

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ  
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ**

**DSc.03/10.12.2019.T.03.03 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**МУКОЛЬЯНЦ АРСЕН АРТЁМОВИЧ**

**ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОР ҚУРИЛМАЛАРИ АСОСИДА ЭНЕРГИЯ  
МАНБАЛАРИНИНГ ЭНЕРГОСАМАРАДОР СХЕМАЛАРИНИ  
ИШЛАБ ЧИҚИШ**

**05.05.01 – Энергетика тизимлари ва мажмуалари**

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

**Тошкент – 2023**

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

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

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

**Мукольянц Арсен Артёмович**

Детандер-генератор қурилмалари асосида энергия манбаларининг  
энергосамадардор схемаларини ишлаб чиқиш .....3

**Мукольянц Арсен Артёмович**

Разработка энергоэффективных схем источников энергии на  
основе детандер–генераторных установок .....23

**Mukolyants Arsen Artyomovich**

Development of energy efficient schemes of energy sources based on detander-  
generator devices ..... 43

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ  
List of published works.....46

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ  
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ**

**DSc.03/10.12.2019.T.03.03 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**МУКОЛЬЯНЦ АРСЕН АРТЁМОВИЧ**

**ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОР ҚУРИЛМАЛАРИ АСОСИДА ЭНЕРГИЯ  
МАНБАЛАРИНИНГ ЭНЕРГОСАМАРАДОР СХЕМАЛАРИНИ  
ИШЛАБ ЧИҚИШ**

**05.05.01 – Энергетика тизимлари ва мажмуалари**

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

**Тошкент – 2023**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар вазирлиги ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2023.2.PhD/Т1824 рақами билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Ислон Каримов номидаги Тошкент давлат техника университетида бажарилган.  
Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус ва инглиз (резюме)) илмий кенгаш веб-саҳифасида ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) ва «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:**

**Таслимов Абдурахим Дехканович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Расмий оппонентлар:**

**Ишназаров Ойбек Хайруллаевич**  
техника фанлари доктори, профессор

**Матчанов Эркин Казакбаевич**  
техника фанлари номзоди, доцент

**Етакчи ташкилот:**

**“Иссиқликэлектрлойиҳа” АЖ**

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.03/10.12.2019.Т.03.03 рақамли Илмий кенгашнинг 2023 йил «\_\_» \_\_\_\_\_ соат \_\_\_\_\_ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўчаси, 2-уй. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32, [e-mail: tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz)).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (\_\_\_\_ рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўчаси, 2-уй. Тел.: (99871) 207-14-70).

Диссертация автореферати 2023 йил «\_\_» \_\_\_\_\_ куни тарқатилди.

(2023 йил «\_\_» \_\_\_\_\_ даги \_\_\_\_ рақамли реестр баённомаси).

**Қ.Р. Аллаев**

Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш раиси,  
техника фанлари доктори, профессор, академик

**И.У. Раҳмонов**

Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш илмий котиби,  
техника фанлари доктори, доцент

**Т.Ш. Гайибов**

Илмий даражалар берувчи илмий  
кенгаш қошидаги илмий семинар раиси,  
техника фанлари доктори, профессор

## КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда электр ва иссиқлик энергиясини ишлаб чиқаришга сарфланадиган ёқилғи сарфини камайтириш учун юқори самарали технологияларни ривожлантиришга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Ҳозирги вақтда аксарият мамлакатларда саноат ва қишлоқ хўжалигида ишлаб чиқаришнинг энергия сифимдорлиги (0,15-0,2 минг к.н.э. / доллар) АҚШ ва Ғарбий Европа билан таққослаганда анча юқори (0,11 минг к.н.э. / доллар), шунингдек "катта энергетика" секторига тегишли электр станцияларининг термодинамик самарадорлиги анча паст<sup>1</sup>. Бу борада, жумладан энергия ишлаб чиқаришда янги технологияларнинг ривожланиши ва жорий этилиши сабабли энергияни биргаликда ишлаб чиқариш ва ундан иккиламчи ресурс сифатида фойдаланиш масалаларига катта эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда энергия ишлаб чиқаришнинг самарадорлигини ошириш, энергия ресурсларидан оқилона фойдаланиш, атроф-муҳитни ифлослантирувчи моддалар чиқиндиларини камайтириш, шу билан экологик вазиятни яхшилаш, саноат ишлаб чиқариши самарадорлигини ошириш бўйича илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан детандер-генератор агрегати ва иссиқлик насос ускунасига асосланган ёқилғисиз қурилмалардан фойдаланган ҳолда, ташиладиган табиий газнинг ортиқча босим энергиясидан фойдаланиш асосида энергия ишлаб чиқариш самарадорлигини оширишга имкон берадиган техник ечимларни ишлаб чиқиш ва тадқиқ қилиш долзарб вазифалардан ҳисобланади.

Республикамызда 2030 йилга келиб электр энергиясини ишлаб чиқаришни икки баравар кўпайтириш ва иқтисодиётнинг энергия сифимдорлигини бир ярим баравар камайтириш мақсадида янги технологик ечимларни яратиш ва такомиллаштириш, шунингдек жорий этиш бўйича кенг қўламли чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. 2030 йилга келиб маҳсулотларнинг энергия самарадорлиги кўрсаткичини 0,0976 к.н.э./долл гача камайтириш вазифаси қўйилган (ҳозирги вақтда, бу кўрсаткич 0,1405 к.н.э./долл. АҚШни ташкил этади)<sup>2</sup>. 2030 йилга келиб республика истеъмолчиларининг табиий газга бўлган йиллик эҳтиёжи 65 миллиард метр кубгача ошиши прогноз қилинмоқда. Электр энергетикасида бу кўрсаткич 120 миллиард кВт\*соатгача кўтарилиши кутилмоқда. Бу эса 19 Гвт қувватга эга янги электр станцияларини қуришни талаб этади<sup>3</sup>.

Янги Ўзбекистоннинг 2022-2026 йилларга мўлжалланган ривожланиш стратегиясида "иқтисодиётни узлуксиз энергия билан таъминлаш ва "яшил иқтисодиёт" технологияларини фаол жорий этиш ва барча соҳаларда

<sup>1</sup> <https://www.irena.org/Digital-Report/World-Energy-Transitions-Outlook-2022>

<sup>2</sup> Энергия самарадорлиги ва қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантириш бўйича Республика комиссиясининг 2020-йил 9-ноябрдаги 59-сон баённомасига 5-илова

<sup>3</sup> 2020–2030-йилларда Ўзбекистонни электр энергияси билан таъминлаш концепцияси.  
[http://minenergy.uz/uploads/1a28427c-cf47-415e-da5c-47d2c7564095\\_media\\_.pdf](http://minenergy.uz/uploads/1a28427c-cf47-415e-da5c-47d2c7564095_media_.pdf)

иктисодиётнинг энергия самарадорлигини 20 фоизга ошириш чораларини кўриш, 2026 йилга келиб энергия манбаларини кенг жорий этиш, иқтисодиёт тармоқларида энергия сиғимдорлигини камайтиришнинг мақсадли параметрларига мувофиқ амалга оширадиган технологияларни ишлаб чиқариш вазифалари белгиланган”. Ушбу вазифаларни амалга оширишда энергия ресурсларидан оқилона фойдаланиш ва энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш бўйича комплекс чора-тадбирларини ишлаб чиқиш ва амалга оширишга қаратилган илмий-тадқиқот ишларини олиб бориш муҳим ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон “2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида”ги Фармони, 2016 йил 22 декабрдаги ПҚ-2692-сонли “Жисмонан ва маънан эскирган ускуналарни янгилашни тезлаштириш, шунингдек саноат корхоналарининг ишлаб чиқариш харажатларини камайтириш бўйича қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида”, 2019 йил 22 августдаги ПҚ-4422 “Иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия самарадорлигини ошириш, энергия тежовчи технологияларни жорий этиш ва қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантиришнинг тезкор чора-тадбирлари тўғрисида”, 2020 йил 10 июлдаги ПҚ-4779-сонли “Иқтисодиётнинг энергия самарадорлигини ошириш ва мавжуд ресурсларни жалб этиш орқали иқтисодиёт тармоқларининг ёқилғи-энергетика маҳсулотларига қарамлигини камайтиришга доир қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида”ги қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялар ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Диссертация иши бўйича тадқиқотлар Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари ривожланишининг II. “Энергетика, энергия ва ресурстежамкорлик” устувор йўналишига мос келади.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Турбодетандер ускуналарининг янги турларини ишлаб чиқиш ва мавжудларини такомиллаштиришга қаратилган илмий тадқиқотлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари, жумладан Atlas Copco (Швеция), Elliott Group (Ebara Corporation), Dresser-Rand Company ва GE Oil & Gas Rotoflow (АҚШ), MAN Turbo AG ва Siemens Energy (Германия), ENCE GmbH (Швейцария), ИПП “Энергия” ОАЖ ва Харьков политехника институти (Украина), Бауман номидаги Москва давлат техника университети, Санкт-Петербург давлат педагогика университети, “Криокор” ОАЖ ва МЭИ (Россия), ТошДТУ (Ўзбекистон) ва бошқаларда амалга оширилмоқда.

Электр энергиясини табиий газнинг ортиқча босим энергиясидан фойдаланиб ишлаб чиқариш, шу жумладан электр энергиясини ишлаб чиқариш технологияси, схемалари ва усулларини яратиш, турбо-детандер қурилмаларини ҳисоблаш ва мавжудларини такомиллаштириш соҳасидаги илмий тадқиқотларга бир қатор хорижий олимлар катта ҳисса қўшган.

Жумладан W. Bosen, P. Cronin, H. Fasold, G Hagedorn, U. Martel, G. Willmroth, П.Л.Капица, А.В. Язык, В.И. Епифанова, А.А. Степанец, О.В. Мальханов, В.С. Агабабов, А.В. Клименко, Е.В. Джураева ва бошқалар.

Ўзбекистонда энегетика соҳасидаги таниқли олим ва мутахассислар электр энергиясини ишлаб чиқариш учун иккиламчи энергия манбаларидан фойдаланиш, энергия тежовчи технологияларни жорий этиш билан боғлиқ илмий муаммоларни ҳал қилишга маълум ҳисса қўшганлар: Х.Ф.Фазылов, Р.А. Захидов, Т.Х. Насиров, К.Р. Аллаев, Ф.А. Хошимов, Д.Н. Мухиддинов, Э.К. Матчанов, А.И. Анарбаев, Ш.И. Кличев ва бошқалар. Илмий изланишлар натижасида электр энергиясидан фойдаланиш самарадорлигини ошириш муаммоларини ҳал қилиш натижалари олинган.

Сезиларли муваффақиятларга қарамай, турбо-детандер қурилмаларини энергиясамарадор ва энергиятежамкор технологик схемалари ва ҳисоблаш усуларини ишлаб чиқиш, газ тақсимловчи станция ва пунктларда детандер-генератор агрегатидан фойдаланишнинг термодинамик самарадорлиги ва ёқилғисиз қурилмалар схемаларини экспериментал ўрганиш ва улардан фойдаланиш самарадорлигини баҳолаш етарлича ўрганилмаган.

Мазкур диссертация ишида табиий газнинг ортиқча босим энергиясидан фойдаланиб электр энергиясини ишлаб чиқариш учун ёқилғисиз қурилмалар схемаси, иш режимларини ҳисоблашнинг математик модели ва алгоритмлари, ёқилғисиз қурилмаларнинг иш кўрсаткичларини аниқлаш услуби ва детандер-генератор агрегати схемасининг энг яхши вариантини танлаш бўйича илмий асосланган тавсиялар таклиф этилган.

**Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий ўқув юртининг тадқиқот режаси билан боғлиқлиги.**

Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университетининг илмий-тадқиқот режасига мувофиқ, 1/ПП-2021- сонли “Ўзтрансгаз АЖ газ узатиш тизимида замонавий технологияларни (энергия ишлаб чиқариш ускуналари) қўллаш мумкин бўлган жойларни аниқлаш” мавзусидаги хўжалик шартномаси доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** ташилаётган газнинг технологик босим фарқлари ва паст потенциал энергиясидан фойдаланиб, детандер-генератор ва иссиқлик насос агрегатларини қўллаш орқали иккиламчи энергия манбаларининг самарали ва энергия тежайдиган схемаларини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқот вазифалари:** табиий газнинг ортиқча босим энергиясидан фойдаланиб электр энергиясини ишлаб чиқариш назарияси ва технологияларининг ҳозирги ҳолатини кўриб чиқиш ва таҳлил қилиш;

“детандер-генератор ва иссиқлик насос агрегатлари” тизими асосида электр энергиясини ишлаб чиқариш учун ёқилғисиз қурилмалар схемасини ишлаб чиқиш;

“детандер-генератор ва иссиқлик насос агрегатлари” тизимининг иш режимларини ҳисоблашнинг математик модели ва алгоритмларини ишлаб чиқиш;

детандер-генератор ва иссиқлик насос агрегатлари ёрдамида электр энергиясини ишлаб чиқариш жараёнлари устида экспериментал тадқиқотлар ўтказиш;

ёқилғисиз қурилмаларнинг ишлаш кўрсаткичларини аниқлаш услубини ишлаб чиқиш ва детандер-генератор агрегати схемасининг энг яхши вариантини танлаш бўйича илмий асосланган тавсияларни шакллантириш.

**Тадқиқот объекти** сифатида табиий газнинг тақсимлаш станциялари ва газни бошқариш пунктлари ҳамда “Навоий Бетон Комплекс” автомобил компрессор станциясининг газ тақсимлаш пункти олинган.

**Тадқиқот предмети** детандер-генератор ва иссиқлик насос агрегатлари ёрдамида газ тақсимлаш станциялари ва газни бошқариш пунктларида электр энергиясини ишлаб чиқариш жараёнларини ташкил қилади.

**Тадқиқот усуллари.** Тадқиқот жараёнида алгебраик тенгламаларни ечишнинг аналитик ва сонли усулларидан фойдаланган ҳолда тенгламалар тизимини ечиш усуллари, математик моделлаштириш усуллари, термодинамик таҳлилнинг эксергетик усули, турбодетандер агрегатларнинг синовлари натижаларини қайта ишлашда замонавий усуллардан фойдаланилган.

#### **Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:**

термодинамик таҳлилнинг эксергетик усули ёрдамида детандер-генератор агрегатлари асосида таклиф этилган электр энергиясини ишлаб чиқариш схемасининг энергия самарадорлиги эксергетик ФИК бўйича юқорилиги исботланган;

узатилаётган табиий газ босимининг фарқидан фойдаланиш асосида детандер-генератор ва иссиқлик насослари агрегатлари ёрдамида ёқилғисиз электр энергиясини ишлаб чиқаришнинг самарали ва энергия тежовчи схемаси ишлаб чиқилган;

табиий газ таркибининг турлилигини ҳисобга олувчи газни сиқилиш коэффиценти асосида детандер-генератор агрегати иш режимларининг математик модели такомиллаштирилган;

табиий газ босимининг фарқи, сарфи ва хароратини ҳисобга олиб электр энергиясининг ишлаб чиқаришнинг максимал миқдорини таъминлаш имконини берувчи ёқилғисиз электр энергиясини ишлаб чиқариш қурилмаси параметрларини ҳисоблаш усули ва алгоритми ишлаб чиқилган.

#### **Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:**

детандер-генератор ва иссиқлик насослари агрегатлари асосида истеъмолчилар энергия таъминотида юқори самарадор ёқилғисиз қурилмаларни яратишга имкон берадиган схема ишлаб чиқилган;

газ тақсимлаш пункти ёки газ тақсимлаш станциясининг турли иш режимларини ҳисобга олган ҳолда максимал электр энергиясини ишлаб чиқариш имконини берувчи детандер генераторининг номинал параметрларини танлаш учун дастурий маҳсулотлар ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги олинган натижалар ва уларнинг ўзаро мувофиқлиги, ишлаб чиқаришга жорий этиш орқали асосланганлиги шунингдек, термодинамик ва

эксергетик таҳлилнинг замонавий усулларидан фойдаланиш, ҳисоблаш усуллари ва математик моделларидан тўғри фойдаланиш, назарий асосларини саноат қурилмаларида текшириш, шунингдек техник ва иқтисодий ҳисоб-китобларнинг маълум усулларидан фойдаланиш билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти ташиладиган табиий газнинг технологик босимини пасайтириш станцияларида дроссель қурилмалари ўрнига детандер-генератор қурилмаларидан фойдаланиш термодинамик жиҳатдан самарали бўлиши, детандер-генератор ва ҳаво иссиқлик насос агрегатларининг иш режимларининг математик модели такомиллаштирилгани ва ишлаб чиқилган схеманинг илмий асосланган вариантини танлаш имконини бериш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти детандер-генератор ва иссиқлик насослари агрегатлари асосида ишлаб чиқилган схемалар, шунингдек самарадорликни аниқлашнинг ишлаб чиқилган усулларидан фойдаланган ҳолда турли шароитларда қурилмаларнинг оптимал ишлаш режимини таъминлаш имконияти билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Турбодетандер қурилмаларининг энергия самарадор ва энергия тежайдиган технологик схемалари ва ҳисоблаш усуллари ишлаб чиқиш бўйича тадқиқотлар натижалари асосида:

детандер-генератор ва иссиқлик насослари агрегатлари асосида ёқилғисиз электр энергиясини ишлаб чиқариш қурилмаларининг самарадорлигини аниқлаш усули ва ҳисоблаш алгоритми “Ҳудудгазтаъминот” АЖда жорий этилган (“Ҳудудгазтаъминот” АЖнинг 2022 йил 16 августдаги 03-26-134-сонли маълумотномаси). Натижада, газ тақсимлаш пунктининг ташқи электр тармоғидан ўз эҳтиёжлари учун электр энергияси истеъмолини 70%га камайтириш имконини берган;

детандер-генератор ва ҳаволи иссиқлик насослари қурилмаларининг ишлаб чиқилган схемаси “Навоий Бетон Комплекс” автомобиль компрессор станциясининг газ тақсимлаш пунктида жорий этилган. (“Ҳудудгазтаъминот” АЖнинг 2022 йил 16 августдаги 03-26-134-сонли маълумотномаси). Натижада йиллик иқтисодий самарадорлик 126 441 000 сўмни ташкил этган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқотнинг натижалари 8 та халқаро ва 7та республика илмий-амалий анжумани ва семинарларида муҳокамадан ўтган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Диссертация мавзуси бўйича 27та илмий мақола чоп этилган, шу жумладан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси томонидан тавсия этилган журналларда 6 та мақола, жумладан 5та республика ва 1та хорижий илмий журналларда ҳамда 2та мақола Scopus базасида индексланган журнал ва тўпламларда нашр этилган, 1та дарслик ва 5та дастурий маҳсулотга муаллифлик гувоҳномалари олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 117 бетни ташкил этади.

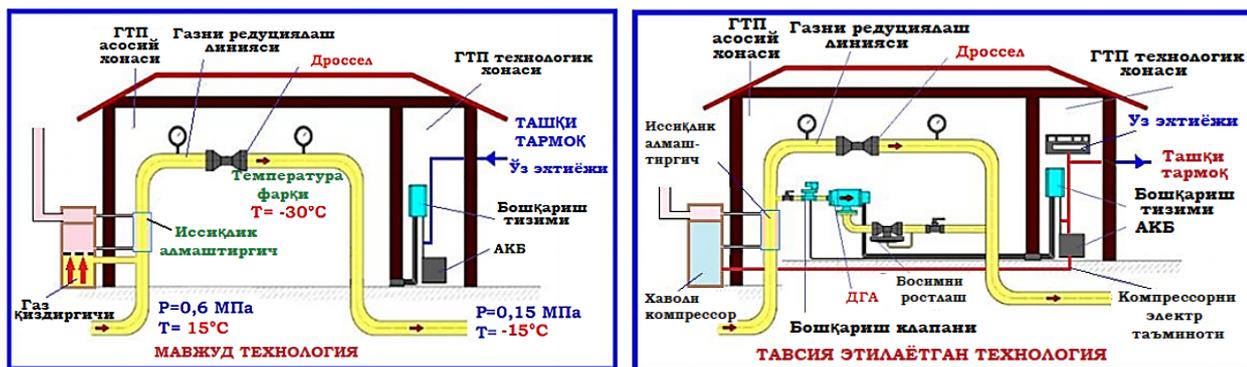
## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш** қисмида диссертация тадқиқотининг зарурлиги ва долзарблигининг асосланиши, мақсади ва вазифалари келтирилган, тадқиқот объекти ва предмети тавсифланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикасида илм-фан ва техника тараққиётининг устувор йўналишларига мувофиқлиги кўрсатилган. Шунингдек, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари келтирилган, натижаларнинг ишончилиги асосланган, натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти тавсифланган, тадқиқот натижаларини амалга ошириш, апробация қилиш ва нашр этиш, шунингдек диссертациянинг тузилиши тўғрисида маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **“Табиий газ магистрални ташишда ортикча босимли иккиламчи энергия ресурсларидан фойдаланиш йўналишлари таҳлили”** номли биринчи бобида электр энергиясини ишлаб чиқариш учун табиий газнинг ортикча босим энергиясидан фойдаланиш технологиялари соҳасидаги тадқиқотларнинг адабиёт манбалари таҳлили асосида детандер-генератор технологияларининг ривожланиш тарихи ва моҳияти келтирилган. Ғарбий Европа, АҚШ ва Россия давлатларида детандер-генератор агрегатлари (ДГА) ва иссиқлик насос қурилмалари (ИНҚ) бўйича чоп этилган мақолалар ҳамда олиб борилган илмий тадқиқотлар ва эксплуатация тажрибаси соҳасидаги материаллар таҳлили тадқиқот объектининг асосий таркибий қисмлари сифатида амалга оширилди.

Детандерларнинг турли конструкциялари, ДГАдаги газни иситиш тизимларининг турли хил вариантлари, шу жумладан ДГА ва ИНҚга асосланган ёқилғисиз электр энергиясини ишлаб чиқарувчи қурилманинг принципиал схемаси, турли хил ишлаш принципидаги иссиқлик насослари қурилмаларининг тавсифи - буғ компрессион (БИНҚ) ва ҳаволи (ҲИНҚ) келтирилган, БИНҚда ишлатиладиган турли совутиш моддалари (хладагентлар) кўриб чиқилган.

Юқорида айтилганларнинг барчасини ҳисобга олган ҳолда, ДГАдан фойдаланиш самарадорлигини баҳолашнинг асосий услубий қоидалари шакллантирилган: барча ҳолатларда ДГА дан фойдаланишнинг умумий самарадорлиги капитал харажатларини ва ДГАнинг ишлаб чиқариш харажатларига таъсирини, биринчи навбатда уларнинг ёқилғи компонентига, ҳисобга олган ҳолда техник-иқтисодий таҳлил асосида аниқланиши керак; ДГА дан фойдаланишнинг энергия самарадорлигини аниқлашда, ДГА нинг газ истеъмол қиладиган ускуналар ишига қандай таъсир қилиши ҳисобга олиниши керак. Бу таъсир, дросселлаштирилганга нисбатан, газ ўчоғига етказиб бериладиган газ энтальпиясининг ўзгаришида намоён бўлади, бу эса ёқилғининг жисмоний иссиқлигининг ўзгаришига ва натижада газ истеъмол қиладиган ускунада ёқилғи сарфининг ўзгаришига олиб келади (1-расм).



1-расм. ГТПда табиий газни редуциялаш технологиясининг мавжуд ва тавсия этилаётган схемалари

Масаланинг ҳолатини кўриб чиқиш асосида детандер-генератор агрегатлари ва иссиқлик насос қурилмаларидан фойдаланиш орқали иккиламчи энергия манбаларининг самарали ва энергия тежайдиган схемаларини ишлаб чиқиш бўйича тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари шакллантирилган.

Диссертациянинг “Ташиладиган табиий газнинг технологик босимини пасайтириш станцияларида детандер-генератор агрегатларидан фойдаланиш самарадорлиги” деб номланган иккинчи бобида газ тақсимловчи пункт(ГТП) ва газ тақсимловчи станция(ГТС)ларда фойдаланиладиган ДГА агрегатларининг энергия ишлаб чиқармайдиган дросселли қурилмаларга нисбатан термодинамик самарадорлигини аниқлаш ва баҳолаш ҳамда ГТПларда табиий газ босимини пасайтиришнинг турли схемаларининг самарадорлигини ҳисоблаш ва таққослаш, табиий газнинг босимини пасайтириш тугунлари самарадорлигига турли параметрларнинг таъсирини тадқиқот қилишга бағишланган. Кўриб чиқилган вариантларнинг самарадорлигини баҳолаш мезони сифатида кўриб чиқилган ДГА схемаларининг ҳар бири учун аниқланган эксергетик самарадорлик олинади, улар дроссели схеманинг эксергетик ФИК ва шунингдек ўзаро таққосланади.

Тадқиқот давомида ДГА уланишининг тўртта схемаси кўриб чиқилди: ДГАдаги газни қиздирмасдан, детандердан кейин ёки олдин газни қиздириш, шунингдек детандердан олдин ва кейин газни қиздириш.

Электр энергиясини ишлаб чиқариш учун ташиладиган табиий газнинг технологик босимини пасайтириш станцияларида ДГАлардан фойдаланиш энергия самарадорлиги эксергетик кўрсаткичлар ёрдамида баҳоланади:

Эксергетик ФИК қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$\eta_e = \sum E_{\text{чиқ}} / \sum E_{\text{кир}}, \quad (1)$$

бу ерда  $\sum E_{\text{чиқ}}$  ва  $\sum E_{\text{кир}}$  - мос равишда, ускунанинг кириш ва чиқишидаги эксергиялар йиғиндиси, кВт.

Оқим эксергияси:

$$E_{\text{оқим}} = G_{\text{оқим}} [(h_{\text{оқим}} - h_0) - T_0 (s_{\text{оқим}} - s_0)], \quad (2)$$

бу ерда  $G_{\text{оқим}}$  - оқим сарфи, кг/с;  $h_{\text{оқим}}$ ,  $h_0$  - мос равишда, берилган параметрларда ва атроф-муҳит параметрларида оқим энтальпияси, кДж/кг;  $S_{\text{оқим}}$ ,  $S_0$  - мос равишда, берилган параметрларда ва атроф-муҳит параметрларида оқим энтропияси, кДж/(кг·К);  $T_0$  - атроф-муҳит ҳарорати, К.

**Иссиқлик эксергияси:**

$$E_{\text{иссиқ}} = Q_{\text{иссиқ}} (1 - T_0/T_{\text{иссиқ}}), \quad (3)$$

бу ерда  $Q_{\text{иссиқ}}$  - берилаётган иссиқлик, кВт;  $T_{\text{иссиқ}}$  - берилаётган иссиқликнинг ҳарорати, К.

**Совуқлик эксергияси:**

$$E_{\text{сов}} = Q_{\text{сов}} (T_0/T_{\text{сов}} - 1), \quad (4)$$

бу ерда  $Q_{\text{сов}}$  - олинаётган совуқлик, кВт;  $T_{\text{сов}}$  - олинаётган совуқлик ҳарорати, К.

Истеъмолчига йўналтиралаётган оқимнинг (иссиқлик узатувчи ёки совуқлик узатувчи) ўрта логарифмик ҳарорати:

$$T_{\text{ўрт.л.г}} = \frac{T_6 - T_m}{\ln(T_6/T_m)}, \quad (5)$$

бу ерда  $T_6$  – оқим ҳароратининг юқори қиймати, К;  $T_m$  – оқим ҳароратининг пастки қиймати, К.

**Электр энергия эксергияси:**

$$E_{\text{э}} = N_{\text{э}}, \quad (6)$$

бу ерда  $N_{\text{э}}$  – электр қувват, кВт.

Эксергияларнинг қийматлари ва эксергетик ФИКни ҳисоблаш натижалари 1-жадвалда келтирилган.

Олинган натижаларнинг таҳлили шуни кўрсатадики, ташиладиган табиий газнинг технологик босимини пасайтириш станциясида анъанавий равишда ишлатиладиган дросселли қурилма ўрнига ДГА дан фойдаланиш барча кўриб чиқилган ДГА схемалари учун термодинамик жиҳатдан самарали ҳисобланади. Ҳисоблаш учун қабул қилинган шароитларда ДГА билан схемаларда эксергетик ФИК дросселлиларга нисбатан бир ярим баравар юқори.

**Дросселли қурилма схемаси учун.** Жараён параметрларининг дросселли қурилмалари ўрнига ДГАдан фойдаланишнинг термодинамик самарадорлигига таъсирини аниқлаш турли хил бирламчи маълумотларида (кириш ва чиқиш босимларида, ташиладиган табиий газнинг технологик босимини пасайтириш станциясига кириш жойидаги газ ҳароратида) уларнинг эксергетик самарадорликка таъсирини аниқлаш билан ҳисоблаш тадқиқотларини олиб боришни талаб этади.

Ҳисоб-китоблар қуйидаги шароитларда амалга оширилди.

**Ташилаётган табиий газ босимини технологик камайтириш тугунларининг турли схемалари учун эксергетик ФИК ҳисоблаш натижалари**

Схема	Киришдаги эксергия			Чиқишдаги эксергия			Эксергетик ФИК, %
	Газ оқими эксергияси, кВт	Берилган иссиқлик эксергияси, кВт	Совуқлик ташувчи оқимнинг эксергияси, кВт	Газ оқимининг эксергияси, кВт	Берилган иссиқлик эксергияси, кВт	Совуқлик ташувчи оқим эксергияси, кВт	
Дросселли схема	15270	-	-	7683	-	-	50,31
Газ оқимини киздирилмаган да схема	15270	-	-	8473	-	5115	88,99
Детандердан кейин газ оқимининг киздириш схемаси	15270	-	120	7683	341,5	4851	83,66
Детандердан олдин газ оқимини киздириш схемаси	15270	1803	-	7683	-	6280	81,78
Детандердан олдин ва кейин газ оқимининг киздириш схемаси	15270	1212	34,08	7683	96,97	5598	80,99

**Ўзгармас параметрлар:** газ зичлиги  $\rho$ ,  $0,72 \text{ кг/м}^3$  га тенг; метан газининг адиабатик кўрсаткичи  $k$ ,  $1,32$  га тенг; детандернинг ички нисбий ФИК  $\eta_{oi}$ ,  $0,8$ га тенг; ДГА генераторининг ФИК  $\eta_r$ ,  $1$ га тенг; атроф-муҳит исрофларини ҳисобга олувчи иссиқлик алмашувчи аппаратларининг самарадорлиги,  $0,95$ га тенг; иссиқлик алмашувчи аппаратларда қизиётган ва киздираётган муҳит орасидаги ҳароратлар фарқи,  $5^\circ\text{C}$ .

**Ўзгарувчан параметрлар:**  $P_{1r}$ , ГТП учун босимни пасайтириш тугуни киришидаги газ босими,  $0,7 - 1,2 \text{ МПа}$  оралиғида;  $P_{2r}$ , ГТП учун босимни пасайтириш тугуни киришидаги газ босими,  $0,2 - 0,4 \text{ МПа}$  оралиғида;  $t_{1r}$ , киришдаги газ ҳарорати,  $- 10$  дан  $15^\circ\text{C}$ гача;  $t_{2r}$ , детандердан олдин киздирилаётган газнинг ҳарорати,  $20$  дан  $130^\circ\text{C}$ гача;  $t_n$ , детандердан олдин газни киздиришга кираётган иссиқлик узатгичнинг ҳарорати,  $20$  дан  $130^\circ\text{C}$ гача оралиқда;  $t_{1x}$  и  $t_{2x}$ , мос равишда, истеъмолчидан келаётган ва истеъмолчига берилаётган совуқлик узатгичнинг ҳарорати. Икки ҳолатда:  $12^\circ\text{C}$  ва  $7^\circ\text{C}$ ;  $- 20^\circ\text{C}$  ва  $- 25^\circ\text{C}$ .

ГТП учун олинган маълумотлар асосида графиклар чизилган (2-расм).

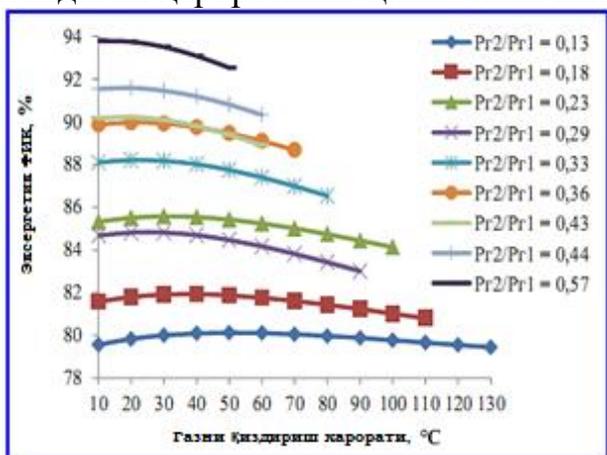
2-расмдан кўришиб турибдики, ГТП нинг киришидаги газ ҳароратининг ошиши билан дросселли қурилманинг эксергетик самарадорлиги пасаяди.  $- 10$  дан  $+15^\circ\text{C}$  гача бўлган ҳарорат оралиғида  $1\%$  гача камайтиришга эришилади. Шу билан бирга, чиқиш ва киришидаги босимларнинг нисбати кичикроқ бўлса, пасайиш кучлироқ бўлади.



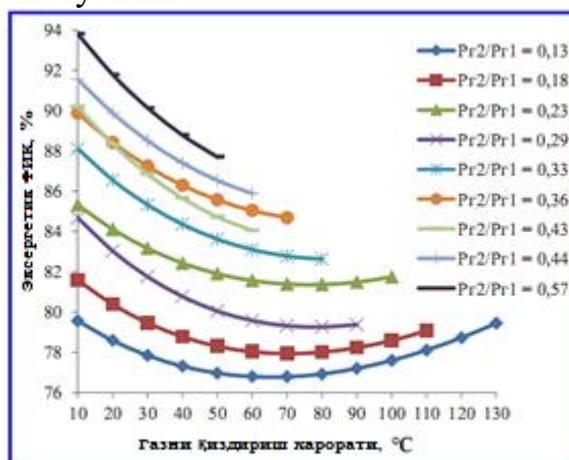
олдин газни қиздириш ҳароратига боғлиқ ҳолда эксергетик ФИК ўзгариши кўриб чиқилган. Ҳар бир ҳолатда газни қиздириш ҳароратининг максимал қиймати маълум бир нуқтада босимни пасайтириш қурилмасининг чиқишидаги газнинг энтальпияси кириш жойидаги газнинг энтальпиясига яқин бўлиши шарти билан чекланади.

Икки ҳолат бўйича натижалар кўриб чиқилган ва ҳисобланган. Биринчи ҳолатда, ДГУдан олдин газни қиздиришга кирадиган иссиқлик узаткич ҳарорати керакли газ қиздириш ҳароратига қараб ўзгаради, яъни 10 дан 130 °С гача бўлган ораликда (4-расм).

4-расмдаги натижалардан кўриш мумкинки, кўриб чиқилган ҳарорат оралиғида эксергетик ФИКнинг боғлиқлик графиги  $k$ -даражали полином функцияси билан тавсифланади. Ушбу ораликда ДГАдан олдин газни қиздириш ҳароратининг ошиши билан функция максимал нуқтага етади, шунинг учун табиий газ босимини пасайтириш қурилмасининг кўриб чиқилган схемаси учун эксергетик ФИКнинг энг юқори қийматига тўғри келадиган ҳароратнинг қийматини аниқлаш мумкин.



**4-расм.** ДГАдан олдин газ оқими қиздирилганда эксергетик ФИКнинг иссиқлик узаткич ҳарорати ўзгарганда ГТП даги газ ҳароратига боғлиқлиги



**5-расм.** ДГАдан олдин газ оқими қиздирилганда эксергетик ФИКнинг иссиқлик узаткич ҳарорати ўзгармаганда ГТП даги газ ҳароратига боғлиқлиги

Шундай қилиб, чиқишда босим ўзгармаганда, киришдаги газ оқими босими қанчалик паст бўлса, ДГА олдидаги газ оқимининг қиздириш ҳарорати шунчалик паст бўлади, бу эса паст ҳароратли иссиқликни ишлатиш имконини беради, босимни пасайтириш қурилмасининг эксергетик ФИК шунчалик юқори бўлади.

Иккинчи ҳолатда, детандердан олдин газ қиздиришга кираётган иссиқлик узаткичнинг ҳарорати 130 °С даражасида ўзгармас деб қабул қилинган, бу сифатида масалан, ускунада фойдаланилган ёқилғининг ёниш маҳсулотлари олиниши мумкин (5-расм).

ГТП учун 5-расмда келтирилган натижалардан келиб чиқадики, бу ҳолатда детандердан олдин газни қиздириш ҳароратининг ошиши билан функция, биринчи ҳолатдан фарқли ўлароқ, минимал нуқтага эришади (4-

расм). Шу билан бирга, функциясининг пасайиш оралиғида чиқиш ва киришда газ босимлари нисбати қанчалик катта бўлса, эксергетик ФИКнинг пасайиши шунчалик кучли бўлади. Детандердан олдин газни қиздириш ҳароратининг ошиши босимни пасайтириш қурилмасида эксергетик ФИКнинг ошишига олиб келади. Бунда, чиқиш ва киришдаги босимлар нисбати кичик бўлса, ўсиш кучлироқ бўлади.

Диссертациянинг “**Детандер-генератор агрегатларининг математик моделлари ва параметрларини ҳисоблаш алгоритмлари**” деб номланган учинчи бобида ДГА қурилмаларининг математик моделлари ва иш параметрларининг ҳисоблаш алгоритмлари ишлаб чиқилган.

Ускунанинг математик моделини ишлаб чиқишда ушбу моделнинг асосий қисмини детандер-генератор агрегати, иссиқлик насослари, паст потенциал иссиқлик манбаи ва ташиладиган газни тавсифловчи тенгламалар тизими ташкил этади деб тахмин қилинади. Ушбу тенгламаларга шартлар ва чекловларни қўшгандан сўнг, схеманинг хусусиятлари ва кутилаётган иш режимларини ҳисобга олган ҳолда, ускунанинг умумий математик моделини олиш мумкин. Ускунанинг ҳар қайси схемаси учун математик моделлар ишлаб чиқилган.

Жараён параметрлари сифатида кўриб чиқилади: ташиладиган газнинг оқим тезлиги; босимни технологик пасайтириш станциясининг кириш ва чиқишидаги газ босими; босимни технологик пасайтириш станцияси киришидаги газ ҳарорати; ташқи ҳаво ҳарорати; иссиқлик узаткич ҳарорати.

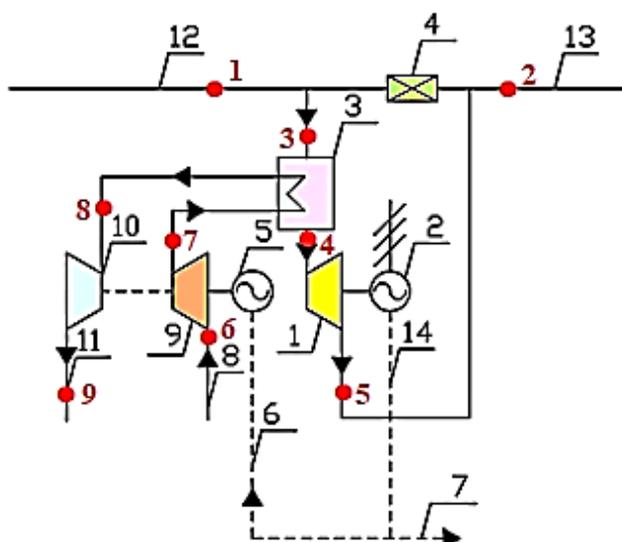
Термодинамик хусусиятларни аниқлаш учун барча схемаларнинг математик моделлари учун умумий (энтальпия  $h$  ва энтропия  $s$ ) иссиқлик узаткич қурилмаларида ишлатиладиган қуйидаги боғлиқликларидан фойдаланиш зарур бўлади:

$$h = f(p, T) \text{ и } s = f(p, T).$$

Математик моделлар яратилгандан сўнг, ушбу ишда кўриб чиқилган вазибаларни ечиш имконини берувчи алгоритмлар ишлаб чиқилган, яъни, танланган самарадорлик мезонларининг жараён параметрларига боғлиқлиги аниқланган.

Ушбу ишда асосий бўлган, бир поғонали ДГА ва ҳаволи ИНҚ учун математик модель ва параметрларни ҳисоблаш алгоритмини кўриб чиқамиз. Бунда моделлаштириш объекти сифатида детандер-генератор агрегати ва ҳаво иссиқлик насосининг ускунаси асосида электр энергиясини ишлаб чиқариш учун мўлжалланган ёқилғисиз ускуна олинган, унинг схемаси 6-расмда келтирилган.

Моделлаштириш объектининг асосий элементлари: ДГА, шу жумладан детандер 1 ва генератор 2; ҳаво иссиқлик насоси ускунаси, шу жумладан: 9 компрессор, унинг юритмаси учун 5 электр мотор, иссиқлик алмаштиргич 3 ва ҳаво турбинаси 10, ҳаво бериш ва олиш қувурлари 8 ва 11; юқори ва паст босимли газ қувурлари, мос равишда 12 ва 13 босим. 7-расмда кичик шрифтда математик моделни қуришда ишлатиладиган жараёнларнинг параметрлари ва нуқталари кўрсатилган.



6-расм. ДГА ва ҳаво иссиқлик насоси ускунаси асосида ёқилғисиз электр энергиясини ишлаб чиқариш қурилмаси схемаси

**Ҳаво иссиқлик насоси ускунаси.** ДГА дан олдин газни қиздирадиган иссиқлик алмаштиргичдаги ҳаво томонидан узатиладиган иссиқлик:

$$Q_3 = G_B \cdot (h_7 - h_8) \cdot \varphi. \quad (7)$$

ДГА дан олдин газни қиздирадиган иссиқлик алмаштиргичдаги газ томонидан олинган иссиқлик:

$$Q_3 = G_r \cdot (h_4 - h_3). \quad (8)$$

Ҳаво ИНҚ контуридаги ҳаво сарфи:

$$G_B = \frac{Q_3}{(h_7 - h_8) \cdot \eta_{то}}. \quad (9)$$

Ҳаво иссиқлик насоси турбинаси томонидан ишлаб чиқарилган қувват:

$$N_{10} = G_B \cdot (h_4 - h_3) \cdot \eta_{эм}. \quad (10)$$

Ҳаво иссиқлик насоси компрессори томонидан истеъмол қилинадиган қувват:

$$N_5 = \frac{G_B \cdot (h_7 - h_6)}{\eta_{эм}}. \quad (11)$$

Электр тармоғидан ҳаво иссиқлик насоси томонидан истеъмол қилинадиган қувват:

$$N_6 = N_5 - N_{10}. \quad (12)$$

**Детандер-генератор агрегати:**

ДГА томонидан ишлаб чиқарилган электр қуввати:

$$N_2 = G_r \cdot (h_4 - h_5) \cdot \eta_{эм} \quad (13)$$

ёки

$$N_2 = G_r \cdot \frac{k}{k-1} \cdot R_r \cdot T_4 \cdot z_4 \cdot \left( 1 - \left( \frac{p_5}{p_4} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_{эм}. \quad (14)$$

ДГА чиқишидаги газ ҳарорати:

$$T_5 = T_4 \cdot \frac{z_4}{z_5} \cdot \left[ \eta_{oi} \cdot \left( \left( \frac{p_5}{p_4} \right)^{\frac{k}{k-1}} - 1 \right) + 1 \right]. \quad (15)$$

Ташқи электр тармоғига бериладиган электр қуввати:

$$N_7 = N_2 - N_6. \quad (16)$$

Тармоққа узатиладиган электр энергиясининг улуши:

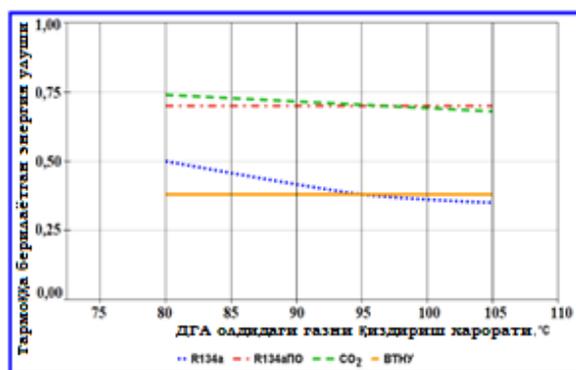
$$\alpha = \frac{N_2 - N_6}{N_2}. \quad (17)$$

Ҳисоблаш натижалари график шаклда 7а, б -расмларда келтирилган.

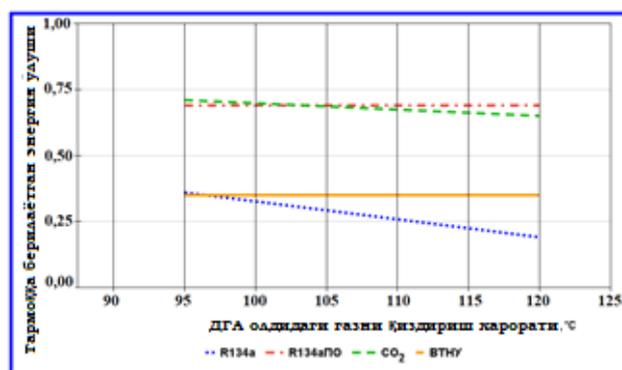
7а, б – расмлардан қуйидагиларни хулоса қилиш мумкин:

1. Тармоққа бериладиган электр энергиясининг улуши ИНҚ юритмаси учун зарур бўлган қувват ўзгаришига тескари боғлиқ.

2. ДГА дан олдинги газни қиздириш учун ВИНҚ дан фойдаланганда тармоққа бериладиган электр энергиясининг улуши қуйидаги ҳароратлар оралиғида минимал бўлади: 79 - 99°C - технологик босимни пасайтириш станциясининг кириш ва чиқишидаги босим нисбати 0,8/ 0,2 МПа бўлганда; 93- 95°C - 1,0/ 0,2 МПа.



а)



б)

7-расм. Тармоққа бериладиган электр энергияси улушининг ДГА олдидаги газни қиздириш ҳароратига боғлиқлиги, ускунанинг кириш ва чиқишидаги газ босимлари нисбати учун 0.8/0.2 МПа (а), 1.0/0.2 МПа (б)

Диссертациянинг “Детандр-генератор агрегати асосида электр энергиясини ишлаб чиқариш учун ёқилғисиз ускуна схемаларини экспериментал ўрганиш ва улардан фойдаланиш самарадорлигини баҳолаш” номли тўртинчи бобида ДГА ва ИНҚ билан ишлашнинг экспериментал, экологик ва ресурс кўрсаткичларини ўрганиш натижалари келтирилган.

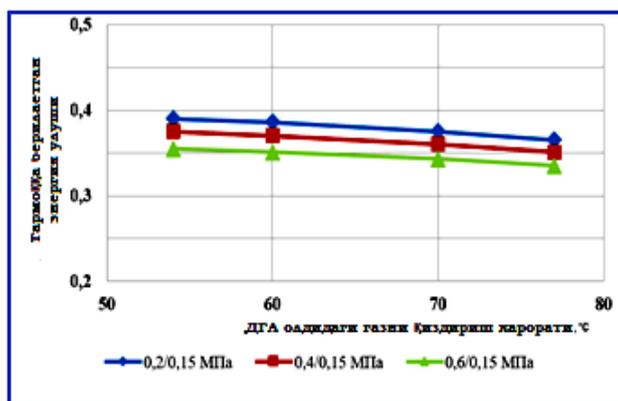
Навоий шаҳридаги “Навоий бетон мажмуаси” автомобиль газ тўлдириш компрессор станциясига (АГТКС) қаршли ГТПда ДГУ ва ИНҚнинг ишлаши билан боғлиқ жараёнларни ўрганиш учун экспериментал қурилма яратилди (8-расм).

Назарий ҳисоб-китоблар ва экспериментал равишда олинган маълумотлар тармоққа етказиб бериладиган электр энергиясининг улуши ва

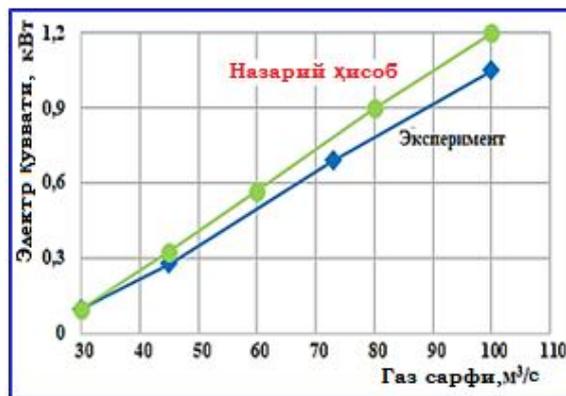
ДГА томонидан ишлаб чиқарилган қувват, ҳаво ИНҚ томонидан газни қиздириш учун ишлатилганда, ДГА ва газ истеъмолидан олдин газни иситиш хароратига боғлиқлиги 9-10-расмларда келтирилган.



8-расм. Экспериментал детандер-генератор ускунасининг кўринишлари



9-расм. Тармоққа бериладиган электр энергияси улушининг ҳаволи ИНҚли ДГАдан олдин газни қиздириш хароратига боғлиқлиги



10-расм. ДГА томонидан ишлаб чиқарилган қувватнинг газ сарфига боғлиқлиги: ДГАдан олдинги газнинг қиздириш харорати 60°С бўлганда

Олинган тўғридан-тўғри маълумотлар ва билвосита ўлчов натижалари статистик қайта ишлаш назариясига мувофиқ амалга оширилди.

Фаол экспериментлар керакли боғлиқликларнинг ночизиқлиги ва омилларнинг ўзаро таъсирини ҳисобга олган ҳолда, яъни уч даражали омиллар учун уларнинг ўзаро таъсирини ҳисобга олган ҳолда тўлиқ икки факторли экспериментлар амалга оширилди. Ҳар бир эксперимент учун тажрибалар сони  $N = 3^2 = 9$  га тенг.

Ортиқча босимнинг ( $p_1 = 0,48... 0,72$ МПа;  $p_2 = 0,12... 0,18$ МПа) ўрганиладиган оралиғи 4та қисмга бўлинган, уларнинг ҳар бирида детандердан олдин ва кейин босимлар коридорда тахминан 20% га ўзгаради. Бу олинган натижаларнинг аниқлигини ошириш учун, шунингдек, анъанавий босим ростлагичларидан олдин ва кейин рухсат этилган босим тебранишлари диапазони асосланиб амалга оширилди.

Кодли масштабда ўрганилаётган параметрнинг полиноми қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{122}x_1x_2^2 + b_{112}x_1^2x_2 + b_{1122}x_1^2x_2^2.$$

Бу ерда  $b_j$  - регрессия боғлиқланиши полиномининг коэффиценти;

$x_j$ - регрессия боғлиқланишидаги омилнинг кодли қиймати.

Кодлашдан сўнг тўлиқ факторли экспериментни режалаштириш учун кенгайтирилган матрица тузилди.

Асосий самара устунларидаги  $x_j$  ва  $z_j$  қийматлар Чебышев полиномлари жадвали бўйича, омилларнинг ўзаро таъсири учун - тегишли устунлардаги элементларнинг кўпайтмаси билан аниқланади.

Режалаштириш матричаси бўйича тажрибалар ўтказилди ва олинган экспериментал маълумотлар 2-жадвалда умумлаштирилган.

2-жадвал

Детандер роторининг айланиш частотасининг экспериментал қийматлари

№ тажриба	УЎд, с/а			
	1	2	3	4
1	21,56	38,44	89,35	106,65
2	38,54	66,27	102,54	123,92
3	51,22	83,07	105,97	128,23
4	21,41	32,06	80,23	100,23
5	29,51	53,84	84,03	118,30
6	46,26	77,67	98,74	128,44
7	23,54	27,48	83,01	95,20
8	25,29	59,25	92,45	112,52
9	43,65	77,21	106,72	121,37

Муҳим коэффицентлар сони асосий тажрибалар сонига тенг бўлмаганлиги сабабли, олинган боғлиқликни адекватлиги Фишер мезонига мувофиқ текширилди:

$$F_{f_1 \cdot f_2}^{\text{хисоб}} = \frac{S_y^2}{S_{\text{ад}}^2}, \text{ агар } S_y^2 > S_{\text{ад}}^2;$$

$$F_{f_2 \cdot f_1}^{\text{хисоб}} = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_y^2}, \text{ агар } S_{\text{ад}}^2 > S_y^2, \text{ бу ерда } S_{\text{ад}}^2 - \text{ адекватлик дисперсияси,}$$

$f_2 = N - m_k$  - адекватлик дисперсиясининг озодлик даражаси.

Модель адекват ҳисобланади, агарда  $F^{\text{хисоб}} < F^{\text{кр}}$  (3-жадвал).

Текширув олинган регрессия моделининг адекватлигини тасдиқлади.

Иқтисодий самарадорликни аниқлаш учун, ДГА бутун йил давомида доимий қувват билан ишлаш шарти билан, ДГА нинг турли қувватларида коплаш муддати ҳисоблаб чиқилди.

Бундан ташқари, детандер- генераторлари Киото протоколи томонидан қўллаб-қувватланадиган "ёқилғисиз" технологиялар ёрдамида яратилган ускуналарга киради. Шу сабабли, ушбу лойиҳаларни амалга ошириш иссиқхона газлари чиқиндилари учун квоталарни сотишдан тушган маблағларни жалб қилган ҳолда амалга оширилиши мумкин.

## Фишер мезонига мувофиқ моделнинг адекватлигини текшириш

Катталик	Оралик тартиб рақами			
	1	2	3	4
Озодлик даражалари сони, $f_1$	3	2	2	2
Озодлик даражалари сони, $f_2$	5	5	5	5
Адекватлик, $S_{ад}^2$	0,759	0,544	0,176	0,705
Фишер меъзонининг критик қиймати, $F^{кр}$	5,421	5,812	5,812	5,812
Фишер меъзонининг ҳисобий қиймати, $F^{ҳисоб}$	4,309	2,911	1,457	5,314

Детандер ускуналари тоза энергия манбаи бўлганлиги сабабли, уларни амалга ошириш натижасида иссиқхона газлари эмиссиясини камайтириш бирликларида ифодаланади ва  $CO_2$  - эквиваленти шартли тонналарда ўлчанади ва оддий ифода ёрдамида ҳисобланади:

$$1 \text{ МВт} \cdot \text{с тоза энергия} = 0,68 \text{ шартли тонна } CO_2.$$

Таклиф этилаётган ДГА учун ишлаб чиқарилаётган йиллик электр энергия ташкил этади:

$$W_{ДГА} = N_{ДГА} \cdot 24 \cdot \tau = 33,45 \cdot 24 \cdot 350 = 280980 \text{ кВт} \cdot \text{с/йил},$$

Унда детандер-генератор технологиясини жорий этишнинг экологик натижаси 0,191 шартли тонна  $CO_2$  бўлади.

### ХУЛОСА

“Детандер-генератор қурилмалари асосида энергия манбаларининг энергосамарадор схемаларини ишлаб чиқиш” мавзусидаги диссертация доирасида олиб борилган тадқиқотлар натижалари асосида қуйидаги хулосалар тақдим этилган:

1. Газ босимини пасайтириш жараёнини такомиллаштириш бўйича аниқланган эҳтиёжни ҳисобга олган ҳолда газни редукциялаш пунктларининг (ГТС, ГТП) жорий иш ҳолати таҳлил қилинган. Натижада турбинали ДГА ёрдамида табиий газни редукциялаш усулини қўллаш асосланган.

2. ГТП ларда дроссель қурилмалари ва ДГА қўлланилганда уларнинг самарадорлигини таққослаш амалга оширилган. Натижада, барча кўриб чиқилган схемаларда (ДГАда газ қиздирилмаганда, детандердан олдин қиздирилганда, кейин газ қиздирилганда ҳамда детандергача ва кейин қиздирилганда) ДГА нинг эксергетик ФИК дросселловчи қурилманикига қараганда 50 % га юқори эканлиги аниқланган.

3. ГТП да ишлаб чиқилган схемадан фойдаланилганда электр энергиясини ишлаб чиқаришда ёқилғисиз ускунанинг самарадорлиги қийсий

таҳлил қилинган. Натижада, детандердан олдин газни қиздириш ҳароратининг ДГАнинг термодинамик параметрларига таъсир этиш характери аниқланган ва самарали ФИК 0,75 дан 0,8 гачани ташкил этган.

4. ДГА ишлашининг барқарорлиги, газ оқимининг газ-динамик хусусиятлари ва табиий газ энергиясидан фойдаланиш самарадорлигини аниқлаш имконини берувчи ДГУдаги газни редуциялаш жараёнининг математик модели ишлаб чиқилган. Натижада ДГА ва иссиқлик алмаштиргичли схема учун эксергетик ФИКнинг детандердан олдин газни қиздириш ҳароратига боғлиқлигининг математик тавсифлари олинган ва ҳисоблаш алгоритми келтирилган.

5. Автомобилларга газ тўлдириш компрессор станцияси “Навоий Бетон” МЧЖнинг ўз эҳтиёжлари учун электр энергияси сарфини ташқи тармоқдан камайтириш имконини берувчи ДГА асосида ёқилғисиз ускунанинг техник-иқтисодий самарадорлигини баҳолаш амалга оширилди. Натижада электр энергияси истеъмолини 70% гача (280 980 кВт/соат) камайтиришга эришилган ва тавсия этилган ускунанинг ўзини оқлаш муддати 4 йилни ташкил этган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ  
ДОКТОРА НАУК DSc. 03/10.12.2019.Т.03.03 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ  
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**МУКОЛЬЯНЦ АРСЕН АРТЁМОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СХЕМ ИСТОЧНИКОВ  
ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ДЕТАНДЕРА–ГЕНЕРАТОРНЫХ  
УСТАНОВОК**

**05.05.01 – «Энергетические системы и комплексы»**

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

**Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована Высшей аттестационной комиссией при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за № В2023.2. PhD/Т1824.**

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице научного совета ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) и Информационно-образовательном портале «ZIYONET» ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Научный руководитель:** **Таслимов Абдурахим Дехканович**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** **Ишназаров Ойбек Хайруллаевич**  
доктор технических наук, профессор

**Матчанов Эркин Казакбаевич**  
кандидат технических наук, доцент

**Ведущая организация:** **АО «Теплоэлектропроект»**

Защита диссертации состоится « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023г. в \_\_\_\_ часов на заседании Научного совета DSc. 03/10.12.2019.Т.03.03 при Ташкентском государственном техническом университете. (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32;  
e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz))

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (регистрационный номер \_\_\_\_). (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: 246-03-41)

Автореферат диссертации разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 года.  
(реестр протокола рассылки № \_\_\_\_ от «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 года).

**К.Р. Аллаев**  
Председатель научного совета по  
присуждению ученых степеней,  
доктор технических наук, профессор, академик

**И.У. Рахмонов**  
Ученый секретарь научного совета по  
присуждению ученых степеней,  
доктор технических наук, доцент

**Т.Ш. Гайибов**  
Председатель научного семинара при научном  
совете по присуждению ученых степеней,  
доктор технических наук, профессор

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире уделяется большое внимание развитию энергоэффективных технологий, позволяющих снизить расход топлива на производство электро- и тепловой энергии. Сейчас в большинстве стран значительно выше энергоемкость промышленного и сельскохозяйственного производства (0,15-0,2 тыс. к.н.э./доллар), чем в США или Западной Европе (0,11 тыс. к.н.э./доллар), и значительно меньше термодинамической эффективности работы электростанций, в области «большой» энергетики<sup>1</sup>. В то же время, в связи с развитием и внедрением новых технологий энергопроизводства, все большее внимание направлено на вопросы совмещенного производства энергии и ее использования в качестве вторичного ресурса.

В мире проводятся научные исследования по повышению эффективности и рационального использования энергоресурсов, позволяющие снижать выбросы загрязнения в окружающей среде, а также по улучшению экологической обстановки, повышению эффективности производства и условий жизни людей. В этом направлении необходимо проводить ряд исследований, которые считаются приоритетными, в том числе по разработке и исследованию технических решений, позволяющих повысить эффективность генерации энергоносителей при преобразовании энергии высокого давления транспортируемого природного газа с внедрением электрогенерирующих установок в виде детандер-генераторных агрегатов (ДГА) и тепловых насосных установок (ТНУ).

В республике проводятся масштабные мероприятия по созданию и совершенствованию, а также внедрению новых технологических решений в целях увеличения выработки электроэнергии в два раза и снижения энергоемкости экономики к 2030 году в полтора раза. Поставлена задача уменьшения показателя энергоёмкости продукции к 2030 году до 0,0976 к.н.э/долл. (в настоящее время, этот показатель составляет 0,1405 к.н.э/долл. США)<sup>2</sup>. Рассчитано, что к 2030 году годовой спрос потребителей республики на природный газ увеличится до 65 млрд. кубометров. В электроэнергетике ожидается увеличение этого показателя до 110 млрд. кВт/ч., что потребует строительства новых электростанций мощностью 19 ГВт.

В связи с чем в стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы определены задачи «бесперебойного энергоснабжения экономики и активное внедрение технологий «зеленой экономики» и во всех сферах необходимо принять меры по повышению до 2026 года на 20 процентов энергоэффективности экономики, широкому внедрению в производство энергосберегающих технологий, реализуемых по целевым параметрам снижения энергоемкости в отраслях экономики»<sup>3</sup>. При этом большое

---

<sup>1</sup> <https://www.irena.org/Digital-Report/World-Energy-Transitions-Outlook-2022>

<sup>2</sup> Приложению 5 к протоколу Республиканской комиссии по энергоэффективности и развитию возобновляемых источников энергии № 59 от 9 ноября 2020 года

<sup>3</sup> №УП-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022 - 2026 годы»

значение придается исследованиям, направленным на разработку и внедрение комплексных мероприятий по рациональному использованию энергоресурсов и широкому внедрению энергосберегающих технологий.

Выполненная диссертационная работа позволяет частично решить задачи, предусмотренные в Указе Президента Республики Узбекистан №УП-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022 — 2026 годы». А также в Постановлениях Президента Республики Узбекистан: № ПП 2692 от 22 декабря 2016 года «О дополнительных мерах по ускоренному обновлению физически изношенного и морально устаревшего оборудования, а также сокращению производственных затрат предприятий отраслей промышленности», № ПП-4422 от 22 августа 2019 года «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии», и ПП-4779 от 10 июля 2020 года «О дополнительных мерах по сокращению зависимости отраслей экономики от топливно-энергетической продукции путем повышения энергоэффективности экономики и задействования имеющихся ресурсов», и в соответствующих теме нормативных документах.

#### **Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.**

Данная диссертационная работа выполнена согласно приоритетным направлениям, предусмотренными во 2-ом разделе «Энергетика, энергосбережение и альтернативные источники энергии».

**Степень изученности проблемы.** Исследованиями по разработке новых и совершенствованию существующих турбодетандерных установок ведутся в ряде ведущих научных центров и высших образовательных учреждений мира, в том числе, в Atlas Copco (Швеция), Dresser-Rand Company (США), Elliott Group (Ebara Corporation) (США), GE Oli & Gas Rotoflow (США), MAN Turbo AG (Германия), Siemens Energy (Германия), ENCE GmbH (Швейцария), МГТУ им. Баумана (Россия), СПбГПУ (Россия), ОАО «ИПП «Энергия» (Украина), НТУ «ХПИ» (Украина), ГП НПКГ «Зоря-машпроект» (Украина), ОАО «Криокор» (Россия), НИУ МЭИ (Россия), ТашГТУ (Узбекистан) и др.

В научные исследования в области использования энергии избыточного давления природного газа для выработки электроэнергии, в том числе по разработке технологии, схем и методов расчёта турбодетандерных установок и совершенствования существующих, большой вклад внесли ряд зарубежных учёных, в частности: W. Bosen, P. Cronin, H. Fasold, G Hagedorn, U. Martel, G. Willmroth, П.Л.Капица, А.В. Язык, В.И. Елифанова, А.А. Степанец, О.В. Мальханов, В.С. Агабабов, А.В. Клименко, Е.В. Джураева и др.

Известные ученые и специалисты Узбекистана в области теплоэнергетики и использования вторичных энергетических ресурсов, такие как Х.Ф.Фазылов, Р.А. Захидов, Т.Х. Насиров, К.Р. Аллаев, Ф.А. Хошимов, Д.Н. Мухиддинов, Э.К. Матчанов, А.И. Анарбаев, Ш.И. Кличев и другие, также внесли определенный вклад в решение научных задач,

связанных с использованием вторичных энергетических ресурсов для генерации электроэнергии, внедрения энергосберегающих технологий, В результате научного исследования получены результаты для решения задач повышения эффективности использования электроэнергии.

Вместе с этим недостаточно изучены: разработка энергоэффективных и энергосберегающих технологических схем и методов расчёта турбодетандерных установок, термодинамическая эффективность использования детандер-генераторного агрегата на газораспределительных станциях и газораспределительных пунктах, экспериментальное исследование схем бестопливных установок и оценка эффективности их использования.

В данной диссертации предлагается схема бестопливной генерации электроэнергии за счет использования энергии избыточного давления природного газа, разрабатываются математическая модель и алгоритм расчета режимов работы установки, методика определения показателей эффективности работы бестопливных установок и формируются научно обоснованные рекомендации по выбору наилучшего варианта схемы детандер-генераторного агрегата.

**Связь темы диссертации с планом научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.**

Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом НИР Ташкентского государственного технического университета, № 1/ПП-2021г. «Анализ газотранспортной системы АО «Узтрансгаз» с определением мест возможного применения современных технологий (оборудования для выработки энергии).

**Целью исследования** является разработка эффективных и энергосберегающих схем вторичных источников энергии за счет применения детандер-генераторных и тепловых насосных установок, использующих технологические перепады давления и низкопотенциальную энергию транспортируемого газа.

**Задачи исследования:**

обзор и анализ современного состояния теории и технологий использования энергии избыточного давления природного газа для выработки электроэнергии;

разработка схемы бестопливных установок для производства электроэнергии на базе системы «детандер-генераторный агрегат и теплонасосная установка»;

составление математической модели и алгоритмов расчета режимов работы системы «детандер-генераторный агрегат и теплонасосная установка»;

проведение экспериментальных исследований процессов выработки электроэнергии с помощью детандер-генераторного агрегата и теплового насоса;

разработка методики определения показателей эффективности работы бестопливных установок и формирование научно обоснованных

рекомендаций по выбору наилучшего варианта схемы детандер-генераторного агрегата.

**Объектом исследования** являются газораспределительные станции и пункты распределения природного газа, а также газораспределительный пункт автомобильной компрессорной станции "Навои Бетон Комплекс".

**Предметом исследования** являются процессы выработки электроэнергии на газораспределительных станциях и газорегуляторных пунктах на базе детандер-генераторного агрегата и теплового насоса.

**Методы исследования.** В процессе исследований использованы методы решения систем уравнений, с использованием аналитических и численных методов решения алгебраических уравнений, математического моделирования, технической термодинамики и статистической переработки экспериментальных результатов измерений.

**Научная новизна исследования** состоит в следующем:

доказана высокая энергетическая эффективность предлагаемой схемы использования детандер-генераторных агрегатов для выработки электроэнергии по эксергетическому КПД на основе эксергетического метода термодинамического анализа;

предложена эффективная и энергосберегающая схема бестопливной генерации электроэнергии на основе детандер-генераторного агрегата и теплонасосной установки, использующая перепад давления транспортируемого природного газа;

усовершенствована математическая модель расчета режимов детандер-генераторного агрегата с учетом коэффициента сжатия газа, учитывающего разнородность состава природного газа;

разработаны методика и алгоритм расчета параметров установки бестопливной генерации электроэнергии с учетом расхода, температуры и перепада давления природного газа, позволяющий получить максимальное количество вырабатываемой электроэнергии.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработана схема установки на основе детандер-генераторного агрегата и воздушной теплонасосной установки, которая позволяет создавать высокоэффективные бестопливные установки для энергоснабжения потребителей;

разработаны программные продукты для выбора номинальных параметров детандер-генератора, которые позволяют получать максимальное количество электроэнергии за год с учетом различных режимов работы газораспределительного пункта или газораспределительной станции.

**Достоверность результатов исследования.**

Достоверность и обоснованность полученных результатов работы обусловлены применением современных методов термодинамического и эксергетического анализа, корректным использованием расчётных методов и математических моделей, проверкой теоретических положений на промышленных установках, а также использованием общеизвестной методики проведения технико-экономических расчетов.

### **Научная и практическая значимость результатов исследований.**

Научная значимость работы обоснована тем, что использование детандер-генераторного агрегата вместо дросселирующих устройств на станциях технологического уменьшения давления транспортируемого природного газа термодинамически более эффективно при всех возможных схемах подогрева газа в детандер-генераторном агрегате и разработанная методика позволяет научно обосновывать выбор оптимального варианта схемы при внедрении установки.

Практическая значимость работы характеризуется разработанными схемами установок на основе детандер-генераторного агрегата и теплонасосной установки, а также возможностью обеспечения оптимального режима работы установок в различных условиях с применением разработанных методик определения эффективности.

**Внедрение результатов исследования.** На основе результатов исследования по разработке энергоэффективных и энергосберегающих технологических схем и методов расчёта турбодетандерных установок:

внедрена методика определения эффективности и алгоритм расчета установок бестопливной генерации электроэнергии на основе детандер-генераторного агрегата и теплонасосной установки (справка № 03-26-134 от 16 августа 2022 года АО «Худудгазтаъминот»). В результате потребление электроэнергии газораспределительным пунктом на собственные нужды от внешней сети снижено до 70%;

внедрена схема детандер-генераторного агрегата и воздушной теплонасосной установки на газораспределительном пункте автомобильной газонаполнительной компрессорной станции «Навои Бетон Комплекс» АО «Худудгазтаъминот» (справка № 03-26-134 от 16 августа 2022 года АО «Худудгазтаъминот») В результате получен экономический эффект в размере 126 441 000 сум в год.

**Апробация результатов исследования.** Основные результаты исследования были обсуждены на 8 международных и 7 республиканских научно-практических конференциях.

**Публикация результатов исследования.** По теме диссертации опубликованы 27 научных работ, в том числе 6 статей в научных журналах, рекомендованных к публикации основных научных результатов диссертаций Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, их них в 5-и республиканских и 1-ом зарубежных научных журналах, 2 опубликованы в журналах и сборниках, индексируемых Scopus, 1 учебник и 1 свидетельство на программу ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 117 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** приводятся обоснование актуальности и востребованности диссертационного исследования, его цели и задач исследования, охарактеризованы объект и предмет исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и техники Республики Узбекистан. Здесь также приведены научная новизна, научное и практическое значение исследования, сведения о внедрении и публикации научных результатов и о структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Обзор направлений использования вторичных энергетических ресурсов избыточного давления в магистральном транспорте природного газа»** на основе обзора литературных источников исследований в области технологий использования энергии избыточного давления природного газа для выработки электроэнергии описана история развития и сущность детандер-генераторной технологии. Проведен анализ публикаций, как в странах Западной Европы, США, так и в России; материалов в области научных исследований и опыта эксплуатации детандер-генераторных агрегатов (ДГА) и теплонасосных установок (ТНУ) как основных составных частей объекта исследования.

Рассмотрены различные конструкции детандеров, приведены различные варианты систем подогрева газа в ДГА, в том числе и принципиальная схема бестопливной электрогенерирующей установки на базе ДГА и ТНУ, приводится описание теплонасосных установок различных принципов действия - парокompрессионных (ПТНУ) и воздушных (ВТНУ), рассмотрены различные хладагенты, нашедшие применение в ПТНУ.

С учетом всего вышесказанного сформулированы основные методические положения оценки эффективности применения ДГА: общую эффективность применения ДГА во всех случаях необходимо определять на основе технико-экономического анализа, с учетом как капитальных затрат, так и влияния ДГА на издержки производства, в первую очередь - на их топливную составляющую; при определении энергетической эффективности использования ДГА должно быть обязательно учтено, какое влияние оказывает ДГА на работу газопотребляющего оборудования. Это влияние проявляется в изменении, по сравнению с дросселированием, энтальпии подаваемого в топку газа, что приводит к изменению физической теплоты топлива и, как следствие, к изменению расхода топлива в газопотребляющем оборудовании (рис.1).

На основе проведенного обзора состояния вопроса сформулированы цели и задачи исследования по разработке эффективных и энергосберегающих схем вторичных источников энергии за счет применения детандер-генераторных и тепловых насосных установок.

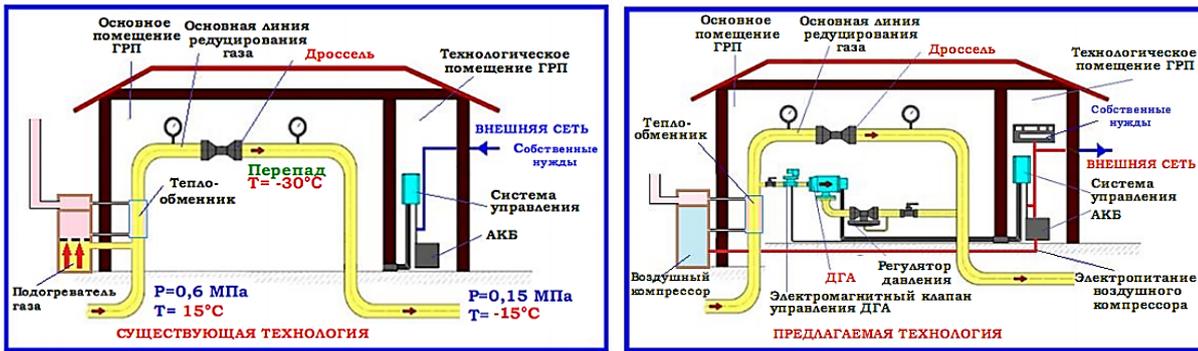


Рис. 1. Существующая и предлагаемая к эксплуатации технология редуцирования природного газа на ГРП

Вторая глава «Эффективность использования детандер-генераторных агрегатов на станциях технологического уменьшения давления транспортируемого природного газа» посвящена определению и оценке термодинамической эффективности ДГА по сравнению с дроссельными устройствами при их использовании на ГРС, а также на ГРП объектов, не генерирующих энергию, а также расчёту и сравнению эффективности различных схем понижения давления природного газа на газораспределительном пункте, исследованию влияния различных параметров на эффективность узла понижения давления природного газа. В качестве критерия оценки эффективности рассмотренных вариантов принимается эксергетический КПД, определенный для каждой из рассматриваемых схем с ДГА, которые сравниваются с эксергетическим КПД для схемы с дросселированием, а также между собой.

При проведении исследований рассмотрены четыре схемы включения ДГА: без подогрева газа в ДГА, с подогревом газа после детандера, перед детандером, а также до и после детандера.

Энергетическая эффективность использования детандер-генераторных агрегатов на станциях технологического уменьшения давления транспортируемого природного газа для выработки электроэнергии оценивается с помощью эксергетических показателей:

Эксергетический КПД определялся из выражения:

$$\eta_e = \sum E_{\text{вых}} / \sum E_{\text{вх}}, \quad (1)$$

где  $\sum E_{\text{вых}}$  и  $\sum E_{\text{вх}}$  - суммы эксергий на выходе и на входе установки соответственно, кВт.

Эксергия потока:

$$E_{\text{пот}} = G_{\text{пот}} [(h_{\text{пот}} - h_0) - T_0 (s_{\text{пот}} - s_0)], \quad (2)$$

где  $G_{\text{пот}}$  - расход потока, кг/с;  $h_{\text{пот}}$ ,  $h_0$  - энтальпия потока при заданных параметрах и при параметрах окружающей среды соответственно, кДж/кг;

$S_{\text{пот}}$ ,  $s_0$  - энтропия потока при заданных параметрах и при параметрах

окружающей среды соответственно, кДж/(кг·К);  $T_0$  - температура окружающей среды, К.

**Эксергия тепла:**

$$E_{\text{теп}} = Q_{\text{теп}} (1 - T_0 / T_{\text{теп}}), \quad (3)$$

где  $Q_{\text{теп}}$  - подводимое тепло, кВт;  $T_{\text{теп}}$  - температура подводимого тепла, К.

**Эксергия холода:**

$$E_{\text{хол}} = Q_{\text{хол}} (T_0 / T_{\text{хол}} - 1), \quad (4)$$

где  $Q_{\text{хол}}$  - отводимый холод, кВт;  $T_{\text{хол}}$  - температура отводимого холода, К.

Среднелогарифмическая температура потока (теплоносителя или хладоносителя), направляемого потребителю:

$$T_{\text{ср.лг}} = \frac{T_б - T_м}{\ln(T_б / T_м)}, \quad (5)$$

где  $T_б$  – большее значение температуры потока, К;  $T_м$  – меньшее значение температуры потока, К.

**Эксергия электроэнергии:**

$$E_э = N_э, \quad (6)$$

где  $N_э$  – электрическая мощность, кВт.

Значения эксергий и результаты расчета эксергетических КПД приведены в табл.1.

Анализ полученных результатов показывает, что использование ДГА на станции технологического понижения давления транспортируемого природного газа вместо традиционно применяемого дросселирующего устройства оказывается термодинамически более эффективным при всех рассмотренных схемах ДГА. Эксергетический КПД в схемах с ДГА при принятых для расчета условиях более, чем в полтора раза, превышает эксергетический КПД при дросселировании.

**Для схемы с дросселирующим устройством.** Определение влияния параметров процессов на термодинамическую эффективность использования ДГА вместо дросселирующих устройств требует проведения расчетных исследований при различных исходных данных (давлениях на входе и выходе, температурах газа на входе на станцию технологического уменьшения давления транспортируемого природного газа) с определением их влияния на эксергетический КПД.

Расчеты проводились при следующих условиях.

Таблица 1

**Результаты расчёта эксергетических КПД различных схем узлов технологического уменьшения давления транспортируемого природного газа**

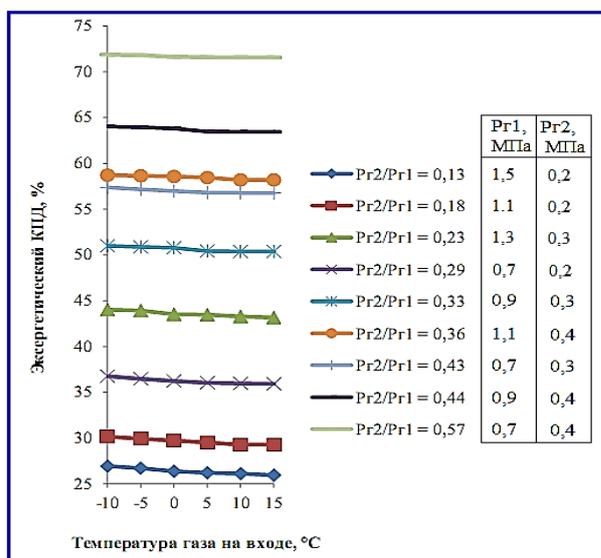
Схема	Эксергия на входе			Эксергия на выходе			Эксергетический КПД, %
	Эксергия потока газа, кВт	Эксергия подведенного тепла, кВт	Эксергия потока хладоносителя, кВт	Эксергия потока газа, кВт	Эксергия потока хладоносителя, кВт	Эксергия электроэнергии, кВт	
1.Схема с дросселированием	<b>15270</b>	-	-	<b>7683</b>	-	-	<b>50,31</b>
2.Схема без подогрева потока газа	<b>15270</b>	-	-	<b>8473</b>	-	<b>5115</b>	<b>88,99</b>
3.Схема подогрева газа после детандера потоком хладоносителя от потребителя	<b>15270</b>	-	<b>120</b>	<b>7683</b>	<b>341,5</b>	<b>4851</b>	<b>83,66</b>
4.Схема подогрева потока газа перед детандером	<b>15270</b>	<b>1803</b>	-	<b>7683</b>	-	<b>6280</b>	<b>81,78</b>
5.Схема подогрева потока газа до детандера теплом и после детандера потоком хладоносителя от потребителя	<b>15270</b>	<b>1212</b>	<b>34,08</b>	<b>7683</b>	<b>96,97</b>	<b>5598</b>	<b>80,99</b>

**Постоянные параметры:** плотность газа  $\rho$ , равная  $0,72 \text{ кг/м}^3$ ; показатель адиабаты метана  $k$ , равный  $1,32$ ; внутренний относительный КПД детандера  $\eta_{oi}$ , равный  $0,8$ ; КПД генератора ДГА  $\eta_r$ , равный  $1$ ; эффективность теплообменных аппаратов, учитывающая потери в окружающую среду, равная  $0,95$ ; температурный перепад между греющей и нагреваемой средой в теплообменных аппаратах  $5^\circ\text{C}$ .

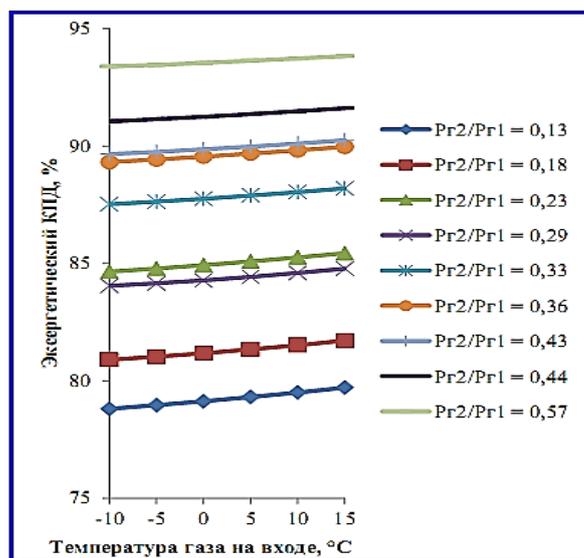
**Переменные параметры:**  $P_{1г}$ , давление газа на входе в узел понижения давления в интервале от  $0,7$  до  $1,2$  МПа для ГРП;  $P_{2г}$ , давление газа на выходе из узла понижения давления в интервале от  $0,2$  до  $0,4$  МПа для ГРП;  $t_{1г}$ , температура газа на входе в интервале от минус  $10$  до  $15^\circ\text{C}$ ;  $t_{2г}$ , температура подогрева газа перед детандером в интервале от  $20$  до  $130^\circ\text{C}$ ;  $t_n$ , температура теплоносителя, поступающего на нагрев газа перед детандером в интервале от  $20$  до  $130^\circ\text{C}$ ;  $t_{1х}$  и  $t_{2х}$ , температура хладоносителя, поступающего от потребителя и к потребителю соответственно. Два случая:  $12^\circ\text{C}$  и  $7^\circ\text{C}$ ; минус  $20^\circ\text{C}$  и минус  $25^\circ\text{C}$ .

По полученным данным для ГРП построены графики (рис.2).

Из рис.2 видно, что при увеличении температуры газа на входе ГРП эксергетический КПД дросселирующего устройства понижается. В диапазоне температур от минус  $10$  до  $15^\circ\text{C}$  достигается снижение до  $1\%$ . При этом чем меньше отношение давлений на выходе и входе, тем сильнее происходит понижение.



**Рис.2. Зависимость эксергетического КПД дросселирующего устройства от температуры газа на входе ГРП**



**Рис.3. Зависимость эксергетического КПД ДГА без подогрева потока газа от температуры газа на входе ГРП**

Для схемы с ДГА без подогрева потока газа. После расширения газа в ДГА без подогрева его перед детандером температура и энтальпия газа после детандера будут ниже, чем при дросселировании. Имеющаяся же внутренняя энергия транспортируемого газа преобразуется в механическую энергию, которая далее в генераторе ДГА преобразуется в электрическую энергию, и может быть полезно использована на собственные нужды или передана потребителю.

На рис.3 построен график зависимости эксергетического КПД схемы с ДГА без подогрева потока газа для разных соотношений давлений газа ( $P_{Г2}/P_{Г1}$ ) на выходе и входе от температуры газа на входе ( $t_{Г1}$ ).

Из графика на рис.2. видно, что при увеличении температуры газа на входе эксергетический КПД ДГА без подогрева потока газа повышается. В диапазоне температур от минус 10 до 15°C достигается повышение эксергетического КПД ГРП до 0,9 %. При этом чем меньше отношение давлений на выходе и входе, тем сильнее происходит повышение.

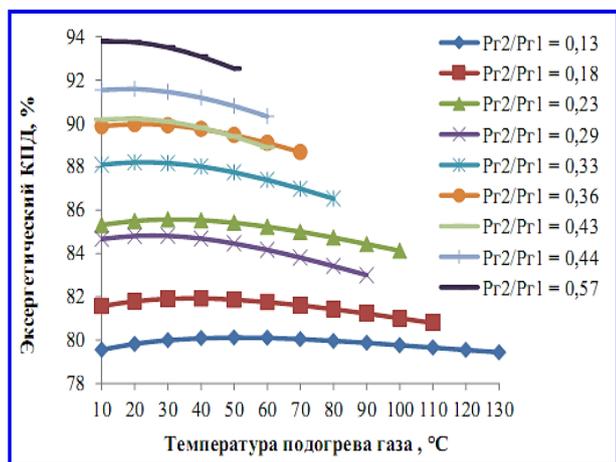
С учетом известной зависимости изменения эксергии от температуры следует, что при повышении температуры газа, в области ниже температуры окружающей среды, значение эксергии потока газа будет уменьшаться. Таким образом, в рассмотренном случае, когда температура газа на входе в ДГА увеличивалась от минус 10 до 15°C, эксергия потока газа и на входе, и на выходе из узла понижения давления будет уменьшаться. Но за счет дополнительной выработки электроэнергии в схеме с ДГА, числитель формулы эксергетического КПД будет увеличиваться, при этом, чем больше будет температура газа на входе, тем больше будет доля эксергии электроэнергии. Таким образом, в схеме с ДГА при повышении температуры газа на входе эксергетический КПД будет также расти.

Для схемы с ДГА с подогревом потока газа перед детандером. Рассмотрено изменение эксергетического КПД для данной схемы узла

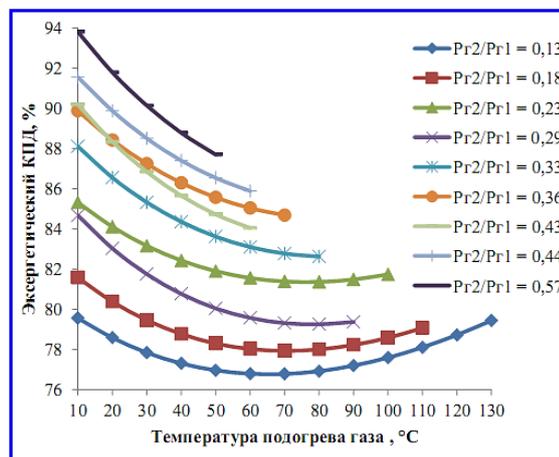
понижения давления природного газа в зависимости от температуры подогрева газа перед детандером. Максимальное значение температуры подогрева газа в каждом случае ограничивается тем условием, что в данной точке энтальпия газа на выходе из узла понижения давления должна быть близка к энтальпии газа на входе.

Рассмотрены и посчитаны результаты для двух случаев. В первом: температура теплоносителя, поступающего на нагрев газа перед детандером, изменяется в зависимости от необходимой температуры подогрева газа, т. е. в интервале от 10 до 130°C (рис.4).

Из результатов по рис.4 видно, что на рассмотренном интервале температур кривая зависимости эксергетического КПД описывается полиномиальной функцией  $k$ -й степени. На данном отрезке с возрастанием температуры подогрева газа перед детандером функция достигает точки максимума, таким образом, можно определить значение температуры, при котором эксергетический КПД для рассматриваемой схемы узла понижения давления природного газа достигает наибольшего значения.



**Рис. 4. Зависимость эксергетического КПД ДГА с подогревом потока газа перед детандером при изменении температуры теплоносителя**



**Рис. 5. Зависимость эксергетического КПД ДГА с подогревом потока газа перед детандером при постоянной температуре теплоносителя**

Таким образом, при постоянном давлении на выходе, чем меньше давление потока газа на входе, тем меньше температура подогрева потока газа перед детандером, что дает возможность использовать низкотемпературное тепло, тем выше эксергетический КПД узла понижения давления.

Во втором случае температура теплоносителя, поступающего на нагрев газа перед детандером принималась постоянной на уровне 130°C, в качестве которого могут быть использованы, например, продукты сгорания топлива использующей установки (рис. 5).

Из результатов для ГРП по графику на рис. 5 следует, что в данном случае с возрастанием температуры подогрева газа перед детандером функция достигает точки минимума, в отличие от первого случая (рис.4). При этом на промежутке убывания функции, чем больше значение

отношения давлений газа на выходе и входе, тем сильнее происходит понижение эксергетического КПД. Увеличение температуры подогрева газа перед детандером приводит к увеличению эксергетического КПД узла понижения давления. При этом, чем меньше отношение давлений на выходе и входе, тем сильнее происходит повышение.

В третьей главе диссертации «**Математические модели и алгоритмы расчета параметров детандер-генераторных установок**» разработаны математические модели и алгоритмы расчета параметров работы установок.

При разработке математической модели установки предполагается, что основной составной частью этой модели будет система уравнений, описывающих детандер-генераторный агрегат, тепловые насосы, источник низко потенциальной теплоты и транспортируемого газа. После добавления к этим уравнениям условий и ограничений, учитывающих особенности схемы и предполагаемых режимов работы, может быть получена математическая модель установки в целом. Математические модели разработаны для каждой схемы установки.

В качестве параметров процессов рассматриваются: расход транспортируемого газа; давление газа на входе и выходе станции технологического понижения давления; температура газа на входе на станцию технологического понижения давления; температура наружного воздуха; температура теплоносителя.

Общим для математических моделей всех схем для определения термодинамических свойств (энтальпии  $h$  и энтропии  $s$ ), применяемых в установках теплоносителей, является необходимость использования зависимостей вида

$$h = f(p, T) \text{ и } s = f(p, T).$$

После создания математических моделей разработаны алгоритмы, которые позволят решить рассматриваемые в данной работе задачи, т.е. определить зависимости выбранных критериев эффективности от параметров процессов.

Рассмотрим математическую модель и алгоритм расчета параметров установки с одноступенчатыми ДГА и воздушными ТНУ, как основную в данной работе. В которой объектом моделирования является бестопливная установка для генерации электроэнергии на базе детандер-генераторного агрегата и воздушной теплонасосной установки, схема которой представлена на рис.6.

Основными элементами объекта моделирования являются: детандер — генераторный агрегат, включающий в себя детандер 1 и генератор 2; воздушная теплонасосная установка, включающая в себя: компрессор 9 с электродвигателем 5 для его привода, теплообменник 3 и воздушную турбину 10, трубопроводы 8 и 11 подачи и отвода воздуха; газопроводы 12 и 13 высокого и низкого давления соответственно. Мелким шрифтом на рис.6 обозначены точки, параметры процессов в которых использованы при построении математической модели.

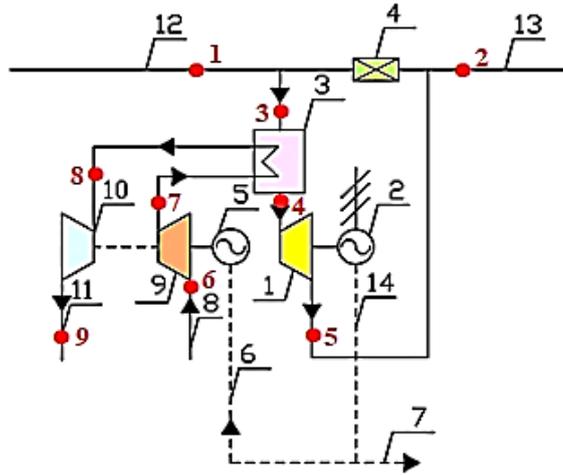


Рис. 6. Схема установки бестопливной генерации электроэнергии на базе детандер-генераторного агрегата и воздушного теплового насоса

**Воздушная теплонасосная установка.** Теплота, передаваемая воздухом в теплообменнике подогрева газа перед ДГА:

$$Q_3 = G_B \cdot (h_7 - h_8) \cdot \varphi. \quad (7)$$

Теплота, полученная газом в теплообменнике подогрева газа перед ДГА:

$$Q_3 = G_r \cdot (h_4 - h_3). \quad (8)$$

Расход воздуха в контуре воздушной ТНУ:

$$G_B = \frac{Q_3}{(h_7 - h_8) \cdot \eta_{то}}. \quad (9)$$

Мощность, вырабатываемая турбиной воздушного теплового насоса:

$$N_{10} = G_B \cdot (h_4 - h_3) \cdot \eta_{эм}. \quad (10)$$

Мощность, потребляемая компрессором воздушного теплового насоса:

$$N_5 = \frac{G_B \cdot (h_7 - h_6)}{\eta_{эм}}. \quad (11)$$

Мощность, потребляемая воздушным тепловым насосом от электросети:

$$N_6 = N_5 - N_{10}. \quad (12)$$

**Детандер-генераторный агрегат:**

Электрическая мощность, вырабатываемая ДГА:

$$N_2 = G_r \cdot (h_4 - h_5) \cdot \eta_{эм}. \quad (13)$$

или

$$N_2 = G_r \cdot \frac{k}{k-1} \cdot R_r \cdot T_4 \cdot z_4 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{p_5}{p_4} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_{эм}. \quad (14)$$

Температура газа на выходе из ДГА:

$$T_5 = T_4 \cdot \frac{z_4}{z_5} \cdot \left[ \eta_{oi} \cdot \left[ \left( \frac{p_5}{p_4} \right)^{\frac{k}{k-1}} - 1 \right] + 1 \right]. \quad (15)$$

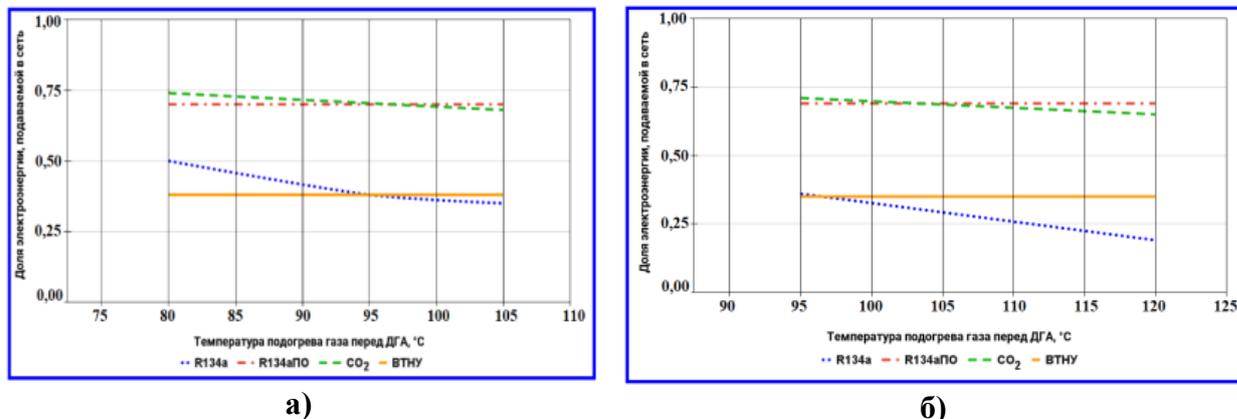
Электрическая мощность, выдаваемая во внешнюю электросеть:

$$N_7 = N_2 - N_6. \quad (16)$$

Доля электроэнергии, выдаваемой в сеть:

$$\alpha = \frac{N_2 - N_6}{N_2}. \quad (17)$$

В графическом виде результаты расчетов представлены на рис.7а,б.



**Рис.7. Зависимость доли электроэнергии, выдаваемой в сеть, от температуры подогрева газа перед ДГА для соотношения давлений газа на входе и выходе из установки 0,8/0,2 МПа (а), 1,0/0,2 МПа (б)**

По рис. 7 а,б можно сделать следующий анализ:

1. Доля электроэнергии, выдаваемой в сеть, находится в обратной зависимости от изменения мощности, необходимой для привода ТНУ.

2. Доля электроэнергии, выдаваемой в сеть, минимальна при использовании ВТНУ для подогрева газа перед ДГА в диапазоне температур: от 79 до 99°С для соотношения давлений на входе и выходе станции технологического понижения давления 0,8/0,2 МПа; от 93 до 95°С - для 1,0/0,2 МПа.

В четвертой главе диссертации «**Экспериментальное исследование схем бестопливной установки для производства электроэнергии на базе детандер-генераторного агрегата и оценка эффективности их использования**» приведены результаты исследования экспериментальных, экологических и ресурсных показателей работы ДГА с ТНУ.

Для изучения процессов, связанных с работой ДГА и ТНУ на ГРП автомобильной газонаполнительной компрессорной станции (АГНКС) «Навои Бетон Комплекс» в г. Навои, была создана экспериментальная установка (рис.8).

На рис.9 - 10 представлены теоретические расчёты и экспериментально полученные данные зависимости доли электроэнергии, выдаваемой в сеть и мощности вырабатываемой ДГА, при использовании для подогрева газа воздушной ТНУ от температуры подогрева газа перед ДГА и расхода газа.

Обработка данных прямых и косвенных измерений проводилась в соответствии с теорией статистической обработки результатов измерений.

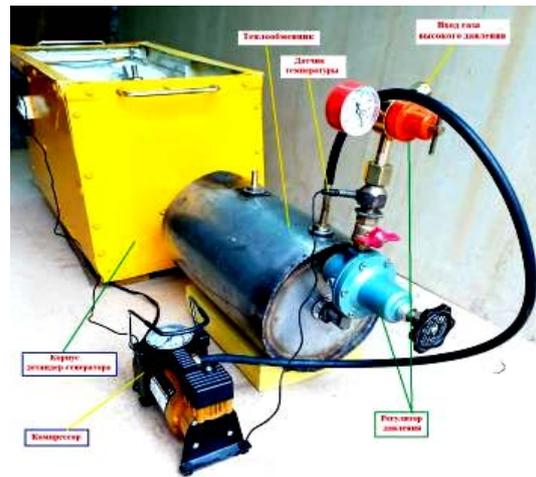


Рис. 8. Фрагменты экспериментальной детандер-генераторной установки

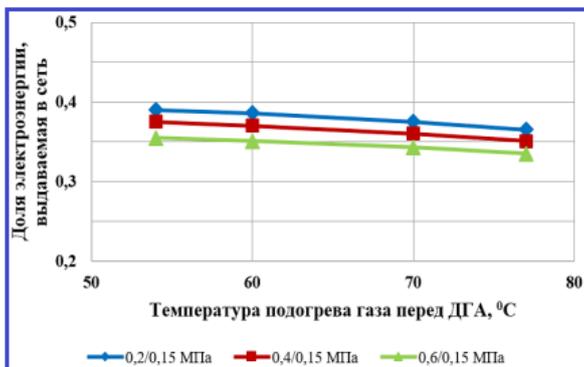


Рис. 9. Доля электроэнергии, выдаваемая в сеть в зависимости от температуры подогрева газа перед ДГА с воздушной ТНУ

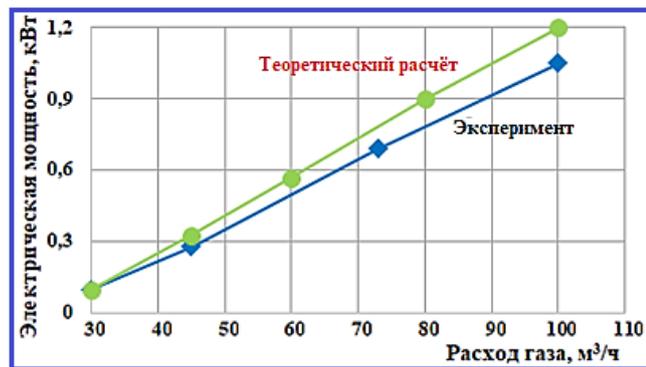


Рис. 10. Мощность, вырабатываемая ДГА в зависимости от расхода газа при температуре нагрева газа 60°С перед ДГА

Проведены активные эксперименты с учетом нелинейности искомым зависимостей и взаимодействия факторов, то есть полные двухфакторные эксперименты для трехуровневых факторов с учетом эффекта их взаимодействий. Количество опытов для каждого эксперимента равно  $N = 32 = 9$ .

Исследуемый диапазон избыточных давлений ( $p_1 = 0,48... 0,72$  МПа;  $p_2 = 0,12... 0,18$  МПа) был разделен на 4 части, в каждой из которых давления до и после детандера изменяются в коридоре примерно  $\pm 20\%$ . Это было сделано для повышения точности получаемых результатов, а также исходя из диапазонов допустимых колебаний давлений до и после традиционных регуляторов давления.

В кодовом масштабе полином искомого параметра будет иметь вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{122}x_1x_2^2 + b_{112}x_1^2x_2 + b_{1122}x_1^2x_2^2.$$

где  $b_j$  - коэффициенты полинома регрессионной зависимости;

$x_j$  - кодовое значение фактора в регрессионной зависимости.

После кодирования была составлена расширенная матрица планирования полного факторного эксперимента.

Значения  $x_j$  и  $z_j$  в столбцах главных эффектов определялись по таблице полиномов Чебышева, для взаимодействий факторов - произведением элементов соответствующих столбцов.

По матрице планирования были проведены опыты, полученные экспериментальные данные сведены в табл.2.

Так как число значимых коэффициентов не равно количеству основных опытов, проверка адекватности полученной зависимости была проведена по критерию Фишера

$$F_{f_1, f_2}^{\text{расч}} = \frac{S_y^2}{S_{\text{ад}}^2}, \text{ если } S_y^2 > S_{\text{ад}}^2;$$

$$F_{f_2, f_1}^{\text{расч}} = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_y^2}, \text{ если } S_{\text{ад}}^2 > S_y^2, \text{ где } S_{\text{ад}}^2 - \text{дисперсия адекватности};$$

$f_2 = N - m_k$  - степень свободы дисперсии адекватности.

**Таблица 2**

**Экспериментальные значения частоты вращения ротора детандера**

№ опыта	V10, об/с			
	1	2	3	4
1	21,56	38,44	89,35	106,65
2	38,54	66,27	102,54	123,92
3	51,22	83,07	105,97	128,23
4	21,41	32,06	80,23	100,23
5	29,51	53,84	84,03	118,30
6	46,26	77,67	98,74	128,44
7	23,54	27,48	83,01	95,20
8	25,29	59,25	92,45	112,52
9	43,65	77,21	106,72	121,37

Модель считается адекватной, если  $F^{\text{расч}} < F^{\text{кр}}$  (табл.3).

Проверка подтвердила адекватность полученной регрессионной модели.

Для определения экономической эффективности был проведён расчёт сроков окупаемости при разных мощностях ДГА при условии, что ДГА работает на постоянной мощности круглый год.

Кроме того, детандер-генераторы относятся к оборудованию, созданному по «бестопрявным» технологиям, которые поддерживаются Киотским протоколом. Поэтому реализация этих проектов может осуществляться с привлечением средств, полученных от продажи квот на эмиссию парниковых газов.

## Проверка адекватности модели по критерию Фишера

Величина	Номер диапазона давлений			
	1	2	3	4
Число степеней свободы, $f_1$	3	2	2	2
Число степеней свободы, $f_2$	5	5	5	5
Дисперсия адекватности, $S_{ад}^2$	0,759	0,544	0,176	0,705
Критическое значение критерия Фишера, $F^{кр}$	5,421	5,812	5,812	5,812
Расчетное значение критерия Фишера, $F^{расч}$	4,309	2,911	1,457	5,314

Поскольку детандерные установки являются источником чистой энергии, экологический результат от их внедрения, выраженный в единицах сокращения выбросов (ЕСВ) парниковых газов и измеряемый в условных тоннах  $CO_2$ -эквивалента, рассчитывается по простой формуле:

$$1 \text{ МВт} \cdot \text{ч чистой энергии} = 0,68 \text{ условной тонны } CO_2.$$

Годовая выработка электроэнергии предлагаемого ДГА составит:

$$W_{ДГА} = N_{ДГА} \cdot 24 \cdot \tau = 33,45 \cdot 24 \cdot 350 = 280980 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год},$$

Тогда экологический результат от внедрения детандер-генераторной технологии составит 0,191 условной тонны  $CO_2$ .

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований, проведенных в рамках диссертационной работы «**Разработка энергоэффективных схем вторичных источников энергии на основе детандер-генераторных установок**», сделаны следующие выводы:

1. Произведен анализ современного состояния эксплуатации пунктов редуцирования газа (ГРС, ГРП), с учётом выявленной необходимости совершенствования процесса понижения давления. В результате обосновано применение способа редуцирования природного газа с помощью ДГА турбинного типа.

2. Проведено сравнение эффективности дросселирующих устройств и ДГА при их использовании на ГРП. В результате установлено, что эксергетический КПД ДГА оказывается на 50 % выше, чем эксергетический КПД дросселирующего устройства при всех рассмотренных схемах ДГА: без подогрева газа в ДГА, с подогревом газа после детандера, перед детандером, а также до и после детандера.

3. Проведен сравнительный анализ эффективности бестопливной установки при генерации электроэнергии с использованием разработанной

схемы на ГРП. В результате определен характер влияния температуры подогрева газа перед детандером на термодинамические показатели ДГА. Эффективный КПД составляет от 0,75 до 0,8.

4. Разработана математическая модель процесса редуцирования газа в ДГУ, позволяющая определять устойчивость функционирования ДГА, газодинамические характеристики газового потока и эффективность утилизации энергии природного газа. В результате получены математические описания зависимости эксергетического КПД от температуры подогрева газа перед детандером для схемы с ДГА и теплообменником перед детандером, представлен алгоритм расчета.

5. Проведена оценка технико-экономической эффективности бестопливной установки на базе ДГА, которая позволяет снизить потребление электроэнергии на собственные нужды от внешней сети на ГРП автомобильной газонаполнительной компрессорной станции «Навои Бетон Комплекс» до 70% при выработке 280 980 кВт·ч/год и сроке окупаемости 4 года.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING DEGREE OF DOCTOR OF  
SCIENCE DSc.03 /10.12.2019.T.03.03 AT TASHKENT STATE TECHNICAL  
UNIVERSITY**

---

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

**MUKOLYANTS ARSEN ARTYOMOVICH**

**DEVELOPMENT OF ENERGY EFFICIENT SCHEMES OF ENERGY  
SOURCES BASED ON DETANDER-GENERATOR DEVICES**

**05.05.01 – Energy systems and complexes**

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

**Tashkent - 2023**

**The topic of dissertation of doctor of philosophy (PhD) in technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Ministry of Higher education, science and innovations of the Republic of Uzbekista with number B2023.2.PhD/T1824.**

The dissertation has been prepared at the Tashkent state Technical University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (uzbek, russian, english (resume)) on the website of the Scientific Council ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) and on the web site of “ZiyoNet” Information and education portal ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Scientific supervisor:**

**Taslimov Abdurakhim Dekhkanovich**  
Doctor of technical sciences, professor

**Official opponents:**

**O.Kh. Ishnazarov Oybek Khayrullayevich**  
Doctor of technical sciences, professor

**Matchanov Erkin Kazakbaevich**  
Candidate of technical sciences,  
associate professor

**Leading organization:**

**JSC “Thermoelectroproject”**

The defense will be take «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 y. in \_\_\_ at the meeting of Scientific Council DSc.03/10.12.2019.T.03.03 at the Tashkent State Technical University. Address: 2, University str., Tashkent 100095. Phone: (99871) 246-46-00; fax: (99871) 227-10-32, e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz).

The doctoral (PhD) dissertation can be reviewed at the Information-Resource Center of the Tashkent State Technical University (Registration number -\_\_\_). Address: 2, University str., Tashkent 100095. Phone: (99871) 227-03-41.

Abstract of the dissertation was sent out on “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2023.

(Protocol of the delivery № \_\_\_\_\_ dated “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2023).

**K.R. Allaev**  
Chairman of Scientific Council  
on awarding scientific degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Professor Academician

**I.U. Rakhmonov**  
Scientific secretary of the Scientific Council  
on awarding scientific degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**T.Sh. Gayibov**  
Chairmen of the scientific seminar under  
Scientific Council on awarding scientific degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Professor

## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**The aim of the research work:** development of efficient and energy-saving schemes of secondary energy sources by using detander-generator and heat pump units using technological pressure differences and low potential energy of the transported gas.

**Tasks of the research:** To achieve this purpose, the following tasks are formulated:

- review and analysis of the current state of electricity generation theory and technologies using excess pressure energy of natural gas;

- development of a scheme of non-fuel devices for the production of electricity on the basis of the system "detander-generator and heat pump units";

- development of mathematical models and algorithms for calculating the operating modes of the system "detander-generator and heat pump units";

- experimental studies of the processes of generating electricity using a detander-generator and heat pump units;

- development of a method for determining the performance indicators of non-fuel devices and the formation of scientifically based recommendations for choosing the best option of the detander-generator aggregate scheme.

**The object of research work** are schemes of devices for the production of electricity without fuel were obtained due to the difference in technological pressure of natural gas transported on the basis of a detander-generator unit and heat pumps and the use of low potential heat of secondary energy sources and low potential heat of the environment.

**The scientific novelty of the research** is as follows:

- based on the exergetic method of thermodynamic analysis, the energy efficiency of using detander-generator units at stations to reduce the technological pressure of transported natural gas for the production of electricity has been proven;

- an effective and energy-saving scheme for the production of non-fuel electricity on the basis of detander-generator and heat pump units is proposed;

- mathematical models have been developed to calculate the operating modes of a single-stage detander-generator and air heat pump units;

- on the basis of detander-generator and heat pump units, a method and algorithm for calculating the parameters of devices has been developed that allow you to produce maximum electricity without fuel.

**The structure and scope of the thesis.** The content of the dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 175 pages, the main text is 117 pages, the appendix is 30 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Mukolyants A.A., Ergasheva D.K. Analysis of the joint operation of the detandar-generator unit and air heat pump // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – India, 2023. Vol,10, Issue 5, P.20703-20707. (05.00.00; №8).

2. Мукольянц А.А., Буранов М.Д., Юсуфхаджаев С. Применение детандер-генераторных агрегатов для бестопливной выработки электрической энергии на газопроводах с использованием технологического перепада давлений транспортируемого природного газа // Научно-практический журнал «Архитектура. Строительство. Дизайн». - Ташкент, № 1, 2019. – С. 147-150. (05.00.00; №4).

3. Мукольянц А.А., Буранов М.Д., Махмудов Х.Ф. Технология бестопливной выработки электроэнергии на газопроводах при транспорте природного газа // Научно-практический журнал «Архитектура Строительство. Дизайн». - Ташкент, Специальный выпуск, 2019. – С. 309-312. (05.00.00; №4).

4. Мукольянц А.А. Анализ эффективности схем бестопливных установок генерации электроэнергии на базе детандер-генераторных агрегатов. // Журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». - Ташкент, № 3-4, 2019.

– С. 320-324. (05.00.00; №21).

5. Мукольянц А.А., Таслимов А.Д., Сотникова И.В. Математическое моделирование физических процессов в детандер-генераторной установке с подогревом природного газа // Журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». - Ташкент, Специальный выпуск, 2022. – С. 87-92. (05.00.00; №21).

6. Мукольянц А.А., Сотникова И.В. Энергосбережение в котельных установках тепловых электрических станций при использовании вторичных энергоресурсов // Журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». - Ташкент, Специальный выпуск, 2022. – С. 271-276. (05.00.00; №21).

**II бўлим (II часть; II part)**

7. A A Mukolyants, M D Buranov, I V Sotnikova, H F Makhmudov. Operation analysis of expander-generator unit at a gas distribution station. Journal of Physics: Conference Series 1515 (2020) 022053 IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1515/2/022053>.

8. M.D. Buranov, A.A. Mukolyants, I.V. Sotnikova. Generation of electrical energy at gas pipelines using a transported natural gas technological pressure drop. Rudenko International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems” <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1399/5/055089>

9. Буранов М.Д., Мукольянц А.А., Сотникова И.В. Исследование эффективности бестопливной установки для производства электроэнергии путем использования энергии возобновляемых источников. Материалы научно практической конференции «Инновационные разработки в сфере науки, образования и производства – основа инвестиционной привлекательности нефтегазовой отрасли». Филиал Российского государственного университета имени Губкина в г.Ташкенте. 3 ноября 2020 г. С. 146-149.

10. Mukolyants A..A. , Buranov M. D., Sotnikova I. V., Azimova M.M. Analysis of the influence of the input parameters on the efficiency of the operation of the detander generator unit in the gas network system of the Republic of Uzbekistan. E3S Web of Conferences 216, 01130 (2020) RSES 2020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601130>.

11. Mukolyants A.A., Buranov M.D., Sotnikova I.V., Makhmudov H.F. The expander-generator unit at a gas distributing station of magistral gas pipeline. The collection includes 16th the International Scientific and Practical Conference “Science and Society” by SCIEURO in London 23-28 February 2020. pp.8-16.

12. Мукольянц А.А., Буранов М.Д., Сотников И.В., Махмудов Х.Ф. Использование перепада давления газа в качестве источника вторичных энергоресурсов. Международная научно-техническая on-lain конференция: «Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в сфере охраны окружающей среды». ТашГТУ. Ташкент 17-19 сентября 2020 г.- С.219-220.

13. Mukolyants A.A., Sotnikova I.V., Ergasheva D.K., Karimova N.E. Study of efficiency of schemes of fuel-free units of electric power generation in a gas supply system. International Journal of Advanced Science and Technology Vol. 29, No. 11s, (2020), pp. 1480-1484.

14. Халисмаатов И., Мукольянц А.А., Махмудов Х.Ф., Буранов М.Д., Таубалдиев А.А. Программа «Расчет номинальной располагаемой мощности, получаемой при помощи детандер–генераторного агрегата». Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № DGU 11657, 05.05.2021.

15. Мукольянц А.А., Сотникова И.В., Шадибекова Ф.Т., Саидов Ф.С. Экономический эффект от внедрения детандер-генераторного агрегата при утилизации вторичных энергетических ресурсов. Международный научный журнал «Annali d’Italia». – Флоренция. № 31, 2022. – С. 135-139.

16. Мукольянц А.А., Буранов М.Д., Сотников И.В., Исследование эффективности бестопливной установки для производства электроэнергии путем использования энергии возобновляемых источников. Материалы научно-практической конференции «Инновационные разработки в сфере науки, образования и производства – основа инвестиционной привлекательности нефтегазовой отрасли». Филиал Российского государственного университета имени Губкина. – Ташкент. 3 ноября 2020 г., – С. 275-280.

17. Таслимов А.Д., Мукольянц А.А., Халисматов И., Махмудов Х.Ф. Цифровая трансформация систем энергетики при утилизации энергии избыточного давления природного газа. Республиканская научно-техническая конференция (с международным участием) «Инновационное развитие электросетевых предприятий в условиях цифровизации отраслей экономики». - Ташкент, ТашГТУ, 8 сентября 2021 г. С.141-145.

18. Мукольянц А.А., Буранов М.Д., Эргашева Д.К. Повышение энергетической эффективности работы детандер-генераторного агрегата при использовании ветроэнергетической установки. // Междисциплинарный научный журнал «Journal of science. Lyon». Lyon. - 2020. -№5. -1 часть. - С.56-60.

19. Mukolyants A.A., Ergasheva D.K., Shadibekova F.T., Taubaldiev A.A. Prospects of the application of expander generator sets in the gas transportation system of the Republic of Uzbekistan. The Strategies of Modern Science Development: Proceedings of the XXI International scientific-practical conference. Morrisville, USA, October 12-13, 2021. – Morrisville: Lulu Press, 2021. p.40-42.

20. A A Mukolyants, I V Sotnikova, D K Ergasheva, F T Shadibekova, A A Taubaldiev. Heating of natural gas before expander – generator unit. Journal of Physics: Conference Series 2094 (2021) 052049 IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2094/5/052094>.

21. A A Mukolyants, M D Buranov, I V Sotnikova, A A Taubaldiev. Air heating in an air heat pump installation in the expander – generator set. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 1155 (2021) 012080. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1155/012080> .

22. A A Mukolyants, I V Sotnikova, D K Ergasheva, A A Taubaldiev. Expander-generator set for utilization of natural gas overpressure energy. E3S Web of Conferences 289 (2021) 07034. EDP Publishing. <https://doi.org/10.1051/e3conf/202128907034>.

23. Эргашева Д.К., Буранов М.Д., Мукольянц А.А., Шодибекова Ф.Т. Детандер-генераторный агрегат в системах использования энергии сжатого природного газа. Республиканская научно-техническая конференция «Актуальные проблемы инновационных технологий химической, нефтегазовой и пищевой промышленности». - Ташкент, ТКТИ, 18-19 ноября 2020 г. С.100 - 102.

24. Мукольянц А.А., Буранов М.Д., Таубалдиев А.А. Энергосберегающая детандер-генераторная установка в системах утилизации энергии сжатого природного газа. Международная научно-практическая конференция «Роль альтернативных источников энергии в развитии энергетики»: Материалы научных трудов международной научно-практической конференции, -Наманган, НамИСИ, 24 апреля 2021 г. С. 507-510

25. Таубалдиев А.А., Мукольянц А.А. Оптимизация подогрева природного газа до детандер-генераторного агрегата Республиканская научной-практическая конференция «Роль интеллектуальной молодежи в

развитии науки и техники». Сборник докладов республиканской научно-практической конференции. -Ташкент, ТашГТУ, 2021 г. С. 50-53.

26. Mukolyants A.A., Buranov M.D., Makhmudov H.F., Kurbanaliev M. Research of schemes for using energy-saving turbo expanders installations in Uzbekistan's gas supply systems. Norwegian Journal of development of the International Science. Oslo, Norway, №44. 2020. VOL.1. p. 47-54.

27. Мукольянц А.А., Азизова Г.С., Таубалдиев А.А. Подогрев природного газа перед детандер-генераторным агрегатом. Республиканская научно-техническая конференция «Роль и задачи развития производственных систем автоматизации технологических процессов» Фергана. 22-23 октябрь. 2021. - С.138-140.