

**ТОШКЕНТ АВТОМОБИЛЬ ЙЎЛЛАРИНИ ЛОЙИХАЛАШ, ҚУРИШ ВА
ЭКСПЛУАТАЦИЯСИ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР
БЕРУВЧИ DSc.18/30.12.2019.Т.09.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**ТОШКЕНТ ШАҲРИДАГИ ТУРИН ПОЛИТЕХНИКА
УНИВЕРСИТЕТИ**

МИРЗАЛИЕВ САНЖАР МАҲАМАТЖАН ЎҒЛИ

**МОБИЛ ГИДРАВЛИК МАШИНАЛАРИ ЭНЕРГИЯ
САМАРАДОРЛИГИНИ ОШИРИШ УСУЛЛАРИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

05.08.06 – Ғилдиракли ва гусеничали машиналар ва уларни ишлатиш

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2020

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)
диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора
философии (PhD) по техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of
philosophy (PhD) on technical sciences**

Мирзалиев Санжар Махаматжан ўғли

Мобил гидравлик машиналари энергия самарадорлигини ошириш
усулларини ишлаб чиқиш 3

Mirzaliev Sanjar Makhamatjan ogli

Improvement methods of energy efficiency in mobile hydraulic
machines..... 17

Мирзалиев Санжар Махаматжан угли

Разработка методов совершенствования энергоэффективности
мобильных гидравлических машин..... 30

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works..... 35

**ТОШКЕНТ АВТОМОБИЛЬ ЙЎЛЛАРИНИ ЛОЙИХАЛАШ, ҚУРИШ
ВА ЭКСПЛУАТАЦИЯСИ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.18/30.12.2019.Т.09.01 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**ТОШКЕНТ ШАҲРИДАГИ ТУРИН ПОЛИТЕХНИКА
УНИВЕРСИТЕТИ**

МИРЗАЛИЕВ САНЖАР МАҲАМАТЖАН ЎҒЛИ

**МОБИЛ ГИДРАВЛИК МАШИНАЛАРИ ЭНЕРГИЯ
САМАРАДОРЛИГИНИ ОШИРИШ УСУЛЛАРИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

05.08.06 – Ғилдиракли ва гусеничали машиналар ва уларни ишлатиш

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2020

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2018.4.PhD/T953 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент шаҳридаги Турин политехника университетидега бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, инглиз, рус (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифаси www.tau1.uz ва «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида (www.ziyo.net) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Шарипов Конгратбай Авезимбетович
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Алимухамедов Шавкат Пирмухамедович
техника фанлари доктори, профессор

Алибоев Бахтиёр Абдурахмонович
техника фанлари бўйича фалсафа доктори, PhD

Етакчи ташкилот:

**Қишлоқ хўжалиги машинасозлиги
конструкторлик-технологик маркази**

Диссертация ҳимояси Тошкент автомобиль йўлларини лойиҳалаш, қуриш ва эксплуатацияси институти ҳузуридаги DSc.18/30.12.2019.T.09.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2020 йил «___» _____ соат ___ даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 100060, Тошкент ш., Амир Темур шоҳ кўчаси, 20-уй. Тел/факс.: (99871) 232-14-39, e-mail: tadi_info@edu.uz).

Диссертация билан Тошкент автомобиль йўлларини лойиҳалаш, қуриш ва эксплуатацияси институти Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (_____ рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 100060, Тошкент ш., Амир Темур шоҳ кўчаси, 20-уй. Тел.: +99871 232-14-39.

Диссертация автореферати «___» _____ 2020 йил тарқатилди.

(«___» _____ 2020 йил № ___-сонли тарқатиш баённомаси реестри).

А.А. Рискулов

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

Р.А. Абдурахманов

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби, PhD

А.А. Мухитдинов

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

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда энергия тежамкор ва иш унуми юқори бўлган машиналарни ишлаб чиқиш долзарб мавзуга айланди. Гидравлик машиналарнинг катта қувват зичлиги, ишлаш аниқлиги, фойдаланишдаги енгилликлар уларнинг барча саноат турларида кенг қўлланишига сабаб бўлди. Шу жиҳатдан, гидравлик машина қурилмалари, хусусан, мобил техникалардаги гидравлик тизимнинг энергия самарадорлигини ошириш ва эксплуатацион параметрларини яхшилаш муҳим масалалардан бири ҳисобланади. Гидравлик машиналарда одатда битта насос ва кўп фойдаланувчилар мавжуд. Насосдаги қувватни фойдаланувчиларга тақсимловчи гидротаксимлагич конструкцияси ва ишлаш принципи машина энергия самарадорлиги ва иш унумдорлигига сезиларли таъсир кўрсатади.

Бутун дунёда гидравлик тизимли машиналарнинг иш унумдорлиги, эксплуатацион материаллари чидамлилиги, фойдаланиш хавфсизлиги ва аниқлиги, тебраниш меъёрий кўрсаткичларига мослиги сингари муаммоларга қаратилган илмий тадқиқот ишлари кенг қўламда олиб борилмоқда. Бу йўналишда, жумладан гидравлик тизимларнинг энергия ресурстежамкорлигини ошириш ва экологик талабларга мувофиқлигини таъминлашга қаратилган усулларни ишлаб чиқиш муҳим аҳамият касб этмоқда. Қишлоқ хўжалиги машинасозлиги ва йўл қурилиш соҳасида гидравлик тизимларнинг кенг қўлланилишини инобатга олган ҳолда гидравлик тизимдаги қувватни энергия ресурстежамкор услубларга асосланган назорат клапанлари орқали тақсимлашни амалга ошириш зарур ҳисобланади.

Республикамизда ишлаб чиқариш соҳасида ресурсларни тежаш, илғор технологиялар асосида юқори унумли саноат машиналарини ишлаб чиқиш юзасидан кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида иқтисодиётни ривожлантириш ва либераллаштириш масаласи қайд этилган¹. Унга кўра, таркибий ўзгартиришларни чуқурлаштириш, миллий иқтисодиётнинг етакчи тармоқларини модернизация ва диверсификация қилиш ҳисобига иқтисодиётнинг рақобатбардошлигини оширишда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежовчи технологияларни кенг жорий этиш ва иқтисодиёт тармоқларида меҳнат унумдорлигини ошириш муҳим аҳамият касб этади.

Жумладан, 2020 йил давлат дастурига саноат тармоқларидаги йирик корхоналарда жисмонан ва маънан эскирган ускуналарни янгилаш ҳамда модернизация қилиш, ишлаб чиқаришда энергия самарадорлигини ошириш, технологик жараёнларни оптималлаштириш бўйича вазирлик ва идораларга аниқ тадбирлар белгилаб қўйилган.

Мазкур диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сонли «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги ва 2015 йил 4 мартдаги ПФ-4707-сонли «2015-2019 йилларда ишлаб чиқаришни таркибий

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сонли «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги фармони.

ўзгартириш, модернизация ва диверсификация қилишни таъминлаш бўйича чора-тадбирлар дастури тўғрисида»ги фармонлари, 2016 йил 23 декабрдаги ПҚ-2694-сонли «2016-2020 йиллар даврида қишлоқ хўжалигини янада ислоҳ қилиш ва ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 2017 йил 7 июлдаги ПҚ-3117-сонли «Қишлоқ хўжалиги машинасозлиги соҳасида илмий-техникавий базани янада ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ва 2018 йил 27 апрелдаги ПҚ-3682-сонли «Инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалий жорий қилиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисидаги» қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга маълум даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг III. «Энергетика, энергия ва ресурстежамкорлик, транспорт, машина ва асбобсозлик» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Мобил гидравлик машиналар энергия самарадорлигини тадқиқ қилиш, уларнинг иш кўрсаткичларини ўрганиш ва параметрларини асослаш, энергия самарадорлигини пасайтирувчи омилларни бартараф этиш бўйича кўплаб тадқиқотлар олиб борилган. Дунёнинг етакчи олимлари, жумладан, германиялик олимлар С.Latour ва Н.Murrenhoff жорий гидромашиналардаги тизимларни классификация қилиш орқали энергия сарфини камайтириш қонуниятларини ифода этган, электрон оқим мослиги, электрон босимни кузатувчи усуллар учун гидротақсимлагич ва насосни такомиллаштириш устида амалий натижаларга эришганлар. Швециялик олимлар М. Axin, В. Eriksson, Р. Krus гидротақсимлагичлардаги энергия йўқотишларининг олдини олиш, бир моторга бир насосдан фойдаланиш, санокли гидравликанинг асосларини белгилаб бериш ва бошқарув усулларини ишлаб чиқиш устида фаолият олиб борганлар. Италиялик олимлар N. Nervegna ва M. Rundo мобил гидравлик машиналар, жумладан, экскаваторлар гидравлик тизимлари ва гидротақсимлагичларни саноат дастурий таъминотлари билан математик моделлаштириш, улардаги энергия самарадорлигини ҳисоблаш устида тавсиялар ишлаб чиққанлар. Америкалик олимлар О.Маһа, А.Васса, М.Ivantysynova ва бошқалар насос ва гидромотордаги вибрацияларни камайтириш ҳамда акустик кўрсаткичларини яхшилаш нуқтаи назаридан энергия самарадорлик мавзуси устида тадқиқотлар олиб борганлар.

Мустақил давлатлар ҳамдўстлигидан эса В.К.Свешников, В.Н.Прокофьев, Д.Н.Попов, А.П.Кудрявцев, Т.М.Башта, В.А.Хохлов, Н.С.Гамынин, А.И.Вошин, И.В.Фрумкис, Б.А.Любимов, В.В.Ведерников, Г.П Кальбус., И.А.Немировский, В.М.Маквардте сингари олимлар гидронасослар ишлаб чиқиш, гидротақсимлагичларнинг чидамлилиги ва ишончилигини такомиллаштириш бўйича илмий тадқиқот ишларини олиб борганлар. Республикамиз олимларидан О.В.Лебедев, К.А.Шарипов гидротақсимлагичларнинг назарий асосларни аниқлаб, ҳисоблаш услубиятларини таклиф қилганлар.

Гидравлик тизимлар билан бошқарилувчи машиналарнинг қувват тақсимлагичларидаги жараёнларни тадқиқ этиш борасида кўплаб илмий натижаларга эришилишига қарамай, ҳали ечимини топмаган муаммолар кўп.

Кўплаб тадқиқотларда гидравлик қувват тақсимланишида фақат тақсимлагич устида изланиш олиб борилган, масалан, ричаг орқали фойдаланувчини механик бошқариш (кўтариш, тушириш, нейтрал, ишчи режимлар), аммо гидротақсимлагичнинг насос билан бирга ишлаши, уларнинг ташқи юк ҳолатига кўра оператор буйруғига асосан электрогидравлик компонентлар билан бошқариш усуллари ва бутун гидротизим энергия самарадорлигини ошириш усуллари етарли даражада ўрганилмаган.

Юқорида келтирилган муаммолар ечимини топиш учун қувват узатишда гидротақсимлагичдаги жараёнларни таҳлил қилиш, золотникни электрогидравлик бошқаришда машина бошқарувчанлигини такомиллаштириш, гидротақсимлагичга конструктив ўзгартиришлар киритиш ва машина энергия самарадорлигини ошириш бўйича илмий изланишлар олиб борилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режаси билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент шаҳридаги Турин политехника университети илмий тадқиқот ишлари режасининг № И-2017-2-15 «Пахта териш машинаси терим аппаратинининг кинематика ва динамикаси тадқиқоти учун синов стендини яратиш ва жорий этиш» (2017-2018 йй.) мавзусидаги инновацион лойиҳаси, 36-18-сонли «МХ-1,8 ПТМ гидравлик юритмали териш аппаратини бошқариш учун янги технологияни яратиш» ва 36-17-сонли «МХ-1,8 ПТМ эксплуатациядаги самарадорлигини ошириш мақсадида териш аппаратининг конструкциясини модернизациялаш» мавзуларидаги хўжалик шартномалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади мобил машиналардаги гидравлик тизимнинг энергия самарадорлигини оширувчи усулни яратишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

мавжуд гидротақсимлагичнинг энергия сарфини тадқиқ қилиш ва энергия самарадорлигига таъсир қилувчи параметрларни аниқлаш;

энергетик тежамкор гидротақсимлагичнинг параметрларини назарий асослаш ва математик моделини ишлаб чиқиш;

математик модель ёрдамида ишлаб чиқилган гидротақсимлагичнинг тажриба намунасини лаборатория синовларидан ўтказиш ва назарий тадқиқотларга адекватлигини текшириш;

такомиллашган гидротақсимлагич билан жиҳозланган машинани синовлардан ўтказиш ва машина функционал талабларига мослигини баҳолаш;

таклиф қилинаётган гидротақсимлагичнинг техник-иқтисодий кўрсаткичларини аниқлаш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида пропорционал гидротақсимлагич билан жиҳозланган мобил машина олинган.

Тадқиқотнинг предмети мобил машинанинг гидравлик тизими, гидротақсимлагичнинг золотниги ва гидравлик қувват йўқотилиш жараёнлари ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида суяқликлар назарий механикаси, математик анализ, экспериментларни математик режалаштириш усуллари, гидравлик машиналарни моделлаштириш, термодинамика қонунлари, гидродинамика ҳисоблаш дастурий таъминотлари, юк кўтариш-ташиш

қурилмаларидан хавфсиз фойдаланиш қоидалари ҳамда мавжуд меъёрий ҳужжатларда белгиланган усуллардан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

напор линиясидаги суёқликнинг босимини камайтиришга қаратилган гидротақсимлагич золотниги ва насос иш ҳажмини бошқаришни ҳисобга олиб аналитик боғлиқлик ишлаб чиқилган;

золотник жуфтлигининг энергиявий самарадор иш режимини ҳисобга олувчи математик модели ва тенграмаси ишлаб чиқилган;

ўзгарувчан ҳажмли насос ва гидротақсимлагич золотнигини синхрон бошқаришда қўтариш гидроюритмасининг тезкорлигини ҳисобга олувчи усули ишлаб чиқилган;

насос босим заҳирасини камайтириш учун икки қисмга бўлинган золотникли гидротақсимлагичдаги оқим ва босимнинг золотник силжишни инобатга олувчи боғлиқлик ифодаси аниқланган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

битта насос ва бир нечта фойдаланувчи учун гидравлик қувватни тақсимлаш усулига асосланган такомиллашган гидротақсимлагич золотниги ишлаб чиқилган;

такомиллашган гидротақсимлагич машина иш режимидаги босим ва оқим миқдорлари камайтирилиши, шу боис энергия самарадорлигига олиб келиши аниқланган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги изланишларнинг замонавий услублардан фойдаланилганлиги, саноатда кенг тарқалган ҳисоблаш гидродинамика дастурий таъминотларидан (CFD) фойдаланган ҳолда ўтказилганлиги, назарий тадқиқот натижалари тажриба натижалари билан қиёсий таҳлил усулида асослаб берилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти энергия ресурстежамкор усулга асосланган гидротақсимлагич золотнигини ишлаб чиқиш ва унинг ўлчамлари асосланганлиги, ишга яроқлилиги математик моделлар, аналитик формулалар ва ҳисоблаш методикалари ишлаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти ишлаб чиқилган гидротақсимлагич машинанинг иш давридаги энергия самарадорлигини ошириб, ёнилғи сарф-харажатларини камайтириши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши мобил гидравлик машиналарнинг энергия самарадорлигини ошириш усулларини ишлаб чиқиш бўйича тадқиқотлардан олинган натижалар асосида:

гидротақсимлагич золотнигини ишлаб чиқаришни ўзлаштириш учун лойиҳа-конструкторлик ҳужжатлари (техникавий шартлар ва чизмалар) «Қишлоқ хўжалиги машинасозлиги конструкторлик-технологик маркази»га жорий этилган («O'ZAGROTEXSANOATXOLDING» АЖнинг 2019 йил 11 сентябрдаги СХ-19-08/1541-сон маълумотномаси). Натижада ТТЗ 100НС трактори гидротақсимлагичининг ўзгартирилган конструкциясида напор линиясидаги босимни 15-20 %га камайтириш имконини берди;

ТТЗ 100НС тракторининг PVG32 модификацияланган гидротақсимлагичи

золотниклари жуфтлигининг шакли ва параметрлари «Қишлоқ хўжалиги машинасозлиги конструкторлик-технологик маркази»га жорий этилган (“O‘ZAGROTEXSANOATXOLDING” АЖнинг 2019 йил 11 сентябрдаги СХ-19-08/1541-сон маълумотномаси). Натижада трактор ёнилғи сарфи 17 %гача камайган;

оператор буйруғига кўра, насос ишчи ҳажмини синхрон бошқариш дастури «Қишлоқ хўжалиги машинасозлиги конструкторлик-технологик маркази»га жорий этилган (“O‘ZAGROTEXSANOATXOLDING” АЖнинг 2019 йил 11 сентябрдаги СХ-19-08/1541-сон маълумотномаси). Натижада оператор буйруғи ва цилиндрлик кўтариш механизмининг ҳаракатланиш вақтидаги фарқ 150 мс дан 35 мс гача қисқаришига олиб келиб, тракторнинг кўтариш механизми реакциядорлиги 4 мартага ортган;

PVG32 золотнигини икки қисмга бўлиш ва уни электрогидравлик бошқарилиши алгоритми «Қишлоқ хўжалиги машинасозлиги конструкторлик-технологик маркази»га жорий этилган (“O‘ZAGROTEXSANOATXOLDING” АЖнинг 2019 йил 11 сентябрдаги СХ-19-08/1541-сон маълумотномаси). Натижада TTZ 100НС тракторида насос босим захираси 0.4-1 МПа гача камайди.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари, жумладан, 4 та халқаро ва 1 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган. Ишланма 2018 йилда Республика инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳалар ярмаркасида намойиш этилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 12 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 6 та мақола, жумладан, 5 таси республика ва 1 таси хорижий илмий журналларда нашр этилган, Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигидан 1 та ЭҲМ дастурига муаллифлик гувоҳномаси олинган (№ DGU 05971, 2019 йил 16 январь).

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, тўртта боб, умумий хулосалар, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми иловалар билан 102 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида тадқиқотнинг долзарблиги ва зарурати, унинг мақсади ва вазифалари асосланган, тадқиқот объекти ва предмети, республикада фан ва технологияларни ривожлантириш устувор йўналишларига мослиги тавсифлаб берилган. Тадқиқотнинг илмий янгилиги ва натижалари ҳамда уларнинг илмий ва амалий аҳамияти ёритилган. Натижаларнинг амалиётга жорий этилиши, тадқиқот мавзуси бўйича чоп этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Мобил машиналардаги гидравлик тизимлар ҳолати ва тадқиқотнинг вазифалари**» деб номланган биринчи бобда саноатда мобил машиналардаги гидравлик тизимлардан фойдаланиш шароитлари, гидротақсимлагичларнинг ишлаш принципи, қувват тақсимлашнинг мавжуд усуллари, битта насос ва бир неча фойдаланувчили гидротизимларнинг энергия самарадорлигига таъсир кўрсатувчи омиллар ўрганилди.

Хорижий давлатлардаги гидравлик тизимларнинг энергия самарадорлигини аниқлаш учун турли гидротақсимлаш усуллари таҳлил қилинди. Энергетик ва экологик талаблар йиллар сайин кучайиб кетганлиги туфайли, гидравлик қурилмалар яратувчиларга талаблар ортиб бормоқда. Гидравлик машиналардаги энергия самарадорлик мавзуси 1970 йилларда кузатилган нефть маҳсулотлари нархининг кескин кўтарилиши туфайли пайдо бўлган жаҳон энергия инқирози даврига келиб ўрганила бошланди. Лекин шу даврга келиб ҳам, бу мавзу тўлалигича тадқиқ қилинмади, чунки гидравлик машиналарга асосий талаблар (ишончлилиқ, таъмирга яроқлилиқ, чидамлилиқ) асосий омил сифатида қолди ва энергия-ресурстежамкорлик мавзуси иккинчи даражалилигича қолиб кетди.

Америка Қўшма Штатларининг Давлат Энергетика Департаменти маълумотига кўра, ҳозирги кунда АҚШдаги гидравлик машиналар энергия самарадорлиги 21 %ни ташкил қилади. Буюк Британия Гидравлика Ассоциацияси (BFPA) эса бу кўрсаткич 23-30 % оралиғида эканлиги маълум қилади. Қишлоқ хўжалиги ва қурилиш машиналарини ишлаб чиқарувчи давлатларда (ОЕМ) гидравликанинг машиналарда қўлланилиш даражаси 90 %гача эканлиги ҳисобга олинса, энергия-ресурстежамкор машина ва қурилмаларни ишлаб чиқиш муҳим вазифа ҳисобланади.

Гидравлик машиналардаги энергия самарадорлигини ошириш усуллари назарий гидравликага асосланади. Уларнинг амалий қўлланиши MATLAB/Simulink/SolidWorks/LMS Amesim ва бошқа компьютер дастурий таъминотлари ёрдамида амалга оширилади. Математик моделларнинг фарқлилиги тадқиқотларда белгиланган мақсад ва вазифалари билан, уларнинг ишончлилиги эса эътиборга олинган омилларнинг сони билан асосланади.

Гидротақсимлагичларнинг конструкцияси ва тизимлари иш жараёнларини бошқарувчи электрон воситалар билан жиҳозланмоқда. Саноат гидравликасига кириб келаётган ахборот ва коммуникация технологиялари, электрон бошқарув тизимлари иш жараёнлари ва режимларининг параметрларини ўлчаш ва қайд этиш, уларни масофадан узатиш ва турли ҳисоботларни шакллантириш имконини беради. Гидротақсимлагич конструкциясида электрогидравлика элеменларини қўллаш ишончлилиқ, ресурстежамкорлик, экологик ҳафвсизлик ва тизим

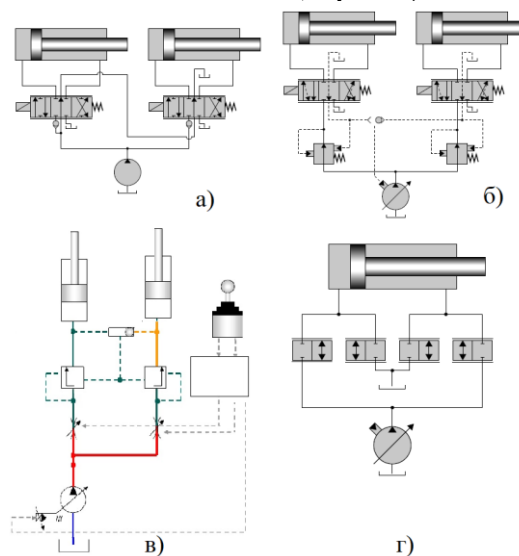
самарадорлигини оширди. Шунга қарамай, ҳозирги кунда бундай электрон тизимлардан фойдаланиш даражаси сустигича қолмоқда. Бу эса самарадорликни оширишда истиқболли захиралар мавжудлигини кўрсатади.

Таҳлиллар кўрсатдики, бугунги кунда мобил машиналарда қўлланилаётган энергетик самарадорликни баҳолашни тартибга солувчи меъёрий ҳужжатлар мавжуд эмас. Мамлакатимизнинг амалдаги меъёрий ҳужжатларида «энергетик самарадорлик» тушунчаси ҳам келтирилмаган.

Республикада қишлоқ хўжалиги машинасозлиги ва йўл қурилиш соҳасида гидравлик тизимларга асосланган машина ва қурилмаларнинг кенг қўлланилишини ҳисобга олган ҳолда, шунингдек, мамлакатдаги энергетик вазиятнинг таҳлилидан келиб чиқиб, гидравлик тизимдаги қувватни энергия ресурстежамкор усулларга асосланган назорат клапанлари орқали бошқариш муаммоси долзарб ҳисобланади.

Диссертациянинг «Пропорционал гидротаксимлагич параметрларининг назарий асослари» деб номланган иккинчи бобида гидравлик тизим энергия самарадорлигига таъсир этувчи омиллар, гидравлик тизим иш режимининг таснифи, таксимлаш архитектураларининг назарий таҳлили, пропорционал гидротаксимлагичлардаги золотник силжишида пайдо бўлувчи оқим кучлари ва энергия йўқотишлари параметрларини асослаш бўйича назарий тадқиқотлар натижалари, золотник жуфтлигининг энергияли самарадор иш режимини ҳисобга олувчи математик модели ва тенгламаси келтирилган.

Саноат ва илм-фандаги мавжуд ҳар бир гидротаксимлаш усули, жумладан, оддий усул, юк босимини кузатувчи, электрон оқим мувофиқлиги, мустақил оқим ва бошқалар ўрганилган, уларнинг устунлик ва камчиликлари кўрсатиб ўтилган ва олиб борилган тадқиқотлар таҳлил қилинган (1-расм).



1-расм. Гидротаксимлаш усуллари:

(а)-оддий, (б)- босимни кузатувчи, (в)-электрон оқим мувофиқлиги, (г)- мустақил оқим.

Тадқиқотлар таҳлили гидравлик мобил машиналардаги гидравлик тизимлар энергетик самарадорлигини ошириш усуллари муаллифлар томонидан белгиланган мақсад ва вазифаларга кўра фарқланишини кўрсатди. Шунга қарамай,

гидравлик қувватни энергия ресурстежамкор усул билан тақсимлаш учун мавжуд икки усул – электрон оқим мувофиқлиги ва мустақил оқим тизимларининг камчиликларини бартараф этилувчи учинчи усул мавжудлиги тадқиқ қилинмаган.

Машина гидравлик тизимининг энергетик самарадорлик моҳиятига кўра муаммонинг ечимларини излаш техник, иқтисодий, ташкилий, ижтимоий ва экологик жиҳатларнинг бирдамлигини таъминлаш учун тизимли тадқиқот олиб бориш кераклилигини аниқлатади.

Шу асосда, **гидравлик тизим билан юритилувчи машинанинг энергетик самарадорлиги – эксплуатация шароитидаги ташқи кучларни енгиш учун зарур фойдали энергиянинг зарур гидравлик энергияга нисбати** тушунилади:

$$\eta = \frac{E_m}{E}, \quad (1)$$

бунда: E_m – эксплуатация шароитида ташқи кучларни енгиш учун зарур фойдали энергия, Дж; E – гидравлик энергия, Дж.

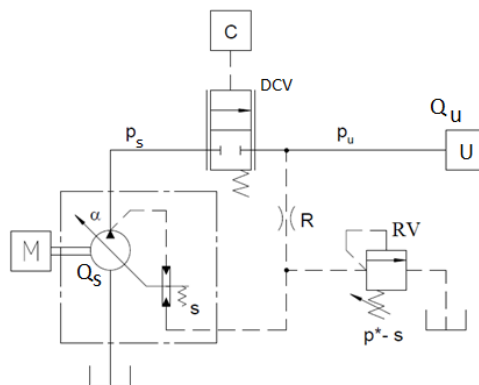
$$E = \frac{\int P dt}{\eta_T}. \quad (2)$$

бунда: P – гидравлик қувват, η_T – гидравлик тизимнинг умумий самарадорлик коэффициенти.

Олиб борилган тадқиқотлар турли йўналишларда ва кўп сонли бўлишига қарамай, гидравлик қувватнинг энергия самарадорлиги масалаларига етарлича эътибор қаратилмаганлиги кўрсатилган, шу асосда тадқиқот вазибалари шакллантирилган. Ишлаш мобайнида юзага келувчи энергия йўқотишлари таҳлили ўтказилиб, уларнинг келиб чиқиш сабаблари ва оқибатлари ёритиб берилган. Гидравлик тизимлар қисмлари алоҳида ва умумий шаклда таҳлил қилиниши натижасида гидравлик тизимдаги энергия сарфига ҳисса қўшувчи омиллар аниқланган.

Босимни кузатувчи гидротаксимлагич саноатда қўлланилган ҳозирда энг тежамкор усул бўлиб (2-расм), унинг t_1 ва t_2 вақт оралиғидаги бажаришга гидравлик энергия сарфи E қуйидагича аниқланади:

$$E = \int_{t_0}^{t_1} p_s Q_s dt = \int_{t_0}^{t_1} (p_u + s) \cdot (Q_u + Q_c) dt, \quad (3)$$



2-расм. Гидротаксимлашнинг кузатувчи босим усули:

Ўзгарувчан иш ҳажмли насос индекси α оқимни бошқарувчи пропорционал клапаннинг босим фарқи s га тенг бўлишини таъминлайди.

ва бунда p_s насос босими, p_u фойдаланувчига таъсир этувчи юк туфайли пайдо бўлган кузатилувчи босим ва s - оқимни бошқарувчи пропорционал клапаннинг кириш ва чиқиш каналларидаги босим фарқи; Q_s, Q_u ва Q_c мос равишда насос ва фойдаланувчи оқимлари ва оқим йўқотишларидир. Энергия самарадорлигини ошириш интеграл остидаги ифода $p_s Q_s$ ни камайтириш демакдир.

Кўриниб турибдики, энергия самарадорлигини ошириш учун система босими ва ёки оқим камайтирилиши керак. Насос ва фойдаланувчи орасидаги босим фарқи s нинг қиймати тизимнинг энг номақбул иш режимидан келиб чиқиб танланади (паст ишчи мой ҳарорати ва юқори мой қуюшқоқлиги, улагич шланглардаги сезиларли босим йўқотишлар). Лекин нормал иш режими номақбул иш режимидан фарқ қилади, бу эса босим фарқи s керагидан ортиқ қийматда лойихаланишига олиб келади.

Насосдан чиқаётган реал оқим Q_r қуйидагига тенг

$$Q_r = Q_n - Q_l - Q_\beta - Q_f = V\omega - Q_l - Q_\beta - Q_f, \quad (4)$$

бунда Q_n – насоснинг назарий оқими, насос иш ҳажми V ва вал айланиш тезлиги ω . Q_l, Q_β ва Q_f лар - оқим сизиб чиқиш йўқотилиши, суюқлик сиқилувчанлиги туфайли оқим йўқотилиши (ҳажм модули β га боғлиқ) ва етарли тўлмаслик туфайли оқим йўқотилишидир. Суюқлик сиқилувчанлиги туфайли оқим йўқотилиши Q_β қуйидаги кўринишга келади:

$$Q_{н,ч} = \frac{\rho_k}{\rho_ч} Q_{н,к}, \quad (5)$$

бунда: $Q_{н,ч}, Q_{н,к}$ ва $\rho_k, \rho_ч$ мос равишда насосдан чиқувчи-кирувчи оқим ва зичликлардир. У ҳолда:

$$\rho_ч = \frac{\rho_k}{1-\beta}, \quad Q_\beta = Q_k - Q_ч = \frac{\omega p V}{\beta}, \quad (6)$$

бунда: ω, p ва V насос айланиш тезлиги, насос босими ва насос иш ҳажмидир. Насос сизиб чиқиш йўқотишлари ламинар оқим режими табиатига эга ва у қуйидагича ифодаланади:

$$Q_l = Gp, \quad G = \frac{bh^3}{12\mu Tl}, \quad (7)$$

бунда: p – сизиб чиқиш босим фарқи, G – ўтказувчанлик, b – сизиб чиқиш юзасининг эни, h – сизиб чиқиш юзасининг бўйи, l – узунлиги, μ – суюқлик қовушқоқлиги, T – ишчи суюқлик ҳарорати.

Етарли тўлмаслик туфайли оқим йўқотилиши Q_f ни насос вали айланиш тезлигига пропорционал деб олиш мумкин. У ҳолда:

$$Q_f = (1 - \alpha_f) Q_n, \text{ агар } Q_n < vA, \quad (8)$$

бунда, α_f - етарли тўлмаслик коэффиценти.

Хулоса қилиб, насос реал оқими Q_r қуйидаги кўринишга эга

$$Q_r = V\omega - \frac{\omega p V}{\beta} - Gp = V\omega \left(1 - \frac{p}{\beta}\right) - Gp \approx V\omega - Gp, \quad (9)$$

чунки, хажм модули β одатда 1400-1700 МПа қийматларда бўлиб, напор линияси $p = 200$ МПа дан ошмайди, $\frac{p}{\beta} \approx 0.01$. Шу боис, ўтказувчанлик G ҳароратга боғлиқлиги учун қовушқоқликнинг суяқлик ҳароратига боғлиқлигини ҳисобга олиш муҳим.

Золотникли назорат клапанидаги қувват йўқотишлари ΔP_w қуйидагига тенг:

$$\Delta P_w = Q_{throt} \cdot \Delta p = C_d A_v \Delta p \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} = \frac{\rho}{2C_d^2 A_v^2} Q_{throt}^3, \quad (10)$$

бунда: Q_{throt} – тирқишдан чиқаётган оқим, A_v – тирқиш юзаси. Энергия йўқотишларини камайтириш A_v ни оширишни тақозо этади. Бу эса золотникнинг диаметри ва унинг ҳаракатини оширишни англатади. Шу боисдан катта оқимга мўлжалланган клапанларда золотник ўлчамлари катта ва кичик оқимга мўлжалланган клапанларда золотник ўлчамлари кичик этиб танланади. Оқим ўз навбатида, золотникнинг силжиши ва ташқи юк ҳосил қилган босимга боғлиқ:

$$Q_L = Q_L(x_v, p_L) \quad (11)$$

Оқим ифодасининг чизикли таҳлили учун Тайлор формуласи билан $L1$ нукта атрофида ёйилганда:

$$Q_L = Q_{L1} + \left. \frac{\partial Q_L}{\partial x_v} \right|_1 \Delta x_v + \left. \frac{\partial Q_L}{\partial p_L} \right|_1 \Delta p_L + \dots \quad (12)$$

$$Q_L - Q_{L1} \stackrel{\text{def}}{=} \Delta Q_L = \left. \frac{\partial Q_L}{\partial x_v} \right|_1 \Delta x_v + \left. \frac{\partial Q_L}{\partial p_L} \right|_1 \Delta p_L \quad (13)$$

Клапан барқарорлигини ифодаловчи оқимнинг золотник силжишининг ўзгаришига таъсирчанлигини K_q ни қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$K_q = \frac{\partial Q_L}{\partial x_v}. \quad (14)$$

Оқимнинг босим ўзгаришига таъсирчанлигини K_c билан ифодалаш мумкин:

$$K_c = - \left. \frac{\partial Q_L}{\partial p_L} \right|_1. \quad (15)$$

Босимча таъсирчанлик K_p қуйидагича белгиланса:

$$K_p = \frac{\partial p_L}{\partial x_v} = - \frac{\frac{\partial Q_L}{\partial x_v}}{\frac{\partial Q_L}{\partial p_L}} = - \frac{K_q}{K_c}, \quad (16)$$

шунинг учун назорат клапани учун икки қисмга бўлинган золотникли гидротақсимлагичдаги оқим ва босимнинг золотник силжишини ҳисобга олувчи боғлиқлик ифодаси қуйидагига тенг:

$$\Delta Q_L = K_q \Delta x_v - K_c \Delta p_L. \quad (17)$$

Золотникнинг марказий ҳолати $x_v = 0$ деб белгиланади ва у критик барқарор нукта ҳисобланади, чунки K_q катта ва K_c кичик қийматларни кўрсатади. Оқим ва

босимнинг золотник силжишини ҳисобга олувчи боғлиқлик ифодасини топишда қуйидаги оқим тенгламасини ёзамиз:

$$Q_L = C_d A_1 \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_s - P_L)}, \text{ агар } x_v > 0 \quad (18)$$

бунда: P_s – насос босими, P_L – юк линиясидаги босим, C_d – разгрузка коэффициенти. Иккинчи золотник қисми учун эса

$$Q_L = -C_d A_2 \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_s + P_L)}, \text{ агар } x_v < 0. \quad (19)$$

Иккала тенглани умумлаштириб, симметрик золотник учун оқим ва босим эгри чизиғини ифодаловчи тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$Q_L = C_d |A_1| \frac{x_v}{|x_v|} \sqrt{\frac{1}{\rho} (P_s - \frac{x_v}{|x_v|} P_L)}. \quad (20)$$

Бу тенглама реал клапаннинг иш чизиқларини ифода қилади, шу боис шакл параметри w киритилган ҳолда қуйидаги ифода келиб чиқади:

$$Q_L = C_d w x_v \sqrt{\frac{1}{\rho} (P_s - \frac{x_v}{|x_v|} P_L)}. \quad (21)$$

Шакл параметри w лаборатория синовларида эмпирик усулда топилиб, золотник ходининг турли қисмлари учун график кўринишида бериш зарур.

Энергия тенгламасининг умумий кўриниши ёзилса:

$$\dot{H} - \dot{W} = \frac{\partial}{\partial t} \int_C \rho \left(u + \frac{v^2}{2} + gz \right) dA + \oint \rho \left(u + \frac{v^2}{2} + gz \right) \vec{V} d\vec{s}, \quad (22)$$

бунда: \dot{H} – назорат ҳажмдаги иссиқлик алмашинуви (нолга тенг), \dot{W} – механик қувват, $u + \frac{v^2}{2} + gz$ эса масса бирлигига тўғри келувчи энергия. Механик энергиянинг

3 ташкил этувчиси мавжуд бўлиб, улар мос равишда айланма ўққа бериладиган иш W_{ax} , уринма стресс туфайли ҳосил бўлган иш W_τ ва суюқлик босими орқали пайдо бўлувчи иш W_p , $W = W_{ax} + W_\tau + W_p$. Суюқлик босими орқали пайдо бўлувчи ишнинг икки ташкил қилувчиси бўлиб, улар \dot{W}_{pflow} ва \dot{W}_{pD} – мос равишда суюқлик ҳаракати ва тизимдаги ҳажм ўзгариши туфайли содир бўладиган ишлардир: $\dot{W}_{pflow} = \oint P \vec{V} d\vec{s}$, $\dot{W}_{pD} = \oint P \vec{V}_d d\vec{s}$. Шу боис, симуляция модели ушбу ифода асосида бажарилади:

$$\dot{W}_p = \oint P \vec{V}_d \hat{n} ds. \quad (19)$$

Золотник жуфтлигининг энергиявий самарадор иш режимини ҳисобга олувчи математик модели момент тенгламасининг дифференциал кўринишида орқали топилди:

$$- \int_{SE} P d\vec{s} - \int_{SS} P d\vec{s} - \int_{SL} P d\vec{s} + \int_{SL} \bar{\tau} dS = \frac{\partial}{\partial t} \int_{Vc} \rho \vec{V}_1 dV + \oint_{SC} \rho \vec{V}_1 \vec{V}_r d\vec{s} \quad (20)$$

Шу билан бирга, назорат клапанларидаги золотник силжиши давомида суюқликнинг ҳаракати туфайли вужудга келувчи реакция кучини ҳам ҳисоблаш муҳим. Золотник тирқишига \vec{v}_1 тезлик билан келаётган ва \vec{v}_2 тезлик билан чиқиб кетаётган суюқликнинг золотникка берадиган реакция кучи қуйидагига тенг:

$$\vec{F}_j = \rho Q(\vec{v}_1 - \vec{v}_2). \quad (21)$$

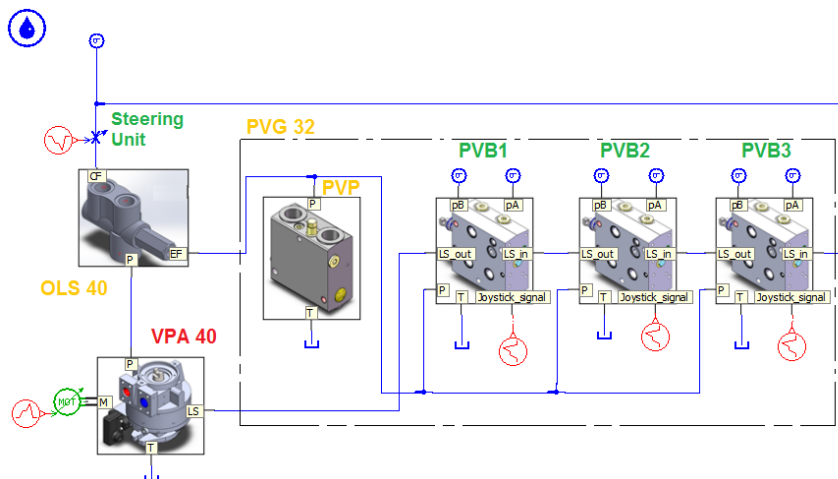
Сууюклик чикиб кетаётган ҳолда $v_1 \ll v_2$ бўлиб,

$$v_2 = \frac{Q}{c_c A_v}, \quad \vec{F}_j = -\rho Q \vec{v}_2, \quad F_j = \frac{\rho Q^2}{c_c A_v}, \quad (22)$$

бунда C_c – тирқишнинг кичрайиш коэффициенти

$$Q = C_d A_v \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}, \quad F_j = \frac{2C_d^2 A_v}{c_c} \Delta p. \quad (23)$$

Мавжуд гидравлик тизим симуляция дастурини саноатда кенг қўлланилаётган LMS Amesim дастурий таъминотида яратиш мумкин (3-расм).



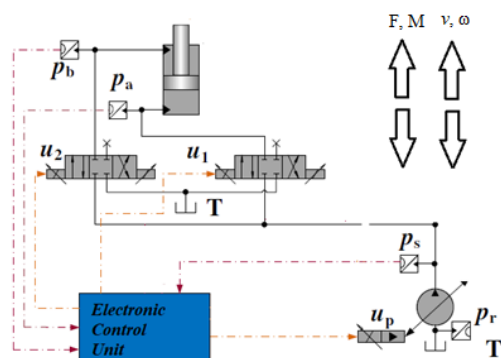
3-расм. Мавжуд гидравлик тизимнинг саноат дастурий таъминотидаги симуляция экрани. Насос VPA 40, устуворлик клапани OLS 40, тақсимлагичлар PVB ўзаро уланган ҳолда ягона гидравлик тизим шаклига келтирилган.

Тизим напор линиясидаги босимни камайтириш учун электрон оқим мувофиқлиги усули мавжуд бўлиб, у очик бошқарувга асосланган, яъни оператор буйруғи ва насос иш ҳажми электрон сигналлар ёрдамида бошқарув блокига узатилади ва мос равишда бошқарилади. Шу билан насос ва фойдаланувчи орасидаги босим фарқи тизим иш режимига боғлиқ эмаслиги таъминланади.

Шунингдек, насос босимини камайтириш цилиндрга кирувчи оқим бошқариш клапанини тўлиқ очиш билан амалга оширилса, цилиндрдан чиқаётган клапанни эса керакли тезликка мослаб бошқариш мумкин.

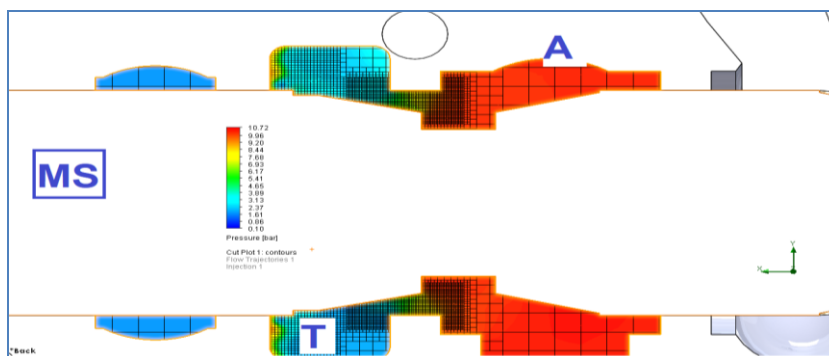
Мустақил оқим усули ёрдамида фойдаланувчи кириш-чиқиш каналлари мустақил бошқарилади. Шунинг учун, бу усулда рекуперация/регенерация режими мавжуд ва у туфайли насос оқимини камайтириш мумкин.

Таклиф этилаётган усул қуйидагича амалга оширилади (4-расм): ўзгарувчан ҳажмли насосдан чиқаётган оқим иккита 4 каналли 3 позицияли пропорционал сервоклапан орқали ишчи цилиндрга уланган. Сервоклапанлар тинч ҳолатда ёпиқ марказли бўлиб, оператор буйруғи асосида ўнг ёки чапга пропорционал равишда силжийди. Ўзгарувчан иш ҳажмли насос индекси ҳам оператор буйруғига мослаб ўзгаради.



4-расм. Таклиф этилаётган гидравлик қувват тақсимлаш усули
4 та босим датчиклари (p_a , p_b , p_s ва p_r) цилиндр кириш чиқиш каналлари, насос ва резервуар босимларини ўлчайди ва электрон бошқарув қурилмасига узатилади.

Диссертациянинг «Экспериментал тадқиқотлар дастури ва услуби» деб номланган учинчи бобида гидравлик тизим математик модели ва золотникнинг математик модели LMS Amesim саноат дастурий таъминоти ёрдамида асосланган. Суюқлик ҳаракатининг таҳлили суюқликлар динамикасини ҳисоблаш дастури SolidWorks Flow Simulationда ўрганилган. Ўзаро яқин чегаравий суюқлик участкаларида камида 15 тадан катак бўлиши таъминланган ҳолда, ўзгарувчан катаклар услуби қўлланилган (5-расм).

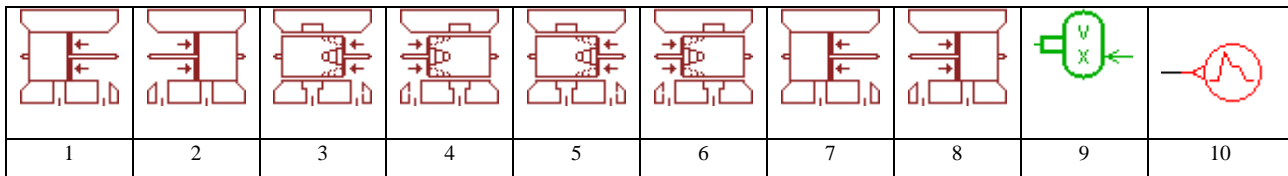
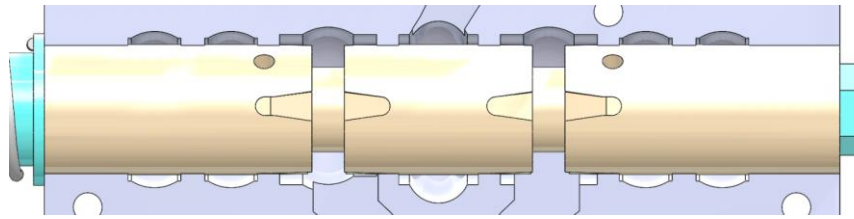


5-расм. Золотникнинг силжиши туфайли ҳосил бўлган тирқишдан ўтаётган суюқлик динамикасининг SolidWorks Flow Simulation дастурий таъминотдаги кўриниши.

Золотникнинг тирқишлари шаклидан келиб чиқиб, ҳар бир ўйма учун LMS Amesim дастурий таъминотида мавжуд симуляцион моделлар танланади ва геометрик параметрлари SolidWorks чизмаларидан олинади (6-расм). Дастур кутубхонасида мавжуд бўлмаган шакллар эса параметрик равишда берилади, масалан, золотник силжиши туфайли пайдо бўлган тирқиш юзаси ва золотникнинг силжиши ҳисоб массиви сифатида дастурга киритилади.

Тадқиқот услуби қуйидагидан иборат(7-расм). Биринчи навбатда мавжуд клапан лаборатория синовларида ўрганилди ва маълумотлар олинди. Сўнгра клапан 2 га ажратилди ва унинг чизмалари SolidWorks дастурий таъминотида йиғилди. Аниқ ўлчов параметрлари олинган клапаннинг симуляция модели SolidWorks Flow Simulation ва LMS Amesim дастурий таъминотида яратилди.

Дастур ва лаборатория синовлари натижаларининг ўзаро мослиги текширилгач, моделга ўзгартириш киритилади. Моделдан олинган параметрлар асосида клапаннинг тест нухаси яратилади.



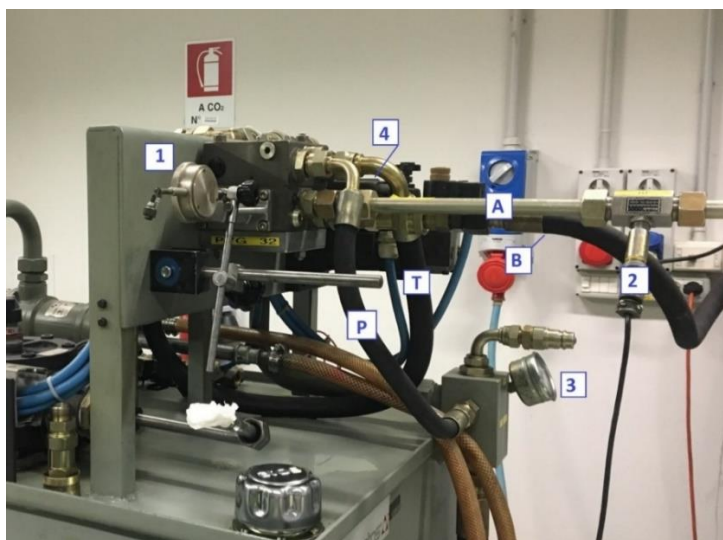
6-расм. Золотник ҳар бир ўлчамларининг LMS Amesim дастурий таъминотдаги кўриниши.



7-расм. Олиб борилган тадқиқотларнинг кетма-кетлик схемаси.

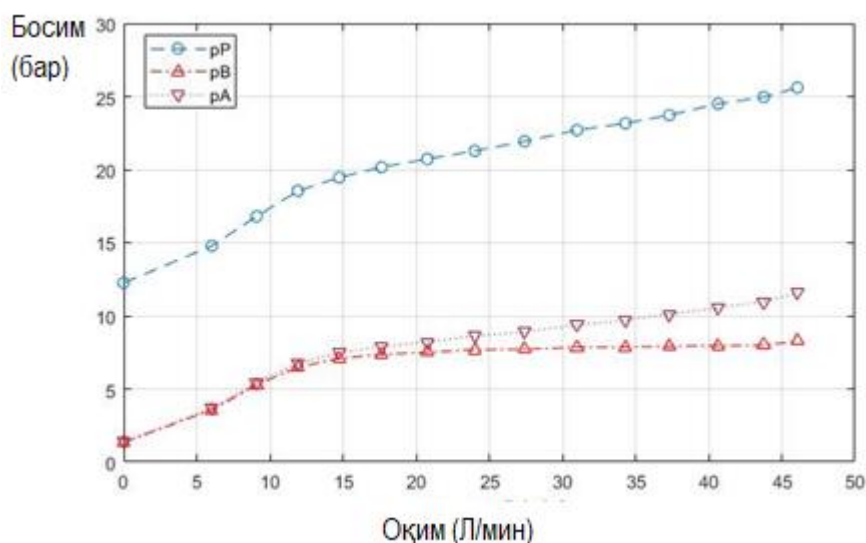
Лаборатория синовларида MOBIL DTE25 гидравлик мойидан фойдаланилди ва унинг ҳарорати 38°C ва резервуардаги босим 0,5 барда эканлиги кузатилди. Тестлар ўтказишдан олдин барча ўлчов асбоблари калибровкадан ўтказилди (8-расм). Соленоид 4 золотникнинг силжишини таъминласа, позиция сенсори 1 золотникнинг силжишини аналог сенсор билан қайд этиб боради. Золотник клапан корпуси ичида силжиши натижасида P дан A га ва B дан T каналга оқим ўтиши таъминланади. P каналда ўрнатилган манометр ва пьезоэлектрик босим сенсорлари A ва B каналлардаги босимларни ўлчайди. HM11 турбина типидagi

оқим ўлчагичи 2 оқимнинг A каналдаги қийматларини маълумотларни ёзиб боровчи тизимга узатади.



8-расм. Лаборатория синовлари қурилмасининг кўриниши.

Лаборатория натижалари кўрсатадики, мавжуд гидротақсимлагич билан жиҳозланган тизимда P дан A га ва B дан T каналга оқим ўтишида кераксиз энергия йўқотишлари мавжуд (9-расм). Гарчанд B канал резервуарга уланган бўлса-да, p_B нинг қийматлари 7 бар атрофида. Бу эса назорат клапани туфайли тизимнинг энергия самарадорлигини камайтирувчи омиллардан биридир.



9-расм. Мавжуд гидротақсимлагичнинг иш эгри чизиқлари

Диссертациянинг «Тадқиқотлар таҳлили ва тавсияларни ишлаб чиқиш» деб номланган тўртинчи бобда қурилманинг таққослов синови натижалари келтирилган. Жумладан, напор линиясидаги босимнинг пасайиши кузатилган. Лаборатория синовлари ва назарий тадқиқотлар адекватлиги келтириб ўтилган, масалан, оқим ва золотник силжишининг лаборатория ва симулятордаги қийматлари таққосланган.

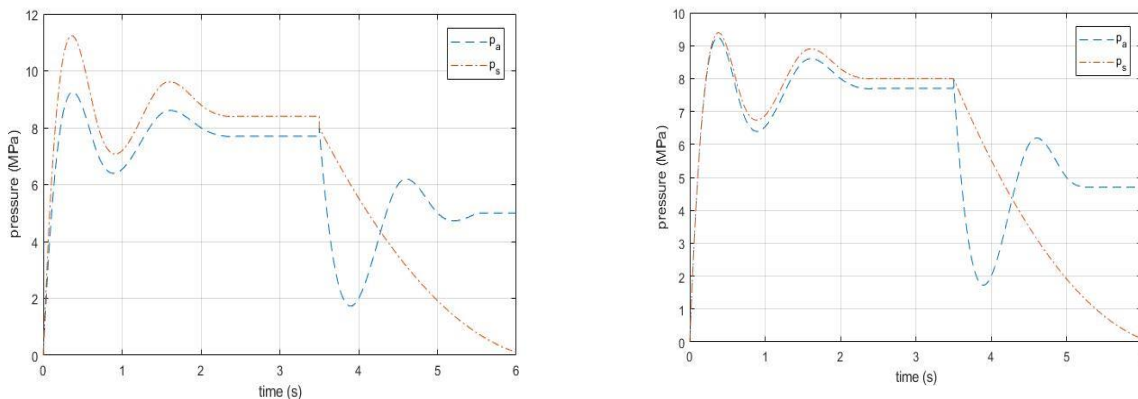
Тадқиқот якунида эришилган натижалар келтириб ўтилган, жумладан:
 - трактор гидротақсимлагичининг ўзгартирилган конструкцияси рекуперация

режими мавжудлиги напор линиясидаги босимни 15-20 %га камайтириш имконини берди (10-расм);

- тракторнинг PVG32 модифицирланган гидротақсимлагичи золотниклари жуфтлигининг шакли ва параметрлари трактор энергия самарадорлигини 17 %гача камайтирди;

- оператор буйруғига кўра насос ишчи ҳажмининг синхрон бошқарилиши оператор буйруғи ва цилиндрлик кўтариш механизмининг ҳаракатланиш вақтидаги фарқ 150 мс дан 35 мс гача қисқаришига олиб келиб, натижада тракторнинг кўтариш механизми реакция вақти 4 мартага ортди;

- золотник ва унинг электрогидравлик бошқарилишини икки қисмга ажратиш орқали TTZ 100НС тракторида насос босим захираси 0.4-1 МПа гача камайди.



10-расм. Таклиф қилинаётган ва мавжуд усулларнинг напор линиясидаги босими фарқи.

ХУЛОСА

«Мобил гидравлик машиналари энергия самарадорлигини ошириш усулларини ишлаб чиқиш» мавзусидаги техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар асосида куйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Бугунги кунда мобил машиналарда қўлланилаётган гидравлик тизимнинг энергия самарадорлигини баҳолашни тартибга солувчи меъёрий ҳужжатлар мавжуд эмаслиги аниқланди. Мамлакатимизнинг амалдаги меъёрий ҳужжатларида «энергетик самарадорлик» тушунчаси ҳам келтирилмаган. Шунинг учун олиб, гидравлик тизим билан юритилувчи машинанинг энергетик самарадорлиги - эксплуатация шароитидаги ташқи кучларни енгиш учун зарур фойдали энергияни тавсифловчи нисбий кўрсаткич деб белгиланди. Саноатда қўлланилаётган босимни кузатувчи гидротақсимлаш усулидаги энергия самарадорлигига таъсир қилувчи параметрларидан бири - насос ва фойдаланувчи орасидаги босим фарқининг қиймати номақбул иш режимидан келиб чиқиб керагидан ортиқ қийматда лойиҳаланиши аниқланди.

2. Энергетик тежамкор гидротақсимлагичнинг параметрлари назарий асосланиб, золотник жуфтлигининг энергиявий самарадор иш режимини ҳисобга олувчи математик модели ишлаб чиқилди. Назарий таҳлиллар ёрдамида ушбу тақсимот усули босимни кузатувчи тизимдаги энергия йўқотишларни 31% гача

қисқартириш мумкинлиги ҳисобланди.

3. Математик модель ёрдамида ишлаб чиқилган гидротақсимлагичнинг золотниги ва насос иш ҳажмини бошқариш аналитик боғлиқлиги лаборатория синовларидан ўтказилди ва назарий тадқиқотларга адекватлиги текширилди. Математик моделнинг ишончлилиги $\pm 3\%$ ни ташкил этиши аниқланди. Натижада конструкциясига ўзгартириш киритилган пропорционал PVG 32 гидротақсимлагич напор линиясидаги ишчи суёқлик босимини 15-20 %га камайтириши аниқланди.

4. Такомиллашган гидротақсимлагич билан жиҳозланган TTZ 100НС трактори синовлардан ўтказилди ва машина функционал талабларига мослигини баҳоланди. Ўзгарувчан ҳажмли насос ва гидротақсимлагич золотнигини синхрон бошқариш усули оператор буйруғи ва цилиндрлик кўтариш механизмининг ҳаракатланиш вақтини 150 мс дан 35 мс гача қисқартириб, гидроюритма тезкорлигини 4 баробарга орттириши аниқланди.

5. Мустақил оқим ва электрон оқим мувофиқлиги тақсимлаш усуллариининг комбинациясидан фойдаланиб, золотникни икки қисмга ажратиш ва уларни соленоидлар билан бошқариш боғлиқлик ифодаси аниқланди. Натижада насоснинг босим захираси 0,4-1 МПа га камайишига имкон яратилди.

6. Экспериментал тадқиқотлар шуни кўрсатадики, таклиф қилинаётган усул асосида ишлайдиган гидравлик тизимга иккинчи контурни улаш энергия йўқотилишларни 22% гача, учинчи контурни улаш эса 7% гача камайтириши мумкин. Тизимдаги энергия йўқотилишлари фойдаланувчилардаги босимнинг миқдоран ўзаро фарқига кўп жиҳатдан боғлиқ. Ҳар бир фойдаланувчига биттадан насосни ишлатиш эса мавжуд босимни кузатувчи усулга нисбатан энергия йўқотилишларини 40% гача камайтириши мумкин.

7. Таклиф қилинаётган гидротақсимлагичнинг техник-иқтисодий кўрсаткичлари шуни кўрсатадики, у машина энергия ресурстежамкорлигини оширади, экологик талабларга мувофиқлигини таъминлайди ва ёнилғи сарфини 17 %гача камайтиришга имкон яратади. Дизель ёнилғисининг нархи 5500 сўм/л ва тракторнинг ёнилғи сарфини 21,8 л/соат эканлигини инобатга олиб, 1 йилда 20,4 млн. сўм иқтисодий самара олиниши мумкинлиги аниқланди.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING OF THE SCIENTIFIC
DEGREES DSc.18/30.12.2019.T.09.01 AT THE TASHKENT INSTITUTE OF
DESIGN, CONSTRUCTION & MAINTENANCE OF AUTOMOTIVE ROADS**

TURIN POLYTECHNIC UNIVERSITY IN TASHKENT

MIRZALIEV SANJAR MAKHAMATJAN OGLI

**IMPROVEMENT METHODS OF ENERGY EFFICIENCY IN MOBILE
HYDRAULIC MACHINES**

05.08.06 – Wheeled and tracked machines and their operation

**DISSERTATION ABSTRACT OF DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2020

The theme of the doctoral of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under B2018.4.PhD/T953

The dissertation has been prepared at Turin Polytechnic University in Tashkent

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, English and Russian (resume)) on the website of the Scientific council (www.tayleqi.uz) and at the Information and educational portal «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Scientific supervisor:	Sharipov Kongratbay Avezimbetovich doctor of technical science, professor
Official opponents:	Alimukhamedov Shavkat Pirmukhamedovich doctor of technical science, professor
	Aliboev Bakhtiyor Abdurakhmonovich doctor of philosophy in technical sciences, PhD
Leading organization:	Constructon-technologic center for agricultural machinery, LTD

The defense of the dissertation will take place «__»_____ 2020 at the meeting of Scientific council meeting No. DSc.18/30.12.2019.T.09.01 at Tashkent Institute of Design, Construction & Maintenance of Automotive Roads (Address: 100060, Tashkent city, Mirabad district, Amir 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 Center of the Tashkent Institute of Design, Construction & Maintenance of Automotive Roads (registration number No _____). Address: 100060, Tashkent city, Mirabad district, Amir Temur prospect 20. Tel: (+99871) 232-14-45.

Abstract of the dissertation sent out on «__»_____, 2020 y.
(mailing report No___ on _____, 2020 y.).

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

R. A. Abdurakhmanov
Scientific secretary of the scientific council
awarding scientific degrees,
doctor of philosophy PhD

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

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

Relevance of the topic of dissertation. A topic of energy efficient and productive machinery has become important in recent years. High accuracy, rugged operation, high power to mass ratio of fluid power systems are highly appreciated in machine industry. In general, it is necessary to distinguish two types of fluid systems, transport and power. In this work, ways of fluid power distribution between actuators are analyzed on top of the widespread technologies. In fluid power, power generated by a single pump is distributed between several actuators. In this regard, a layout of power generation (a kind of pump used) and distribution (a kind of control valve used) are essential in determining machine energy efficiency and working performance.

Many scientific researches are being conducted in the world on the topics of performance of hydraulic machines, durability of materials, safety and accuracy of operation, compliance with the vibration and noise standards. In this regard, it is important to develop methods aimed at improving energy efficiency of hydraulic systems and ensuring their compliance with environmental requirements. Given the widespread use of hydraulic systems in agricultural machinery and road construction industries, it is necessary to transmit hydraulic power to users through control valves effectively based on high efficiency methods.

Extensive measures are being taken to save resources in the manufacturing sector of the Republic of Uzbekistan, to develop high-performance industrial machines based on advanced technologies. Development strategy of the Republic of Uzbekistan for 2017-2021 years outlines further development and liberalization of national economy¹. According to the Strategy, reduction of energy and resource costs, widespread introduction of energy-saving technologies and increased labor productivity in the economy are key factors in improving the competitiveness of the economy through deepening structural reforms, modernization and diversification of the leading sectors of the national economy.

In particular, the state program for 2017 year includes specific actions for ministries and agencies to update and modernize obsolete and physically outdated equipment at large industrial sectors, increase energy efficiency in production and optimize technological processes.

The research of this dissertation, in partly and a whole, is carried out as a contribution to the implementation of the Decree of the President of the Republic of Uzbekistan dated February 7, 2017 PF-4947 "On the strategy of further development of the Republic of Uzbekistan", Resolution of the President of Republic of Uzbekistan PQ-2694 dated 2016 December 23 "On measures for further reform and development of agricultural sector for 2016-2020" and PQ-3117 dated 2017 July 7 "On measures for further development of scientific and technical base in the field of agricultural machine-building" and other normative-legal acts set forth related to this activity.

Compliance of the research with the priority directions of science and technology of the Republic. This dissertation is performed in accordance with the

¹ Decree of the President of the Republic of Uzbekistan dated February 7, 2017 № PF-4947 "On the Strategy of the Development of the Republic of Uzbekistan".

priority directions of development of Science and Technology of the Republic III. «Energy and energy-resource-saving».

Degree of study of the problem. Much research has been done on the study of energy efficiency of mobile hydraulic machines, their performance and justification of their parameters, and the elimination of energy-reducing factors. Leading world fluid power researchers, including German scientists C. Latour and H. Murrenhoff, have expressed the principles of reducing energy consumption by classifying current hydraulic systems, and have achieved practical results in improving electronic flow matching control valves and pumps. Scientists from Sweden M. Axin, B. Eriksson, and P. Krus worked on the prevention of energy loss in control valves, the use of one pump per user, the determination of the basics of electrohydraulics, and the development of other control methods. Italian scientists N. Nervegna and M. Rundo have developed recommendations for mathematical modeling of hydraulic circuits in hydraulic systems of mobile hydraulic machines, including excavators, by calculating energy efficiency. American scientists O. Maha, A. Vacca, and M. Ivantysynova have conducted research in energy efficiency in terms of reducing vibrations and improved acoustic performance of pumps and motors.

In the Commonwealth of Independent States, Sveshnikov V.K., Prokofev V.N., Popov D.N., Kudryavtsev A.P., Bashta T.M., Khokhlov V.A., Gamynin N.S., Voshchin A.I. Scientists: Frumkis I.V., Lyubimov B.A., conducted research on the ruggedness and reliability of hydraulic control valves. Experts from Uzbekistan Lebedev O.V. and Sharipov K.A. conducted series of research in discrete direction control valves, fluid cleanness and motor oil recycling.

Despite the numerous scientific studies that have been made on the study of processes in the control valves of hydraulic systems, there are still many unresolved problems. Numerous studies have focused on hydraulic power distribution only on the valves, such as the mechanical control of the user by lifting (lifting, lowering, neutral, operating modes), but also with the hydraulic pump and control methods with the hydraulic components depending on a operator's signal. Hence, the methods for improving energy efficiency of the whole fluid power circuit system are insufficiently studied. In order to solve the above mentioned problems, it is necessary to analyze the processes involved in the transmission of hydraulic conductors, to improve the machine's hydraulic control over the hydraulic drive, to make constructive changes to the hydraulic drive and to increase the energy efficiency of the hydraulic system.

Connection of dissertation research with the plan of research activities of the higher educational institution where the dissertation has been completed. The dissertation research was carried out within the framework of the innovation project under research plan of the Polytechnic University of Turin in Tashkent №И-2017-2-15 “Development and implementation of a test bench for the study of the kinematics and dynamics of a picker apparatus of a cotton-picking machine” (2017-2018), under agreements №36-18 «Development of new technology for better control of a hydraulic picker machine MX-1,8 PTM» and № 36-17 «Modernization of design of a picking apparatus to increase efficiency of tractor MX-1,8 PTM».

The aim of the research work is improvement methods of energy efficiency in mobile hydraulic machines.

The tasks of research:

study energy losses of existing valve and identify parameters influencing energy efficiency of the hydraulic system;

development of a mathematical model and theoretical justification of the parameters of energy-efficient valve;

laboratory tests of the valve and verification of adequacy of theoretical research with laboratory test results;

testing of the distribution valve in a forklift truck in real operation and evaluation of compliance of machine performance with machine functional requirements;

conducting feasibility study of the proposed valve.

The object of the research work is a mobile machine with spool type proportional direction control valve.

Subject of research hydraulic system of the machine, direction control valve spool, processes with energy losses.

Methods of research. The methods used in the present study are based on theoretical fluids mechanics, mathematical analysis, methods of mathematical planning of experiments, modeling of hydraulic components, laws of thermodynamics, computational fluid dynamics, safety rules of transportation machines and existing regulatory documents.

Scientific novelty of the research work is the following:

analytical relationship has been developed for control of the valve spool and variable displacement pump with the purpose of reducing oil pressure in the pressure line;

a mathematical model and equation have been developed to enable energy efficient spool working position;

calculation method of reaction time has been developed for a hydraulic actuator in the case of synchronous control of variable displacement pump;

for the spool separated into two parts the expression of flow and pressure dependence has been developed to reduce pump pressure margin.

Practical results of the research are the following:

an improved spool control of fluid power distribution method has been developed for circuits with a single pump and several users;

it has been demonstrated that a proposed fluid power distribution valve leads to reduction the pressure margin and reduction of flow in the operating mode of the forklift truck, therefore, energy efficiency of the truck has been improved.

Reliability of research results. The reliability of the research results is due to the use of modern methods of research, such as industry-wide computational fluid dynamics software tools (CFD), the adequacy of theoretical and experimental research, the positive results of forklift truck machine operation with intended commands and the fact of practical implementation of the distribution valve.

Scientific and practical significance of the research results. The scientific significance of the results of the research is explained with the development of hydraulic distribution valve spool to be operable with energy-saving method and the usability of its dimensions, the development of mathematical models, analytical formulas and computational techniques.

The practical significance of the research results is due to the fact that the developed proportional valve has improved energy efficiency of work cycle and reduced fuel consumption of a forklift truck.

Implementation of the research results. Based on the results of the research on improvement methods of energy efficiency in mobile hydraulic machines, the following implementations have been achieved:

design and construction documentation (technical specifications and drawings) of the proportional valve proposed by dissertation has been adopted by “Construction-technologic center of agricultural machinery” of “Uzagrotechsanoatholding” JSC (Reference letter No. CX-19-08/1541 dated 11 September 2019). As a result, the machine performance has increased by 15-20%;

construction parameters of the main spool of the PVG32 valve of TTZ 100HC tractor has been adopted by “Construction-technologic center of agricultural machinery” of “Uzagrotechsanoatholding” JSC (Reference letter No. CX-19-08/1541 dated 11 September 2019). Consequently, the machine fuel consumption decreased up to 17%;

a program of synchronous operation of variable displacement pump and spool pair has been adopted by “Construction-technologic center of agricultural machinery” of “Uzagrotechsanoatholding” JSC (Reference letter No. CX-19-08/1541 dated 11 September 2019). Resultantly, the machine lift mechanism’s reaction time decreased 4 times from 150 ms to 35 ms;

an algorithm of electronic control of the spool pair of PVG32 valve has been adopted by “Construction-technologic center of agricultural machinery” of “Uzagrotechsanoatholding” JSC (Reference letter No. CX-19-08/1541 dated 11 September 2019). Thus, TTZ 100 HC tractor pressure margin reduced up to 0.4-1 MPa.

Approbation of research results. The results of the research were discussed in 5 international and 1 republican scientific-practical conferences. Proposed valve was presented at the Republican fair of innovative ideas, technologies and projects in 2018.

Publication of research results. Under dissertation topic 12 scientific papers were published, from which 6 articles were in scientific journals recommended for publication of the main scientific results of doctoral dissertations (PhD) of the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan, including 5 in national and 1 in foreign journal. Moreover, 1 certificate of registration of electronic computing machine code has been received.

Structure and volume of dissertation. The dissertation consists of introduction, four chapters, general conclusions, list of references and appendices. The volume of the dissertation is 102 pages.

BRIEF CONTENT OF DISSERTATION

In the introduction part, the relevance and importance of research, its goals and objectives are defined, the object of the research is identified, and a study has been carried out to compare research objectives with the priorities for the development of science and technology in the country. Moreover, the scientific novelty of the work and the practical implications of the research are outlined. Information about the scientific and practical significance of the results, results of approbation of the work, published scientific works, the composition of the dissertation and implementation of research results in production are described in introduction part.

In the first chapter of the dissertation entitled **“State of the art of mobile equipment hydraulics and research objectives”** are done to explore hydraulic systems in mobile machines present in industry, the principles of hydraulic actuators, power distribution methods, factors affecting the energy efficiency of single-pump multi-user hydraulic systems.

The structure of the proportional direction control valves, their structural features, application areas, the working parameters are analyzed.

Each of the existing hydraulic power distribution methods in industry and science has been studied, including conventional methods, load sensing, electronic flow matching, independent metering (Figure 1), and their advantages and disadvantages are listed and examined.

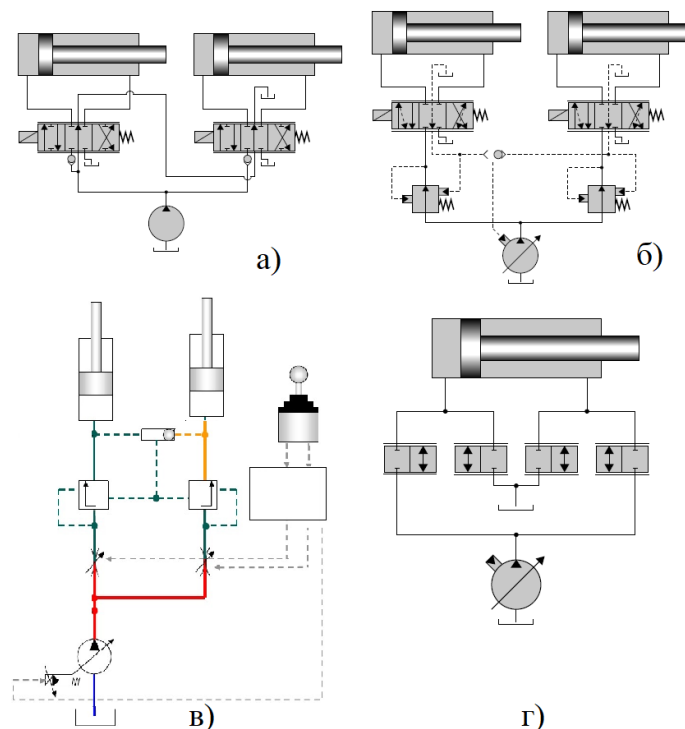


Figure 1. Hydraulic power distribution methods:

(a) –conventional open center, (b) – load sensing, (c) – electronic flow matching, (d) - independent metering.

An analysis of the energy losses incurred during the operation has been undertaken, and their causes and effects are revealed. Hydraulic system components are examined individually and in combination to reveal the factors affecting energy losses of the hydraulic system.

Even though many studies have been conducted in different areas, it is reasonable to note that hydraulic systems are seldom focused on energy efficiency, based on which the research tasks of current study are formulated.

The second chapter of the dissertation entitled “**Theoretical study of the proportional direction control valve**” includes the theoretical research on factors affecting energy efficiency of the hydraulic system, classification of hydraulic system operation modes, theoretical analysis of hydraulic power distribution techniques, the appearance of flow forces and energy losses.

Based on the research, energy efficiency of hydraulic system can be defined as the ratio of useful energy spent to overcome external forces (moments) during machine use to the hydraulic energy needed to be generated:

$$\eta = \frac{E_m}{E}, \quad (1)$$

whereas: E_m – useful energy, J; E – hydraulic energy, J.

$$E = \frac{\int P dt}{\eta_T}, \quad (2)$$

where P – hydraulic power, η_T – energy efficiency coefficient.

The pressure-controlled load sensing system is now the most energy efficient and widespread method used in the industry (Figure 2) and its energy consumption for time interval t_1 and t_2 is determined as follows:

$$E = \int_{t_0}^{t_1} p_s Q_s dt = \int_{t_0}^{t_1} (p_u + s) \cdot (Q_u + Q_c) dt \quad (3)$$

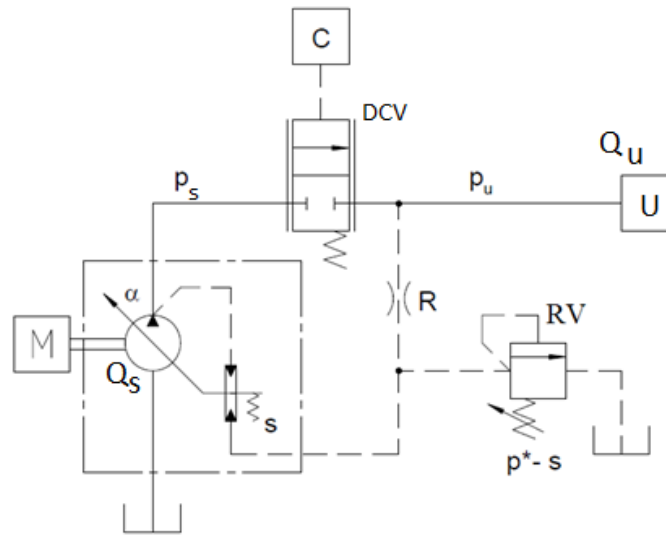


Figure 2. Load sensing system:

The variable displacement pump provides a pressure difference s across the proportional direction control valve. The user pressure p_u is monitored by the pump via pilot signal.

whereas the pump pressure p_s , monitored pressure at the load p_u caused by the external load, and s is the pressure drop across the input and output ports of the proportional directional control valve; Q_s, Q_u ба Q_c are pump, user flow rates and flow losses respectively. Increasing energy efficiency means reducing the interand expression $p_s Q_s$.

Clearly, in order to increase energy efficiency, system pressure and or flow must be reduced. The value of the pressure drop s between the pump and the user is selected based on the system's worst operating mode (low operating temperature and high viscosity of the oil, significant pressure losses in connecting hoses). However, the normal operating mode differs from the undesirable operation mode, which results in the overdesigning of the pressure difference s compared to required value.

The real flow from the pump is Q_r is equal to

$$Q_r = Q_H - Q_l - Q_\beta - Q_f = V\omega - Q_l - Q_\beta - Q_f \quad (4)$$

where Q_H – is the theoretical flow of the pump (product of the pump displacement V and speed of rotation), which differs from the actual flow. Q_l, Q_β and Q_f are leakage flow, flow loss due to fluid compression (dependent on bulk modulus β), and flow losses due to insufficient filling. Flow loss due to fluid compression Q_β is equal to

$$Q_{H,\psi} = \frac{\rho_\kappa}{\rho_\psi} Q_{H,\kappa} \quad (5)$$

where $Q_{H,\psi}, Q_{H,\kappa}$ and ρ_κ, ρ_ψ are the flow rates and densities upstream and downstream of the pump, respectively. In that case

$$\rho_\psi = \frac{\rho_\kappa}{1 - \frac{p}{\beta}}, \quad Q_\beta = Q_\kappa - Q_\psi = \frac{\omega p V}{\beta} \quad (6)$$

where ω, p and V are pumping rotational speed, pump pressure and pump displacement. Pump leakage losses are of laminar nature (Hagen Poiseuille equation) and is equal to

$$Q_l = Gp, \quad G = \frac{bh^3}{12\mu Tl} \quad (7)$$

where p – is the pressure difference of the leakage orifice, G - is the leakage coefficient, b – is the width of the leakage surface, h - is the length of the leakage surface, l - is the length, μ – is the viscosity and T - is the temperature of the working fluid.

Flow loss due to insufficient filling Q_f can be taken as a fraction of pump speed. Then,

$$Q_f = (1 - \alpha_f)V\omega, \text{ when } V\omega < vA \quad (8)$$

where α_f - is the coefficient of insufficiency.

In summary, the actual flow of the pump Q_r is found as follows

$$Q_r = V\omega - \frac{\omega p V}{\beta} - Gp = V\omega \left(1 - \frac{p}{\beta}\right) - Gp \approx V\omega - Gp \quad (9)$$

because the bulk modulus β is typically 1400–1700 MPa and the highest pressure in the system is limited at $p = 200$ MPa, $\frac{p}{\beta} \approx 0.01$. Therefore, leakage coefficient G is sensitive to temperature, and it is important to consider the viscosity variation over the temperature.

Let us consider power losses in the spool valve directional valve ΔP_w

$$\Delta P_w = Q_{throt} \cdot \Delta p = C_d A_v \Delta p \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} = \frac{\rho}{2C_d^2 A_v^2} Q_{throt}^3 \quad (10)$$

where Q_{throt} represents throttled flow rate, A_v - is orifice flow area. To reduce power losses, A_v must be increased. It means increasing the stroke and spool diameter.

Therefore for small flows spool size can be downsized, whereas for high flows it is necessary to have big dimensions. It is possible to express flow rate as a function of spool displacement and load pressure:

$$Q_L = Q_L(x_v, p_L) \quad (11)$$

Linearized analysis of valve coefficients can be done by Taylor expanding flow-pressure relationship around operating point L1:

$$Q_L = Q_{L1} + \left. \frac{\partial Q_L}{\partial x_v} \right|_1 \Delta x_v + \left. \frac{\partial Q_L}{\partial p_L} \right|_1 \Delta p_L + \dots \quad (12)$$

$$Q_L - Q_{L1} \stackrel{\text{def}}{=} \Delta Q_L = \left. \frac{\partial Q_L}{\partial x_v} \right|_1 \Delta x_v + \left. \frac{\partial Q_L}{\partial p_L} \right|_1 \Delta p_L \quad (13)$$

Then flow gain is defined as the ratio of change of flow rate per change of spool displacement K_q :

$$K_q = \frac{\partial Q_L}{\partial x_v} \quad (14)$$

Flow-pressure coefficient is defined as K_c :

$$K_c = - \left. \frac{\partial Q_L}{\partial p_L} \right|_1 \quad (15)$$

Pressure sensitivity is defined as K_p :

$$K_p = \frac{\partial p_L}{\partial x_v} = - \frac{\left. \frac{\partial Q_L}{\partial x_v} \right|_1}{\left. \frac{\partial Q_L}{\partial p_L} \right|_1} = - \frac{K_q}{K_c} \quad (16)$$

Infinitesimal flow rate is equal to ΔQ_L :

$$\Delta Q_L = K_q \Delta x_v - K_c \Delta p_L \quad (17)$$

Operating point around $x_v = 0$ is extremely important, since K_q is large and K_c is small. It is a critical stability point. K_q characterizes system stability and frequency response, K_c is important to define valve-actuator damping coefficient, K_p has large value (MPa per mm), and it accounts for breakaway large friction loads with little error.

If the central position of the spool is when $x_v = 0$, it is called critical point of the valve. Because at this point K_q and K_c very high and very low values respectively. To find a pressure flow characteristic curve, it is possible to write the following:

$$Q_L = C_d A_1 \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_s - P_L)}, \text{ if } x_v > 0 \quad (18)$$

whereas P_s is the pump pressure, P_L load pressure, C_d -discharge coefficient. For the second part of the spool

$$Q_L = -C_d A_2 \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_s + P_L)}, \text{ if } x_v < 0 \quad (19)$$

By combining the two equations:

$$Q_L = C_d |A_1| \frac{x_v}{|x_v|} \sqrt{\frac{1}{\rho} (P_s - \frac{x_v}{|x_v|} P_L)} \quad (20)$$

This equation cannot plot the real valve characteristics, therefore it is possible to introduce a new dimensionless parameter w :

$$Q_L = C_d w x_v \sqrt{\frac{1}{\rho} (P_s - \frac{x_v}{|x_v|} P_L)} \quad (21)$$

The parameter w is found empirically from laboratory results and it has different curves for different positions of the spool.

Energy analysis can be started from generic equation of 1st law of thermodynamics:

$$\dot{H} - \dot{W} = \frac{\partial}{\partial t} \int_C \rho \left(u + \frac{v^2}{2} + gz \right) dA + \oint \rho \left(u + \frac{v^2}{2} + gz \right) \vec{V} d\vec{s} \quad (22)$$

where \dot{H} – heat exchanged in the control volume (zero), \dot{W} – mechanical power, $u + \frac{v^2}{2} + gz$ represent energy per unit of mass. Mechanical energy has 3 constituents, namely axial work W_{ax} , work due to shear stress W_τ and fluid work W_p , $W = W_{ax} + W_\tau + W_p$. Work due to fluid pressure has two terms, they are due to flow forces and due to control volume change \dot{W}_{Pflow} and \dot{W}_{PD} . The first term is $\dot{W}_{Pflow} = \oint P \vec{V} d\vec{s}$, while the second term is equal to $\dot{W}_{PD} = \oint P \vec{V}_d d\vec{s}$. Therefore, it is possible to combine the two constituents:

$$\dot{W}_p = \oint P \vec{V}_d \hat{n} ds \quad (19)$$

To find the most energy efficient spool position, it is possible to relate the pressure and flow with spool displacement by elaborating momentum equation:

$$- \int_{SE} P d\vec{S} - \int_{SS} P d\vec{S} - \int_{SL} P d\vec{S} + \int_{SL} \bar{\tau} dS = \frac{\partial}{\partial t} \int_{Vc} \rho \vec{V}_1 dV + \oint_{SC} \rho \vec{V}_1 \vec{V}_r d\vec{S} \quad (20)$$

Moreover, it is important to consider flow forces. Let \vec{v}_1 be the velocity of the inlet \vec{v}_2 velocity of the outlet. Then the flow force \vec{F}_j is equal to

$$\vec{F}_j = \rho Q (\vec{v}_1 - \vec{v}_2) \quad (21)$$

If the flow is ingoing, i.e. $v_1 \ll v_2$,

$$v_2 = \frac{Q}{C_c A_v}, \quad \vec{F}_j = -\rho Q \vec{v}_2, \quad F_j = \frac{\rho Q^2}{C_c A_v} \quad (22)$$

whereas C_c is coefficient of contraction

$$Q = C_d A_v \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}, \quad F_j = \frac{2C_d^2 A_v}{C_c} \Delta p \quad (23)$$

The existing hydraulic system's mathematical model can be created in LMS Amesim software, which is widely used in industry (Figure 3).

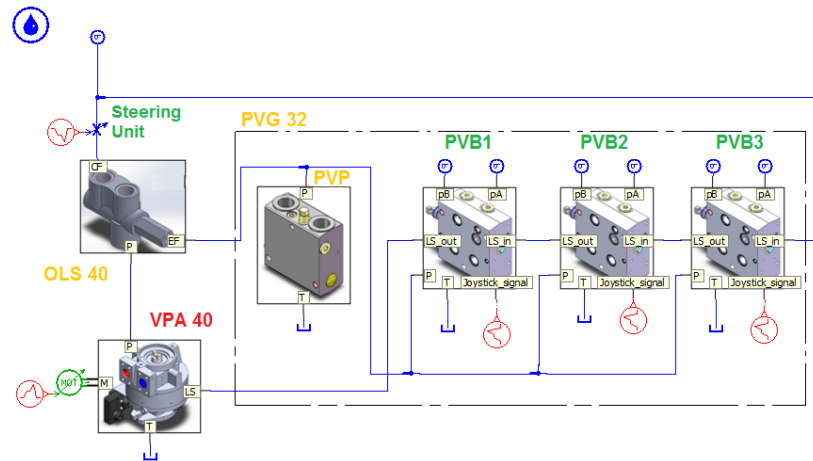


Fig 3. Simulation model of an existing hydraulic system in a computer software. The pump, priority valve, and hydraulic system are connected with each other to make up a system.

The proposed method is implemented as follows (Figure 4): the flow from the variable displacement pump is connected to the working cylinder through two 4-port 3-position proportional servo-valves. At rest, the valves are closed and can be shifted to the right or left by the command of the operator. The pump displacement changes according to the operator's command as well. 4 pressure sensors (p_a , p_b , p_s BA p_r) measure cylinder inlet ports, pump and reservoir pressures and are transmitted to the electronic control unit.

The system has an electronic flow matching method, which is based on open control, that reduces the pump pressure, because of the operator's command and pump displacement are controlled by electronic signals via the control unit. This will ensure that the pressure difference between the pump and the user is not set to excessive value, which will eventually reduce the pump line pressure.

The pump pressure reduction can also be achieved by fully opening the meter in control valve, while the meter out valve can be controlled for the required speed. The cylinder meter in and meter out channels are independently controlled by the independent metering method. Therefore, this method can employ recuperation mode, which can reduce pump flow.

Energy saving method is based on the combination of electronic flow matching and independent metering methods for the distribution of hydraulic power.

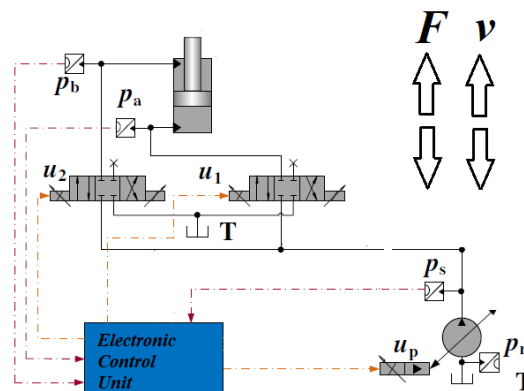


Figure 4. Proposed hydraulic power distribution method.

The third chapter of the dissertation, entitled “**Program and Methods of Experimental Research**” is based on the simulation model of hydraulic system with industrial software tool - LMS Amesim. Fluid dynamics analysis is performed in SolidWorks Flow Simulation software. The variable mesh is considered when necessary with at least 15 cells in adjacent boundary fluid sections (Figure 5).

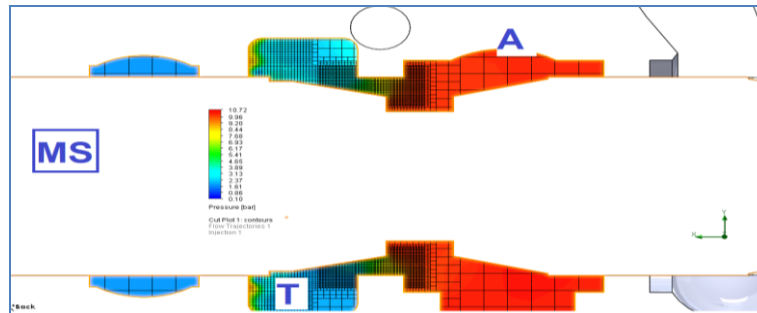


Figure 5. Software analysis of fluid dynamics of the flow through the orifice made by spool displacement.

Based on the shape of the spool slots, the simulation models available in the LMS Amesim software are selected for each engraving, and the geometric parameters are taken from the SolidWorks 3D drawing. Forms that do not exist in the program library are given parameterically, where the flow area versus spool displacement are entered as an array of data (Figure 6).

The research method is as follows. First, the existing valve was studied in laboratory tests and data were obtained. The valve was then split into 2 parts and its drawings were assembled in SolidWorks software. A simulation model of the valve with precise measurement parameters was created in SolidWorks Flow Simulation and LMS Amesim software. Once the compatibility of the program and laboratory test results is checked, a modification is made to the model. Based on the parameters obtained from the model, a test copy of the valve is created (Figure 7).

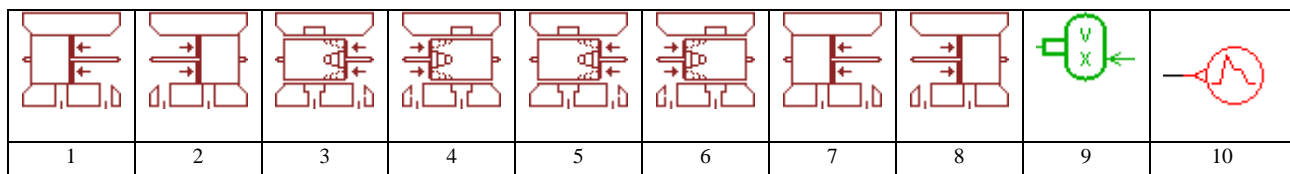
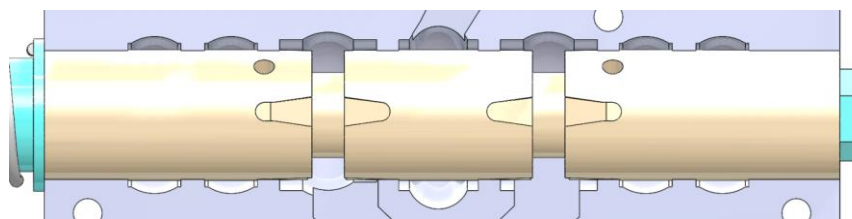


Figure 6. Screenshot of valve main spool elements in LMS Amesim.

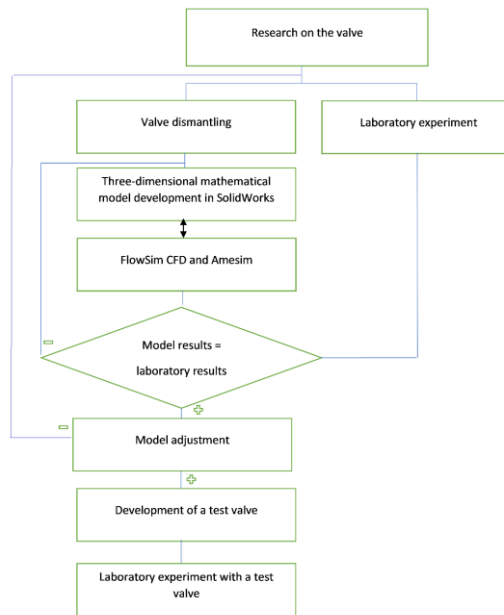


Figure 7. Flow chart of research methodology.

Working fluid is chosen MOBIL DTE25 at a temperature 38°C, while tank gauge pressure is set to 0.5 bar. Before conducting laboratory test, pressure transducers are calibrated by using rotary dead weight tester. Solenoid 4 controls the position of the main spool, while the analog position sensor 1 measures position of the spool lever (Figure 8). By moving the spool with the solenoid 4 flow travels from port P to port A and from port B to port T. Pressure at port P is measured with a transducer 3 and two other pressure transducers measure pressures at port A and B.

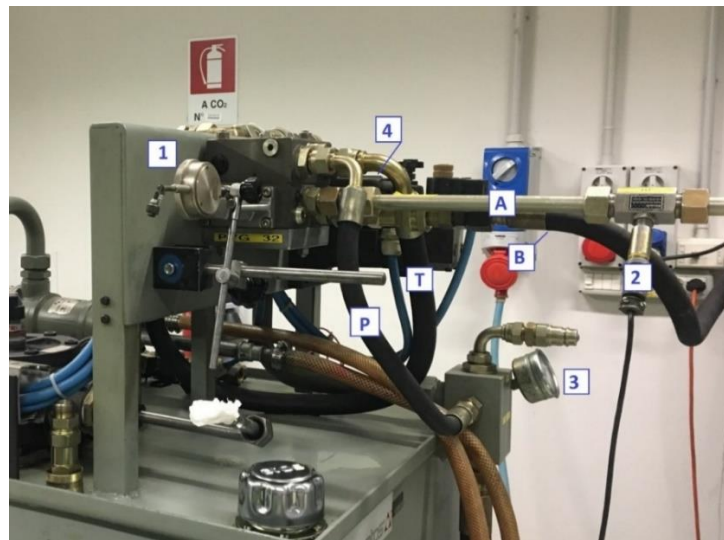


Figure 8. Laboratory test layout.

Laboratory results show that there are unnecessary energy losses in a system equipped with an existing direction control valve. For example, in the fluid flow from port P to A and from B to T (Figure 9) it is seen that although port B is connected to the reservoir, the values of port B pressure are not close to zero.

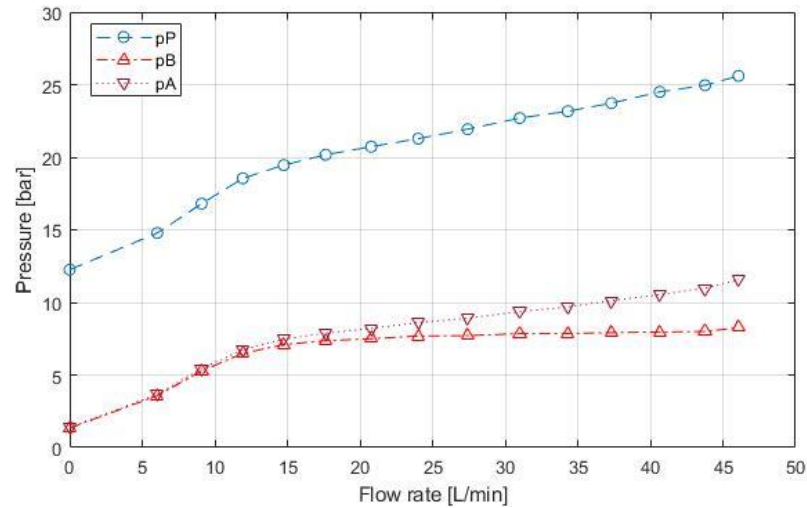


Figure 9. Operating curves of existing proportional direction control valve.

The fourth chapter of the thesis, “**Postprocessing of experimental studies and development of recommendations**” presents the results of comparative tests of the valve. In particular, there was a decrease of the pump pressure and increase of system reaction. Adequacy of laboratory tests and theoretical studies have been documented, such as the flow rate versus spool displacement measured in laboratory and simulator.

At the end of the study, the following results are obtained:

- Thanks to the presence the modified design of the tractor hydraulic valve has a recuperation mode that has reduced the pump line pressure by 15-20% (Figure 6);
- The shape and parameters of the pair of PVG32 modified hydraulic cylinder rollers reduced the energy efficiency of the tractor by 17%;
- Simultaneous control of the pump operating volume according to the operator's command led to a reduction of the movement time of the operator's command and the cylinder lifting mechanism from 150 ms to 35 ms;
- Pump pressure reduction in the TTZ 100HC tractor was reduced to 0.4-1 MPa by splitting the crane and its hydraulic control in two parts.

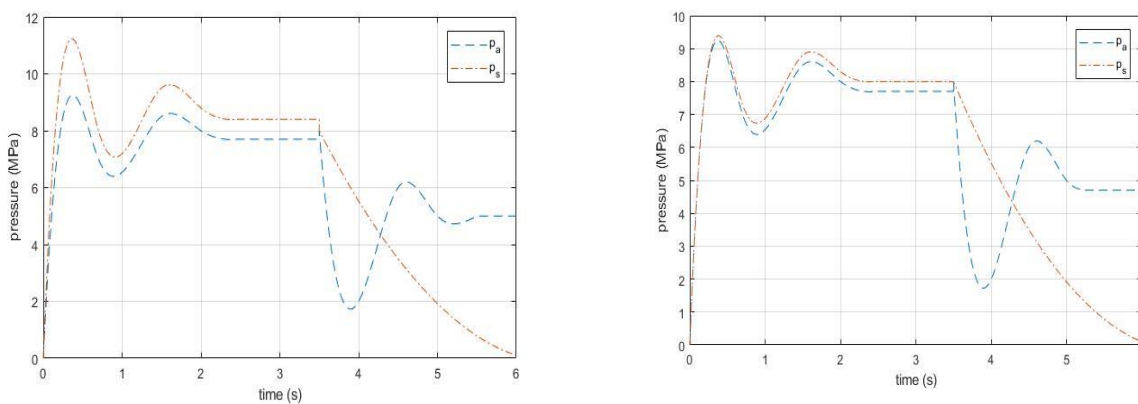


Figure 10. Pressures at main line of proposed method versus existing method.

CONCLUSION

Based on the research of the dissertation of the Doctor of Philosophy (PhD) on the topic "Improvement methods of energy efficiency in mobile hydraulic machines" the following conclusions are presented:

1. It was found that there are no normative documents regulating the energy efficiency assessment of hydraulic systems used in mobile machines today. The current legal documents of the Republic do not include the concept of "energy efficiency". The energy efficiency of a machine driven by a hydraulic system is defined as a relative indicator that characterizes the useful energy required to overcome external forces to hydraulic energy generated to perform a certain task. It is found that one of the parameters affecting the energy efficiency of the hydraulic power distribution method widely used in industry nowadays is the high value of pressure margin in load sensing systems. This pressure surplus between the pump and the user port is designed at higher values than necessary with machine undesirable operating conditions in mind.

2. Based on the theoretical parameters of the energy efficient proportional direction control valve, a mathematical model has been developed that considers the energy efficient operation mode of the spool pair. Using theoretical analysis, it has been calculated that this hydraulic power distribution method can reduce energy losses of a load sensing system by up to 31%.

3. The analytical dependence of the direction control valve spool and pump displacement using a mathematical model has been tested in the laboratory and validated with theoretical research results. The reliability of the mathematical model has been found to be $\pm 3\%$. As a result, it is found that the modified design of proportional direction control valve PVG 32 reduces the fluid pressure in the pressure line by up to 15-20%.

4. TTZ 100HC tractor equipped with suggested direction control valve has been tested and its compliance with the functional requirements of the machine has been evaluated. It has been revealed that the method of synchronous control of the variable displacement pump and valve spool reduces the movement time between operator command and a cylindrical lifting mechanism from 150 ms to 35 ms and increases the lifting speed by more than 4 times.

5. Using a combination of independent metering and electronic flow matching methods, the expression of the dependence of split spool control with solenoids has been determined. As a result, the pressure surplus of the pump has been reduced by 0.4-1 MPa.

6. Experimental studies show that connecting the second and the third circuits to a hydraulic system operating on the basis of the proposed method can reduce energy losses by up to 22% and 7 % respectively. The energy losses in the system depend in many ways on the difference in pressures between the users. Using one dedicated pump per user can reduce energy losses by up to 40% compared to the existing load pressure sensing system.

7. The technical and economic feasibility study of the proposed valve show that proposed valve increases the energy efficiency of the machine, ensures compliance with emission requirements and reduces fuel consumption by up to 17%. Considering the

price of diesel fuel at 5500 soums/litre and the fuel consumption of the tractor at 21,8 litres/hour, it is possible to obtain economic gain of 20,4 million soums per year from the operation of the machine.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ
DSc.18/30.12.2019.Т.09.01 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ИНСТИТУТЕ ПО
ПРОЕКТИРОВАНИЮ, СТРОИТЕЛЬСТВУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

**ТУРИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ В ГОРОДЕ
ТАШКЕНТЕ**

МИРЗАЛИЕВ САНЖАР МАХАМАТЖАН УГЛИ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МОБИЛЬНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ
МАШИН**

05.08.06 – Колесные и гусеничные машины и их эксплуатация

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2020

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2018.4.PhD/T953.

Диссертация выполнена в Туринском политехническом университете в городе Ташкенте

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, английский, русский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета по адресу: www.tayi.uz и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziynet.uz)

Научный руководитель:

Шарипов Конгратбай Аvezимбетович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Алимухамедов Шавкат Пирмухамедович
доктор технических наук, профессор

Алибоев Бахтиёр Абдурахмонович
доктор философии по техническим наукам,
PhD

Ведущая организация:

**ООО «Конструкторско-технологический
центр сельскохозяйственного
машиностроения»**

Защита диссертации состоится «__» _____ 2020 г. в ____ часов на заседании Научного совета DSc.18/30.12.2019.T.09.01 при Ташкентском институте по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог (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) 232-14-39.

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2020 года
(реестр Протокола рассылки №_____ от «__» _____ 2020 года)

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

Р.А. Абдурахманов
Ученый секретарь научного совета по
присуждению ученых степеней, PhD

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

АННОТАЦИЯ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ

Содержание диссертации доктора философии (PhD)

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Целью исследования является разработка методов совершенствования энергоэффективности мобильных гидравлических машин.

Задачи исследования:

анализ энергопотребления существующего гидравлического распределителя и определение параметров, влияющих на энергоэффективность машины;

разработка математической модели усовершенствованного гидрораспределителя и проведение теоретических исследований по обоснованию его параметров;

проведение лабораторных испытаний усовершенствованного гидрораспределителя и проверка адекватности результатов теоретических исследований;

проверка работы усовершенствованного гидрораспределителя по функциональным требованиям машины;

разработка рекомендаций по совершенствованию энергоэффективности гидравлической системы мобильной машины и проведение расчета технико-экономических показателей.

Объектом исследования являются золотниковый пропорциональный гидрораспределитель и ее рабочие элементы.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана аналитическая зависимость управления золотником и рабочим объемом насоса, обеспечивающая снижение давления жидкости в напорной линии;

разработана математическая модель и зависимость характеризующий энергоэффективный режим работы золотниковой пары;

разработан способ синхронного управления золотником и насосом, характеризующий повышенную подъемную реакцию гидроаппаратуры;

обоснована зависимость расхода и давления в гидрораспределителе от перемещения золотниковой пары, обеспечивающая снижение запаса давления насоса.

Основное содержание диссертации. Во введении обоснованы актуальность и востребованность проведенных исследований, характеризуются объект и предмет исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследования, раскрыты научная и практическая значимость полученных результатов, приведены сведения по внедрению в производство полученных результатов, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе «Состояние гидравлических систем мобильных машин и

задачи исследования» проведен анализ существующих способов распределения гидравлической мощности в машинах и средней энергетической эффективности гидравлических систем, методы гидрораспределения в промышленности и тенденции исследования по снижению энергетических потерь гидравлических систем в науке, а также сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе **«Теоретические предпосылки к обоснованию параметров пропорционального гидрораспределителя»** приведены теоретические исследования по потере энергии гидравлической цепи, возможности повышения энергоэффективности гидравлической системы и параметров гидрораспределителя, а также конструктивная схема золотниковых пар.

Теоретический анализ показывает, что повышение энергоэффективности гидравлической системы означает уменьшение давления напорной линии и/или расхода насоса. В следящих системах, значение разности давлений между насосом и пользователем конструируется исходя из наихудшего режима работы системы (низкая рабочая температура и высокая вязкость масла, значительные потери давления в соединительных шлангах). Однако нормальный режим работы отличается от режима работы при дизайне, что приводит к перебору выбора значения запаса насоса. Кроме этого, элементы системы независимых потоков позволяют регенерировать поток, что в свою очередь способствует уменьшению расхода требуемой от насоса.

В третьей главе **«Программа и методика проведения экспериментальных исследований»** приведены методика и программа проведенных экспериментальных исследований по обоснованию параметров золотника.

После разбора пропорционального гидрораспределителя PVG32 от компании Danfoss, построена трехмерная математическая модель конструкции на SolidWorks. Модель гидравлической системы построена с использованием промышленного программного обеспечения LMS Amesim от концерна Siemens. Для анализа потоков использована программа Flow Simulation от компании SolidWorks при расчете динамики жидкости с применением метода переменных ячеек в дроселирующих участках гидрораспределителя.

В четвертой главе **«Обработка результатов экспериментов и разработка рекомендаций»** приведены результаты сравнительных испытаний пропорционального клапана с насосом переменного рабочего объема.

Экспериментальные исследования показали, что модернизированная конструкция гидрораспределителя снижает давление напорной линии, увеличивает энергоэффективность машины, снижает запас давления насоса и увеличивает реакцию подъёмного механизма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований по диссертации на тему: «Разработка методов совершенствования энергоэффективности мобильных гидравлических машин» представлены следующие выводы:

1. Выявлено, что на сегодняшний день отсутствует нормативный документ, регулирующий оценку энергоэффективности гидравлических систем, используемых в мобильных машинах. В действующих нормативных документах республики не установлено определение термина «энергетическая эффективность». С учетом этого установлено, что энергоэффективность машины, приводимой в движение гидравлической системой, определяется как относительный показатель, который характеризует полезную энергию, необходимую для преодоления внешних сил по отношению к гидравлической энергии, генерируемой для выполнения определенной задачи. Установлено, что одним из параметров, влияющих на энергоэффективность широко распространенного в промышленности в настоящее время следящих систем, является высокое значение запаса давления. Это избыточное давление между насосом и пользователем проектируется на более высокие значения, чем это необходимо, с учетом наихудших условий при эксплуатации машины.

2. На основе теоретических параметров энергоэффективного пропорционального гидрораспределителя была разработана математическая модель и зависимость, которая характеризует энергоэффективный режим работы золотниковой пары. Используя теоретический анализ, было рассчитано, что предлагаемый метод распределения гидравлической мощности может снизить потери энергии следящей системы до 31 %.

3. Аналитическая зависимость золотника клапана управления направлением и рабочего объема насоса с использованием математической модели была проведена в лабораторных испытаниях и проверена на адекватность результатов. Было установлено, что достоверность математической модели составляет ± 3 %. В результате установлено, что модифицированная конструкция пропорционального гидрораспределителя PVG 32 снижает давление жидкости в напорной линии на 15-20 %.

4. Трактор ТТЗ 100НС, оснащенный предлагаемым клапаном управления направлением, проходил испытания и было оценено его соответствие функциональным требованиям машины. Выявлено, что метод синхронного управления насоса с переменным рабочим объемом и золотника клапана сокращает время между командой оператора и движением подъемного механизма с 150 мс до 35 мс и увеличивает скорость реакции подъемного механизма более чем в 4 раза.

5. Используя комбинацию методов независимых потоков и электронного сопоставления расхода, было определено выражение зависимости

электрогидравлического управления золотника с помощью соленоидов. В результате запас давления насоса уменьшилось на 0,4-1 МПа.

6. Экспериментальные исследования показывают, что подключение второго и третьего контуров к гидравлической системе, работающей на основе предложенного метода может снизить потери энергии до 22 % и 7 % соответственно. Потери энергии в системе во многом зависят от разницы давлений в полостях, соединенных к пользователям. Использование одного насоса на одного пользователя может снизить потери энергии до 40 % по сравнению с существующей следящей системой.

7. Технико-экономическое обоснование предлагаемого клапана показывает, что предлагаемый пропорциональный гидрораспределитель повышает энергоэффективность машины, обеспечивает соблюдение экологических требований по выбросам и снижает расход топлива на 17 %. Учитывая цену дизельного топлива в 5500 сумов за 1 литр и часовой расход топлива трактора в 21,8 литр можно получить экономическую выгоду 20,4 млн. сумов от эксплуатации машины в год.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Mirzaliev S., Sharipov K. Modeling and simulation of an axial piston pump with differential pressure limiter // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 6, Issue 5, May 2019, ISSN: 2350-0328, P. 9506-9512 (05.00.00 № 8 Осиё мамлакатлари).

2. Mirzaliev S. Amesim simulation of the priority valve // Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent. – Ташкент, 2017. – № 7. – P. 29-34 (05.00.00 № 25).

3. Mirzaliev S. 3D modeling and simulation of a spool in a proportional valve Danfoss PVG 32 // Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent. - Ташкент, 2017. – № 8. – P. 74-87 (05.00.00 № 25).

4. Mirzaliev S. Lumped parameter modeling of quick coupling // Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent. – Ташкент, 2018. – № 2. – P. 30-33 (05.00.00 № 25).

5. Mirzaliev S., Sharipov K. A review of energy efficient fluid power systems. // Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent. -Ташкент, 2019. – № 4 – P. 64-66 (05.00.00 № 25).

6. Мирзалиев С.М., Шарипов К.А. Обзор влияния «Промышленной революции 4.0» в области Гидравлики – проблемы и возможности на примере // Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent. -Ташкент, 2019. – № 4.– С. 34-38 (05.00.00 № 25).

II бўлим (II часть; II part)

7. Мирзалиев С.М. Algorithm of flow coefficient estimation through 3D computational fluid dynamics. // Материалы республиканской научно-практической конференции на тему «Актуальные проблемы математического моделирования, алгоритмизации и программирования». – Ташкент, 2018. - С. 9-12.

8. Мирзалиев С.М., Шарипов К.А. Modeling and simulation of hydraulic load sensing proportional valve PVG32. // Сборник трудов 104-й международной научно-технической конференции на тему «Опыт создания и эксплуатации автомобильного транспорта в условиях жаркого климата». – Ташкент, 2018. – С. 121-129.

9. Мирзалиев С.М., Шарипов К.А., Ли А.С., Мухтарова М.А. Моделирование функции гидропривода программой «LMS Amesim». // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве – Киров, 2019. – С.309-312.

10. Мирзалиев С.М., Шарипов К.А., Ли А.С. Разработка программы электронного блока управления стенда уборочного аппарата. // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. – Киров, 2019. – С.306-308.

11. Мирзалиев С.М., Шарипов К.А., Иноятходжаев Ж.Ш. Перспективы развития автомобилей на возобновляемых источниках энергии. // Международная конференция на тему «Современные технологии электромобилей с применением новых источников энергии». – Ташкент, 2019. – С. 26-29.

12. Мирзалиев С.М., Шарипов К.А., Ли. А.С. Программа электронного блока управления стенда уборочного аппарата. ЭҲМ учун дастур расмий рўйхатдан ўтганлиги ҳақидаги гувоҳнома. DGU 05971, 16.01.2019.

Автореферат ТДИУ таҳририят бўлимида таҳрирдан ўтказилди ҳамда ўзбек,
рус ва инглиз тилларидаги матнларнинг мослиги текширилди.

ТАЙЛҚЭИ нусха кўпайтириш бўлими
Босишга руҳсат этилди: 29.05.2020
Бичими: 21x30 1/2. Рақамли. Адади: 80 нусха.
Тошкент ш., Амир Темур шоҳ кўчаси, 20-уй.