

**Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій
та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського ОНТУ**



ХІІІ ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ
MODERN PROBLEMS OF REFRIGERATION EQUIPMENT AND TECHNOLOGY**

23-25 вересня 2021 року

ЗБІРНИК ДОКЛАДІВ



Одеса - 2021

УДК 621.565; 621.

Сучасні проблеми холодильної техніки та технології / Збірник тез доповідей XII Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Одеса: ОНТУ, 2021. –196 с.

У збірнику наведені матеріали XIII Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки та технології» та розглянуто різні аспекти науково-технічних питань, пов'язаних з проектуванням, виготовленням та експлуатацією холодильного обладнання різного призначення, обладнання кондиціювання повітря, дослідженням робочих тіл та процесів в елементах холодильних та кріогенних систем, застосуванням нано та когенераційних технологій, використанням холоду в харчових технологіях, застосуванням і впровадженням нетрадиційних джерел енергії.

Матеріали, занесені до збірника, друкуються за авторськими оригіналами. За достовірність інформації відповідає автор публікації.

НАУКОВИЙ КОМІТЕТ

Голова - Єгоров Б.В. - ректор Одеської національної академії харчових технологій, Заслужений діяч науки і техніки України, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, д-р техн. наук, професор

Заступники голови

Поварова Н.М. – к.т.н., доцент, проректор з наукової роботи Одеської національної академії харчових технологій;

Косой Б.В. – д.т.н., професор, директор навчально-наукового Інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики Одеської національної академії харчових технологій;

Члени наукового комітету:

Вансєв С.М.- Сумський державний університет, к.т.н., доцент;

Семенюк Ю.В. - зав. кафедрою теплофізики та прикладної екології ОНАХТ, д.т.н., професор;

Лабай В. Й. - Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор;

Лавренченко Г.К. – д.т.н., професор;

Мілованов В.І. - зав. кафедрою компресорів та пневмоагрегатів ОНАХТ, заслужений діяч науки і техніки України, д.т.н., професор;

Морозюк Л.І. - д.т.н., професор;

Потапов В. О. - Харківський державний університет харчування і торгівлі, д.т.н., професор;

Радченко М.І. - зав. кафедрою кондиціонування і рефрижерації НУК, академік Міжнародної академії холоду, д.т.н., професор;

Симоненко Ю.М. - зав. кафедрою кріогенної техніки ОНАХТ, д.т.н, професор;

Хмельнюк М.Г. - зав. кафедрою холодильних установок і кондиціонування повітря ОНАХТ, академік Міжнародної академії холоду, д.т.н., професор;

Організаційний комітет:

Голова - проф. Хмельнюк М.Г.;

Науковий секретар - к.т.н. доц. Жихарєва Н.В.

Члени оргкомітету - к.т.н Зімін О.В., к.т.н. Когут В.О., к.т.н. Желіба Ю.О., к.т.н. Трандафілов В.В., к.т.н. Грудка Б.Г. аспірант Дудко О.М., аспірант Крушельницький Д.О.

СЕКЦІЯ №3 – ГАЗОТУРБІННІ УСТАНОВКИ ТА КОМПРЕСОРНІ СТАНЦІЇ

УДК 620.97; 621.438.9

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИХРОВОЇ ТУРБІНИ З ПЕРИФЕРІЙНО-БІЧНИМ КАНАЛОМ

*Ванєєв С.М., завідувач кафедри, СумДУ, м. Суми; Марцинковський В.С., директор, «ТРІЗ» ЛТД ТОВ,
м. Суми; Смоленко Д.В., аспірант, СумДУ, м. Суми, d.smolenko@kttf.sumdu.edu.ua*

Навантаження на енергетичні системи у сучасному світі лише зростає зі збільшенням потужностей і кількості споживачів, тому необхідно генерувати все більше електроенергії, яку мають витримувати все більш навантажені мережі. Розвиток малих енергетичних систем здатен знизити навантаження на них чи навіть вирішити дану проблему.

Ефективність міні-електростанцій досить висока, успішно використовуються їх різні види: міні-ТЕЦ, міні-ГЕС, геотермальні, вітрові та сонячні, теплонасосні установки тощо. Такі станції найбільш наближені до споживачів, чим зводять втрати на транспортування енергії до мінімуму, завдяки чому і вважаються майбутнім енергетики.

Потреби великих споживачів у електроенергії можуть задовольнятися класичними газотурбінними установками, тоді як потреби малих та середніх споживачів все частіше задовольняють установки на основі мікротурбін. Ці машини мають власну потужність до 500 кВт, але об'єднуючись, можуть забезпечувати потужності до 2–3 МВт. У склад мікротурбінних установок, як правило, входить компресор, радіальна турбіна, інвертор і рекуператор. ККД таких установок при виробленні лише електроенергії невисокий, але ефективність значно підвищується у випадку використання процесу когенерації та інших супутніх систем. Основним недоліком даних установок є потреба у паливі, такому як природний газ, супутній нафтовий газ, біогаз тощо. Існує велика кількість схем для їх вдосконалення, але використання додаткових ресурсів затратне та не завжди можливе, а у процесі роботи в будь-якому випадку утворюються продукти згоряння, шкідливі для довкілля.

Більш екологічним способом вважається застосування турбодетандерних установок у місцях дроселювання газу на газорозподільних станціях і пунктах, у різних промислових процесах тощо. Вони призначені для перетворення енергії надлишкового тиску газу шляхом його розширення у проточній частині турбіни для отримання механічної роботи на валу машини з подальшим отриманням електроенергії. Власна генерація є економічно вигідною не лише для розвитку підприємств, а й енергетичної системи в цілому, тому тема є важливою та актуальною.

Відомі приклади спорудження таких установок із застосуванням різних типів турбін та супутніх систем. Поршневі машини відносно недорогі, але досить громіздкі, мають багато рухомих деталей, створюють значні вібрації, масло в них контактує з робочим тілом та потребує регулярної заміни, необхідні систематичні зупинки для ремонту. Детандери з поршнем, що котиться, через специфічність конструкції та внутрішнє тертя потребують частої заміни деталей. При потужності до 500 кВт можливе застосування вихрових розширювальних машин. Як доцентрові, осьові та струминно-реактивні, вони мають єдину рухома частину – ротор, однак менші частоти обертання, що уможливує безредукторне виконання (наприклад, з розташуванням робочого колеса безпосередньо на валу електрогенератора), забезпечуючи більшу компактність і надійність при нижчому рівні шуму. У порівнянні з гвинтовими, вихрові машини є більш простими у виготовленні й обслуговуванні,

оскільки використовується безмасляна робоча порожнина, що значно спрощує конструкцію, та відсутні технологічно складні деталі, як гвинти.

Вихрові машини мають велику різноманітність проточних частин, що зумовлена складним спіралеподібним рухом газу по довжині проточної частини під час його розширення, тому вони є різною мірою досліджені науковцями. Наприклад, турбіни з зовнішнім периферійним каналом найбільш досліджені, а з бічним та периферійно-бічним мало досліджені.

Зважаючи на це, була обрана піддослідна турбіна з периферійно-бічним каналом та двоканальною чотирьохпотоковою конструкцією. Експериментальні випробування проводились на повітряному стенді та передбачали зміну геометричних параметрів проточної частини турбіни, оскільки вони створюють суттєвий вплив на ефективність передачі енергії від газового потоку до лопаток робочого колеса.

У процесі випробувань змінювалися тиск на вході та виході турбіни і частота обертання ротора. Надлишковий тиск на вході в турбіну змінювався від 1 до 5 кг/см², тиск на виході з турбіни дорівнював атмосферному тиску, а також, для деяких режимів, встановлювався рівним 1,85 кг/см², частота обертання ротора турбіни становила до 3000 об/хв.

При дослідженнях даної турбіни змінювався кут нахилу сопел α_1 , кут зрізу сопел β та відстань від сопел до лопаток робочого колеса b . Усього проведено 147 випробувань: з надлишковим тиском на вході $p_{вх} = 1; 2; 3; 4; 5$ кг/см² та на виході $p_{вих} = 0; 1,85$ кг/см² при частотах обертання ротора n від 0 до 3000 об/хв переважно з кроком 500 об/хв.

При випробуваннях на стенді забезпечувався контроль необхідних параметрів: тиску газу за регулятором, перед діафрагмою, на вході у турбіну та в її корпусі, температур газу за діафрагмою та на вході в турбіну, перепаду тиску на діафрагмі, частоти обертання ротора та моменту на валу динамометра. У якості динамометра використовувався електрогенератор. Статор вкладений у стійки підшипників з урахуванням можливості гоїдатися. Його рух передається на циферблат вагів через важіль, урівноважений противагою. ККД вихрової машини визначений із врахуванням механічних втрат у генераторі, у тому числі втрат на роботу вентилятора, тобто практично - це ККД турбогенератора. При оцінці ККД вихрової турбіни ці втрати не враховуються, тому отриманий ККД турбіни буде більшим.

Інформаційно-вимірювальна система дозволила з достатньою точністю зафіксувати параметри, отримані при експериментальних випробуваннях вихрової розширювальної машини з периферійно-бічним каналом на дослідницькому стенді. Отримані дані були опрацьовані та представлені у вигляді таблиць і рисунків.

Експеримент показав, що потужність турбіни збільшується майже прямо пропорційно до частоти обертання її ротора. ККД турбіни також підвищується при збільшенні частоти обертання ротора.

Найбільші значення ККД вихрової турбіни з периферійно-бічним каналом при випробуваннях відповідають значенням приведеної колової швидкості від 0,08 до 0,142 та зростають на всьому проміжку. Максимальне значення ККД = 25% отримане при величині приведеної колової швидкості 0,12. Враховуючи висхідний характер даної залежності, очікується отримання його більш високих значень у області, що не охоплена даним експериментом.

З'ясовано, що кут нахилу сопел значною мірою впливає на ефективність вихрової машини. При $\alpha_1 = 30^\circ$ для частот обертання більше 2000 об/хв у всіх випадках отримано найбільший ККД. Збільшення кута α_1 у всьому досліджуваному діапазоні викликає зменшення ефективності.

Досліджений характер впливу відстані від зрізу сопел до робочого колеса турбіни на її потужність. Експеримент показав, що зі збільшенням цієї відстані величина отримуваної потужності зменшується, однак цей фактор незначно впливає на потужність і ККД турбогенератора, особливо в діапазоні $b = 1 \dots 5$ мм.

Отримані дані можуть бути використані для проектування вихрових розширювальних машин з периферійно-бічним каналом та порівняння з машинами інших типів. Оскільки створення енергозберігаючих турбогенераторів є суттєвою складовою розвитку малих енергетичних систем і поступове зростання зацікавленості у розподіленій генерації електроенергії викликає потребу в постійному вдосконаленні даних агрегатів, то результати дослідження корисні для створення таких турбогенераторів та для продовження їх вдосконалення.



УДК 621.438.2

ВПЛИВ БЕЗРОЗМІРНОЇ НАВЕДЕНОЇ ШВИДКОСТІ НА ЗРІЗІ ТЯГОВОГО СОПЛА НА КОЛОВИЙ ККД СТРУМИННО-РЕАКТИВНОЇ ТУРБІНИ

Ванєєв Сергій Михайлович, к.т.н., доц., Родимченко Тетяна Сергіївна, асп.
СумДУ, м. Суми, t.rodymchenko@kttf.sumdu.edu.ua

Анотація. В нижче наведених дослідженнях представлена залежність зміни максимальних значень колового коефіцієнта корисної дії від зміни безрозмірної швидкості потоку газу на зрізі тягового сопла (ТС), при тиску на вході $P_p = 2; 4; 6; 10$ МПа для струминно-реактивної турбіни на нерозрахунковому режимі. Досліджений вплив степені нерозрахунковості S на коловий коефіцієнт корисної дії турбіни. Отримані графічні залежності максимальних значень коефіцієнта корисної дії турбіни на нерозрахунковому режимі при сталих тисках на вході в підвідне сопло від наведеної безрозмірної швидкості на зрізі тягового сопла.

Ключові слова: коловий коефіцієнт корисної дії, струминно-реактивна турбіна, наведена швидкість, нерозрахунковий режим, проточна частина.

Нині у всьому світі гостро стоїть питання раціонального використання енергетичних ресурсів всієї планети. Безумовно, в Україні також вирішується дана проблематика, про що свідчить створення програми «Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [1]. За цією програмою здійснюється перехід від застарілої моделі функціонування енергетичного сектору до нової моделі, в якій створюється більш конкурентне середовище, а також розглядується можливість підвищення енергоефективності й використання енергії із відновлюваних та альтернативних джерел [2]. Доцільним шляхом вирішення такої задачі є утилізація вторинних енергоресурсів. За допомогою турбогенераторних установок можна здійснити зменшення тиску та утилізувати потенціальну енергію надлишкового тиску газу або пари для виробництва електричної енергії [3-4]. Дана робота присвячена дослідженню газодинамічних процесів в проточній частині струминно-реактивної турбіни. Задачею дослідження є оцінка впливу безрозмірної швидкості потоку газу на зрізі тягового сопла на максимальні значення колового ККД струминно-реактивної турбіни. Отриманий коловий коефіцієнт корисної дії для струминно-реактивної турбіни в залежності від наведеної безрозмірної швидкості $\lambda_{out,1}$ при заданих тисках на вході в підвідне сопло на нерозрахунковому режимі (при степені нерозрахунковості $S > 1$). Із виконаних досліджень зрозуміло, що при збільшенні тиску на вході в підвідне сопло окружний ККД турбіни зменшується та оптимум по ККД зміщується в сторону збільшення наведеної колової швидкості робочого колеса, як на розрахунковому, так і на нерозрахунковому режимах роботи. Аналізуючи залежність максимальних значень колового ККД від безрозмірної швидкості потоку газу на зрізі тягового сопла виявлено, що найбільших максимальних значень коловий ККД набуває при збільшенні безрозмірної наведеної швидкості на зрізі тягового сопла струминно-реактивної турбіни.

8	ТЕРМОДИНАМІЧНІ ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ ГІБРИДНИХ ТЕПЛОВИКОРИСТАЛЬНИХ ТЕРМО ТРАНСФОРМАТОРІВ	170
	<i>Косой Б.В., д.т.н., професор, Псарьов С.О., аспірант, Куколев А.К., аспірант, ІХКЕ ОНАХТ, м. Одеса</i>	
9	РОЗРАХУНКИ УСТАЛЕНИХ РЕЖИМІВ В ЕЛЕМЕНТАХ УСТАНОВКИ ПОВТОРНОГО ЗРІДЖЕННЯ LPG ГАЗІВ, ЩО ПРАЦЮЄ НА СУМІШІ РОБОЧИХ РЕЧОВИН, МЕТОДОМ ЕКВІВАЛЕНТУВАННЯ	171
	<i>Морозюк Л.І., д.т.н., професор, Косой Б.В., д.т.н., професор, Соколовська-Єфименко В.В., к.т.н., доцент, ІХКЕ ОНАХТ, м. Одеса</i>	
10	ЕНТРОПІЙНИЙ МЕТОД В АНАЛІЗІ ПОВІТРЯНОГО КОНДЕНСАТОРА ПРИ НАЯВНОСТІ ТВЕРДИХ ВІДКЛАДІВ НА ТЕПЛООБМІННІ ПОВЕРХНІ	172
	<i>Мошкатюк А.В., асистент, Бородінська О.В., інженер, ІХКЕ ОНАХТ, м. Одеса</i>	
СЕКЦІЯ №3 – ГАЗОТУРБІННІ УСТАНОВКИ ТА КОМПРЕСОРНІ СТАНЦІЇ		
1	РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИХРОВОЇ ТУРБІНИ З ПЕРИФЕРІЙНО-БІЧНИМ КАНАЛОМ	175
	<i>Ванєєв С.М., завідувач кафедри, СумДУ, м. Суми; Марцинковський В.С., директор, «ТРІЗ» ЛТД ТОВ, м. Суми; Смоленко Д.В., аспірант, СумДУ, м. Суми, d.smolenko@kttf.sumdu.edu.ua</i>	
2	ВПЛИВ БЕЗРОЗМІРНОЇ НАВЕДЕНОЇ ШВИДКОСТІ НА ЗРЯЗІ ТЯГОВОГО СОПЛА НА КОЛОВИЙ ККД СТРУМИННО-РЕАКТИВНОЇ ТУРБІНИ	177
	<i>Ванєєв Сергій Михайлович, к.т.н., доц., Родимченко Тетяна Сергіївна, асп. СумДУ, м. Суми</i>	
3	ВДОСКОНАЛЕННЯ ВАНТАЖНОЇ СИСТЕМИ СУДНА-ГАЗОВОЗУ ЯК ВАГОМИЙ ФАКТОР ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТУВАННЯ СПГ МОРСЬКИМ ШЛЯХОМ	179
	<i>Мілованов В.І., д.т.н., проф., Василенко Є.В., студ., Макруха С.І., студ. Одеська національна академія харчових технологій</i>	
4	ЕКСЕРГЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СУДНОВОЇ ПОВІТРЯНОЇ КОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ.	181
	<i>Ярошенко В.М. к.т.н., доцент, Мілованов В.І д.т.н., професор. , Одеська національна академія харчових технологій.</i>	
5	РОБОТА МАЛОГО ХОЛОДИЛЬНОГО КОМПРЕСОРА НА ХОЛОДОАГЕНТІ З ДОМІШКАМИ НАНОЧАСТОК	184
	<i>Мілованов В.І., д.т.н., проф., Балашов Д.О., інж. Одеська національна академія харчових технологій, м.Одеса,</i>	
6	ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ БЕЗСАЛЬНИКОВОГО КОМПРЕСОРА НА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ХОЛОДОАГЕНТАХ	186
	<i>Яковлев Ю.О., доцент кафедри КтаПА Сирбу М.І., студент СВО «Магістр» Пазина І.В., студент СВО «Бакалавр» ОНАХТ, м. Одеса,</i>	
7	ОСНОВНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ КОМПРЕСОРІВ В ПЕРІОД ПАНДЕМІЇ	189
	<i>Буданов В.О., к.т.н.,доцент, ОНАХТ м. Одеса, budanoff@ukr.net</i>	

*Матеріали XIII Всеукраїнської науково-технічної конференції
«Сучасні проблеми холодильної техніки і технології», 23 по 25 вересня 2021*

**Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій
та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського ОНТУ**

XIII ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И
ТЕХНОЛОГИИ
MODERN PROBLEMS OF REFRIGERATION EQUIPMENT AND
TECHNOLOGY**

23-25 вересня 2021 року

ЗБІРНИК ДОКЛАДІВ

Одеса - 2021