

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ**

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

д. т. н., професор

_____ Ю.М. Терещенко

« _____ » листопада 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

здобувача освітнього ступеня «МАГІСТР»

за освітньо-професійною програмою

«Газотурбінні установки і компресорні станції»

Тема: Газорозподільна станція з детандер-генераторним агрегатом

Виконавець: _____ Чернишенко Іван Олегович

Керівник: канд. техн. наук, доцент _____ Капітанчук Костянтин Іванович

Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:

Охорона праці: _____ О. О. Козлітін

Охорона навколишнього середовища: ктн., доцент _____ Т. І. Дмитруха

Нормоконтролер: канд. техн. наук доцент _____ М. П. Андрійшин

Київ 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет _____ аерокосмічний _____
Кафедра _____ авіаційних двигунів _____
Освітній ступінь _____ магістр _____
Спеціальність _____ 142 Енергетичне машинобудування _____
Освітньо-професійна програма Газотурбінні установки і компресорні станції

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д. т. н., професор _____ Ю.М. Терещенко

«06» вересня 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

Чернищенко Івана Олеговича

1. Тема роботи: «Газорозподільна станція з детандер-генераторним агрегатом» затверджена наказом ректора від «21» жовтня 2022 р., № 1987/ст.
2. Термін виконання роботи: з 05 вересня 2022 р. по 31 листопада 2022 р.
3. Вихідні дані роботи: тиск газу на вході в турбодетандер - 3,6 МПа; тиск газу на виході з турбодетандера - 1,64 МПа; температура газу на вході в турбодетандер - 340 К; температура газу на виході з турбодетандера - 280 К
4. Зміст пояснювальної записки: перелік умовних скорочень, реферат, зміст, вступ, аналіз можливості використання детандер-генераторного агрегату на газорозподільній станції, автономні системи електропостачання газорозподільних станцій з детандер-генераторними агрегатами, конструктивна розробка детандер-генераторних агрегатів, охорона праці, охорона навколишнього середовища, висновки, список використаних джерел, додатки.
5. Перелік обов'язкового презентаційного матеріалу: генеральний схема валу детандер-генераторного агрегату, схема детандер-генераторного агрегату, типові схеми ГРС з одним детандер-генераторним агрегатом, принципова схема з двома детандер-генераторними агрегатами

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1.	Аналіз можливості використання детандер-генераторного агрегату на газорозподільній станції	06.10.2022	
2.	Автономні системи електропостачання газорозподільних станцій з детандер-генераторними агрегатами	15.10.2022	
3.	Конструктивна розробка детандер-генераторних агрегатів	25.10.2022	
4.	Розробка питань охорони праці	02.11.2022	
5.	Розробка питань охорони навколишнього середовища	12.11.2022	
6.	Оформлення пояснювальної записки	20.11.2022	
7.	Оформлення креслень та презентації	22.11.2022	

7. Консультація з окремих розділів

Назва розділу	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	старший викладач Козлітін О. О.		
Охорона навколишнього середовища	канд. техн. наук, доцент Дмитруха Т. І.		

8. Дата видачі завдання: 06 вересня 2022 р.

Керівник кваліфікаційної роботи: _____ К. І. Капітанчук
(підпис керівника)

Завдання прийняв до виконання: _____ І. О. Чернишенко
(підпис випускника)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Газорозподільна станція з детандер-генераторним агрегатом»: 98 сторінок, 13 рисунків, 3 таблиці, 2 додатки, 22 використаних джерела.

ГАЗОРОЗПОДІЛЬНА СТАНЦІЯ, ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНИЙ АГРЕГАТ, ТУРБОДЕТАНДЕРНА УСТАНОВКА

Мета і задачі виконання кваліфікаційної роботи.

Пропонується розробка детандер-генераторного агрегату для використання на газорозподільній станції з метою запровадження сучасних технологій утилізації енергії тиску природного газу з перетворенням в електроенергію та холод.

Об'єкт дослідження – газорозподільна станція.

Предмет дослідження – детандер-генераторний агрегат.

Методи дослідження – аналітичні та статичні дані. Обробка даних проведена з використанням математичної статистики та обчислювальної техніки.

Практичне значення отриманих результатів.

Матеріали кваліфікаційної роботи рекомендується застосовувати у практичній діяльності фахівців конструкторських бюро і можуть бути використані в процесі модернізації існуючих та розробці новітніх газорозподільних станцій.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТУ НА ГАЗОРОЗПОДІЛЬНІЙ СТАНЦІЇ	11
1.1. Загальна характеристика газорозподільної станції	11
1.2. Призначення та функціонування сучасних газорозподільних станцій ..	12
1.3. Загальна характеристика турбодетандерів	13
1.3.1. Умови і принцип роботи детандер-генераторного агрегату	17
1.3.2. Детандер-генераторні агрегати на газорозподільних станціях міжнародних компаній АББ і Атлас Копко	22
Висновки за розділом	26
РОЗДІЛ 2. АВТОНОМНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИХ СТАНЦІЙ З ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНИМИ АГРЕГАТАМИ	27
2.1. Аналіз можливості використання автономних джерел електропостачання для газорозподільних станцій	27
2.2. Автоматизовані газорозподільні станції з використанням електроенергії від детандер-генераторного агрегату у вузлу підігріву газу	28
2.3. Схема отримання максимальної кількості електроенергії і побічного продукту «холоду»	31
Висновки за розділом	35
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТИВНА РОЗРОБКА ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТУ	36
3.1. Термодинамічний розрахунок детандер-генераторного агрегату	36
3.2. Пропозиції щодо можливості встановлення другого детандер-генераторного агрегату	44
3.3. Термодинамічний розрахунок другого детандер-генераторного агрегату	45

3.4. Генератори та система автоматичного керування детандер-генераторного агрегату	52
3.4.1. Генератори для детандер-генераторного агрегату	52
3.4.2. Система автоматичного керування детандер-генераторного агрегату	53
Висновки за розділом	56
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	57
4.1. Законодавча та нормативна бази України з охорони праці	57
4.2. Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, діючі в робочій зоні газорозподільної станції. ГОСТ 12.0.003-74 ССБ	60
4.3. Технічні та організаційні заходи по зменшенню рівня впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів. ГОСТ 12.0.003-74 ССБ	63
4.3.1. Розрахунок освітлення зала редукування газу та його облік	65
4.4. Забезпечення пожежної та вибухобезпеки при роботі на газорозподільній станції згідно з ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ та ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ	68
4.5. Основні правила по техніці безпеки	72
4.5.1. Техніка безпеки при експлуатації ГРС	72
4.5.2. Техніка безпеки при ремонтних роботах	73
4.5.3. Пожежна безпека	74
Висновки за розділом	78
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	79
5.1. Вплив газорозподільної станції на навколишнє середовище	81
5.2. Екологічна безпека при експлуатації газорозподільної станції	87
Висновки за розділом	93
ВИСНОВКИ	94
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	95
Додаток А. Програма термодинамічного розрахунку ДГА	99
Додаток Б. Програма термодинамічного розрахунку другого ДГА	109

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ГРС	– газорозподільна станція;
ГРП	– газорозподільний пункт;
ДГА	– детандер-генераторний агрегат;
ДГУ	– детандер-генераторна установка;
ЗП	– запірний пристрій;
ПЗШ	– пристрій звужуючий швидкозмінний;
КВПіА	– контрольно-вимірювальні прилади і автоматики;
САК	– система автоматичного керування;
САР	– система автоматичного регулювання;
ВДОП	– відомчі документи про охорону праці;
ГДК	– гранично допустима концентрація;
ДНАОП	– державні нормативні акти про охорону праці;
КЗпП	– кодекс законів про працю України;
ККД	– коефіцієнт корисної дії;
НАНУ	– Національна академія наук України;
ОБРВ	– орієнтовно безпечний рівень впливу

ВСТУП

Через ТОВ «Оператор газотранспортної системи України» транспортується близько 50 % природного газу з РФ до 18 країн Європи: Австрії, Болгарії, Боснії, Греції, Італії, Македонії, Молдови, Німеччини, Польщі, Румунії, Сербії, Словаччини, Словенії, Туреччини, Угорщини, Франції, Хорватії та Чехії [1].

ГТС України налічує 33079 км газопроводів діаметром від 700 до 1400 мм, 57 компресорних станції (КС), на яких експлуатується понад 700 газоперекачувальних агрегатів (ГПА), 1389 газорозподільних станції (ГРС).

Потужність ГТС на вході – 281 млрд м³ за рік. Потужність ГТС на виході – 146 млрд м³ за рік [2].

У 2020 році внаслідок ворожої діяльності РФ транзит газу до Європи українською ГТС становив лише 55,8 млрд м³, що на 38 % менше, порівняно з 2019 р. [3].

Порівняно з 2016 р. вітчизняний видобуток у 2017 р. збільшився на 620 млн м³ або на 3,1 %, але у 2020 р. видобуток природного газу скоротився на 2 % – до 20,2 млрд м³, ніж минулого року.

Крім транзиту природного газу трубопровідний транспорт забезпечує внутрішні потреби України. З магістральних газопроводів (МГ) природний газ надходить через газопроводи-відводи до розподільних мереж або до великих споживачів – промислових підприємств та постачає надходження власного природного газу від газових родовищ та підземних сховищ газу.

Морально застаріле та фізично зношене обладнання ГРС потребує технічного переозброєння, реконструкції та нового будівництва. Разом з тим, розгляду підлягають в основному ті ГРС, які визначають перспективне газопостачання споживачів газом. Незалежно від величини та значимості об'єкту, обсяги і етапи технічного переоснащення, реконструкції, нового будівництва повинні підпорядковуватись режимно-потоківим вимогам єдиної ГТС України. Усе це складає єдину нероздільну систему, яка злагоджено функціонує завдяки кваліфікованій роботі всіх підрозділів: диспетчерських,

лінійно-експлуатаційних, ремонтних, охоронних та планово-виробничих служб управлінь магістральних газопроводів.

Згідно з положеннями частини 2 статті 30 Закону України «Про ринок природного газу» розроблено «План розвитку газотранспортної системи до 2029 року», що визначає основні об'єкти, будівництво або реконструкцію яких заплановано на наступні 10 років. Підтверджені інвестиції, а також визначений перелік нових інвестицій, що мають бути здійснені протягом наступних трьох років та терміни реалізації всіх інвестиційних проектів.

План розвитку ГТС розроблено на основі Енергетичної стратегії України до 2035 року «Безпека, Енергоефективність, Конкурентоспроможність» [4], ENTSOG TYNDP 2020 та з урахуванням енергетичних стратегій ЄС до 2035 р. та 2050 р., стратегії з інтеграції енергетичних систем для сталого розвитку (затвердженої ЄК 08.07.2020), Водневої стратегії для кліматично нейтральної Європи (затвердженої ЄК 08.07.2020), Європейської промислової стратегії щодо плану майбутньої економіки (затвердженої ЄК 10.03.2020).

Турбодетандери – утилізатори енергії тиску природного газу з перетворенням в електроенергію і холод в енергозберігаючій технології. У системах видобутку, транспорту, розподілу і переробки природного газу зниження його тиску до необхідних величин в даний час в основному виробляється шляхом дроселювання за допомогою клапанних регуляторів тиску прямої дії. При цьому розсіюється величезна кількість енергії тиску природного газу, починаючи з природного – пластового в процесі його видобутку і далі енергії, витраченої на стиснення газу в процесі його транспортування [5].

В газовій галузі до систем зниження тиску газу відносяться: промислові газорегулюючі станції (ПГРС); газорозподільні станції (ГРС) (до трьох ступенів зниження тиску газу), включаючи ГРС підготовки паливного газу для газотурбінних і поршневих КС; великі газорегулюючі пункти (ВРП), які беруть газ з кількох магістральних газопроводів (МГ); газорозподільні пункти (ГРП), що забезпечують подачу газу безпосередньо споживачам.

Ідея використання (утилізації) енергії тиску газу в системах його редукування не відрізняється новизною, а сама проблема є актуальною у всьому світі і особливо актуальною стає в даний час в країнах колишнього СРСР і в Україні в зв'язку з постійним подорожчанням енергоресурсів [6-7].

Мета і завдання виконання кваліфікаційної роботи – пропонується розробка детандер-генераторного агрегату для використання на ГРС з метою запровадження сучасних технологій утилізації енергії тиску природного газу з перетворенням в електроенергію та холод.

Об'єкт дослідження – газорозподільна станція.

Предмет дослідження – детандер-генераторний агрегат.

Методи дослідження – аналітичні та статичні дані. Обробка даних проведена з використанням математичної статистики та обчислювальної техніки.

Практичне значення отриманих результатів.

Матеріали кваліфікаційної роботи рекомендується застосовувати у практичній діяльності фахівців конструкторських бюро і можуть бути використані в процесі модернізації існуючих та розробці новітніх ГРС.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТУ НА ГАЗОРОЗПОДІЛЬНІЙ СТАНЦІЇ

1.1. Загальна характеристика газорозподільної станції

ГРС є останніми об'єктами в ланцюзі ГТС і одночасно є головними спорудами для міських систем газопостачання. ГРС призначені для прийому газу з МГ, очищення його від механічних домішок, зниження тиску газу до значень необхідних в міських системах і підтримці його на постійному рівні, одоризації і підігріву газу, визначення витрати газу [8].

З огляду на те, що припинення подачі газу до міст і великим промисловим підприємствам неприпустимо, в ГРС передбачена захисна автоматика, яка виконана за принципом резервування. Резервна лінія включається у випадку виходу з ладу основної лінії редукування.

В останні роки набули широкого поширення автоматизовані ГРС. ГРС продуктивністю до 200 тис. м³/год експлуатують безвахтовим обслуговуванням. У цьому випадку на ГРС є комплекс устаткування і КВП, що дозволяють здійснювати експлуатацію її в автоматизованому режимі. Обслуговування таких ГРС здійснюють два оператора на дому.

У разі виникнення аварійної ситуації звукові і світлові сигнали передаються в житлові будинки операторів, які розташовуються на відстані не більше 0,5 км від ГРС. Обслуговування ГРС продуктивністю понад 200 тис. м³ / год проводиться в вахтовому режимі [5, 9].

Основні складові ГРС зображено на рис.1.1, саме: вузли перемикання, очищення, підігрівання, редукування, вимірювання та одоризації газу.

Допоміжні вузли і системи ГРС: будинок ГРС або окремі блоки у формі спеціальних шаф, системи вентиляції і опалення, засобів технологічного зв'язку і телемеханіки; системи захисту від грози і корозії, лінії електропередачі, під'їзні автомобільні дороги тощо.

Технологічна схема ГРС забезпечує надійну їх роботу без втручання обслуговуючого персоналу.



Рис. 1.1. Основні вузли ГРС

До складу ГРС входять додаткові захисні пристрої, які забезпечують безперебійну роботу ГРС у разі виходу з ладу основних регулювальних засобів.

1.2. Призначення та функціонування сучасних газорозподільних станцій

За своїм призначенням виділяють такі види ГРС [5, 9]:

- станції, які розміщені на відгалуженні газопроводу. Вони встановлені на кінцевому ділянці відгалуження до промислового об'єкта або ж населеного пункту. Їх продуктивність складає від 5 до 500 тисяч кубічних метрів на годину;

- промислова станція, яка призначена для підготовки газу або видалення вологи і пилу з нього при видобутку на промислі. Така ГРС може використовуватися для забезпечення газом населеного пункту, розташованого в безпосередній близькості до промислу;

- контрольно-розподільчі пункти, які встановлюються на відгалуженнях від магістральних газопроводів до сільськогосподарських або промислових об'єктів. Також вони використовуються для живлення кільцевої системи газопроводів, які розташовані навколо міста. Їх продуктивність складає від 2 до 12 тисяч кубометрів кожну годину;

- автоматизована ГРС (АГРС) призначена для забезпечення газом маленьких населених пунктів та селищ, які розташовані на відгалуженнях від МГ. Їх продуктивність складає від 1000 до 3000 кубометрів за годину.

У свою чергу АГРС поділяється на газорегуляторні пункти (ГРП), і газорегуляторні установки. Так, ГРП призначені для зменшення тиску газу, а також підтримання його на необхідному рівні, який задається міськими газовими мережами середнього або високого тиску.

Газорегуляторні установки використовуються для живлення газових мереж або об'єктів. Витрата газу на них становить до півтора тисяч кубометрів на годину. ГРС, які встановлені на МГ в ході своєї роботи знижують початковий тиск газу.

Технологічна схема АГРС зображена на рис. 1.2 і включає в себе всі необхідні елементи, а також комплектується сучасним обладнанням.

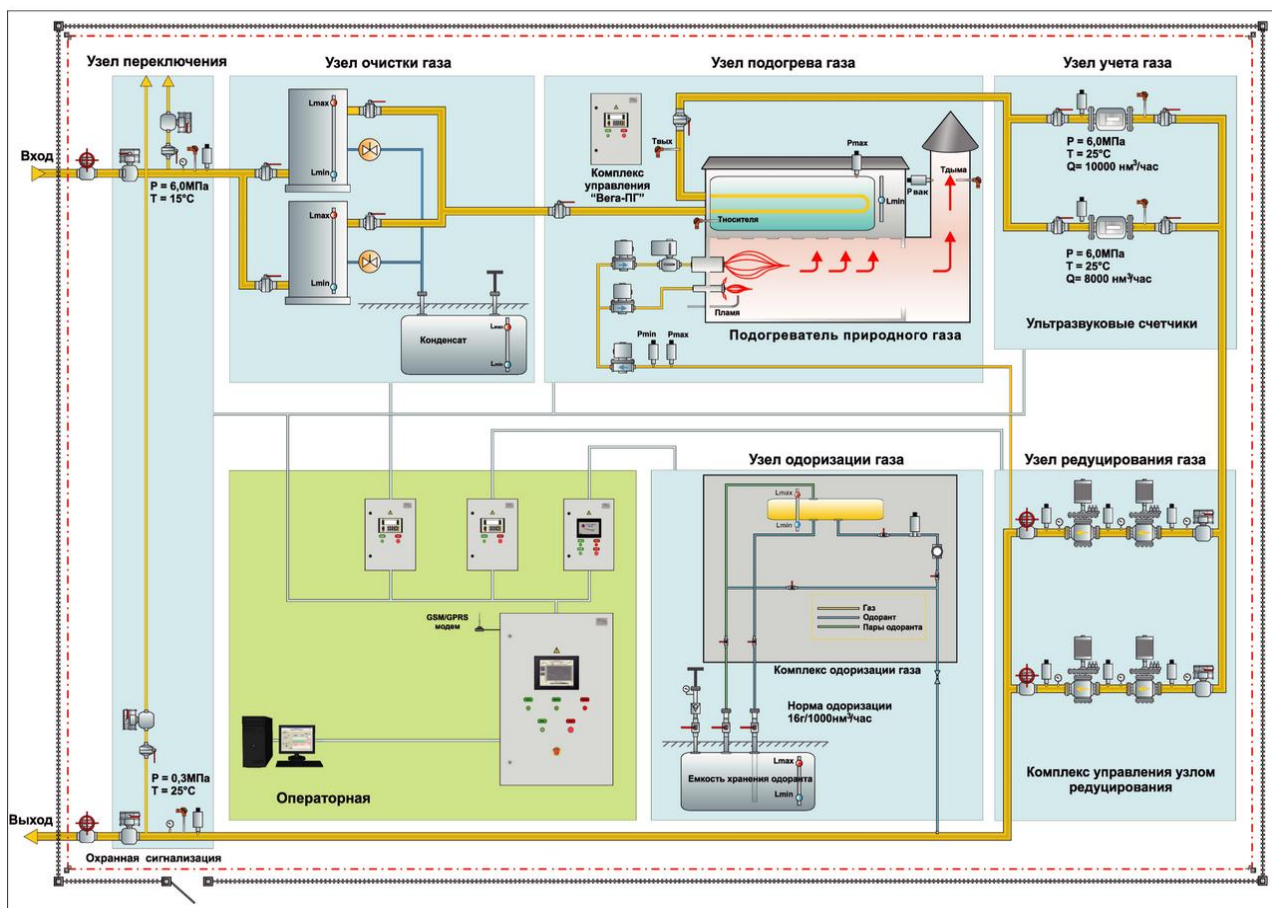


Рис. 1.2. Технологічна схема АГРС

Газ із вхідного газопроводу надходить до блоку комутаційних пристроїв і подається на очищення в оливні пиловловлювачі або вісцинові фільтри блоку очистки, потім надходить до блоку автоматичного регулювання тиску.

Далі газ надходить до вихідних газопроводів низького тиску, де проводяться вимірювання витрати, її кількісний облік і одоризація. Кількість ліній редукування на газорозподільній станції залежить від витрати газу; одна з ліній передбачається як резервна.

АГРС оснащуються комплектом запірної арматури, яка при аварійній ситуації забезпечує автоматичне введення в дію і відключення робочих і резервних ліній редукування [6-9].

Для безперебійного постачання споживачів газом в разі виходу з ладу регулятора тиску, заміни, ремонту або огляду обладнання передбачається обвідний газопровід (байпас) з ручним регулюванням тиску. Найбільшого поширення набули ГРС, які споруджені за типовими проектами, або блочні заводського виготовлення.

Вимірювання рівня витрат газу на ГРС здійснюється за допомогою ротаційних або турбінних газових лічильників, які розміщуються на газопроводі середнього тиску безпосередньо на виході із самої станції. Температура газу вимірюється за допомогою термометра на вході в ГРС, а також на лініях редукування, які знаходяться за газовим лічильником [9, 10].

Як правило, вимірювання об'єму споживаного газу здійснюється за допомогою звужуючих пристроїв, наприклад, таких як діафрагма, або ж сопла Вентурі. Захисна система автоматики на сучасних ГРС працює за принципом резервування, тобто при виході з ладу одного з регуляторів тиску природний газ для споживача подається з системи резервування (газгольдерів, підземних сховищ газу).

ГРС обладнана вимірювальними приладами, захисною автоматикою, звуковою і світловою сигналізацією. Автоматизація ГРС дозволяє здійснювати безвахтове обслуговування.

Обслуговуються ГРС двома операторами, які розміщуються в будинках операторів, розташованих від ГРС на відстані 300...500м. При виникненні несправності в будинок оператора надходять світловий і звуковий сигнали.

Якщо пропускна здатність ГРС становить понад 200000 м³/годину, то її обслуговування здійснюється вахтовим персоналом. При великих витратах і перепадах тиску газу регулятори тиску працюють нестабільно і створюють великий шум (з яким можна боротися, встановивши додатково шумоглушники). Виходячи з цього, зниження тиску на ГРС при великих перепадах тиску газу і витрати здійснюють у дві стадії.

При певних значеннях температури і тиску вологого газу в газопроводі утворюються кристалогідратні сполуки, що складаються з води і нестійких сполук вуглеводнів [10].

Кристалогідрати знижують пропускну здатність газопроводу і навіть можуть повністю перекрити його перетин. Крім цього, різко погіршується робота регуляторів тиску.

З метою запобігання утворення кристалогідратів здійснюється попередня осушка газу або підігрів його у водяних теплообмінниках рекуперативного типу на ГРС [10].

Щоб уникнути вибухів і пожеж на ГРС встановлюють спеціальні установки для додання запаху газу. Ці установки встановлюються в тих випадках, коли газ на головних споруд не одорюється або ступінь одоризації газу, що надходить на ГРС, нижчими від встановлених меж.

Раніше було зазначено, що установки по одоризації газу поділяються на барботажні, краплинні і випарні. Основними вузлами ГРС є вузли перемикання, очищення, редукування, обліку газу, і його одоризації.

1.3. Загальна характеристика турбодетандерів

Детандер – пристрій, що перетворює потенційну енергію газу в механічну енергію. При цьому газ, здійснюючи роботу, охолоджується. Енергія, яка виробляється в ході розширення газу на робочому колесі детандера, передається через загальний вал на робоче колесо компресора, що дозволяє утилізувати її в технології [6-7, 11].

Детандер-генераторний агрегат (ДГА) являє собою пристрій, в якому енергія потоку транспортованого природного газу перетворюється спочатку в механічну енергію в детандері, а потім в електричну енергію в генераторі.

В газовій промисловості турбодетандери використовуються для:

– пуску газотурбінної установки газоперекачувального агрегату, а також для повертання її ротора при зупинці (з метою його охолодження), при цьому турбодетандер працює на транспортується газ з випуском його після турбіни в атмосферу;

– охолодження природного газу (при його розширенні в турбіні) в установках його скраплення;

– охолодження природного газу в установках його «промисловий» підготовки для транспорту по трубопровідній системі (видалення вологи шляхом її виморожування та ін.);

– приводу компресора високого тиску з метою подачі газу в пікові сховища;

– вироблення електроенергії на ГРС.

Турбодетандерні установки, встановлені на ГРС і ГРП дозволяють використовувати потенційну енергію стисненого газу для вироблення екологічно чистої електроенергії без спалювання палива і отримали широке застосування в області переробки природного газу, нафтохімії та енергетики.

Існуючі типи турбодетандерів:

– Детандер-компресор. Широке застосування в промисловості. Після сепарації важких вуглеводнів в сепараційному барабані, газ стискається в відцентровому компресорі. Агрегат має єдиний вал з одним колесом детандера і одним компресорним колесом.

Цей тип турбодетандера застосовують в технологічних циклах для зниження температури газу і для підвищення тиску технологічного газу внаслідок роботи ступеня компресора [6-7, 11]:

– Детандер-генератор. Використовується для вироблення електроенергії (з отриманням холоду) в технологічних установках та на ГРС при утилізації (регенерації) енергії стисненого газу;

– Детандер з гідротормозом. Використовується там, де необхідна невелика холодопродуктивність (до 100 кВт), а утилізація потужності, що виробляється детандером, економічно недоцільна.

Варіанти виконання турбодетандерів:

- з підшипниками традиційного типу;
- з різними системами ущільнення валу;
- з активними магнітними підшипниками.

Переваги магнітного підшипника:

- повністю виключається ризик потрапляння масла в апарати установки;
- менші масогабаритні характеристики;
- немає проблеми з охолодженням масла, якщо вода дуже поганої якості, повітря понад 35⁰С і немає автономної системи охолодження.

Детандер-генератори потужністю до 500 кВт можуть бути виконані за схемою: детандер-високочастотний генератор на магнітних підшипниках без механічного редуктора [6-7, 11].

Галузь застосування:

Турбодетандери з успіхом застосовуються в області переробки природного газу і нафтохімії, в енергетиці.

При роботі з природним газом можна виділити наступні застосування турбодетандерів:

- контроль точки роси;
- регенерація етану;
- охолодження і зріджування газів;
- проекти з великою витратою рідини на виході з детандера.

Основні напрямки застосування турбодетандерів:

- ринок промислового газу;

- танкери для перевезення зріджених природних газів;
- морські платформи;
- газопереробні заводи;
- заводи з виробництва зрідженого природного газу;
- заводи з виробництва олефінів;
- вироблення електроенергії для станцій зниження тиску і газогенераторних станцій.

Поперечний переріз детандер-генераторного агрегату надано на рис. 1.3.

Детандер-генераторний агрегат оснащений циліндричним корпусом 1, який не має опорних поверхонь, і може монтуватися на трубопроводах в місцях, зручних замовнику, що дозволяє значно зменшити займані ним площі.

Корпус 1 має осьовий вхідний патрубок 2 і вихідний патрубок 3, розташований перпендикулярно осі корпусу 1. У середині корпусу 1 в високошвидкісних герметичних підшипниках кочення розміщений вал 4.

На валу 4 консольно встановлені робоче колесо 5 активного типу з осьовим подачею і елементи ротора генератора.

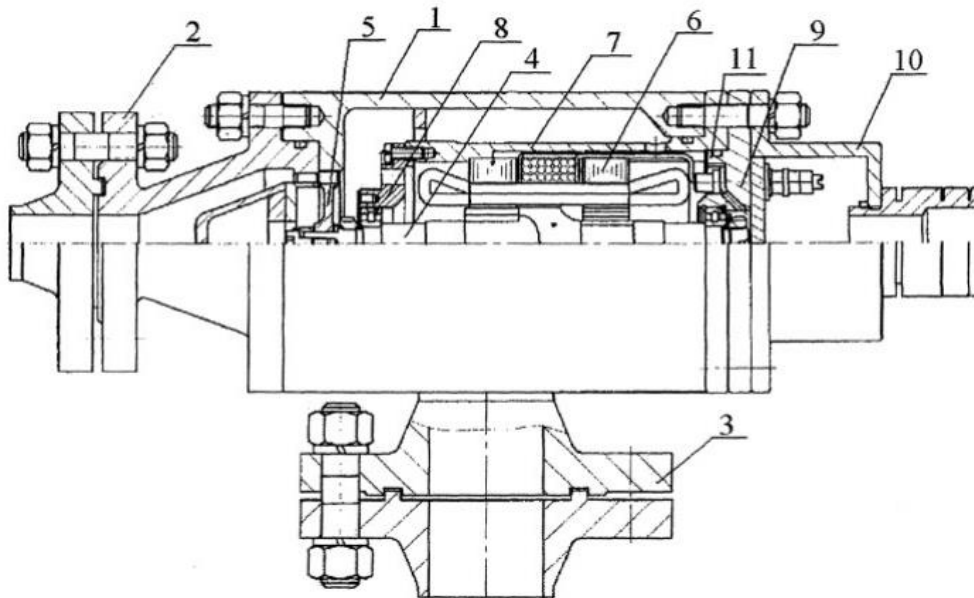


Рис. 1.3. Поперечний переріз детандер-генераторного агрегату:
 1 – корпус; 2 – вхідний патрубок; 3 – вихідний патрубок; 4 – вал; 5 – робоче колесо;
 6 – статор; 7 – корпус статора; 8, 9 – підшипники; 10 – коробка генератора; 11 – борт

Статор 6 закріплений у власному корпусі 7, також встановленому всередині корпусу 1. Між корпусами 1 і 7 утворений канал для проходу робочого середовища від вхідного патрубка 2 до вихідного 3. З боку вхідного патрубка 2 послідовно за робочим колесом до корпусу статора 7 болтами притягнута кришка першого підшипника 8 валу 4. З протилежного боку до корпусу 1 послідовно притягнуті фланці корпусу статора 7, кришки другого підшипника 9 і кабельної коробки генератора 10. При цьому кришка другого підшипника 9 забезпечена буртом 11, ущільнення, що входять в торцеву частину корпусу статора 7, забезпечують надійну посадку.

1.3.1. Умови і принцип роботи детандер-генераторного агрегату.

Основною вимогою до ДГА є ефективність і надійність роботи в різних умовах. Для багатьох установок ці умови означають значні зміни витрат і тисків потоків газу, через добову й сезонну нерівномірність газоспоживання тими чи іншими об'єктами.

Основні вимоги до ДГА [6-7, 11]:

- надійність і висока міцність радіальних і наполегливих підшипників, здатних витримувати значні навантаження і вібрації валу через осадження на роторі льоду (2...3 г льоду при $n = 25000$ об/хв надає радіальне навантаження до 1,0 т);

- надійна робота системи змащення і вибір мастил, придатних для роботи при низьких температурах;

- спеціальні методи монтажу обв'язки трубопроводів ДГА, що попереджають деформації трубопроводів і установки в цілому;

- надійність системи очищення газу від попадання всередину детандера і компресора твердих частинок: окалин і порошку сірчистого заліза від металу зварювальних швів трубопроводів та ін.;

- надійна система очищення газу від H_2O і CO_2 .

Велике значення мають і температурні умови роботи установок, особливо у технологічних схемах передбачається одержання низьких температур.

Особлива увага приділяється забезпеченню роботи ДГА з високими частотами обертання, сприйняттю можливих ударних і змінних навантажень, пристосованості до спільної роботи з агрегатами, що приводяться, а також вимогам автоматичного регулювання і керування.

Відомі конструкції ДГА досить добре відпрацьовані й у загальному задовольняють звичайним вимогам, таких як: високий ККД, мінімальні габарити і маса, а також високі показники надійності.

Ефективний ККД великих ДГА досягає 80 %, призначений ресурс роботи в останніх зразків досягає 120 тис. год, а по конструктивному оформленню ДГА все більш наближаються до суднових і авіаційних газових турбін, що лідирують у відношенні мінімальних масових і габаритних показників [6, 7].

В енергетиці застосовуються одно- і багатоступінчасті осьові і радіальні ДГА. Найчастіше радіальні ДГА використовуються для установок з відносно невисокими витратами природного газу. Багатоступінчасті конструкції використовуються для забезпечення високого ККД ДГА при великих ступенях розширення.

Найбільші вигоди обіцяє застосування ДГА в енергетику, у першу чергу через велике споживання природного газу. У свою чергу, це визначає відносно великі витрати газу через ДГА, що робить найбільш доцільне використання турбомашин з осьовими ступенями. Саме їм приділяється основна увага.

У ДГА момент на його валу виникає внаслідок розширення газу в проточній частині від тиску перед ним до тиску за ним. Розширення газу відбувається в нерухомих і обертових каналах спеціальної форми, що забезпечує максимальне перетворення потенційної енергії газу в кінетичну енергію обертання ротора ДГА.

Ступенем ДГА називається сукупність нерухомої (сопловий) і обертової (робочої) решітки. У ступені відбувається перетворення частини загального теплового перепаду ДГА.

Призначення соплових решіток – перетворити з мінімальними втратами внутрішню енергію потоку в кінетичну енергію кільцевих струменів газу. Соплові решітки встановлені в корпусі. Між обертовим валом і нерухомою діафрагмою встановлене ущільнення, що допускає лише дуже мале протікання газу повз соплові решітки.

Схему турбінного ступеня ДГА представлено на рис 1.4.

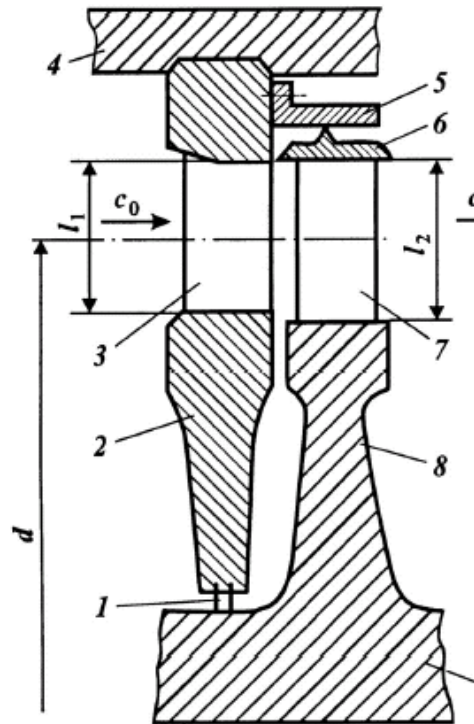


Рис. 1.4. Схема турбінного ступеня:

- 1 – діафрагмове ущільнення; 2 – діафрагма; 3 – соплові ґрати; 4 -корпус турбіни;
5 – ущільнення; 6 – стрічковий бандаж; 7 – робочі ґрати; 8 – диск; 9 – вал

Робочі лопатки, профілі яких утворюють робочі решітки, закріплені на роторі. На периферії робочих лопаток у більшості випадків установлюється бандаж з над бандажним ущільненням, що перешкоджає протіканню газу повз робочі решітки.

Призначення робочих решіток – перетворити кінетичну енергію потоку в роботу, тобто в обертання ротора ДГА.

Якісне перетворення енергії в ступені ДГА можна пояснити у такий спосіб. Газ у соплових решітках розширюється від параметрів p_0 , h_0 до параметрів p_1 , h_1 .

Як результат - із соплових каналів під малим кутом до площини вихідних кромок виходить кільцевий струмінь газу великої швидкості.

Цей струмінь обтікає профілі робочих решіток, утворюючи на їхніх поверхнях розподіл тиску. Результуюча окружних проекцій тиску на увігнутій стороні профілю більше, ніж на опуклій частині (спинці), у результаті чого виникає окружна сила R_u , що обертає диск, закріплений на валу. Додаткова реактивна сила може виникнути за рахунок розширення газу в каналах робочої решітки при виконанні їх звужуючими.

Схема розподілу тиску на профіль лопатки зображено на рис. 1.5.

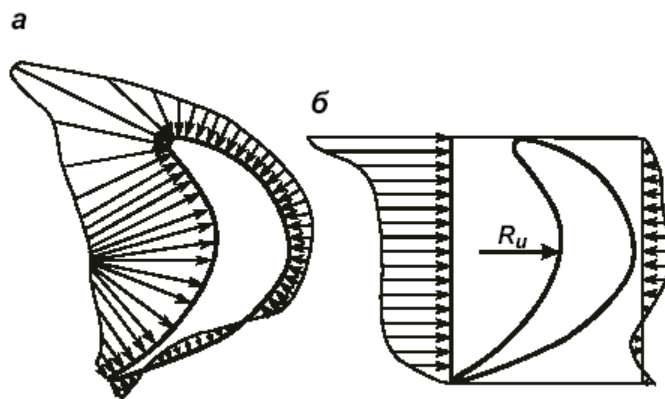


Рис. 1.5. Епюри розподілу тиску по профілі лопатки:
a – розподіл тисків; *б* – окружні проекції тисків

1.3.2. Детандер-генераторні агрегати на ГРС міжнародних компаній АББ і Атлас Копко.

Кожен день у світі величезна кількість природного газу транспортується по трубопроводах від джерел до споживачів. Компресори великої потужності, які приводяться в дію, в основному, газотурбінними двигунами, використовуються для стиснення газу з метою його транспортування [11].

Таке ж обладнання використовується на багатьох КС для компенсації втрат тиску газу від тертя, підтримуючи, таким чином, необхідне тиск газу по довжині газопроводу. Як тільки газ досягає області розподілу, він, звичайно, передається від газотранспортної компанії до компанії, яка обслуговує споживачів газу.

Так як газ, зазвичай, транспортується при тиску, який у багато разів перевищує необхідний для кінцевого споживача, то між трубопроводами транспорту газу і мережею його розподілу встановлені ГРС.

Газ повинен бути підігрітий для запобігання випадіння з нього газогідратів в турбіни, що приводить до зниження її надійності. Для цього необхідно, щоб температура газу за турбіною становила не менше $+ 50^{\circ}\text{C}$. Крім того, необхідно, щоб вона не перевищувала допустиму температуру, яка гарантує надійну роботу теплоізоляційного і антикорозійного покриття газопроводу (не більше $+ 40^{\circ}\text{C}$).

Підігрів газу підвищує його внутрішню енергію і, тим самим, потужність турбодетандера. Підвищується також ККД турбодетандера. Підігрів газу від 0°C до $+ 80^{\circ}\text{C}$ підвищує потужність турбодетандера на 30...35%.

Існує кілька типів турбодетандерів, які можуть бути використані для зазначеної мети, в тому числі: ротаційні, поршневі, гвинтові і турбінні.

Останні зі згаданих є найбільш доцільними для ГРС, тому що здатні працювати з великою кількістю газу і великими перепадами його тисків (в співвідношеннях до 5:1).

Потужність турбодетандера залежить від кількості газу, його температури і перепаду тисків. Ця потужність може бути використана не тільки для вироблення електрики, але і в інших, зазначених вище, метою.

Турбодетандери не є новою технологією на світовому ринку. Ці механізми, в межах потужності від 1 до 6 МВ, виробляються такими всесвітньо відомими міжнародними компаніями як АББ і Атлас Копко [11].

Найкращий з них виготовляється протягом багатьох років заводом АББ в Брюсселі і має потужність від 1 до 3,5 MW. В даний час власником цього заводу є Атлас Копко.

Принципова схема турбодетандерної установки зазначених вище фірм наведена на рис. 1.6.

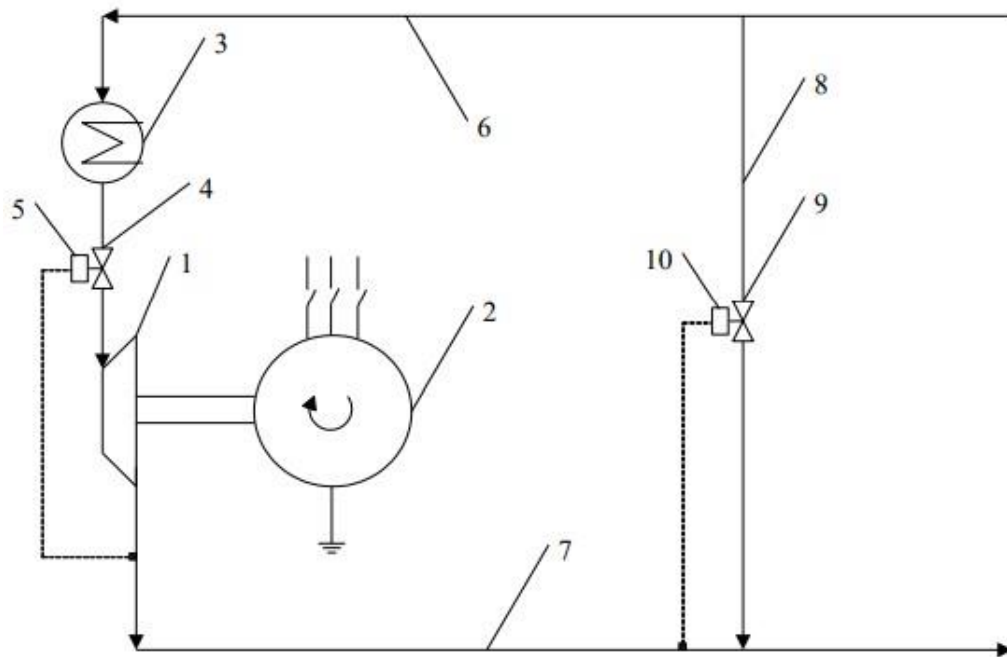


Рис. 1.6. Принципова схема детандер-генераторної установки:
 1 – турбіна; 2 – електрогенератор; 3 – підігрівач газу 3, 4, 9 – клапани;
 5 – регулятор тиску; 6 – газопровід високого тиску; 7 – газопровід низького тиску;
 8 – байпасний трубопровід; 10 – керований регулятор тиску

Природний газ надходить до установки по газопроводу високого тиску 6, проходить підігрівач 3, який регулює клапан 4 і розширюється в турбіні 1. Віддавши свою енергію турбіні 1, газ через газопровід низького тиску 6 надходить до споживача. Потужність турбіни 1 передається генератору 2, що проводить електричний струм [11].

Природний газ нагрівається в підігрівачі 3 для запобігання випадання з нього вологи і важких фракцій (гідратів, пропану, бутану і т.п.). Для цього необхідно, щоб температура газу за турбіною становила близько 5 °С.

Регулюючий клапан 4 турбіни 1, керований регулятором тиску 5, підтримує необхідний споживачеві значення тиску газу після турбіни 1 в газопроводі низького тиску 7. Байпасний трубопровід 8 використовується в процесі пуску установки, її нормального і аварійного висновків з дії. У цих випадках байпасний клапан 9, керований регулятором тиску 10, підтримує необхідне споживачеві значення тиску газу в газопроводі низького тиску 7 [11].

Отже, турбодетандери утилізують власні енергетичні ресурси ГТС (корисно не використаний перепад тиску газу) і досить прості в експлуатації.

Однак існують дві великі перешкоди для впровадження цієї технології, а саме: придатність ділянки (ГРС, ГРП) для можливого розміщення турбодетандера і законодавчі бар'єри.

Вибір ГРС (ГРП) для розміщення турбодетандера важливий з багатьох точок зору, основною з яких є економіка. Крім того, важливими міркуваннями при виборі ділянки є:

- доступність прилеглої електромережі або іншого ринку для електрики;
- вимоги до повітряного шуму з точки зору віддаленості від житла;
- наявність земельної ділянки для розміщення установки;
- величина сезонних змін витрати і тиску газу.

Одним з головних міркувань в аналізі можливості виробництва електрики на ГРС є законодавча область.

Існують три основні типи компаній, які можуть брати участь в даній технології, причому всі вони, в більшій чи меншій мірі, законодавчо регулюються.

Першим зі згаданих типів є газотранспортна компанія, діяльність якої регулюється Федеральним регулюючим органом.

Другим – газорозподільна компанія, діяльність якої регулюється місцевим (місто, область, регіон та ін.) регулюючим органом.

Третім – енергетична компанія, діяльність якої може регулюватися як місцевим, так і Федеральним регулюючими органами. Це регулювання може визначати тип бізнесу, яким може займатися компанія. На перший погляд, енергетична компанія є найбільш логічним покупцем виробленого на ГРС електрики, однак на неї можуть впливати безліч чинників.

Наприклад, якщо ця компанія має достатню потужність для забезпечення споживачів електроенергією, малоімовірно, що вона буде купувати його у газовій компанії. З іншого боку, Федеральний закон змушує її купувати електроенергію від нетрадиційних джерел, але реально, на практиці, він поки працює погано.

Висновки за розділом

1. Проведено аналіз можливості використання детандер-генераторних агрегатів (ДГА) на газорозподільних станціях (ГРС).
2. Надано загальну характеристику та функціонування сучасних ГРС.
3. Надано загальну характеристику, умови та принцип роботи ДГА.
4. Розглянуто схеми впровадження ДГА міжнародних компаній АББ і Атлас Копко в газотранспортну систему. Основна проблема впровадження УТДУ це потреба в значних питомих капіталовкладень.

РОЗДІЛ 2. АВТОНОМНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИХ СТАНЦІЙ З ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНИМИ АГРЕГАТАМИ

2.1. Аналіз можливості використання автономних джерел електропостачання для газорозподільних станцій

Одним з можливих джерел енергії для електропостачання об'єктів мережі газорозподілу є кінетична енергія потоку газу або потенційна енергія газу, що знаходиться під тиском. Кінетична енергія потоку газу виникає внаслідок перепаду тиску на початку і кінці мережі газорозподілу.

Саме завдяки створюваній на КС потенційної енергії газу здійснюється його транспортування по газорозподільній мережі. У більшості випадків в мережі є надлишок цієї енергії, частина якого можна направити на вироблення електричної енергії. Застосування автономних джерел електроенергії на об'єктах газорозподільної мережі може бути економічно вигідним тільки тоді, коли енергозабезпечення від мереж електропостачальних організацій вимагає великих капітальних витрат [6-9].

Вибір системи електропостачання залежить від конкретних умов і повинен бути обґрунтований для кожного об'єкта. Універсального рішення, яке задовольняло б за всіма техніко-економічними параметрами, зараз немає, і підключення до централізованого електропостачання в більшості випадків найбільш обґрунтовано.

Однак створення автономного джерела електропостачання, що відповідає потребам газової галузі, перш всього з економічної точки зору, могло б змінити підхід до системи електрозабезпечення об'єктів газопостачання, дозволивши відмовитися від покупки електроенергії у стороннього постачальника.

Одним з варіантів впровадження ДГА на автоматизованій ГРС (АГРС) є встановлення ДГА малої потужності для забезпечення власних потреб та автономності роботи ГРС. На рис. 2.1 надано технологічну схему АГРС з автономною системою електропостачання від детандер-генераторного агрегату.

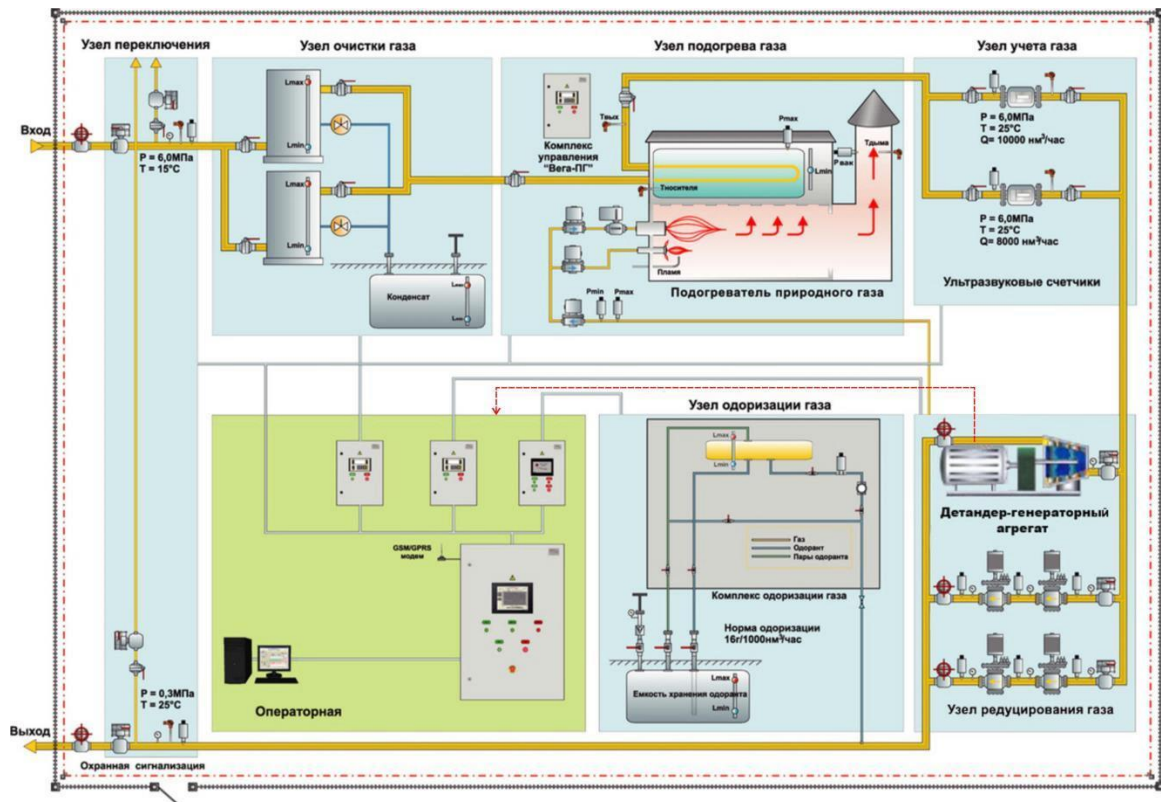


Рис. 2.1. АГРС з автономною системою електропостачання від детандер-генераторного агрегату [11]

Переваги:

1. Забезпечується автономна робота ГРС з малими ДГА (до 15 кВт).
2. Взагалі не потрібно підведення до ГРС лінії електропередачі при наявності резервного ДГА.

Недоліки:

1. Практично не окупається.
2. Необхідна система збудження генератора і система регулювання частоти і напруги струму.

2.2. Автоматизовані газорозподільні станції з використанням електроенергії від детандер-генераторного агрегату у вузлу підігріву газу

Природний газ, насичений парами води, при високому тиску і при певній позитивній температурі здатний утворювати тверді з'єднання з водою - гідрати.

Гідрати природних газів являють собою нестійке фізико-хімічне з'єднання води з вуглеводнями, яке з підвищенням температури або при зниженні тиску розкладається на газ і воду.

За зовнішнім виглядом - це біла кристалічна маса, схожа на лід або сніг.

Гідрати відносяться до речовин, у яких молекули одних компонентів розміщені у порожнинах решітки між вузлами асоційованих молекул іншого компонента. Такі сполуки зазвичай називають твердими розчинами впровадження, а іноді сполуками включення.

При зменшенні тиску газу на ГРС відбувається зниження його температури, що призводить до виникнення та відкладення твердих кристалогідратів на поверхні клапана і сідла регуляторів тиску, внаслідок чого вони перестають працювати, що може спричинити за собою повну зупинку всієї ГРС [6-7, 11].

Як спосіб боротьби з утворенням кристалогідратів застосовують такі методи:

- загальний або частковий підігрів газу;
- локальний підігрів корпусу регуляторів;
- введення метанолу у газопровід.

Всі перераховані методи мають як свої переваги, так і недоліки. Розберемо їх окремо.

Загальний або частковий підігрів природного газу на ГРС здійснюється за допомогою промислових підігрівачів. Даний спосіб, безсумнівно, є найбільш зручним, оскільки дозволяє постійно підтримувати необхідну температуру газу для повноцінного функціонування технологічних схем ГРС.

Конструктивно підігрівачі можуть бути з прямим і непрямим (за допомогою проміжного теплоносія) нагріванням, і оснащені різними комплектами автоматики та допоміжними пристроями. Вартість підігрівачів досить висока залежно від теплопродуктивності, пропускну здатності і комплектації. Даний спосіб найбільш поширений, але вимагає значних фінансових вкладень.

Локальний підігрів регуляторів здійснюють шляхом обмотування корпусу електричним стрічковим обігрівачем. При своїй відносній економічній вигоді, даний спосіб вимагає наявності стороннього джерела електроенергії [6-7, 11].

Введення метанолу в газопровід здійснюється шляхом установки системи впорскування. Вартість даної установки досить висока, плюс витрати на придбання витратного матеріалу - метанолу. Крім того, потрібно врахувати, що метанол є дуже сильною отрутою, що має кумулятивні властивості, тобто може накопичуватися в організмі.

Навіть незначна концентрація метанолу в повітрі може привести до дуже сильного отруєння. Тому для обслуговуючого персоналу метанолової установки потрібні додаткові засоби захисту, а відповідно, і додаткові витрати.

Найбільш широке застосування знайшов перший метод, другий - менш ефективний, третій - дуже дорогий [6-7, 11].

Крім зазначених способів, для запобігання гідратоутворення можуть застосовувати й інші: обігрів приміщень, де розташований вузол редукування, до необхідної температури, установка на регулятор підігрівальної водяної сорочки тощо.

Всі ці способи вимагають або значних капіталовкладень, або сторонніх джерел енергії. Крім того, встановлення додаткового обладнання спричиняє підвищення трудовитрат з його обслуговування.

Тому підігрів газу на ГРС у даний час є найбільш надійним та ефективним методом, що знайшов широке застосування для запобігання гідратоутворення. АГРС з автономною системою електропостачання від детандер-генераторного агрегату та підігрівом газу представлено на рис. 2.2.

Для підвищення ефективності роботи ГРС та забезпечення економічно вигідного способу підігріву газу можна використовувати електроенергію, що генерує ДГА.

При цьому замість спалювання газу, для підігріву, використовуються електричні обігрівачі (тени). Завдяки такому технічному рішенню значна частина природного газу економиться, що в свою чергу позитивно впливає на економічну вигоду [3].

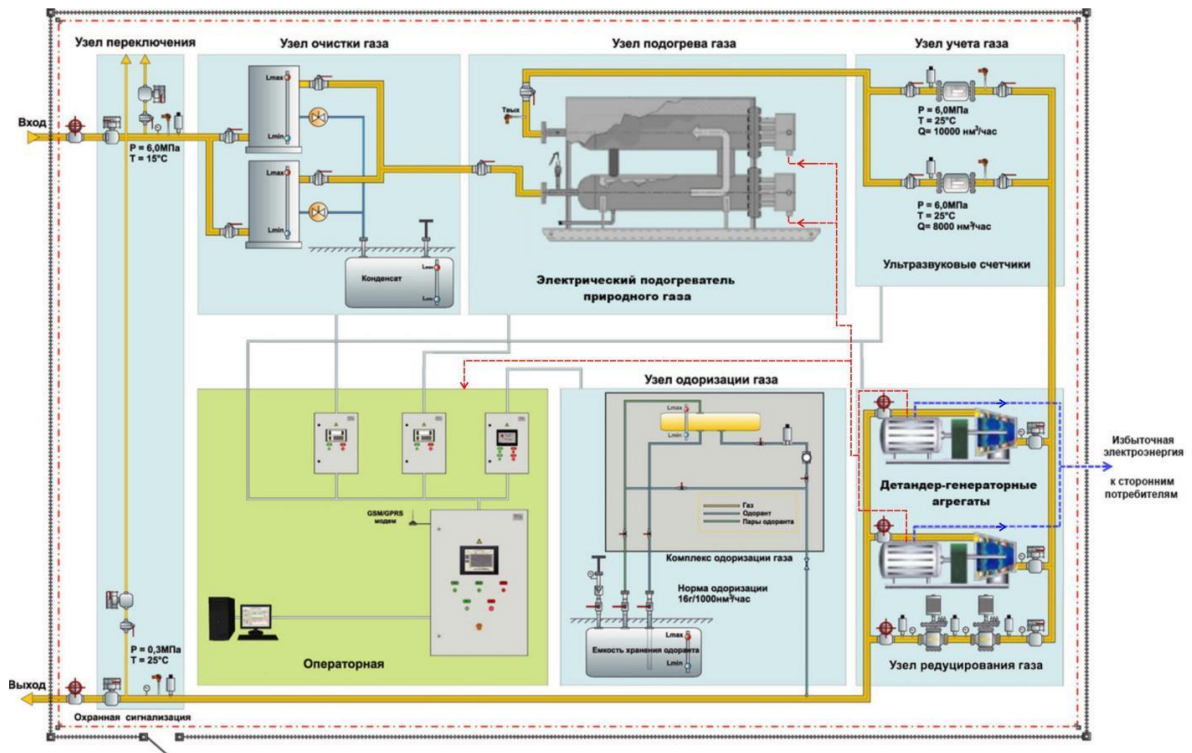


Рис. 2.2. АГРС з автономною системою електропостачання від детандер-генераторного агрегату та підігрівом газу

Переваги:

1. Екологічна чистота, тому що практично немає спалювання газу.
2. Простота САУ і відповідно ДГА при роботі на активне навантаження, не потребує регулювання частоти і напруги струму.

Недоліки:

1. Дуже тривалий термін окупності або взагалі її відсутність.
2. Потрібна система збудження (при використанні асинхронних електродвигунів можливе застосування конденсаторної системи збудження).
3. Можлива нестача електроенергії на необхідний підігрів газу, тобто все одно потрібна додаткова газова система підігріву не великий потужності.

2.3. Отримання максимальної кількості електроенергії і побічного продукту «холоду»

При дроселюванні газу на ГРС втрачається значна кількість потенційної енергії надлишкового тиску газових потоків, яка була раніше передана газу на КС МГ з витратою енергії, трудових і матеріальних ресурсів. Отже, потенційна енергія газу має цілком конкретну вартість.

З метою енергозбереження та підвищення ефективності спільного виробництва її потрібно і можна утилізувати з отриманням позитивних ефектів.

Одним з відомих напрямків вирішення такого завдання є застосування детандерних установок для вироблення електроенергії. Відомо значна кількість розробок подібних установок як в зарубіжних країнах, так і в Україні. Однак широкого застосування детандерні установки ще не отримали при всій здавалося б очевидності їх високу ефективність [6-7, 11].

Причини такого становища в тому, що при утилізації енергії на ГРС завдання вирішується недостатньо комплексно, без використання системного підходу, а також в прагненні максимально «пристосувати» традиційні технічні і конструктивні рішення при створенні обладнання, зокрема детандерних установок. Значна кількість утилізаційних турбодетандерних установок (УТДУ) використовується для спільного одержання електроенергії і холоду.

Схему однієї з можливих установок стосовно ГРС і ГРП зображено на рис. 2.3.

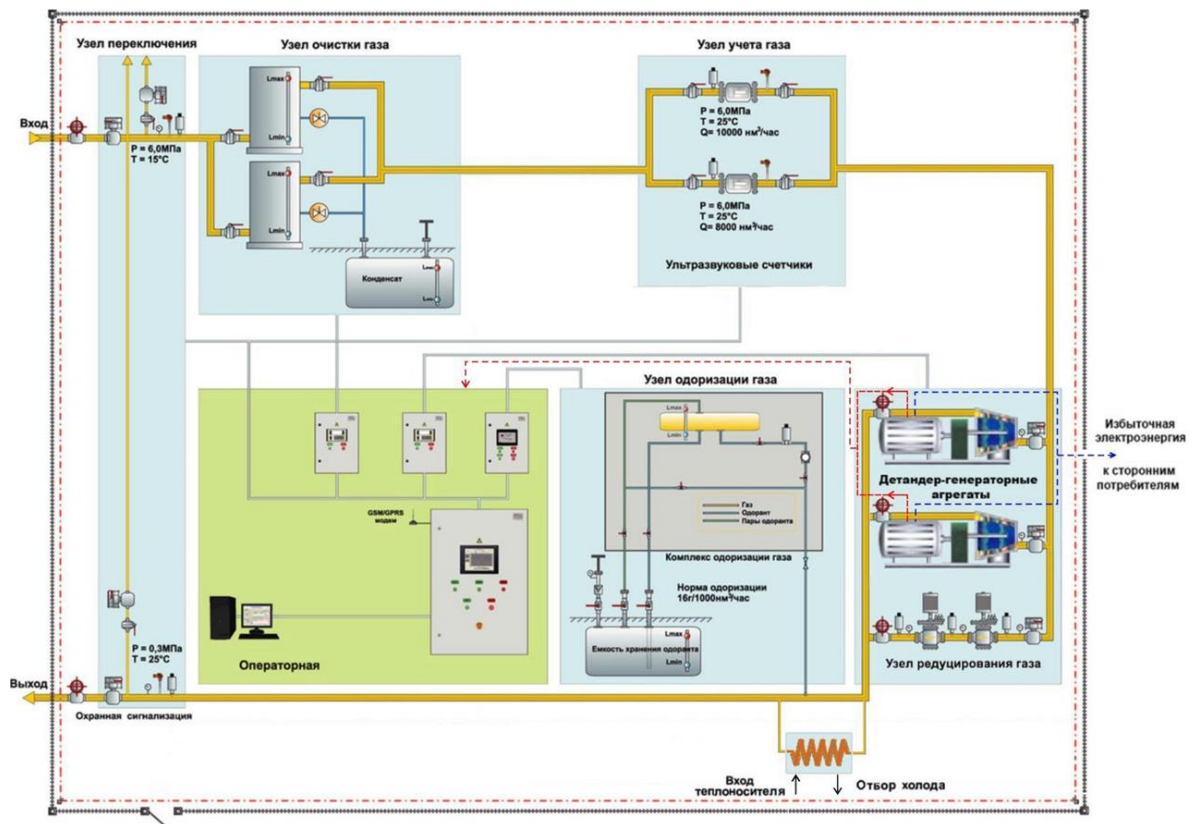


Рис. 2.3. Технологічна схема отримання максимальної кількості електроенергії і побічного продукту «холоду» [11]

Порівняно з установками, які тільки генерують електроенергію, у даному випадку після турбодетандера розміщений споживач холоду, так що газ перед ним має необхідну мінусову температуру, достатню для рішення багатьох виробничих завдань. Одержання дуже низьких температур, необхідних, наприклад, для зрідження природного газу (метану), реалізується в УТДУ за дещо іншою схемою.

На рис. 2.4 зображено принципову схему простої установки для зрідження метану на невеликий ГРС.

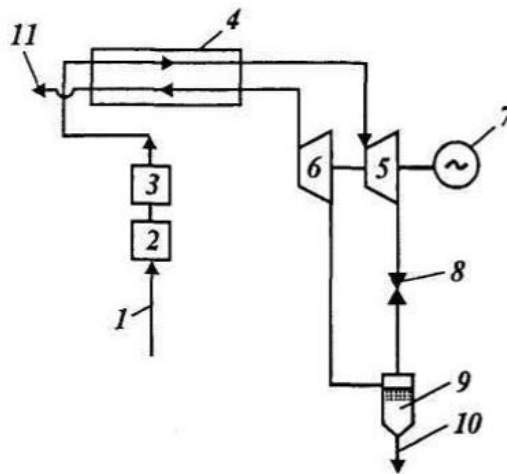


Рис. 2.4. Принципова схема для зрідження метану і вироблення електроенергії на ГРС
 1 - підведення газу до ГРС; 2 - установка осушування газу; 3 - установка очищення газу;
 4 - теплообмінник; 5 - турбодетандер; 6 - дотискувальний компресор; 7 – електрогенератор;
 8 - дросель; 9 - сепаратор; 10 - відвід зрідженого метану; 11 - відвід газу споживачу

Характерними рисами цієї УТДУ є відсутність підігріву газу, застосування теплообмінника для охолодження газу перед турбодетандером холодним зворотним потоком газу і дотискувального компресора.

За опублікованими даними, у такий спосіб зріджується до 5% від загальної витрати газу. У теперішній час в Україні турбодетандерні установки потужністю від 8 до 6000 кВт за сучасною технологією можуть виготовляти ВАТ "Турбогаз", Криворізьке підприємство і ВАТ ІВП "Енергія", ВАТ "Мотор Січ" (м. Запоріжжя), ДП НВКГ "Зоря-Машпроект" (м. Миколаїв). [4].

Переваги:

1. Найбільша ефективність (найменший термін окупності).

2. Можливо використання холоду для холодної сепарації газу і в промислових холодильниках.

Недоліки:

1. Потрібна зміна газової обв'язки трубопроводів АГРС і КС

2. Потрібна система збудження (при використанні асинхронних електродвигунів можливе застосування конденсаторної системи збудження).

Якщо весь природний газ, який споживається в Україні, подавати через турбодетандери, то на ГРС оціночно можливо отримати додатково понад 160 МВт генеруючих потужностей, що зможуть щорічно виробляти понад 1,4 млрд. кВт/год електроенергії [5].

У розподільній мережі експлуатується також понад 16000 газорегулювальних пунктів (ГРП), де тиск газу редукується з 1,2 або 0,6 МПа до 0,3...0,05 МПа. Якщо на всіх ГРП (теоретично) встановити турбодетандери, то можна мати понад 300 МВт генеруючих потужностей, які вироблятимуть 26,3 млрд. кВт/год електроенергії на рік.

При використанні турбодетандерів для редукування паливного газу на КС газопроводів можливо одержати приблизно 20 МВт генеруючих потужностей, які зможуть виробляти приблизно 170 млн. кВт/год електроенергії в рік.

Отже, якщо встановити турбодетандери на ГРС, ГРП і КС, то можна мати біля 480 МВт генеруючих потужностей, які щорічно будуть виробляти 28 млрд. кВт/рік електроенергії.

Слід зазначити, що впровадження УТДУ в Україні стримується певними факторами, основні з яких це значні питомі капіталовкладення в турбодетандерні установки.

Висновки за розділом

1. Розглянуто різні схеми впровадження ДГА в газотранспортну систему.
2. Визначено, що основна проблема впровадження УТДУ - це потреба в значних питомих капіталовкладеннях в турбодетандерні установки.
3. Зазначено, що оптимальною є схема, яка забезпечує автономну роботу ГРС з використанням отриманої електроенергії на підігрів газу. Дана схема не потребує значних капіталовкладень, на відміну від схеми з отриманням холоду, та має не довгий термін окупності.

РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТИВНА РОЗРОБКА ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТУ

3.1. Термодинамічний розрахунок детандер-генераторного агрегату

Розрахунок детандер-генераторної установки виконаємо для ГРС ПАТ "Марганецький гірничо-збагачувальний комбінат". Марганецький гірничо-збагачувальний комбінат являє собою одне з найбільших у світі підприємств з видобування та переробки марганцевої руди. Розробка руди ведеться відкритим та підземним способами. До його складу входять п'ять шахт, два кар'єри і одна збагачувальна фабрика [12].

Оскільки металургійне виробництво є енергоємним, то обсяги споживання природного газу досить великі і становлять 540...740 млн м³. З точки зору технології виробництва, споживання газу являє собою рівномірний безперервний процес на протязі усього року та в будь-який час протягом доби.

Все це дає підстави вважати, що ДГА дозволить безперервно виробляти і реалізувати електроенергію. Параметри газу на ГРС наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1.

Параметри газу на ГРС Марганецького гірничо-збагачувального комбінату [12]

№ п/п	Найменування параметра	Значення
1	Витрати газу, млн. нм ³ /місяць (нм ³ /с)	45 (16,80)
2	Надлишковий тиск газу на вході (місячний діапазон), кг/см ²	32,5-40,7
3	Надлишковий тиск газу на виході (місячний діапазон), кг/см ²	5,8
4	Середня температура газу на вході, °С	10
5	Густина газу (при 15 ⁰ С і тиску 0,1013 МПа), кг/м ³	0,71
6	Опір вхідного тракту	10% від тиску на вході
7	Опір вихідного тракту	15% від тиску на виході

Припущення, прийняті в розрахунках:

- 1) по газопроводу тече чистий метан;
- 2) температура на вході в ДГА постійна і не залежить від пори року;

- 3) втрати тепла внаслідок тертя відсутні;
- 4) при гальмуванні потоку перед ступенем ДГА змінюється тільки швидкість потоку, температура і тиск залишаються незмінними.

Термодинамічний розрахунок ДГА проведено за методиками [13-15] за допомогою програми Mathcad 11 (див. Додаток А).

Початкові данні для розрахунку першого ДГА:

Тиск газу на вході в ТД: $p_{\text{вх}} = 3,6 \text{ МПа.}$

Температура газу на вході в ТД: $T_{\text{вх}} = 340 \text{ К.}$

Тиск газу на виході з ТД: $p_{\text{вих}} = 1,64 \text{ МПа.}$

Температура газу на виході з ТД: $T_{\text{вих}} = 280 \text{ К.}$

Витрата газу через ТД: $G_{\text{ТД}} = 16,8 \text{ нм}^3/\text{с}$

Частота обертання ротора: $n = 250 \text{ об/с (15000 об/хв)}$

Діаметр підвідного трубопроводу: $D_{\text{вх}} = 0,1 \text{ м.}$

Газова стала метану: $R = 518,271 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$

Швидкість звуку в метані: $a_{\text{зв}} = 435 \text{ м/с.}$

Розрахунок параметрів:

Знаходимо для вхідного перетину теплофізичні властивості для метану [15]:

$$\rho_{\text{вх}} = 21,18 \text{ кг/м}^3; C_{p,\text{вх}} = 2,499 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}; C_{v,\text{вх}} = 1,844 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)};$$

Витрата газу через ТД, кг/с:

$$G = G_{\text{ТД}} \cdot \rho = 16,8 \cdot 0,71 = 11,93 \text{ кг/с}$$

Площа перетину підвідного трубопроводу, м²:

$$F_{\text{вх}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{вх}}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,1^2}{4} = 7,854 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Швидкість газу на вході в ТД, м/с:

$$C_{\text{вх}} = \frac{G}{\rho_{\text{вх}} \cdot F_{\text{вх}}} = \frac{11,93}{21,18 \cdot 7,854 \cdot 10^{-3}} = 71,7 \text{ м/с}$$

Показник ізоентропи:

$$k = \frac{C_p}{C_v} = \frac{2,499}{1,844} = 1,355$$

Адіабатний теплоперепад в ТД, кДж/кг:

$$h_{ад} = \frac{k}{k-1} p_{вх} \cdot v_{вх} \left[1 - \left(\frac{p_{вих}}{p_{вх}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] = \\ = \frac{1,355}{0,355} \cdot 3,6 \cdot 10^6 \cdot 0,0472 \left[1 - \left(\frac{1,64}{3,6} \right)^{\frac{0,355}{1,355}} \right] = 120,8$$

Адіабатна швидкість, м/с:

$$C_{ад} = \sqrt{2000 \cdot h_{ад}} = \sqrt{2000 \cdot 120,8} = 491,4$$

Окружна швидкість на середньому діаметрі, м/с:

$$U = x_{opt} \cdot C_{ад}$$

Прийемо степінь реактивності на середньому радіусі $\rho = 0,2$, оцінимо попередньо коефіцієнт швидкості в сопловій решітці $\varphi = 0,965$, а кут виходу потоку із соплової решітки $\alpha_1 = 13^\circ$.

Тоді оптимальне відношення швидкостей:

$$x_{opt} = \frac{\varphi \cdot \cos \alpha_1}{2\sqrt{1-\rho}} = \frac{0,965 \cdot \cos 12}{2\sqrt{1-0,2}} = 0,528$$

$$U = x_{opt} \cdot C_{ад} = 0,528 \cdot 491,4 = 259,3 \text{ м/с.}$$

Середній діаметр ТД, м:

$$D_{ср} = \frac{U}{\pi \cdot n} = \frac{259,3}{\pi \cdot 250} = 0,3302 \text{ м}$$

Адіабатний теплоперепад в сопловому апараті і робочому колесі, кДж/кг:

$$h_{са} = (1 - \rho) h_{ад} = (1 - 0,2) 120,8 = 96,6$$

$$h_{рк} = \rho \cdot h_{ад} = 0,2 \cdot 120,8 = 24,2$$

Втрати енергії в СА, кДж/кг:

$$\Delta h_{са} = (1 - \varphi^2) \cdot h_{са} = (1 - 0,965^2) \cdot 96,6 = 6,64$$

Абсолютна швидкість виходу потоку з СА, м/с:

$$C_1 = \varphi \cdot \sqrt{2000 \cdot h_{са}} = 0,92 \cdot \sqrt{2000 \cdot 96,6} = 424,2$$

За величиною кута виходу потоку $\alpha_1 = 12^\circ$ виберемо для соплової решітки по Атласу профіль С-90-12Б з хордою $b_1 = 60$ мм.

Прийємо відносний крок $t_1 = 0,5$.

Крок СА, м:

$$t_{ca} = b_{ca} \cdot t_{від,ca} = 0,06 \cdot 0,5 = 0,03$$

Число Маха:

$$M = \frac{C_1}{a_{зв}} = \frac{424,2}{435} = 0,975$$

Параметри газу за СА:

Тиск з урахуванням втрат, МПа:

$$P_{ca} = p_{вх} \left(1 - \frac{h_{ca}}{\frac{k}{k-1} z_{вх} \cdot R \cdot T_{вх}} \right)^{\frac{k}{k-1}} = 3,6 \left(1 - \frac{96,6}{\frac{1,355}{0,355} 0,961 \cdot 518,27 \cdot 340} \right)^{\frac{1,355}{0,355}} \\ = 1,941$$

Тиск без урахування втрат, МПа:

$$P_{ca,бв} = p_{вх} \left(1 - \frac{h_{ca} - \Delta h_{ca}}{\frac{k}{k-1} z_{вх} \cdot R \cdot T_{вх}} \right)^{\frac{k}{k-1}} = \\ = 3,6 \left(1 - \frac{96,6 - 6,64}{\frac{1,355}{0,355} 0,961 \cdot 518,27 \cdot 340} \right)^{\frac{1,355}{0,355}} = 2,03$$

Температура без урахування втрат, К:

$$T_{ca,бв} = T_{вх} \left(\frac{P_{ca,бв}}{p_{вх}} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 340 \left(\frac{2,148}{3,6} \right)^{\frac{0,355}{1,355}} = 292,7$$

Висота лопатки СА, м:

$$l_{ca} = \frac{G}{C_{ca} \cdot \pi \cdot D_{cp} \cdot \sin \alpha_1 \cdot \rho_{ca}} = \frac{11,93}{424,2 \cdot \pi \cdot 0,33 \cdot \sin \alpha_1 \cdot 13,57} = 0,0096$$

Кількість соплових лопаток, шт.:

$$z_{ca} = \frac{\pi \cdot D_{cp}}{t_{ca}} = \frac{\pi \cdot 0,33}{0,03} = 34$$

Віяльність:

$$\theta = \frac{D_{cp}}{l_{ca}} = \frac{0,33}{0,0096} = 34,36$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{C_{ca} \cdot b_{ca}}{\mu \cdot v} = \frac{424,2 \cdot 0,06}{12,96 \cdot 10^{-6} \cdot 0,0737} = 26,6 \cdot 10^6$$

Втрати в СА ТД, кДж/кг:

На тертя:

$$\begin{aligned} \xi_{тр} &= 0,04(3 - 13 \cdot \sin \alpha_1 + 21 \cdot \sin^2 \alpha_1) = \\ &= 0,04(3 - 13 \cdot \sin 12 + 21 \cdot \sin^2 12) = 0,048 \end{aligned}$$

Кромкові:

$$\xi_{кр} = 0,15 \left(\frac{\Delta_{кр}}{t_{ca} \cdot \sin \alpha_1} - 1 \right) = 0,15 \left(\frac{0,002}{0,03 \cdot \sin \alpha_1} - 1 \right) = 0,102$$

Кінцеві:

$$\xi_{кін} = 0,015 \left(\frac{b_{ca}}{l_{ca}} \right) (1,5 - 2 \cdot \sin \alpha_1) = 0,015 \left(\frac{0,03}{0,0096} \right) (1,5 - 2 \cdot \sin 12) = 0,102$$

Втрати від віяльності:

$$\xi_{\theta} = \frac{0,03}{(1 + \theta_{ca})} = \frac{0,03}{(1 + 34,36)} = 0,001$$

Поправка на число Маха:

$$\xi_M = -0,04 \cdot M^2 + 0,05 \cdot M^3 = -0,04 \cdot 0,93^2 + 0,05 \cdot 0,93^3 = 0,008$$

Поправка на число Рейнольдса:

$$\xi_{Re} = 5,8 \cdot 10^4 \cdot Re^{-\frac{5}{4}} = 5,8 \cdot 10^4 \cdot (25,4 \cdot 10^6)^{-\frac{5}{4}} = 0,00003$$

Поправка на нерозрахунковий кут входу потоку:

$$\xi_{вх} = 0,3 \left(1 + \frac{b_{ca}}{2 \cdot l_{ca}} \right) \left[\frac{\sin(\alpha_{вх} - 90)}{\sin(\alpha_{вх}) \cdot \sin(90)} \cdot \sin 90 \right] = 0$$

Загальні втрати:

$$\begin{aligned} \xi_{ca} &= \xi_{тр} + \xi_{кр} + \xi_{кін} + \xi_{\theta} + \xi_M + \xi_{Re} + \xi_{вх} = \\ &= 0,048 + 0,102 + 0,102 + 0,001 + 0,008 + 0 + 0 = 0,261 \end{aligned}$$

Уточнюємо прийняте раніше значення коефіцієнта швидкості:

$$\varphi_{ca} = \sqrt{1 - \xi_{ca}} = \sqrt{1 - 0,261} = 0,965$$

Відносна швидкість виходу потоку з СА, м/с:

$$W_{ca} = C_{ca} \sqrt{1 + \left(\frac{U}{C_{ca}} \right)^2 - 2 \frac{U}{C_{ca}} \cos \alpha_1} =$$

$$= C_{ca} \sqrt{1 + \left(\frac{259,3}{424,2}\right)^2 - 2 \frac{259,3}{424,2} \cos 12} = 178,8$$

Кут виходу потоку з СА:

$$\beta_{ca} = \arcsin\left(\frac{C_{ca} \cdot \sin \alpha_1}{W_{ca}}\right) = \arcsin\left(\frac{C_{ca} \cdot \sin \alpha_1}{W_{ca}}\right) = 29,5^\circ$$

По Атласу профілів виберемо профіль Р-23-14А, для якого оптимальний відносний крок $t_{opt} = 0,60/0,75$. Вибравши хорду профілю $b_2 = 26$ мм і прийнявши $t_{opt} = 0,75$, розраховуємо крок РК [15].

Крок РК, м:

$$t_{pk} = b_{pk} \cdot t_{від,рк} = 0,026 \cdot 0,75 = 0,02$$

Висота лопаток РК, м:

$$l_{pk} = l_{ca} + \Delta l_{пер} = 0,0106 + 0,003 = 0,0126$$

Кількість робочих лопаток, шт.:

$$z_{pk} = \frac{\pi \cdot D_{cp}}{t_{pk}} = \frac{\pi \cdot 0,33}{0,02} = 53$$

Ізоентопний теплоперепад в РК, кДж/кг:

$$h_{pk} = \rho \cdot h_{ад} = 0,2 \cdot 120,8 = 24,2$$

Відносна швидкість виходу потоку із РК, м/с:

$$W_{pk} = \varphi \sqrt{W_{ca}^2 + 2000 \cdot h_{pk}} = 0,947 \sqrt{178,8^2 + 2000 \cdot 24,4} = 268,3$$

$$\varphi = 0,947$$

Втрати в РК, кДж/кг:

$$\Delta h_{pk} = (1 - \varphi^2) \cdot h_{pk} = (1 - 0,947^2) \cdot 24,2 = 2,5$$

Параметри газу за РК:

Тиск з урахуванням втрат, МПа:

$$P_{pk} = p_{ca} \left(1 - \frac{h_{pk}}{\frac{k}{k-1} z_{вх} \cdot R \cdot T_{ca}}\right)^{\frac{k}{k-1}} =$$

$$= 1,941 \left(1 - \frac{24200}{\frac{1,355}{0,355} 0,961 \cdot 518 \cdot 289,2}\right)^{\frac{1,355}{0,355}} = 1,635$$

Тиск без урахування втрат, МПа:

$$P_{\text{рк.бв}} = p_{\text{са}} \left(1 - \frac{h_{\text{рк}} - \Delta h_{\text{рк}}}{\frac{k}{k-1} z_{\text{вх}} \cdot R \cdot T_{\text{са}}} \right)^{\frac{k}{k-1}} =$$

$$= 1,941 \left(1 - \frac{24200 - 2500}{\frac{1,355}{0,355} 0,961 \cdot 518 \cdot 289,2} \right)^{\frac{1,355}{0,355}} = 1,665$$

Температура без урахування втрат, К:

$$T_{\text{рк.бв}} = T_{\text{са}} \left(\frac{P_{\text{рк.бв}}}{p_{\text{са}}} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 289,2 \left(\frac{1,665}{1,941} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 277,8$$

Кут виходу потоку з РК:

$$\beta_{\text{рк}} = \arcsin \left(\frac{G}{W_{\text{рк}} \cdot \pi \cdot D_{\text{ср}} \cdot l_{\text{рк}} \cdot \rho_{\text{рк}}} \right) = \arcsin \left(\frac{11,93}{268,3 \cdot \pi \cdot 0,33 \cdot 0,0126 \cdot 12,165} \right)$$

$$= 16,2^\circ$$

$$\Delta\beta_{\text{рк}} = 180 - (\beta_{\text{са}} + \beta_{\text{рк}}) = 180 - (29,5 + 16,2) = 134,2$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{W_{\text{рк}} \cdot b_{\text{рк}}}{\mu \cdot \nu} = \frac{268,3 \cdot 0,026}{12,96 \cdot 10^{-6} \cdot 0,0822} = 6,55 \cdot 10^6$$

Віяльність:

$$\theta = \frac{D_{\text{ср}}}{l_{\text{рк}}} = \frac{0,33}{0,013} = 26,18$$

Втрати в РК ТД, кДж/кг:

На тертя:

$$\xi_{\text{тр}} = 0,08(1,841 - 1,584 \cdot \sin \Delta\beta_{\text{рк}} + 0,62 \cdot \sin^2 \Delta\beta_{\text{рк}})$$

$$= 0,08(1,841 - 1,584 \cdot \sin \beta_{\text{рк}} + 0,62 \cdot \sin^2 \beta_{\text{рк}}) = 0,146$$

Кромкові та кінцеві:

$$\xi_{\text{кр}} = 0,15 \left(\frac{\Delta_{\text{кр}}}{t_{\text{рк}} \cdot \sin \alpha_1} - 1 \right) = 0,15 \left(\frac{0,002}{0,02 \cdot \sin 12} - 1 \right) = 0,076$$

$$\xi_{\text{кін}} = 0,026 \left(\frac{b_{\text{рк}}}{l_{\text{рк}}} \right) (1,87 - 1,15 \cdot \sin 134,2)$$

$$= 0,026 \left(\frac{0,026}{0,013} \right) (1,87 - 1,15 \cdot \sin \Delta\beta_{\text{рк}}) = 0,099$$

:

Втрати від віяльності:

$$\xi_{\theta} = \frac{0,06}{(1 + \theta_{\text{рк}})} = \frac{0,06}{(1 + 26,18)} = 0,001$$

Поправка на число Рейнольдса:

$$\xi_{Re} = 5,8 \cdot 10^4 \cdot Re^{-\frac{5}{4}} = 5,8 \cdot 10^4 \cdot (6,5 \cdot 10^6)^{-\frac{5}{4}} = 0,0002$$

Поправка на нерозрахований кут входу потоку:

$$\xi_{\text{вх}} = 0,3 \left(1 + \frac{b_{\text{рк}}}{2 \cdot l_{\text{рк}}} \right) \left[\frac{\sin(\alpha_{\text{вх}} - 90)}{\sin(\alpha_{\text{вх}}) \cdot \sin(90)} \cdot \sin 90 \right] = 0$$

Загальні втрати:

$$\begin{aligned} \xi_{\text{рк}} &= \xi_{\text{тр}} + \xi_{\text{кр}} + \xi_{\text{кін}} + \xi_{\theta} + \xi_{Re} + \xi_{\text{вх}} = \\ &= 0,146 + 0,076 + 0,099 + 0,001 + 0 + 0,0002 + 0 = 0,322 \end{aligned}$$

Уточнюємо прийняте раніше значення коефіцієнта швидкості:

$$\psi_{\text{рк}} = \sqrt{1 - \xi_{\text{рк}}} = \sqrt{1 - 0,322} = 0,947$$

Абсолютна швидкість виходу з РК, м/с:

$$\begin{aligned} C_{\text{рк}} &= \sqrt{W_{\text{рк}}^2 + U^2 - 2 \cdot U \cdot W_{\text{рк}} \cdot \cos \beta_{\text{рк}}} \\ &= \sqrt{268,3^2 + 259,3^2 - 2 \cdot 259,3 \cdot 268,3 \cdot \cos 16,2} = 75,0 \end{aligned}$$

Кут виходу потоку з РК:

$$\alpha_{\text{рк}} = \arctg \left| \frac{\sin \beta_{\text{рк}}}{\cos \beta_{\text{рк}} - \frac{U}{W_{\text{рк}}}} \right| = \arctg \left| \frac{\sin 16,2}{\cos 16,2 - \frac{259,3}{268,3}} \right| = 88,7^{\circ}$$

Втрати з вихідною швидкістю, кДж/кг:

$$\Delta h_{c2} = \frac{C_2^2}{2000} = \frac{75^2}{2000} = 2,81$$

ККД турбодетандера:

$$\eta_{\text{тд}} = \frac{h_{\text{ад}} - \Delta h_{\text{са}} - \Delta h_{\text{рк}} - \Delta h_{c2}}{h_{\text{ад}}} = \frac{120,8 - 6,64 - 2,5 - 2,81}{120,8} = 0,901$$

Потужність ТД, кВт:

$$N_{\text{тд}} = h_{\text{ад}} \cdot G \cdot \eta_{\text{тд}} = 120,8 \cdot 11,93 \cdot 0,901 = 1298$$

3.2. Пропозиції щодо можливості встановлення другого детандер-генераторного агрегату

Для розрахунку першого ДГА була обрана мінімальна стабільна протягом року витрата природного газу.

Через сезонні коливання вхідних параметрів газу (тиску та витрат) протягом року миттєва витрата природного газу може сягати 740 млн куб³ на рік. Крім того, підприємством «Марганецький гірничо-збагачувальний комбінат» планується підвищення обсягів випуску продукції, а отже й підвищення обсягів споживання природного газу [12].

Враховуючи ці умови, пропонується встановлення другого ДГА.

Схема редукувальної лінії з двома детандер-генераторними установками наведена на рис. 3.1.

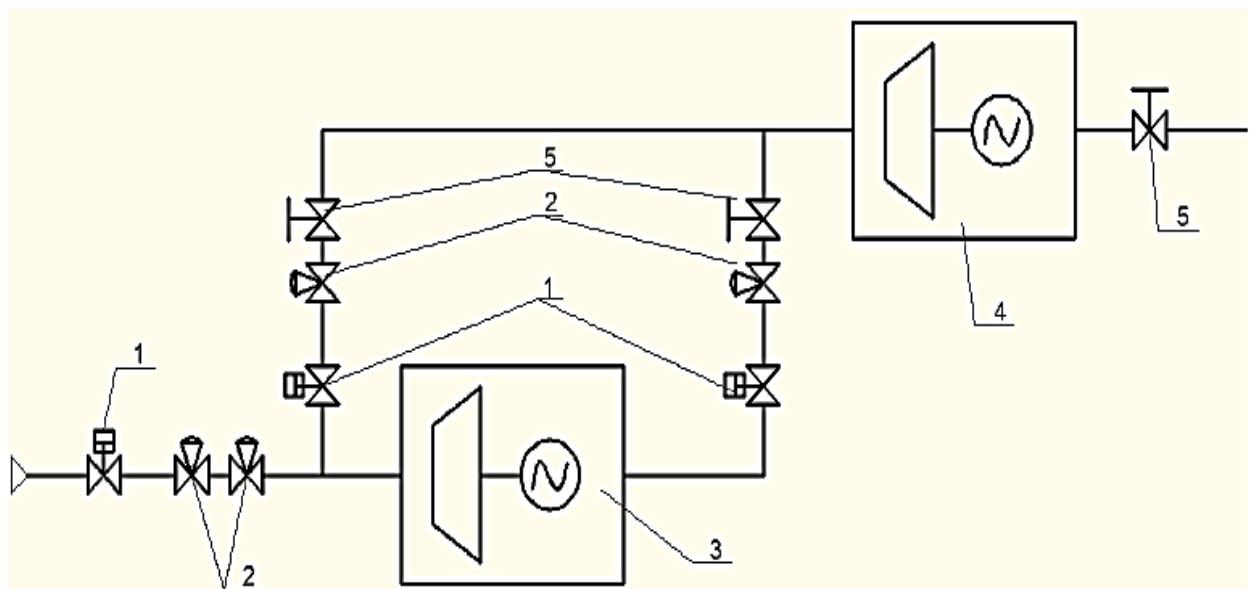


Рис. 3.1. Схема редукувальної лінії з двома ДГА:
1 – кран з пневмоприводом; 2 – регулятор тиску; 3 – перший ДГА;
4 – другий ДГА; 5 – кран ручний

Схема з двома детандер-генераторними установками наведена на рис. 3.2.

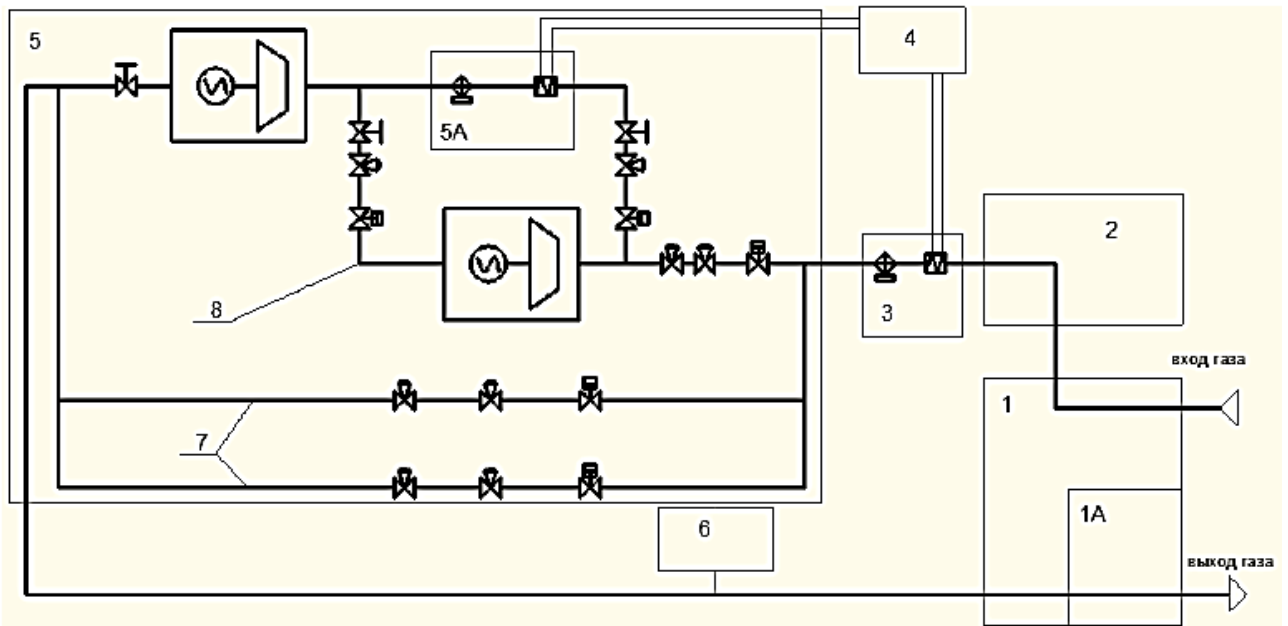


Рис. 3.2. Принципова схема з двома ДГУ:

- 1 – вузол перемикаць; 2 – вузол очистки; 3 – вузол підігріву газу; 4 – вузол підготовки газу від компресора; 5 – вузол редукування; 6 – вузол збору конденсату;
 1А – вузол одоризації; 5А – вузол проміжного підігріву газу;
 7 – лінії редукування; 8 – лінія редукування з ДГУ

3.3. Термодинамічний розрахунок другого детандер-генераторного агрегату

Термодинамічний розрахунок другого детандер-генераторного агрегату був проведений за допомогою програми Mathcad 11 (додаток Б).

Початкові данні для розрахунку другого детандер-генераторного агрегату:

Тиск газу на вході в ТД: $p_{\text{вх}} = 1,64$ МПа.

Температура газу на вході в ТД: $T_{\text{вх}} = 340$ К.

Тиск газу на виході з ТД: $p_{\text{вих}} = 0,75$ МПа.

Температура газу на виході з ТД: $T_{\text{вих}} = 280$ К.

Витрата газу через ТД: $G = 11,93$ кг/с

Частота обертання ротора: $n = 250$ об/с (15000 об/хв)

Діаметр підвідного трубопроводу: $D_{\text{вх}} = 0,15$ м.

Газова стала метану: $R = 518,271$ Дж/(кг · К)

Швидкість звуку в метані: $a_{\text{зв}} = 435$ м/с.

Розрахунок параметрів:

Знаходимо для вхідного та вихідного перетинів теплофізичні властивості для метану [13-15]:

$$\rho_{\text{вх}} = 9.234 \text{ кг/м}^3; C_{p,\text{вх}} = 2,411 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}; C_{v,\text{вх}} = 1,834 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)};$$

Витрата газу через ТД, кг/с:

$$G = 11,93 \text{ кг/с}$$

Площа перетину підвідного трубопроводу, м²:

$$F_{\text{вх}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{вх}}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,15^2}{4} = 0.018 \text{ м}^2$$

Швидкість газу на вході в ТД, м/с:

$$C_{\text{вх}} = \frac{G}{\rho_{\text{вх}} \cdot F_{\text{вх}}} = \frac{11,93}{9,234 \cdot 0,018} = 73,1 \text{ м/с}$$

Показник ізоентропи:

$$k = \frac{C_p}{C_v} = \frac{2,411}{1,834} = 1,315$$

Адіабатний теплоперепад в ТД, кДж/кг:

$$\begin{aligned} h_{\text{ад}} &= \frac{k}{k-1} p_{\text{вх}} \cdot v_{\text{вх}} \left[1 - \left(\frac{p_{\text{вих}}}{p_{\text{вх}}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] = \\ &= \frac{1,315}{0,315} \cdot 1,64 \cdot 10^6 \cdot 0,108 \left[1 - \left(\frac{0,75}{1,64} \right)^{\frac{0,315}{1,315}} \right] = 126,7 \end{aligned}$$

Адіабатна швидкість, м/с:

$$C_{\text{ад}} = \sqrt{2000 \cdot h_{\text{ад}}} = \sqrt{2000 \cdot 126,7} = 503,4$$

Окружна швидкість на середньому діаметрі, м/с:

Прийmemo ступінь реактивності на середньому радіусі $\rho = 0,2$, оцінимо попередньо коефіцієнт швидкості в сопловій решітці $\varphi = 0,977$, а кут виходу потоку із соплової решітки $\alpha_1 = 13^\circ$.

Тоді оптимальне відношення швидкостей:

$$x_{opt} = \frac{\varphi \cdot \cos \alpha_1}{2\sqrt{1-\rho}} = \frac{0,977 \cdot \cos 12}{2\sqrt{1-0,2}} = 0,534$$

$$U = x_{opt} \cdot C_{ад} = 0,534 \cdot 503,4 = 269,0 \text{ м/с.}$$

Середній діаметр ТД, м:

$$D_{cp} = \frac{U}{\pi \cdot n} = \frac{269}{\pi \cdot 250} = 0,3424 \text{ м}$$

Адіабатний теплоперепад в сопловому апараті і робочому колесі, кДж/кг:

$$h_{ca} = (1 - \rho)h_{ад} = (1 - 0,2)126,7 = 101,4$$

$$h_{рж} = \rho \cdot h_{ад} = 0,2 \cdot 126,7 = 25,3$$

Втрати енергії в СА, кДж/кг:

$$\Delta h_{ca} = (1 - \varphi^2) \cdot h_{ca} = (1 - 0,977^2) \cdot 101,4 = 6,64$$

Абсолютна швидкість виходу потоку з СА, м/с:

$$C_1 = \varphi \cdot \sqrt{2000 \cdot h_{ca}} = 0,977 \cdot \sqrt{2000 \cdot 101,4} = 440,0$$

По куту виходу потоку $\alpha_1 = 12^\circ$ виберемо для соплової решітки по Атласу профіль С-90-12Б з хордою $b_1 = 60$ мм.

Прийmemo відносний крок $t_1 = 0,5$.

Крок СА, м:

$$t_{ca} = b_{ca} \cdot t_{від,ca} = 0,06 \cdot 0,5 = 0,03$$

Число Маха:

$$M = \frac{C_1}{a_{зв}} = \frac{440}{435} = 1,01$$

Параметри газу за СА:

Тиск з урахуванням втрат, МПа:

$$P_{ca} = p_{вх} \left(1 - \frac{h_{ca}}{\frac{k}{k-1} z_{вх} \cdot R \cdot T_{вх}} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$= 1,64 \left(1 - \frac{101,4}{\frac{1,315}{0,315} 0,961 \cdot 518,27 \cdot 340} \right)^{\frac{1,315}{0,315}} = 0,859$$

Тиск без урахування втрат, МПа:

$$P_{ca,6B} = P_{Bx} \left(1 - \frac{h_{ca} - \Delta h_{ca}}{\frac{k}{k-1} z_{Bx} \cdot R \cdot T_{Bx}} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$= 1,64 \left(1 - \frac{101,4 - 6,64}{\frac{1,315}{0,315} 0,961 \cdot 518,27 \cdot 340} \right)^{\frac{1,315}{0,315}} = 0,902$$

Температура без урахування втрат, К:

$$T_{ca,6B} = T_{Bx} \left(\frac{P_{ca,6B}}{P_{Bx}} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 340 \left(\frac{0,902}{1,64} \right)^{\frac{0,315}{1,315}} = 294,6$$

Висота лопатки СА, м:

$$l_{ca} = \frac{G}{C_{ca} \cdot \pi \cdot D_{cp} \cdot \sin \alpha_1 \cdot \rho_{ca}} = \frac{11,93}{440 \cdot \pi \cdot 0,342 \cdot \sin \alpha_1 \cdot 6,094} = 0,02$$

Кількість соплових лопаток, шт.:

$$z_{ca} = \frac{\pi \cdot D_{cp}}{t_{ca}} = \frac{\pi \cdot 0,342}{0,03} = 36$$

Віяльність:

$$\theta = \frac{D_{cp}}{l_{ca}} = \frac{0,342}{0,02} = 17,22$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{C_{ca} \cdot b_{ca}}{\mu \cdot v} = \frac{440 \cdot 0,06}{10,79 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1641} = 14,9 \cdot 10^6$$

Втрати в СА ТД, кДж/кг:

На тертя:

$$\xi_{тр} = 0,04(3 - 13 \cdot \sin \alpha_1 + 21 \cdot \sin^2 \alpha_1) =$$

$$= 0,04(3 - 13 \cdot \sin 12 + 21 \cdot \sin^2 12) = 0,048$$

Кромкові:

$$\xi_{кр} = 0,15 \left(\frac{\Delta_{кр}}{t_{ca} \cdot \sin \alpha_1} - 1 \right) = 0,15 \left(\frac{0,002}{0,03 \cdot \sin \alpha_1} - 1 \right) = 0,102$$

Кінцеві:

$$\xi_{кін} = 0,015 \left(\frac{b_{ca}}{l_{ca}} \right) (1,5 - 2 \cdot \sin \alpha_1) = 0,015 \left(\frac{0,03}{0,02} \right) (1,5 - 2 \cdot \sin 12) = 0,049$$

Втрати від віяльності:

$$\xi_{\theta} = \frac{0,03}{(1 + \theta_{ca})} = \frac{0,03}{(1 + 17,22)} = 0,002$$

Поправка на число Маха:

$$\xi_M = -0,04 \cdot M^2 + 0,05 \cdot M^3 = -0,04 \cdot 1,011^2 + 0,05 \cdot 1,011^3 = 0,011$$

Поправка на число Рейнольдса:

$$\xi_{Re} = 5,8 \cdot 10^4 \cdot Re^{-\frac{5}{4}} = 5,8 \cdot 10^4 \cdot (14,9 \cdot 10^6)^{-\frac{5}{4}} = 0,0$$

Поправка на нерозрахований кут входу потоку:

$$\xi_{вх} = 0,3 \left(1 + \frac{b_{ca}}{2 \cdot l_{ca}} \right) \left[\frac{\sin(\alpha_{вх} - 90)}{\sin(\alpha_{вх}) \cdot \sin(90)} \cdot \sin 90 \right] = 0$$

Загальні втрати:

$$\begin{aligned} \xi_{ca} &= \xi_{тр} + \xi_{кр} + \xi_{кін} + \xi_{\theta} + \xi_M + \xi_{Re} + \xi_{вх} = \\ &= 0,048 + 0,102 + 0,049 + 0,002 + 0,011 + 0 + 0 = 0,212 \end{aligned}$$

Уточнюємо прийняте раніше значення коефіцієнта швидкості:

$$\varphi_{ca} = \sqrt{1 - \xi_{ca}} = \sqrt{1 - 0,212} = 0,977$$

Відносна швидкість виходу потоку з СА, м/с:

$$W_{ca} = C_{ca} \sqrt{1 + \left(\frac{U}{C_{ca}} \right)^2 - 2 \frac{U}{C_{ca}} \cos \alpha_1} = 440 \sqrt{1 + \left(\frac{269}{440} \right)^2 - 2 \frac{269}{440} \cos 12} = 185,5$$

Кут виходу потоку з СА:

$$\beta_{ca} = \arcsin \left(\frac{C_{ca} \cdot \sin \alpha_1}{W_{ca}} \right) = \arcsin \left(\frac{440 \cdot \sin \alpha_1}{185,5} \right) = 29,5^\circ$$

По Атласу профілів виберемо профіль Р-23-14А, для якого оптимальний відносний крок $t_{opt}=0,60/0,75$.

Вибравши хорду профілю $b_2=26$ мм і прийнявши $t_{opt}=0,75$, розраховуємо крок РК.

Крок РК, м:

$$t_{рк} = b_{рк} \cdot t_{від,рк} = 0,026 \cdot 0,75 = 0,02$$

Висота лопаток РК, м:

$$l_{рк} = l_{ca} + \Delta l_{пер} = 0,020 + 0,003 = 0,023$$

Кількість робочих лопаток, шт.:

$$z_{\text{рк}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{ср}}}{t_{\text{рк}}} = \frac{\pi \cdot 0,342}{0,02} = 55$$

Ізоентопний теплоперепад в РК, кДж/кг:

$$h_{\text{рк}} = \rho \cdot h_{\text{ад}} = 0,2 \cdot 126,7 = 25,4$$

Відносна швидкість виходу потоку із РК, м/с:

$$W_{\text{рк}} = \varphi \sqrt{W_{\text{са}}^2 + 2000 \cdot h_{\text{рк}}} = 0,96 \sqrt{185,5^2 + 2000 \cdot 25,4} = 280,0$$

$$\varphi = 0,96$$

Втрати в РК, кДж/кг:

$$\Delta h_{\text{рк}} = (1 - \varphi^2) \cdot h_{\text{рк}} = (1 - 0,96^2) \cdot 25,4 = 2,0$$

Параметри газу за РК:

Тиск з урахуванням втрат, МПа:

$$P_{\text{рк}} = P_{\text{са}} \left(1 - \frac{h_{\text{рк}}}{\frac{k}{k-1} z_{\text{вх}} \cdot R \cdot T_{\text{са}}} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$
$$= 0,859 \left(1 - \frac{25400}{\frac{1,315}{0,315} 0,961 \cdot 518 \cdot 291,3} \right)^{\frac{1,315}{0,315}} = 0,719$$

Тиск без урахування втрат, МПа:

$$P_{\text{рк.бв}} = 0,859 \left(1 - \frac{h_{\text{рк}} - \Delta h_{\text{рк}}}{\frac{k}{k-1} z_{\text{вх}} \cdot R \cdot T_{\text{са}}} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$
$$= 1,941 \left(1 - \frac{25400 - 2000}{\frac{1,315}{0,315} 0,961 \cdot 518 \cdot 291,3} \right)^{\frac{1,315}{0,315}} = 0,729$$

Температура без урахування втрат, К:

$$T_{\text{рк.бв}} = T_{\text{са}} \left(\frac{P_{\text{рк.бв}}}{P_{\text{са}}} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 291,3 \left(\frac{0,729}{0,859} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 280,1$$

Кут виходу потоку з РК:

$$\beta_{\text{рк}} = \arcsin\left(\frac{G}{W_{\text{рк}} \cdot \pi \cdot D_{\text{ср}} \cdot l_{\text{рк}} \cdot \rho_{\text{рк}}}\right) = \arcsin\left(\frac{11,93}{280 \cdot \pi \cdot 0,342 \cdot 0,023 \cdot 4,9}\right) \\ = 20,7^\circ$$

$$\Delta\beta_{\text{рк}} = 180 - (\beta_{\text{са}} + \beta_{\text{рк}}) = 180 - (29,5 + 20,7) = 129,8^\circ$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{W_{\text{рк}} \cdot b_{\text{рк}}}{\mu \cdot v} = \frac{280 \cdot 0,026}{10,79 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2041} = 3,3 \cdot 10^6$$

Віяльність:

$$\theta = \frac{D_{\text{ср}}}{l_{\text{рк}}} = \frac{0,342}{0,023} = 15,0$$

Втрати в РК ТД, кДж/кг:

На тертя:

$$\xi_{\text{тр}} = 0,08(1,841 - 1,584 \cdot \sin \Delta\beta_{\text{рк}} + 0,62 \cdot \sin^2 \Delta\beta_{\text{рк}}) \\ = 0,08(1,841 - 1,584 \cdot \sin \beta_{\text{рк}} + 0,62 \cdot \sin^2 \beta_{\text{рк}}) = 0,171$$

Кромкові:

$$\xi_{\text{кр}} = 0,15 \left(\frac{\Delta_{\text{кр}}}{t_{\text{рк}} \cdot \sin \alpha_1} - 1 \right) = 0,15 \left(\frac{0,002}{0,02 \cdot \sin 12} - 1 \right) = 0,076$$

Кінцеві:

$$\xi_{\text{кін}} = 0,026 \left(\frac{b_{\text{рк}}}{l_{\text{рк}}} \right) (1,87 - 1,15 \cdot \sin 179,2) \\ = 0,026 \left(\frac{0,026}{0,023} \right) (1,87 - 1,15 \cdot \sin \Delta\beta_{\text{рк}}) = 0,029$$

Втрати від віяльності:

$$\xi_{\theta} = \frac{0,06}{(1 + \theta_{\text{рк}})} = \frac{0,06}{(1 + 15)} = 0,002$$

Поправка на число Рейнольдса:

$$\xi_{Re} = 5,8 \cdot 10^4 \cdot Re^{-\frac{5}{4}} = 5,8 \cdot 10^4 \cdot (6,5 \cdot 10^6)^{-\frac{5}{4}} = 0,0004$$

Поправка на нерозрахунковий кут входу потоку:

$$\xi_{\text{вх}} = 0,3 \left(1 + \frac{b_{\text{рк}}}{2 \cdot l_{\text{рк}}} \right) \left[\frac{\sin(\alpha_{\text{вх}} - 90)}{\sin(\alpha_{\text{вх}}) \cdot \sin(90)} \cdot \sin 90 \right] = 0$$

Загальні втрати:

$$\xi_{\text{рк}} = \xi_{\text{тр}} + \xi_{\text{кр}} + \xi_{\text{кін}} + \xi_{\theta} + \xi_{\text{Re}} + \xi_{\text{вх}} = \\ = 0,171 + 0,076 + 0,029 + 0,001 + 0 + 0,0002 + 0 = 0,279$$

Уточнюємо прийняте раніше значення коефіцієнта швидкості:

$$\psi_{\text{рк}} = \sqrt{1 - \xi_{\text{рк}}} = \sqrt{1 - 0,279} = 0,96$$

Абсолютна швидкість виходу з РК, м/с:

$$C_{\text{рк}} = \sqrt{W_{\text{рк}}^2 + U^2 - 2 \cdot U \cdot W_{\text{рк}} \cdot \cos \beta_{\text{рк}}} \\ = \sqrt{280^2 + 269^2 - 2 \cdot 269 \cdot 280 \cdot \cos 20,7} = 99,1$$

Кут виходу потоку з РК:

$$\alpha_{\text{рк}} = \arctg \left| \frac{\sin \beta_{\text{рк}}}{\cos \beta_{\text{рк}} - \frac{U}{W_{\text{рк}}}} \right| = \arctg \left| \frac{\sin 20,7}{\cos 20,7 - \frac{269}{280}} \right| = 86,0^\circ$$

Втрати з вихідною швидкістю, кДж/кг:

$$\Delta h_{c2} = \frac{C_2^2}{2000} = \frac{99,1^2}{2000} = 4,91$$

ККД турбодетандера:

$$\eta_{\text{тд}} = \frac{h_{\text{ад}} - \Delta h_{\text{са}} - \Delta h_{\text{рк}} - \Delta h_{c2}}{h_{\text{ад}}} = \frac{126,7 - 6,64 - 2,0 - 4,91}{126,7} = 0,909$$

Потужність ТД, кВт:

$$N_{\text{тд}} = h_{\text{ад}} \cdot G \cdot \eta_{\text{тд}} = 126,7 \cdot 11,93 \cdot 0,909 = 1374.$$

3.4. Генератори та система автоматичного керування детандер-генераторного агрегату

3.4.1. Генератори для детандер-генераторного агрегату.

Генератор призначений для вироблення електричної енергії промислової частоти 50 Гц.

Завдяки особливостям конструкції асинхронний генератор змінного струму відрізняється високою точністю величини напруги, максимально можливим строком експлуатації й простотою в обслуговуванні [15].

Синхронний генератор менш точний у підтримці стабільного рівня видаваного напруги, але при цьому відрізняється стійкістю до підвищення номінального навантаження в мережі.

Коливання напруги в цьому випадку не перевищують 1%. Такі перепади можуть витримати будь-які електричні прилади побутового й виробничого значення.

Для ДГА можливо відокремити наступні синхронні генератори [15]

Тип генератора	Потужність		Напруга, В	Коефіцієнт потужності	Частота обертання, об/хв	ККД, %	Маса, кг
	кВт	кВА					
ГСБ-630М-6Н1	1000	1250	400	0,8	1000	96,0	-
ГСБ-630М-6Б2	1000	1250	6300	0,8	1000	95,9	-
ГСБ-630М-6Б4	1000	1250	10500	0,8	1000	95,3	-
СГ-1250-1500У2	1250	1500	400	0,8	1500	95,2	4980
СГ-1500-6,3-500	1500	1800	6300	0,8	500	94,5	9000
ГСД-1100-1000	1100	1375	6300	0,8	1000	96,2	6180
ТПС-1,5-2М2У3	1500	1800	6300	0,8	3000	96,3	7900

З представлених електрогенераторів найбільш прийнятним для першого та другого ДГА є ТПС-1,5-2М2У3, оскільки має запас потужності близько 15% та частоту обертання 3000 об/хв., що вище ніж у інших представлених генераторів. Це дозволяє зменшити передаточне число редуктора до п'яти.

3.4.2. Система автоматичного керування детандер-генераторного агрегату.

Система автоматичного керування (САК) виводить турбодетандер на будь-який заданий режим роботи, здійснює контроль за його параметрами і захищає від появи умов можливої аварії. Вона призначена для підтримки постійного тиску і температури газу на виході із турбодетандера.

Системи САК виконані за електропневмогідравлічними схемами, у яких виконавчі елементи працюють під тиском масла або газу, а керуючі елементи функціонують при подачі електричного струму напругою 220...380 В.

Схему САК наведено на рис. 3.3.

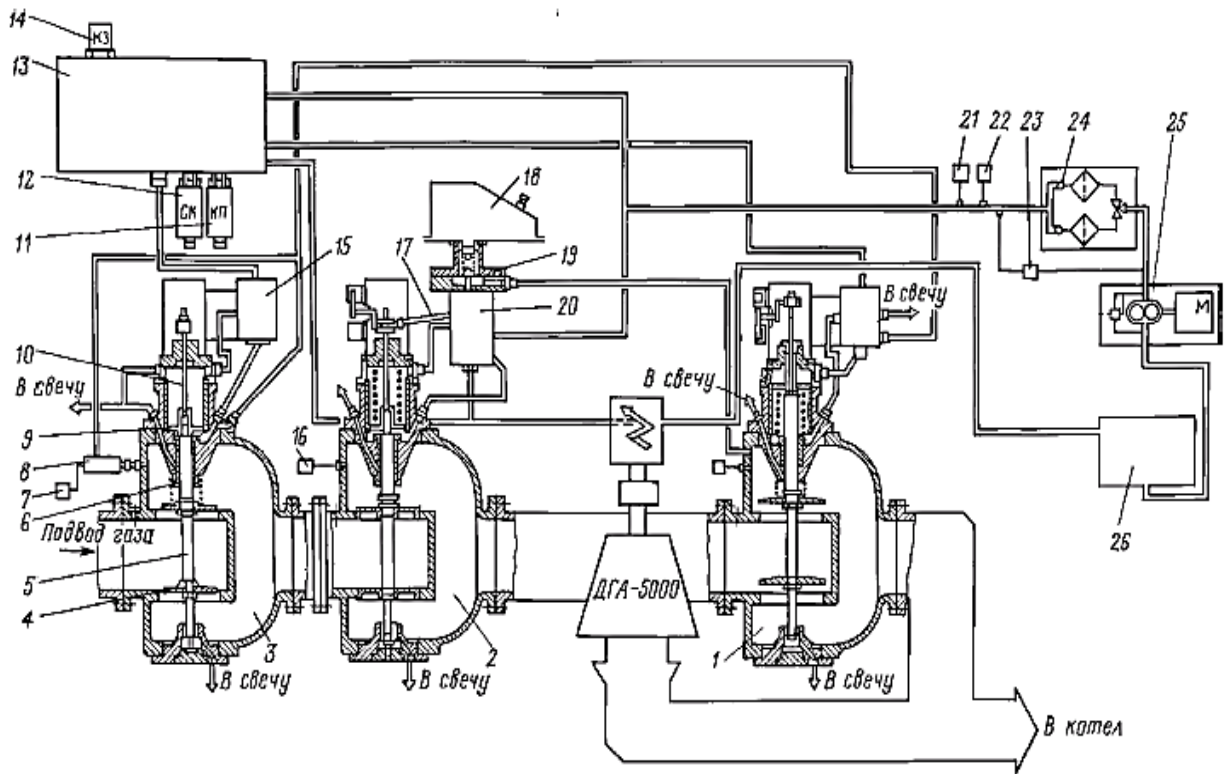


Рис. 3.3. Схема САУ турбодетандера:

- 1 – байпасний клапан; 2 – дозуючий клапан; 3 – стоп-кран; 4 – тарілка клапана; 5 – шток; 6 – пружина; 7 – реле тиску; 8 – фільтр; 9 – силовий поршень; 10 – шток керування; 11 – електроклапан відкриття пропускного клапана; 12 – електроклапан відкриття стоп-крана; 13 – блок керування; 14 – електроклапан відкриття клапана захисту; 15 – сервоклапан; 16 – датчик тиску; 17 – важіль зворотного зв'язку; 18 – командний вузол; 19 – мембрана; 20 – золотник; 21 – датчик тиску; 22 – реле тиску; 23 – реле перепаду тиску; 24 – фільтр олії автоматики; 25 – маслосистема автоматики; 26 – маслобак

Крім самого агрегату до складу систем входять: пропускний клапан 1, клапан дозування 2, стоп-кран 3 і блок керування 13. Робочим тілом усіх клапанів, крім дозуючого, є газ, що надходить на вхід агрегату.

Для роботи дозуючого клапана в імпульсних лініях пропускного клапана і стоп-крана використовується масло з маслосистеми автоматики [13-14].

Маслосистема включає шестерний електромаслонасос 25 і фільтр тонкого очищення масла 24. Масло відбирається з загального маслобака. Система обладнана необхідними датчиками і сигналізаторами. Необхідний тиск масла - 1,5 МПа.

Природний газ через вхідний стаціонарний кран, стоп-кран 3 і дозуючий клапан 2 надходить на вхід турбодетандера. За допомогою дозуючого клапана 2 змінюється витрата газу для підтримки тиску газу після турбодетандера в межах 0,07...0,15 МПа в залежності від налаштування.

Стоп-кран 3 призначений для припинення подачі газу в турбодетандер при аварійній зупинці турбодетандера. Пропускний клапан 1 служить для швидкого вирівнювання тиску газу до і після турбодетандера при спрацьовуванні стоп-крана. Вирівнювання тисків газу необхідно за умовами міцності агрегату.

Блок керування 13 призначений для керування станційними запірними кранами, клапанами паливної апаратури й електроустаткуванням блоку розміщені електромагніти керування стоп-краном 12 і пропускним краном 11.

Схема блоку виконана на реле РЕП-П і ПЕ-27. На кришці блоку знаходяться кнопки керування агрегатами маслосистем і валоповоротним пристроєм. Підключення зовнішніх кабелів електроустаткування виробляється через рознімання ШР.

Висновки за розділом

1. Проведено термодинамічний розрахунок детандер-генераторного агрегату. Потужність ДГА склала величину 1298 кВт.
2. Зроблено пропозицію щодо встановлення другого детандер-генераторного агрегату.
3. Проведено термодинамічний розрахунок другого детандер-генераторного агрегату. Потужність ДГА склала величину 1374 кВт.
4. Виконано аналіз системи автоматичного керування та сучасних електрогенераторів для детандер-генераторного агрегату.
5. Найбільш прийнятним для першого та другого ДГА є електрогенератор ТПС-1,5-2М2УЗ, оскільки він має запас потужності близько 15% та частоту обертання 3000 об/хв. Це дозволяє зменшити передаточне число редуктора до п'яти.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Законодавча та нормативна бази України з охорони праці

Охорона праці – діюча на підставі відповідних законодавчих та інших нормативних актів, система соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, що забезпечують збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Нормативною умовою запобігання виробничим травмам і аваріям є розроблення заходів з охорони праці, що попереджують дію на працівників на робочих місцях небезпечних та шкідливих виробничих чинників, ліквідують умови, за яких вони можуть діяти на людей, а також зменшують ризик можливих небезпечних дій самих працівників. [16-20]

Законодавчі та інші нормативно-правові акти з охорони праці встановлюють, регламентують та регулюють державні вимоги щодо забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці, сприяють створенню та ефективному функціонуванню чіткої системи управління охороною праці на підприємстві, в галузі, в регіоні та в державі в цілому, забезпеченню на кожному робочому місці безпечних і нешкідливих умов праці, встановленню правил.

Законодавча та нормативна база України з охорони праці регламентує все, що пов'язано із створенням і забезпеченням безпечних умов праці. [16-20]

Правовою основою законодавства України про охорону праці є:

- Конституція України;
- Закон України «Про охорону праці»;
- Кодекс законів про працю України (КЗпП);
- Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування»;
- Основи законодавства України про охорону здоров'я;
- Кодекс цивільного захисту України;

– Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення»;

– Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку».

В Україні створена і діє ціла система законодавчих та нормативно-правових актів, що регламентують питання охорони праці. Законодавчими актами, що визначають основні правовідносини у виробничій діяльності, є державні нормативні акти про охорону праці (ДНАОП).

Державні нормативні акти про охорону праці – це правила, стандарти, норми, положення, інструкції та інші документи, яким надано силу закону і які є обов'язковими для виконання [16-20].

Залежно від сфери впливу ДНАОП можуть мати міжгалузеву та галузеву дію. Міжгалузеві державні нормативні акти про охорону праці мають загальнодержавне значення, їх дія поширюється на всі підприємства незалежно від їх відомчої належності, форми власності та виду господарської діяльності.

Галузеві державні нормативні акти про охорону праці поширюються лише на підприємства, що належать до певної галузі. Одним з головних державних нормативних актів про охорону праці в нафтогазовій галузі є:

– ДНАОП 0.00-1.21-98, Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів;

– ДНАОП 0.03-8.07-94, Перелік робіт і робіт зі шкідливими і небезпечними умовами праці, на яких забороняється застосування праці неповнолітніх;

– Наказ, Правила від 18.12.2007 № 315 Про затвердження Правил охорони праці при термічній обробці металів.

Крім вказаних законодавчих актів, правові відносини у сфері охорони праці регулюють підзаконні нормативні акти, укази Президента, рішення

Уряду, нормативні акти міністерств та інших центральних органів державної виконавчої влади [16-20].

На підставі ДНАОП розробляються відомчі документи про охорону праці (ВДОП). Вони затверджуються міністерствами або іншими об'єднаннями з метою конкретизації вимог охорони праці залежно від специфіки галузевих об'єктів.

Перехід на нові, суто українські нормативні акти вимагає значного обсягу робіт та певного часу. Тому у державі дотепер залишаються чинними правила, стандарти, норми, положення та інші нормативні акти, які діяли ще за радянських часів.

Крім вищезгаданих документів, вимоги охорони праці регламентують також будівельні й санітарні норми та правила, правила облаштування електроустановок, норми радіаційної безпеки, правила побудови та безпечної експлуатації кранів, резервуарів, що працюють під тиском та інші нормативні документи.

До найважливіших підзаконних нормативно-правових актів, що регламентують охорону праці, належать такі:

– Постанова «Про порядок проведення розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві» (N 1232 від 30 листопада 2011 р.);

– Список виробництв, професій і робіт з важкими та шкідливими умовами праці, на яких забороняється застосування праці жінок, затверджений МОЗ (№256 від 29.12.1993р.);

– Постанова КМУ від 26.10.2011 № 1107 «Про затвердження Порядку видачі дозволів на виконання робіт підвищеної небезпеки та на експлуатацію (застосування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки»;

– Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (ДНАОП 0.00-4.12-99 від 25.01.2005 №15) та інші.

Нормативно–правові акти з охорони праці в міру розвитку наукових досягнень не рідше одного разу на десять років мають переглядатися, уточнюватись і доповнюватись.

Нормативно–правові акти з охорони праці є обов’язковими до виконання, в умовах виробничої діяльності, будь-якими суб’єктами господарювання.

Опрацювання та прийняття нових, перегляд і скасування чинних нормативно-правових актів здійснює спеціально уповноважений центральний орган з нагляду за охороною праці за погодженням з галузевими міністерствами або відомствами створеними за галузевим принципом.

4.2. Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, діючі в робочій зоні газорозподільної станції. ГОСТ 12.0.003-74 ССБ

Робоча зона ГРС складається з таких основних вузлів як: вузол переключення, вузол очищення газу, вузол запобігання гідратуутворення, вузол редукування, вузол обліку природного газу, вузол одоризації газу. Тут безліч виробничих факторів, які небезпечно впливають на людей, що працюють на ГРС. [21]

Відповідно до ГОСТ 12.0.003-74 за природою впливу шкідливі фактори поділяються на: фізичні, хімічні та психофізіологічні.

При роботі газорозподільної станції можливе виникнення наступних небезпечних і шкідливих факторів:

Фізичні:

- а) рухомі частини технологічного обладнання;
- б) підвищена або понижена температура поверхонь обладнання (ГОСТ 12.1.005-88, СН 3.3.6.042-99);
- в) підвищений рівень шуму на робочому місті оператора ГРС (ГОСТ 12.1.003-83);
- г) підвищений рівень вібрації;
- д) недостатність природного освітлення.

Хімічні (подрознюючі):

а) подразнююча дія газу із проникненням через органи дихання.

До основних небезпечних та шкідливих виробничих факторів на робочій зоні ГРС відносяться [21]:

- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- Підвищене значення напруги в електричному ланцюгу, замикання якого може відбутися через тіло людини;
- підвищений рівень статичної електрики.

Джерелом підвищеної запиленості повітря робочої зони є те, що устаткування встановлене на ділянці відкритого повітря у блочноконтейнерному виконанні. [21]

Концентрація нетоксичного пилу складає величину від 1 до 8 мг/м³. Тому згідно норм гранично допустима концентрація нетоксичного пилу у повітрі робочої зони виробничих приміщень не повинна перевищувати:

- 2 мг/м³ – пил, що вміщує кристалічний окис кремнію від 10 до 70%;
- 1 мг/м³ – більше 7%;
- 4 мг/м³ – для інших видів пилу, що вміщує кварц.

Робочим тілом установки є природний газ метан, що може потрапляти до повітря робочої зони через негерметичні з'єднання. Метан CH₄ – безкольоровий горючий газ без запаху, легший за повітря. При вмісту метану в повітрі 5...15% за об'ємом утворюється вибухова суміш.

В процесі роботи, на оператора ГРС можуть діяти такі небезпечні і шкідливі фактори:

- вплив парів одоранту;
- вібрація від працюючого обладнання;
- підвищена загазованість повітря робочої зони;
- підвищений рівень шуму;
- підвищений рівень загазованості приміщень;
- підвищений рівень електромагнітних випромінювань;

- недостатня освітленість робочої зони;
- небезпека опічків;
- небезпека ураження електрострумом.

Поразка людини електричним струмом може бути в наступних випадках:

- дотику до струмоведучих частин – до однієї фази (полюсу) при знаходженні ніг на землі або струмопровідній підлозі;
- дотик до неструмоведучих, конструктивних частин електроустановки, випадково опинилися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції;
- розряду через людину, конденсатор або кабель, відключений від джерел живлення, але заряджений відповідно до їх його електричної ємністю;
- опічків тіла електричною дугою;
- впливу електромагнітного поля.

При неправильній експлуатації обладнання ГРС може:

- підвищитись тиск і трапитись вибух, в результаті якого може виникнути ймовірність травм;
- статися протоку одоранту, в результаті чого можливе утворення в повітрі робочої і житлової зони перевищення ГДК етил-меркаптану.

Численними дослідженнями встановлено великий вплив освітленості робочих поверхонь на продуктивність праці.

Збільшення освітленості сприяє поліпшенню працездатності навіть в тих випадках, коли процес праці практично не залежить від зорового сприйняття.

При поганому освітленні людина швидко втомлюється, працює менш продуктивно, зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків. Нарешті, погане освітлення може призвести до професійних захворювань (наприклад, короткозорість, спазм акомодатії і ін.) [21].

Велике гігієнічне значення має природне освітлення. Утворене в результаті взаємодії прямого і відбитого світла дифузне освітлення приміщень створює сприятливе розподіл яскравості, що позитивно впливає на зір.

У осіб, які за характером роботи частково або повністю позбавлені природного світла, може виникнути «світлове голодування».

Неправильно виконане освітлення може стати причиною травматизму в результаті погано освітлених небезпечних зон, сліпучого дії ламп і відблисків від них, різких тіней, які можуть викликати повну втрату орієнтації працюючих.

Неправильна експлуатація освітлювальних установок, а також помилки, допущені при їх проектуванні і установці в будівлях з пожежо- та вибухо-небезпечними виробництвами, можуть призвести до пожежі, вибуху і нещасних випадків.

Освітлення робочого місця – є найважливішим фактором створення нормальних умов праці, тому в кваліфікаційній роботі передбачено розрахунок освітлення в пункті 4.3.1.

4.3. Технічні та організаційні заходи по зменшенню рівня впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів. ГОСТ 12.0.003-74 ССБ

З метою забезпечення безпечної праці обслуговуючого персоналу при експлуатації ГРС передбаченні заходи по зменшенню рівня впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

Будівлі ГРС і допоміжні споруди повинні бути розміщені з дотриманням відстані між ними згідно до вимог законодавства.

Апарати і посудини, які працюють під тиском, водогрійні котли, електрообладнання, трубопроводи гарячої води повинні експлуатуватись згідно з чинними нормативними документами [21]:

- «Правилами будови та безпечної експлуатації посудин, які працюють під тиском»;
- «Правилами безпеки систем газопостачання України» ;
- «Правилами будови і безпечної експлуатації парових котлів із тиском не більше 0,07 МПа (0,7 кгс/см²), водогрійних котлів і водопідігрівачів з температурою нагріву води не більше 115°С»;

– «Правилами безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

Робота деякого обладнання промислових установок супроводжується значним шумом, вібрацією і струсом.

Для ослаблення вібрацій під підставу обладнання встановлюють віброгасники у вигляді еластичних прокладок, пружини або пневматичні демпфери. Для виключення вібрацій і струсів від роботи машин несучі конструкції будівлі і майданчики не повинні стикатися з фундаментами машин.

Перенапруги в електричних мережах можуть бути грозовими, що виникають при ударах блискавки, наприклад, в лінію електропередачі або поблизу неї, і внутрішніми, які пов'язані з комутаціями в апаратах управління, дуговими замиканнями на землю і резонансними явищами.

У мережах, що працюють з ізольованою нейтраллю, слід передбачати запобігання самовільного зміщення нейтралі включенням в ланцюг вторинної обмотки трансформаторів напруги, з'єднаної в розімкнутий трикутник, резистор опором 25 Ом і потужністю 400 Вт. Для захисту підходів від грозової перенапруги на робочому і резервному вводах на ГРС потрібно використовувати комплекти розрядників типу РДІ. Розрядний елемент РДІ, уздовж якого розвивається ковзний розряд, має довжину, що перевищує в кілька разів довжину імпульсного перекриття захищається ізолятора лінії.

Ця особливість забезпечують більш низький розрядна напруга при грозовому імпульсі в порівнянні з розрядним напругою захищається ізоляції. Поєднання великої довжини з низькою напругою іскрового розряду призводить до того, що ймовірність встановлення дуги КЗ практично зводиться до нуля. Внаслідок ефекту ковзального розряду вольт-секунда характеристика розрядника розташована нижче, ніж ізолятора, тобто при впливі грозового перенапруження розрядник перекривається, а ізолятор немає [21].

Захист РУ – 10 кВ станції від внутрішньої перенапруги, комутаційних або резонансних явищ, а також від дугових замикань на землю рекомендується виконання комплектами вентильних розрядників типу РВО-10.

Для захисту станції від прямих ударів блискавки передбачені стрижневі громовідводи. ПУЕ допускають установку стрижневих блискавковідводів на лінійних порталах станцій замість окремих фундаментів.

На ГРС забезпечено аварійне освітлення, що дозволяють контролювати показання приладів, стан устаткування і систем, а також виробляти усунення несправностей при аварійних ситуаціях. Як засіб пожежогасіння у виробничих приміщеннях передбачено ручні вуглекислотні вогнегасники, ящики з піском і щити з протипожежним інвентарем.

4.3.1. Розрахунок освітлення зала редукування газу та його облік.

Одним з факторів, що визначають сприятливі умови праці, є раціональне освітлення робочої зони і робочих місць.

Проведемо розрахунок освітлення приміщення, в якому відбувається редукування газу та його облік.

Мета розрахунку освітлення – визначити кількість світильників необхідних для забезпечення мінімальної нормованої освітленості і потужність освітлювальної установки, необхідних для забезпечення в приміщенні нормованої освітленості.

У відповідності зі стандартом підприємства СТП 320.30019801.047–2002 категорія та група вибухонебезпечної суміші згідно з ГОСТ 12.1.011–78 для даного об'єкту транспорту газу – ПА –Т1, клас зон із вибухо– і пожежо-небезпеки за ДНАОП 0.00–1.32–01 – А. [21]

Тоді для даного приміщення світильник обираємо підвищеної надійності проти вибуху типу НОГЛ 2×80, 2 люмінесцентні лампи потужністю по 80 Вт. За ДБН В.2.5–28–2006 норма освітлення складає 150 лк.

З ГОСТ 6825–91 визначаємо параметри обраного типу люмінесцентних ламп. Для ЛБ 80 світловий потік дорівнює 5220 лк.

Виконаємо розрахунок освітлення методом світлового потоку, призначеного для розрахунку загального рівномірного освітлення горизонтальних поверхонь.

Для розрахунку задаємо такі початкові дані:

- розміри приміщення: $8 \times 10 \times 3$ м;
- коефіцієнт відбиття стелі: $\rho_{\text{стел.}} = 0,7$;
- коефіцієнт відбиття стін: $\rho_{\text{ст.}} = 0,5$;
- коефіцієнти відбиття освітлюваної поверхні $\rho_{\text{оп}} = 0,1$;
- коефіцієнт запасу: 1,3;
- коефіцієнт використання світлового потоку світильника: $\eta = 0,81$;

Коефіцієнт запасу враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп.

Коефіцієнт використання світлового потоку світильника показує, яка частина світлового потоку лампи досягає освітлюваної поверхні у тому числі завдяки відбиттю світлового потоку від стін і стелі.

Розрахуємо розрахункову висоту світильника над робочою поверхнею.

$$h_{\text{розр.}} = H - h_{\text{рп.}} - h_{\text{зв.}}$$

де H – висота приміщення, м;

$h_{\text{зв.}}$ – висота звисання світильника від стелі для люмінісцентних ламп, прикріплених до стелі приймається 0;

$h_{\text{рп.}}$ – висота площини нормування освітлення або висота робочої поверхні, 0,8 м;

$$h_{\text{розр.}} = 3 - 0 - 0,8 = 2,2 \text{ м.}$$

Визначимо показник приміщення:

$$\varphi = \frac{AB}{h_{\text{розр.}}(A+B)}$$

$$\varphi = \frac{8 \cdot 10}{2,2(8+10)} = 0,45;$$

Користуючись формулою світлового потоку лампи розраховуємо кількість ламп.

$$F_{\text{л}} = \frac{E_{\text{н}} k_{\text{з}} SZ}{n \eta}$$

де E_n – нормована освітленість, лк;

k_3 – коефіцієнт запасу, $k_3 = 1,5$ для приміщень з малим виділенням пилю, диму і кіптяви;

F_l – світловий потік лампи;

S – площа приміщення, м²;

Z – поправочний коефіцієнт, при найвигіднішому розташуванні світильників дорівнює 1,1...1,2;

n – кількість ламп.

$$n = \frac{E_n k_3 S Z}{F_l \cdot \eta};$$

$$n = \frac{150 \cdot 1,5 \cdot 240 \cdot 1,15}{5220 \cdot 0,81} = 14,69 \approx 15 \text{ шт.}$$

Кількість світильників дорівнює:

$$N = \frac{n}{2}; \quad N = \frac{15}{2} = 8 \text{ шт.}$$

Отже, світильники треба розташовувати рівномірно в два ряди по чотири штуки.

Визначення питомої потужності:

$$P = \frac{n P_l}{S};$$
$$P = \frac{15 \cdot 80}{240} = 5 \text{ Вт/м}^2$$

Визначення сумарної номінальної потужності установки освітлення визначаємо за формулою:

$$P_{\text{сум}} = P_l \cdot S;$$

де P_l – потужність однієї лампи.

Отже,

$$P_{\text{сум}} = 0,08 \cdot 240 = 19,2 \text{ кВт.}$$

4.4. Забезпечення пожежної та вибухобезпеки при роботі на газорозподільній станції згідно ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ та ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ

Усі робітники, службовці та ІТП у разі приймання на роботу повинні бути навчені правилам користування первинними засобами пожежогасіння і проінструктовані про заходи пожежної безпеки, про що вноситься запис у спеціальний журнал. Особи, які не пройшли інструктаж, до роботи на ГРС не допускаються.

Крім періодичного інструктажу і пожежотехнічного мінімуму, які проводяться не рідше 1 разу на рік, для робітників служби ГРС і обслуговуючого персоналу ГРС проводиться повторний протипожежний інструктаж.

Для встановлення і підтримання належного режиму експлуатації ГРС усі її будівлі, споруди і приміщення класифікуються з вибухо- і пожежонебезпеки.

Згідно з класифікацією з вибухо- і пожежонебезпеки приміщень і установок на дверях (воротах, хвіртках) усіх будівель, приміщень і об'єктів повинні бути закріплені металеві знаки з написами відповідної класифікації (або зроблені відповідні трафаретні написи на дверях). [21-22]

Відповідальність за протипожежний стан ГРС, а також за своєчасне виконання протипожежних заходів покладається на начальника служби ГРС (ЛЕС) і оформляється наказом по підрозділу (ЛВУ МГ, ВУ ПЗГ тощо).

Начальник служби ГРС (ЛЕС) та інші працівники служби з питань забезпечення пожежної безпеки ГРС зобов'язані керуватись "Правилами пожежної безпеки в газовій промисловості України".

Найбільш частими причинами пожеж на ГРС є:

- необережне поводження з вогнем під час ремонтних робіт на ГРС;
- несправність систем опалення (несправність котлів, печей, димоходів);
- несправність електроустановок і порушення правил експлуатації електрообладнання;
- несправність технологічного обладнання і порушення під час його експлуатації;

- розряди статичної електрики;
- грозові розряди;
- неправильна експлуатація водогрійних котлів і двигунів внутрішнього згоряння;
- самозаймання горючих матеріалів.

На кожній ГРС повинна бути інструкція з пожежної безпеки, затверджена керівництвом підрозділу (ЛВУ МГ, ВУ ПЗГ тощо). [21-22]

В інструкції з пожежної безпеки повинні бути передбачені такі основні вимоги:

- вимоги безпеки під час знаходження працівників на території станції;
- місця і порядок утримання засобів пожежогасіння, пожежної сигналізації та зв'язку;
- порядок виконання пожежонебезпечних і вибухонебезпечних робіт на території станції;
- порядок в'їзду і руху транспортних засобів на території ГРС;
- вимоги до утримання території, шляхів і під'їздів до будівель і споруд;
- обов'язки чергового і ремонтного персоналу служби ГРС у разі виникнення пожежі, порядок викликання пожежної команди, зупинки і вимикання обладнання (вузла) або цілої ГРС;
- порядок зберігання спецодягу, прибирання і вивезення промаслених ганчірних матеріалів;
- виконання заходів після закінчення робочого дня (вимикання електроприладів, освітлення, перемикання арматури тощо);
- місця, де забороняється куріння і застосування відкритого вогню.

Під час експлуатації ГРС необхідно систематично слідкувати за герметичністю місць з'єднання газопроводів, сальникових ущільнень обладнання і арматури, за справністю вентиляційних систем.

Ремонт електропроводки, електрообладнання, а також замінення електроламп у світильниках приміщень ГРС можна виконувати тільки за умови знятої напруги. [21-22]

У вибухонебезпечних приміщеннях ремонт електрообладнання виконується тільки за нарядом-допуском.

У всіх виробничих приміщеннях ГРС дозволяється застосування електросвітильників згідно з проектом і вимогами ПУЕ.

Улаштування захисту будівель і споруд ГРС від прямих ударів блискавки і розрядів статичної електрики необхідно постійно утримувати в технічно справному стані, систематично перевіряти їх у встановлені терміни, але не рідше одного разу на рік. Металеві сітчані огорожі ГРС, які знаходяться близько ліній електропередач, повинні бути надійно заземлені. [22]

Приміщення ГРС необхідно утримувати в чистоті і порядку. Підлога в усіх приміщеннях повинна бути рівною, не мати виступів, а канали на відмітці “0” обов’язково повинні бути закриті плитами з негорючих матеріалів.

У місцях під’їзду до комунікацій і установок, що знаходяться під тиском газу, повинні бути встановлені попереджувальні і заборонні знаки: «Газонебезпечно», «Вибухонебезпечно», «Проїзд закритий», «Стороннім вхід заборонений» тощо.

У приміщенні редукування (блоці редукування) забороняється:

- прокладати тимчасові електромережі, а також застосовувати некалібровані запобіжники для захисту електромереж;
- використовувати корпуси обладнання, газопроводи і металеві конструкції будівель як заземлення для електрозварювальних агрегатів і зварних виробів;
- здійснювати сушіння спецодягу та інших предметів на приладах опалення і газових комунікаціях;
- загромождувати проходи і виходи в приміщеннях, а також доступи до первинних засобів пожежогасіння і до зовнішніх стаціонарних драбин;
- працювати у взутті із сталевими підковами і на сталевих цвяхах у вибухонебезпечних приміщеннях;
- застосовувати відкритий вогонь для відігрівання замерзлих газопроводів, перекирвної арматури і частин обладнання;

– виконувати електро-газозварювальні роботи з порушенням чинних інструкцій;

– експлуатувати несправне технологічне обладнання.

У разі виникнення пожежі виробничий персонал зобов'язаний негайно приступити до гасіння пожежі наявними первинними засобами пожежогасіння.

У цьому випадку необхідно [22]:

– негайно перекрити доступ газу до місця горіння;

– повідомити про подію керівництво підрозділу;

– закрити витяжну вентиляцію до припинення горіння;

– за необхідності – викликати пожежну команду.

Кожна ГРС повинна бути укомплектована засобами пожежогасіння згідно з «Правилами пожежної безпеки в газовій промисловості України».

Наявні на ГРС вогнегасники повинні регулярно зважуватись і перезаряджатись.

Територія охоронної зони навколо ГРС повинна утримуватись так, щоб виключалась можливість розповсюдження вогню у разі виникнення пожежі; необхідним є влаштування в охоронній зоні (за огорожею) вільних від рослинності протипожежних смуг шириною 10 м. [22]

Згідно з «Правилами пожежної безпеки в газовій промисловості України» газорозподільні станції повинні бути забезпечені такими засобами пожежогасіння – на одну ГРС:

– переносні порошкові вогнегасники «ОП-10» місткістю 10 л – 2 шт.;

– ящик із піском місткістю 0,5 м³ – 1 шт.;

– покривало з негорючого теплоізоляційного матеріалу або повстіна розміром (2X2) м – 2 шт.;

– совкова лопата – 1 шт.

– відро – 1 шт.

4.5. Основні правила по техніці безпеки

4.5.1. Техніка безпеки при експлуатації ГРС [22].

1. Обслуговування устаткування та системи ГРС виконується на діючому об'єкті магістрального газопроводу високого тиску в умовах підвищеної пожежо- та вибухонебезпечності.

2. Обслуговуючий персонал повинен знати та виконувати вимоги правил безпеки при поводженні з природним газом і знати його основні властивості:

2.1. Неодорований природний газ безбарвний, не має запаху, легше повітря.

2.2. При вмісті газу (метану) у повітрі приміщення в межах 5...15% утворюється вибухонебезпечна концентрація;

2.3. Природний газ накопичується в закритих приміщеннях, витісняє повітря й задушливо діє на людину;

2.4. Межа припустимого вмісту газу в повітрі не повинна бути більше 1%.

3. Забороняється паління на території та у приміщенні ГРС.

4. Електроосвітлення приміщення та території ГРС повинно задовольняти нормам ПУЕ та СНиП П 9-71.

5. На ГРС повинно бути забезпечено аварійне освітлення.

6. Виконання заземлень технологічного та електроустаткування, захисних заходів безпеки від враження електричним струмом на ГРС повинно відповідати ПУЕ.

7. Виробничі приміщення ГРС: приміщення регуляторної, витратомірна, одоризаційна повинні кожну зміну перевірятися на загазованість із записом результатів перевірки у вахтовому журналі. Знайшовши витік газу, негайно його усунути, попередньо відкривши двері.

8. Загазованість приміщень ГРС повинна визначатися за допомогою газоаналізатора щодоби, а витіки газу – омилуванням один раз у 10 днів.

Застосування вогню для виявлення місць витоків газу категорично забороняється.

9. Зупинені на ремонт устаткування або системи повинні бути відключені від технологічних газопроводів за допомогою заглушок або запірної арматури.

10. Пусконаладжувальні роботи систем підігріву газу й опалення повинні виконуватися за нарядом-допуском, під керівництвом відповідальної особи з числа ІТП.

11. Під час експлуатації ГРС необхідно стежити:

11.1. За герметичністю місць з'єднань газопроводів, сальникових ущільнень устаткування, арматури;

11.2. За справністю вентиляції.

12. Забороняється експлуатація гідрозатвору без наявності справного показника рівня рідини.

13. Забороняється експлуатація ГРС при несправності однієї із систем (регулювання, одоризації, аварійної сигналізації та ін.)

4.5.2. Техніка безпеки при ремонтних роботах [22].

1. Усі ремонтні роботи в цеху редукування або в приміщенні витрато-мірної, зв'язані з розбиранням устаткування або систем, є газонебезпечними і повинні виконуватися тільки за нарядом-допуском, підписаним начальником, зам. начальника, головним інженером СВУ ПЗГ.

2. Перед початком ремонтних робіт, зв'язаних з роз'єднанням газопроводу високого тиску, необхідно відключити електрохімзахист й установити проміж роз'єднаними ділянками газопроводу сполучну перемичку для запобігання можливості іскроутворення.

3. Продувні свічі після відключення газопроводу повинні залишатися у відкритому положенні.

4. Ремонтні роботи в залі редукування можуть проводитися при концентрації газу в повітрі приміщення менше 1%.

5. У період проведення ремонтних робіт повинна періодично перевірятися загазованість приміщень із записом у журналі результатів перевірки.

6. Перед розкриттям регуляторів тиску необхідно переконатися, що відповідні крани, засувки і вентиля закриті, крани на свічках відкриті, виключено потрапляння газу до місця роботи.

7. При ремонті й обслуговуванні устаткування в сирих приміщеннях, колодязях, посудинах необхідно користатися переносним ліхтарем з напругою не більш 12В у вибухозахищеному виконанні. Забороняється робота з несправними переносними ліхтарями.

8. Забороняється збереження в приміщеннях ГРС легкозаймистих речовин і паливних рідин, які повинні зберігатись в герметичній тарі в спеціально відведеному місці, безпечному в пожежному відношенні.

9. У середині посудин повинні виконуватися роботи за спеціально розробленою інструкцією.

10. Забороняється захаращувати деталями проходи біля устаткування, яке ремонтується чи працює, а також проходи, необхідні для нормальної експлуатації станції.

4.5.3. Пожежна безпека [22].

1. Усі робітники, службовці та ІТП при прийомі на роботу повинні бути навчені правилам користування первинними засобами пожежегасіння та проінструктовані про заходи пожежної безпеки. Запис про інструктаж заноситься до спеціального журналу. Особи, що не пройшли інструктаж, до роботи на ГРС не допускаються. Крім первинного інструктажу та пожежно-технічного мінімуму, не рідше одного разу на рік повинен проводитись повторний протипожежний інструктаж.

2. Відповідно до класифікації за вибухо- та пожежонебезпеки приміщень та установок на дверях (воротах, хвіртках) усіх будинків, приміщень та об'єктів повинні бути укріплені металеві знаки та написи відповідної класифікації.

3. Відповідальність за протипожежний стан ГРС, а також за своєчасне виконання протипожежних заходів покладається на інженера ГРС та оформляється наказом по УПЗГ.

4. Для кожної ГРС повинна бути розроблена протипожежна інструкція.
5. Інструкцією з пожежної безпеки повинні передбачатися:
 - 5.1. Вимоги пожежної безпеки при перебуванні працівників на території ГРС.
 - 5.2. Місця та порядок утримання засобів пожежогасіння, пожежної сигналізації та зв'язку.
 - 5.3. Порядок виконання пожежонебезпечних та вибухонебезпечних робіт на території ГРС.
 - 5.4. Порядок доступу та правила руху транспорту територією станції.
 - 5.5. Вимоги до утримання території, доріг та під'їздів до будинків і споруджень.
 - 5.6. Обов'язки оперативно-чергового та оперативно-ремонтного персоналу при виникненні пожежі, правила виклику пожежної команди, зупинки та відключення устаткування.
 - 5.7. Порядок збирання та видалення промаслених обтиральних матеріалів, збереження спецодягу.
 - 5.8. Виконання заходів щодо робочого дня (відключення електроенергії, переключення арматури та ін.).
 - 5.9. Місця, де заборонені паління та застосування відкритого вогню.
6. Найбільш частими причинами пожеж на ГРС є:
 - 6.1. Необережне поводження з вогнем при ремонтних роботах, при експлуатації технологічного устаткування та систем, при виконанні зварювання й інших робіт, де необхідне застосування відкритого вогню.
 - 6.2. Несправності опалювальних приладів (котлів), димоходів.
 - 6.3. Несправність електроустановок, порушення правил експлуатації електроустаткування.
 - 6.4. Несправність технологічного устаткування та порушення правил його експлуатації.
 - 6.5. Розряди статичної електрики.

6.6. Грозові розряди.

6.7. Недотримання правил протипожежної безпеки при експлуатаційних роботах на ГРС.

6.8. Самозаймання горючих речовин.

7. Під час експлуатації ГРС необхідно систематично стежити:

7.1. За герметичністю місць з'єднання газопроводів, сальникових ущільнень, устаткування й арматури;

7.2. За справністю вентиляційних систем.

8. Ремонт електропроводки, електроустаткування, а також заміну електроламп у світильниках приміщень ГРС можна робити тільки при знятій напрузі. У вибухонебезпечних приміщеннях ремонтні роботи виконуються тільки за письмовим наряд-допуском.

9. Пристрої захисту будинків та споруджень від прямих ударів блискавки та розрядів статичної електрики необхідно постійно утримувати в технічно справному стані, систематично перевіряти їх у встановлений термін, але не рідше одного разу на рік. Металеві сітчасті огороження ГРС, що знаходяться поблизу ліній електропередач, повинні бути надійно заземлені.

10. Приміщення ГРС слід утримувати в чистоті та порядку. Підлоги у всіх приміщеннях повинні бути рівними, не мати виступів, канали на позначці "00" обов'язково покриті плитами з неплавких матеріалів.

11. Промаслені обтиральні матеріали необхідно складати в металеву шухляду та прибирати їх наприкінці роботи. У місцях під'їзду до комунікацій, що знаходяться під тиском газу, повинні бути встановлені попереджувальні знаки та знаки заборони "Газонебезпечно", "Вибухонебезпечно", "Проїзд закритий", "Стороннім вхід заборонено" та ін.

12. В залі редукування забороняється [22]:

12.1. Прокладати тимчасові електромережі, а також застосовувати некалібровані запобіжники для захисту електромереж.

12.2. Використовувати корпуса електроустаткування, газопроводи та

металеві конструкції будинків як заземлення електрозварювальних апаратів та виробів, що зварюються.

12.3. Здійснювати сушіння спецодягу й інших предметів на приладах опалення та газових комунікаціях.

12.4. Захаращувати проходи та виходи в приміщеннях, а також доступи до первинних засобів пожежогасіння та до зовнішніх стаціонарних сходів.

12.5. Працювати у взутті зі сталевими підківками та на сталевих цвяхах у вибухонебезпечних приміщеннях.

12.6. Застосовувати відкритий вогонь для відігрівання замерзлих газопроводів, запірних пристроїв та частин устаткування.

12.7. Проводити електрогазозварювальні роботи з порушенням цієї інструкції.

12.8. Експлуатувати несправне технологічне устаткування.

13. При виникненні пожежі виробничий персонал зобов'язаний негайно приступити до гасіння пожежі наявними первинними засобами пожежогасіння.

При цьому необхідно:

13.1. Надійно перекрити доступ газу до місця горіння.

13.2. Довести до відома керівництво УПЗГ.

13.3. Закрити витяжну вентиляцію до припинення вогню.

13.4. При необхідності викликати пожежну команду.

14. Кожна ГРС повинна бути укомплектована засобами пожежогасіння.

15. Вуглекислотні вогнегасники повинні регулярно зважуватися та при зменшенні ваги перезаряджатися. Пінні вогнегасники перезаряджаються щорічно.

Висновки за розділом

1. Визначено і представлено небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що виникають при експлуатації ГРС.
2. Визначено конструктивно-технологічні заходи, що обмежують вплив на персонал небезпечних та шкідливих виробничих чинників.
3. Розраховано освітлення зала для редукування газу та його облік.
4. Наведено основні правила для забезпечення пожежної та вибухобезпеки при роботі на ГРС.
5. Наведено основні інструкції по техніці безпеки при роботі на ГРС.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Екологічні проблеми, які пов'язані з результатами діяльності людини та впливають на стан довкілля, стають усе більш актуальними, поступово займаючи провідне місце серед глобальних питань сучасності. Особливого значення цей напрям набуває для нашої країни у зв'язку з необхідністю рішення завдань стійкого розвитку, що можливо лише на основі системного дослідження економічних і екологічних проблем, пов'язаних, в першу чергу, із захистом довкілля від техногенної дії. [1-5]

Оцінка техногенного навантаження і аналіз дії виробничої інфраструктури на атмосферу урбанізованої території засновані на встановленні зв'язку між природними та антропогенними чинниками та якістю атмосферного повітря та станом урбоекосистеми, а також у встановленні кількісних характеристик джерел виникнення екологічної небезпеки в регіоні. [3]

Якість довкілля багато в чому залежить від природних умов: географічних, гідрологічних, кліматичних і інших чинників. По суті, фізико-географічні умови визначають кліматичні умови, а отже, повинні впливати на рівень забруднення атмосфери. Рельєф, а також забудова міста, сильно впливає на розподіл домішок в приземному шарі, особливо, якщо він не рівнинний і має великі нерівності. В даному випадку в одних районах міста відбувається накопичення домішок, в інших – швидке їх розсіювання. Тому необхідно враховувати фізико-географічні умови і здійснювати обґрунтоване планування розміщення промислових районів в місті.

На екологію навколишнього середовища дуже сильно впливають всі галузі промисловості. Тому забруднення природного середовища хімічною, металургійною і гірничодобувною галузями промисловості, атомними і тепловими електростанціями, цукровими заводами, автотранспортом, меліоративними системами відбувається техногенне навантаження на ландшафти України. [1-5]

Промисловість впливає на ландшафти переважно шляхом їх безпосередньої руйнації, особливо видобувна (кар'єри, відвали, терикони), та в

результаті викидів в атмосферу й гідросферу забруднювальних речовин, які через атмосферу разносяться на великі відстані та потрапляють майже у всі ландшафти.

У районах з високою концентрацією паливно-енергетичних підприємств формуються техногенні геохімічні аномалії, зокрема, радіоактивні, також забруднюються ґрунти, поверхневі та підземні води, відчужуються значні площі родючих сільськогосподарських земель. [4]

Певний вид антропогенного впливу на ландшафти визначається множиною параметрів, кожен з яких безпосередньо характеризує ступінь антропогенного навантаження. Такими параметрами, наприклад, є:

– для впливу землеробства – кількість внесених добрив, пестицидів на одиницю площі за рік, кількість проходів сільськогосподарської техніки полем за рік, питомий тиск сільськогосподарських машин на фунт, глибина його обробітку, маса ґрунту, яка щороку втрачається зі збиранням коренеплодів тощо;

– для промислових впливів – обсяги викидів різних забруднень в атмосферу та поверхневі води (середні разові, максимальні разові, загалом за рік), шумове і теплове забруднення, об'єми води, що вводяться в технологічні цикли тощо;

– для впливу рекреації – чисельність відпочиваючих на одиницю площі протягом року, максимальна кількість відпочиваючих за один день (пікове одночасне завантаження), кількість наметів, вогнищ на одиницю площі, витоштування трав'яного ярусу (кількість проходів рекреантів за одиницю часу на одиницю площі) та ін. [28]

5.1. Вплив газорозподільної станції на навколишнє середовище

Газорозподільна станція, або скорочено ГРС, необхідна для зменшення тиску газу до рівня, який буде відповідати умовам його безпечного споживання.

За своїм призначенням сьогодні виділяють наступні види газорозподільних станцій:

– станції, які розміщені на відгалуженні газопроводу. Вони встановлені на кінцевому ділянці відгалуження до промислового об'єкта або ж населеного пункту. Їх продуктивність складає від 5 до 500 тисяч кубічних метрів на годину;

– промислова станція, яка призначена для підготовки газу або видалення вологи і пилу з нього при видобутку на промислі. Також така ГРС може використовуватися для забезпечення газом населеного пункту, розташованого в безпосередній близькості до промислу;

– контрольні-розподільчі пункти, які встановлюються на відгалуженнях від магістральних газопроводів до сільськогосподарських або промислових об'єктів. Також вони використовуються для живлення кільцевої системи газопроводів, які розташовані навколо міста. Їх продуктивність складає від 2 до 12 тисяч кубометрів кожну годину;

– автоматична газорозподільна станція, яка призначена для забезпечення газом маленьких населених пунктів, колгоспних і радгоспних селищ, які розташовані на відгалужених від магістральних газопроводів. Їх продуктивність складає від 1 до 3 тисяч кубометрів на годину. [3, 6-9]

Під час проведення планованих робіт на об'єкті необхідні наступні природні ресурси:

– водні: для промивання та гідро випробування ділянки газопроводу.

Для проведення будівельно-монтажних робіт використовуються наступні матеріальні ресурси:

– зварювальні електроди (типу Э42-Ц);

– ізоляційні матеріали;

– трудові ресурси: тимчасово на період виконання будівельних робіт.

Основною речовиною технологічного процесу є неодорований природний газ. [30]

Склад транспортованого газу характеризується такими усередненими показниками: метан (СЕЦ) – 98,5 %, етан (C_2H_6) – 0,5 %, пропан – 0,15 %, азот –

0,8%, а також у незначних долях бутан, пентан, гексан, діоксид вуглецю, кисень. [5]

Неодорований природний газ безбарвний, не має запаху, значно легший за повітря (питома вага газу складає 0,6 від питомої ваги повітря). Густина газу складає 0,68 кг/м³. [10]

Природний газ пожежо- і вибухонебезпечна речовина. Нижня і верхня концентраційні межі спалахування в суміші з повітрям складають відповідно 5% і 15%.

За токсикологічною характеристикою природний газ не має класу небезпечності (за метаном): максимально-разова, середньодобова гранично допустима концентрація (ГДК), а також концентрація в повітрі робочої зони (ГДК_{ср}, ГДК_{мр}, ГДК_{рз}) не нормуються.

Санітарно-гігієнічні показники встановлюються в перерахунку на його складові [29]:

- орієнтовно безпечний рівень впливу (ОБРВ) за метаном – 50 мг/м⁻⁵;
- ГДК в повітрі робочої зони, в перерахунку на вуглець – 300 мг/м⁻⁵;
- 4 клас небезпечності (мало небезпечні речовини) – в перерахунку на вуглець.

Завдяки своїй властивості швидко звітрюватись у верхні шари атмосфери, природний газ не створює значних концентрацій у приземному шарі повітря, навіть під час значних витікання. Мінімально впливає на погіршення стану повітряного середовища та здоров'я людини.

Природний газ має задушливі властивості. Зниження кисню в повітрі, в результаті збільшення концентрації газу до рівня не нижче 16 %, переноситься без відчутних наслідків, до 14 % – призводить до легкого фізіологічного розладу, до 12 % – спричиняє тяжкі фізіологічні розлади, а до 10 % – може призвести до загибелі людини. [30]

Допустимою границею концентрації природного газу в повітрі приміщень є концентрація не більше 1,0 % . [29]

Метан (CH_4) – основна складова природного газу – безбарвний сильно летючий газ, ОБРВ – 50 мг/м^3 . Швидко розсіюється в атмосфері, не створюючи високих концентрацій.

Під час можливих викидів у приземному шарі повітря радіусом 50 м, навіть за найбільш несприятливих умов (підвищена вологість, складний рельєф тощо), будь-яких суттєвих концентрацій газу виявити не вдається. Метан мінімально впливає на погіршення стану повітряного середовища та здоров'я людини. [28-31]

Пари важких вуглеводнів (C_xH_y) на відміну від метану, мають більш токсичні властивості і можуть осідати або розсіюватися, в залежності від метеорологічних умов, на значні відстані. Діють на центральну нервову систему людини, а в більш високих концентраціях мають наркотичну дію.

У разі загоряння газу під час аварійних ситуацій, а також під час проведення будівельно-монтажних робіт у повітряне середовище поступають оксиди азоту (NO_x) та окис вуглецю (CO).

Азоту двоокис (NO_2) – бурий газ з задушливим запахом, за температури більше ніж 140°C починає розкладатись на окис азоту та кисень.

Оксиди азоту можуть негативно впливати на здоров'я людини самі по собі й у комбінації з іншими забруднюючими речовинами. Пікові концентрації діють сильніше, ніж інтегрована доза. Короткочасний вплив $3000\text{...}9400 \text{ мкг/м}^3$ двоокису азоту спричиняє зміни в легенях. Крім підвищеної сприйнятливості до респіраторних інфекцій, вплив двоокису азоту може призвести до підвищеної чутливості до бронхостенозу (звуженню просвіту бронхів) у чутливих людей. [28-31]

Азоту окис (NO) – високотоксичний газ, без кольору, швидко окислюється в двоокис азоту. Швидкість окислення залежить від температури навколишнього середовища, атмосферного тиску і концентрації окису азоту.

Окис азоту – кров'яна отрута. Він переводить гемоглобін у метагемоглобін. Справляє пряму дію на центральну нервову систему людини.

Окис вуглецю (СО) – газ без кольору і запаху. Підвищення рівня окису вуглецю в повітрі сприяє виникненню туманів, смогів, погіршує загальний стан атмосферного середовища.

У присутності окису вуглецю в крові погіршується віддача кисню тканинам організму. Внаслідок токсикації настає слабкість, можливий головний біль, нудота тощо. [28-31]

Для зварювання труб застосовуються електроди типу 342-Ц. Показники емісії забруднюючих речовин у повітря під час зварювання наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Показники емісії забруднюючих речовин під час зварювання

Забруднюючі речовини	Кількість забруднюючих речовин, г/кг
Заліза оксид (Fe_2O_3)	8,57
Марганцю оксид (MnO_2)	1,00
Хрому оксид (Cr_2O_3)	1,43
Фториди	1,5
Водень фтористий	0,001

У процесі капітального ремонту обладнання ГРС виникають наступні відходи:

а) тверді:

– будівельні відходи від демонтажу, недогарки від електродів, відходи ізоляційних матеріалів, бочкотара тощо;

б) рідкі:

– промивні води після гідровипробування газопроводу, що містять глинисті з'єднання, окалину, іржу, шматки електродів.

Після завершення робіт щодо будівництва проекрованої діяльності нитку газопроводу очищують і випробують на міцність. Проектом передбачено випробування гідравлічним способом.

Воду для гідравлічного випробування передбачається доставляти автоцистернами, погодивши це питання з зацікавленими організаціями.

Очищення та випробування порожнини газопроводу здійснюється згідно з ВСН 011-88 у термін, встановлений календарним планом.

Вода, яку закачують у газопровід для промивання і гідро випробування, повинна відповідати 6-му класу чистоти і містити не більше 200 мг/л зважених речовин. [28-31]

Порядок проведення робіт з очищення порожнини газопроводу, а також його випробування здійснюється згідно інструкції та схеми, складеної замовником і будівельною організацією. Контроль за якістю води після її відстоювання перед подальшою утилізацією веде генеральний підрядник разом із замовником і представником санепідемстанції.

Основний шумовий вплив під час реалізації планованої діяльності має місце в період проведення будівельно-монтажних робіт і є наслідком пересування автотранспорту, роботи будівельних машин і механізмів та виконання зварювальних робіт. Джерелами шуму відповідно є автотранспорт, працююча будівельна техніка, зварювальні агрегати, продувні свічі під час спорожнення частини трубопроводу для проведення капітального ремонту.

Інтенсивність і періодичність шуму залежить від характеру виконуваних робіт та графіка їх проведення. Рівень шуму для людей, що працюють на будівельному майданчику не повинен перевищувати встановлений гранично допустимий норматив – 80 дБа. [29]

У процесі експлуатації ГРС короточасні шумові впливи спостерігаються під час технологічних продувок. Частота продувок залежить від умов експлуатації та графіка проведення ремонтів. Створюваний шум має короточасний характер (тривалість продувки не перевищує 1 годину) і має переважно відлякувальний вплив на тварин.

Під час будівництва газопроводу проводиться 100% контроль зварних швів радіографічним методом.

Джерелом іонізуючого випромінювання є рентгенівська установка. Для всіх робіт з пристроями, що генерують іонізуюче випромінювання вказується їх

характер, обмежувальні умови, а також засоби забезпечення протирадіаційного захисту персоналу і населення, а також фізичного захисту джерела.

Діяльність на даному об'єкті повинна проводитись відповідно до інструкції СТП 320.30019801.040-2001 «Радіаційна безпека на об'єктах магістральних газопроводів», в яких регламентується:

- порядок проведення робіт, обліку, збереження, видачі і транспортування джерел, збирання і видалення радіоактивних відходів, утримання приміщень;

- засоби індивідуального захисту;

- засоби радіаційної безпеки під час роботи із джерелами;

- засоби попередження, виявлення і ліквідації радіаційних аварій;

організація проведення радіаційного контролю.

Вимоги до придбання, постачання, розміщення, установлення і експлуатації установок і приладів з джерелами, генеруючими випромінювання, регламентуються відповідними нормами та правилами.

Виконавці робіт несуть відповідальність за збереження джерел з моменту одержання до їхнього повернення чи списання. У випадку звільнення (переходу) осіб, допущених до робіт із джерелами, вони зобов'язані здати за актом усі джерела, що числяться за ними. [28-31]

Прилади, гарантійний термін експлуатації яких минув, або використання яких у подальшому не передбачається, необхідно протягом місяця перевести у режим зберігання з подальшою передачею іншому підприємству, виготовлювачу або на захоронення у терміни, погоджені з територіальними органами Держсанепідслужби МОЗ України.

Радіаційний контроль є невід'ємною частиною системи радіаційної безпеки і включає дозиметричний, радіометричний, спектрометричний і радіохімічний контроль, здійснюваний за допомогою приладів і розрахункових методів.

5.2. Екологічна безпека при експлуатації газорозподільної станції

Екологічна безпека роботи ГРС гарантується розробленням та здійсненням комплексу технічних, організаційних та інших заходів щодо запобігання аваріям, а також ліквідації їх шкідливих екологічних наслідків. [3, 6-9]

Керівники підрозділів, об'єктів і філій ДК "Укртрансгаз" несуть відповідальність за дотримання норм і правил екологічної безпеки, раціональне використання та відновлення до рівня встановлених нормативів земель, вод, інших природних ресурсів, а також за додержання встановлених нормативів викидів і скидів забруднювальних речовин у навколишнє природне середовище та розміщення в ньому відходів. [28-31]

Основними джерелами забруднення довкілля на ГРС є:

- продувна свічка одоризаційної установки під час стравлювання газу із підземної місткості та розхідного бачка для заповнення їх одорантом;

- продувна свічка місткості для збирання конденсату під час стравлювання газу в атмосферу в періоди її заповнення, ремонту, внутрішнього огляду і гідравлічних випробувань;

- свічка запобіжних клапанів, що скидає в атмосферу метан під час ППР регулювальних клапанів, перекривної арматури, пиловловлювачів, фільтрів, замірних діафрагм, у разі настроювання запобіжних клапанів на необхідний тиск спрацьовування;

- труби підігрівачів газу або котлів опалення ГРС (в опалювальний сезон), що скидають в атмосферу продукти спалювання природного газу: окис вуглецю, окис та двоокис азоту. [20]

Річні розрахунки фактичних викидів забруднювальних речовин на ГРС повинні здійснювати спеціалісти служби ГРС на підставі "Типового проекту нормативів гранично – допустимих викидів для ГРС МГ України".

З метою недопущення попадання одоранту і газового конденсату в повітря і на ґрунт керівники виробничих підрозділів та їх служб зобов'язані забезпечити [3, 6-9]:

- виконання операцій із зливання і наливання, транспортування, зберігання і застосування одоранту закритим способом;
- очищення суміші парів одоранту з природним газом в установці нейтралізації або її утилізацію під час заповнення одорантом підземної місткості і витратного бачка;
- безпечно зберігання запасу одоранту, необхідного для одоризації газу, в герметичній підземній місткості;
- зливання вловленого конденсату в підземні місткості, а в подальшому – перекачування його в пересувну місткість (автоцистерну тощо) для перевезення і використання за призначенням.

Згідно з "Правилами охорони магістральних трубопроводів" навколо проммайданчика ГРС встановлюється охоронна зона радіусом (100 – 350) м залежно від діаметра газопроводу – відгалуження і робочого тиску.

Керівники філій і підрозділів ДК "Укртрансгаз" зобов'язані [3, 6-9]:

- забезпечити збереження територій та об'єктів природно-заповідного фонду, а також інших територій, що підлягають особливій охороні;
- не допускати скидання стічних вод із проммайданчика ГРС, використовуючи рельєф місцевості (балки, кар'єри, пониззя тощо);
- забезпечити дотримання відповідного санітарного стану на території ГРС і не допускати винесення дощовими водами сміття, продуктів ерозії ґрунтів, сировини тощо;
- організовувати проведення в установленому порядку еколого-теплотехнічних обстежень ГРС.

Проммайданчик ГРС після закінчення будівельно-монтажних робіт, прибирання будівельного сміття та вертикального планування підлягає озелененню згідно з проектом.

З метою захисту атмосферного повітря від забруднення і зменшення можливого впливу на стан повітряного середовища проектом передбачається:

- а) під час капітального ремонту;

– розроблення і дотримання графіка роботи будівельної техніки і робочого устаткування на режимах з найменшою кількістю викидів забруднюючих речовин (ЗР);

– виключення роботи машин і механізмів на форсованих режимах;

– розподіл у часі зайнятості одиниць техніки, яка не задіяна в єдиному технологічному процесі, таким чином, щоб виключався ефект підсилення і сумарної дії ЗР;

– регулювання двигунів внутрішнього згорання будівельної техніки;

– заборона виїзду на лінію автотранспортних засобів (включаючи особистий транспорт) з невідрегульованими двигунами;

– періодичний контроль за технічним станом машин і механізмів, які експлуатуються, особливо технічних засобів, що можуть викликати загорання;

– виконання транспортно-перевізних операцій з максимальною ефективністю і при повному завантаженні техніки;

– використання резервів більш якісного палива;

– заборона спалювання відходів виробництва і сміття на території проведення робіт;

б) під час експлуатації [3, 6-9]:

– продувка ділянок газопроводу на ГРС в період сприятливих метеорологічних умов;

– попередження і своєчасне ліквідування аварійних ситуацій.

Для зменшення впливу на водне середовище необхідно дотримуватися наступних заходів:

– після гідровипробувань злив води в привізні ємності для одноразових випробувань;

– забороняється миття будівельної техніки у водоймах, злив паливно-мастильних матеріалів поза спеціально пристосованих для цієї мети місць.

Якість використаної води повинна відповідати таким вимогам:

– зважених часток < 5 мг/л;

- запаху та кольору немає;
- реакція БПК < 3 мг/л;
- вміст заліза < 0,5 мг/л;
- отруйних речовин немає.

Відходи IV класу небезпеки можуть зберігатися відкрито на промисловому майданчику у вигляді конусоподібної купи, звідки їх автотранспортом перевантажують у самоскидний автотранспорт і доставляють у місця утилізації або захоронення. [20]

Місце і спосіб зберігання відходів повинні гарантувати наступне:

- відсутність або мінімізацію впливу розміщення відходів на навколишнє природне середовище;
- запобігання втрати відходами властивостей вторинної сировини під час неправильного збирання і зберігання;
- зведення до мінімуму ризику займання відходів;
- недопущення займання відходів;
- зручність вивезення відходів.

Дрібні будівельні і побутові відходи передбачається збирати в спеціальні інвентарні контейнери. Тверді відходи, у тому числі сипкі, які зберігаються в контейнерах, у пластикових, паперових пакетах або мішках необхідно видаляти з території протягом двох діб.

Необхідно передбачити роздільне збирання ресурсоцінних відходів (металобрухт, відпрацьовані оливи, гумові та полімерні відходи та ін.).

Тріски, відходи ізоляції, обрізки поліхлорвінілової ізоляції від оброблення кінців кабельної продукції, шматки рулонних покрівельних матеріалів, бій скла і тверді відходи споживання підлягають захороненню на найближчих сміттєвих звалищах за договором будівельної організації з місцевими комунальними службами й органами санітарного нагляду.

Відпрацьована олива робочої техніки зливається в цистерни, перероблюється і повторно використовується в народному господарстві. [3, 6-9]

На території проведення робіт злив мастил суворо забороняється. Промивні води після гідро випробування, скидаються в спеціальні ємності.

За умови дотримання всіх передбачених проектом вимог щодо управління відходами, цей вид забруднення не повинен негативно вплинути на стан і якість навколишнього природного середовища. [3, 6-9]

Для забезпечення безпеки під час проведення капітального ремонту необхідно суворо дотримуватися діючих нормативних документів та виробничих інструкцій і заходів з охорони праці.

З метою попередження виникнення аварійних ситуацій проводяться систематичні обстеження ГРС, а при виявленні дефектів виконуються необхідні ремонтні роботи. [20]

Періодичність і обсяги роботи з технічного обслуговування та поточного ремонту обладнання і спеціальних засобів та систем на ГРС (КВПіА, телемеханіки, енергозабезпечення, ЕХЗ тощо) встановлюються інструкціями заводів-виготовлювачів, щорічним графіком ППР для кожної конкретної ГРС, "Правилами експлуатації і безпечного обслуговування засобів автоматики, телемеханіки та обчислювальної техніки у газовій промисловості України" та іншими чинними нормативними документами.

Необхідність проведення поточного ремонту обладнання і систем на ГРС визначається на підставі затверджених керівником підрозділу графіків проведення ППР, результатів планових оглядів та зауважень у процесі експлуатації ГРС. [3, 6-9]

Під час ремонту перекирвної арматури на лініях редукування газу або обладнанні, подавання споживачам газу здійснюється через обвідну (байпасну) лінію згідно з інструкцією, розробленою і затвердженою підрозділом.

У разі аварійної ситуації на ГРС, підтримання заданого тиску газу у вихідному газопроводі подавання газу споживачу також повинно здійснюватися через обвідну (байпасну) лінію.

У цьому випадку має бути забезпечено безперервну реєстрацію тиску на виході ГРС та обов'язкову постійну присутність експлуатаційного персоналу.

Ремонтні роботи, пов'язані із необхідністю відключення ГРС, мають виконуватись у період найменш інтенсивного відбирання газу. [3, 6-9]

У кожному підрозділі (ЯВУ МГ, ВУ ПЗГ тощо) на осінньо-зимовий період має бути розроблено і затверджено план із забезпечення безаварійної роботи ГРС, в якому, в першу чергу, має бути передбачено:

- огляд і ремонт сальникових ущільнень та фланцевих з'єднань;
- заміна в арматурі літнього мастила на зимове;
- заміна мастила в редукторах кранів;
- перевірка герметичності з'єднувальних ліній і перекривної арматури;
- перевірка і налагоджування систем підігрівання газу, опалення і вентиляції;
- перевірка герметичності одоризаційної установки;
- перевірка і ремонт (за необхідності) приміщення ГРС, під'їзної дороги та огорожі;
- перевірка герметичності метанолової установки (за наявності).

Основне обладнання ГРС після ремонту має бути перевірено в роботі під навантаженням у терміни, зазначені підприємством–виробником, але не менше ніж протягом 48 годин. За умови відсутності дефектів у роботі протягом цього часу обладнання приймається в експлуатацію.

Усі роботи, виконані під час ремонту основного обладнання, приймаються інженерно–технічним працівником служби ГРС (лінійно–експлуатаційної служби) за актом, до якого має бути додано виконавчу технічну документацію. [3, 6-9]

Про роботи, виконані під час ремонту допоміжного обладнання і систем, повинен бути детальний запис у спеціальному ремонтному журналі, оперативному журналі ГРС або в паспорті обладнання.

Висновки за розділом

1. Визначено, що основними джерелами забруднення довкілля на ГРС є продувна свічка під час стравлювання газу в атмосферу, труби підігрівачів газу або котли опалення ГРС, що скидають в атмосферу продукти спалювання природного газу.

2. Для зменшення рівня викидів шкідливих речовин в повітря і на ґрунт, потрібно дотримуватись певних правил, які описано у підрозділі 5.2.

3. Для оцінювання технічного стану і надійності роботи технологічного обладнання і комунікацій ГРС необхідно періодично виконувати діагностичне обстеження металу труб і обладнання, що працюють в умовах вібрації, змінного тиску і температури, дії ерозії та корозії.

Періодичність перевірки встановлюється з урахуванням місцевих умов експлуатації, але:

– для нових ГРС – перша перевірка не пізніше десятого року після введення в експлуатацію;

– для ГРС після 10 років з початку експлуатації – не менше 1 разу на п'ять років.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз можливості використання детандер-генераторних агрегатів (ДГА) на газорозподільних станціях (ГРС).
2. Надано загальну характеристику та функціонування сучасних ГРС.
3. Надано загальну характеристику, умови та принцип роботи ДГА.
4. Розглянуто схеми впровадження ДГА міжнародних компаній АББ і Атлас Копко в газотранспортну систему. Основна проблема впровадження УТДУ це потреба в значних питомих капіталовкладень.
5. Розглянуто різні схеми впровадження ДГА в газотранспортну систему.
6. Визначено, що основна проблема впровадження УТДУ - це потреба в значних питомих капіталовкладеннях в турбодетандерні установки.
7. Зазначено, що оптимальною є схема, яка забезпечує автономну роботу ГРС з використанням отриманої електроенергії на підігрів газу. Дана схема не потребує значних капіталовкладень, на відміну від схеми з отриманням холоду, та має не довгий термін окупності.
8. Проведено термодинамічний розрахунок ДГА. Потужність ДГА склала величину 1298 кВт.
9. Зроблено пропозицію щодо встановлення другого ДГА, проведено його термодинамічний розрахунок. Потужність ДГА склала величину 1374 кВт.
10. Виконано аналіз системи автоматичного керування та сучасних електрогенераторів для ДГА.
11. Найбільш прийнятним для першого та другого ДГА є електрогенератор ТПС-1,5-2М2УЗ, оскільки він має запас потужності близько 15 % та частоту обертання 3000 об/хв. Це дозволяє зменшити передаточне число редуктора до п'яти.
12. Визначено і представлено небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що виникають при експлуатації ГРС.
13. Визначено конструктивно-технологічні заходи, що обмежують вплив на персонал небезпечних та шкідливих виробничих чинників.

14. Розраховано освітлення зала для редукування газу та його облік.
15. Наведено основні правила для забезпечення пожежної та вибухобезпеки при роботі на ГРС.
16. Наведено основні інструкції по техніці безпеки при роботі на ГРС.
17. Визначено, що основними джерелами забруднення довкілля на ГРС є продувна свічка під час стравлювання газу в атмосферу, труби підігрівачів газу або котли опалення ГРС, що скидають в атмосферу продукти спалювання природного газу.
18. Для зменшення рівня викидів шкідливих речовин в повітря і на ґрунт, потрібно дотримуватись певних правил, які описано у підрозділі 5.2.
19. Для оцінювання технічного стану і надійності роботи технологічного обладнання і комунікацій ГРС необхідно періодично виконувати діагностичне обстеження металу труб і обладнання, що працюють в умовах вібрації, змінного тиску і температури, дії ерозії та корозії.

Періодичність перевірки встановлюється з урахуванням місцевих умов експлуатації, але:

- для нових ГРС – перша перевірка не пізніше десятого року після введення в експлуатацію;
- для ГРС після 10 років з початку експлуатації – не менше 1 разу на п'ять років.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. План розвитку газотранспортної системи до 2029 року. URL: <https://tsoua.com/gts-infrastruktura/rozvytok-gts/10-richnyi-plan-rozvytku/>
2. План розвитку газотранспортної системи ТОВ «Оператор газотранспортної системи України» на 2021...2030 роки: URL: <https://www.аналіз%20та%20перспектива%20розвитку%20оператора%20ГТС.pdf>
3. Оператор газотранспортної системи. Технічні дані. URL: <https://tsoua.com>
4. Енергетична стратегія України до 2035 року «Безпека, Енергоефективність, Конкурентоспроможність». URL: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>
5. Енергетичні ресурси та потоки / А. К. Шидловський, Ю. О. Віхорев, В. О. Гінайло та ін.; За заг. ред. А. К. Шидловського. – К.: Укр. енциклоп. знання, 2003.
6. Розробка та удосконалення низькотемпературних детандерних агрегатів / А. В. Бурняшев, О. В. Купригін, С. В. Моїсєєв, В. І. Поліванов // Технічні газ. – 2006. – № 5. – С. 47–51.
7. Термодинамічний розрахунок турбодетандера / А. Д. Цих. Наукові праці Дон.НТУ. Серія «Гірничо-геологічна». №2(19). 2013. С. 95–106.
8. Концепція створення автоматичних газорозподільних станцій (АГРС) в ДК «Укртрансгаз». – К.: ДК «Укртрансгаз, 2010. 21 с.
9. Правила технічної експлуатації газорозподільних станцій магістральних газопроводів. URL: <https://leg.co.ua/knigi/pravila/pravila-tehnichnoyi-ekspluatsiyi-gazorozpodilnih-stanciy-magistralnih-gazoprovodiv.html>
10. Тепловий розрахунок теплообмінного апарату вузла підігрівання газу ГРС магістральних газопроводів: Вказівки до виконання розрахункової роботи [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 144 «Теплоенергетика» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад: М. Н. Голяд, І. О. Назарова. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,1 Мбайт). – К: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 50 с.

11. Copco Україна - Компресори. URL: <https://www.atlascopco.com/ru-ua/compressors/products/processairgasequipment/centrifugalexpanders/eg-series-turbo-expander>
12. Публічне акціонерне товариство "Марганецький гірничо-збагачувальний комбінат". URL: <http://www.rada.com.ua/ukr/catalog/17555/>
13. Трубопровідний транспорт газу: підручник / О. М. Сусак, В. К. Касперович, М. П. Андріїшин. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – 2013. – 345 с. URL: <https://dspace.nau.edu.ua/bitstream/NAU/41213/1/підручник%20ТТГ.Pdf>
14. Автомобільні газонаповнювальні компресорні станції. Ч.1. Історія, сучасність, перспективи розвитку: підручник [Кулик М. С., Орлов І. О, Капітанчук К. І., Волянська Л. Г.]; під ред. проф. М. С. Кулика. – 2-ге вид., допов. – К.: Державний університет інфраструктури та технологій, 2020. – 320 с. URL: <https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/49601>
15. Нагнітачі природного газу: підручник / М.С. Кулик, К.І. Капітанчук, М.П. Андріїшин. – К.: НАУ, 2022. – 228 с. URL: <https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/55906>
16. Правила безпечної експлуатації магістральних газопроводів. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/RE17587?an=1470>
17. Про основи, що сприяють безпеці та гігієні праці [Електронний ресурс] : МОП 187. – Чинний від 2006-06-15. – Брюссель: Міжнародна організація праці, 2006. – URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/993_515.
18. Про впровадження заходів, що сприяють поліпшенню безпеки і гігієни праці працівників на виробництві : № 89/391/ЕЕС. – Чинний від 1989-06-12. – Люксембург. : Рада ЄС, 1989. – (Директива).
19. Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування [Електронний ресурс] – Чинний від 1999-09-23. : станом на 25.07.2018 р. – К. : ВР України, 1999. – URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1105-14>. – (Закон України).
20. Міжнародний стандарт SA 8000:2001 «Соціальна відповідальність». URL: <https://csrjournal.com/1725-standart-sa-80002001-socialnaja-otvetstvennost.html>

21. Ткачук К.Н., Зацарний В.В., Сабарно Р.В. та ін. Охорона праці та промислова безпека: Посібник. – К.: Лібра, 2010. – 559 с. – URL: <http://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2012/01/Основи-охорони-праці.pdf>
22. Про затвердження Правил безпечної експлуатації магістральних газопроводів. – URL: <https://ips.ligazakon.net/document/RE17587?an=1470>
23. Основи екології: підручник / А. К. Запольський, А. І. Салюк. – К.: Вища школа. 2005. – 382 с. – URL <https://studfile.net/preview/5194022/>
24. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>
25. Правила пожежної безпеки в газовій промисловості України. - Київ, 1997.
26. Законодавство України про охорону праці: збірник нормативних документів, том 1. – Київ, 1995.
27. Купчик М. П., Гандзюк М. П., Степанець І. Ф. та ін. Основи охорони праці. – К.: Основа, 2000. – 416с.
28. Правила безпеки систем газопостачання України. -Київ, 1998. 20. ГОСТ 12.0.003–74 “Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація”.
29. ДСП-201-97 «Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць».
30. Бойчук Ю.Д., Солошенко Е.М., Бугай О.В. Екологія і охорона навколишнього середовища: Навчальний посібник. – Суми: Університетська книга, 2002. – 284 с.
31. Підлісна М.С. Облікування та нормування викидів забруднюючих речовин в атмосферу парком озброєння і техніки – Наук.-техн. зб. – Львів: ЛВІ. – 2004, вип. 3.

Програма термодинамічного розрахунку детандер-генераторного агрегату

$$P_{vh} := 3.6$$

$$T_{vh} := 340$$

$$P_{vyh} := 1.64$$

$$T_{vyh} := 280$$

$$G_{td} := 16.8$$

$$z_{vh} := 0.961$$

$$n := 250$$

$$D_{vh} := 0.1$$

$$R := 518.271$$

$$a_{zv} := 435$$

$$\rho := 0.71$$

$$G := G_{td} \cdot \rho$$

$$G = 11.928$$

$$F_{vh} := \frac{\pi \cdot D_{vh}^2}{4}$$

$$F_{vh} = 7.854 \times 10^{-3}$$

$$\rho_{vh} := \frac{1}{0.04721}$$

$$\rho_{vh} = 21.182$$

$$C_{p_vh} := 2.499$$

$$C_{v_vh} := 1.844$$

$$C_{vh} := \frac{G}{\rho_{vh} \cdot F_{vh}}$$

$$C_{vh} = 71.699$$

$$k := \frac{C_{p_vh}}{C_{v_vh}}$$

$$k = 1.355$$

$$h_{ad} := \frac{k}{k-1} \cdot p_{vh} \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{\rho_{vh}} \cdot \left[1 - \left(\frac{p_{vyh}}{p_{vh}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]$$

$$h_{ad} = 1.208 \times 10^5$$

$$\alpha_1 := 12$$

$$C_{ad} := \sqrt{2 \cdot h_{ad}}$$

$$C_{ad} = 491.439$$

$$\rho := 0.2$$

$$\phi := 0.965$$

$$x_{opt} := \frac{\phi \cdot \cos\left(\alpha_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right)}{2 \cdot \sqrt{1 - \rho}}$$

$$x_{opt} = 0.528$$

$$U := x_{opt} \cdot C_{ad}$$

$$U = 259.314$$

$$D_{sr} := \frac{U}{\pi \cdot n}$$

$$D_{sr} = 0.3302$$

$$h_{ca} := (1 - \rho) \cdot h_{ad}$$

$$h_{ca} = 9.66 \times 10^4$$

$$h_{rk} := \rho \cdot h_{ad}$$

$$h_{rk} = 2.415 \times 10^4$$

$$\Delta h_{ca} := (1 - \phi^2) \cdot h_{ca}$$

$$\Delta h_{ca} = 6.644 \times 10^3$$

$$C_1 := \phi \cdot \sqrt{2 \cdot h_{ca}}$$

$$C_1 = 424.172$$

$$C_{ca} := C_1$$

$$t' := 0.5$$

$$b_1 := 0.06$$

$$t_{ca} := b_1 \cdot t'$$

$$t_{ca} = 0.03$$

$$R = 518.271$$

$$M_{ca} := \frac{C_1}{a_{zv}}$$

$$M_{ca} = 0.975$$

$$z_{vh} = 0.961$$

$$P_{ca} := p_{vh} \cdot \left(1 - \frac{h_{ca}}{\frac{k}{k-1} \cdot z_{vh} \cdot R \cdot T_{vh}} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$P_{ca} = 1.941$$

$$P_{cabv} := p_{vh} \cdot \left(1 - \frac{h_{ca} - \Delta h_{ca}}{\frac{k}{k-1} \cdot z_{vh} \cdot R \cdot T_{vh}} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$P_{cabv} = 2.032$$

$$T_{cabv} := T_{vh} \cdot \left(\frac{P_{cabv}}{p_{vh}} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$T_{cabv} = 292.658$$

$$T_{ca} := T_{vh} \cdot \left(\frac{P_{ca}}{P_{vh}} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$T_{ca} = 289.161$$

$$\rho_{ca} := \frac{1}{0.0737}$$

$$\rho_{ca} = 13.569$$

$$l_{ca} := \frac{G}{C_{ca} \cdot \pi \cdot D_{sr} \cdot \sin\left(\alpha_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot \rho_{ca}}$$

$$l_{ca} = 9.6101 \times 10^{-3}$$

$$G = 11.928$$

$$C_{ca} = 424.172$$

$$z_{ca} := \frac{\pi \cdot D_{sr}}{t_{ca}}$$

$$z_{ca} = 34.575$$

$$D_{sr} = 0.33$$

$$\theta_{ca} := \frac{D_{sr}}{l_{ca}}$$

$$\theta_{ca} = 34.357$$

$$\mu_{ca} := 12.96 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{Re} := \frac{C_{ca} \cdot b_1}{\mu_{ca} \cdot \frac{1}{\rho_{ca}}}$$

$$\text{Re} = 2.665 \times 10^7$$

$$\Delta_{kr} := 0.002$$

$$\zeta_{\text{tr}} := 0.04 \cdot \left(3 - 13 \cdot \sin\left(\alpha_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right) + 21 \cdot \sin\left(\alpha_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right)^2 \right)$$

$$\zeta_{\text{tr}} = 0.048$$

$$\zeta_{\text{kr}} := 0.15 \cdot \left| \frac{\Delta_{\text{kr}}}{t_{\text{ca}} \cdot \sin\left(\alpha_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right)} - 1 \right|$$

$$\zeta_{\text{kr}} = 0.102$$

$$l_{\text{ca}} = 9.61 \times 10^{-3}$$

$$\zeta_{\text{kin}} := 0.015 \cdot \frac{b_1}{l_{\text{ca}}} \cdot \left(1.5 - 2 \cdot \sin\left(\alpha_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right) \right)$$

$$\zeta_{\text{kin}} = 0.102$$

$$\zeta_{\theta} := \frac{0.03}{1 + \theta_{\text{ca}}}$$

$$\zeta_{\theta} = 8.485 \times 10^{-4}$$

$$M_{\text{ca}} = 0.975$$

$$\zeta_{\text{M}} := -0.04 \cdot M_{\text{ca}}^2 + 0.05 \cdot M_{\text{ca}}^3$$

$$\zeta_{\text{M}} = 8.325 \times 10^{-3}$$

$$\text{Re} = 2.665 \times 10^7$$

$$\zeta_{\text{Re}} := 5.8 \cdot 10^4 \cdot \text{Re}^{\frac{-5}{4}}$$

$$\zeta_{\text{Re}} = 3.03 \times 10^{-5}$$

$$\zeta_{\text{ca}} := \zeta_{\text{tr}} + \zeta_{\text{kr}} + \zeta_{\text{kin}} + \zeta_{\theta} + \zeta_{\text{M}} + \zeta_{\text{Re}}$$

$$\zeta_{\text{ca}} = 0.261$$

$$U = 259.314$$

$$\phi_{\text{ca}} := \sqrt{1 - \zeta_{\text{ca}}^2}$$

$$\phi_{ca} = 0.965$$

$$C_{ca} = 424.172$$

$$W_{ca} := C_{ca} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{U}{C_{ca}}\right)^2 - 2 \cdot \frac{U}{C_{ca}} \cdot \cos\left(\alpha_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right)}$$

$$W_{ca} = 178.844$$

$$\beta_{ca} := \text{asin}\left(\frac{C_{ca} \cdot \sin\left(\alpha_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right)}{W_{ca}}\right)$$

$$\beta_{ca} \cdot \frac{180}{\pi} = 29.545$$

$$b_{rk} := 0.026$$

$$t'_{rk} := 0.75$$

$$t_{rk} := b_{rk} \cdot t'_{rk}$$

$$t_{rk} = 0.02$$

$$D_{sr} = 0.33$$

$$l_{rk} := l_{ca} + 0.003$$

$$l_{rk} = 0.0126$$

$$z_{ca} = 34.575$$

$$z_{rk} := \frac{\pi \cdot D_{sr}}{t_{rk}}$$

$$z_{rk} = 53.193$$

$$\psi := 0.947$$

$$h_{rk} = 2.415 \times 10^4$$

$$h_{ad} = 1.208 \times 10^5$$

$$W_{rk} := \psi \cdot \sqrt{W_{ca}^2 + 2 \cdot h_{rk}}$$

$$W_{rk} = 268.333$$

$$\Delta h_{rk} := (1 - \psi^2) \cdot h_{rk}$$

$$\Delta h_{rk} = 2.492 \times 10^3$$

$$P_{ca} = 1.941$$

$$T_{ca} = 289.161$$

$$R = 518.271$$

$$P_{rk} := P_{ca} \cdot \left(1 - \frac{h_{rk}}{\frac{k}{k-1} \cdot z_{vh} \cdot R \cdot T_{ca}} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$P_{rk} = 1.635$$

$$z_{vh} = 0.961$$

$$P_{rkbv} := P_{ca} \cdot \left(1 - \frac{h_{rk} - \Delta h_{rk}}{\frac{k}{k-1} \cdot z_{vh} \cdot R \cdot T_{ca}} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$P_{rkbv} = 1.665$$

$$T_{ca} = 289.161$$

$$T_{rkbv} := T_{ca} \cdot \left(\frac{P_{rkbv}}{P_{ca}} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$T_{rkbv} = 277.763$$

$$D_{sr} = 0.33$$

$$\rho_{rk} := \frac{1}{0.0822}$$

$$\rho_{rk} = 12.165$$

$$G = 11.928$$

$$\rho_{ca} = 13.569$$

$$\beta_{rk} := \text{asin}\left(\frac{G}{W_{rk} \cdot \pi \cdot D_{sr} \cdot l_{rk} \cdot \rho_{rk}}\right)$$

$$\beta_{rk} \cdot \frac{180}{\pi} = 16.222$$

$$\beta_{ca} \cdot \frac{180}{\pi} = 29.545$$

$$W_{rk} = 268.333$$

$$\Delta\beta_{rk} := 180 - \left(\beta_{ca} \cdot \frac{180}{\pi} + \beta_{rk} \cdot \frac{180}{\pi}\right)$$

$$\Delta\beta_{rk} = 134.233$$

$$\underline{Re} := \frac{W_{rk} \cdot b_{rk}}{\mu_{ca} \cdot \frac{1}{\rho_{rk}}}$$

$$Re = 6.549 \times 10^6$$

$$\underline{\mu_{ca}} := 12.96 \cdot 10^{-6}$$

$$l_{rk} = 0.013$$

$$\Delta\beta_{rk} = 134.233$$

$$\theta_{rk} := \frac{D_{sr}}{l_{rk}}$$

$$\theta_{rk} = 26.183$$

$$b_{rk} = 0.026$$

$$\underline{\zeta_{tr}} := 0.08 \cdot \left(1.841 - 1.584 \cdot \sin\left(\Delta\beta_{rk} \cdot \frac{\pi}{180}\right) + 0.62 \cdot \sin\left(\Delta\beta_{rk} \cdot \frac{\pi}{180}\right)^2\right)$$

$$\zeta_{tr} = 0.082$$

$$\underline{\zeta_{kr}} := 0.15 \cdot \left| \frac{\Delta_{kr}}{t_{rk} \cdot \sin\left(\alpha_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right)} - 1 \right|$$

$$\zeta_{kr} = 0.076$$

$$t_{rk} = 0.02$$

$$\zeta_{kin} := 0.026 \cdot \frac{b_{rk}}{l_{rk}} \cdot \left(1.87 - 1.15 \cdot \sin\left(\Delta\beta_{rk} \cdot \frac{\pi}{180} \right) \right)$$

$$\zeta_{kin} = 0.056$$

$$\zeta_{\theta} := \frac{0.03}{1 + \theta_{rk}}$$

$$\zeta_{\theta} = 1.104 \times 10^{-3}$$

$$M_{ca} = 0.975$$

$$\zeta_{Re} := 5.8 \cdot 10^4 \cdot Re^{-5}$$

$$\zeta_{Re} = 1.751 \times 10^{-4}$$

$$Re = 6.549 \times 10^6$$

$$\zeta_{rk} := \zeta_{tr} + \zeta_{kr} + \zeta_{kin} + \zeta_{\theta} + \zeta_{Re}$$

$$\zeta_{rk} = 0.215$$

$$U = 259.314$$

$$\phi_{rk} := \sqrt{1 - \zeta_{rk}^2}$$

$$\phi_{rk} = 0.977$$

$$C_{ca} = 424.172$$

$$W_{rk} = 268.333$$

$$\beta_{rk} \cdot \frac{180}{\pi} = 16.222$$

$$C_{rk} := \sqrt{W_{rk}^2 + U^2 - 2 \cdot U \cdot W_{rk} \cdot \cos(\beta_{rk})}$$

$$C_{rk} = 74.979$$

$$\alpha_2 := \operatorname{atan} \left(\left| \frac{\sin(\beta_{rk})}{\cos(\beta_{rk}) - \frac{U}{W_{rk}}} \right| \right)$$

$$\alpha_2 \cdot \frac{180}{\pi} = 88.728$$

$$\Delta h_{c2} := \frac{C_{rk}^2}{2000}$$

$$\Delta h_{c2} = 2.811$$

$$h_{ad} = 1.208 \times 10^5$$

$$\Delta h_{ca} = 6.644 \times 10^3$$

$$\eta_{td} := \frac{h_{ad} - \Delta h_{ca} - \Delta h_{rk} - \Delta h_{c2} \cdot 1000}{h_{ad}}$$

$$\eta_{td} = 0.901$$

$$\Delta h_{rk} = 2.492 \times 10^3$$

$$G = 11.928$$

$$\Delta h_{c2} = 2.811$$

$$N_{td} := h_{ad} \cdot 0.001 \cdot G \cdot \eta_{td}$$

$$N_{td} = 1.298 \times 10^3$$

$$\frac{\sin(\beta_{rk})}{\cos(\beta_{rk}) - \frac{U}{W_{rk}}} = -45.051$$

$$\sin(\beta_{rk}) = 0.279$$

$$\cos(\beta_{rk}) = 0.96$$

$$\frac{U}{W_{rk}} = 0.966$$

**Програма термодинамічного розрахунку другого
детандер-генераторного агрегату**

$$p_{vh} := 1.64$$

$$T_{vh} := 340$$

$$p_{vyh} := 0.75$$

$$T_{vyh} := 280$$

$$G_{td} := 16.8$$

$$z_{vh} := 0.961$$

$$n := 250$$

$$D_{vh} := 0.15$$

$$\underline{R} := 518.271$$

$$a_{zv} := 435$$

$$\rho := 0.71$$

$$\underline{G} := G_{td} \cdot \rho$$

$$G = 11.928$$

$$F_{vh} := \frac{\pi \cdot D_{vh}^2}{4}$$

$$F_{vh} = 0.018$$

$$\rho_{vh} := \frac{1}{0.1083}$$

$$\rho_{vh} = 9.234$$

$$C_{p_vh} := 2.411$$

$$C_{v_vh} := 1.834$$

$$C_{vh} := \frac{G}{\rho_{vh} \cdot F_{vh}}$$

$$C_{vh} = 73.101$$

$$k := \frac{C_{p_vh}}{C_{v_vh}}$$

$$k = 1.315$$

$$h_{ad} := \frac{k}{k-1} \cdot p_{vh} \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{\rho_{vh}} \cdot \left[1 - \left(\frac{p_{vyh}}{p_{vh}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]$$

$$h_{ad} = 1.267 \times 10^5$$

$$\alpha_1 := 12$$

$$C_{ad} := \sqrt{2 \cdot h_{ad}}$$

$$C_{ad} = 503.44$$

$$\rho := 0.2$$

$$\phi := 0.977$$

$$x_{opt} := \frac{\phi \cdot \cos\left(\alpha_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right)}{2 \cdot \sqrt{1 - \rho}}$$

$$x_{opt} = 0.534$$

$$U := x_{opt} \cdot C_{ad}$$

$$U = 268.95$$

$$D_{sr} := \frac{U}{\pi \cdot n}$$

$$D_{sr} = 0.3424$$

$$h_{ca} := (1 - \rho) \cdot h_{ad}$$

$$h_{ca} = 1.014 \times 10^5$$

$$h_{rk} := \rho \cdot h_{ad}$$

$$h_{rk} = 2.535 \times 10^4$$

$$\Delta h_{ca} := (1 - \phi^2) \cdot h_{ca}$$

$$\Delta h_{ca} = 4.61 \times 10^3$$

$$C_1 := \phi \cdot \sqrt{2 \cdot h_{ca}}$$

$$C_1 = 439.934$$

$$C_{ca} := C_1$$

$$t' := 0.5$$

$$b_1 := 0.06$$

$$t_{ca} := b_1 \cdot t'$$

$$t_{ca} = 0.03$$

$$P_{vh} = 1.64$$

$$R = 518.271$$

$$M_{ca} := \frac{C_1}{a_{zv}}$$

$$M_{ca} = 1.011$$

$$z_{vh} = 0.961$$

$$P_{ca} := P_{vh} \cdot \left(1 - \frac{h_{ca}}{\frac{k}{k-1} \cdot z_{vh} \cdot R \cdot T_{vh}} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$P_{ca} = 0.859$$

$$T_{vh} = 340$$

$$P_{cabv} := P_{vh} \cdot \left(1 - \frac{h_{ca} - \Delta h_{ca}}{\frac{k}{k-1} \cdot z_{vh} \cdot R \cdot T_{vh}} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$P_{cabv} = 0.887$$

$$T_{\text{cabv}} := T_{\text{vh}} \cdot \left(\frac{P_{\text{cabv}}}{P_{\text{vh}}} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$T_{\text{cabv}} = 293.501$$

$$T_{\text{ca}} := T_{\text{vh}} \cdot \left(\frac{P_{\text{ca}}}{P_{\text{vh}}} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$T_{\text{ca}} = 291.286$$

$$\rho_{\text{ca}} := \frac{1}{0.1641}$$

$$\rho_{\text{ca}} = 6.094$$

$$l_{\text{ca}} := \frac{G}{C_{\text{ca}} \cdot \pi \cdot D_{\text{sr}} \cdot \sin\left(\alpha_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot \rho_{\text{ca}}}$$

$$l_{\text{ca}} = 0.0199$$

$$G = 11.928$$

$$C_{\text{ca}} = 439.934$$

$$z_{\text{ca}} := \frac{\pi \cdot D_{\text{sr}}}{t_{\text{ca}}}$$

$$z_{\text{ca}} = 35.86$$

$$D_{\text{sr}} = 0.342$$

$$\theta_{\text{ca}} := \frac{D_{\text{sr}}}{l_{\text{ca}}}$$

$$\theta_{\text{ca}} = 17.215$$

$$\mu_{\text{ca}} := 10.79 \cdot 10^{-6}$$

$$\underline{\text{Re}} := \frac{C_{\text{ca}} \cdot b_1}{\mu_{\text{ca}} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{ca}}}}$$

$$\text{Re} = 1.491 \times 10^7$$

$$\Delta_{\text{kr}} := 0.002$$

$$\zeta_{\text{tr}} := 0.04 \cdot \left(3 - 13 \cdot \sin\left(\alpha_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right) + 21 \cdot \sin\left(\alpha_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right)^2 \right)$$

$$\zeta_{\text{tr}} = 0.048$$

$$\zeta_{\text{kr}} := 0.15 \cdot \left| \frac{\Delta_{\text{kr}}}{t_{\text{ca}} \cdot \sin\left(\alpha_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right)} - 1 \right|$$

$$\zeta_{\text{kr}} = 0.102$$

$$l_{\text{ca}} = 0.02$$

$$\zeta_{\text{kin}} := 0.015 \cdot \frac{b_1}{l_{\text{ca}}} \cdot \left(1.5 - 2 \cdot \sin\left(\alpha_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right) \right)$$

$$\zeta_{\text{kin}} = 0.049$$

$$\zeta_{\theta} := \frac{0.03}{1 + \theta_{\text{ca}}}$$

$$\zeta_{\theta} = 1.647 \times 10^{-3}$$

$$M_{\text{ca}} = 1.011$$

$$\zeta_{\text{M}} := -0.04 \cdot M_{\text{ca}}^2 + 0.05 \cdot M_{\text{ca}}^3$$

$$\zeta_{\text{M}} = 0.011$$

$$\text{Re} = 1.491 \times 10^7$$

$$\zeta_{\text{Re}} := 5.8 \cdot 10^4 \cdot \text{Re}^{\frac{-5}{4}}$$

$$\zeta_{\text{Re}} = 6.261 \times 10^{-5}$$

$$\zeta_{ca} := \zeta_{tr} + \zeta_{kr} + \zeta_{kin} + \zeta_{\theta} + \zeta_M + \zeta_{Re}$$

$$\zeta_{ca} = 0.212$$

$$U = 268.95$$

$$\phi_{ca} := \sqrt{1 - \zeta_{ca}^2}$$

$$\phi_{ca} = 0.977$$

$$C_{ca} = 439.934$$

$$W_{ca} := C_{ca} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{U}{C_{ca}}\right)^2 - 2 \cdot \frac{U}{C_{ca}} \cdot \cos\left(\alpha_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right)}$$

$$W_{ca} = 185.49$$

$$U = 268.95$$

$$\beta_{ca} := \text{asin}\left(\frac{C_{ca} \cdot \sin\left(\alpha_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right)}{W_{ca}}\right)$$

$$\beta_{ca} \cdot \frac{180}{\pi} = 29.545$$

$$b_{rk} := 0.026$$

$$t'_{rk} := 0.75$$

$$t_{rk} := b_{rk} \cdot t'_{rk}$$

$$t_{rk} = 0.02$$

$$D_{sr} = 0.342$$

$$l_{rk} := l_{ca} + 0.003$$

$$l_{rk} = 0.0229$$

$$z_{ca} = 35.86$$

$$z_{rk} := \frac{\pi \cdot D_{sr}}{t_{rk}}$$

$$z_{rk} = 55.169$$

$$\psi := 0.96$$

$$h_{rk} = 2.535 \times 10^4$$

$$h_{ad} = 1.267 \times 10^5$$

$$W_{rk} := \psi \cdot \sqrt{W_{ca}^2 + 2 \cdot h_{rk}}$$

$$W_{rk} = 280.045$$

$$W_{ca} = 185.49$$

$$\Delta h_{rk} := (1 - \psi^2) \cdot h_{rk}$$

$$\Delta h_{rk} = 1.987 \times 10^3$$

$$P_{ca} = 0.859$$

$$T_{ca} = 291.286$$

$$R = 518.271$$

$$P_{rk} := P_{ca} \cdot \left(1 - \frac{h_{rk}}{\frac{k}{k-1} \cdot z_{vh} \cdot R \cdot T_{ca}} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$P_{rk} = 0.719$$

$$z_{vh} = 0.961$$

$$P_{rkbv} := P_{ca} \cdot \left(1 - \frac{h_{rk} - \Delta h_{rk}}{\frac{k}{k-1} \cdot z_{vh} \cdot R \cdot T_{ca}} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$P_{rkbv} = 0.729$$

$$T_{ca} = 291.286$$

$$T_{rkbv} := T_{ca} \cdot \left(\frac{P_{rkbv}}{P_{ca}} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$T_{\text{rkbv}} = 280.062$$

$$D_{\text{sr}} = 0.342$$

$$\rho_{\text{rk}} := \frac{1}{0.2041}$$

$$\rho_{\text{rk}} = 4.9$$

$$G = 11.928$$

$$\rho_{\text{ca}} = 6.094$$

$$\beta_{\text{rk}} := \text{asin}\left(\frac{G}{W_{\text{rk}} \cdot \pi \cdot D_{\text{sr}} \cdot l_{\text{rk}} \cdot \rho_{\text{rk}}}\right)$$

$$\beta_{\text{rk}} \cdot \frac{180}{\pi} = 20.671$$

$$\beta_{\text{ca}} \cdot \frac{180}{\pi} = 29.545$$

$$W_{\text{rk}} = 280.045$$

$$\Delta\beta_{\text{rk}} := 180 - \left(\beta_{\text{ca}} \cdot \frac{180}{\pi} + \beta_{\text{rk}} \cdot \frac{180}{\pi}\right)$$

$$\Delta\beta_{\text{rk}} = 129.784$$

$$\underline{\text{Re}} := \frac{W_{\text{rk}} \cdot b_{\text{rk}}}{\mu_{\text{ca}} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{rk}}}}$$

$$\text{Re} = 3.306 \times 10^6$$

$$\mu_{\text{ca}} = 1.079 \times 10^{-5}$$

$$l_{\text{rk}} = 0.023$$

$$\Delta\beta_{\text{rk}} = 129.784$$

$$\theta_{\text{rk}} := \frac{D_{\text{sr}}}{l_{\text{rk}}}$$

$$\theta_{\text{rk}} = 14.959$$

$$b_{rk} = 0.026$$

$$\zeta_{tr} := 0.08 \cdot \left(1.841 - 1.584 \cdot \sin\left(\Delta\beta_{rk} \cdot \frac{\pi}{180}\right) + 0.62 \cdot \sin\left(\Delta\beta_{rk} \cdot \frac{\pi}{180}\right)^2 \right)$$

$$\zeta_{tr} = 0.079$$

$$\zeta_{tr} := 0.171$$

$$\zeta_{kr} := 0.15 \cdot \left| \frac{\Delta_{kr}}{t_{rk} \cdot \sin\left(\alpha_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right)} - 1 \right|$$

$$\zeta_{kr} = 0.076$$

$$t_{rk} = 0.02$$

$$\zeta_{kin} := 0.026 \cdot \frac{b_{rk}}{l_{rk}} \cdot \left(1.87 - 1.15 \cdot \sin\left(\Delta\beta_{rk} \cdot \frac{\pi}{180}\right) \right)$$

$$\zeta_{kin} = 0.029$$

$$\zeta_{\theta} := \frac{0.03}{1 + \theta_{rk}}$$

$$\zeta_{\theta} = 1.88 \times 10^{-3}$$

$$M_{ca} = 1.011$$

$$\zeta_{Re} := 5.8 \cdot 10^4 \cdot \text{Re}^{-5}$$

$$\zeta_{Re} = 4.114 \times 10^{-4}$$

$$\text{Re} = 3.306 \times 10^6$$

$$\zeta_{rk} := \zeta_{tr} + \zeta_{kr} + \zeta_{kin} + \zeta_{\theta} + \zeta_{Re}$$

$$\zeta_{rk} = 0.278$$

$$U = 268.95$$

$$\phi_{rk} := \sqrt{1 - \zeta_{rk}^2}$$

$$\phi_{rk} = 0.96$$

$$C_{ca} = 439.934$$

$$W_{rk} = 280.045$$

$$\beta_{rk} \cdot \frac{180}{\pi} = 20.671$$

$$C_{rk} := \sqrt{W_{rk}^2 + U^2 - 2 \cdot U \cdot W_{rk} \cdot \cos(\beta_{rk})}$$

$$C_{rk} = 99.097$$

$$\alpha_2 := \operatorname{atan} \left(\left| \frac{\sin(\beta_{rk})}{\cos(\beta_{rk}) - \frac{U}{W_{rk}}} \right| \right)$$

$$\alpha_2 \cdot \frac{180}{\pi} = 85.988$$

$$\Delta h_{c2} := \frac{C_{rk}^2}{2000}$$

$$\Delta h_{c2} = 4.91$$

$$h_{ad} = 1.267 \times 10^5$$

$$\Delta h_{ca} = 4.61 \times 10^3$$

$$\eta_{td} := \frac{h_{ad} - \Delta h_{ca} - \Delta h_{rk} - \Delta h_{c2} \cdot 1000}{h_{ad}}$$

$$\eta_{td} = 0.909$$

$$\Delta h_{rk} = 1.987 \times 10^3$$

$$G = 11.928$$

$$\Delta h_{c2} = 4.91$$

$$N_{td} := h_{ad} \cdot 0.001 \cdot G \cdot \eta_{td}$$

$$N_{td} = 1.374 \times 10^3$$

$$\frac{\sin(\beta_{rk})}{\cos(\beta_{rk}) - \frac{U}{W_{rk}}} = -14.259$$

$$\sin(\beta_{rk}) = 0.353$$

$$\cos(\beta_{rk}) = 0.936$$

$$\frac{U}{W_{rk}} = 0.96$$