

Т. ХУДОЙБЕРДИЕВ

**ПОРШЕНЬ
ҲАЛҚАЛАРИ
ЕЙИЛИШИ
НАЗАРИЯСИ**

«ФАН»

АНДИЖОН ҚИШЛОҚ ХУЖАЛИК ИНСТИТУТИ

ТОЛИБЖОН ХУДОЙБЕРДИЕВ

ПОРШЕНЬ ҲАЛҚАЛАРИ
ЕЙИЛИШИ НАЗАРИЯСИ

Тошкент

Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси «Фан» нашриёти
1996

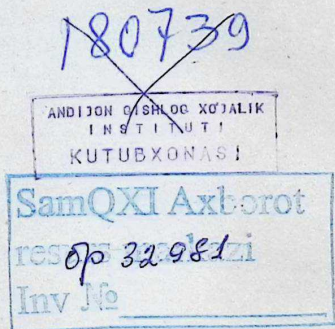
Поршень ҳалқасини узоқ ишлаш муддатини унинг периметри бўйича босим тақсимои кўп жиҳатдан белгилайди. Шу босим тақсимои ҳалқани ейилиши ва цилиндр деформациясига мослашувчи назарияси асосида таниланади. Шунга кўра ҳалқанинг ишлаш муддатини узайтириш учун унинг қулф зонасида босимнинг юқори бўлиши таклиф этилган. Лекин шу назарияни яратишда ҳалқанинг ишлашига яқиндан таъсир этувчи энг асосий омил ҳисобга олинмагани маълум. Бу ҳам бўлса цилиндрни ҳалқа билан бирга ейилишидир.

Муаллиф томонидан яратилган ҳалқанинг ейилиши назарияси олдинги назарияни тўлдириб ҳалқани ейилиши ва периметри бўйича босимнинг ўзгариши ва шунинг натижасида тирқишнинг ҳосил бўлиши тўғрисида тўла маълумот беради.

Китоб муҳандис ва илмий кадрлар етиштириб чиқаришда ҳамда двигателсозликда ўзининг муносиб ўрнини топади.

Тақризчилар:

техника фанлари номзодлари Б. Р. БОЛТАБОЕВ, А. САИДОВ



© Ўзбекистон Республикаси ФА
«Фан» нашриёти, Андижон
Қишлоқ хўжалик институти,
1996 йил.

2705040000 — з — 1125 рез. 96

М 355(04)—96

ISBN 5—648—02320—0

КИРИШ

Поршень ҳалқасининг асосий вазифаси ёниш камерасининг герметиклигини таъминлаш ва поршеннинг устки ҳажми билан остки ҳажмини ажратишдир. Бу вазифа тўла бажарилиши мумкин қачонки ҳалқанинг ишчи юзалари цилиндр ва поршеннинг ишчи юзаларига айланаси бўйлаб жипс тегиб турса. Шу жипс тегиб туриш қанча узоқ вақт рўй берса, ҳалқанинг ишлаш муддати шунчалик узун бўлади.

Ҳалқаларда шундай юзалар учта: ҳалқанинг остки ва устки юзалари ҳамда цилиндр билан ишқаланиб ишловчи радиал юзаси.

Ҳалқанинг асосий функцияси бўлган герметикликни сақлашда остки ёки устки юзаларнинг бири ишдан чиқса иккинчиси шу функцияни бажариши мумкин. Бу жиҳатдан ҳалқани қандайдир миқдорда эҳтиётлик даражаси мавжуд.

Радиал юзасининг тегиб туришини шундай эҳтиётлик даражаси бўлмагани сабабли унга юқори талаб қўйилади. Радиал юзани цилиндр юзасига тегмай қўлиши натижасида улар орасида тирқиш (просвет) ҳосил бўлади. Бу эса ёниш камерасида ҳосил бўлаётган босимнинг камайишига, натижада двигателнинг қуввати ва иқтисодий кўрсаткичларини пасайишига олиб келади.

Радиал юза цилиндр юзасига ҳалқанинг ўзини қайишқоқлик кучи ва ҳалқа ортидаги газларнинг таъсир кучи остида тегиб туради. Кўп ҳолларда бу юзаларни тегиб туриш вақтини ошириш учун ҳалқанинг ортига пружина хусусиятига эга бўлган элементлар қўйилади. Бу элементлар одатда мой сидирув ҳалқаларига қўйилади. Шунинг учун ҳалқалар икки хил бўлади: жипсловчи ва мой сидирувчи ҳалқалар.

Цилиндр билан ҳалқа, поршень билан ҳалқа орасида тирқишларининг ҳосил бўлиши кўп омилларга боғлиқ.

Поршень ариқчаси билан ҳалқа орасида тирқишнинг ҳосил бўлиши ҳалқани тайёрлаш пайтида эшилиб қолиши, ариқча деворларини текис йўнамаслик, ариқча деворлари билан ҳалқа юзаларини нотекис ейилиши натижасида рўй бериши мумкин. Буларнинг ичида ейилиш асосий ўрин тутати. Ейилишнинг миқдори эса поршень билан цилиндр орасидаги тирқишнинг катталигига ва иш жараёнида поршенни цилиндр ичида қандай бурчакка оғиб ишлашига боғлиқ. Тирқиш қанча катта бўлса, ҳалқа билан поршенни ишқаланиб ишловчи масофаси шунча катта бўлади ва ейилишнинг миқдори ҳам ортади.

Демак, ҳалқани пухта ишлашнинг таъминлаш учун поршень билан цилиндр орасидаги тирқишни камайтириш муаммосини ҳал этиш лозим.

Юқоридагилардан ташқари ҳалқаларнинг зиммасига цилиндр деворларига сачратилаётган мойнинг миқдорини реллаб туриш ҳам юклатилган. Ҳалқа ва поршеннинг бу вазифаси ҳам ўзига хос муаммоларга эга бўлиб, алоҳида йўналишда илмий тадқиқот ишларини ўтказишнинг тақозо этади.

Поршень ва ҳалқалар зиммасига ўзининг моҳияти ва аҳамияти жиҳатидан аввалгиларидан қолишмайдиган вазифалар юклатилганки, у вазифаларни қай даражада мукамал бажарилишига қараб двигателнинг узоқ ишлаш муддати белгиланади. У ҳам бўлса поршендаги ҳароратни цилиндр деворларига етказишдир. Ҳалқанинг бу функцияси ҳам ҳалқалардан цилиндр деворларига узоқ вақт радиал юзаси бўйича тўла тегиб туришини тақозо этади. Аммо ҳалқаларнинг бу функцияси уларнинг ейилиш жараёнида ўзгаради ва кўрсаткичлари ёмонлашади. Двигателларни серчанг ша роитларда ишлаши эса бу жараёни тезлаштирати.

Демак, ҳалқаларнинг ишончли ишлашнинг ўрганиш уларнинг ейилиши билан боғлиқ равишда олиб борилиши керак. Агар шу жараён тўла ўрганилса, бу борада барча омиллар ҳисобга олинса ва шулар асосида қилинган хулосалар ишлаб чиқаришга вақтида татбиқ, қилинса тайёрланаётган ҳалқаларнинг ишлаш муддати ҳисобий ишлаш муддатига яқинлиги таъминланади. Шунинг учун ҳалқаларнинг ейилиш назариясини ривожлантиришга аҳамият берилиши лозим.

Шуни айтиб ўтиш керакки, поршень, айниқса, унинг ҳалқалари уларга етиб бориш жиҳатидан энг қийин деталлар қаторига киради. Улар донмий ҳаракатда бўлгани ҳамда энг ичкарида жойлашганлиги учун ҳам уларнинг кўрсаткичларини двигателнинг ишлаш жараёнида ўлчаш қийин. Шунинг учун уларнинг кўрсаткичлари двигателни қисмларга ажратиб деталларни ўлчаш билан ёки двигателнинг махсус кўрсаткичларини (мойнинг қуйиши, қувватнинг пасайиши, ёнилғи сарфини ортиши) ўзгаришига қараб қиёсий белгиланади.

Двигателнинг ишлаш муддатини оширишда ҳалқаларнинг аҳамиятига кам эътибор бериш мумкин эмас. Шунинг учун бўлса керак поршень ҳалқалари тўғрисида бир неча рисоалар мавжуд ва илмий тадқиқот ишлари олиб борилган.

Поршень ҳалқаларини назариясига асос солган техника фанлари докторлари, профессор Б. Я. Гинцбург ва К. Энгелишнинг рисоалари шулар жумласидандир.

Профессорлардан А. Ш. Рабинович, А. Р. Пикман, В. Г. Гончаренко, В. П. Молдаванов ва бошқаларнинг кейинги йилларда бажарган ишлари поршень ҳалқаси назарияси ҳамда уларнинг кўрсаткичларини яхшилашга бағишланган.

Ўзбекистон Республикаси мустақилликка эришгани туфайли илм-фан ва техниканинг ривожланиши ўзига хос жараён касб этади. Шунингдек, ўзимизнинг двигателсозлик саноатимизга эга бўлишимиз шубҳасиз. Бу эса двигателлар назариясини ривожлантиришимизда етарли даражада илмий ишлар ва рисоаларнинг бўлишини тақозо этади.

Ушбу рисола шу мақсадни кўзлаб муаллифни илмий ишлари асосида бажарилган. Поршень ҳалқалари ейилиш назариясини ривожлантириш ва шу асосда уларни ишлаш муддатини ошириш муаммоларини ечишда ушбу рисола ўзининг муносиб ўрнини топади деган умиддамиз.

Дифференциал тенгламаларни ЭҲМ билан ечишда берган ёрдамлари учун Андижон Давлат университетининг катта ўқитувчиси Б. Аҳмедовга муаллиф ўз миннатдорчилигини билдиради.

1. ЁНИШ КАМЕРАСИ ГЕРМЕТИКЛИГИНИ ОШИРИШДА ПОРШЕНЬ-ЦИЛИНДР ХАЛҚАЛАРИНИНГ РОЛИ

Двигателларни бетўхтов равишда қувватини ошириш, уларни серчанг ва юқори ҳароратли шароитларда ишлатиш цилиндр-поршень группасини (ЦПГ) механик ва иссиқлик юкланишига олиб келади. Бу эса поршень тубида ва ҳалқа ариқчаларида куйинди ҳосил бўлишига ҳамда халқаларнинг ейилишини тезлашига сабаб бўлади. Натижада халқанинг асосий функциясининг бажарилиши ёмонлашади, яъни ёниш камерасининг герметиклигини камайиши рўй бериб двигателнинг қуввати камайиб, ёниш сарфи ортади ҳамда мойнинг куйиши ва поршень-цилиндр туташмасидан газларни пастга ўтиши кўпаяди.

Профессорлардан А. В. Николаенко, Н. С. Ждановский ва В. А. Аллилуев маълумотларига кўра, қувватнинг 7—8 фои камайиши двигателнинг ишқорига киради.

Демак, двигателнинг техник ҳолатини кўп жихатдан ёниш камерасининг герметиклигини ҳосил қилувчи халқалар белгилайди. Герметиклиكنинг қай даражада яхши эканлигини белгиловчи кўрсаткичлар картер мойининг куйиши ва газларни поршеньнинг пастига ўтиб кетиши ҳисобланади. Халқани шу хусусиятига таъсир этувчи омиллар нималардан иборат? Уларнинг таъсирини камайтиришнинг йўллари борми? Бу саволлар двигателсозликнинг олдида турган долмий саволлардир. Шунинг учун бу саволларни ечинга бағишланган ҳар бир иш ўзининг мазмунига кўра актуал ҳисобланади.

Халқа ҳосил қилаётган герметиклики ёмонлашувига таъсир этувчи омиллар хилма-хилдир. Ушбу рисола ҳар бир омилни ўрганишни эмас, балки герметиклики ҳосил қилаётган деталларнинг волини ўрганишни ўз олдида мақсад қилиб қўйди. Маълумки, герме-

тикликни асосан цилиндр-поршень ҳалқа ташкил этади. Масалани янада чуқурроқ ўрганиш учун цилиндр каллагини ҳам ўрганишдан четга чиқарилди, чунки унинг таъсири цилиндр-поршень ҳалқа таъсиридан кам.

Боз устига цилиндр-поршень ҳалқа билан боғлиқ бўлган омиллардан ҳам герметикликка бевосита алоқаси бўлган омиллар таъналади. Уларнинг таъсир даражасини белгиловчи катталиклар сифатида мойнинг куйиши ёки газларни поршеннинг пастига ўтиб кетиши қабул қилинди.

1.1. ҲАЛҚАНИНГ ИШЛАШИГА ЦИЛИНДР БИЛАН ПОРШЕНЬ ОРАСИДАГИ ТИРҚИШНИНГ ТАЪСИРИ

Умуман олганда, поршенни цилиндрда эркин юриши учун улар орасида тирқишнинг старли миқдорда катта бўлгани яхши. Лекин ёниш камерасининг герметиклиги нуқтаи назаридан у тирқишнинг иложи бори-ча кичик бўлгани яхши. Бу икки фикр двигателсозликдаги доимий муаммодир. Уларнинг ечимига жуда кўп илмий ишлар бағишланган, аммо бу муаммо аниқ ечимга ҳозиргача эга эмас. Бу тирқишнинг оптимал миқдорини белгилаш жуда қийин, чунки иш жараёнида цилиндр ва поршень ҳарорат ва юкланиш остида деформацияланиб туради. Унинг катталигини бевосита ўлчаш эса мураккаб масала. Боз устига улар орасидаги бошланғич тирқишнинг катталиги уларнинг совуқ ҳолати учун белгиланади.

Поршень цилиндрда қисилиб қолмаслигини эҳтиёт чорасини кўриб, у ўлчов керагидан кўпроқ равишда белгиланади. Бу етмагандек тирқишнинг миқдори поршень юбкасини энг катта диаметри учун белгиланади. Поршеннинг юқори қисмига борган сари унинг диаметри кичиклашиб боради, тирқишнинг катталиги эса ортиб боради. Шу сабабдан герметиклик ёмонлашиб, биринчи ҳалқанинг ишлаши қийинлашади, унинг ҳарорати ортиб кетади. Шунинг учун ҳар бир двигатель поршенни ишлаш шароитини ҳисобга олган ҳолда конструкциясини анализ қилиш ва цилиндр-поршень тирқишини камайтиришнинг чора тadbирларини ишлаб чиқиш актуал масаладир. Чунки бу тирқишнинг катталашиб бориши билан картер мойининг куйиши кўпайиб боради [3, 4]. Поршень юбкаси билан цилиндр орасидаги тирқиш катталаштирилса, поршень

туби чети билан цилиндр орасидаги тирқиш катталашади ва двигателнинг кўрсаткичлари ёмонлашади [5, 6].

Тирқишнинг катталашуви билан ҳалқа ишини ёмонлашуенинг сабаби шуки поршеньни цилиндрнинг ичида оғиш бурчаги ортади. Поршень оғиши билан ариқчада турган ҳалқанинг эшилиши ортади. Эшилиш натижасида, биринчидан, ҳалқани яхши ишлашини таъминловчи катталиклар ўзгаради, иккинчидан, ҳалқанинг радиал юзаси цилиндр деворларига тўла тегмайди. Натижада, ёниш камерасидаги газларнинг босими таъсирида ҳалқа цилиндр деворларидан ажралади ва улар орасида тирқиш ҳосил бўлади. Шунинг учун поршень билан цилиндр орасидаги тирқишни иложи борича камайтириш зарур. Лекин қайси йўл билан камайтириш керак деган саволга жавоб топилмаган. Поршень ҳароратини пасайтириш керак, ҳар хил иссиқликни изоляция қиладиган қопламалардан фойдаланиш керак деган фикрнинг самараси эса оз бўлмоқда. Лекин муаллиф шу мақсадда овал-бочкасимон шаклга эга бўлган поршень қўллаб Д-144 двигателида тирқишни 0,20...0,24 мм дан 0,10... 0,12 мм. га пасайтириш имкониятига эга бўлди [7]. Натижада мойнинг куйишини пасайиши сабабли битта мой сидирув ҳалқасини олиб ҳам ташланди. Шу йўналишдаги ишларини ўрганиш натижасида қуйидаги хўлосаларга келинди:

1. Ҳалқа томонидан ёниш камерасини герметиклигини оширишда цилиндр-поршень тирқишининг роли катта.

2. Самарали усуллари қўллаш натижасида бошланғич тирқиш минимал ҳолга келтирилса двигателнинг иш жараёнида цилиндр ва поршеньни ёйилишидан катталашган тирқиш двигателнинг ишлаш муддатига сезиларли даражада хавф туғдирмайди.

1.2. ПОРШЕНЬ ҲАЛҚАСИНИНГ ИШИГА ЦИЛИНДР ШАКЛИНИНГ ТАЪСИРИ

Ҳалқа ўзининг радиал юзаси бўйлаб цилиндр деворларига жипс тегиб туриши керак. Лекин ҳалқанинг шу функциясини бажарилишига цилиндрнинг шакли таъсир этади. Чунки цилиндри бошланғич шаклини овал ҳолда бўлиши ёки ўзини бошланғич шаклини иш жараёнида ўзгариши ҳалқанинг маълум жойидан тирқишнинг ҳосил бўлишига олиб келади. Тирқишнинг

катталиги эса ҳалқани шакли ўзгарган цилиндрга қай даражада мосланганлигига боғлиқ. Бу масала ҳалқа назариясининг муҳим қисми бўлиб профессор Б. Я. Гинцбург томонидан атрофлича ўрганилган [8].

Овал шаклига эга бўлган цилиндрли двигателларда мойнинг куйиши кўп бўлишлиги қатор ўтказилган илмий-тадқиқот ишларида тасдиқланган [9, 10, 11].

Цилиндрнинг овал шакли двигателни йиғиш пайтида, ҳароратнинг таъсирида ёки ейилишнинг натижасида ҳосил бўлиши мумкин.

Кези келганда шунини айтиш керакки, цилиндрларни йиғиш пайтидаги ва ҳарорат остида ҳосил бўлаётган овалнинг катталиги 0,80...0,160 мм гача бўлиши мумкин. Ички ёнув двигателлари учун овални бундай миқдорга эга бўлиши йўл қўйилмайдиган ҳолат бўлиб, двигателни узоқ ишлаш муддатига ва тежамкорлигига таъсир қилмай қолмайди.

Поршень ҳалқасининг айланаси бўйлаб босимни тарқалиши цилиндрнинг шаклига мослашадиган қилиб тайёрланмас экан ҳалқа билан цилиндр орасида тирқиш ҳосил бўлаверади. Тирқишнинг бўлиши ёнини камерасининг герметиклигини бузилишига олиб келади. Герметиклиги бузилган двигателларда мойнинг куйиши кўпаяди.

Оваллиги 0,04 мм га тенг бўлган цилиндрлар ўрнатилган двигателда картер мойининг куйишини бошланғич миқдори 2 фоизга, оваллиги 0,08 мм бўлганда — 4 фоиз, оваллиги 0,12 мм бўлганда, 6 фоиз ва оваллиги 0,18 мм бўлганда 8 фоизга тенг бўлишлигини ўтказилган ишлар тасдиқлади. Двигателнинг кейинги ишлаш даврида бу қийматлар пасайиб, йўл қўйилиши мумкин бўлган чегарага тушсада оваллиги юқори бўлган цилиндрларда мойнинг куйиш миқдори оваллиги кам бўлган цилиндрлардагига қараганда кўплиги сақланиб қолмоқда.

Демак, цилиндрни оваллилиги қанча юқори бўлса, мойнинг қуяётган миқдори шунчалик кўп бўлади. Чунки оваллик қанча кўп бўлса, ҳалқа билан цилиндр орасидаги тирқишнинг кенглиги шунча юқори бўлади. Ҳалқанинг шу хусусияти моторсиз ускунада текшириб кўрилди. Бунинг учун поршенга кетма-кет тирқишсиз, аввалдан 10°, 20°, 40°, 50° кенгликда тирқишга эга бўлган ҳалқалар қўйилиб, цилиндрнинг оваллиги махсус мослама ёрдамида ўзгартирилади.

Натижалар шуни кўрсатадики, бошланғич тирқишга эга бўлмаган ҳалқада тирқишнинг пайдо бўлиши 0,6...0,8 мм овалликдан бошланмоқда. Бошланғич тирқишга эга бўлган ҳалқаларда овалликнинг ортиши тирқишни яна ҳам кенгайишига сабаб бўлмоқда. Лекин бошланғич тирқиш қанча кенг бўлса уни яна ҳам ортиши катта овалликдан бошланмоқда.

Демак, ҳалқа функциясини яхши бажарилиши учун цилиндр оваллигини пасайтириш тақозо этилади. Бу эса кенг кўламга эга бўлган ишларни олиб боришни талаб этади. Лекин овалсимон поршенларни қўллаш билан ҳалқа — цилиндр тирқишининг таъсирини камайитириш мумкин. Бунинг учун поршеннинг оваллигини цилиндр оваллигига мос бўлиши таъминланиши зарур. Худди шу йўл муаллиф томонидан Д-144 двигатели учун қўлланилган ва яхши натижага эришилган [12].

Шунга қарамасдан двигателлар серчанг ва ҳарорати юқори шароитларда ҳисобий ишлаш муддатини ўтамаптилар. Капитал таъмирлашга тушган двигателлар ҳалқаларининг ейилиши 0,12...0,15 мм дан ортамапти. Лекин двигателларда мойнинг куйиши чегаравий миқдордан кўп. Уринли савол туғилади. Ҳалқаларнинг ейилиши кам бўлишига қарамай нега мойнинг куйиши ортиб, двигателлар кўзланган ишлаш муддатини ўтамаптилар? Ҳалқаларни жипслик ҳосил қилиш хусусияти нега ейилишининг оз миқдорида тугаб қолмоқда? Бу муаммолар ҳалқаларни ейилиш назариясини ўрганишни, жипслик ҳосил қилиш хусусиятларини ва унга таъсир этувчи омилларнинг таъсирини таҳлил этишни тақозо қилади.

Кўп сонли ишларнинг натижалари қуйидаги хулосага олиб келади:

1. Ҳалқанинг ишига шубҳасиз цилиндрнинг шакли таъсир этади. Бу эса двигателнинг кўрсаткичларини пасайишига олиб келади.

2. Цилиндрларни овал шаклга кириб қолмаслигини чоран тадбири кўрилган бўлса ёки уни оваллигини қопловчи овалсимон поршенларни қўллаш ҳалқанинг ишлашини яхшилайти. У вақтда цилиндрни ейилишидан ҳосил бўлаётган овалли ҳалқанинг ишига нисбатан хавф туғдирмайди.

3. Ҳалқанинг ишлаш муддатини оширишда ҳалқани ейилиш назариясини таҳлил қилиш ва таъсиркор омиллар билан тўлдириш мақсадга мувофиқдир.

1.3. ҲАЛҚАНИНГ ИШИГА ПОРШЕНЬ АРИҚЧАСИ БИЛАН ҲАЛҚА ОРАСИДАГИ ТИРҚИШНИНГ ТАЪСИРИ

Поршень ҳалқасининг ишига таъсир этувчи омиллардан бири ҳалқа билан ариқчаси орасидаги тирқишдир. Тирқишнинг таъсири тўғрисида бир-бирига зид бўлган фикрлар мавжуд.

Профессор А. Р. Пикман маълумотларига кўра, двигателнинг ишлаш муддати жараёнида бу тирқиш 0,025 мм гагина кўпайган, холос. Мойнинг куйишини кўпайиши эса тирқишнинг катталиги 1,1 мм га етгандан бошлаб орта бошлаган. Унинг таъкидлаши бўйича бундай тирқиш ҳеч қачон эксплуатация шароитида учрамайди. Бундан ташқари мойнинг ёниш камерасига ўтиши ҳалқанинг орқа томонидан эмас, балки радиал юзаси билан цилиндр деворлари орасида ҳосил бўлган тирқишдан ўтиши тажрибалар давомида тасдиқланган. Муаллиф томонидан ҳам бу фикр текширилиб кўрилди. Бунинг учун Андижон вилоятининг турли хўжаликларида ишлаб капитал таъмирлашга жўнатилган Д-144 двигателларини поршень ҳалқалари ва уларнинг ариқчалари микрометраж қилинди. Уларнинг ишлаган вақти 900...3700 мотосоат атрофида эди. Ейилишнинг миқдори олинган маълумотларни ўртача чизма ўлчови (0,115 мм) билан солиштириш орқали аниқланади. Ейилиш ҳалқа учун 0,01 мм, ариқча учун 0,015 мм ташкил этди. Бундан ташқари, 4 та махсус двигател тайёрланиб уларнинг керакли жойлари микрометраж қилинди. Деталларни йиғиш пайтида туташмалардаги тирқишлар техник шартлар асосида бўлишлигига алоҳида эътибор берилди. Улар 2850, 2765, 2630 ва 2219 мотосоат ишлагандан сўнг ҳалқа ариқчаси ва ҳалқалар яна микрометраж қилиниб уларнинг ейилиши аниқланди. Бу ҳолда ҳам ейилиш ариқча учун 0,020 мм, ҳалқа учун 0,010 ммдан ошмади.

Демак, ҳақиқатдан ҳам эксплуатация шароитида бу тирқишнинг катталиги чизмадаги тирқишни ҳам ҳисобга олганда 0,150...0,200 ммдан ошмайди. Шундай бўлса ҳам шу тирқишларни мойнинг куйишига таъсири ўрганилди. Бунинг учун тажриба аввал чизмадаги тирқиш билан, кейин эса 0,150...0,200 ммга тенг бўлган тирқиш билан ўтказилади. Олинган натижалар шуни тасдиқладики, эксплуатация шароитида ейилишдан катталашган тирқишлар мойнинг куйишига сезиларли даражада таъсир этмади.

Демак, ҳалқанинг бенуқсон ишлашига ҳалқа ариқчаси — ҳалқа тирқишининг таъсири кам. Фақатгина деталларни йиғиш пайтида ариқчада ҳалқани бемалол ҳаракати ва техник шароитдаги тирқишининг бўлишлиги таъминланса бас.

Ҳалқанинг ишлашида цилиндр-поршень, ҳалқа ариқчаси-ҳалқа тирқишларини ҳамда цилиндр шаклининг таъсири бўйича қуйидаги хулосога келинди.

1. Ҳалқанинг нормал ишлашига цилиндр-поршень тирқишининг таъсири катта. Тирқиш қанча катта бўлса, ҳалқанинг иши шунчалик ёмонлашади. Лекин техника прогрессини ҳисобга олиб илғор технологияни қўллаган ҳолда тирқишнинг бошланғич қиймати минимал ҳолга келтирилса эксплуатация даврида бу тирқишнинг ҳалқа ишига таъсири камдир.

2. Поршень ариқчаси — ҳалқа тирқишини ҳалқанинг ишига таъсири тирқишнинг ниҳоятда катта қийматларида руёбга чиқади. Лекин тирқишнинг бундай катта қийматлари эксплуатация даврида бўлмагани учун бу тирқишнинг таъсирига эътибор бермаслик мумкин.

3. Ҳалқанинг унумли ишлашига цилиндрнинг бошланғич оваллигини таъсири сезиларлидир. Боз устига двигателнинг иш жараёнида оваллик катталашиб боради ва ҳалқанинг ишига жиддий зарар етади.

4. Оваллиги ортиб бораётган цилиндрда ҳалқанинг ишлаши ҳамда цилиндрнинг ейилиши ейилиб бораётган ҳалқанинг ишига таъсири ҳозиргача тўлалигича ўрганилган эмас. Цилиндр ва ҳалқанинг ейилиши ўзининг кейинги ишлашига таъсирини моҳиятини ўрганиш ҳам назарий, ҳам амалий аҳамиятга моликдир. Чунки бунинг моҳиятини ўрганмай туриб, шакли ўзгарган цилиндрда ва ейилиб бораётган цилиндрда узоқ ишлайдиган ҳалқани танлаш қийиндир.

Шунга кўра, ушбу рисоланинг мақсади ейилиб бораётган ҳалқани ейилаётган цилиндрда ишлашини назарий томондан ўрганиш, ҳалқа кўрсаткичларининг ўзгариш қонуниятини топиш ва таҳлил қилиш ҳамда двигателлар учун узоқ ишлайдиган ҳалқаларни танлаш услубини ишлаб чиқишдир. Бу борада ҳалқаларнинг ейилишига тааллуқли бўлган назарияларни ўрганиш ва ҳалқани ейилиш назариясини умумий методологиясини танлаш зарур бўлади.

2. ПОРШЕНЬ ҲАЛҚАСИ ЕЙИЛИШ НАЗАРИЯЛАРИНИНГ ТАҲЛИЛИ

Двигателнинг ишлаш жараёнида поршень ҳалқаси асосан ўзининг қайишқоқлик кучи таъсирида цилиндр деворларига жипселашиб ёниш камерасининг герметиклигини таъминлайди. Жипсликка ёнган газларнинг берган ёрдами эса ниҳоятда қисқа вақт давом этади, холос. Шунинг учун қайишқоқлик кучини ҳалқанинг айланаси бўйлаб тарқалиши унинг узоқ ишлаш муддати-ни белгилайди. Лекин қайишқоқлик кучини ҳалқанинг айланаси бўйлаб тарқалиши ҳалқанинг ейилиши давомида ўзгаради ва шундай дақиқа келиши мумкинки кучларнинг миқдори ҳалқани айланаси бўйлаб бирон жойида нолга тенг бўлиб қолиши мумкин.

Ҳалқа назариясида шу вақтни, яъни иш бошлангандан то шу кучларни (босимни) ҳалқанинг айланаси бўйлаб бирон ерида нолга тенг бўлгунча ўтган вақтни ҳалқанинг «шартли назарий» узоқ ишлаш муддати деб аталади ва бунга Б. Я. Гинцбург асос солди. Одатда барча ҳалқалар шу катталиқ бўйича бир-бирига қиёсланади. Бу катталиқни кўпайтириш устида ҳозиргача жуда кўп иш қилинмоқда. Янги-янги, кўп қувватли двигателларни яратиш бу муаммони актуаллигини янада оширмоқда.

Ҳалқанинг «шартли назарий» узоқ ишлаш муддати-ни ошириш ҳозирда икки йўналиш билан амалга оширилмоқда. Биринчиси, янги типдаги ҳалқаларни яратиш, уларни материаллари ва қопламаларини танлаш бўлса, иккинчиси, ҳалқаларни ишлаш шароитини ҳисобга олган ҳолда уларни катталиқларини ва кўрсаткичларини кўнгилдагидек миқдорини танлаш бўлмоқда. Бу муаммони ечишда ўтказилаётган экспериментал ишлар билан бир қаторда ҳалқани «шартли назарий» узоқ ишлаш муддатини таъминлай оладиган, ҳалқани ва цилиндрни ейилишини ҳисобга олган ҳолда уларни айланаси бўйлаб босимни тарқалиш қонуниятини танлаш имкониятини берадиган назарияни ишлаб чиқиш керак бўлади. Лекин бу муаммони ечиш қийин бўлгани учун бўлса керак яратилган назариялар ҳам ўзининг аҳамияти нуктаи назаридан ҳар хил.

К. Эбихара ва Т. Какубари [13] поршень ҳалқаларининг ейилиши, радиал кучларни ейилиш давомидаги тарқалиши ҳақида хабар берадилар. Улар поршень ҳалқаларини айланаси бўйлаб бир хил ейилиши наза-

рияларини яратганлар. Лекин янги ҳалқани диаметри номиналдан катта ёки кичик бўлган цилиндрда ишлайди деб фараз қилганлар. Бундай ҳолда ҳалқанинг айланаси бўйлаб бир хил ейилиш рўй бермайди. Чунки янги ҳалқанинг диаметри номиналдан катта ёки кичик бўлган цилиндрга солинса қулф зонасида маълум бирчакда ҳалқа цилиндрга тегмайди; демак шу зонада ейилиш бўлмайди. Бу эса назариянинг камчилигидир. И. М. Вайнберг хром қопламали ҳалқани айланиши бўйлаб нотекис ейилишини ҳисобга олиб, уни бир хил ейилишини таъминлаш учун ҳалқанинг айланаси бўйлаб тарқалаётган қайишқоқлик кучини қуйидаги ифода орқали таъинлашини таклиф этди [14].

$$q_{\psi} = q (1 + a_2 \cos 2\psi + a_3 \cos 3\psi) \quad (1)$$

бу ерда $\psi = 0$ бўлганда $a_2 = a_3 = 0$.

$$\hat{q}_{1,0}/q_0 = k; \quad k = 1 + 2a.$$

Бу ерда « a » ва « k » лар учун ҳар хил қийматлар бериб, ҳар хил бошланғич босимнинг тарқалиш қонуниятини олиш мумкин.

Қалинлиги 0,2 мм хром қопламасига эга бўлган ҳалқалар учун бошланғич қайишқоқлик кучларини периметр бўйлаб тенг тақсимотини таклиф этади. И. Б. Тартаковский [15] ҳалқани ейилиш назариясига бошқача ёндошди. У эксплуатация шароитидан ейилишнинг статистик миқдорларини математик таҳлил этиб ҳалқанинг у ёки бу кўрсаткичининг ейилишига бўлган корреляция боғланишини аниқлади, яъни

$$\delta = (\delta_1 + h) \cdot 10 \frac{t - t_1}{A} - h, \quad (2)$$

бу ерда δ —ейилиш жараёнида ҳалқанинг катталикларини жорий ўзгариши, t —вақт, A —эгри чизиқни ўзгармас коэффициент, δ_1 —узоқ ишлаш муддатининг коэффициенти, h —координата бошига нисбатан эгри чизиқни силжиш коэффициенти. Лекин бу ифодадан фойдаланиш ноқулай, чунки A ва h ларни аниқлаш учун ейилиш синовларини икки этапда, яъни t ва t_1 вақтларда ўтказиб графиклар қурилиши керак. Бу тажриба ишлари узоқ муддатни талаб этади.

Л. Ю. Пружанский ҳалқанинг ейилишга қараб бошланғич босим тақсимотини аниқлаш учун қуйидаги ифодадан фойдаланди [16].

$$\frac{dh}{dt} = C_2 p, \quad (3)$$

бу ерда: h —ейилишнинг миқдори, t —вақт, p —ҳалқанинг периметри бўйича босими, C_2 —коэффициент. Бу ифодадан фойдаланиш учун бир қатор синовлардан сўнг ҳалқани периметри бўйича ҳар бир нуқтадаги ейилишнинг тезлиги $\frac{dh}{dt}$ аниқланиб, кейин (3) ифо-

да орқали босимнинг ҳар бир нуқтадаги миқдори аниқланади ва тақсимот қонунияти қиёсий белгиланади. Л. Ю. Пружанский усулидан фойдаланиш учун ҳалқаларнинг ейилиши жуда катта миқдорда бўлиши керак. Шунинг учун хром қопламасига эга бўлган. Булардан ташқари, Ю. А. Голицин, И. Л. Боровский ва В. Г. Гончаренколарнинг қатор ишлари ҳам ҳалқанинг ишлаш муддатини оширишга қаратилган [17, 18]. Улар ҳалқанинг қулф зонасида ейилишдан ҳалқанинг радиуси r ва эгрилик радиуси $\rho(\psi)$ ҳамда кесимни инерция моменти I ҳалқани ейилиш миқдори $r(\psi)$ га боғлиқ равишда ўзгариб I_1 .

$r_1 = r + 0,5t(\psi)$ ва $\rho_1(\psi) = \rho(\psi) - 0,5t(\psi)$ га тенг бўлиб қоладилар деб ҳисоблашди. Ейилаётган ҳалқани босим тақсимотини ифодаловчи қуйидаги ифодага эга бўлдилар

$$q_1(\psi) = \frac{1}{e^2} \left\{ z(\psi) F_0 I_1 \cdot \theta(\psi) + \frac{d[z(\psi) E_0 I_1 \cdot \theta(\psi)]}{d\psi^2} \right\} \quad (4)$$

бу ерда r —қисилган ҳалқа ўқ чизигининг радиуси, $z(\psi)$ —мослаштирувчи функция, $\theta(\psi)$ —эркин ҳолда қисилган ҳолга ўтишдаги эгрилик радиусининг ўзгариши, E_0 —узунлик бўйича ўртача қайишқоқлик модули, $\rho(\psi)$ —эркин ҳолдаги ҳалқа ўқ чизигини эгрилик радиуси, $\rho_1(\psi)$ эркин ҳолдаги ейилган ҳалқа ўқ чизигини эгрилик радиуси, I_1 —ейилган ҳалқа кесимини инерция моменти. Натижада ҳалқанинг ейилишини ҳисобловчи нисбий катталиклар билан ифодаланган дифференциал тенглама олинди.

Юқоридаги (4) дифференциал тенгламани ечиш учун чегаравий шартлар $\pi - \varphi_{ук}$ бурчак учун қабул қилинган ҳалқани қулф зонасида олдиндан оралиқ борлигини тасдиқлайди. Боз устига босимни қайтадан тақсимланиши ҳалқани 0,2...0,3 мм да рўй бериши аниқланди. Шу ҳол учун ҳалқага керакли бўлган босим тақсимотини таилаш катта хатоликка олиб келиши му-

қаррар. Шунинг учун биринчи ҳалқа учун бу методикани қўллаш мумкин эмас. Чунки ҳалқадаги хром қопламасининг қалинлиги 0,2 мм гача бўлади.

Профессор Б. Я. Гинцбург ўзининг фундаментал ишида ҳалқанинг ейилиш назариясига асос солди [8]. У цилиндрни ейилмайди деб туриб, ҳалқани периметри бўйича босими билан уни ейилиши ўртасидаги боғланишни дифференциал тенгламасини топди ва юқорида айтганимиздек ҳалқаларни бир-бирига қиёслаш учун ҳалқани «шаргли назарий» ишлаш муддати деган катталикни киритди. Шу катталик бўйича у ёки бу двигателга кўнгилдагидек босим тақсимотига эга бўлган ҳалқа танланади. Шу усулдан биз ҳам қуйида фойдаланамиз. Шу назариянинг яратилиши натижасида Б. Я. Гинцбург двигателларда максимал ейилишни (қоплама қалинлигини), ишлаш шароитини (цилиндрдаги босим миқдорини), цилиндрни деформациясини ёки ейилишини йўқлигини ҳисобга олувчи қулф зонасида босими юқори бўлган (корректирланган) ҳалқаларни қўлланилишини таклиф этди. Ҳозиргача ҳалқалар шу назария асосида тайёрланмоқда.

Профессор А. Ш. Рабинович тўртинчи тартибли, парабол типдаги, хусусий ҳосилали, математика-физика усуллари билан (Фурье усулида) ечиладиган ҳалқани ейилиш тенгламасини таҳлил қилди [20]. Натижада у ҳалқани «бошланғич ейилишини ўзлик функциясини» олишга эришди ва текширди.

Умуман олганда, хром қопламасига эга бўлган ҳалқаларда бошланғич ейилиш хром қопламасининг қалинлигига тенг. Шунинг учун бу назариянинг амалий аҳамияти катта. Лекин бу назарияда ҳам цилиндрнинг ейилиши ҳисобга олинмайди.

Ҳалқанинг ишлаш муддатини ошириш учун кўплаб илмий тадқиқот ишлари ўтказилмоқда. Уларнинг конструкцияси ва типларини ўзгартириш билан ишлаш муддатини оширишда А. Р. Пикман, В. П. Молдавановларнинг ишларини аҳамияти катта.

Хулоса сифатида қуйидагиларни айтиш мумкин:

1. Поршень ҳалқаларининг ишлаш муддатини оширишга қаратилган назариялар ўзларининг мазмунига кўра, хилма хилдир. Бу эса масаланинг актуаллигидан далолат беради.

2. Назарияларнинг кўплари тажриба маълумотларига асосланиб яратилган бўлса [13, 15, 16, 17], қолганлари соф назарий йўл билан яратилган бўлиб нати-

1344023

жалари тажриба усулда текширилган [18, 19, 20]. Тажриба ёрдамида яратилган назариянинг камчилиги шуки, улар фақат конкрет двигатель ва конкрет шаронтий ўзида ақс эттиради. Шунинг учун уларнинг универсаллиги йўқ.

3. Мукаммал ва универсал характерга эга бўлган назария профессор Б. Я. Гинцбург назариясидир. Лекин бу назариянинг ҳамда бошқа назарияларнинг камчилиги цилиндрнинг ейилишини ва шаклини ҳисобга олмайди. Бу эса двигательга ишлаш муддати узоқ бўлишини таъминловчи босим тақсимотига эга бўлган ҳалқани танлашда ноаниқликларга йўл қўяди.

4. Цилиндрнинг ейилишини ва шаклини ҳисобга олувчи назарияни яратиш ақтуал масаладир. Бу ўринда Б. Я. Гинцбург яратган назарияга асосланиш мақсадга мувофиқдир.

3. ПОРШЕНЬ ҲАЛҚАСИ НАЗАРИЯСИНИНГ АСОСИЙ КАТТАЛИҚЛАРИ

Қуйида ҳалқаларни ейилиш назарияси устида ишлашимизда керак бўладиган катталиқларнинг асосийларини келтириб ўтаимиз. Бу катталиқлар поршень ҳалқаларига таъсир этаётган кучлар билан ҳалқани деформацияси муносабатларидан келиб чиққан.

Поршень ҳалқасини эгри устуи деб фараз қилиб, ундан кичик бўлакни ($d\psi$ бурчагига тўғри келувчи) олиб поляр координатаси бўйича ўрганилади. Одатда, ажратиб қўйилган қисмнинг таъсири кучлар ва моментлар билан алмаштирилади. Ажратиб олинган элементар бўлакка F ва dF қирқувчи кучлар, N ва dN — нормал кучлар. M ва dM — эгувчи моментлар таъсир этади. Булардан ташқари, ҳалқанинг ташқари ва ички юзаларига таъсир этаётган юкланишларни ўқ чизиқни элементар бўлагига бўлган нисбатларини p_t ва p_n билан белгилаймиз. У вақтда радиал кучнинг қиймати $p_t > p_n$ бўлганда $pr d\psi$ ($p = p_t - p_n$).

Элементар бўлакка таъсир этаётган кучларни $d\psi$ бурчагини биссектрисасига ва унга перпендикуляр бўлган ўққа проекциялаб (поляр координатасида) ва барча кучларнинг моментларини координата марказига нисбатан йиғиндисини олиб ҳамда иккинчи тартибли катталиқлардан воз кечиб қуйидагиларга эга бўламиз.

$$\frac{d\hat{F}}{d\psi} - N = p \cdot r; \quad \frac{dN}{d\psi} + = F0; \quad \frac{dM}{d\psi} + r \frac{dN}{d\psi} = 0.$$

Учала дифференциал тенгламалар орасида боғланиш бор. Шунинг учун маълум ифодаларни ўзгартириб, ҳалқанинг учларида $M=0$ ва $N=0$ эканлигини ҳисобга олиб эгувчи момент билан босим орасидаги муносабатни аниқлаймиз.

$$p = \frac{1}{r^2} \left(M + \frac{d^2 M}{d\psi^2} \right) \quad (5)$$

бу ерда r — цилиндрга жойлаштирилган (қисилган) янги ҳалқа ўқ чизигининг радиуси. Эркин ҳолда турган ҳалқани ўқ чизигини $d\psi$ бурчакдаги эгрилик радиуси R қуйидаги қонуният билан ўзгаради.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r} - \frac{M}{EI} \quad (6)$$

Бу ерда E — қайишқоқликнинг модули, I — ҳалқа кесимининг инерция моменти

$$I = bt^3/12 \quad (7)$$

бу ерда b — ҳалқанинг баландлиги, t — ҳалқанинг радиал қалинлиги.

Ҳалқа учларининг эгрилик радиуслари цилиндрнинг эгрилик радиусларига тенг. Бу шарт бажарилмаса ҳалқанинг учлари цилиндр деворларига жипслашмайди.

Эгувчи момент қийматини (6) ифода ёрдамида аниқлайдиган бўлсак қуйидагига эга бўламиз

$$M = -EI \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r} \right), \quad (8)$$

Ҳалқани эркин ҳолатдан қисилган ҳолатга ўтказсак, яъни номинал диаметрли цилиндрга солинса, унинг айланаси бўйлаб ўқ чизиқни ҳар бир нуқтаси маълум масофага силжийди. Шу силжишнинг миқдорини U ҳарфи билан белгилаймиз. У ҳолда эркин ҳолатда турган ҳалқани ўқ чизигидаги исталган нуқтани жойланиши $\rho = r + u$ ва $\psi = \varphi - \eta$ координаталари билан белгиланса, қисилгандан сўнг эса r ва ψ координаталари билан белгиланади.

Эгрилик радиуси билан радиус вектор орасидаги боғланиш қуйидагича

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r+u} - \frac{1}{(r+u)^2} - \frac{d^2(r+u)}{d\psi^2}, \quad (9)$$

ёки

$$\frac{1}{R} - \frac{1}{r} = -\frac{1}{r^2} \left(u + \frac{d^2 u}{d\psi^2} \right) \quad (9')$$

Халқани исталган кесмидаги эгувчи момент (9) ифодасини (8) ифодага қўйиши билан ҳам аниқлаш мумкин. У ҳолда

$$M = \frac{EI}{r^2} \left(u + \frac{d^2 u}{d\psi^2} \right), \quad (10)$$

Аниқланган (10) ифодани икки маротаба дифференциаллаб олинган қийматни (5) га қўйсак, халқани эркин ҳолдан қисилган ҳолга ўтишида ҳосил бўладиган босимни силжишнинг катталигига нисбатан аниқлаймиз, яъни

$$p = \frac{EI}{r^4} \left(u + 2 \frac{d^2 u}{d\psi^2} + \frac{d^4 u}{d\psi^4} \right), \quad (11)$$

Бу ифода «Буссинеска дифференциал тенгламаси» номи билан машҳур. Агар халқа параметри бўйлаб нотекис тақсимланган босимга эга бўлса, ўртача босим қуйидагича аниқланади.

$$p_{\text{ср}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} p(\psi) d\psi, \quad (12)$$

Периметри бўйлаб бир хил босимга p_0 эга бўлган халқа учун халқани ψ бурчаги остидаги хоҳлаган кесими учун

$$M = p_0 r^2 (1 + \cos 2\psi), \quad (13)$$

4. ЦИЛИНДРНИНГ ЕЙИЛИШИНИ ҲИСОБГА ОЛИБ ҲАЛҚАНИ ЕЙИЛИШИНИ ТЕҚШИРИШ ($p = \text{const}$ ҲОЛАТ УЧУН)

4.1. ПОРШЕНЬ ҲАЛҚАСИНИНГ ЕЙИЛИШ СУРЪАТИНИ ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАСИ

Маълумки, поршень халқаси цилиндрнинг ичида ишлаш жараёнида сийлади. Унинг периметри бўйича бошланғич босими ўзгаради ва маълум вақтдан сўнг халқанинг бирон жойида нолга тушиб қолиши рўй беради. Бу халқани ишлаш муддатини тугаши деган сўз.

Цилиндр билан жипсликни ҳосил қилиб туриш учун ташқи кучнинг бўлиши керак бўлади. Ҳалқанинг орқасидаги газлардан ҳосил бўлаётган кучлар донмо таъсир этмайди. Шунинг учун жипсликни узоқроқ муддат давомида ҳосил қилиб турадиган қайишқоқлик босимини тақсимотини танлаш учун ҳам ҳалқани ейилиш пайтидаги жараёнларни ўрганиш зарур. Ҳалқани ейилиш жараёнини таҳлил қилишда мавжуд назарияларни кўриб ўтдик. Хулоса қилидик, профессор Б. Я. Гинцбург усули ейилиш жараёнининг мохиятини тўла акс эттиради. Шунинг учун биз ҳалқани ейилиш назариясини ишлаб чиқишда шу усулга асосланамиз.

Шунга кўра, ейилишнинг суръати қуйидаги дифференциал тенглама орқали ифодаланади.

$$\frac{\partial \tau}{\partial T} = c(p_1 - p_r)^n, \quad (14)$$

бу ерда τ —ҳалқанинг радиал ейилиши, T —вақт, p_1 —ҳалқанинг қайишқоқлигидан ҳосил бўлаётган босим, бундан кейин буни қайишқоқлик босими деб юритамиз, p_r —ҳалқа орқасидаги газларнинг босими, буни қуйида газлар босими деб юритамиз, c —коэффициент.

Тенгламадаги кўрсаткичнинг миқдори $n=1$ ва $n=2$ бўлиши мумкин. Лекин Б. Я. Гинцбург бу қонуниятлар билан ейилишнинг фарқи кам бўлганлиги учун $n=1$ ни тавсия этди. Тенгламаларни мураккаблаштирмаслик учун биз ҳам $n=1$ деб қабул қиламиз.

4.2. ЭГУВЧИ МОМЕНТ БИЛАН ҲАЛҚАНИНГ ҚАЛИНЛИГИ ОРАСИДАГИ БОҒЛАНИШ

Бу боғланишни келтириб чиқариш учун бир вақтнинг ўзиде ҳам цилиндр, ҳам ҳалқа ейилмоқда деб қараймиз. Цилиндрни ейилишини τ_c ва ҳалқани ейилишини τ деб белгилаймиз. Бу катталиклар цилиндр ва ҳалқа периметри бўйича ўзгарувчан бўлиши мумкин (қуйида бунга аниқлик киритилади). Ейилиш натижасида цилиндрнинг диаметри катталашади, қисилган ҳалқаники эса кичиклашади.

Ҳалқанинг ейилишини (14) қонуниятга бўйсуняди деб қараймиз. Ҳалқанинг ейилишини ўрганишда иккита ҳолатни ҳисобга олмаймиз.

1. Ейилиш даврида цилиндр айланаси бўйлаб ютекис эмас, балки бир текисда ейилади деб фараз қиламиз. Агар ҳалқани ишлаш вақтида айланиб ту-

ришини ҳисобга олсак бу шарт ҳақиқатга яқин бўлади. Лекин қуйида бу шарт ҳам ҳисобга олинади.

2. Ҳалқанинг орқасидаги босимни $p_r = f(s)$ бўйича эмас, балки γ коэффициентни билан ҳисобга оламиз, бу ерда $\gamma = p_r/p_0$. Агар γ ни бир неча қийматлари учун ҳалқани ейилиши топилса, ўйлаймизки катта хатога йўл қўйилмайди.

У ҳолда

$$\frac{r\tau}{\partial T} = c(p_1 + \gamma p_0), \quad (14')$$

Агар цилиндр ва ҳалқа ейилмаганда эди ҳалқа цилиндрга солинганда уни ўқ чизигидаги ψ бурчак остидаги исталган нуқтаси U каталикка силжинган бўлар эди. Лекин цилиндрни τ_u га, ҳалқани эса τ_a га ейилиши мавжуд бўлгани учун ҳалқани ψ бурчаги остидаги исталган кесмида силжиш U' ҳалқа ва цилиндрни ейилиши давомида қуйидаги миқдорга эга бўлади.

$$u' = u - \tau - \tau_u, \quad (15)$$

У вақтда ейилаётган ҳалқани исталган ψ бурчак остидаги эгувчи момент (10) цилиндрни ейилишини ҳисобга олганда қуйидагича бўлади.

$$M_2 = \frac{E I}{r^2} \left[(u - \tau - \tau_u) + \frac{d^2(u - \tau - \tau_u)}{d\psi^2} \right], \quad (16)$$

Агар (7) ифодани ҳисобга олиб ва $\frac{E b}{12 I} = \alpha$ деб ҳамда ҳалқани йўғонлигини τ_a га камайишини ҳисобга олсак (16) ифода қуйидагича соддалашади.

$$M_2 = \alpha (t - \tau)^3 \left[u - \tau - \tau_u + \frac{d^2(u - \tau - \tau_u)}{d\psi^2} \right], \quad (17)$$

ёки

$$\begin{aligned} M_2 = & \alpha_2 (t - \tau)^3 \left(u + \frac{d^2 u}{d\psi^2} \right) - \alpha (t - \tau)^3 \times \\ & \times \left(\tau + \frac{d^2 \tau}{d\psi^2} \right) - \alpha (t - \tau)^3 \left(\tau_u + \frac{d^2 \tau_u}{d\psi^2} \right), \end{aligned} \quad (17')$$

Цилиндрнинг айланаси бўйлаб бир текисда ейиладиган деб қабул қилган шартимизни ҳисобга олсак τ_u дифференциал белгисидан озод бўлади, у вақтда (17) ифода қуйидаги кўринишга эга бўлади.

$$M_2 = \alpha(t - \tau)^3 \left(u + \frac{d^2 u}{d\psi^2} \right) - \alpha(t - \tau)^3 \left(\tau + \frac{d^2 \tau}{d\psi^2} \right) - \alpha(t - \tau)^3 \cdot \tau_u \quad (18)$$

Цилиндрнинг бир хил ейилиши рўй беради, қачонки ҳалқа бир хил ейилса. Лекин ҳалқанинг ейилиши периметри бўйлаб ҳар хил. Шунинг учун цилиндрнинг ейилиши ҳалқанинг ўртача ейилиши билан боғлиқ дейилса хато қилинмайди. Шунини ҳисобга олиб цилиндрни ейилишини ҳалқанинг ейилиши билан ифодалаймиз.

$$\tau_u \doteq \xi \tau_{yp} . \quad (19)$$

бу ерда ξ —цилиндрни ейилишини ҳалқанинг ейилишига нисбатан суръатини кўрсатувчи коэффициент. Қуйида бу коэффициентни цилиндрни нисбий ейилиш коэффициенти деб атаймиз. Бундан ташқари ҳалқани ейилишини нисбий катталик орқали ифодалаймиз, яъни $\delta = \tau/t$ ва $\delta_{yp} = \tau_{yp}/t$. У ҳолда қуйидагига эга бўламиз.

$$M_2 = \alpha t^3 (1 - \delta)^3 \left(u + \frac{d^2 u}{d\psi^2} \right) - \alpha t^3 (1 - \delta)^3 \times \\ \times \left(\delta + \frac{d^2 \delta}{d\psi^2} \right) - \alpha t^3 (1 - \delta) \xi \tau_{yp} . \quad (20)$$

Лекин бу ерда (7), (10) ифодаларни ва α нинг қийматига кўра

$$M = \alpha \cdot t^3 \left(u + \frac{d^2 u}{d\psi^2} \right)$$

ҳалқанинг ўртача ейилиш қиймати қуйидагича аниқланади.

$$\tau_{yp} = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \tau(\psi) d\psi . \quad (21)$$

Юқоридаги (20) ифода ҳалқани эгувчи моментни билан унинг қалинлиги орасидаги боғланишни ифодаловчи тенгламадир.

4.3. ЕЙИЛАЁТГАН ҲАЛҚАНИНГ ПЕРИМЕТРИ БЎЙИЧА БОСИМИНИНГ ЎЗГАРИШИНИ ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАСИ

Агар (5) ифодага ейиляётган ҳалқани хоҳлаган ψ бурчакдаги эгувчи M_2 моментни қўйсак ейиляётган ҳалқани периметри бўйича босимни топамиз, яъни

$$p_2 = \frac{1}{r^2} \left(M_2 + \frac{d^2 M_2}{d\psi^2} \right).$$

Бунинг учун (20) ифодани икки марта дифференциаллаймиз. Бунда кичик қийматга эга бўлган иккинчи тартибли миқдорлардан воз кечамиз ва $\frac{d}{d\psi}(1-\delta)^3$ нинг қийматини $\left(-3 \frac{d\delta}{d\psi}\right)$ деб қабул қиламиз, чунки натижага деярли таъсири йўқ [20]. У ҳолда

$$\left. \begin{aligned} \frac{dM_2}{d\psi} &= \frac{dM}{d\psi} (1-\delta)^3 - 3 \frac{d\delta}{d\psi} M - \alpha t^4 (1-\delta)^3 \times \\ &\times \left(\frac{d\delta}{d\psi} + \frac{d^3\delta}{d\psi^3} \right) + 3\alpha t^3 \xi \tau_{\text{сп}} \frac{d\delta}{d\psi} \\ \frac{d^2 M_2}{d\psi^2} &= \frac{d^2 M}{d\psi^2} (1-\delta)^3 - 6 \frac{d\delta}{d\psi} \cdot \frac{dM}{d\psi} - \alpha t^4 (1-\delta)^3 \times \\ &\times \left(\frac{d^2\delta}{d\psi^2} + \frac{d^4\delta}{d\psi^4} \right) + 3 \frac{d^2\delta}{d\psi^2} (M - \alpha t^3 \xi \tau_{\text{сп}}) \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

олинган (20) ва (22) ифодаларни (5) ифодага қўйиб ихчамлаштирилгандан сўнг қуйидагига эга бўламиз.

$$\left. \begin{aligned} p_2 &= (1-\delta)^3 \frac{1}{r^2} \left(M + \frac{d^2 M}{d\psi^2} \right) - \frac{6}{r^2} \frac{d\delta}{d\psi} \frac{dM}{d\psi} - \\ &- \frac{3}{r^2} M \frac{d^2\delta}{d\psi^2} - \frac{\alpha t^4}{r^2} (1-\delta)^3 \times \\ &\times \left(\delta + 2 \frac{d^2\delta}{d\psi^2} + \frac{d^4\delta}{d\psi^4} \right) - \frac{\alpha t^3}{r^2} \xi \tau_{\text{сп}} \left[(1-\delta)^3 - 3 \frac{d^2\delta}{d\psi^2} \right], \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

ёки

$$p_2 = p_1 - \frac{\alpha t^3}{r^2} \xi \tau_{\text{сп}} \left[(1-\delta)^3 - 3 \frac{d^2\delta}{d\psi^2} \right] \quad (24)$$

бу ерда p_1 —цилиндрни ейилишини ҳисобга олмагандан ейилаётган ҳалқанинг периметри бўйича босимнинг ўзгариши.

Бошқа томондан периметри бўйича ўзгармас босимга эга бўлган ($p=\text{const}$) ҳалқалар учун (13) ифодани ҳисобга олсак қуйидаги ифодага эга бўламиз.

$$p_2 = p_0 \left\{ (1-\delta)^3 + 6 \sin \psi \frac{d\delta}{d\psi} - 3(1+\cos \psi) \frac{d^2\delta}{d\psi^2} - \beta(1-\delta)^3 \times \right. \\ \left. \times \left(\delta + 2 \frac{d\delta}{d\psi^2} + \frac{d^2\delta}{d\psi^4} \right) - \beta \delta_{yp} \left[(1-\delta)^3 - 3 \frac{d^2\delta}{d\psi^2} \right] \right\} \quad (25)$$

бу ерда

$$\beta = \frac{\sigma t^4}{r^2 p_0}; \quad \tau_{yp} = \delta_{yp} \cdot t$$

Топилган (23) ёки (25) ифода ҳалқа ва цилиндри бирағликда ейилишидан ҳалқанинг периметри бўйича босимни ўзгаришини кўрсатувчи дифференциал тенглама дейилади. Лекин шунини таъкидлаш керакки, ҳозирча ейилишнинг нисбий қиймати δ биз учун номаълум.

4.4. ПЕРИМЕТРИ БУЙИЧА ЎЗГАРМАС БОСИМЛИ ҲАЛҚАНИ ($P = \text{const}$) ЕЙИЛИШИНING ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАСИ

Юқоридаги (23) ёки (25) тенгламада p_2 ни аниқлаб бўлмайди, чунки δ нинг ўзи ҳозирча номаълум. Шунинг учун ейилишнинг қийматини (25) дифференциал тенгламани (14) га қўйиб билан топиб оламиз. Сўнг топилган қийматларни қайтиб (25) ёки (23) тенгламага қўйиб p_2 нинг қиймати аниқланади. Лекин (25) тенгламани (14) га қўйганда хусусий ҳосилга ўтилади, чунки ўзгарувчан катталиқ иккита—вақт T ва бурчак ψ

У ҳолда

$$\frac{\partial \tau}{\partial T} = c p_0 \left\{ \gamma + p_2 - \beta \delta_{yp} \left[(1-\delta)^3 - 3 \frac{d^2\delta}{d\psi^2} \right] \right\} \quad (26)$$

Олинган (26) дифференциал тенгламанинг ўнг томони нисбий катталиклардан иборат бўлгани учун чап тамондаги катталикларни ҳам нисбий қийматлар билан алмаштирамиз. Бунинг учун тенгламага $\tau = \delta t$ ва $z = 3c p_0 T t$ ни киритамиз.

У ҳолда $dT = t dz / 3c p_0$ ва $d\tau = t d\delta$ га эга бўламиз.

Уларни (26) ифодага қўямиз, яъни

$$\frac{\partial \delta}{\partial t} = \frac{\gamma}{3} + \frac{1}{3} \frac{p_1}{p_0} - 3\beta \delta_{yp} \xi \left[(1 - \delta)^3 - 3 \frac{d^2 \delta}{d\psi^2} \right], \quad (27)$$

ифодадаги p_1 нинг ўрнига ўзининг қийматини қўйиб их-
чамлаштирак, қуйидагига эга бўламиз.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \delta}{\partial Z} = & \frac{\gamma}{3} + \frac{1}{3} (1 - \delta)^3 (1 - \beta \delta - \beta \xi \delta_{yp}) + 2 \sin \psi \frac{\partial \delta}{\partial \psi} - \\ & - \frac{\beta}{3} (1 - \delta)^3 \cdot \frac{\partial^2 \delta}{\partial \psi^2} - \frac{\partial^2 \delta}{\partial \psi^2} \left[1 + \cos \psi + \frac{2}{3} \beta (1 - \delta)^3 - \beta \xi \delta_{yp} \right], \end{aligned} \quad (28)$$

Олинган (28) ифода ечилса, ҳалқани исталган ψ
бурчак остидаги нуқтасида рўй берган ейилишни Z нис-
бий вақтга нисбатан аниқлаш мумкин. У ҳолда олин-
ган ейилишнинг қийматига кўра p_2 босимни топиш
мумкин, яъни

$$p_2/p_0 = 3 \frac{\partial \delta}{\partial Z} - \gamma, \quad (29)$$

Ҳалқанинг периметри бўйича ўртача босим қуйида-
ги ифода орқали аниқланиши мумкин.

$$p_{2yp}/p_0 = (1 - \delta_{yp})^3 \left[1 - \frac{2}{3} \beta \delta_{yp} (1 + \xi) \right],$$

4.5. ЕЙИЛИШНИ ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАСИНИ $P = \text{const}$ УЧУН ЕЧИШ

Ейилишни дифференциал тенгламасини аналитик
усул билан ечими ниҳоятда мураккаб бўлиб, инженер-
лар фойдаланадиган ҳолатга етиб келгани йўқ. Шу-
нинг учун бу тенгламани сонлар ёрдамида ечиш анча
қулайлик туғдиради.

Профессор Б. Я. Гинцбург томонидан ҳалқани, ци-
линдрнинг ейилишини ҳисобга олмаган ҳолда сонлар
ёрдамида ечиш учун алгоритм тузилган.

Цилиндрнинг ейилишини ҳисобга олувчи (28) диф-
ференциал тенгламаси ҳам шу алгоритмга тегишли
ўзгартиришлар киритиш ёрдамида ечилди.

Дифференциал тенгламани ечиш учун бошланғич ва
охирги шартлари қуйидагилардан иборат.

Бошланғич шартли: $Z=0$ бўлганда $\delta=0$.

Охирги шартлар: ҳалқанинг қулфида $M=0$ га $F=0$
шунинг учун $\psi=\pi$

бўлганда

$$\delta + \frac{\partial^2 \delta}{\partial \psi^2} = 0; \quad \frac{\partial \delta}{\partial \psi} + \frac{\partial^3 \delta}{\partial \psi^3} = 0.$$

Халқа ўзининг қулфидан ўтган ўққа нисбатан симметрик бўлгани учун ҳам $\psi=0$ бўлганда

$$\frac{\partial \delta}{\partial \psi} = 0; \quad \frac{\partial M_2}{\partial \psi} = 0;$$

Шунга кўра (20) тенглама ёрдамида ҳам $\psi=0$ бўлганда

$$\frac{\partial \delta}{\partial \psi} = 0; \quad \frac{\partial^2 \delta}{\partial \psi^2} = 0.$$

Ейилишнинг дифференциал тенгламасини ечиш учун унга бошланғич ва охири шартларга кирувчи катталикларни охири фарқлар хусусий ҳосилалари билан алмаштирамиз.

Бу ҳолда тенглама ва шартлар қуйидагича кўринишга эга бўлади.

$$\Delta \delta_{i,k} = \frac{\Delta z}{h^4} \left\{ \frac{h^4 \gamma}{3} + \frac{(1 - \delta_{i,k})^3}{3} [h^4 (1 - \beta \xi \delta_{sp}) - \beta \delta_{i+2,k} + \right. \\ \left. + 2\beta (2 - h^2) \delta_{i+1,k} - \beta (6 - 4h^2 + h^4) \delta_{i,k} + 2\beta (2 - h^2) \delta_{i-1,k} - \right. \\ \left. - \beta \cdot \delta_{i-2,k} \right] - h^2 (1 + \cos \psi - h \sin \psi) \cdot \delta_{i+1,k} + 2h^2 (1 + \cos \psi - \\ \left. - \beta \xi \delta_{sp}) \delta_{i,k} - h^2 (1 + \cos \psi + h \sin \psi - \beta \xi \cdot \delta_{sp}) \delta_{i-1,k} \right\}. \quad (31)$$

Бошланғич ва охири шартлар, қуйидагича кўринишга эга. $Z=0$ бўлганда

$$\left. \begin{aligned} \delta_{i,0} &= 0, \quad \delta_{n+1,k} = (2 - h^2) \cdot \delta_{n,k} - \delta_{n-1,k} \\ \delta_{n+2,k} &= (2 - h^2)^2 \cdot \delta_{n,k} - 2(2 - h^2) \delta_{n-1,k} + \delta_{n-2,k} \\ \delta_{-1,k} &= \delta_{1,k}; \quad \delta_{-2,k} = \delta_{2,k} \end{aligned} \right\}. \quad (32)$$

Бу ерда Δ —катталикни охири ўзгариши, $\Delta \delta$ —вақтнинг ΔZ бўлагига ҳалқани нисбий ейилишнинг ўзгариши, h —бурчак ψ бўйича қадамлар, $h = \pi/n$, n —ҳалқа ярим айланаси тенг бўлақларининг сони, k —қабул қилинган ΔZ учун вақтнинг параметри.

Олинган маълумотларни цилиндрни ейилишини ҳисобга Б. Я. Гиндбург томонидан бажарилган ишнинг

натижасига солиштириш учун $\Delta Z/h^4 = 0,1$, ҳалқа ярим айланасини $h = 12$ та бўлақларга бўлинади. Унда $h = \pi/12$.

Текширишлар $\gamma = 0, 2, 5$ ва $\beta = 2,5$ қийматлари учун олиб борилди. Амалиётда цилиндрлар ҳалқага қараганда 4 мартадан 2 мартагача озроқ, лекин баъзи пайтларда тенгма тенг ейилиши ҳам кузатилди. Шунинг учун цилиндрнинг ейилишини ҳисобга олган ҳолда ҳалқа ейилишини текшириш ξ нинг 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0 қийматлари учун бажарилди. Шунини алоҳида эслатиб ўтиш керакки, $\xi = 0$ қиймати цилиндри ейилишини ҳисобга олмайдиган ҳолати бўлиб, бу профессор Б. Я. Гинцбург томонидан текширилган.

4.6. ЕЙИЛИШ ЖАРАЁНИДА ҲАЛҚА ПЕРИМЕТРИ БЎЙИЧА БОСИМИНИ ЎЗГАРИШИНИНГ НАТИЖАЛАРИ

Келтириб чиқарилган дифференциал тенгламалар асосан периметри бўйича бир хил босимга эга бўлган ҳалқаларга тааллуқли бўлгани учун кузатишларнинг натижалари ҳам шу ҳалқалар учун келтирилди. 1—8-жадвалларда ξ ва k нинг қийматларига қараб босимни ва ейилишнинг ўзгариши $\gamma = 0$ ва $\gamma = 2$ миқдорлари учун келтирилди.

Келтирилган маълумотлардан кўриниб турибдики, вақт параметрларининг ортиб бориши билан ейилишнинг миқдори ортиб бормоқда, босим эса периметр бўйича камаймоқда. Ейилиш газлар босимини таъсирсиз рўй бермоқда.

Цилиндрнинг ейилиши ҳисобга олинмаганда (профессор Б. Я. Гинцбург натижасига кўра) вақт параметрини бизнинг кузатувимиздаги энг катта қийматда ҳам периметр бўйича босим сақланмоқда.

Ҳалқанинг орқасида босим бўлмаган пайтдаги ($\gamma = 0$) ейилиш фақат қайишқоқлик босими таъсирида рўй беради.

Цилиндрнинг ейилишини ҳисобга олувчи назария асосида олинган босимнинг ўзгариши Б. Я. Гинцбург назариясига асосан олингандан фарқ қилади, яъни цилиндрининг ейилиши ҳалқанинг периметри бўйлаб босимнинг пасайишига сабаб бўлмоқда. Солиштирини осон бўлиши учун ҳар бир ҳолат учун, яъни цилиндри ейилиши ҳисобга олинмаганда ($\xi = 0$), цилиндр ҳалқага нисбатан икки баробар оз ейилганда ($\xi = 0,5$) ва ци-

линдри билан ҳалқа тенг ейилганда ($\xi=1,0$) вақтнинг параметрлари бир хил олинган, яъни $k=10$ ва $k=25$.

Солиштириш шуни кўрсатдики, цилиндрининг ейилиши ҳалқани периметри бўйлаб босимнинг пасайишига сабаб бўлмоқда. Пасайиш вақтнинг бошланғич параметрларида камроқ бўлиб, унинг ортиши вақтнинг параметрини кўпайиши билан ортиб бормоқда. Масалан, вақт $k=10$ бўлганда, $\xi=0$ дан, $\xi=0,5$ га ўтишда нисбий босим ўртача 0,89 дан 0,7 га тушаётган бўлса, $k=25$ бўлганда ўртача икки баробарга пасаймоқда. Агар босимнинг ўзгаришини ейилиш билан солиштирадиган бўлсак, $\xi=0$ бўлганда ейилишнинг миқдори ($k=25$) ўрта ҳисобда $\tau=0,16\ldots 0,13$ мм ни ташкил этмоқда. Лекин шу ҳолда ҳам нисбий босимнинг қиймати периметр бўйича 0,7 атрофида, яъни ҳалқа бемалол жипсликни сақлаб турибди.

1-жадвал

Ҳалқа периметри бўйича нисбий босимнинг ўзгариши
($\gamma=0$, $\varepsilon=0$)

K	ψ нинг қийматларида $P_2/P_0 \cdot 10^3$						
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
0	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
5	936	932	921	944	981	967	787
10	870	867	875	913	851	906	686
15	805	809	835	885	617	849	609
20	743	757	800	860	883	797	546
25	686	709	770	886	851	749	491

Цилиндрининг ейилиши ҳисобга олинганда эса ($\xi=1,0$) $\xi=1,0$ ҳалқанинг ейилиши ўртача $\tau=0,12$ мм дан ошгани йўқ ($k=25$). Лекин ҳалқани қулф зонасида босим нолга яқин, яъни жипсликни бузилиши рўй бермоқда.

Демак, цилиндрининг ейилиши ҳисобга олинганда хром қопламасининг ейилиши тугамаган бўлса ҳам ҳалқа ўзининг асосий функциясини бажармайди.

Цилиндрининг ейилишини ҳисобга олган ҳолларда ҳалқа ортидаги босимнинг ортиши ҳалқани цилиндри деворларига бўлган босимни тезлик билан йўқолишига олиб келмоқда (7-жадвал).

Периметри бўйича ўзгармас босимли ҳалқада босим аввало қулф зонасида нолга интилгани учун 9-жадвалда нисбий босим нолга тушгунча ўтган нисбий вақтни қиймати ξ га нисбатан кўрсатилган.

Нисбий ейилишнинг ўзгариши ($\gamma=0$, $\xi=0$)

K	ψ нинг қийматларида $\sigma \cdot 10^4$						
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
0	0	0	0	0	0	0	0
5	121	121	120	121	123	124	109
10	234	233	231	237	244	241	200
15	339	333	330	350	362	351	281
20	436	437	443	450	474	454	354
25	526	528	541	555	583	551	419

3-жадвал

Ҳалқани параметри бўйича нисбий босиланишнинг ўзгариши
($\gamma=2$, $\xi=0$)

K	ψ нинг қийматларида $p_2/p_0 \cdot 10^3$						
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
0	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
5	817	807	796	833	940	908	387
10	650	639	652	750	862	748	122
15	497	499	548	677	777	609	-62
20	365	383	468	617	688	490	-205
25	250	285	493	567	628	387	-321

4-жадвал

Нисбий ейилишнинг ўзгариши
($\gamma=2$, $\xi=0$)

K	ψ нинг қийматларида $\varepsilon \cdot 10^4$							$\bar{\varepsilon}_{\psi} \cdot 10^4$
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	
0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	364	363	362	371	373	327	364	364
10	716	704	703	714	735	727	608	709
15	1028	1026	1020	1054	1088	1063	862	1037
20	1333	1353	1343	1385	1431	1382	1196	1352
25	1622	1624	1648	1710	1764	1687	1313	1656

Ҳалқа параметри бўйича нисбий босимнинг ўзгариши
($\gamma=0$, $\xi=1$)

К	ψ нинг қийматларида $p_2/p_0 \cdot 10^3$						
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
0	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
5	690	687	684	700	728	711	560
10	477	476	487	516	535	487	331
15	327	335	359	390	393	328	184
20	223	238	273	301	288	215	86
25	154	172	212	235	211	134	20

Нисбий ейилишнинг ўзгариши
($\gamma=0$, $\xi=1$)

К	φ нинг қийматларида $\delta \cdot 10^4$							$\delta_{ур} \cdot 10^4$
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	
0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	104	104	104	105	107	93	104	104
10	177	176	177	180	185	181	148	178
15	227	227	229	237	243	232	180	229
20	261	262	269	280	286	276	196	266
25	284	288	290	313	317	288	203	292

Ҳалқа параметри бўйича нисбий босимнинг ўзгариши
($\gamma=2$, $\xi=1$)

К	ψ нинг қийматларида $p^2/p_0 \cdot 10^3$						
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
0	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
5	119	111	106	114	225	157	309
10	-439	-436	-401	-328	-336	-498	-1012

Нисбий ейилишнинг ўзгариши ($\gamma=2$, $\xi=1$)

K	ψ нинг қийматларида $\delta \cdot 10^4$							$\delta_{ур} \cdot 10^4$
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	
0	316	316	315	317	323	323	280	316
5	545	544	545	554	567	551	445	514

Маълумки, нисбий босимни пасайиб нолга тенг бўлиши (манфий қийматга ўтиши) цилиндрни ҳалқага нисбатан ейилишига кўра ҳар хил. Буни билиш эса ҳалқани периметри бўйича босимни тақсимот қонунини танлашда муҳим аҳамиятга эга. Шунинг учун 10-жадвалда ҳалқани ҳар хил кесмида нисбий босимни пасайиши ξ га нисбатан кўрсатилган.

9-жадвал

Ҳалқанинг қулф зонасида ($\psi=180^\circ$) нисбий босимни ξ, γ ва K га боғлиқ равишда ўзгариши

ξ	γ	$\psi=180^\circ$ да $p_2/p_0 \cdot 10^4$						
		K нинг қийматлари						
		0	2	4	6	8	10	12
0	0	1000	876	819	764	623	686	654
	2	1000	634	457	324	215	122	42
1	0	1000	768	624	505	410	331	265
	2	1000	309	-12	-474	-765	-1012	-1226

10-жадвал

Нисбий босим нолга тушгунча ўтган K вақтга ψ ва ξ га нисбатан ўзгариши

ψ	K нинг қийматлари				
	ξ				
	0	0,25	0,5	0,75	1,0
0	—	18	11	8	6
60°	—	22	12	8	6
120°	—	7	14	10	7
180°	14	8	6	5	4

Демак, цилиндрининг ҳар бир нисбий ейилишида нисбий босимни нолга тушиб қолиши фақат қулф зонасида $\psi = 180^\circ$ рўй беради. Цилиндрнинг ейилишини ҳисобга олиш эса бу ҳодисани тезлаштиради. Ҳалқани периметри бўйича қайси нуқтада босим тезроқ нолга тушса, шу босимнинг пасайиш қонунияти топилади. Узгармас босимли ҳалқада қулфдаги босимнинг пасайиши қуйидаги қонуният асосида рўй беради.

$$K_0 = \frac{4,5}{\xi^{0,115}}, \quad (33)$$

Цилиндр билан ҳалқани кейинги ейилишларида ҳалқа билан цилиндр орасида тирқиш ҳосил бўлади. Тирқиш ҳосил бўлган ейининг катталиги қуйидаги ифода орали аниқланади.

$$\alpha_0 = \arccos \left[1 - \frac{\beta}{3} \delta_{yp} (3 - \xi)(1 + \xi) \right], \quad (34)$$

бу ерда

$$\xi = -\frac{a_2}{3} - \frac{a_3}{8} + \frac{a_4}{15} - \frac{a_5}{24} + \dots + \frac{a_n (-1)^n}{n^2 - 1},$$

$a_2, a_3, a_4 \dots, a_n$ — Фурье қаторининг коэффицентлари.

Ҳисобланган тирқишнинг катталиклари 11-жадвалда кўрсатилган.

11-жадвал

ξ	0			0,25			0,5	0,75	1,0	3,0	
Кўрсаткичлар	2	5	10	2	5	10	2	2	2	2	2
K_0	14	4	2	8	3	1	6	5	4	13	2
α_0	41°	31	30	33	30	23°	31°	31	29—30°	28°	28°

Таҳлил шуни кўрсатдики, ҳалқа ортидаги босимнинг бўлиши ҳалқани цилиндрга жипслашувига таъсир этади. Шунинг учун ўнинг ортиб бориши α_0 ни кичиклашувига олиб келади.

Назарий олинган натижалар юзасидан қуйидагиларни белгилаб қўйиш мумкин.

1. Периметри бўйича бир хил босимга эга бўлган ҳалқа периметри бўйлаб бир хилда ейилмайди, энг оз ейилиш қулф зонасида рўй беради. Лекин цилиндрининг нисбий ейилиши ортиб борган сари ҳалқани периметри бўйича ейилиши камаяди. Аммо ейилишнинг периметр бўйича шакли цилиндрининг ейилиши ҳисобга олини-

са ҳам, олинмаса ҳам бир хил. Ейилишнинг периметр бўйлаб камайишининг сабаби цилиндрнинг ейилиши билан ҳалқани айланаси бўйлаб босимини камайишидир.

2. Ҳалқани периметр бўйича босимини ўзгариши цилиндрни ейилиши ҳисобга олинмагандаги ўзгариши билан ўхшашдир.

3. Цилиндрнинг ейилишини ҳисобга олгандаги қайишқоқлик босими қийматини нолга тенг бўлиб қолишининг суръати ξ ва унинг қийматларига қараб Б. Я. Гинцбург назарияси натижаларига нисбатан 3...5 марта тезроқдир.

4. Цилиндрнинг ейилиши ҳалқаниқига яқин бўла борган сари қулф зонасида тирқишнинг ҳосил бўлиши тезлашади.

Юқоридагиларга асосланган ҳолда қуйидаги хулосага келиш мумкин.

1. Цилиндрнинг ейилиши билан ҳалқанинг ейилиши ва унинг периметри бўйича босимнинг тақсимланиш қонуниятини ўртасида боғланиш мавжуд. Бу боғланиш цилиндр ва ҳалқа ейилишини ортиб бориши билан яққолроқ намоён бўлади. Топилган (25) ва (28) дифференциал тенгламалар ҳалқани цилиндр билан жипслашуви ва улар орасида тирқиш ҳосил бўлиши жараёнини тўла ифодалайди.

2. Ейилишнинг ҳалқани периметри бўйича шакли Б. Я. Гинцбург назарияси бўйича олинган шаклга кўп жихатдан мос тушади.

3. Цилиндр ейилишини ҳалқанинг ишлаш муддати-га таъсири мавжуд экан, амалиётда кўп қўлланилаётган мосланган босимли ҳалқаларни текшириб кўриш зарур бўлади.

5. ЦИЛИНДРНИНГ ЕЙИЛИШНИНГ ҲИСОБГА ОЛГАН ҲОЛДА МОСЛАНГАН БОСИМЛИ ҲАЛҚАНИ ЕЙИЛИШНИНГ ТЕКШИРИШ

Мосланган босимли ҳалқа деб периметри бўйича олдиндан белгиланган нотекис босим тақсимоти-га эга бўлган ҳалқаларга айтилади. Барча дизель ва карбюраторли двигателларда мосланган босимли ҳалқалар қўлланилади. Ҳозирча ўнта мосланган босим тақсимоти мавжуд. Ҳалқани периметри бўйича босим тақсимоти Фурье полиноми асосида бўлиб қуйидагича кўринишга эга:

Босим тақсимотларидаги Фурье қатори коэффициентларининг миқдори

коэф.	тақсимот.										$p_{\max}$		p_0
	a_9	a_8	a_7	a_6	a_5	a_4	a_3	a_2	a_1	a_0	a_{11}	a_{12}	
1	0,4												1,4
2	0,2	0,4											1,4
3	0,3	-0,2											1,4
4	0,3	-0,2											1,5
5	0,3	-0,2											1,8
6	0,3	-0,2	0,15	0,15	-0,15			-0,15					2,65
7	0,309	0,436	0,15	0,146	-0,15	0,15	0,15	0,097	-0,1	0,1	0,1	0,1	2,86
8	0,128	0,257	0,288	0,152	0,196	0,109	0,121	0,102	0,08	0,071	0,041	0,041	2,51
9	0,57	0,264	0,264	0,38	-0,2	0,121	0,25	0,09	0,082	0,078	0,038	0,038	2,82
10	0,66	6,50	0,04	0,13					0,12				2,19

$$p/p_0 = 1 + a_2 \cos 2\psi + a_3 \cos 3\psi + \dots + a_n \cos n\psi, \quad (35)$$

бу ерда: $a_2, a_3, \dots, a_n$ — Фурье қаторининг коэффиценти. Фойдаланилаётган ҳалқаларда Фурье қаторининг коэффицентлари мосланган босим тақсимоти учун 12-жадвалда келтирилган. Ҳар хил двигателларда ҳар хил мосланган босимли ҳалқа ишлатилади. Бу ҳалқаларни аҳамиятли томони шуки, қулф зонасидаги максимал босим ҳалқа периметри бўйича ўртача босимдан неча баробар қўплигидир. Шунинг учун мосланганлик даражаси $\lambda = p_{\max}/p_0$ параметри билан аниқланади. Ҳалқа периметри бўйича ўртача босим қуйидагича аниқланади.

$$p_0 = 1/\pi \int_0^\pi p(\psi) d\psi, \quad (36)$$

Профессор Б. Я. Гинцбург назариясига кўра, қулф зонасида босим қанча юқори бўлса унинг шартли ишлаш муддати кўп бўлади. Шунинг учун у бу босимни $p_{\max}/p_0 = 2,86$ атрофида бўлиши керак деб таклиф этди. Амалиётда бундай ҳалқани тайёрлаш технология нуқтан назаридан мураккаб бўлганлиги учун бу нисбатнинг қиймати бўйича жуда кўп мунозаралар мавжуд, лекин шу кунгача аниқ фикр йўқ. Бу нисбатни Б. Я. Гинцбург цилиндрнинг ейилишини ҳисобга олмай туриб аниқлади. Цилиндрнинг ейилишини ҳисобга олиш бу нисбатни танлашга қандай ўзгартиришлар киритишни биз қуйида кўриб ўтамиз.

Бунинг учун олинган (25) ва (28) дифференциал тенгламаларга тегишли ўзгартиришлар киритилади.

5.1. ЕЙИЛАЕТГАН МОСЛАНГАН БОСИМЛИ ҲАЛҚАНИНГ ПЕРИМЕТРИ БЎЙИЧА БОСИМИНИНГ ЎЗГАРИШИ

Юқорида биз (25) ва (28) дифференциал тенгламаларни келтириб чиқаришда ҳалқани периметри бўйлаб ўзгармас босимни уни ўртача босимга тенг деб ҳисоблаганмиз, яъни $p = p_0 = \text{const}$. Энди эса бу босимни ҳалқани периметри бўйлаб ўзгарувчан деб қараймиз. Шунини ҳисобга олсак (25) дифференциал тенглама мосланган босимли ҳалқа учун қуйидаги кўринишга эга.

$$p_2/p_0 = (1-\delta)^3 \frac{p}{p_0} - \frac{6}{r^2 p_0} \frac{dM}{d\psi} \frac{d\delta}{d\psi} - \frac{3}{r^2 p_0} M \frac{d^2 \delta}{d\psi^2} - \beta(1-\delta)^3 \times$$

$$\times \left(\delta + 2 \frac{d\delta}{d\psi} + \frac{d^2\delta}{d\psi^2} \right) - \beta \xi \delta_{yp} \left[(1-\delta)^3 - 3 \frac{d^2\delta}{d\psi^2} \right], \quad (37)$$

ёки қисқароқ ёзадиган бўлсак,

$$p_2/p_0 = \bar{p}_1 - \beta \xi \delta_{yp} \left[(1-\delta)^3 - 3 \frac{d^2\delta}{d\psi^2} \right], \quad (38)$$

бу ерда: $\bar{p}_1$ — цилиндрининг ейилишини ҳисобга олмаганди мосланган босимли ҳалқани ейилишидан сўнг периметр бўйича босимнинг ўзгариши. Бу ерда у қўйидагига тенг.

$$\begin{aligned} \bar{p}_1 = (1-\delta)^3 \frac{p}{p_0} - \frac{6}{r^2 p_0} \frac{dM}{d\psi} \frac{d\delta}{d\psi} - \frac{3}{r^2 p_0} M \frac{d^2\delta}{d\psi^2} - \\ - \beta (1-\delta)^3 \left(\delta + 2 \frac{d^2\delta}{d\psi^2} + \frac{d^3\delta}{d\psi^3} \right) \end{aligned} \quad (38')$$

(37) ёки (38) ифода цилиндрининг ейилишини ҳисобга олувчи мосланган босимли ҳалқани ейилиш жараёнида периметри бўйлаб босимни аниқловчи дифференциал тенглама дейилади.

5.2. МОСЛАНГАН БОСИМЛИ ҲАЛҚАНИНГ ЕЙИЛИШНИ ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАСИ

Аниқланган (38) ва (38') ифодани (14) ифодага қўйиш билан мосланган босимли ҳалқани ейилишини ифодаловчи дифференциал тенгламасига эга бўламиз, яъни

$$\frac{\partial \tau}{\partial T} = c p_0 \left\{ \gamma + \bar{p}_1 - \beta \xi \cdot \delta_{yp} \left[(1-\delta)^3 - 3 \frac{d^2\delta}{d\psi^2} \right] \right\} \quad (39)$$

Юқоридаги нисбий катталикларга ўтадиган бўлсак,

$$\begin{aligned} \frac{\partial \delta}{\partial Z} = \frac{\gamma}{3} + \frac{(1-\delta)^3}{3} \frac{p}{p_0} - \frac{2}{r^2 p_0} \frac{\partial M}{\partial \psi} - \frac{M}{r^2 p_0} \frac{\partial \delta}{\partial \psi} - \frac{3}{3} (1-\delta)^3 \times \\ \times \left(\delta + 2 \frac{d^2\delta}{d\psi^2} + \frac{d^3\delta}{d\psi^3} \right) - \frac{\beta}{3} \xi \delta_{yp} \left[(1-\delta)^3 - 3 \frac{d^2\delta}{d\psi^2} \right], \end{aligned} \quad (40)$$

5.3. ЕЙИЛИШНИ ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАСИНИ ЕЧИШ

Ейилишни дифференциал тенгламасини ечиш учун босими бир хил бўлган ҳалқанинг ейилишини дифференциал тенгламасини ечишдаги усулдан фойдалана-

миз. Бошлангич ва охирги шартлар ҳам ўзгармай қолади. Цилиндрнинг ейилишини ҳисобга олмайдиган Б. Я. Гинцбург назарияси натижалари ҳамда цилиндрни ейилишини ҳисобга олувчи, лекин бир хил босимли ҳалқалар натижалари билан қиёслаш осон бўлишлиги учун ξ , γ нинг қийматлари ўзгаришсиз қолдирилади.

5.4. ЕЙИЛИШ ЖАРАЕНИДА ПЕРИМЕТРИ БЎЙИЧА МОСЛАНГАН БОСИМНИНГ ЎЗГАРИШИ

Аввало шуни таъкидлаш керакки, ҳалқанинг периметри бўйича қаерда босим кўп бўлса, ўша ерда ейилиш кўп бўлади. Цилиндрнинг нисбий ейилиш даражаси ξ қанча катта бўлса, ейилишнинг миқдори шунча кам бўлади. Чунки цилиндр ейилишининг кўпайиши ҳалқанинг периметри бўйича босимнинг камайишига сабаб бўлмоқда. Аммо ҳалқанинг орқа томонидаги газларнинг босимини ҳисобга олиш билан ($\gamma > 0$) ҳалқанинг периметри бўйича ейилишнинг текисланиши рўй бермоқда.

Ҳалқанинг ейилишини текширишда иштирок этган 10 та тақсимот (12-жадвал) қонуниятига эга бўлган барча ҳалқалар тўғрисида маълумот олинди. Лекин қуйида ҳар бир тақсимот бўйича натижалар келтирилмай, балки ўхшаш тақсимотлардан (2, 3, 4, 5, 6 тақсимотдан) биттасини, симметрик мосланган босим тақсимотидан (9; 10 тақсимотдан) биттасини, ҳамда шу симметрик тақсимот босимини паст мосланганидан 1—тақсимотни келтиришни лозим топдик.

13, 14, 15 ва 16-жадвалларда 1, 3, 7 ва 10 босим тақсимотига эга бўлган ва периметри бўйича нисбий босимларининг ўзгаришига цилиндрни ейилиши ҳисобга олинмаган ($\xi = 0$, Б. Я. Гинцбург назарияси бўйича) ва ҳисобга олинган ($\xi > 0$, муаллифнинг назарияси бўйича) ҳоллар учун маълумотлар келтирилган. Аммо натижаларни таҳлил қилиш ва узоқ ишлаш муддатларини қиёслашда барча тақсимотга эга бўлган ҳалқалар ҳисобга олинади. Жадвалдан кўриниб турибдики, цилиндрни ейилиши ҳисобга олинмаганда $\xi = 0$ босимнинг камайиши секинлик билан рўй бермоқда. Чунки вақт параметри $K_0 = 25$ бўлиб, ейилишнинг ўртача қиймати $\tau = 0,2$ мм бўлганда ҳам ҳалқанинг периметри бўйича босим сақланиб турмоқда. Лекин цилиндрнинг ейилишини ҳисобга олиш ($\xi = 1$) билан ҳолат ўзгармоқда. Масалан, цилиндрнинг ейилишини ҳисобга олмаган

ҳолатда босимни нолга тушиб тирқиш ҳосил бўлиш ҳалқани $\tau=0,52$ мм га ейилганда рўй берса ($\gamma=2$, $K=25$), цилиндрни ейилишини ҳисобга олганда биринчи тақсимотда ($\xi=1$, $\gamma=2$, $K=5$) $\tau=0,12$ мм да рўй бермоқда. Тирқишнинг ҳосил бўлиши 5...8 маротабага

1-тақсимотга эга бўлган мосланган босимли ҳалқада нисбий ва олинмаган ҳоллари

ξ	γ	K	ψ нинг қийматларида нисбий босим $p_1/p_0 \cdot 10^{-3}$						
			0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
0	0	0	1400	1200	800	600	800	1200	1400
		0	1293	1104	746	600	795	1107	1231
		10	1193	1023	710	597	770	1029	1096
		15	1116	955	681	552	754	962	1088
		20	1032	866	655	584	731	902	898
		25	962	844	690	574	707	843	822
	2	0	1400	1200	800	600	800	1200	1400
		5	1151	970	622	514	769	1042	803
		10	953	783	494	463	713	865	490
		20	658	516	314	367	588	599	55
		25	553	420	222	322	533	498	39
1	0	0	1400	1200	800	600	800	1200	1400
		5	1038	855	568	333	547	851	1004
		10	770	619	336	226	575	614	739
		15	574	454	230	142	258	447	553
		20	429	335	159	83	178	329	419
		25	329	244	111	54	124	244	320
	2	0	1400	1200	800	600	800	1200	1400
		5	430	261	-53	-151	66	291	105
		6	280	129	-169	-248	-44	140	-71

тезлашмоқда. Шу ҳол барча тақсимотли ҳалқаларда ҳам кўринмоқда. Лекин шуни алоҳида таъкидлаш керакки, босимни нолга тушиш зонаси қулф зонасида рўй бермай, ҳалқани ярим айланасининг ўртасида ҳам рўй беради. Бундай ҳолат Б. Я. Гинцбург назариясида рўй бермаган. Демак, бу цилиндрнинг ейилишини ҳисобга олиш билан боғлиқ равишда рўй бермоқда. Бу ҳодиса ҳар хил тақсимотли ҳалқаларда ҳар хил. Масалан, 1-тақсимотли ҳалқада цилиндрнинг ейилишини $\xi \leq 0,4$ қийматларигача ($\gamma=2$) тирқиш ҳосил бўлиши қулф зонасида ($\psi=180^\circ$), $\xi > 0,4$ қиймат-

ларда эса ҳалқани ярим айланасининг ўртасида ($\psi = 90^\circ$) рўй бермоқда. Амалиётда кўпинча $\xi = 0,5$ бўлгани учун ҳалқани узоқ ишлаш муддатини ярим ҳалқанинг ўртасида ($\psi = 90^\circ$) босимни нолга тушиб қолиши учун ўтган вақт белгилайди. Барча ҳалқаларда

13-жадвал

босим ва ейилишни цилиндрни ейилиши ҳисобга олинган учун ўзгариши

Ўртача нисбий босим	ψ нинг қиёматларида нисбий ейилиш, $\delta \cdot 10^4$							Ўртача нисбий ейилиш
	0°	30°	60°	90°	110°	150°	180°	
0	0	0	0	0	0	0	0	0
127	168	144	95	75	100	144	165	121
246	324	277	187	150	198	278	310	235
358	468	401	274	224	294	402	440	342
462	602	517	358	298	387	519	559	444
562	727	626	439	371	477	629	666	540
0	0	0	0	0	0	0	0	0
367	410	386	339	319	348	392	381	364
713	792	746	659	631	692	762	712	709
1354	1493	1407	1260	1236	1356	1445	1282	1352
1655	1819	1716	1546	1529	1676	1764	1536	1656
0	0	0	0	0	0	0	0	0
111	151	127	80	59	84	127	149	104
189	264	219	132	95	141	218	257	178
246	348	289	166	118	180	284	338	229
286	411	335	191	132	207	332	399	267
316	457	371	208	141	226	368	445	294
0	0	0	0	0	0	0	0	0
320	361	338	292	273	301	342	334	316
372	420	393	339	318	351	398	385	368

босимни нолга тушиб қолиши учун ўтган вақт белгилайди. Барча ҳалқаларда босимни нолга тушиш вақтини цилиндрнинг нисбий ейилишига нисбатан ўзгариши қуйидаги ифода билан апроксимацияланади:

$$K_0 = \frac{a}{\xi_x} \quad (41)$$

Иккинчи тақсимотли ҳалқада цилиндр қандай ейилмасин узоқ ишлаш муддатини қулф зонасида ($\psi = 180^\circ$) босимни нолга тушиши белгилади. Учинчи тақсимотли, саккизинчи тақсимотли ҳалқаларда иккинчи тақсимотли ҳалқаларидек узоқ ишлаш муддатини қулф зонаси-

да босимни нолга тушиши учун кетган вақт белгилайди.

Тўртинчи, бешинчи, олтинчи ва еттинчи тақсимотли ҳалқаларда ҳам биринчи ҳалқадагидек босимни нолга тенг бўлиши $\xi \leq 0,5$ гача қулф зонасида, $\xi > 0,5$ да ҳалқани ярим айланасини ўртасида ($\psi = 90^\circ$) рўй бермоқда.

3-тақсимотга эга бўлган мосланган босимли ҳалқада нисбий ва олинмаган ҳоллари

ξ	γ	K	ψ нинг қийматларида нисбий босим p_2/p_0^{-3}						
			0	30°	60°	90°	120°	150°	180°
0	0	0	1000	1100	1100	800	700	1100	1400
		5	1051	1019	889	764	812	1021	1131
		10	1081	946	802	737	825	964	952
		15	955	881	751	719	811	905	836
		20	889	824	715	700	788	811	750
		25	830	773	685	683	763	801	679
	2	0	1000	1100	1100	800	700	1100	1400
		5	932	886	762	669	782	961	714
		10	782	711	588	591	749	803	367
		15	633	563	474	529	688	663	140
		20	504	446	387	474	623	514	-27
		25	395	348	316	426	563	442	-158
1	0	0	1000	1100	1100	800	700	1100	1400
		5	816	772	642	523	570	770	905
		10	619	550	414	354	428	558	600
		15	456	394	281	246	314	403	414
		20	333	284	199	177	230	291	291
		25	242	206	144	129	168	209	205
	2	0	1000	1100	1100	800	700	1100	1400
		5	236	183	64	-10	89	222	16
		6	109	50	-71	-118	-13	79	-171

Тўққизинчи ва ўнинчи тақсимотларда эса узоқ ишлаш муддатини узоқлигини бутунлайинча ҳалқани ярим айланасининг ўртасида ($\psi = 90^\circ$) босимни нолга тушиш вақти белгилади.

17-жадвалда ҳар хил тақсимотли ҳалқанинг қаерида тезроқ босимни тушиб қолиши ва босимни нолга тушиши қонуниятини белгиловчи (41) ифодадаги «а» ва «х» нинг катталиклари келтирилган.

6. ҲАР ХИЛ ТАҚСИМОТЛИ ҲАЛҚАЛАРНИНГ «НАЗАРИЙ» ИШЛАШ МУДДАТЛАРИНИ ҚИЁСЛАШ

Юқорида барча тақсимотли ҳалқаларни ейилган цилиндрда ўзини тутини кўрилди ва натижалари таҳлил қилинди. Барча ҳалқалар учун босимни у ёки бу зонада полга тушиши учун кетган вақт параметрлари (41) ифода кўринишида аниқланади.

Амалиёт учун ҳар бир двигателга қандай тақсимотли ҳалқани қўллаш керак деган муаммони ечиш керак. Агар цилиндрнинг ейилишини ҳисобга олмаган-

14-жадвал

босим ва ейилишни цилиндрни ейилиши ҳисобга олинган
учун ўзгариши

Ўртача нисбий босим	Ψ нинг қийматлари α нисбий ейилиш, 0-10°							Ўртача нисбий ейилиш
	0	30°	60°	90°	110°	130°	180°	
0	0	0	0	0	0	0	0	0
124	131	173	172	98	97	132	159	121
249	261	285	228	132	200	256	289	234
348	355	370	255	233	303	373	401	341
450	401	477	417	372	433	433	500	442
546	409	577	504	418	501	587	559	530
0	0	0	0	0	0	0	0	0
305	373	375	305	342	345	330	376	304
707	731	725	699	670	692	741	693	708
1031	1030	1055	1015	931	1032	1034	975	1036
1241	1392	1360	1320	1304	1305	1409	1232	1350
1639	1699	1619	1614	1611	1630	1722	1470	1653
0	0	0	0	0	0	0	0	0
103	114	116	106	81	80	115	144	104
183	204	198	171	135	143	197	236	176
520	271	268	238	189	1171	1230	287	228
271	321	299	244	199	223	300	343	266
301	356	329	265	218	247	331	374	292
0	0	0	0	0	0	0	0	0
317	326	327	316	295	293	331	329	316
370	380	380	373	354	341	367	392	369

даги ҳолати учун бу саволга Б. Я. Гинцбург назариясига асосланган ҳолда жавоб бериш мумкин. Ҳақиқатдан ҳам цилиндрнинг ейилиши ҳисобга олинмаган ҳолларда узоқ ишлаш муддатига юқори мосланган босимли ҳалқалар (7, 8 тақсимотли ҳалқалар) эга бўлган.

Цилиндрнинг ейилиши мавжуд бўлган ҳолларда қайси тақсимотли ҳалқа узоқ ишлаш муддатига эга бўлади? Бу саволга жавобни янги ишлаб чиқилган назарияга асосланган ҳолда жавоб бериш мумкин. Бунинг учун ҳар хил тақсимотли ҳалқаларни узоқ ишлаш муддати бир-бирига солиштирилади.

7-тақсимотга эга бўлган мосланган босимли ҳалқада нисбий ва олинмаган ҳоллари

ε	γ	K	Ф и н и қ и й м а т л а р и д а н и с б и й б о с и м, $p_2/p_0 \cdot 10^3$						
			0	30°	60°	90°	120°	150°	180°
	0	0	1050	1104	1137	876	453	699	2862
		5	1078	1075	907	623	603	1038	1524
		10	1108	1003	757	582	685	1004	1224
		15	1067	934	684	505	701	903	1059
		20	997	872	640	554	694	901	949
		25	935	818	678	543	679	872	864
0	2	0	1050	1104	1137	896	453	699	2862
		5	963	941	783	538	584	976	1090
		10	856	762	555	454	620	841	621
		15	721	613	422	377	991	708	342
		20	597	492	328	319	543	512	148
		25	493	393	255	305	495	473	1
1	0	0	1050	1104	1137	896	453	699	2862
		5	858	829	657	382	372	804	1307
		10	711	603	361	205	315	630	891
		15	553	436	207	111	243	492	663
		20	416	313	123	58	184	387	518
		25	305	221	71	27	129	379	417
	2	0	1050	1104	1137	896	453	699	2862
		5	270	278	69	-143	-76	284	415
		6	162	100	-85	-254	-149	158	17

Ҳалқани узоқ ишлаш муддатини белгилловчи вақтнинг параметри K_0 бўлгани учун, шу вақтнинг абсолют қиймати T_0 бўлади. Бу вақт вақтнинг нисбий қиймати Z билан қуйидагича боғланган

$$T_0 = \frac{Z_{\text{от}}}{3\varepsilon p_0}; \text{бу ерда } Z_0 = K_0 \cdot Z$$

у вақтда

$$T_0 = \frac{K_0 \Delta Z t}{3c \cdot p_0};$$

Шу ифода орқали барча ҳалқаларни узоқ ишлаш муддатлари периметри бўйича ўзгармас босимга эга бўлган

15-жадвал

босим ва ейилишни цилиндрни ейилиши ҳисобга олинган учун ўзгариши

Ўртача нис- бни босим	ψ нинг қийматларида н-сбий ейилиш, δ·10 ⁴							Ўртача нис- бни ейилиш
	0	30°	60°	90°	120°	150°	180°	
1171,6	0	0	0	0	0	0	0	0
981	133	137	120	89	63	122	229	120
909	272	267	232	165	144	250	409	232
851	408	388	322	236	232	373	551	337
811	537	502	405	307	320	489	677	437
757	659	608	483	375	406	599	790	531
1172	0	0	0	0	0	0	0	0
839	375	379	371	334	312	371	455	363
673	740	736	704	646	630	735	809	706
599	1000	1072	1015	950	965	1083	1119	1003
436	1423	1392	1313	1247	1247	1415	1400	1346
348	1741	1698	1599	1538	1603	1733	1660	1648
1172	0	0	0	0	0	0	0	6
744	117	120	112	73	47	106	224	104
531	216	210	174	109	91	196	359	177
387	255	274	209	128	126	266	455	228
286	355	321	229	139	152	321	529	265
213	400	354	241	144	172	364	587	293
1172	0	0	0	0	0	0	0	0
151	328	331	332	285	266	324	406	316
18,4	384	385	372	332	314	300	467	367

ҳалқанинг узоқ ишлаш муддатига нисбатан қиёсланди. Бунинг учун ўзгармас босимга эга бўлган ҳалқани катталикларини «икки штрих» билан, солиштирилаётган ҳалқаларникини эса «бир штрих» билан белгилаймиз, яъни солиштирилаётган ҳалқа учун

$$T'_0 = \frac{K'_0 \Delta Z' t'}{3 \cdot c' \cdot p'_0};$$

ўзгармас босимли ҳалқа учун

$$T_0'' = \frac{K_0'' \cdot \Delta Z'' \cdot t'}{3 \cdot c'' \cdot p_0} ;$$

10-тақсимотга эга бўлган мосланган босимли ҳалқада нисбий ва олинмаган ҳоллари

ξ	γ	K	ψ нинг қийматларида нисбий босим, $p_2/p_0 \cdot 10^3$						
			0	30°	60°	90°	120°	150°	180°
0	0	0	2190	1000	609	610	600	1000	2190
		5	1526	1226	636	349	620	1194	1614
		10	1418	1142	602	356	623	1118	1427
		15	1328	1071	577	336	616	1046	1290
		20	1252	1012	557	372	604	984	1181
		25	1190	964	541	374	590	929	1030
	2	0	2190	1000	600	610	600	1000	2190
		5	1378	1084	517	279	606	1124	1166
		10	1163	892	394	244	510	949	788
		15	997	743	300	212	536	802	531
		20	875	629	221	176	490	683	339
		25	791	543	148	116	448	586	190
1	0	0	2190	1000	600	610	600	1000	2190
		5	1264	916	411	115	379	947	1362
		10	975	728	285	0	240	718	1078
		15	744	544	112	0	175	550	850
		20	553	408	121	0	139	432	666
		25	417	303	88	0	114	344	525
	2	0	2190	1000	600	610	600	1000	2190
		5	629	370	-149	-379	-79	398	411
		6	467	224	-262	-468	-176	252	218

Уларни бир-бирига нисбатини оладиган бўлсак, қуйидагига эга бўламиз.

$$\frac{T_0'}{T_0''} = \frac{K_0' \cdot \Delta Z' \cdot t'}{K_0'' \cdot \Delta Z'' \cdot t''} \cdot \frac{3c'' \cdot p_0''}{3c' \cdot p_0'} ; \quad (43)$$

Бу ифодадаги

$$\left(\frac{\Delta Z'}{\Delta Z''} \right), \left(\frac{t'}{t''} \right), \left(\frac{3c'' p_0''}{3c' p_0'} \right).$$

катталикларни $\left(\frac{T_0'}{T_0''} \right)$ га таъсири профессор Б. Я. Гинц-

бург томонидан мукаммал ўрганилган. Шунинг учун биз бунга тўхталмаймиз. У вақтда бизни ўрганишимиз учун қуйидаги ифода қолади.

16-жадвал

босим ва ейилишни цилиндрни ейилиши ҳисобга олинган учун ўзгариши

Ўртача нисбий босим	Фнинг қийматларида нисбий ейилиш, $\delta \cdot 10^4$							Ўртача нисбий ейилиш
	0	30°	60°	90°	120°	150°	180°	
1170	0	0	0	0	0	0	0	0
1024	209	151	77	53	75	147	230	120
955	394	302	155	97	153	292	420	233
859	566	441	229	142	231	428	590	340
652	727	571	300	188	307	555	744	442
811	880	695	368	235	382	675	886	539
1170	0	0	0	0	0	0	0	0
879	450	395	320	293	324	395	445	363
717	859	769	628	581	649	776	817	703
589	1245	1122	922	860	970	1135	1149	1036
488	1612	1458	1205	1135	1285	1479	1454	1351
405	1967	1787	1478	1405	1594	1809	1738	1657
1170	0	0	0	0	0	0	0	0
782	192	137	61	37	59	131	215	104
588	332	243	101	43	97	234	368	177
432	439	323	125	43	123	313	489	231
332	521	382	142	43	143	375	583	271
256	581	426	155	43	158	423	658	303
1170	0	0	0	0	0	0	0	0
182	400	347	274	252	347	347	399	316
47	464	405	319	291	324	405	459	358

$$\frac{T'_0}{T''_0} = \frac{K'_0}{K''_0} \text{ ёки } \frac{T'_0}{T''_0} = \frac{a' \xi''(x)}{a'' \xi''(x)}, \quad (44)$$

Ҳар бир ҳалқа учун аниқланган «а» ва «х» ларни инобатга олиб, цилиндрни ҳар хил нисбий ейилишлар

ри учун $\frac{T'_0}{T''_0}$ катталиги аниқланди. Натижаси

18-жадвалда келтирилган.

Натижалар шуни кўрсатдики, цилиндр ҳалқага нисбатан тўрт баробар секин ейиладиган двигателларда ($\xi=0,25$) энг узоқ назарий ишлаш муддатига босимнинг биринчи тақсимотига эга бўлган ҳалқа эга

бўлмоқда. Бу эса кутилмаган ҳодиса. Ундан сўнг ҳозирда энг кўп ишлатилаётган еттинчи ва камроқ ишлатиладиган олтинчи босим тақсимотиға эға бўлган ҳалқа эға бўлмоқда.

17-жадвал

(41)-ифодадаги «а» ва «х»нинг қийматлари

Тақсимот	Бурчак ψ	а	х
1	90°	3 368	1.248
2	180°	5.447	0.362
3	180°	5.824	0.458
4	180°	6.372	0.488
	90°	4.05	1.152
5 6	180°	7 6.5	0.378
	90°	4.25	1.08
7	90°	3.758	1.09
8	180°	7.45	0.136
9	90°	2.5	1.0
10	90°	1.77	1.17

Цилиндр ҳалқаға нисбатан икки баробар кам ейиладиган двигателларда ($\xi=0,5$) назарий узоқ ишлаш муддатига эға бўлган босими олтинчи тақсимот бўйича

18-жадвал

Тақсимот қатори	$i = \frac{p_{\max}}{p_0}$	ξ нинг қиймати			
		0,25	0,5	0,75	1,0
1	1.4	2.23	1.5	1.08	1.0
2	1.4	1.5	1.5	1.18	1.18
3	1.4	1.38	1.36	1.26	1.6
4	1.5	1.38	1.15	1.18	0.9
5	1.5	1.65	1.5	1.09	0.72
6	2.05	2.1	1.7	1.2	0.9
7	2.86	2.1	1.3	1.0	0.8
8	2.51	1.7	1.5	1.3	1.13
9	2.2	1.3	1.8	0.83	0.55
10	2.19	1.09	0.65	0.45	0.4

бўлган ҳалқа, ундан сўнг биринчи, иккинчи, тўртинчи, бешинчи ва саккизинчи тақсимотли ҳалқалар эға бўлмоқда. Лекин уларнинг кўрсаткичи олтинчи тақсимотли ҳалқаникидан фақат 0,2 га фарқ қилмоқда. Шу-

ни айтиб ўтиш лозимки, юқори тақсимотли ҳалқага нисбатан паст тақсимотли ҳалқани тайёрлаш технологияси осон ва кам харжли.

Цилиндрнинг ейилиши ҳалқанинг ейилишини $\xi = 0,75$ ни ташкил этганда юқори ишлаш муддатига учинчи тақсимотли ҳалқа эга бўлмоқда. Натижаларнинг таҳлили шуни кўрсатдики ҳар хил босим тақсимотиغا эга бўлган ҳалқаларни узоқ ишлаш муддати цилиндрнинг ейилиши өртиб борган сари қисқариб бормоқда. Лекин ҳаммасиники ҳар хил. Бу шу нарса-ни кўрсатдики, цилиндрлар ҳалқасининг ейилишига нисбатан ҳар хил ейиладиган двигателларда ҳар хил босим тақсимотиغا эга бўлган ҳалқани қўллаш керак. Бу эса ҳалқа ишлаб чиқаришини уларни ҳар хил двигателларда қўллашнинг имкониятларини аниқлаш бора-сидаги олиб бориладиган ишларни мураккаблаштириб юборади. Лекин олинган натижаларга эътибор берсак паст мосланган босимли ҳалқалар цилиндрни ҳар ейилишида ҳам ўзини нисбатан назарий узоқ ишлаш муддатини юқорилигини сақлаб қолмоқдалар. Бу борада айниқса учинчи босим тақсимотиغا эга бўлган ҳалқа ўзининг узоқ ишлаш муддатини бир хиллиги билан ажралиб турмоқда. У ўзининг шу хусусияти билан ҳар хил ейилишли цилиндрлар боп бўлиб турибди.

Цилиндрларнинг ейилишини ҳисобга олувчи назарияга кўра, двигателларда юқори мосланган босимли ҳалқаларни қўллаш эмас, балки паст мосланган босимли ҳалқаларни қўллаш мақсадга мувофиқ бўлиб турилмоқда.

Олинган натижаларга асосланган ҳолда қуйидаги хулосаларни қилиш мумкин.

1. Ҳозирги вақтгача ёниш камерасининг жипслигини орттириш учун цилиндр, поршень, ҳалқа ариқчаси, ҳалқа орасидаги тирқишнинг ёки поршень ва ҳалқани ўлчамлари ва материаллари ўзгартиришдан, ҳамда цилиндрнинг ейилишини ҳисобга олмайдиган назарияга асосланиб, ҳалқани босим тақсимотини ўзгартиришдан фойдаланиб келинди. Лекин ҳақиқий шароитда цилиндрнинг ейилиши рўй беришини ва у ҳалқанинг босим тақсимотиға таъсир этиб унинг босими бирон бир зонасида нолга тушиб қолишини ва ўша ерда тирқиш ҳосил бўлишини ёки бўлмаса олдиндан тирқишга эга бўлган ҳалқалар қўлланилиб уларнинг иш жараёнида у тирқишлар яна ҳам катталашиб ёниш камераси-

ни жипслингига салбий таъсир этишига аҳамият берилмай келинди.

2. Ишлаб чиқилган ҳалқаларни ейилиш назарияси профессор Б. Я. Гинцбург назариясини ривожлантириб юқоридаги камчиликларни ҳисобга олади ва ҳалқаларни ишлаш жараёнида тирқиш ҳосил бўлиш механизминини тушунтириб беради. Бу назарияга асосан тирқиш ҳосил бўлиш учун ҳалқани кўп ейилиши шарт эмас. Бунинг учун цилиндр ейилишини ҳалқанинг ейилишига нисбатан ортиши рўй берса бас. Демак, ҳалқани ишлаш муддатини ошириш учун цилиндрининг ейилишини камайтириш зарур. Цилиндрининг ейилиши ниҳоятда кам бўлган ҳолларда босим тақсимооти Б. Я. Гинцбург назариясига асосланган ҳолда, цилиндри нисбий ейилиши $\xi > 0,2$ ҳолларда янги ҳалқани босим тақсимооти муаллифнинг назариясига кўра танлашни мақсадга мувофиқдир.

3. Цилиндрини ейилиш назариясига кўра, босимни полга тушиб қолиш зонаси нафақат қулф зонасида, балки ҳалқани ярим айланасини ўртасида ҳам рўй бермоқда. Бу эса назарияда янги ҳодисадир. Бундай ҳол ҳалқаларни ейилиши кам бўлса ҳам мойнинг куйишини ортиб кетишини ва натижада двигателларни узоқ ишлаш муддатини қисқариб кетишини тушунтириб бериши мумкин.

4. Цилиндрини ейилиши мавжуд бўлган ҳоллар учун паст мослашган босимли ҳалқаларни қўллаш самаралидир. Чунки уларни, биринчидан, ейилиш бўйича узоқ ишлаш муддати нисбатан яхши сақланса, иккинчидан уларни тайёрлаш технологияси содда ва кам харждир.

5. Юқоридагилардан келиб чиққан ҳолда ҳалқаларни қулф зонасида ёки ярим айланасини ўртасида тирқиши бўлган ҳалқаларни двигателларга қўйиш ва улардан фойдаланишни ман қилишни мақсадга мувофиқдир. Бунинг учун, айниқса, таъмирланган двигателларга қўйглаётган ҳалқаларни бошланғич тирқиши бор ёки йўқлигини аниқловчи махсус назоратдан ўтказишни зарур деб биламиз.

7. ЯНГИ ҲАЛҚАНИ ЕЙИЛГАН ЦИЛИНДРДА ИШЛАШНИ ТАҲЛИЛИ

Ҳалқанинг ишлашига цилиндрини ейилишинини таъсири шубҳасиз эканлиги аниқланди. Лекин амалиётда ҳалқанинг ейилишига цилиндр ейилишини таъсири

ҳисобга олиш ўрнига, кўпинча янги ҳалқани ейилган цилиндрга солиб ишлатиш ҳоллари кўпроқ учраб турибди. Бундай ҳолатни янги ҳалқани узоқ ишлаш муддатига таъсир, периметри бўйича босим тақсимотини ўзгариши тўғрисида маълумотлар йўқ. Аммо шундай маълумотларни бўлиши янги ҳалқани унумли ишлатилиши нуқтан назаридан муҳим техникавий ва иқтисодий аҳамиятга эга.

Маълумки, янги, қисилганда номинал диаметрга эга бўладиган ҳалқани диаметри катталашган цилиндрга ($D + \Delta_0$) солинганда қулф зонасида α_0 бурчак остида тирқиш ҳосил бўлади. Эндиги текширишимизнинг мақсади шу тирқиш иш давомида ҳалқа ва цилиндри ейилиш жараёнида катталашадими ёки тобора кичиклашиб йўқ бўлиб борадими деган саволга жавоб бериш.

Ҳалқанинг периметри бўйича ўзгармас босим тақсимоти ейилган цилиндрга солинганда босимни периметр бўйича қайта тақсимланиши рўй беради.

Ҳалқа қулфдан ўтган ўқ чизиққа нисбатан симметрик бўлгани учун бундан кейин ярим ҳалқа билан иш кўрамыз. Ярим ҳалқадаги босимни бурчак φ га нисбатан ўзгаришини ифодаси бўлганда эди уни (28) ифодага қўйиб бошқа бошланғич ва охириги шартлар асосида сонлар ёрдамида ечишимиз мумкин эди. Лекин ҳозирча бундай қонуниятга эга эмасмиз. Шунинг учун цилиндр билан жипслашган ейни бўлақларга бўлиб ҳар бир бўлақдаги ейилишни алоҳида-алоҳида аниқлаймиз. Шунга кўра, ҳар бир бўлақдаги босим қонуниятини белгилаймиз. Лекин бир бўлақдан иккинчи бўлаққа ўтиш жойида математик нуқтан назардан туташ шартларини бажарамиз.

Шунга кўра, жипслик ҳосил қилаётган ёй уч бўлақка бўлинган

I — бўлақ ($0 < \varphi < \alpha_1$) — бир хил босимли,

II — бўлақ ($\alpha_1 < \varphi < \alpha_2$) — босим ортиб $\rho_{\max}$ га етиши,

III — бўлақ ($\alpha_2 < \varphi < \alpha_0$) — босим $\rho_{\max}$ дан полга тушиши.

Янги ҳалқани катта цилиндрга солганда рўй берадиган ҳодиса профессор Б. Я. Гинцбургни ҳалқани цилиндр шаклига мослашуви назариясида мукамал ўрганилган [19]. Шунга кўра, тирқишга тўғри келадиган ёйнинг катталиги α_0 қуйидагича аниқланади.

$$\alpha_0 = \arccos(1-D), \quad (45)$$

бу ерда $D = 3\pi\Delta_0/2A$; A — эркин турган ҳалқа қулфини кенглиги, Δ_0 — цилиндр диаметрини номинал қийматдан катталлиги.

Белгиланган участкалар учун қуйидаги босимларни ўзгариш қонуниятларини қабул қиламиз.

I бўлак учун

$$p(\gamma) = p_0(1-D),$$

II бўлак учун

$$p(\gamma) = 4p_0 \left(\frac{p_{\max}}{p_0} - D \right) (A_0 - 1) \left(\frac{\gamma - \alpha_2}{\alpha_1 - \alpha_2} \right)^2 \left[\frac{4(\gamma - \alpha_2)}{\alpha_1 - \alpha_0} - 3 \right] + A_0 p_0 (1 - D) \quad (46)$$

III бўлак учун

$$p(\gamma) = 4p_0 \left(\frac{p_{\max}}{p_0} - D \right) A_0 \left(\frac{\gamma - \alpha_0}{\alpha_1 - \alpha_0} \right)^2 \left[3 - \frac{4(\gamma - \alpha_0)}{\alpha_1 - \alpha_0} \right]$$

Лекин қабул қилинган босимнинг қонуниятлари қуйидаги шартларга бўйсунishi шарт

$$\begin{aligned} p_{III}(\alpha_2) &= p_{II}(\alpha_2) = A(p_0 + q); \quad p_I(\alpha_1) = p_{II}(\alpha_2) = p_0 + q; \\ p_{III}(\alpha_2) &= 0; \quad p'_{III}(\alpha_0) = 0; \quad p'_{II}(\alpha_2) = p'_I(\alpha_2) = 0. \end{aligned} \quad (46')$$

бу ерда q — бир хил босимли ҳалқани ейилган цилиндрга солинганда α_0 бурчакни ҳосил бўлишидан I-участкага таъсир этаётган қўшимча босим. Унинг миқдори шу ҳолат учун $q = -p_0 D$; 46-ифодадаги A_0 коэффициентининг миқдори ҳалқани қулфдан ўтган ўқ чиқиққа нисбатан симметрик шартдан топилади. Шу шартга кўра қулфдан ўтган ўқ чиқиққа нисбатан кучларни муво анатли тенгламасини тузамиз, яъни

$$\int_0^{\alpha_1} p(\gamma) \cos \gamma d\gamma + (p_0 + q) \int_{\alpha_1}^{\pi} \cos \gamma d\gamma = 0 \quad (47)$$

тенгламада $p(\gamma)$ ўрнига ҳар бир участка учун ўзининг қийматини (46) дан олиб қўйиб тегишли ўзгартишлар киритилгандан сўнг

$$A_0 = \frac{\sin \alpha_1 + D_1 b_1 - D_2 b_2}{\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2 + D_1 (B_1 - S_1) - D_2 (B_2 + S_2)}, \quad (48)$$

бу ерда

$$D_1 = \frac{16}{(x - x_0)^3}; \quad D_2 = \frac{-12}{(x_1 - x_0)^2};$$

B_1, B_2, S_1 ва S_2 -ларнинг қиймати 19-жадвалда келтирилган.

7.1. БОШЛАНҒИЧ ДИАМЕТРИ КАТТА БУЛГАН ЦИЛИНДРДА ҲАЛҚАНИ ЕЙИЛИШИ БИЛАН БОСИМИ УРТАСИДАГИ БОҒЛАНИШ

Агар ҳалқани диаметри олдиндан $\Delta_0 = 2\Delta$ катталиikka кенгайган цилиндрга солинганда уни ўқ чизигидаги ҳар бир нуқта қисилган ҳолатга ўтиш билан $U' = U - \Delta - \tau - \tau_c$ масофага силжийди. Бу шарт ҳалқа билан цилиндр ҳосил қилаётган ёйга тааллуқли.

Агар $D + \Delta_0$ диаметрга эга бўлган цилиндрнинг айланаси ва баландлиги бўйича бир хил ейилади деган шартни қабул қилсак, унинг периметри бўйича босими қуйидаги ифода орқали аниқланади.

$$p_2 = (1 - \delta)^3 p^I - \frac{6}{r^2} \frac{dM^I}{d\psi} \frac{d\delta}{d\psi} - \frac{3}{r^2} M^I \frac{d\delta}{d\psi} - \\ - p_0 \delta (1 - \delta)^3 \times \left(\delta + 2 \frac{d^2 \delta}{d\psi^2} + \frac{d^4 \delta}{d\psi^4} \right) + p_0 \delta \left(\xi \delta_{yp} + \right. \quad (49) \\ \left. + \delta_\Delta \right) \left[3 \frac{d^2 \delta}{d\psi^2} - (1 - \delta)^3 \right], \text{ бу ерда } \delta_\Delta = \Delta / t$$

бу ерда (49) ифода (13) ифодага ўхшаш, лекин айнан унинг ўзи эмас. Чунки (49) ифодадаги момент M нинг қиймати (13) ифоданикидан тубдан фарқ қиләди. Унинг устига (49) ифода орқали учала бўлақдаги босим алоҳида-алоҳида аниқланади. Ҳар бир участкадаги босим аниқланаётганда шу участкадаги моментнинг миқдори қўйилади. Биринчи, асосий бўлақдаги M^I нинг қиймати исталган φ бурчак остидаги кесимга нисбатан куч ёки босимларни моментини ёзиш билан аниқланади, яъни.

$$M^I = r^2 \int_{\alpha_0}^{\alpha_2} p^{III}(\gamma) \sin(p - \gamma) d\gamma + r^2 \int_{\alpha_2}^{\alpha_1} p^{II}(\gamma) \sin(\varphi - \gamma) d\gamma + \\ + r^2 \int_{\alpha_1}^{\alpha_0} p^I(\gamma) \sin(\varphi - \gamma) d\gamma$$

A_0 ва A_1 коэффициентларини аниқлашдаги катталикларнинг миқдори

Катталикларни белгиси	Катталикларнинг аниқланиши
1	2
B_1	$K_1 + 3a_2 K_2 - 3K_3 a_2^2 + K_4 a_2^3$
B_2	$K_4 a_2^2 - 2K_3 a_2 - K_2$
K_1	$(3a_1^2 - 6) \cos \alpha_1 + (a_1^3 - 6a_1) \sin \alpha_1 - (3a_2^2 - 6) \cos \alpha_2 - (a_2^3 - 6a_2) \sin \alpha_2$
K_2	$2a_1 \cos \alpha_1 + (a_1^2 - 2) \cos \alpha_1 - 2a_1 \cos \alpha_2 - (a_2^2 - 2) \cos \alpha_2$
K_3	$\cos \alpha_1 + a_1 \sin \alpha_1 - \cos \alpha_2 - a_2 \sin \alpha_2$
K_4	$\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2$
S_1	$\Pi_1 + 3a_0^2 \Pi_3 - a_0^3 \Pi_4 - 3a_0 \Pi_2$
S_2	$\Pi_2 - 2a_0 \Pi_3 + a_0^2 \Pi_4$
Π_1	$(3a_2^2 - 6) \cos \alpha_2 + (a_2^3 - 6a_2) \sin \alpha_2 - (3a_0^2 - 6) \cos \alpha_0 - (a_0^3 - 6a_0) \sin \alpha_0$
Π_2	$2a_2 \cos \alpha_2 + (a_2^2 - 2) \cos \alpha_2 - 2a_0 \cos \alpha_0 - (a_0^2 - 2) \cos \alpha_0$
Π_3	$\cos \alpha_2 + a_2 \sin \alpha_2 - \cos \alpha_0 - a_0 \sin \alpha_0$
Π_4	$\sin \alpha_2 - \sin \alpha_0$
$J_{3,1}$	$A_{3,1} \ln(\varphi - \alpha_2) + A_{3,2} \cos(\varphi - \alpha_2) - a_0 \ln(\varphi - \alpha_0) + 2 \cos(\varphi - \alpha_0)$
$A_{3,1}$	$2a_2 - a_0$
$A_{3,2}$	$(a_2 - a_0)^2 - 2$
$J_{3,2}$	$D_{3,1} \ln(\varphi - \alpha_2) + D_{3,2} \cos(\varphi - \alpha_2) + C \sin(\varphi - \alpha_0)$
$D_{3,1}$	$3(a_2 - a_0)^2 - 6$
$D_{3,2}$	$(a_2 - a_0)^3 - 3(a_2 - a_0)$
$I_{2,1}$	$F_{3,1} \ln(\varphi - \alpha_1) + F_{3,2} \cos(\varphi - \alpha_1) + 6 \sin(\varphi - \alpha_2)$

1	2
$F_{3.1}$	$3(\alpha_1 - \alpha_2)^2 - 6$
$F_{3.2}$	$(\alpha_1 - \alpha_2)^3 - 6(\alpha_1 - \alpha_2)$
$I_{2.2}$	$E_{3.1} \ln(\varphi - \alpha_1) + E_{3.2} \cos(\varphi - \alpha_1) - \alpha_0 \ln(\varphi - \alpha_2 +$ $+ 2\cos(\varphi - \alpha_2))$
$E_{3.1}$	$2\alpha_1 - \alpha_2$
$E_{3.2}$	$(\alpha_1 - \alpha_2) - 2$
$I_{3.2}$	$\cos(\varphi - \alpha_1) - \cos(\varphi - \alpha_2)$
$I'_{3.1}$	$A'_{3.1} - \alpha_0 \sin(\varphi - \alpha_0) + 2\cos(\varphi - \alpha_0)$
$A'_{3.1}$	$2\varphi - \alpha_0$
$A'_{3.2}$	$\varphi - \alpha_0)^2 - 2$
$I'_{3.2}$	$(D_{3.2} + 6(\varphi - \alpha_0))$
$D'_{3.1}$	$3(\varphi - \alpha_0)^2 - 6$
$D_{3.2}$	$(\varphi - \alpha_0)^3 - 6(\varphi - \alpha_0)$
$I'_{3.2}$	$F'_{3.2} + 6\sin(\varphi - \alpha_2)$
$F'_{3.1}$	$3(\varphi - \alpha_2)^2 - 6$
$F_{3.2}$	$(\varphi - \alpha_2)^3 - 6(\varphi - \alpha_2)$
$I'_{2.2}$	$F'_{3.2} - \alpha_0 \ln(\varphi - \alpha_2) + 2\cos(\varphi - \alpha_2)$
$E'_{3.1}$	$2\varphi - \alpha_2$
$E_{3.2}$	$(\varphi - \alpha_2)^2 - 2$
$I'_{2.3}$	$1 - \cos(\varphi - \alpha_2)$

Ушбу ифодани ечилиши қуйидагича

$$M^I = (\rho_0 + q)r^2 |1 - \cos(\varphi - \alpha_1)| - B_{21} \cdot I_{21} + B_{22} \cdot I_{22} + B_{23} \cdot I_{23} + B_{31} \cdot I_{31} + B_{32} \cdot I_{32}, \quad (50)$$

Иккинчи бўлак учун

$$M^{II} = B_{21} \cdot I'_{21} + B_{22} \cdot I'_{22} + B_{23} \cdot I'_{23} + B_{31} \cdot I_{31} + B_{32} \cdot I_{32}, \quad (51)$$

Учинчи бўлак учун

$$M^{III} = P_{31} \cdot I'_{31} + B_{32} \cdot I'_{32}, \quad (52)$$

бу ерда

$$B_{21} = 16 \frac{r^2}{(z_1 - z_0)^2} (p_{\max} + q) (A_0 - 1);$$

$$B_{22} = -12 \frac{r^2}{(z_1 - z_0)^2} (p_{\max} + q) (A_0 + 1).$$

$$B_{23} = A_0 r^3 (p_{\max} + q); \quad B_{31} = \frac{12r^2}{(z_1 - z_0)} (p_{\max} + q) A_0;$$

$$B_{32} = -16 \frac{r^2}{(z_1 - z_0)} \cdot A_0 (p_{\max} + q).$$

Қолган коэффициентлар 19-жадвалда келтирилган.

Юқорида аниқланган ҳар бир бўлакнинг моментини кетма-кет (49) ифодага қўйилса ҳар бўлак учун ейилиш даврида ҳалқанинг периметри бўйича босимнинг ўзгариши топилади.

7.2. ДИАМЕТРИ КАТТАЛАШГАН ЦИЛИНДРДА ИШЛАЕТГАН ҲАЛҚАНИ ЁЙИЛИШНИ ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАСИ

Ҳалқа ейилишини дифференциал тенгламаси бўлиб, (40) ифода хизмат қилиши мумкин. Лекин бу ерда иккита нарс ҳисобга олиниши зарур. Биринчидан, цилиндри бошланғич диаметри Δ_0 катталиқка ортиқлиги, иккинчидан, ҳар бир бўлак учун ейилишни алоҳида аниқланиши. Бунинг учун эса (40) ифодадаги p/p_0 нинг ўрнига қайси бўлакнинг ейилиши аниқланаётган бўлса, шу бўлакнинг босимини (46) ифодадан олиб қўйиш керак, яъни I бўлак p^I/p_0 , II бўлак учун p^{II}/p_0 III бўлак учун p^{III}/p_0 .

Шуларни ҳисобга олсак, ейилишни дифференциал тенгламасининг умумий кўриниши қуйидагича бўлади.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \delta}{\partial z} = & \frac{\gamma}{3} + \frac{(1-\gamma)^3}{3} \frac{p^I}{r_0} - \frac{2}{r_0 p_0} \frac{\partial p^I}{\partial r} + \beta (1-\delta)^3 \times \\ & \times \left(\delta + 2 \frac{\partial^2 \delta}{\partial r^2} + \frac{\partial \delta}{\partial r} \right) + \frac{1}{3} \beta (\delta_{\text{ср}} + \delta_1) \left[3 \left(\frac{\partial^2 \delta}{\partial r^2} - (1-\delta)^3 \right) \right], \end{aligned} \quad (53)$$

бу ерда $i = I, II, III$ бўлаклар. Вутенгламани ечиш учун бошланғич ва чегаравий шартлар қуйидагича. Бошланғич шарт $Z=0$ бўлганда $\delta=0$ чегаравий шарт $\psi=0$ бўлганда $\partial\delta^I/\partial\psi=0$, $\psi=\pi-\alpha_1$ бўлганда

$$\left. \begin{aligned} \delta^I &= \delta^{II}; \quad \frac{\partial\delta^I}{\partial Z} = \frac{\partial\delta^{II}}{\partial\psi}; \quad \frac{\partial^2\delta^I}{\partial\psi^2} = \frac{\partial^2\delta^{II}}{\partial\psi^2}; \quad \frac{\partial^3\delta^I}{\partial\psi^3} = \frac{\partial^3\delta^{II}}{\partial\psi^3}; \\ \psi &= \pi - \alpha_2 \text{ бўлганда} \\ \delta^{II} &= \delta^{III}; \quad \frac{\partial\delta^{II}}{\partial\psi} = \frac{\partial^2\delta^{III}}{\partial\psi^2} = \frac{\partial^2\delta^{III}}{\partial\psi^2}; \quad \frac{\partial^2\delta^{III}}{\partial\psi^2} = \frac{\partial^3\delta^{III}}{\partial\psi^3}; \\ \psi &= \pi - \alpha_0 \text{ бўлганда} \\ \delta &= 0, \quad \delta^{III} + \frac{\partial^2\delta^{III}}{\partial\psi^2} = 0; \quad \frac{\partial\delta^{III}}{\partial\psi} + \frac{\partial^3\delta^{III}}{\partial\psi^3} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (54)$$

Лекни (53) ифодани сонлар ёрдамида ечиш пайтида (50), (51), (52) ифодалардаги координата бошини $\xi=\pi-\psi$ деб олиш керак.

7.3. ДИАМЕТРИ КАТТА ЦИЛИНДРДА ИШЛАЕТГАН ЯНГИ ҲАЛҚАНИНГ ЕЙИЛИШИ ВА БОСИМНИНГ УЗГАРИШИ

Юқоридаги (49) ва (53) ифодалар (54) шартлар асосида сонлар ёрдамида ечилди. Олинган маълумотларни олдинги маълумотлар билан солиштириш учун ξ ва ψ нинг қийматлари ўзгаришсиз қолдирилди. Цилиндр диаметрини номинал қийматдан ортиқлигини ҳар хил қилиб олинади, яъни $\Delta=0; 0,1; 0,5$ мм.

Ҳисоблар шуни кўрсатдики, янги ҳалқани диаметри катта бўлган цилиндрга солиб ишлатилса, унинг периметри бўйича ўртача босим тез камаяди. Унинг устига қулф зонасида босимни тез камайиши ва шу зонада тирқиш ҳосил бўлиши аниқланди. Бу тирқиш ейилиш давомида кичрайиб йўқолиб бормай, катталашиб бориши кузатилади. Бу ҳолат қулф зонасида паст босимга эга бўлган ҳалқалардагина рўй бермасдан, балки юқори босимга эга бўлган ҳалқаларда ҳам рўй бермоқда. Барча ҳалқаларда тирқиш фақат қулф зонасида ҳосил бўлмоқда.

Кузатишлар натижасида шуларни айтиш мумкинки, янги ҳалқани ейилган цилиндрга ёки тайёрланаётган пайтда хатолик натижасида диаметри катта тайёрланиб қолган цилиндрга солиб ишлатиш кутилган натижани бермайди ва у ҳалқалар муддатидан аввал

ишдан чиқадилар. Шунинг учун бундай ҳодисаларнинг олдини олиш, айниқса, таъмирлаш корхоналарида бу ишга алоҳида эътибор бериш зарур.

8. ИШЧИ ЦИКЛ ДАВОМИДА ЦИЛИНДР ВА ҲАЛҚАНИ ЕЙИЛИШИ ТУҒРИСИДА БАЪЗИ БИР МУЛОҲАЗАЛАР

Юқорида кўриб ўтилдики, шу вақтгача поршень ҳалқаларини ейилишини тадқиқот қилишда цилиндрни ейилиши ҳисобга олинмаган. Биринчи маротаба назариядаги бу камчилик муаллиф томонидан бартараф қилиниб цилиндри еийилишини ҳисобга олувчи ҳалқани ейилиш назарияси яратилди. Лекин мазкур назарияга кўра ҳалқа ўзининг баландлигига тенг бўлган намуна билан ишқаланиб ишлайди деб фараз қилинади. Бундай ҳолатда ейилиш учун асосий ролни вақт ўйнайди. Шунга қарамасдан бу назариянинг аҳамияти каттадир. Чунки у ейилиш натижасида босим тақсимоти қайтадан тақсимланишини (ейилишнинг катталигига боғлиқ равишда) ва тирқиш ҳосил бўлишининг механизмининг тушунтиради ҳамда у ёки бу двигатель учун узоқ ишлаш муддати юқори бўлишини таъмирловчи босим тақсимотига эга бўлган ҳалқани танлаш имкониятини беради. Унинг устига ҳалқани «шартли» узоқ ишлаш муддати билан цилиндри еийилиш ўртасида боғлиқлик мавжуд эканлигини исботлади. Шунга қарамасдан двигателда бажарилаётган ишчи цикл давомида ҳалқанин еийилишини цилиндри еийилишини ҳисобга олган ҳолда тадқиқот қилиш ўзига хос назарий ҳамда амалий аҳамиятга эга. Чунки бу ҳалқани еийилиш назариясининг мантикий давоми бўлиб, бизнинг фикримизча, якунловчи босқичлардан бири ҳисобланади.

Масаланинг бундай қўйилиши ҳалқаларни бундай еийилишини ҳар бир такт бўйича аниқланишини тақозо этади. Лекин бу ҳолда ҳам ҳалқани еийилиш суръати бизга маълум бўлган ифода орқали аниқланади деб қарашимиз мумкин, яъни

$$\frac{\partial \tau}{\partial S} = c(p_2 + p_r)$$

бу ерда S — ишқаланиш масофаси.

Ҳар бир такт давомида ишқаланиш масофаси $0 < S < S'$ чегарада ўзгариши мумкин, S' — поршень йўли.

Масалани ечишни осонлаштириш учун ҳалқа билан цилиндр бир хил материалдан тайёрланган деб фикр қиламиз. Бу эса ҳар бир цилиндр белбоғидаги ейилишга тенг деб қарашимизга имкон беради.

Цилиндр поршень группасини ишончли ишлашида биринчи ҳалқанинг аҳамияти катта бўлгани учун биз фақат шу биринчи ҳалқа билан цилиндри мунособатини ўрганамиз. Керак бўлган ҳолларда шу масаланинг ечилишига асосан бошқа ҳалқаларни ҳам ўрганиш мумкин.

Муаммони ўрганишдан аввал қуйидагиларни ҳисобга олиш зарур:

1. Киритиш такти давомида ейилган ҳалқани қайишқоқлигидан ҳосил бўлаётган босим p_2 остида рўй беради. Бу вақтда цилиндри ейилиши $\tau_{\text{ц}}^{\text{к}}$ тенг. Бу ерда

p_2 нинг қиймати (37) орқали аниқланади, $\xi=0$ деб қабул қилинади.

2. Қисиш такти давомида ейилиш ҳалқани қайишқоқлигидан ҳосил бўлаётган p_2 босим ва ҳалқа ортидаги газларнинг босими $p_{\text{г}}^{\text{к}}$ ларнинг йиғиндиси остида рўй беради, яъни $p_2 = p_2 + p_{\text{г}}^{\text{к}}$, бу ҳол учун $\xi \neq 0$.

3. Кенгайиш тактида ҳам ейилиш $p_2 = p_2 + p_{\text{г}}^{\text{к}}$ орқали аниқланади. Бу ҳол учун ҳам $\xi \neq 0$. Чунки цилиндри ейилиши энди $\tau_{\text{ц}}^{\text{к}} + \tau_{\text{ц}}^{\text{к}}$ га тенг.

4. Чиқариш такти давомида ейилиш фақат p_2 босим таъсирида рўй беради деб қараш мумкин. Лекин ξ нинг қийматини аниқлашда цилиндри киритиш, қисиш ва кенгайиш тактлари давомидаги ўртача ейилишларининг йиғиндиси ҳисобга олинади, яъни $\tau_{\text{ц}}^{\text{к}} + \tau_{\text{ц}}^{\text{к}} + \tau_{\text{ц}}^{\text{кен}}$.

5. Иккинчи циклни киритиш тактидаги ейилишни ҳисобга олишда $\xi \neq 0$ деб қабул қилинади, чунки цилиндр ва ҳалқа энди биринчи цикл давомида ейилган бўлади. Шу услуб билан ҳар бир цикл давомидаги ейилишни аниқлаш мумкин.

Қисиш ва кенгайиш тактларидаги ҳалқа ортидаги босимларнинг ўзгариши индикатор босимини ўзгариши каби деб қараш мумкин [20] яъни:

а) қисиш такти учун

$$p_{\text{г}}^{\text{к}} = a \left(\frac{x}{s} \right)^b$$

б) кенгайиш такти учун

$$p_r^k = a' \left(\frac{x}{s} \right)^{b'}$$

бу ерда a, a', b, b' — эксперимент йўли билан аниқланувчи коэффициентлар, x — пастки чекка нуқтадан белгиланган кесимгача бўлган масофа, S — поршень йўли. Ушбу масалани ҳам сонлар ёрдамида ечиш яхши натижа беради.

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. Аллилуев В. А., Ждановский Н. С., Николаенко А. В. — Техническая диагностика тракторов и зерноуборочных комбайнов. М., Колос. 1978 г. С. 86—98.
2. Худойбердиев Т. С. — Улучшение ресурсных показателей дизелей сельскохозяйственных тракторов с воздушным охлаждением в условиях Среднеазиатского региона путем повышения герметичности камеры сгорания. Дисс. на соискание ученой степ. док. техн. наук. С.-Петербург. 1992 г. С. 306.
3. Бурштейн Л. М. — Определение расхода масла на угар при выборе величины зазора «поршень — гильза». Двигателестроение, 1984, № 4, с. 48—50.
4. Гааг В. В. — Методика экспериментального исследования параметров слоя смазки сопряжения гильза — поршень ДВС. Челябинск: Труды ЧИМЭСХ. 1975, вып. 107, с. 66—69.
5. Левин Д. М. — Износ цилиндров и поршневых колец. Тр. Совещания. Изд-во АН СССР. М., 1954.
6. Энглиш К. — Поршневые кольца. М.: Машиз. 1962, т. 1, с. 9—141, 583.
7. Гинцбург Б. Я., Эфрос В. В., Огнева Е. Г., Худойбердиев Т. С. — Профилирование профиля юбки поршней для повышения износостойкости двигателей с воздушным охлаждением. М.: Труды ВСХИЗО, 1979, вып. 152.
8. Гинцбург Б. Я. — Теория поршневого кольца. М. 1978. С. 271.
9. Бурляев М. С. — Причина повышенного расхода масла через камеру сжатия в изнашивающихся двигателях. Дисс. на соиск. канд. техн. наук — Челябинск, 1950.
10. Вахтел В. Ю., Карчер Б. М. — Влияние геометрии цилиндра на работу поршневых колец ДВС. Респуб. научно-технический сборник. Вып. 21. Харьков: Вышш школа. 1975. С. 86—92.
11. Козьменко В. И. — Снижение расхода масла в дизелях типа Д6 и Д12. Ленинград: Тр. ЦНИДИ. 1981, № 6, с. 68—72.
12. Гинцбург Б. Я., Эфрос В. В., Огнева Е. Г., Худойбердиев Т. С. — Профилирование овала юбки поршней для повышения износостойкости двигателей с воздушным охлаждением. М.: Труды ВСХИЗО, 1979, вып. 152.
13. Эбихара К., Какубари Т. — Изменение распределения давления ПК при износе. Reports of Institute Physical and chemical research, Vol 36, № 5—6, Tokyo, 1960.

14. Вайнберг И. М. — Пути повышения долговечности хромированных поршневых колец. Вестник машиностроения, 1952, № 1.

15. Тартаковский И. Б. — Корреляционные уравнения износа//Вестник машиностроения, 1962, № 2.

16. Пружанский Л. Ю. — Определение удельных давлений поршневого кольца по его износу//Вестник машиностроения, 1962, № 2, с. 26—28.

17. Голицын Ю. А., Боровских И. П. — Исследование перераспределения упругого давления ПК при износе. СБ науч. тр. Сарат. СХИ. Саратов, 1975, с. 44—65.

18. Гончаренко В. Г. — Исследование поршневых колец. Саратов, 1961, с. 197.

19. Рабинович А. Ш. — Аналитическое исследование начального износа поршневого кольца. М.: Оборонгиз, 1952, с. 102—125.

20. Заренбин В. Г., Орлин А. С. — Экспериментальное определение давления газов в заколочном пространстве быстрого дизеля. «Известия высших учебных заведений», раздел «Машиностроение», 1968, № 7. С. 48—57.

МУНДАРИЖА

Кириш	3
1. Ениш камераси герметиклигини оширишда поршень — цилиндр ҳалқаларининг роли	6
1.1. Ҳалқанинг ишлашига цилиндр билан поршень орасидаги тирқишнинг таъсири	7
1.2. Поршень ҳалқасининг ишига цилиндр шаклининг таъсири	8
1.3. Ҳалқанинг ишига поршень ариқчаси билан ҳалқа орасидаги тирқишнинг таъсири	11
2. Поршень ҳалқаси ейилиш назарияларининг таҳлили	13
3. Поршень ҳалқаси назариясининг асосий катталиклари	17
4. Цилиндрнинг ейилишини ҳисобга олиб ҳалқани ейилишини текшириш ($p = \text{const}$ ҳолат учун)	19
4.1. Поршень ҳалқасининг ейилиш суръатини дифференциал тенгламаси	19
4.2. Эгувчи момент билан ҳалқанинг қалинлиги орасидаги боғланиш	20
4.3. Ейилаётган ҳалқанинг периметри бўйича босимнинг ўзгаришини дифференциал тенгламаси	22
4.4. Периметри бўйича ўзгармас босимли ҳалқани ($p = \text{const}$) ейилишининг дифференциал тенгламаси	24
4.5. Ейилишни дифференциал тенгламасини $p = \text{const}$ учун ечиш	25
4.6. Ейилиш жараёнида ҳалқа периметри бўйича босимини ўзгаришининг натижалари	27
5. Цилиндрнинг ейилишини ҳисобга олган ҳолда мосланган босимли ҳалқани ейилишини текшириш	33
5.1. Ейилаётган мосланган босимли ҳалқанинг периметри бўйича босимнинг ўзгариши	35
5.2. Мосланган босимли ҳалқанинг ейилишини дифференциал тенгламаси	36
5.3. Ейилишни дифференциал тенгламасини ечиш	36
5.4. Ейилиш жараёнида периметри бўйича мосланган босимнинг ўзгариши	37
6. Ҳар хил тақсимотли ҳалқаларнинг «назарий» ишлаш муддатларини қиёслаш	41
7. Янги ҳалқани ейилган цилиндрда ишлашини таҳлили	48
7.1. Бошланғич диаметри катта бўлган цилиндрда ҳалқани ейилиши билан босим ўртасидаги боғланиш	51

7.2. Диаметри катталашган цилиндрда ишлаётган ҳалқани ейилишининг дифференциал тенгламаси . . .	54
7.3. Диаметри катта цилиндрда ишлаётган янги ҳалқанинг ейилиши ва босимининг ўзгариши . . .	55
8. Ишчи цикл давомида цилиндр ва ҳалқани ейилиши тўғрисида баъзи бир мулоҳазалар	56
Фойдаланилган адабиётлар	59

Худайбердиев Талибжан Салиевич

ТЕОРИЯ ИЗНОСА ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ

На узбекском языке

Ташкент, «Фан»

Анджон Қишлоқ хўжалик институти Илмий кенгаши
томоидан нашрга тавсия этилган.

Муҳаррир А. Комилова
Техмуҳаррир Ф. Нуриддинова
Мусахҳиҳ М. Саидова

ИБ № 6634

Теринга рухсат берилди 11.09.95. Босишга рухсат олинди 28.12.95. Қоғоз бичими 84×108^{1/32}. «Газетная» қоғози. Юқори босма. Адабий гарнитура. Шартли босма т. 3,36. Ҳисоб-нашриёт т. 2,6. 500 нусха. 99-букюртма. Келишилган нархда.

ЎзР ФА «Фан» нашриёти: 700017, Тошкент, Гоголь кўчаси, 70.
ЎзР ФА «Фан» нашриётининг босмахонаси: 700170, Тошкент, акад. Х. Абдуллаев шоҳ кўчаси, 79.

