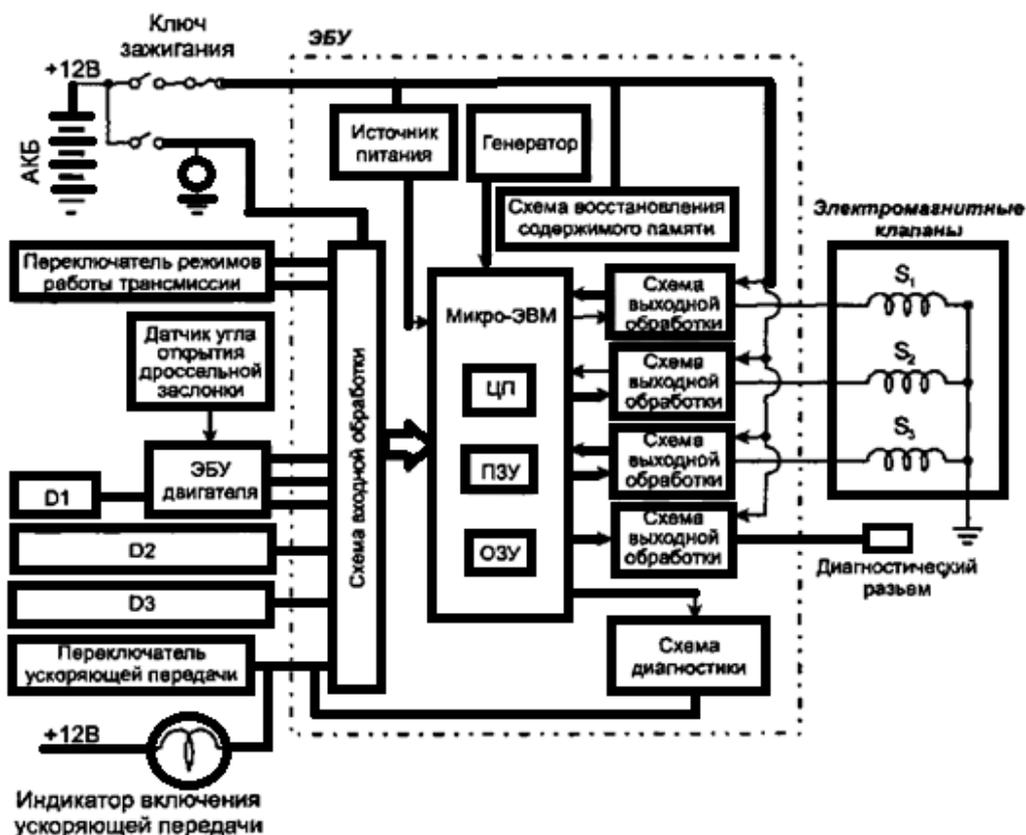


Рис.3. Система управления трансмиссией: D_1 - датчик температуры охлаждающей жидкости; D_2 - датчик скорости автомобиля, установленный в спидометре; D_3 - датчик скорости автомобиля, установленный в автоматической трансмиссии

Системы управления силовым агрегатом, шасси, подвеской может быть интегрирована в единую при соблюдении однообразия при выборе алгоритмов управления. Система управления подачей топливно-воздушной смесью электронным дросселем превосходит механический дроссель по топливной экономичности, однако перевод механических дросселей на электронные возможен только при использовании систем управления выше третьего поколения, что затрудняет модификации автомобилей, разработанных ранее.

Третья глава - «Алгоритм управления элементами мехатронной системы автомобиля. модель системы управления двигателем». В данной главе анализируются возможности нейронных сетей для использования в системе управления двигателем. Изучены алгоритмы управления элементами мехатронной системы, проанализирована предложенная модель управления, представлены расчеты и имитации модели, проанализированы результаты моделирования нейронной сети. В главе обоснованы использование Гибридных нечетких нейронных сетей для интеграции двигателя BDOHC с автомобилем платформы J200. Из рис.4. представлена предлагаемая модель. Используя эту модель можно внедрять элементы на любой слой сети, главное внести в систему математическую модель управления.

Засчет нечеткости количества элементов сеть может синергировать подсистемы «изучив» её характеристики, входные значения и выходные значения. Для этого достаточно лишь эксплуатация объекта в условиях максимальноприближенных к реальной дорожной ситуации. С продолжительностью работы всей сети улучшается её усваиваемость и база накапливаемых знаний.

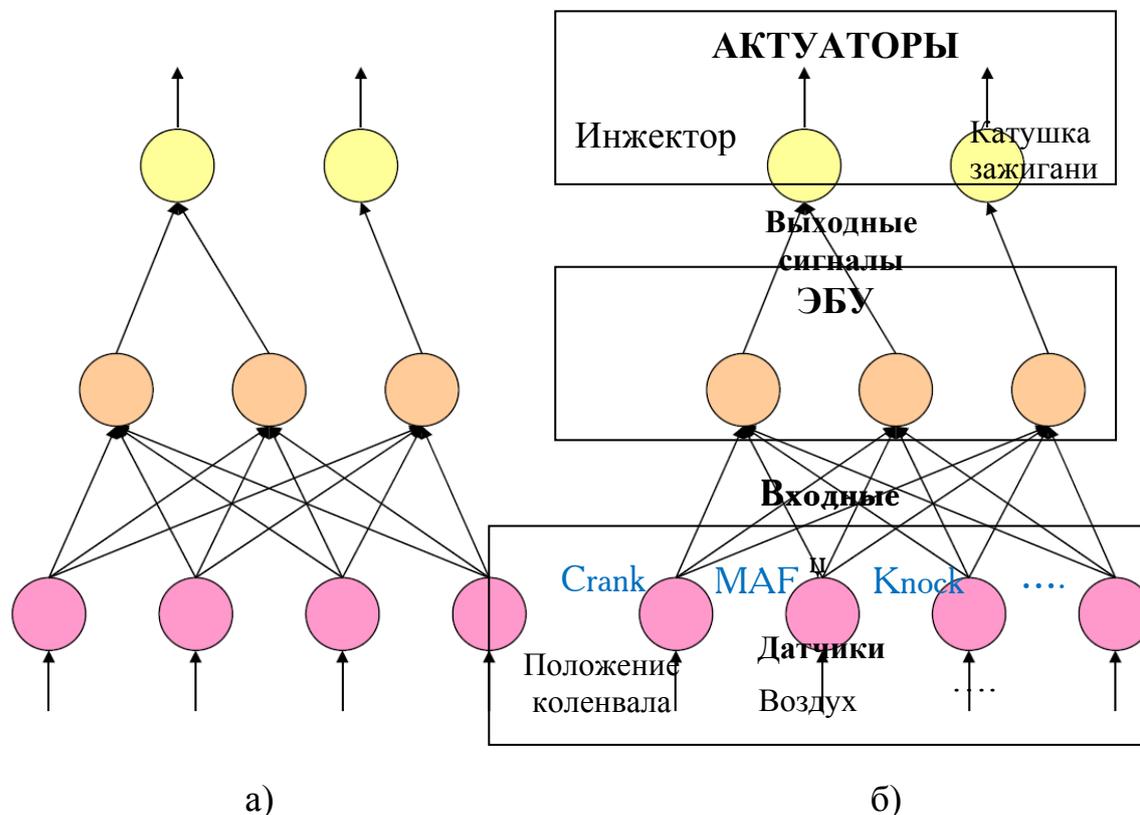


Рис. 4. Архитектура нечетких нейронных систем (ННС): а) образец схемы ННС, б) ННС в системе управления двигателем

На рис.4. показано взаимодействие слоёв и элементов между собой:

- первый слой отвечает за входные данные с датчиков и других устройств;
- второй слой регулирует и управляет процессами на основе алгоритма нечетких сетей – процессы в ЭБУ;
- третий слой отвечает за выходные значения на актуаторы с системы управления;
- четвертый слой – пост-процессинг и анализ общей работы системы, диагностика сети и системы, запись информации и коммуникация.

Архитектура контроля комбинирует нейронную сеть и нечеткую логику для управления и уменьшения воздействия неправильного моделирования на комплексную нелинейную систему. Архитектура со смешанными системами управления в нейронных сетях позволяет продолжительно онлайн интеграцию между элементами сети и вне сети путем выстроения логических соединений элементов в едином алгоритме для возможности калибровки вне производственных условиях и гибкости реакции на динамические изменения

в системе. С другой стороны, работа такой системы управления на основе смешанных нейронных сетей с прямым откликом имеет недостаток. Он заключается в том, что данные также получаются с непрямых датчиков. В нашем случае это могут быть датчики с других узлов автомобиля, которые имеют минимальное количество сетевых завязок с системой управления, их система управления также воспринимает как источник информации наравне с другими прямыми датчиками силового агрегата. Проблема в этом случае заключается в том, что система собирает много «ненужной информации» и тратит ресурсы (время и оперативную память) на их обработку.

Для избежания такого рода проблем предлагается метод использования нейронными сетями системы ранжирования сигналов. Т.е. по использованию оперативной памяти системы управления сети решают, использовать или нет второстепенные датчики для сбора и анализа информации. Если кластер информации от второстепенных датчиков заполнен, то надобность использования такой информации минимизируется. Этот метод в работе назван «Дисперсией нейронных сетей».

Если непрямой отклик используется для прогнозирования процесса горения, модель управления будет основываться на прогнозируемую модель.

Точность прогнозирования ограничена скоростью и точностью модели и метода сортировки данных.

Нейроны также выступают объектами баз знаний. Они могут быть в системе краткосрочной и долгосрочной памяти системы, в зависимости от их значимости и условий оператора.

Рассчитаем структуру ГНС по Вангу-Менделю для управления мехатроникой автомобиля.

Выходные сигналы со слоёв по:

$$FP[i \cdot M + j] = \frac{1}{1 + \left(\frac{X[i] - C[i \cdot M + j]}{D[i \cdot M + j]} \right)^2}$$

где $i = 0..N - 1$, $j = 0..M - 1$,

M – количество вариативных функций (вольтаж, интенсивность импульсов и т.д.);

$C [i \cdot M + j]$ – центр и $D [i \cdot M + j]$ широта сети – нелинейные характеристики.

$X [i]$ – параметры, описывающие величину распространения Первого слоя.

Слой II состоит из входных сигналов (PV). Сигналы рассчитываются следующим образом:

$$PV[i] = \prod_{j=0}^{N-1} FP[j]$$

где $i = 0..K - 1$, и $K = MN$.

Слой III (Процессы в ЭБУ контроллере) состоит из двух типов сигналов, один (S1) регулирует условия для исходящих сигналов, второй (S2) –

агрегирует исходящие сигналы. Выходные сигналы рассчитываются следующим образом:

$$S1[j] = \sum_{i=0}^{K-1} W[j,i] \cdot PV[i],$$
$$S2[j] = \sum_{i=0}^{K-1} PV[i].$$

где $j = 0..L - 1$, L – количество выходных сигналов (агрегатов), $W[j, i]$ – линейные параметры сети.

Слой IV (Актуаторы/ исполнительные устройства) состоят из выходных сигналов и рассчитываются по:

$$Y[i] = S1[i] / S2[i], \text{ где } j = 0..L - 1.$$

Оптимизация процесса управления двигателем и силовым агрегатом позволяет иметь оптимальные условия эксплуатации свойств в независимости от износа некоторых деталей.

Одной из целей интеграции агрегата с мехатронной системой автомобиля также интеграция производственных возможностей и минимизация производственных издержек, которые сказываются на себестоимости автомобиля, тем самым и на стоимости его цены влияя на его конкурентоспособность.

Выбор проверенной структуры для нейронных сетей. Рассмотрев нейронные сети, а также исследовав свойства каждой из них, сравнив с выбранной сетью, была создана и рассчитана модель нейронных сетей.

Для создания методики выбора алгоритма сети и её построение необходимо структуру подбора и шаги реализации.

Автором предложено три различных метода для выбора модели, их сравнение на основе имитационного сравнения используя выходные данные нейронных сетей в качестве модели симуляции.

Первый метод с использованием статического разделения доступных данных на полученной посредством само-обучения и на полученную посредством испытания (на горячей обкатке или другое); второй метод: так называемый метод подтверждения, использующий динамическое разделение данных; третий метод – использование статистической информации без разделения данных.

По испытанию трех методов сделаны следующие выводы:

- с ограниченным размером информации справляется метод подтверждения;

- метод с использованием статистической информации без разделения данных хорошо работает при неоптимальной выборке. Это выборка без разделения информации по приоритету;

- методы, основанные на частичном само-обучении неприменимы при кратковременной работе.

Моделирование системы состоит из двух этапов. Первый это создание модели системы исходя из приоритетных задач оператора и внесение

имеющиеся данные по данным моделям в алгоритм управления. Второй - выбор модели и оценка его потенциальной работы.

Вывод модели управления двигателем. Поставленная задача приводит к определению математических зависимостей, описывающих ДВС, относительно управляемой величины – угла впрыска и подачи зажигания. Решение этого уравнения позволит получить зависимость частоты вращения вала от угла впрыска и подачи зажигания. Вывод модели ДВС, которая и будет основной в модели управления вводимого в ЭБУ двигателя сделаем на основе вычислений.

ДВС без наддува, как управляемый объект по частоте вращения коленчатого вала ω описывается линейным дифференциальным уравнением:

$$T_D \frac{d\omega(t)}{dt} + K_D \omega(t) = h(t) - T_C M_C(t). \quad (3.1)$$

Здесь $\omega(t)$ - частота вращения коленчатого вала; $h(t)$ – время подачи впрыска топлива и зажигания; $M_C(t)$ – значение нагрузки; t – время; T_D, K_D, T_C – постоянные величины, зависящие от конструктивных особенностей двигателя.

Время зажигания $h(t)$ получим из соотношения (3.1):

$$h(t) = T_D \frac{d\omega(t)}{dt} + K_D \omega(t) + T_C M_C(t). \quad (3.2)$$

При испытаниях необходимо переводить ДВС из одного состояния в другое, тогда за t_i и ω_i примем конкретное состояние режима испытания, которое осуществляется при переходе из одного состояния двигателя в другое, а i – номер точки перехода.

$$\omega(t) = \frac{\omega_{i+1} - \omega_i}{t_{i+1} - t_i} \cdot t - \frac{t_i(\omega_{i+1} - \omega_i)}{t_{i+1} - t_i} + \omega_i, \quad (3.3)$$

где $i = \overline{1, n}$; n – число точек перехода ДВС из одного состояния в другое.

При известной математической модели (3.5.) и заданных значениях изменения частот, необходимо определить управляющее значение $h(t)$, приводящее к требуемым значениям.

Результатом вычислений является зависимость:

$$h(t) = T_D \frac{\omega_{i+1} - \omega_i}{t_{i+1} - t_i} + K_D \left(\frac{\omega_{i+1} - \omega_i}{t_{i+1} - t_i} \cdot t - K_D \frac{t_i(\omega_{i+1} - \omega_i)}{t_{i+1} - t_i} + K_D \omega_i + T_C M_C(t) \right), \quad (3.4)$$

где $i = \overline{1, n}$.

Модель ДВС с автономным независимым газотурбинным наддувом описывается линейным дифференциальным уравнением:

$$T_2^2 \frac{d^2 \omega(t)}{dt^2} + T_1 \frac{d\omega(t)}{dt} + T_0 \omega(t) = T_h \frac{dh(t)}{dt} + K_h h(t) - T_M \frac{dM_C(t)}{dt} - K_M M_C(t) \quad (3.5)$$

Здесь $\omega(t)$, $h(t)$, t – те же значения параметров, что и в уравнении (3.1) T_2 , T_1 , T_0 , T_h , K_h , T_M , K_M – постоянные величины, зависящие от конструктивных особенностей двигателя.

Если рассматривать ДВС относительно угла впрыска и зажигания, то можно принять некоторые допущения из-за линейности (3.3) зависимости частоты вращения ω от времени. Начальные условия принимаются исходя из значений параметров модели в окрестности равновесного состояния двигателя.

Применив метод неопределенных коэффициентов и преобразования Лапласа, получим:

$$h(t) = \frac{T_0 \cdot (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_h (t_{i+1} - t_i)} \cdot t + \left(\frac{T_1 (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_h (t_{i+1} - t_i)} - \frac{T_0 \cdot t_i (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_h (t_{i+1} - t_i)} \right) + \frac{K_M M_C}{K_h} - \frac{T_0 \cdot T_h (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_h^2 (t_{i+1} - t_i)} + \left(\frac{T_0 \cdot T_h (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_h^2 (t_{i+1} - t_i)} - \frac{T_1 (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_h (t_{i+1} - t_i)} + \frac{T_0 \cdot t_i (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_h (t_{i+1} - t_i)} - \frac{K_M M_C}{K_h} \right) \cdot e^{-\frac{K_h \cdot t}{T_h}}, \quad (3.6)$$

где $i = \overline{1, n}$.

Если рассматривать ДВС относительно изменения нагрузки, то, применив также метод неопределенных коэффициентов и преобразования Лапласа, получим:

$$M_C(t) = -\frac{T_0 \cdot (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_M (t_{i+1} - t_i)} \cdot t + \left(\frac{T_1 (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_M (t_{i+1} - t_i)} - \frac{T_0 \cdot t_i (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_M (t_{i+1} - t_i)} \right) + \frac{K_h \cdot h}{K_M} - \frac{T_0 \cdot T_M (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_M^2 (t_{i+1} - t_i)} - \left(\frac{T_0 \cdot t_i (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_M (t_{i+1} - t_i)} + \frac{T_1 (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_M (t_{i+1} - t_i)} - \frac{T_0 \cdot T_M (\omega_{i+1} - \omega_i)}{K_M^2 (t_{i+1} - t_i)} - \frac{K_h \cdot h}{K_M} \right) \cdot e^{-\frac{K_M \cdot t}{T_M}}, \quad (3.7)$$

где $i = \overline{1, n}$.

В результате вычислений получены соотношения, позволяющие управлять объектом испытаний по двум входным параметрам: времени подачи впрыска, а также изменению нагрузки на валу двигателя.

Уравнение для объекта исследования примет вид:

$$h(t) = T_D \frac{\omega_{i+1} - \omega_i}{t_{i+1} - t_i} + K_D \frac{\omega_{i+1} - \omega_i}{t_{i+1} - t_i} \cdot t - K_D \frac{t_i (\omega_{i+1} - \omega_i)}{t_{i+1} - t_i} + K_D \omega_i + T_C M_C(t) + K_A \omega_i \quad (3.8)$$

С помощью него определяется оптимальное время подачи искры зажигания.

Глава четвертая – «Анализ экспериментальных данных». В этой главе изложены методика испытаний, результаты стендовых испытаний (холодное испытание, горячее испытание) силовых агрегатов, а также дорожные испытания двигателей ВДОHC отечественного производства на основе методов предложенной автором.

Разработанный мехатронный модуль (Рис.5), имитирующий игнитор катушки зажигания двигателя ВДОHC, состоит из электронных элементов, управляемых тестовым оборудованием. Сущность модуля состоит в преобразовании сигналов с электронного блока управления двигателем в сигнал с определенной силой тока в катушку зажигания. Необходимость такого адаптера возникла из-за того, что электронные блоки, в зависимости от платформы автомобиля и класса мехатроники, передают разные по физическим свойствам цифровые сигналы, которые не могут быть интерпретированы катушками зажигания различного типа и класса. Адаптор даёт возможность интерпретировать такие сигналы от любого типа ЭБУ на различные типы катушки, за счет использования мехатронного аналогово-цифрового преобразователя сигналов.



Рис.5. Мехатронный адаптер катушки зажигания

Физически это устройство преобразующее сигнал от электронного блока на катушку зажигания и выполняет функцию выпрямителя электрических сигналов. Игнитор подает сигналы не периодически, а в период когда это необходимо, даже при резких изменениях скорости вращения коленчатого вала. Ещё одним преимуществом игнитора является усиление значения подаваемой на свечу зажигания, а также, при необходимости, подача нескольких сигналов зажигания за один такт (в зависимости от класса автомобиля).

В зависимости от выходных значений: количества отработавших газов, расхода топлива и т.п., ЭБУ может настраивать и корректировать сигналы, подаваемые на игнитор для улучшения работы двигателя. Адаптор управляет катушкой зажигания и оптимизирует угол опережения зажигания.

На рис.6. показан результат испытания адаптера по основному показателю – величине напряжения и корректному времени подачи сигнала на катушку зажигания.

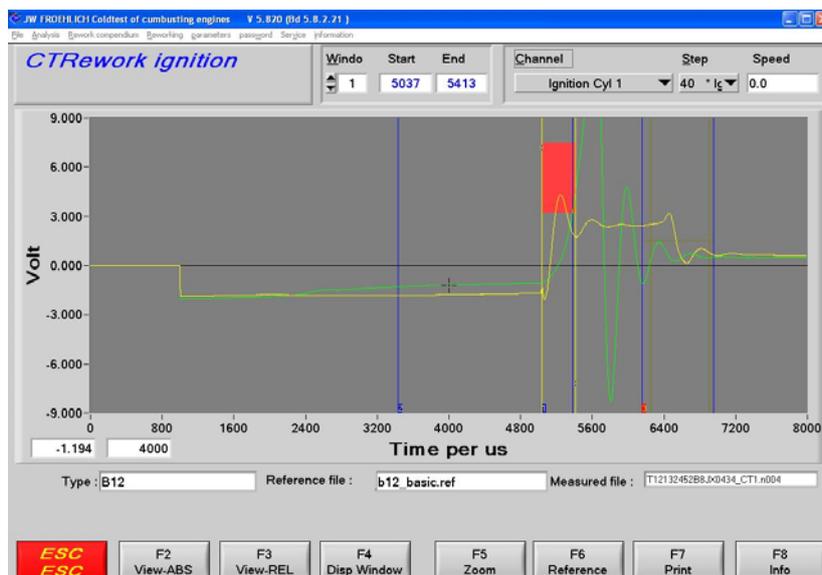


Рис. 6. Характеристика момента и величины зажигания до (зелёный) и после (желтый) объекта внедрения. Красным обозначен предел допуска

На рис.7. показан сравнительный график мощности и крутящего момента существующего двигателя F3D16 и внедряемого BDOHC. Несмотря на разницу в объеме 8% крутящий момент и мощность двигателя BDOHC соответствует техническим условиям проектировщиков платформы.

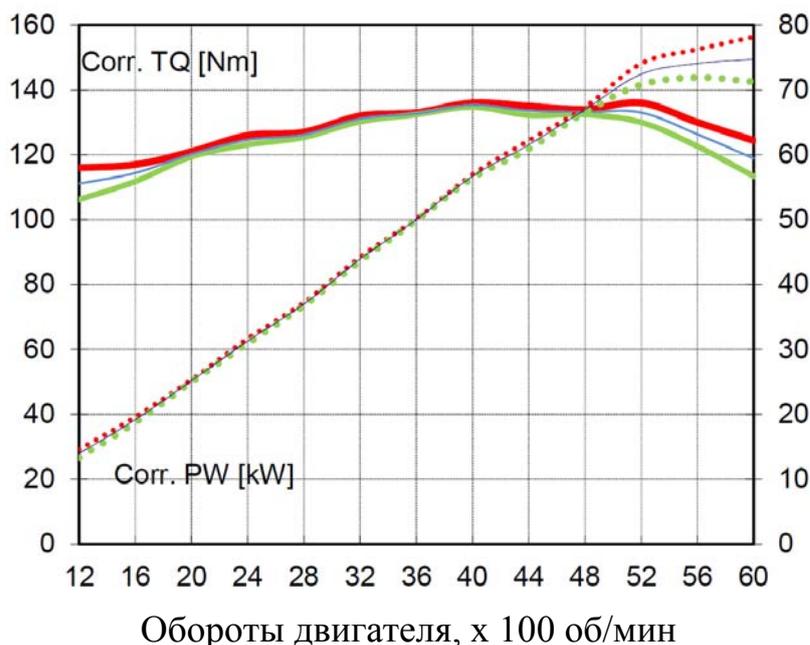


Рис.7. Результаты горячего испытания

Красная линия – показатели двигателя F3D16 (из старой платформы, заменяемый); Зелёная линия – интегрируемый двигатель (J200 L2C).

По результатам максимальная мощность составила – 79 кВт; крутящий момент – 140 Н·м; средний максимальный расход топлива – 8,7 л., экологические показатели – Евро 5.

График на рис.8. показывает, что, сигналы об оборотах испытываемого двигателя отправляемые по тестовому оборудованию на ЭБУ соответствуют

значениям, полученным с устройства измерения частоты вращения на стенде по горячему испытанию.



Рис.8. Проверка на адекватность управления ЭБУ

Согласно сравнению характеристик двигателя, полученных с ЭВМ испытательного стенда и с портативного диагностического устройства, подключенного к ЭБУ испытываемого двигателя, анализ показал, что наличие мехатронного адаптора не оказывает негативного воздействия на передачу сигналов от ЭБУ к актуаторам, т.к. полученные значения и графики были идентичны.

На рис. 9 показан интегрируемый силовой агрегат перед сборкой в автомобиль Gentra J200 перед дорожными испытаниями.



Рис.9. Интегрируемый силовой агрегат L2C для дорожных испытаний

По итогам четвертой главы были сделаны следующие выводы:

1. Анализ результатов холодного испытания двигателя L2C J200 показал, что применяемый объект внедрения – игнитор, обеспечивает необходимые характеристики подачи зажигания по времени (углу) и величине зажигания.

2. По результатам Холодного испытания двигателя было доказано что, адаптор может обеспечить доставку сигнала величиной от 3 до 7,5 Вольт за 0,01 секунды (при требовании: 4÷6 Вольт, за время менее чем 0,03) с высокой

точностью. Это говорит о том, что адаптор обеспечивает реакцию на изменения в оборотах и нагрузках намного быстрее чем в моделях платформы J200, а также может обеспечить более широкий спектр по величине тока.

3. Максимальное отклонение при имитационных испытаниях было выявлено при заявленных 2210 об./мин на второй секунде шага испытания и составили 15 об./мин, что составило 0,68%.

4. По результатам испытаний (проанализировано и иллюстрированного в тексте) максимальная мощность составила – 79 кВт; крутящий момент –140 Н·м; средний максимальный расход топлива – 8,7 л., экологические показатели – Евро 5, что полностью соответствует заявленным требованиям.

Пятая глава – «технико-экономическое обоснование». Эта глава посвящена основным технико-экономическим результатам внедрения результатов диссертации в процесс производства и в учебный процесс.

Технико-экономический эффект от внедрения в производственный процесс составил 700 тыс. долларов США. Это подтверждено актами от АО «Дженерал Моторс Пауэртрейн Узбекистан».

Интегрируемый двигатель в городском режиме экономит на 1,1 литров/100 км пробега топлива меньше чем двигатель F3D16. При среднем годовым пробегом автомобиля 20000 км экономия топлива в год составит 220 литра (цена бензина на момент расчета 2800 сум/литр) т.е. 616 000 сум в год на один автомобиль.

Результаты исследования включены в цикл лекций и практических работ по предметам «Производственный процесс», «Основы мехатроники» и «Управление промышленными проектами» для студентов Туринского Политехнического Университета в городе Ташкенте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов исследований, проведенных по теме “Разработка методов интеграции двигателей с мехатронной системой автомобилей с помощью нейронных сетей” диссертации доктора наук представлено следующее заключение:

1. Разработан метод интеграции двигателя с мехатронной системой автомобиля с использованием нейронных сетей, который позволил интегрировать с автомобилем одной платформы двигателя с различными характеристиками;

2. Разработан и обоснован метод интеграции силовых агрегатов с мехатронной системой автомобиля с использованием замкнутых цепей при передачи информации, а также на основании контроля всех входных электронных сигналов и выходных сигналов к актуаторам ЭБУ, для более точного получения данных и накопления баз знаний в ОЗУ электронного блока и обеспечения соотношения топливно-воздушной смеси в пропорции 1:14,7 для двигателя BDOHC;

3. Разработан и обоснован новый метод «Дисперсии нейронных сетей», который основывается на использовании нейронными сетями системы

ранжирования сигналов с датчиков двигателя и автомобиля. Данное научное направление было обосновано применением на промышленном производстве автомобилей;

4. Разработан алгоритм управления на основе расчета выходных параметров нейронной сети, который позволит осваивать изменяющееся количество входящих сигналов и для подачи на актуаторы;

5. Разработана модель управления двигателем с помощью мехатронного адаптора, с помощью которого электронный блок управления рассчитывает оптимальное время подачи искры зажигания. Это говорит о том, что адаптор обеспечивает реакцию на изменения в оборотах и нагрузках намного быстрее, чем в моделях платформы J200, а также может обеспечить более широкий спектр по величине тока;

6. Предложена и обоснована величина, характеризующая свойства мехатронного адаптора катушки зажигания (K_A) в зависимости от класса двигателя. Коэффициент K_A позволяет определить время подачи искры зажигания даже при резком изменении оборотов двигателя;

7. Разработана модель нейронной сети позволяющая рассчитать выходные параметры гибридной нечеткой нейронной сети. Данная модель позволяет эффективно выбирать между искусственными, четкими и другими нейронными сетями при интеграции двигателя с мехатронными системами автомобиля;

8. Результаты испытаний двигателя с мехатронным адаптором показали, что адаптор может обеспечить доставку сигнала величиной от 3 до 7,5 Вольт за 0,01 секунды (при требовании: 4÷6 Вольт, за время менее чем 0,03) с высокой точностью, что обеспечивает реакцию на изменения в оборотах и нагрузках намного быстрее чем в моделях платформы J200, а также возможность обеспечения более широкого спектра по величине тока;

9. Анализ интегрируемого двигателя показал, что максимальная мощность составила – 79 кВт; крутящий момент – 140 Н·м, при минимальных технических требованиях - не менее 75 кВт; и не менее 135 Н·м соответственно;

10. Анализ топливной экономичности показал, что интегрируемый двигатель потребляет на 1,1 литра меньше бензина на 100 км пробега в смешанном цикле, что по сравнению с используемым ныне двигателем F3D16 ниже на 11%. Анализ содержания количества вредных элементов в отработавших газах интегрируемого двигателя показал соответствие его стандартам Евро 5.

11. Внедрение разработанного мехатронного адаптора катушки зажигания на этапе проектирования и внедрения новой модели в производство позволило получить экономический эффект в 700 тысяч долларов США. Теоретически и экспериментально доказано что, внедрении методов интеграции двигателя BDOHC с мехатронной системой автомобиля J200 с помощью нейронных сетей позволило сэкономить 616 000 сум на 20 тысяч километров пробега в смешанном цикле с каждого автомобиля.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.27.06.2017.T.09.01 AT TASHKENT INSTITUTE OF DESIGN,
CONSTRUCTION AND MAINTENANCE OF AUTOMOTIVE ROADS
AND TURIN POLYTECHNICAL UNIVERSITY IN TASHKENT**

**TASHKENT INSTITUTE OF DESIGN, CONSTRUCTION AND
MAINTENANCE OF AUTOMOTIVE ROADS**

INOYATKHODJAYEV JAMSHID SHUHRATULLAEVICH

**INTEGRATION METHODS OF A VEHICLES ENGINE WITH THE
AUTOMOBILE MECHATRONIC SYSTEMS BY USING NEURAL
NETWORKS**

05.08.06 – Wheeled and tracked vehicles and their operation

DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR SCIENCES

Tashkent – 2017

The theme of doctor dissertation was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2017.1.DSc/T61.

The dissertation has been prepared at the Tashkent Institute of Design, Construction and Maintenance of Automotive Roads.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website www.tayi.uz and on the website of “ZiyoNet” Information and educational portal www.ziynet.uz.

Scientific adviser: **Shermukhamedov Abdulaziz Adilkhakovich,**
doctor of technical sciences, professor

Official opponents: **Mukhitdinov Akmal Anvarovich**
doctor of technical sciences, professor
Aripdjanov Madamin Magrupovich
doctor of technical sciences, professor
Mario Lavella
doctor of science, professor (Italy)

Leading organization: **Tashkent Technical University**

The defense will take place “_____” _____ 2017 at _____ at the meeting of Scientific council No.DSc.27.06.2017.T.09.01 at Tashkent Institute of Design, Construction and Maintenance of Automotive Roads (Address: 100060, Tashkent city, Mirabad district, A.Temur prospect, 20. Tel./fax: (+99871) 232-14-39; e-mail: tadi_info@edu.uz.)

The doctoral dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of the Tashkent Institute of Design, Construction and Maintenance of Automotive Roads (is registered number No.____). (Address: 100060, Tashkent city, Mirabad district, A.Temur prospect, 20. Tel.: (+99871) 232-14-45.)

Abstract of the dissertation sent out on “_____” _____ 2017 y.
(mailing report No. _____ on “_____” _____ 2017 y.)

A.A.Riskulov
Chairman of the scientific council
awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

A.M.Baboev
Scientific secretary of scientific council
awarding scientific degrees,
doctor of philosophy

A.A.Mukhitdinov
Chairman of the academic seminar under
the scientific council awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (summary of the doctoral dissertation)

Compliance of the research with the priority directions of science and technology of the Republic. This dissertation is performed in accordance with the priority directions of development of Science and Technology of Republic: III3-"Energy, energy-resource-saving, transport, machinery and instrumentation" and sectoral project "Localization the mass production of BDOHC engines for use on J200 vehicles"

Degree of study of the problem. The problems of integration engines to vehicles were studied by Stukanov V.A., Vakhlamov V.K., Ermakov V.V., Yakov S.A., Schoner H., Daniels, J. Kaiser. In Uzbekistan in this field worked O.V. Lebedev, S.M. Kadirov, A.A. Mukhitdinov, E.Z.Fayzullayev.

Besides, developed method takes into account the integration of several production processes, where the control model built under the neural network algorithm, so-called smart systems, allows self-organization and self-diagnosis for a single systematization.

The aim of the research work is integration methods of a vehicles engine with the automobile mechatronic system by using neural networks.

The tasks of research: to study the state of the art of current integration methods of a car engine with the automobile mechatronic system by using neural networks; to orchestrate the methods of integration of a car engine with the automobile mechatronic system by using algorithmic electronic control based on new neural networks; to formulate the methodology of electronic model control of an engine with a mechatronic adapter; to design a model enabling calculation of input-output data; to analyze results of cold and hot tests of an engine, develop methods improving tests with the help of mechatronic adapter; to reason power and torque of an engine integrated with the mechatronic adapter; conceptualize the method of assessing fuel economy and environmental performances of an engine; put forward a guidance on research application and estimate economic efficiency.

The objects of the research work are an automobile, its mechatronically adapted engine and control systems based on neural network.

Scientific novelty of the research work consists in the following: it has been developed the methodology of a car engine integration with the automobile mechatronic system by using neural networks; there has been made a new method of data analysis and their transfer to the control systems (with neuronal networks dispersion); for the first time it has been brought the control algorithm with a mechatronic system for different classes of cars, which combines aggregate data analysis and optimal regime selection - 3.0 in its generation; The mechatronic adapter model for the engine ignition system has been developed and justified its parameters; Engine model management model has been developed through the use of neural networks; there has been developed methods of selection based on neural networks integration in the control system and a systematization law has been found.

The outline of the thesis. The scientific significance of the research results is due to the fact that automobiles, their mechatronics and the integration model of engines with neural networks have been developed by means of analytical connections and computing methods. The practical significance of the research results is based on the several factors, such as development of resource-saving technologies and equipment in the production of automotive and engine manufacturing, increase in productivity, reduction in fuel consumption during testing and operation, cutback of production costs and operating expenses. Implementation of research results. GMPT-Uz implemented research results on June 25, 2015 and included them in the technical specifications of internal combustion engines. Under these technical conditions, 6 industrial testing samples were developed and tested. Test results were illustrated on the protocol of September 17, 2013. Engines under the test were installed on a car "Chevrolet Genra" manufactured by CJSC "GM Powertrain Uzbekistan". The new integration approach enabled savings of \$ 700,000 (Reference of "General Motors Powertrain Uzbekistan" on August 07, 2017, No04-435). A manufactured car J200 and the 1.5L engine L2C BDOHC were tested during the factory tryouts of experimental designs and PTOs. The results were implemented in the industry after a demonstration of 48.4 kWh power reduction, 6400 liters of fuel economy and 800 man-hours diminution in production costs. (Reference by "Uzavtosanoat" Joint-Stock Company dated August 14, 2017, №45/ 04-25-2688).

The research results have been included in the technological process of an engine testing at manufacturing (PPCR No-Test006 Technical map) and technical specification registered by the Agency "Uzstandart" (Ts22596387-01: 2015). Moreover, the theoretical part of the research have been embraced in the subject of "Manufacturing Processes" taught at Turin Polytechnic University in Tashkent.

The practical importance of the results follows: for car manufacturers, it has been developed a technology for integrating engines for new or improved vehicles on a certain platform; introduction of specific flexible and resource-saving technologies through the use of a mechatronic adapter in the engine manufacturing process ("Improvement of technological process for GMPT TIS OP1900 for J200"); the engine has been improved for fuel economy and environmental characteristics through the use of mechatronic systems of a car; there has been an advancement of operation of electronic control units and their diagnostics by means of a control algorithm and a new control system architecture; there has been an increase of fuel efficiency by 11% and amelioration of environmental performances from Euro 4 to Euro 5 by using controls with improved mechatronic elements. Finally, the research results have been acknowledged at the industry. In particular, according to theoretical and experimental results, the integration of BDOHC engine with the J200 mechatronic system through the use of neural networks accounted to savings of 616,000 soums per each 20,000 kilometers of a ride. The direct economy amounted \$ 700,000, as a result of the introduction of mechatronic adapters in the engine production and the process of implementation of new projects.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙЎХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

1-бўлим

1. P. Chiabert, G. D'Antonio, J.Inoyatkhodjaev, F. Lombardi, S. Ruffa. Improvement of powertrain mechatronic systems for lean automotive manufacturing // Journal Procedia CIRP. – Italia. 2015, - No 33, - P. 53-58.
2. Ж. Иноятходжаев. Методика определения качества двигателей ВДОНС при их холодном испытании // Автомобильная промышленность. – Москва. 2015. - №12. – С. 27-30. (05.00.00; №6).
3. Иноятходжаев Ж.Ш., Ниязов Ф.Ш. Особенности обучения основам мехатроники автомобилей студентов технических ВУЗов // Вестник Туринского Политехнического Университета в городе Ташкенте. – Ташкент, 2015. - №5. – С. 14-17. (05.00.00; №25)
4. J.Inoyatkhodjaev. Using fuzzy neural networks algorithms in engine control system // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. – Ташкент, 2015. - №4. – С. 32-35. (05.00.00; №9)
5. Ж. Иноятходжаев, Ф.Умеров. Мехатронные инновации в автомобильной промышленности // Проблемы механики. – Ташкент, 2015. - №1. – С. (05.00.00; №6)
6. J.Inoyatkhodjaev, F.Umerov. Engine air-fuel ratio control for optimization of vehicle cruise and performance // Вестник Ташкентского Технического Университета. – Ташкент, 2015. - №4. – С. (05.00.00; №16)
7. J.Inoyatkhodjaev. Electrical throttle control advantages // Вестника ТАДИ. – Ташкент, 2015. - №1. – С. 18-23. (05.00.00; №15)
8. J.Inoyatkhodjaev. Vehicles' mechatronic systems and components // Научно-технический журнал Ферганского Политехнического Института. – Фергана, 2015. – №2. – С. 61-66. (05.00.00; №20)
9. Иноятходжаев Ж.Ш. К вопросу интеграции мехатронных систем автомобиля к силовым агрегатам на примере внедрения двигателя В15 ДОНС Gen 2 на обновленный автомобиль Джентра // Вестник Туринского Политехнического Университета в городе Ташкенте. – Ташкент, 2014. - №4. – С. 8-10. (05.00.00; №25)
10. Асранов М.Ш. Иноятходжаев Ж.Ш. Анализ систем охлаждения для стационарных электронных вычислительных систем и блоков управления // Вестник Туринского Политехнического Университета в городе Ташкенте. – Ташкент, 2013. - №3. – С. 26-27. (05.00.00; №25)
11. Мирзаева З.Д, Игамбердиев К.А., Аннакулова Г.К., Иноятходжаев Ж.Ш.. Влияние демпфера с нелинейной характеристикой на критическую скорость автомобиля // Бюлетень ТАТУ. – Ташкент, 2012. – №1. – С. 70-73.

2-бўлим

12. Алиев Р.Р., Иноятходжаев Ж.Ш. Особенности мехатронных систем автомобилей и их диагностика // Вестник Кыргызского Государственного Университета Строительства, Транспорта. – Ташкент, 2010. - №2. – С.

13. Аннакулова Г.К., Иноятходжаев Ж.Ш. Мембранали амортизатор // Журнал АН РУз «XXI asr texnologiyalari». – Ташкент, 2013. - №3 (16). – С. 12-13.

14. F.Cus, F.Lombardi, F.Chiampo, J.Inoyatkhodjaev and other. Towards technical education on resource savings for industrial development / CIP - Kataložni zapis o publikaciji Univerzitetna knjižnica. – Maribor. – Slovenia. 2015, - P. 225.

15. Ж. Иноятходжаев, И.Камбаров. Совершенствование принципов работы дизельного двигателя путем впрыска воды/метанола // Перспективы науки - 2016. – Казань. 2016. - №3. – С. 140-150.

16. Ж. Иноятходжаев, Аннакулова Г.К, Шермухамедов А.А., Умеров Ф.Ш. Автоматической коробка передач // Патент РУз на полезную модель №FAP 01005. – Ташкент, 2015. - № 5.

17. J.Inoyatkhodjaev, M.Abdullaev, A. Malikov. Automated methods for co – simulation between computational fluid dynamics and finite element analysis software's // Ninth world conference on intelligent systems for industrial automation WCIS-2016. – Tashkent, 2016. 196-201. – p.

18. J.Inoyatkhodjaev. Biogas as a component for dual fuel system of vehicle's internal combustion engines // 2nd International Conference on Renewable Energy Gas Technology. – Barcelona. – Spain. 2015. 163-164. – p.

19. Умеров Ф.Ш., Иноятходжаев Ж.Ш. Влияние проектирования мехатронных систем управления на безопасность и эргономику автомобилей // Сборник статей Республиканской научно-практической конференции (ТИМИ). – Ташкент, 2012. – С. 12-13.

20. Умеров Ф.Ш., Иноятходжаев Ж.Ш. Особенности диагностики мехатронных систем автомобилей // Сборник статей Республиканской научно-практической конференции (ТАДИ). – Ташкент, 2011. – С. 10-13.

Авторефератнинг ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги нусхалари
«ТАЙИ Хабарномаси» илмий-техник журнали таҳририясида таҳрирдан
ўтказилди.

Бичими 60x84¹/₁₆. Ризограф босма усули. Times гарнитураси.
Шартли босма табағи: 3,5 Адади 100. Буюртма № 26.

«ЎзР Фанлар Академияси Асосий кутубхонаси» босмахонасида чоп этилган.
Босмахона манзили: 100170, Тошкент ш., Зиёлилар кўчаси, 13-уй.