

DOI 10.15589/jnn20150215
УДК 629.12.03
P93

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF THE EFFICIENCY
OF THE TURBOIMPACT FUEL GAS SEPARATOR FOR GAS TURBINE UNITS
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТУРБОІМПАКТНОГО
СЕПАРАТОРА ПАЛИВНОГО ГАЗУ ДЛЯ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК

Serhii I. Serbin

serhiy.serbin@nuos.edu.ua
ORCID 0000-0002-3423-2681

Rostyslav S. Ryzhkov

rostislav.ryzhkov@nuos.edu.ua,
ORCID 0000-0002-0296-3738

С.І. Сербін,

д-р техн. наук, проф.;

Р.С. Рижков,

асп.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Abstract. The design scheme of the turboimpact high pressure fuel gas separator for gas turbine units has been developed. The experimental investigations of the efficiency of the compressed gases separators for gas turbine units with turboimpact and coagulating purification stages are carried out. The hydrodynamic separator characteristics at an air flow rate of 30–150 m³/h are obtained. The experiments confirmed the high values of the total purification efficiency coefficients of the studied separators which reach 90,0–99,8 %. On the basis of results of investigations, the recommendations for designing the flow area of compressed gases turboimpact separators for gas turbine units are developed.

Keywords: separator; turboimpact technology; experimental investigations; fuel system; efficiency.

Анотація. Розроблено конструктивну схему турбоімпаکتного сепаратора паливного газу високого тиску для газотурбінних установок. Проведено експериментальні дослідження ефективності роботи сепараторів стиснутих газів для газотурбінних установок із турбоімпаکتними та коагулюючими ступенями очищення. Отримано гідродинамічні характеристики сепараторів при витратах повітря на експериментальному стенді від 30 до 150 м³/год. Експериментальним шляхом підтверджено високий коефіцієнт сумарної ефективності очищення дослідних сепараторів, який становить 90,0–99,8 %. На основі результатів дослідження розроблено рекомендації щодо проектування проточної частини турбоімпаکتних сепараторів стиснених газів газотурбінних установок.

Ключові слова: сепаратор; технологія турбоімпактна; експериментальні дослідження; система паливна; ефективність.

Аннотация. Разработана конструктивная схема турбоимпаکتного сепаратора топливного газа высокого давления для газотурбинных установок. Проведены экспериментальные исследования эффективности работы сепараторов сжатых газов для газотурбинных установок с турбоимпактными и коагулирующими степенями очистки. Получены гидродинамические характеристики сепараторов при расходах воздуха на экспериментальном стенде от 30 до 150 м³/час. Экспериментальным путем доказан высокий коэффициент суммарной эффективности очистки исследуемых сепараторов, который составляет 90,0–99,8 %. На основе результатов исследования разработаны рекомендации по проектированию проточной части турбоимпактных сепараторов сжатых газов газотурбинных установок.

Ключевые слова: сепаратор; технология турбоимпактная; экспериментальные исследования; система топливная; эффективность.

REFERENCES

- [1] Belousov V.V. *Teoreticheskie osnovy protsessov gazoочистki* [Theoretical base of gas purification processes], Moscow, Metallurgia Publ., 1988. 256 p.
- [2] Guseva Ye.I., Zaychik L.I. Osazhdenie chastits na stenkakh kanala v turbulentnom dvukhfaznom potoke pod deystviem razlichnykh vneshnikh faktorov [Deposition of particles on channel walls in a turbulent two-phase flow under different external factors]. *Sovremennye problemy gazodinamiki i teplomassoobmena : tezisy dokladov 3-y Vsesoyuz. shkoly-seminara* [The modern problems of gas dynamics and heat-mass transfer: materials of the Third National Seminar]. Moscow, MSTU Publ., 1991.

- [3] Basok B. I., Ryzhkov S. S., Ryzhkov R. S., Bortsov O. S. Intensyfikatsiia osadzhennia ridkoї fazy u separatorakh bahatofaznykh sumishei palyv pidvyshchenoho tysku [Intensification of liquid phase deposition in polyphase fuel mixtures separators with increased pressure]. *Institut tekhnichnoi teplofizyky — Institute of Technical Thermal Physics*, 2014, pp. 20–26.
- [4] Mednikov E.P. *Turbulentnyy perenos i osazhdenie aerorozolej* [Turbulent transfer and aerosols deposition]. Moscow, Nauka Publ, 1981. 176 p.
- [5] Uzhov V.N., Valdberg A.Y., Myagkov B.I., Reshidov I.K. *Ochistka promyshlennykh gazov ot pyli* [Purification of industrial gases from dust]. Moscow, Khimiya Publ., 1981. 322 p.
- [6] Ryzhkov S.S. Intensyfikatsiia osadzhennia vysokodispersnykh chastynok u labiryntnomu separatori za rakhunok termoforetichnykh efektiv (Intensification of deposition of fine-grained particles in labyrinth separator due to thermophoretic effects). *Visnyk NUK — NUS Journal. Electronic editional*, Mykolaiv, 2011. Available at: <http://ev.nuos.edu.ua>.
- [7] Ryzhkov S.S., Goncharova N.O. Intensyfikatsiya osazhdeniya zhidkikh chastits za schet poperechnykh pulsatsiy setok gofrirovannogo koagulyatora (Intensification of liquid particles deposition due to the crosscut pulsations of crimp coagulator nets). *Visnyk NUK — NUS Journal. Electronic editional*, Mykolaiv, 2010. Available at: <http://ev.nuos.edu.ua>.
- [8] Ryzhkov S.S., Litvinov I.V. Issledovanie gazodinamiki separatsionnogo profilya maslootdelitelya (Study of gas dynamics of separator profile of oil separator) *Visnyk NUK — NUS Journal. Electronic editional*, Mykolaiv, 2010. Available at: <http://ev.nuos.edu.ua>.
- [9] Ryzhkov S.S., Moskovko O.O. Matematychni modeliuvannia hazodynamiky separatsiinoho obladdnannia (Mathematical modeling of gas dynamics of separator unit). *Visnyk NUK — NUS Journal. Electronic editional*, Mykolaiv, 2011, no 4. Available at: <http://ev.nuos.edu.ua>.
- [10] Ryzhkov S.S. Razrabotka i issledovanie neizotermicheskogo gazoochistitelya dlya ulavlivaniya vysokodispersnykh aerorozolej v energeticheskom oborudovanii [Development and investigation of non-isothermal gas cleaner for trapping fine-grained aerosols in power equipment]. *Institut tekhnichnoi teplofizyky — Institute of Technical Thermal Physics*, 2006, pp. 127–135.
- [11] Ryzhkov S.S., Pastuchov S.Y. Chislennoe modelirovanie osazhdeniya vysokodispersnykh chastits v protochnoy chasti separatsionnogo oborudovaniya (Numerical modelling of fine-grained particles deposition in the flow part of separator unit). *Visnyk NUK — NUS Journal. Electronic editional*, Mykolaiv, 2010. Available at: <http://ev.nuos.edu.ua>.
- [12] Filtration + Separation, Elsevier Science UK, 2002, vol. 39, no 10, 48 p.
- [13] Filtration + Separation, Word Buyers' Guide and Directery, Elsevier Science UK, 2003, 200 p.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

У даний час спостерігається підвищений інтерес до вивчення проблем дисперсних двофазних газових середовищ підвищеного тиску. Це пояснюється зростаючим значенням таких середовищ у процесах перетворення й отримання енергії в енергомашинобудуванні, у хімічній і нафтогазовій промисловості тощо.

Впровадження енергетичних установок нових поколінь: газо- і газо-паротурбінних, а також атомних, зростання загального числа енергетичних установок і розвиток виробництва сприяє розвитку наукових досліджень гідродинамічних характеристик двофазних дисперсних середовищ з підвищеним тиском. Особливо гостро постала проблема очищення паливних газів від рідкої фази для газотурбінних установок (ГТУ), оскільки за підвищених концентрацій рідини знижується економічність, довговічність, а також погіршується експлуатаційні якості енергетичних установок, що може призвести до серйозних дефектів основних вузлів двигуна, наприклад, камери згорання. Створення високоефективних й економічних сепаруючих пристроїв стиснутих газів, особливо

турбоімпульсної дії, є значним резервом поліпшення ефективності використання паливо-енергетичних ресурсів і підвищення надійності експлуатації ГТУ.

Проведення експериментальних досліджень є важливим етапом у процесі вдосконалення конструктивних схем турбоімпульсних сепараторів стиснутих газів, за допомогою якого уточнюються раніш адаптовані математичні моделі фізичних процесів очищення й робляться висновки про ефективність пропонованих технічних рішень [3, 6, 7]. Об'єктом дослідження є робочі процеси в турбоімпульсних сепараторах стиснутих газів, які мають комбіновану систему очищення (турбоімпульсний й коагулюючий ступені очищення).

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Ефективність осадження різних фазових середовищ розглядається в роботах В. В. Белоусова [1], Є. П. Меднікова [4], В. М. Ужова [5], О. І. Гусевої [2], С. С. Рижкова [6, 8–11], Б. І. Баска [3] та ін. У цих публікаціях вивчено очищення газів від частинок за рахунок турбулентного переносу, поперечних пульсацій стінок, термофоретичних ефектів за практично

атмосферного тиску в досліджуваних конструкціях (1,013 МПа) [4–13]. Особливу увагу очищенню газів на основі турбоімпульсних процесів, що впливають на осадження частинок, приділено в статті [3]. Проте матеріали щодо експериментальних досліджень ефективності багаторівневих турбоімпульсних сепараторів наявні недостатньою мірою.

МЕТОЮ СТАТТІ є експериментальні дослідження ефективності турбоімпульсного сепаратора стиснутих паливних газів для газотурбінної установки й розробка рекомендацій щодо проектування проточної частини турбоімпульсних сепараторів енергетичних систем.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Експериментальні дослідження ефективності турбоімпульсного сепаратора паливних газів ГТУ виконано на модернізованому стенді [3] з використанням вагового методу за допомогою аналітичних фільтрів, фотоелектричних лічильників і фотометрів аерозолів. Відбір проб проводився через забірні трубки, що служили одночасно трубками повного тиску. При вимірах дотримувалися умов ізокінетичності. Масова концентрація часток у потоці вимірювалася відбором проби дисперсного двофазного середовища спеціальним аспіратором і пропускання її через аналітичні фільтри АФА. Фільтри АФА зважувалися на аналітичних вагах до і після взяття проби. Витрати

двофазного середовища визначалися за перепадом тисків на витратомірному колекторі.

У процесі експериментальних досліджень здійснювалися як прямі, так і непрямі вимірювання. Обрані методи вимірювання дозволяли врахувати систематичну складову похибки; значення випадкової складової похибки визначалося класом точності застосовуваних приладів.

Для дослідження сепараторів стиснутих паливних газів використано такий підхід: відпрацювання проточної частини сепараторів проводилося на стендах у вигляді відкритих аеродинамічних труб з моделюванням середовища підвищеного тиску.

Програма стендових випробувань турбоімпульсного сепаратора дозволяла охопити діапазон витрат повітря через нього від 30 до 150 м³/год, відповідний витратам стисненого паливного газу для робочих режимів ГТУ. Початкова концентрація високодисперсного аерозолу на вході сепаратора досягала 800 мг/м³.

Загальну конструктивну схему дослідного зразка сепаратора паливного газу показано на рис. 1, фото дослідного зразка турбоімпульсного сепаратора паливного газу представлено на рис. 2. Сепаратор було спроектовано на робочі параметри паливної системи ГТУ: витрата паливного газу 500–2200 кг/год при тиску 1,6–3,6 МПа.

Зовнішній вигляд експериментального стенду зі встановленим сепаратором паливного газу наведено на рис. 3.

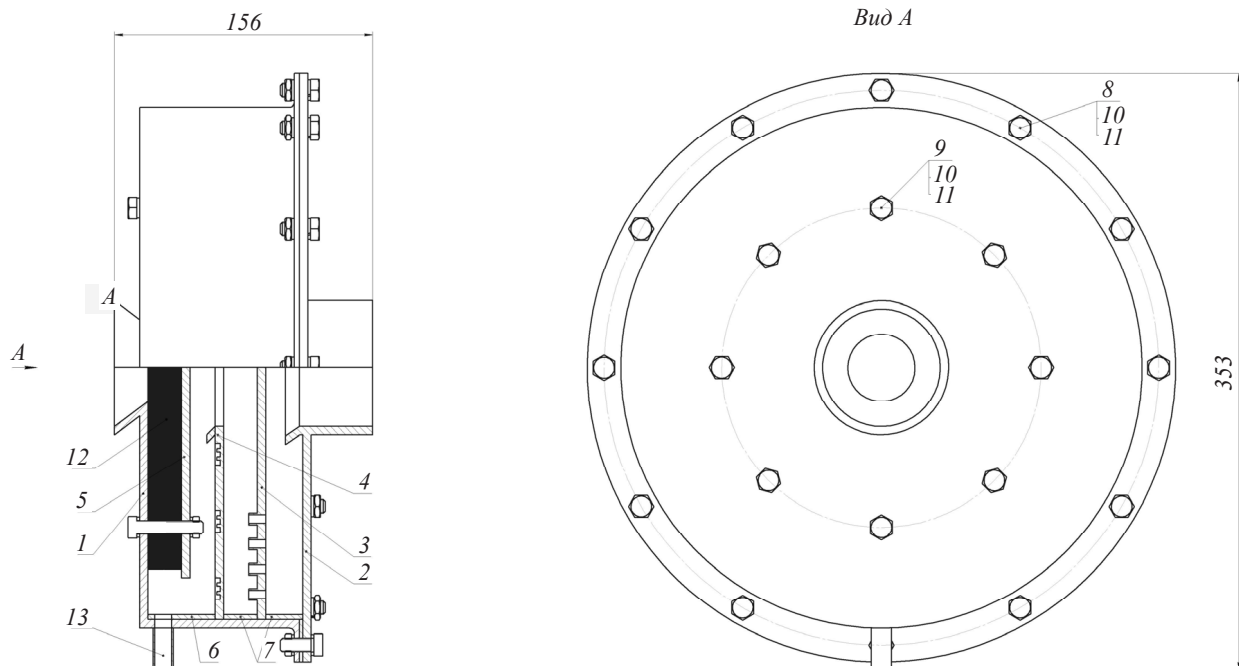


Рис. 1. Конструктивна схема дослідного зразка турбоімпульсного сепаратора паливного газу:

1 — корпус; 2 — задня стінка; 3 — переріз третьої секції; 4 — переріз другої секції; 5 — імпульсна пластина першої секції; 6, 7 — кільцеві фіксатори; 8, 9, 10, 11 — з'єднувальні пристрої; 12 — коагулятор



Рис. 2. Дослідний зразок сепаратора стиснутого газу



Рис. 3. Експериментальний стенд для дослідження ефективності сепараторів стиснутих газів

Для обробки результатів використовувалася наступна методика. Спочатку проводилася фіксація параметрів двофазного середовища на вході і виході за допомогою відповідних пристроїв. Потім визначалися показники ефективності сепаратора, які вносилися до відповідних таблиць.

Загальна (сумарна) ефективність уловлювання аерозолів розраховується за формулою:

$$\eta_{\Sigma} = (1 - C_{\text{вих}} / C_{\text{вх}}) \cdot 100 \%,$$

де $C_{\text{вх}}$ і $C_{\text{вих}}$ — відповідно концентрація аерозольних часток на вході і виході з сепаратора.

Перепад тисків (аеродинамічний опір) імпактного сепаратора встановлюється за перепадом тисків на вході $p_{\text{вх}}$ і виході $p_{\text{вих}}$ з робочої ділянки за допомогою манометра і трубок повного тиску, які одночасно виконують функцію пробовідбірників, за формулою:

$$\Delta p = p_{\text{вих}} - p_{\text{вх}}.$$

Проточна частина сепаратора стиснутого паливного газу містила турбоімпактні й коагулюючі ступені, причому для знаходження раціональних схемних рішень варіювались число шарів сіток у коагуляторі, діаметри дротів сіток, кількість ступенів та ін.

Під час обробки експериментальних даних також розраховувався виніс крапель з першої й другої частини сепаратора за формулою:

$$g_{\text{вих}} = C_{\text{вих}} \cdot G_{\text{пов}},$$

де $G_{\text{пов}}$ — витрата газу, що очищається.

Крім того, знаходився приріст ефективності очищення двоступеневого сепаратору порівняно з одноступеневим:

$$\Delta \eta_{\Sigma} = \eta_{\Sigma 1} - \eta_{\Sigma 2}.$$

Результати експериментальних досліджень наведено в табл. 1–4.

Таблиця 1. Результати випробувань сепаратора за витрати повітря 30 м³/год, що відповідає витраті паливного газу 500 кг/год за тиску 3,0 МПа

№	$G_{\text{пов}}, \text{ м}^3/\text{год}$	$T_{\text{вх}}, \text{ }^\circ\text{C}$	$C_{\text{вх}}, \text{ мг/м}^3$	$g_{\text{вх}}, \text{ кг/год}$	$\Delta p, \text{ кПа}$	$C_{\text{вих}}, \text{ мг/м}^3$			$g_{\text{вих}}, \text{ кг/год}$			$\Delta \eta_{\Sigma}, \%$
						без коагулятора	з гофрованим коагулятором		без коагулятора	з гофрованим коагулятором		
1	30	25	810	0,0245	0,7	170	0,0051	79,01	6	0,00018	99,26	20,25
2	30	25	805	0,0241	0,7	125	0,0037	84,47	4	0,00012	99,50	15,03
3	30	25	806	0,02418	0,7	117	0,0035	85,48	3	0,00009	99,63	14,14
4	30	25	808	0,0242	0,7	117	0,0035	85,52	13	0,00042	98,39	12,87
5	30	25	804	0,0240	0,7	145	0,0044	81,97	6	0,00018	99,25	17,29
6	30	25	805	0,0241	0,7	135	0,0041	83,23	4	0,00012	99,50	16,27
7	30	25	812	0,02436	0,7	163	0,0049	79,93	13	0,00042	98,40	18,47
8	30	25	815	0,02445	0,7	161	0,0048	83,56	16	0,00048	98,04	14,48
9	30	25	804	0,0240	0,7	162	0,0048	79,85	7	0,00021	99,13	19,28
10	30	25	808	0,0242	0,7	123	0,0037	84,78	7	0,00021	99,14	14,36
$\Sigma/10$	30	25	807,7	0,02414	0,7	139,1	0,0042	82,78	7,9	0,00024	99,03	16,24

Таблиця 2. Результати випробувань сепаратора за витрати повітря 60 м³/год, що відповідає витраті паливного газу 1000 кг/год за тиску 3,0 МПа

№	$G_{\text{пов}}^{\text{вх}}$, м ³ /год	$T_{\text{вх}}$, °C	$C_{\text{вх}}$, мг/м ³	$g_{\text{вх}}$, кг/год	Δp , кПа	$C_{\text{вих}}$, мг/м ³	$g_{\text{вих}}$, кг/год	η_{Σ} , %	$C_{\text{вих}}$, мг/м ³	$g_{\text{вих}}$, кг/год	η_{Σ} , %	$\Delta\eta_{\Sigma}$, %
						без коагулятора			з гофрованим коагулятором			
1	60	25	816	0,0494	1,2	170	0,010	79,17	16	0,00096	98,04	18,87
2	60	25	801	0,0481	1,2	116	0,007	85,52	3	0,00018	99,63	14,11
3	60	25	804	0,0482	1,2	113	0,0068	85,95	1	0,00006	99,88	13,93
4	60	25	809	0,0485	1,2	112	0,0067	86,16	10	0,0006	98,76	12,61
5	60	25	803	0,0482	1,2	148	0,0088	81,57	8	0,00048	99,01	17,43
6	60	25	806	0,0484	1,2	132	0,0079	83,62	8	0,00048	99,01	15,38
7	60	25	812	0,0487	1,2	153	0,0092	81,16	13	0,00078	98,40	17,24
8	60	25	815	0,0489	1,2	132	0,0079	83,80	8	0,00048	99,02	15,21
9	60	25	801	0,0481	1,2	169	0,010	78,90	4	0,00024	99,50	20,60
10	60	25	811	0,0486	1,2	136	0,0082	83,23	10	0,0006	98,77	15,54
Σ/10	60	25	807,8	0,0484	1,2	138,1	0,0083	82,91	8,1	0,00049	99,002	16,09

Таблиця 3. Результати випробувань сепаратора за витрати повітря 120 м³/год, що відповідає витраті паливного газу 2000 кг/год за тиску 3,0 МПа

№	$G_{\text{пов}}^{\text{вх}}$, м ³ /год	$T_{\text{вх}}$, °C	$C_{\text{вх}}$, мг/м ³	$g_{\text{вх}}$, кг/год	Δp , кПа	$C_{\text{вих}}$, мг/м ³	$g_{\text{вих}}$, кг/год	η_{Σ} , %	$C_{\text{вих}}$, мг/м ³	$g_{\text{вих}}$, кг/год	η_{Σ} , %	$\Delta\eta_{\Sigma}$, %
						без коагулятора			з гофрованим коагулятором			
1	120	25	825	0,0990	2,6	114	0,014	86,18	6	0,00072	99,27	13,09
2	120	25	811	0,0973	2,6	90	0,011	88,90	7	0,00084	99,14	10,23
3	120	25	819	0,0983	2,6	89	0,011	89,13	8	0,00096	99,02	9,89
4	120	25	823	0,0987	2,6	99	0,012	87,97	12	0,00144	98,54	10,57
5	120	25	809	0,0971	2,6	82	0,0098	89,86	8	0,00096	99,01	9,15
6	120	25	814	0,0977	2,6	94	0,0112	88,45	5	0,0006	99,39	10,93
7	120	25	817	0,09804	2,6	95	0,0112	88,37	18	0,0022	97,80	9,43
8	120	25	808	0,0970	2,6	84	0,0101	89,60	6	0,00072	99,26	9,65
9	120	25	809	0,0971	2,6	87	0,0104	89,25	7	0,00084	99,14	9,89
10	120	25	825	0,0990	2,6	100	0,012	87,88	4	0,00048	99,52	11,64
Σ/10	120	25	816,0	0,0979	2,6	93,4	0,0112	88,56	8,1	0,00097	99,01	10,45

Таблиця 4. Результати випробувань сепаратора за витрати повітря 150 м³/год, що відповідає витраті паливного газу 2000 кг/год за тиску 3,0 МПа

№	$G_{\text{пов}}^{\text{вх}}$, м ³ /год	$T_{\text{вх}}$, °C	$C_{\text{вх}}$, мг/м ³	$g_{\text{вх}}$, кг/год	Δp , кПа	$C_{\text{вих}}$, мг/м ³	$g_{\text{вих}}$, кг/год	η_{Σ} , %	$C_{\text{вих}}$, мг/м ³	$g_{\text{вих}}$, кг/год	η_{Σ} , %	$\Delta\eta_{\Sigma}$, %
						без коагулятора			з гофрованим коагулятором			
1	150	25	830	0,1245	3,2	109	0,016	86,87	8	0,0012	99,04	12,17
2	150	25	824	0,1246	3,2	96	0,0142	88,35	5	0,00075	99,39	11,04
3	150	25	827	0,1241	3,2	97	0,0143	88,27	16	0,0024	98,07	9,79
4	150	25	829	0,1244	3,2	94	0,0141	88,66	8	0,0012	99,04	10,37
5	150	25	831	0,1246	3,2	97	0,0143	88,33	11	0,00165	98,682	10,35
6	150	25	819	0,1228	3,2	90	0,0135	89,01	7	0,00105	99,15	10,13
7	150	25	817	0,1226	3,2	83	0,0125	89,84	12	0,0018	98,53	8,69
8	150	25	816	0,1225	3,2	85	0,0126	89,58	9	0,00135	98,90	9,31
9	150	25	818	0,1227	3,2	89	0,0134	89,12	9	0,00135	98,90	9,78
10	150	25	825	0,1237	3,2	100	0,015	87,88	4	0,0006	99,52	11,64
Σ/10	150	25	823,6	0,1236	3,2	94,0	0,0141	88,59	8,9	0,00134	98,92	10,33

З аналізу результатів табл. 1–4 видно, що ефективність очищення від аерозолів у першому ступені турбоімпаکتного сепаратора в усьому дослідженому діапазоні витрат газу складає від 82 до 88%, а з використанням другого ступеня з коагулятором — від 98 до 99,5% за аеродинамічного опору від 0,7 до 3,2 кПа.

На основі отриманих експериментальних даних розроблено практичні рекомендації щодо проектування проточних частин турбоімпактних сепараторів стиснутих газів ГТУ. Рекомендації наведено в табличній формі (табл. 5), вони дають можливість виконати необхідні розрахунки основних елементів проточної частини турбоімпактних сепараторів.

Таблиця 5. Рекомендації щодо проектування проточних частин турбоімпактних сепараторів стиснутих газів

Найменування	Формула	Розмірність	Рекомендоване значення
Витрата газу	G	м ³ /с	Задається
Швидкість газу у вхідному патрубку	U_n	м/с	15–25
Швидкість у роздавальному 1 турбоімпаکتного ступеня	U_{n1}	м/с	15–25
Діаметр роздавального 1 турбоімпаکتного ступеня	D_1	м	$\sqrt{\frac{1,27G}{U_{n1}}}$
Швидкість витікання струменів через отвір 1 турбоімпаکتного ступеня	U_{o1}	м	25–35
Діаметр сопла	d_0	м	$\sqrt{\frac{1,27G}{U_{o1}}}$
Відстань від отворів до поверхні осадження (пластини)	h_o	м	(0,5–1,0) d_o
Швидкість газу на вході в коагулятор	$U_{вхкр}$	м/с	5–8
Висота гофри сітки	$h_{гофр}$	м	(2–3)·10 ⁻³
Кут гофри	α	град	45–60
Нахил смуги гофри	β	град	60
Число рядів сітки коагулятора:	$n_{рк}$	шт	20–50
1 ступінь	0,25		6–10
2 ступінь	0,1		10–20
3 ступінь	0,009		4–10
4 ступінь	0,25		4–10
Розмір прохідного перерізу:			
1–3 ступенів	$S_{к1-3}$	м ²	$G/U_{вхкр}$
4 ступеня	$S_{к4}$	м ²	0,8· $S_{к1-3}$
Патрубок зливу	$d_{зл}$	м	(6–15)·10 ⁻³

ВИСНОВКИ

1. Розроблено конструктивну схему турбоімпаکتного сепаратора стиснутого газу ГТУ, яка дозволяє використовувати його за таких натурних параметрів паливного газу: витрата 500–2200 кг/год при тиску 1,6–3,6 МПа.

2. Проведено експериментальні випробування турбоімпаکتного сепаратора для ГТУ в стендових

умовах, які показали, що ефективність очищення першого ступеня в усьому діапазоні витрат газу складає від 82 до 88%, а з використанням другого ступеня з коагулятором — від 98 до 99,5% за аеродинамічного опору від 0,7 до 3,2 кПа.

3. Розроблено практичні рекомендації щодо проектування проточної частини турбоімпактних сепараторів стиснутих газів ГТУ з використанням отриманих експериментальних даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Белоусов, В. В. Теоретические основы процессов газоочистки [Текст] / В. В. Белоусов. — М. : Metallurgiya, 1988. — 256 с.
- [2] Гусева, Е. И. Осаждение частиц на стенках канала в турбулентном двухфазном потоке под действием различных внешних факторов [Текст] / Е. И. Гусева, Л. И. Зайчик // Современные проблемы газодинамики и тепломассообмена : тезисы докладов 3-й Всесоюз. школы-семинара. — М. : МГТУ, 1991.

- [3] Інтенсифікація осадження рідкої фази у сепараторах багатофазних сумішей палив підвищеного тиску [Текст] / Б.І. Басок, С.С. Рижков, Р.С. Рижков, О.С. Борцов. — К. : Національна академія наук України, Інститут технічної теплофізики, 2014. — С. 20–26.
- [4] **Медников, Е.П.** Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей [Текст] / Е.П. Медников. — М. : Наука, 1981. — 176 с.
- [5] Очистка промышленных газов от пыли [Текст] / В.Н. Ужов, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков, И.К. Решидов. — М. : Химия, 1981. — 322 с.
- [6] **Рижков, С.С.** Інтенсифікація осадження високодисперсних частинок у лабіринтному сепараторі за рахунок термофоретичних ефектів [Електронний ресурс] / С.С. Рижков // Вісник НУК. — Миколаїв : НУК, 2011. — Режим доступу: <http://ev.nuos.edu.ua>.
- [7] **Рижков, С.С.** Интенсификация осаждения жидких частиц за счет поперечных пульсаций сеток гофрированного коагулятора [Электронный ресурс] / С.С. Рижков, Н.А. Гончарова // Вестник НУК. — Николаев : НУК, 2010. — Режим доступу: <http://ev.nuos.edu.ua>.
- [8] **Рижков, С.С.** Исследование газодинамики сепарационного профиля маслоотделителя [Электронный ресурс] / С.С. Рижков, И.В. Литвинов // Вестник НУК. — Николаев : НУК, 2010. — Режим доступу: <http://ev.nuos.edu.ua>.
- [9] **Рижков, С.С.** Математичне моделювання газодинаміки сепаратійного обладнання [Електронний ресурс] / С.С. Рижков, О.О. Московко // Вестник НУК. — Николаев : НУК, 2011. — № 4. — Режим доступу: <http://ev.nuos.edu.ua>.
- [10] **Рижков, С.С.** Разработка и исследование неизотермического газоочистителя для улавливания высокодисперсных аэрозолей в энергетическом оборудовании [Текст] / С.С. Рижков. — К. : Национальная академия наук Украины, Институт технической теплофизики, 2006. — С. 127–135.
- [11] **Рижков, С.С.** Численное моделирование осаждения высокодисперсных частиц в проточной части сепарационного оборудования [Электронный ресурс] / С.С. Рижков, С.Ю. Пастухов // Вестник НУК. — Николаев : НУК, 2010. — Режим доступу: <http://ev.nuos.edu.ua>.
- [12] Filtration + Separation [Text] // Elsevier Science UK. — 2002. — vol. 39, no 10. 48 p.
- [13] Filtration + Separation [Text] / Word Buyers' Guide and Directery // Elsevier Science UK. — 2003. — 200 p.

© С.І. Сербін, Р.С. Рижков

Надійшла до редколегії 13.02.2015

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. *А.П. Шевцов*