

Автореферат  
М29

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ

*Мартинюк*

МАРТИНЮК МАКСИМ ОЛЕГОВИЧ

УДК 621.564: 629.463.125

**ВЖИВАННЯ СУМІШІ ПРОПАН/ЕТАН ЯК РОБОЧЕ ТІЛО  
ХОЛОДИЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ  
КОНДЕНСАЦІЇ ПРИРОДНОГО ГАЗУ**

05.05.14 – Холодильна, вакуумна та компресорна техніка, системи  
кондиціонування

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Одеса – 2009

Дисертація є рукописом.

Робота виконана в Одеській державній академії холоду Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник:**

доктор технічних наук, професор Хмельнюк Михайло Георгійович, завідувач кафедри холодильних машин і установок Одеської державної академії холоду МОН України

доктор технічних наук, професор Лавренченко Георгій Костянтинович, директор ТОВ «Інститут систем перетворення енергії», м. Одеса, заслужений діяч науки і техніки України

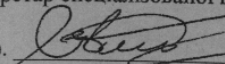
кандидат технічних наук, доцент Халінкевич Микола Васильович, доцент кафедри технічної теплофізики Одеського державного університету України

Захист дисертації відбудеться 7.12 2009 року, у ауд. 108 1400 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.41.087.01 в Одеській державній академії холоду за адресою: вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, Україна, 65082.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ОГАХ за адресою: вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, Україна, 65082.

Автореферат розісланий 6.11 2009 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради

д.т.н., проф.  Мілованов В.І.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

xv1269  
ІНСТИТУТ холоду  
ОНАХТ  
бібліотека

**Актуальність теми.** На сьогоднішній день, з причини загальної тенденції до підвищення ефективності низки виробництв з використанням зовнішнього охолодження, таких, як установки низькотемпературної конденсації природного газу (НТК), вимог з боку екологічних служб про повну переробку попутного нафтового газу без спалювання його на місці нафтовидобування, виникає необхідність зміни параметрів ряду технологічних процесів переробки природного газу. З досвіду експлуатації установок НТК природного газу випливає, що зниження температурного рівня зовнішнього охолодження потоку, що переробляється, призводить до підвищення глибини витягання цільових вуглеводнів. Використання суміші пропан/етан дозволяє знизити температурний рівень роботи холодильної установки, але пов'язано з рядом труднощів і вимагає досліджень проточної частини компресора на застосовність перспективного робочого тіла. Важливо як найточніше визначити параметри роботи компресора на запропонованій новій робочій речовині з метою винесення висновку про доцільність використання одного і про допустимі режими роботи установки.

Через одиничність експлуатованих зразків компресорів і в артисного процесу проектування і виробництва нових корпусів, інтерес представляє оцінка можливості використання існуючих компресорів на нових робочих тілах. Важливою особливістю експлуатації турбохолодильних агрегатів слід вважати їх низьку уніфікацію відносно до вживаних робочих тіл.

Оцінка роботи холодильної установки на робочому тілі, яке дозволяє розв'язати завдання пониження температурного рівня кипіння, повинна відбуватися суцільно із розглядом роботи турбохолодильного компресора.

Дана робота виконана в тісному контакті з прикладним завданням підвищення ефективності установок низькотемпературної конденсації природного газу. В ході досліджень прикладного завдання з'ясувалося, що актуальним є питання надійного і відносно простого методу здобуття характеристик турбохолодильної машини. Це випливає із необхідності мати дані про роботу компресора в передбачуваних умовах, на новому робочому тілі для здобуття параметрів холодильної установки і оптимізації технологічного процесу в цілому.

**Зв'язок з науковими програмами.** Дисертаційна робота виконана згідно із: Постановою Кабінету Міністрів України від 03.04.2006р. № 412 «Про забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів»; Постановою Кабінету Міністрів України від 22.10.2008р. № 935 «Про організацію державного контролю за ефективним (раціональним) використанням паливно-енергетичних ресурсів»; Постанови Верховної Ради України від 22.02.2001р. № 2274-111 (2274-14) «Енергетична стратегія України на період до 2030 року».

**Метою роботи** є отримання даних по характеристиках роботи пропанового відцентрового компресора типу ПП5-5 на суміші пропан/етан у складі холодильної установки комплексу НТК і оцінка доцільності переведення пропанової холодильної

установки на суміш пропан/етан, що забезпечує глибшу переробку попутного нафтового газу за рахунок зниження температурного рівня отриманого холоду.

**Об'єктом дослідження** є відцентровий двосекційний чотириступінчастий холодильний компресор типу ТП5-5 у складі холодильної установки, що працює на пропані і суміші пропан/етан.

**Предметом дослідження** є робочі процеси в проточній частині холодильного турбокомпресора типу ТП5-5 на суміші пропан/етан, характеристики компресора і параметри холодильної установки.

**Для досягнення поставленої мети було необхідно розв'язати такі завдання:**

- обґрунтувати доцільність використання нового робочого тіла;
- розробити модель компресора для розрахункового комплексу, який ґрунтується на кінцево-елементному моделюванні і підтвердити її адекватність експериментальним даним;
- створити методику обробки результатів розрахунку (які являють собою великий набір величин, що вимагають усереднювання) і порівняти з результатами експериментальних досліджень;
- отримати дані по характеристиках роботи холодильного турбокомпресора на штатному і перспективному холодоагентах, що найкоректніше описують роботу компресора у всьому діапазоні зміни експлуатаційних параметрів;
- визначити оптимальну концентрацію суміші пропан/етан;
- отримати узагальнювальні енергетичні показники холодильної установки і компресора для перспективного робочого тіла.

**Вирішення сформульованих завдань досягнуте в рамках наступних методів:**

- кінцево-елементного моделювання проточної частини компресора;
- дослідження течії стиснутого потоку в проточній частині відцентрового компресора;
- дослідження процесів переробки попутного нафтового газу на установках НТК;
- дослідження пропанової холодильної установки комплексу НТК.

**Наукова новизна виконаної роботи полягає:**

- встановлено, що використання суміші пропан/етан в якості робочого тіла холодильної установки дозволяє знизити температурний рівень її роботи із  $-38^{\circ}\text{C}$  до  $-49^{\circ}\text{C}$  і забезпечити глибоку переробку попутного нафтового газу на установці НТК;
- вперше отримані характеристики роботи компресора на новому робочому тілі із врахуванням особливостей роботи двосекційного складання при дотриманні умов енергетичного балансу потоків в компонентах установки;
- встановлено можливі режими роботи компресора на суміші пропан/етан за умов узгодження секцій між собою (побудовані загальні характеристики компресора);
- розроблені принципи раціональної організації робочих процесів холодильної установки на неазеотропній суміші з частковим розділенням холодоагенту на фракції і диференціюванням температурних рівнів роботи випарників різного призначення при однаковому тиску кипіння;

- вперше розроблена кінцево-елементна модель розрахунку двосекційного чотириступінчастого холодильного відцентрового компресора типу ТП5-5, яка дозволяє адекватно оцінювати параметри потоку в його проточній частині, що підтверджується зіставленням із експериментальними даними;

**Обґрунтованість і достовірність** наукових результатів підтверджується коректною постановкою виконаних досліджень, задовільним узгодженням отриманих розрахункових даних з результатами експерименту, відповідністю вживаних розрахункових комплексів міжнародним стандартам.

**Наукове значення мають наступні результати досліджень:**

- характеристики турбокомпресора на суміші пропан/етан як науково-технічна основа переводу компресорів на роботу на новому холодоагенті;
- обґрунтовані принципові підходи до дослідження роботи компресора при його переході на нові холодоагенти, зокрема, показано, що представлення характеристик двосекційного холодильного компресора для всього корпусу в загальному вигляді унеможливує проведення дослідження холодильної установки на новому холодоагенту, що вимагає відновлення балансу потоків через другу секцію, тоді як характеристики кожної секції забезпечують можливість проведення такого дослідження;
- обґрунтовані принципи переводу компресора на роботу на нових холодоагентах, зокрема, показано, що проточна частина першої секції відцентрового холодильного компресора типу ТП5-5 може бути використана для стискування нового робочого тіла, тоді як проточна частина другої секції вимагає конструктивних змін;
- виявлені особливості здійснення холодильного циклу на суміші, що вимагають зміни як температурного рівня кипіння, так і конденсації, а також збільшення теплового навантаження на випарники;
- встановлено, що використання неазеотропної суміші як холодоагенту дозволяє диференціювати температурні рівні роботи випарників різного призначення у складі однієї холодильної установки за допомогою часткового розділення в процесі конденсації і при загальному тиску кипіння.

**Практичне значення отриманих результатів:**

- отриман великий об'єм даних про роботу відцентрового компресора у складі холодильної установки на новому холодоагенті;
- встановлено, що використання суміші пропан/етан як робочого тіла холодильної установки дозволяє знизити температурний рівень її роботи і забезпечити глибшу переробку попутного нафтового газу на установці НТК;
- схемне рішення по модернізації пропанової установки, яке дозволяє диференціювати температурні рівні кипіння за допомогою часткового розділення холодоагенту на фракції, що дозволяє максимально ефективно використати потенціал суміші пропан/етан у якості холодоагенту;
- створена модель компресора типу ТП5-5, яка дозволяє виробляти розрахунок характеристик машини для подальшого використання їх в проектній діяльності;

— на підставі результатів досліджень стало можливим проводити великомасштабний моніторинг установки НТК для удосконалення технологічного процесу.

**Особистий внесок автора.** Автором самостійно опановане і доопрацьоване в світлі застосовності до холодильних агрегатів сучасне середовище моделювання і розрахунку течії газу в проточній частині компресора. Особисто автором були створені умови для експлуатації обчислювального комплексу. Отримані всі основні результати роботи і систематизовані для зручного використання у прикладній області проектування і експлуатації установок НТК.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати виконаних досліджень доповідалися автором на 6-й Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології», м. Одеса, 2007; III-й Міжнародній науково-технічній конференції «Низькотемпературні і харчові технології в XXI столітті»: Санкт-Петербург, 2007 і 2008; Науково-технічній конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології», м. Одеса, 2009; Науково-технічній конференції «Устаткування і технології харчових виробництв», ДНУЄІТ, Донецьк – 2009г.; Науково-технічній конференції «Сучасні проблеми холодильної і криогенної техніки».

**Публікації.** Основний зміст дисертації викладений в 5-ти статтях, опублікованих в професійних періодичних виданнях ВАК і 5-ти друкарських працях, опублікованих у формі доповідей і тез в збірках наукових праць міжнародних конференцій.

**Структура і об'єм дисертації.** Дисертація містить вступ, п'ять розділів, висновки по кожному розділу і узагальнювальні висновки, список використаної літератури і додатки. Робота містить 176 сторінок тексту, 57 рисунків, 21 таблицю, і 79 найменувань бібліографічних джерел.

### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі виробляється обґрунтування доцільності дослідження можливості використання суміші пропан/етан як холодоагенту холодильної установки комплексу НТК з метою підвищення ефективності переробки вуглеводневої сировини. Обмовляється актуальність даного напряму розробок. Проводиться опис особливостей переробки попутного нафтового і природного газу. Встановлюється зв'язок роботи з науковими програмами, затвердженими державою у сфері енергетики. Сформульовані цілі і завдання дослідження. Представлені основні наукові результати роботи, вказаний особистий вклад автора в дослідження проблематики, перераховані зведення про апробацію основних результатів дисертації і публікації в професійних періодичних виданнях.

У першому розділі розглядається процес переробки природного і попутного нафтового газу на установці НТК. Даються визначення основним критеріям ефективності переробки, позначаються напрями, в яких можливо вести дослідницьку діяльність. Визначається залежність ефективності розділення сировини на важливі компоненти від температури охолодження потоку перед массообмінними пристроями. Наводяться дані про роботу комплексу НТК по замірних фактичних значеннях параметрів матеріальних

потоків. Проводиться порівняння отриманих даних із значеннями, що регламентуються. Описується весь процес переробки і схема установки НТК. Проводиться аналіз існуючих аналогічних виробництв із застосуванням зовнішнього охолодження, холодильних установок і апаратів, вживаних для цього. Визначається доцільність зниження температурного рівня охолодження потоку газу.

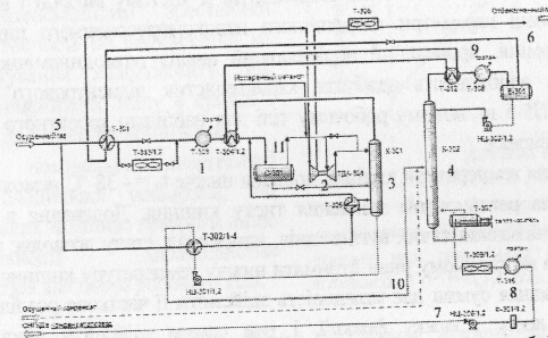


Рисунок 1 – Схема установки НТК. 1,8,9 – пропанові випарники; 2 – турбодетандер; 3 – детанізатор; 4 – деетанізатор; 5 – вхід осушеного газу; 6 – отбензинений газ; 7 – стабільний газовий конденсат; 10 – нестабільний конденсат в деетанізатор; 11 – сепаратор.

Сирий газ, що поступає на переробку, а також попутний нафтовий газ з родовищ піддається попередній обробці, де з нього віддаляється волога і інші баластні домішки, прямує в установку низькотемпературної конденсації (Рисунок 1), де відбувається відділення вуглеводнів складу C3+ у вигляді широкої фракції легких вуглеводнів (ШФЛВ) і утворення сухого отбензиненого газу складу C1+C2. Якісним показником цього процесу є коефіцієнт витягання цільових вуглеводнів, який досягає значень 90-93%.

Під коефіцієнтом витягання цільових вуглеводнів розуміється процентний вміст в готовій продукції тих фракцій, які обумовлені в регламенті про фракційний склад продукції цієї або іншої марки. За даними моніторингу виробництва на предмет відповідності режимних параметрів розрахунковим значенням, видно загальна тенденція, яка відображає стійку залежність кількості продукції, що виробляється, від температурного рівня ряду процесів установки НТК вуглеводнів, в якій істотну роль грає початкова температура

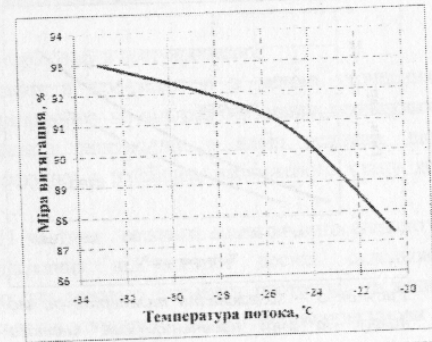


Рисунок 2 - Залежність міри витягання газу від температури потоку

поток газу і відповідно кількість отриманого конденсату (Рисунок 2).

У другій главі розглядається можливість використання суміші пропан/етан з метою зниження температурного рівня кипіння у випарнику. Вказана невідмінна необхідність пошуку потрібних компонентів перспективного холодоагенту серед тих, які можливо отримати на тому ж виробництві і в достатній кількості. Найбільш відповідним є етан. Приведені основні властивості обох компонентів в чистому вигляді і в суміші один з одним. Розраховані параметри теоретичного парокомпресійного циклу для різних концентрацій суміші, проведений порівняльний аналіз термодинамічної ефективності циклу. Вказана необхідність здобуття характеристик відцентрового компресорного агрегату типу ПП5-5 на новому робочому тілі для найбільш коректного аналізу роботи холодильної установки.

Зниження температури кипіння пропана нижче  $t_0 = -38^\circ\text{C}$  неможливо унаслідок недопустимого за регламентом зниження тиску кипіння. Додавання в пропан деякої кількості більш низькокипячих вуглеводнів, наприклад, етану дозволяє при збереженні тиску кипіння на необхідному рівні отримати нижчу температуру кипіння. Отримувана в результаті зеотропна суміш дає можливість здійснити її часткове розділення в процесі конденсації на легку і важку фракції, і тим самим здійснити цикл на декількох температурних рівнях. На рисунку 3 показана залежність температури від тиску на лінії насичення для чистого пропана і суміші пропан/етан (85/15, мас%). Видно, що додавання етану наводить до пониження температури насичення при однаковому тиску. Другою важливою особливістю використання суміші пропан/етан слід вважати вищу питому холодопродуктивність циклу. На рисунку 4 показана залежність питомої холодопродуктивності циклу від кількості добавки етану в пропан при постійних тиску кипіння і конденсації. Причина, по якій фіксувалися тиски для порівняльної оцінки полягає в тому, що суміш пропан/етан неазеотропна. Це наводить до зміни температури в процесі конденсації і кипіння.

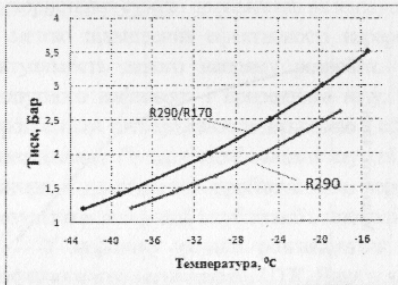


Рисунок 3 – залежність температури від тиску на лінії насичення для чистого пропана і суміші пропан/етан (85/15, мас%).

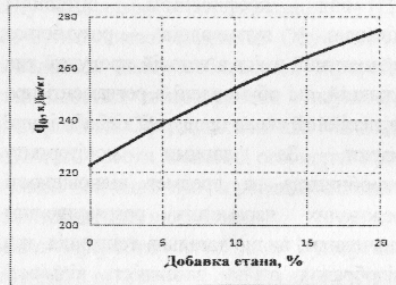


Рисунок 4 - Залежність питомої холодопродуктивності циклу від кількості добавки етану в пропан при постійних тисках кипіння і конденсації ( $P_0=0,12\text{МПа}$ ,  $P_k=1,37\text{МПа}$ )

Збільшення питомої холодопродуктивності при додаванні в пропан етану викликане зміною температурного рівня і інтервалу циклу, а також термодинамічними властивостями етану. Зростання холодильного коефіцієнта (рисунок 5) викликане інтенсивнішим зростанням холодопродуктивності по відношенню до роботи стискування холодоагенту при збільшенні концентрації етану в суміші і при зниженні температури конденсації.

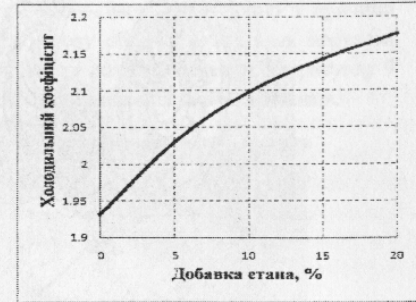


Рисунок 5 – Залежність холодильного коефіцієнта від кількості добавки етану в пропан при постійних тисках кипіння і конденсації ( $P_0=0,12\text{МПа}$ ,  $P_k=1,37\text{МПа}$ )

Про номінальні енергетичні параметри холодильної установки, що працює на суміші, можливо говорити лише за наявності характеристик турбокомпресора для цього робочого тіла.

У третій главі описана методика розрахунку відцентрового компресора в розрахунковому комплексі на основі кінцево-елементного моделювання процесу течії і стискування газу. Показані всі етапи постановки завдання розрахунку. Обґрунтовані в світлі особливостей роботи холодильного агрегату всі основні налаштування вирішувача і додаткові функції.

Процес реалізації розрахунку турбомашини можна розділити на наступні стадії:

1. Побудова твердотілої моделі розрахункової області і виділення симетричної геометрії;
2. Розбиття твердотілої моделі на безліч кінцевих об'ємів (розрахункова сітка) тієї або іншої конфігурації;
3. Постановка завдання розрахунку в пре-решателі;
4. Процес розрахунку у вирішувачі;
5. Обробка отриманих результатів розрахунку в пост-процесорі;
6. Коректування постановки завдання в пре-решателі з метою уточнення параметрів, що впливають на адекватність розрахунку на підставі отриманих проміжних результатів; інтеграція попередніх результатів розрахунку в набір величин, що ініціюються, для початку наступного розрахунку з найбільш наближеного стану до сталого режиму.

Для розрахунку була виділена 1/11 частина кожного симетричного елемента проточної порожнини компресора. Відсікання відбувається досить складною криволінійною поверхнею, індивідуальною для кожного елемента проточної частини. Основний критерій при виборі характеру поверхні відсікання – строге дотримання умови

$$F_{\text{полн}} = 11 * F_{\text{текущ}} \quad (1)$$

в будь-якому перетині проточної частини.

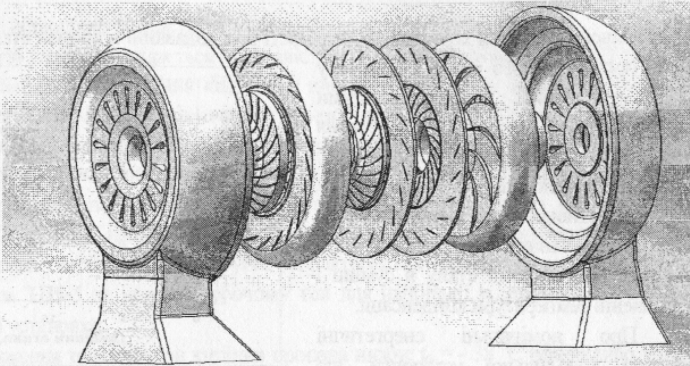


Рисунок 6 - Твердотіла модель проточної частини компресора

Для робочого колеса (22 лопатки) перетин проходить посередині міжлопаткового каналу так, щоб виділити дві лопатки цілком і по половині міжлопаткового каналу з кожного боку. Аналогічно відбувається виділення 1/11 частин останніх елементів секції компресора.

Для розбиття твердотілої моделі проточної частини компресора на кінцеві елементи (об'єми) використовувався сітковий генератор CFX-Mesh. Дане застосування дозволяє найкоректніше побудувати розрахункову сітку для стиснутого плинного середовища. Розрахункова сітка частини лопатки робочого колеса і ВРА представлена на рисунках 7 і 8. Розмір елементів вибраний виходячи з раціонального поєднання точності опису фрагмента проточної частини і сумарної кількості вічок в сітці. Так, оптимальний розмір вічок для області робочого колеса знаходиться в межах 0,003 – 0,0015 м. Сумарна кількість вічок для частини лопатки робочого колеса складає 418511 штук. Кількість розрахункових вічок критично важлива з точки зору можливостей обчислювальної техніки. Останні елементи проточної частини компресора були розбиті на кінцеві об'єми аналогічним чином.

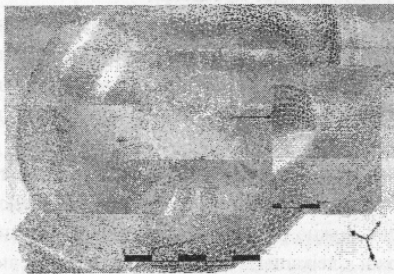


Рисунок 7 - кінцево-елементна модель вхідного регулюючого апарату

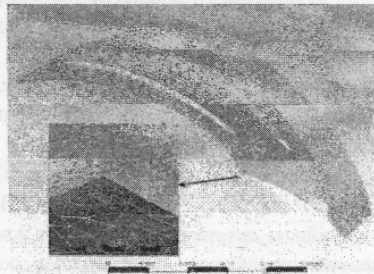


Рисунок 8 - кінцево-елементна модель ділянки лопатки робочого колеса першого рівня

Турбокомпресор типу ТП5-5 двосекційний. На рисунку 6 показана збірка, що включає обоє секції. Розрахунок компресора проводився посекційно з причини різних умов роботи кожної секції. У розрахункову область входять як нерухомі (дифузори, ЗНА), так і такі, що обертаються (робочі колеса) елементи. На рисунку 9 показана збірка першої секції, яка складається з перерахованих нижче елементів.

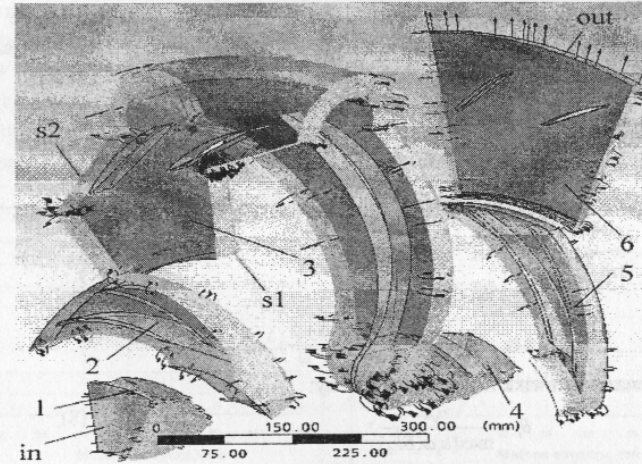


Рисунок 9 - Елементи розрахункової області першої секції. 1- частина передлопатки робочого колеса 1-го рівня; 2 - частина лопатки робочого колеса 1-го рівня; 3 – зворотно-напрямної апарат з дифузором; 4 - частина передлопатки робочого колеса 2-го рівня; 5 - частина лопатки робочого колеса 2-го рівня; 6 – дифузор 2-го рівня; s1 – перша поверхня періодичної симетрії обертання; s2 – друга поверхня періодичної симетрії обертання; in – вхідний перетин розрахункової області; out – вихідний перетин розрахункової області.

Тут, позиції 2 і 5 є доменами, що обертаються, позиції 1 і 4 – доменами із стінками, що обертаються, останні - нерухомими в глобальній системі координат. Визначення домена відбувається з метою привласнення йому характерних властивостей, таких, як тип системи відліку координат (coord. frame), локалізація геометричної області (location), вигляд рідини (fluids list), типа середовища (solid, porous, fluid), тиск середовища, по відношенню до якого буде визначено поточний тиск (reference pressure), для зручності обробки результатів, у всіх піддоменах набуває значення: reference pressure = 0. В такому разі всі величини тиску, що відображаються, будуть абсолютними.

$$P_{abs} = P_{ref} + P_{stat} \quad (2)$$

Модель рідини – total energy. Дана модель має на увазі адіабатичні умови течії, вся виділилася в потоці із-за тертя і стискування енергія присутня в ній на всьому протязі течії. Дана модель щонайкраще личить для стискуваних середовищ. Адіабатичний течія газу дозволяє найкоректніше оцінити гідравлічні втрати в проточній частині. Модель

турбулентності – shear stress transport. Дана модель прийнята внаслідок того, що досить коректно прогнозує розвиток турбулізації потоку після видалення від стінки при складному розподілі поперечного тиску. У проточній частині турбомашини мають місце досить складні явища пристеночних течій, тому, дана модель, як та, що включає пристеночні функції при визначенні параметрів рівнянь, є відповідною. Характеризуючи напруження зрушення, ця модель дає досить точне передбачення початку і кількості розділення потоку при складних градієнтах тиску. Визначальний аргумент функції залежить від відстані до найближчої стінки каналу. Наведена модель дозволяє уникати дуже дрібних розрахункових сіток, оскільки для чисельного вирішення рівнянь Нав'є-Стокса, було б потрібно мати розрахункову мережу, елементи якої менше найменшого вихору.

$$F_1 = \tanh(\arg_1^4), \quad (3)$$

$$\arg_1 = \min(\max(\frac{\sqrt{k}}{\beta' \omega y}, \frac{500g}{y^2 \omega}), \frac{4\rho k}{CD_{k\omega} \sigma_{\omega 2} y^2}), \quad (4)$$

Де:  $y$  – відстань до найближчої стінки каналу;  $\sigma$  – кінематична в'язкість;

$$CD_{k\omega} = \max(2\rho \frac{1}{\omega_1 \omega} \nabla k \nabla \omega, 1.0 * 10^{-10}), \quad (5)$$

$$F_2 = \tanh(\arg_2^2), \quad (6)$$

$$\arg_2 = \max(\frac{2\sqrt{k}}{\beta' \omega y}, \frac{500g}{y^2 \omega}), \quad (7)$$

Кінематична в'язкість рухомого потоку:

$$g_i = \frac{a_i k}{\max(a_i \omega, SF_i)}, \quad (8)$$

Де:  $S$  – інваріантна міра рівня напруження шарів потоку, що зрушуються.

Оскільки інтерес представляють сталі режими роботи компресора, то тип симуляції вибраний як Steady state. При такому підході параметри потоку газу, що розраховуються, не є функцією часу і при обробці результатів розрахунку відсутня можливість оцінити характер зміни тієї або іншої величини з часом. Передбачається, що процес відбувається достатньо довго, і всі параметри в будь-якій точці розрахункової області слабо змінюються при кожному прирості тимчасового проміжку. Проте, для симуляції процесу все ж існує поняття фізичної шкали часу (Physical timescale). Для визначення характеру цієї зміни (як швидко) потрібний деякий характерний час процесу. Тому фізична шкала часу хоч і явно в результатах розрахунку не відображується, але істотно впливає на сам процес рішення, за допомогою міри зміни параметрів при подальших ітераціях. Збіжність рішення в цілому визначається цією величиною, яку для стаціонарних завдань ще називають «помилковими тимчасовими кроками».

Для процесу течії, що цікавить, був оцінений часовий масштаб, в рамках якого відбуваються такі зміни в потоці, що можна виявити присутність відмінності. По рекомендаціях технічної документації розрахункового комплексу, слід оцінювати масштаб часу виходячи з передбачуваної швидкості потоку в домені і його лінійного розміру.

$$\Delta t = \frac{l}{u}, \quad (9)$$

Де:  $l$  – характерний лінійний розмір домена;  $u$  – середня швидкість потоку.

По усереднених величинах  $l = 0.13$  м,  $u = 85$  м/с, можна визначити середній масштаб тимчасових кроків:  $\Delta t = 0,00153$  с. Подальші розрахунки підтвердили правильність такого припущення, і остаточний, прийнятий масштаб тимчасових кроків склав:  $\Delta t = 0,0015$  с.

Четвертий розділ присвячений перевірці розрахунків проточної частини компресора і обробці результатів розрахунку (здобуття характеристик). Вироблено порівняння отриманих результатів для перевіркового зразка з експериментальними даними про випробування аналогічного компресора ГПА-Ц-16/76-1,44. Оцінки піддалися основні параметри роботи агрегату на номінальному режимі. Графічні залежності їх у вигляді характеристик представлені на рисунках 10 і 11.

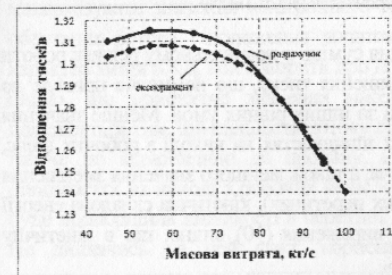


Рисунок 10 – Залежність відношення тисків від масової витрати при частоті обертання ротора  $n = 5300$  об/мин

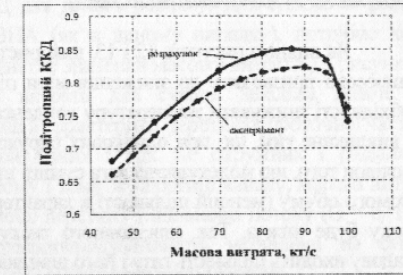


Рисунок 11 – Залежність політропного ККД від масової витрати при частоті обертання ротора  $n = 5300$  об/мин

На більшій частині діапазону зміни витрати газу видно, що значення міри підвищення тиску і політропного ККД декілька завищені. Це виходить в основному з того, що в розрахунку не враховувалися деякі втрати від протечек через лабіринтові ущільнення, погіршенню розрахунку параметрів газу по рівнянню стану Редліха-Квонга. Проте, з причини того, що завищення значень параметрів носить систематичний характер, і в загальному випадку отримані рішення добре корелюють з експериментальними даними, загальна погрішність обчислень вагається в межах 2-11%. Для розрахунку течії в проточній частині турбокомпресора це достатня точність.

В результаті розрахунку турбокомпресора ТП5-5 був отриманий набір даних, який вдає із себе сукупність значень тих або інших величин в кожній вузловій точці елементу. Інтегральні і усереднені параметри були отримані для можливості кількісної оцінки характеру стискування суміші. За результатами усереднювання були побудовані основні характеристики турбомашини на пропані і суміші пропан/етан різних концентрацій.

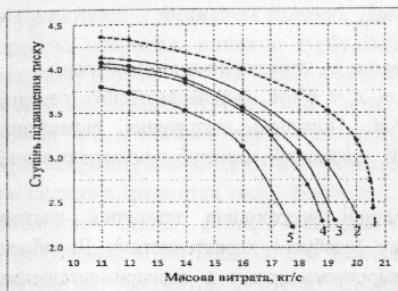


Рисунок 12 – Залежність міри підвищення тиску від масової витрати для першої секції. 1 – пропан; 2 – пропан/етан (95/5, мас%); 3 – пропан/етан (90/10, мас%); 4 – пропан/етан (85/15, мас%); 5 – пропан/етан (80/20, мас%)

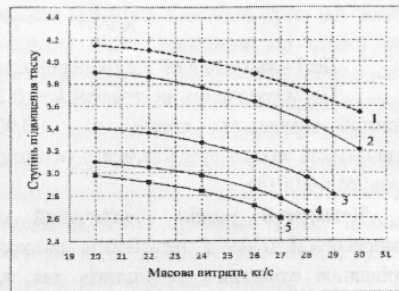


Рисунок 13 – Залежність міри підвищення тиску від масової витрати для другої секції. 1 – пропан; 2 – пропан/етан (95/5, мас%); 3 – пропан/етан (90/10, мас%); 4 – пропан/етан (85/15, мас%); 5 – пропан/етан (80/20, мас%)

Як видно з рисунків 12 і 13, використання суміші в номінальному режимі роботи компресора призводить до зниження міри підвищення тиску, що неминуче приведе до необхідності знижувати температуру конденсації за інших рівних умов. Менше значення  $P_k$  викликане тим, що при однакових окружних швидкостях на виході з робочих коліс, внаслідок того, що молекулярна вага суміші нижча, а також меншого значення зменшення питомого об'єму (меншій щільності в характерних перетинах), кінетична складова енергії потоку буде нижча. Так, для повного тиску з вираження (10) видно, що в кінетичну складову входить щільність газу і його швидкість.

$$p^* = p + \rho c^2 / 2 \quad (10)$$

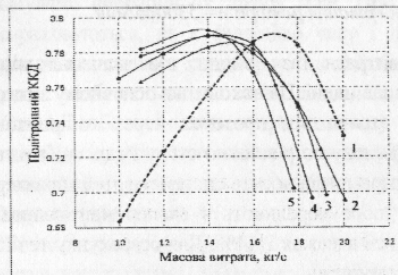


Рисунок 14 – Залежність політропного ККД від масової витрати для першої секції. 1 – пропан; 2 – пропан/етан (95/5, мас%); 3 – пропан/етан (90/10, мас%); 4 – пропан/етан (85/15, мас%); 5 – пропан/етан (80/20, мас%)

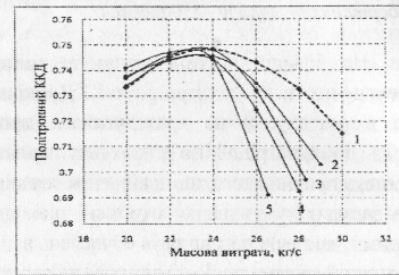


Рисунок 15 – Залежність політропного ККД від масової витрати для другої секції. 1 – пропан; 2 – пропан/етан (95/5, мас%); 3 – пропан/етан (90/10, мас%); 4 – пропан/етан (85/15, мас%); 5 – пропан/етан (80/20, мас%)

На рисунках 14 і 15 показана залежність політропного ККД від масової витрати холодоагенту. З рисунка 14 видно, що характеристика енергетичної ефективності першої

секції компресора для суміші пропана з етаном пологіша, що має на увазі можливість ефективної роботи машини в досить широкому діапазоні зміни витрати. Слід також відзначити і сумірне максимальне значення ККД по відношенню до роботи машини на пропані. Крутіша характеристика ККД для пропана пояснюється тим, що чистий пропан володіє більшою динамічною в'язкістю, а краща стисливість наводить до того, що швидкості потоку більшою мірою змінюються в різних перетинах. Тому проточна частина хоч і була спроектована для стискування пропана, але володіє невеликим діапазоном ефективної роботи в разі не використання вузлів регулювання. (Розрахунок політропного ККД був вироблений лише для повністю відкритих лопаток вхідного направляючого апарату (ВНА) і для однієї номінальної частоти обертання ротора – 8800 об/мин. При цьому масова витрата змінювалася за рахунок перепаду тисків на вході-виході секції. Це не противоречить загальноприйнятим прийомам випробувань відцентрових машин, і дозволяє визначити необхідність того або іншого методу регулювання продуктивності максимізувати значення політропного ККД для даного режиму. Для одного ж режиму обертання ротора і положення лопаток ВНА (як в даному випадку), потрібно знати характер зміни ККД, аби говорити про прийнятне значення масової витрати.) З рисунка 14 видно, що прийнятне значення масової витрати для суміші декілька нижче. Це пояснюється тим, що щільність потоку суміші в характерних перетинах проточної частини нижче по відношенню до пропану, і при одних і тих же окружних і радіальних швидкостях на виході з робочих коліс, одному і тому ж перетині каналу, масова витрата буде пропорційна швидкості в перетині, площі перетину і щільності потоку ( $G = c_* F \rho$ ). Не дивлячись на цей факт, корисна холодопродуктивність установки на суміші виявляється вищою при менших значеннях масової витрати холодоагенту.

Для другої секції, на рисунку 15, спостерігається зворотна картина. Характеристика ККД для суміші крутіше, ніж для пропана. Друга секція менш пристосована для стискування газу, відмінного по властивостях від пропана.

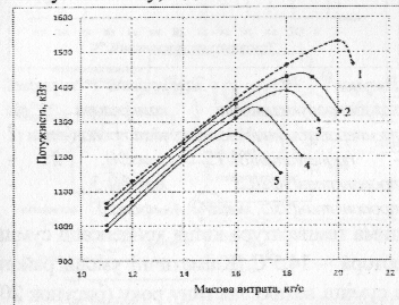


Рисунок 16 – Залежність споживаної потужності від масової витрати для першої секції. 1 – пропан; 2 – пропан/етан (95/5, мас%); 3 – пропан/етан (90/10, мас%); 4 – пропан/етан (85/15, мас%); 5 – пропан/етан (80/20, мас%)

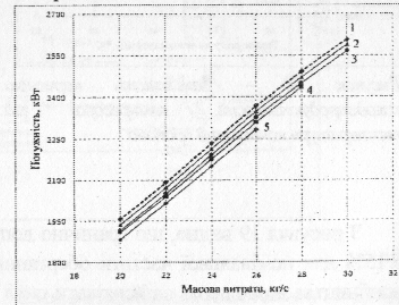


Рисунок 17 – Залежність споживаної потужності від масової витрати для другої секції. 1 – пропан; 2 – пропан/етан (95/5, мас%); 3 – пропан/етан (90/10, мас%); 4 – пропан/етан (85/15, мас%); 5 – пропан/етан (80/20, мас%)

Залежність споживаної компресором потужності від витрати холодоагенту приведена на рисунках 16 і 17.

Збільшення концентрації етану призводить до зниження споживаної для стискування потужності.

**П'ятий розділ** присвячений оцінці роботи холодильної установки на суміші на підставі отриманих характеристик секцій компресора. Оцінена допустима концентрація суміші за умови температури конденсації. Основне значення мають температура конденсації, холодопродуктивність установки. Розглянута робота холодильної установки з частковим розділенням суміші на фракції. Розроблені рекомендації по вживанню суміші. Робота двосекційного компресора з проміжним відбором пари з переохолоджувача вимагає узгодження режимів секцій по умови витрати і тиску нагнітання (температури конденсації). Критерій, за яким вироблялося узгодження, полягає в рівності кількості тепла переохолодження основного потоку (1-й секції) і холоду випару потоку, що переохолоджував, для деякої температури конденсації. По значеннях температури конденсації, виходячи з фактичних значень температури доволишнього повітря на місці роботи установки, зроблений вивід про допустиме максимальне значення концентрації етану – 15%. Для цього значення концентрації отримана залежність корисної холодопродуктивності від температури конденсації (рисунок 19).

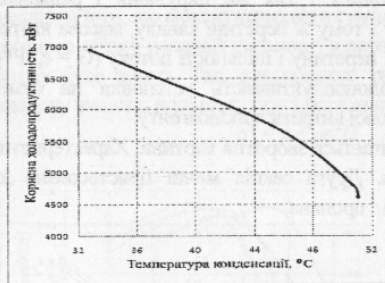


Рисунок 18 – Залежність корисною холодопродуктивності компресора від температури конденсації пропана

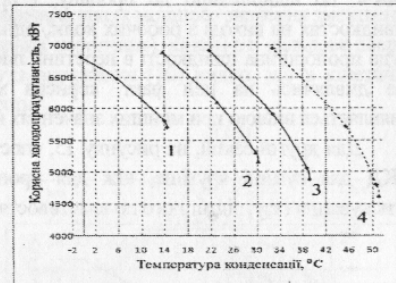


Рисунок 19 – Залежність корисної холодопродуктивності компресора від температури конденсації суміші пропан/етан (1 – пропан/етан(85/15, мас%); 2 – пропан/етан(90/10, мас%); 3 – пропан/етан(95/5, мас%); 4 – пропан).

З рисунка 19 видно, що гранично допустима температура кінця конденсації суміші 85/15% для номінальної частоти обертання ротора – 14,5°C. Кліматичні умови району виробництва дозволяють здійснювати цикл на суміші велику частину року (рисунок 20). Номінальна холодопродуктивність установки на пропані при  $t_0 = -38^\circ\text{C}$  і  $t_k = 47^\circ\text{C}$  – 5400 кВт. Холодопродуктивність установки на суміші пропан/етан виявляється вищою. Для середньої температури кипіння  $t_0 = -45^\circ\text{C}$  і  $t_k = 13^\circ\text{C}$ ,  $Q_0 = 5900$  кВт.

Підвищена холодопродуктивність – обов'язкова умова роботи установки на суміші. Звуження температурного інтервалу циклу - також неодмінна умова.

Унаслідок неізотропності пропонованої суміші, виникає ряд труднощів, пов'язаних з роботою деяких апаратів. Зокрема випарника, де кипіння відбувається у вільному об'ємі. Неминуче відбуватиметься зміна складу холодоагенту і не повною мірою використовуватися потенціал холоду.

Найбільш перспективним варіантом є розділення потоку холодоагенту після конденсатора на два, які відрізняються фракційним складом вихідних компонентів. Як показали дослідження різних варіантів схемних рішень, представляється найбільш вдалим наступний варіант, який дозволяє (Рисунок 21) адаптувати пропановую холодильну установку (ПХУ) для роботи на суміші пропан/етан.

Використання неізотропно смеси-холодоагенту дозволяє диференціювати температурні рівні ряду технологічних процесів шляхом її розділення на різні фракції. Враховуючи те, що установка НТК вимагає різну кількість холоду на різних температурних рівнях, представляється вдалим варіант суміші пропан/етан, яка дозволить отримувати холод в одному циклі на рівні до  $-49^\circ\text{C}$ .

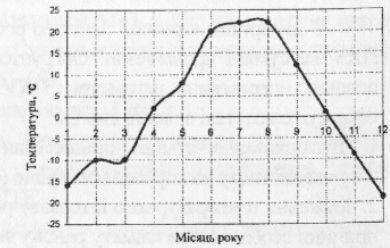


Рисунок 20 – максимальна місячна температура повітря

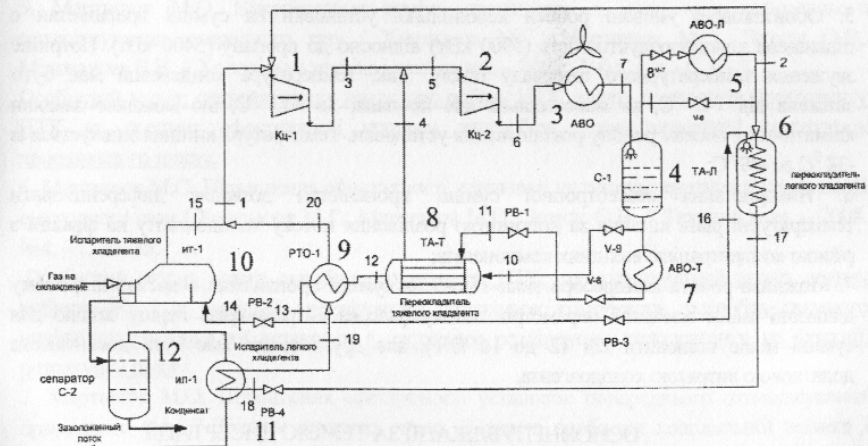


Рисунок 21 – Спрощена схема холодильної установки з розділенням холодоагенту на фракції. 1 – перша секція компресора; 2 – друга секція компресора; 3 – повітряний конденсатор; 4 – сепаратор; 5 – конденсатор легкої фракції холодоагенту; 6 – переохолоджувач легкої фракції холодоагенту; 7 – повітряний переохолоджувач важкої фракції; 8 – основний переохолоджувач важкої фракції; 9 – регенеративний теплообмінник; 10 – випарник важкої фракції; 11 – випарник легкої фракції; 12 – проміжний сепаратор конденсату.

### ВИСНОВКИ

У дисертації отримані дані про роботу пропанового компресора типу ТП5-5 і самій ПХУ на суміші пропан/етан. Обґрунтована можливість використання суміші і оцінені основні енергетичні параметри ПХУ. На підставі проведених досліджень можна сформулювати такі основні висновки:

1. Використання суміші пропан/етан дозволяє знизити температуру кипіння при збереженні тиску на нормальному рівні (0,12МПа);
2. Звуження температурного інтервалу роботи холодильної установки допустимо робити з причини особливостей клімату району виробництва;
3. Коректний розрахунок проточної частини компресора методом кінцевих елементів дозволяє отримати характеристики компресора на новому робочому тілі без проведення випробувань. Але треба поперед за все визначити методи та моделі, що є найточнішими у використанні саме в цьому випадку шляхом зіставлення експериментальних даних про роботу типового зразка та розрахункових даних того самого зразка;
4. Оскільки робота двосекційного компресора (два компресори в одному корпусі) виконується з проміжним відбором пари з переохолоджувача, слід мати на увазі обов'язкове зведення балансу матеріальних потоків через обидві секції компресора за умовою рівності тепла переохолодження і кількості холоду циклу, що переохолоджував. Лише в цьому випадку можна говорити про ті або інші температури конденсації для відповідних витрат холодоагенту;
5. Обов'язковою умовою роботи холодильної установки на суміші пропан/етан є підвищена холодопродуктивність (5900 кВт) відносно до пропану (5400 кВт). Потрібне звуження температурного інтервалу циклу. Так, температура конденсації має бути знижена від +47 °С, як максимальна для пропана, до +13 °С, що можливо завдяки кліматичним умовам району розташування установки. Температура кипіння знижується із -38 °С до -49 °С;
6. Використання неазеотропної суміші пропан/етан дозволяє диференціювати температурні рівні кипіння за допомогою розділення потоку холодоагенту на фракції з різною концентрацією вихідних компонентів;
7. Можлива робота компресора типу ТП5-5 на суміші пропан/етан в досить широкому діапазоні зміни основних параметрів потоку (масова витрата крізь першу секцію для суміші може становити від 12 до 16 кг/с), але друга секція має бути довантажена додатковою витратою холодоагента.

### ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Мартинюк М.О. Робота холодильних компресорів типа ТКФ на альтернативних робочих тілах / Хмельнюк М.Г., Мартинюк М.О., Козорез А.І. // Холодильна техніка і технологія. – 2007. №1 (105). - С. 25-28.  
Особистий вклад: аналіз енергетичних параметрів холодильних установок, розрахунок параметрів стисливості хладагентів, висновки.

2. Мартинюк М.О. Використання сумішей вуглеводнів в установках низькотемпературної конденсації природного газу / Хмельнюк М.Г., Мартинюк М.О. // Збірник наукових праць 6-й Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології». – Одеса: Видавн. ОДАХ. 2007. – С. 151-152.

(Додаток до журналу «Холодильна техніка і технологія» вип. 3 2007р.)

Особистий вклад: обґрунтування доцільності використання компонентів сумішей, розрахунок компресора і холодильного циклу, аналіз можливості здійснення заміни холодоагенту, систематизація даних про роботу НТК.

3. Мартинюк М.О. Підвищення ефективності установок попереднього охолодження природного газу / Хмельнюк М.Г., Мартинюк М.О., Зозуля О.В. // Матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції «Низькотемпературні і харчові технології в ХХІ столітті»: Санкт-Петербург, 13-15 листопада 2007. – С. 133-139.

Особистий вклад: систематизація даних про роботу НТК, розробка концепції підвищення ефективності НТК, розрахунок за погодженням режимних параметрів, аналіз результатів моніторингу НТК на предмет ефективності процесу переробки.

4. Мартинюк М.О. Характеристики відцентрового пропанового компресора при перекладі його суміш пропан-етан / Хмельнюк М.Г., Мартинюк М.О., Зозуля О.В. // Холодильна техніка і технологія. – 2007. №4 (108). - С. 5-10.

Особистий вклад: перевірочний розрахунок проточної частини компресора, порівняльний аналіз характеристик, основні висновки.

5. Мартинюк М.О. Використання суміші пропан/етан в установках попереднього охолодження природного газу / Хмельнюк М.Г., Мартинюк М.О., Зозуля О.В., Мілованова В.В. // Холодильна техніка і технологія. – 2007. №6 (110). - С. 4 - 7.

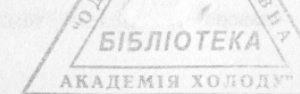
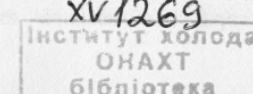
Особистий вклад: систематизація даних про роботу НТК, аналіз результатів моніторингу НТК на предмет ефективності процесу переробки, термодинамічний розрахунок холодильного циклу.

6. Мартинюк М.О. Підвищення ефективності установок низькотемпературної конденсації природного газу / Хмельнюк М.Г., Мартинюк М.О., Зозуля О.В. // Технічні гази. – 2008. №4. – С.30 -35.

Особистий вклад: аналіз виробничого процесу НТК, термодинамічний аналіз деяких робочих тіл і їх сумішей, перевірочний розрахунок компресора, розробка схемного вирішення холодильної установки з частковим розділенням холодоагенту на фракції, розрахунок циклу.

7. Мартинюк М.О. Підвищення ефективності установок попереднього охолодження природного газу // Збірник наукових праць «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології». – Одеса: Видавн. ОДАХ. 2009. – С. 26-27. (Додаток до журналу «Холодильна техніка і технологія» вип. 3 2009р.)

Особистий вклад: систематизація даних про роботу НТК, розробка концепції підвищення ефективності НТК, розрахунок за погодженням режимних параметрів, аналіз результатів моніторингу НТК на предмет ефективності процесу переробки.



### ВИСНОВКИ

У дисертації отримані дані про роботу пропанового компресора типу ТП5-5 і самій ПХУ на суміші пропан/етан. Обґрунтована можливість використання суміші і оцінені основні енергетичні параметри ПХУ. На підставі проведених досліджень можна сформулювати такі основні висновки:

1. Використання суміші пропан/етан дозволяє знизити температуру кипіння при збереженні тиску на нормальному рівні (0,12МПа);
2. Звуження температурного інтервалу роботи холодильної установки допустимо робити з причини особливостей клімату району виробництва;
3. Коректний розрахунок проточної частини компресора методом кінцевих елементів дозволяє отримати характеристики компресора на новому робочому тілі без проведення випробувань. Але треба попередити за все визначити методи та моделі, що є найточнішими у використанні саме в цьому випадку шляхом зіставлення експериментальних даних про роботу типового зразка та розрахункових даних того самого зразка;
4. Оскільки робота двосекційного компресора (два компресори в одному корпусі) виконується з проміжним відбором пари з переохолоджувача, слід мати на увазі обов'язкове зведення балансу матеріальних потоків через обидві секції компресора за умовою рівності тепла переохолодження і кількості холоду циклу, що переохолоджував. Лише в цьому випадку можна говорити про ті або інші температури конденсації для відповідних витрат холодоагенту;
5. Обов'язковою умовою роботи холодильної установки на суміші пропан/етан є підвищена холодопродуктивність (5900 кВт) відносно до пропану (5400 кВт). Потрібне звуження температурного інтервалу циклу. Так, температура конденсації має бути знижена від +47 °С, як максимальна для пропана, до +13 °С, що можливо завдяки кліматичним умовам району розташування установки. Температура кипіння знижується із -38 °С до -49 °С;
6. Використання неазетропної суміші пропан/етан дозволяє диференціювати температурні рівні кипіння за допомогою розділення потоку холодоагенту на фракції з різною концентрацією вихідних компонентів;
7. Можлива робота компресора типу ТП5-5 на суміші пропан/етан в досить широкому діапазоні зміни основних параметрів потоку (масова витрата крізь першу секцію для суміші може становити від 12 до 16 кг/с), але друга секція має бути довантажена додатковою витратою холодоагента.

### ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Мартинюк М.О. Робота холодильних компресорів типу ТКФ на альтернативних робочих тілах / Хмельнюк М.Г., Мартинюк М.О., Козорез А.І. // Холодильна техніка і технологія. – 2007. №1 (105). - С. 25-28.  
Особистий вклад: аналіз енергетичних параметрів холодильних установок, розрахунок параметрів стисливості хладагентів, висновки.

2. Мартинюк М.О. Використання сумішей вуглеводнів в установках низькотемпературної конденсації природного газу / Хмельнюк М.Г., Мартинюк М.О. // Збірник наукових праць 6-й Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології». – Одеса: Відavn. ОДАХ. 2007. – С. 151-152.

(Додаток до журналу «Холодильна техніка і технологія» вип. 3 2007р.)

Особистий вклад: обґрунтування доцільності використання компонентів сумішей, розрахунок компресора і холодильного циклу, аналіз можливості здійснення заміни холодоагенту, систематизація даних про роботу НТК.

3. Мартинюк М.О. Підвищення ефективності установок попереднього охолодження природного газу / Хмельнюк М.Г., Мартинюк М.О., Зозуля О.В. // Матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції «Низькотемпературні і харчові технології в XXI столітті»: Санкт-Петербург, 13-15 листопада 2007. – С. 133-139.

Особистий вклад: систематизація даних про роботу НТК, розробка концепції підвищення ефективності НТК, розрахунок за погодженням режимних параметрів, аналіз результатів моніторингу НТК на предмет ефективності процесу переробки.

4. Мартинюк М.О. Характеристики відцентрового пропанового компресора при перекладі його суміш пропан-етан / Хмельнюк М.Г., Мартинюк М.О., Зозуля О.В. // Холодильна техніка і технологія. – 2007. №4 (108). - С. 5-10.

Особистий вклад: перевірочний розрахунок проточної частини компресора, порівняльний аналіз характеристик, основні висновки.

5. Мартинюк М.О. Використання суміші пропан/етан в установках попереднього охолодження природного газу / Хмельнюк М.Г., Мартинюк М.О., Зозуля О.В., Мілованова В.В. // Холодильна техніка і технологія. – 2007. №6 (110). - С. 4 - 7.

Особистий вклад: систематизація даних про роботу НТК, аналіз результатів моніторингу НТК на предмет ефективності процесу переробки, термодинамічний розрахунок холодильного циклу.

6. Мартинюк М.О. Підвищення ефективності установки низькотемпературної конденсації природного газу / Хмельнюк М.Г., Мартинюк М.О., Зозуля О.В. // Технічні гази. – 2008. №4. – С.30 -35.

Особистий вклад: аналіз виробничого процесу НТК, термодинамічний аналіз деяких робочих тіл і їх сумішей, перевірочний розрахунок компресора, розробка схемного вирішення холодильної установки з частковим розділенням холодоагенту на фракції, розрахунок циклу.

7. Мартинюк М.О. Підвищення ефективності установок попереднього охолодження природного газу // Збірник наукових праць «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології». – Одеса: Відavn. ОДАХ. 2009. – С. 26-27. (Додаток до журналу «Холодильна техніка і технологія» вип. 3 2009р.)

Особистий вклад: систематизація даних про роботу НТК, розробка концепції підвищення ефективності НТК, розрахунок за погодженням режимних параметрів, аналіз результатів моніторингу НТК на предмет ефективності процесу переробки.

xv1269  
ІНСТИТУТ ХОЛОДА  
ОНАХТ  
БІБЛІОТЕКА

БІБЛІОТЕКА  
АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ

8. Мартинюк М.О. Работа пропанового холодильного компрессора типа ПП5-5 на новом рабочем теле / Мартинюк М.О., Хмельнюк М.Г. // Збірка наукових праць «Сучасні проблеми холодильної і криогенної техніки». Випуск 35, Том 1. – видавництво ОНАХТ. 2009. – С. 231-237.

Особистий вклад: Розробка твердотілої і кінцево-елементної моделі компресора, газодинамічний розрахунок турбокомпресора в розрахунковому комплексі, систематизація і аналіз результатів розрахунку, визначення характеристик проточної частини.

Особистий вклад: газодинамічний розрахунок турбокомпресора в розрахунковому комплексі, визначення характеристик проточної частини.

9. Мартинюк М.О. Підвищення ефективності установки низькотемпературної конденсації природного газу / Хмельнюк М.Г., Мартинюк М.О. // Тематична збірка наукових праць «Устаткування і технології харчових виробництв», випуск 21, ДНУЄІТ, Донецьк – 2009г.

Особистий вклад: Розробка схемного вирішення холодильної установки з частковим розділенням холодоагенту на фракції, розрахунок циклу, газодинамічний розрахунок турбокомпресора, виводи про роботу НТК із застосуванням перспективного холодоагенту.

10. М.О. Мартинюк. Аналіз характеристик пропанового холодильного компресора типу ПП5-5 при його роботі на суміші пропан/етан / М.О. Мартинюк, М.Г. Хмельнюк // Технічні газы - №4, 2009г., с. 23-29

Особистий вклад: газодинамічний розрахунок турбокомпресора в розрахунковому комплексі, визначення і аналіз характеристик проточної частини.

#### АНОТАЦІЯ

Мартинюк М.О. Применение смеси пропан/этан в качестве рабочего тела холодильной установки комплекса низкотемпературной конденсации природного газа. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.14 – Холодильная, вакуумная и компрессорная техника, системы кондиционирования. – Одесская государственная академия холода. Одесса 2009г.

В диссертации представлены результаты исследований по применению смеси пропан/этан в холодильной установке НТК с целью повышения эффективности переработки попутного нефтяного газа посредством снижения температурного уровня внешнего охлаждения потока газа перед разделением. Предложено применение смеси пропан/этан в качестве хладагента пропановой холодильной установки с целью снижения температурного уровня её работы. Разработана конечно-элементная модель проточной части центробежного пропанового двухсекционного четырехступенчатого компрессора типа ПП5-5. Разработана поверочная модель компрессора, для которого известны характеристики по

результатам испытаний натурального образца на заводе-изготовителе. Произведена серия расчетов компрессора. Проверена адекватность расчетной модели и примов формализации физических моделей жидкости посредством сравнения результатов расчета с данными экспериментальных продувок. Проведено исследование работы компрессора на смеси с различными концентрациями этана. Получены характеристики компрессора для смеси пропан/этан. На основании полученных характеристик оценены основные параметры работы холодильной установки на смеси. Оценено количество добавки этана в пропан по условию нормальной работы компрессора и аппаратов воздушного охлаждения. Определено, что количество добавки этана в пропан-хладоагент может варьироваться в зависимости от времени года и соответствующей располагаемой температуры окружающего воздуха. Предложено осуществлять частичное разделение смеси в процессе конденсации на фракции с целью дифференциации температурных уровней отвода тепла от потока газа на различных этапах переработки.

**Ключевые слова:** установка низкотемпературной конденсации природного газа, пропановая холодильная установка, смесь пропан/этан, центробежный турбокомпрессор, характеристики турбокомпрессора, конечно-элементная модель проточной части, температурный уровень и интервал цикла.

#### АНОТАЦІЯ

Мартинюк М.О. Вживання суміші пропан/етан у якості робочого тіла холодильної установки комплексу низькотемпературної конденсації природного газу. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.05.14 – Холодильна, вакуумна і компресорна техніка, системи кондиціонування. – Одеська державна академія холоду. Одеса 2009

У дисертації представлені результати досліджень з використання суміші пропан/етан з метою підвищення ефективності переробки попутного нафтового газу на установках низькотемпературної конденсації за допомогою зниження температурного рівня зовнішнього охолодження потоку газу перед розділенням. Запропоновано вживання суміші пропан/етан як холодоагента пропанової холодильної установки з метою зниження температурного рівня її роботи. Розроблена кінцево-елементна модель проточної частини відцентрового пропанового двохсекційного чотириступінчастого компресора типу ПП5-5. Проведено дослідження роботи компресора на суміші. Отримані характеристики для суміші пропан/етан. На підставі отриманих характеристик оцінені основні параметри роботи холодильної установки на суміші. Оцінена кількість добавки етану в пропан за умовою нормальної роботи компресора і апаратів повітряного охолодження. Запропоновано здійснювати часткове розділення суміші в процесі

конденсації на фракції з метою диференціації температурних рівнів відведення тепла від потоку газу на різних етапах переробки.

**Ключові слова:** установка низькотемпературної конденсації природного газу, пропанова холодильна установка, суміш пропан/етан, відцентровий турбокомпресор, характеристики турбокомпресора, кінцево-елементна модель проточної частини, температурний рівень та інтервал циклу.

#### ABSTRACT

Martyniuk M.O. Usage of mixture propane/ethane as a working medium of a chiller in a complex of low-temperature condensation of natural gas. - Manuscript.

The thesis on competition of a scientific degree of a Cand.Tech.Sci. on a trade 05.05.14 - Refrigerating, vacuum and compressor technique, air conditioning. - the Odessa state academy of refrigeration. Odessa 2009

Effects of studies are introduced to theses on heightening of efficiency of rehash of passing petroleum gas on installations of soft condensation by means of decrease of temperature level of exterior chilling of a gas current before separation. Application of mixture propane/ethane in the capacity of refrigerant in a propane chiller for the purpose of decrease of temperature level of its operation is offered. The is terminating-element model of the setting centrifugal two-section four-stage compressor of type TP5-5 is designed. Study of operation of the compressor on mixture is carried out. Performances for mixture propane/ ethane are gained. The amount of the component of ethane in propane on a requirement of normal operation of the compressor and air cooling vehicles is evaluated. It is offered to realise fractional separation of mixture in the course of condensation on fraction for the purpose of differentiating of temperature levels of an abstracted heat from a gas current at various temperature levels.

**Keywords:** Centrifugal compressor assembly - Performances of compressor sections - Coordination of sections work - Refrigerating capacity - Polytopic coefficient of efficiency of section - Extent of pressure build-up - Basic and supercooling cycle

