

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Сарапіна Володимира Павловича

**«Удосконалення експлуатаційних характеристик турбодетандерних установок, що працюють в системах транспорту природного газу»**,  
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.05.16 – турбомашини та турбоустановки

### **Актуальність теми**

Значна енергоємність промислової та сільськогосподарської продукції є суттєвим недоліком стану і розвитку вітчизняного виробництва, що призвело до зниження конкурентоспроможності його виробів.

Один із напрямків енергозбереження та зниження енергоємності для газовидобувної та газотранспортної системи пов'язаний з використанням турбодетандерних агрегатів для утилізації енергії стиснутого газу. Тому розробка нових принципових технологічних схем підготовки та транспорту газу, а також конструкцій турбодетандерних агрегатів є реальним напрямком підвищення техніко-економічних показників на підприємствах газової промисловості.

Отримання високих показників ефективності схем підготовки газу з використанням турбодетандерних агрегатів нових конструкцій базується, зокрема, на врахуванні реальних властивостей природного газу та змінних режимів роботи газових комплексів.

Важливу роль при створенні високоефективних турбодетандерів відіграє вибір параметрів та структури енерготехнологічних схем, а також раціональних форм проточної частини, профілів лопаткових апаратів та урахування особливостей їх експлуатації у різних умовах.

Таким чином, актуальність роботи по створенню та удосконаленню енергозберігаючих технологій з використання турбодетандерів як за рахунок підвищення ефективності технологічних схем підготовки газу, так і впровадження нових, більш досконалих конструкцій цих машин, забезпечує досягнення суттєвого економічного ефекту.

Актуальність теми роботи підтверджується й тим, що вона виконана згідно з енергетичною стратегією України на період до 2030 року (затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України №145-р від 15.03.2006 р.) та являється складовою частиною комплексу досліджень, що проводяться в Інституті проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України за бюджетними темами «Підвищення ефективності теплових турбоустановок на основі удосконалення термодинамічних циклів та робочих процесів у проточних частинах» (№ДР 0113U007656), «Розробка когенераційних установок малої потужності, що працюють на низькокиплячих робочих тілах» (№ДР 0114U001442).

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі**

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій базується на аналізі літературних джерел за даною проблемою, використанні сучасних методів досліджень, проведенні аналізу отриманих результатів і якісному формулюванні отриманих висновків. Теоретичні аспекти дисертації базуються на фундаментальних положеннях газодинаміки та термодинаміки турбоустановок. Для розрахунку принципів енерготехнологічних схем використовуються методи математичного моделювання процесів в їх елементах. Дослідження течії у проточній частині детандерного ступеня проводиться з використанням програмного комплексу для розрахунку тривимірних течій робочого тіла в турбомашині.

**У першому розділі** автор продемонстрував достатні знання літератури, у тому числі зарубіжної, по темі дисертації та навів основні питання, що пов'язані з використанням та умовами експлуатації турбодетандерів, а також проаналізував проблеми, що виникають при створенні схем низькотемпературної сепарації природного газу та схем утилізації надлишкового тиску природного газу. Приведено переваги та недоліки використання сучасних схем технологій обробки та охолодження природного газу на газових промислах. Розглянуто основні конструктивні особливості турбодетандерів, що експлуатуються. На підставі проведеного аналізу сформульовано мету і завдання дослідження.

**У другому розділі** представлено математичні моделі, методи та програмні засоби, в т.ч. розроблені автором, необхідні для проведення досліджень у дисертаційній роботі. Розглянуто основні рівняння стану для розрахунку теплофізичних параметрів багатокомпонентного вуглеводневого газу. У результаті обрано рівняння Пенга-Робінсона, яке використовується у дисертаційній роботі при визначенні теплофізичних характеристик робочого середовища.

Приведено метод розрахунку принципів схем обробки газу, представлена модель спільної роботи детандерного і компресорного ступенів турбодетандерного агрегату.

Запропоновано підхід для визначення номінальних параметрів турбодетандерної установки за критерієм максимального значення річної виробки електроенергії при її стабільній експлуатації.

Розглянуто особливості розрахункових завдань при проектуванні турбодетандерів і використанні програмних продуктів, призначених для тривимірного розрахунку проточних частин турбомашин в їх складі.

**У третьому розділі** наведено результати розрахунків принципів енерготехнологічних схем установок із використанням турбодетандерів для газових промислів та газорозподільних станцій, що запропоновані автором. Серед них:

- технологічна схема для газових промислів, які мають свердловини з різним пластовим тиском;
- схема для утилізації надлишкового тиску газу на газорозподільних станціях з використанням турбодетандерів при їх спільній роботі з повітряною кліматичною системою;
- схема турбодетандерної установки з відборами газу різних параметрів для різних споживачів.

Показано переваги запропонованих схем у порівнянні з існуючими схемами.

**У четвертому розділі** автором запропонована методика досягнення номінальних параметрів турбодетандерної установки при її експлуатації в

умовах змінних параметрів роботи. Представлено результати розрахунку річної виробки електроенергії при роботі на ГРС-1 м. Одеси.

Крім базової модифікації, розглянуто такі конструктивні схеми турбодетандерної установки: з турбодетандером, в якому використовується регулюючий сопловий апарат; з двома паралельно встановленими турбодетандерами та з турбодетандером, що має змінну проточну частину.

Для кожного варіанту установок приведено результати річної виробки електроенергії та термін окупності установки.

**У п'ятому розділі** наведено результати аналізу розрахункових досліджень тривимірної течії природного газу в проточній частині детандерного ступеня радіально-осьового типу, які проводилися автором з використанням програмного комплексу FlowER. Одержані дані підтверджують ефективність використання більш доцільного лопаткового профілю в порівнянні з загальноприйнятним.

#### **Достовірність результатів досліджень**

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується коректністю постановок для вирішення математичних завдань, застосуванням стандартних процедур математичного аналізу й методів розрахунку, а також використанням даних, одержаних при експлуатації детандерної установки на ГРС.

**До основних нових наукових результатів дисертаційної роботи слід віднести наступні:**

– вперше запропоновано науковий підхід для реалізації технологічного процесу низькотемпературної сепарації природного газу на газових промислах із свердловинами різного тиску;

– вперше запропоновано схеми утилізаційних установок газорозподільної станції для споживачів газу різного тиску при спільній роботі турбодетандерів з повітряною кліматичною системою;

– запропоновано новий метод вибору номінальних параметрів турбодетандерного агрегату для установки газорозподільної станції;

– на основі чисельного дослідження вперше отримано характер впливу геометричних характеристик профілів робочих лопаток детандерного ступеня на ефективність його роботи при змінних режимах експлуатації.

### **Значимість отриманих науково-технічних результатів для практичного використання**

Розроблені автором принципові енерготехнологічні схеми для низькотемпературної сепарації природного газу родовищ з свердловинами різного пластового тиску, для спільної роботи турбодетандерних агрегатів з повітряною кліматичною системою та утилізаційної турбодетандерної установки з відборами для споживачів газу різного тиску дозволяють більш ефективно використовувати енергетичний потенціал стиснутого природного газу при створенні на їх основі нового енерготехнологічного обладнання для газової промисловості

Запропонований метод оптимального вибору номінальних розрахункових параметрів турбодетандера дозволяє отримувати максимальну кількість електроенергії за рік його експлуатації з урахуванням режимів роботи газорозподільної станції.

Розроблені рекомендації щодо профілювання робочих лопаток проточної частини турбодетандерного ступеня дозволяють підвищити ефективність роботи на режимах відмінних від номінального.

З використанням отриманих результатів розроблені та впроваджені в експлуатацію утилізаційні установки та турбодетандерні агрегати для газорозподільних станцій та газових комплексів підготовки газу України, Білорусії, Узбекистану та інших країн.

### **Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях**

Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані у 10 наукових працях, з яких 5 публікацій – у наукових фахових виданнях України, з них 3 публікації входять до наукометричних баз даних, а 4 роботи – матеріали міжнародних наукових конференцій. Крім того, створено 1 патент України. У цілому, рівень і кількість публікацій та апробація матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України.

Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації і достатньо повно відображає основні її наукові результати, що отримані здобувачем.

**По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:**

1. На думку рецензента у дисертації недостатньо обґрунтовано вибір рівняння Пенга-Робінсона для розрахунку теплофізичних властивостей багатокомпонентного вуглеводневого газу. Одержані результати розрахунків бажано було б порівняти з результатами, одержаними з використанням інших відомих методик.

2. У дисертації не приведені результати розрахунків роботи запропонованих схем утилізаційної турбодетандерної установки з повітряною кліматичною системою та з відборами газу для споживачів протягом року, хоча відомо, що при цьому вони працюють на режимах, які суттєво відрізняються від номінального.

3. Автором досить докладно описаний алгоритм розрахунку річної виробки електроенергії для використання звичайної конструкції турбодетандерного агрегату. У той же час незрозуміло, яким чином була отримана річна виробка для інших конструкцій, результати яких наведені у табл. 4.3.

4. При аналізі ефективності схем утилізаційних установок автор використовує інтегральні показники, зокрема, рівень річної виробки електроенергії. В той же час не аналізується вплив характеристик і показників ефективності окремих елементів схеми (детандерного ступеня, сепаратора, теплообмінного апарата і т. ін.) для досягнення максимальних показників ефективності того чи іншого варіанту схеми.

5. З тексту дисертації незрозуміло чи потрібно вирішувати задачу вибору номінальних параметрів для кожної ГРС і наскільки приведені рішення є узагальненими для станцій з близькими характеристиками.

6. Виходячи з назви розділу 5 дисертації, бажано було б мати результати дослідження для всієї проточної частини турбодетандера, а не тільки для

детандерного ступеня. Однак пояснення з цього питання в тексті розділа відсутні.

7. У п'ятому розділі бажано було б також привести результати розрахунків проміжних варіантів геометрії профілю лопатки робочого колеса турбодетандерного ступеня радіально-осьового типу, а також більш докладно описати послідовність формування лопаткового профілю.

8. Висновок про можливість підвищення видобутку газу на 50% при використанні турбодетандерних установок для низьконапірних свердловин не має обґрунтування.

9. При оформленні дисертації допущені помилки та неточності:

- термінологічного характеру, наприклад, термін "турбіна" вживається замість "детандерний ступінь"; "турбодетандерний агрегат" замість "турбодетандерна установка"; "висушений газ" замість "отсепарований" та інші;
- при викладенні результатів обчислювального аналізу не наводиться склад газу як робочого середовища, при якому виконувалися розрахунки;
- для залежностей типу  $\eta_{ад} = f(P_1/P_2)$  при їх викладенні, наприклад, рис. 2.6 (стор.51), рис.2.7 (стор.52) не указано, про який КПД (адіабатний, ізотермний, політропний) іде мова;
- мають місце відхилення від вживання міжнародної системи одиниць, зокрема, °C вживаються замість K ;
- деякі рисунки важко сприймаються, наприклад рис. 2.5; 2.6; 4.3.

Указані зауваження, на думку рецензента, не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, а деякі з них можуть бути використані дисертантом в подальшій роботі по даній тематиці.

## **ВИСНОВОК**

Дисертаційна робота Сарапіна Володимира Павловича «Удосконалення експлуатаційних характеристик турбодетандерних установок, що працюють в системах транспорту природного газу» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.05.16 – турбомашини та турбоустановки. Дисертація є

завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу наукову та промислово-господарську задачу, суть якої полягає в удосконаленні методології розробки принципів технологічних схем обробки газу, проведення розрахунків турбодетандерів природного газу та розробки профілів лопатки робочого колеса детандерного ступеня. Дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» щодо кандидатських дисертацій, а здобувач Сарапін Володимир Павлович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.16 – турбомашини та турбоустановки.

Офіційний опонент

Провідний науковий співробітник  
ПАТ «Сумське машинобудівне  
науково-виробниче об'єднання»,  
доктор технічних наук, с.н.с.



Парафійник В.П.

Підпис д. т. н.  
Парафійника В.П. завіряю  
Інспектор канцелярії



Сильова О.Б.