



Serhiy I.
Serbin
Сербин
Сергей
Иванович

УДК 629.12.03
P93

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF EFFICIENCY OF THE TURBOIMPACT BREATHING SYSTEMS SEPARATOR FOR GAS TURBINE INSTALLATION OF CLOSED CYCLE

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТУРБОІМПАКТНОГО СЕПАРАТОРА СИСТЕМ СУФЛЮВАННЯ ГТУ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛУ

DOI 10.15589/SMI. 2015.01.09

Serhiy I. Serbin

С. І. Сербін д-р техн. наук, професор

serhiy.serbin@nuos.edu.ua

ORC ID: 0000-0002-3423-2681

Rostislav S. Ryzhkov

А. В. Дерепя, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.

rostislav.ryzhkov@nuos.edu.ua

ORC ID: 0000-0002-0296-3738

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaev

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев

Abstract. The design scheme of the turboimpact high-pressure separator for breathing for gas turbine installation of closed cycle is developed. Experimental stand for modeling of biphasic medium of middle pressure is developed. Experimental investigations of efficiency of the turboimpact high-pressure separator breathing for gas turbine installation of closed cycle are carried out. The hydrodynamic separator characteristics at starting pollutant concentrations of 20–40 g/m³ and gas pressure rate of 3–4 MPa has been obtained. Experiments have confirmed the high values of the total cleaning efficiency coefficients for the researching separators which are 90.0–99.8%.

Keywords: separator, turboimpact technology, gas turbine installation, closed cycle, coagulation, breathing system, experimental investigations.

Аннотация. Разработана конструктивная схема турбоимпактного сепаратора повышенного давления систем суфлирования ГТУ замкнутого цикла. Разработан экспериментальный стенд по созданию модельной двухфазной среды среднего давления и проведены экспериментальные исследования эффективности работы сепараторов повышенного давления систем суфлирования газотурбинных установок замкнутого цикла с турбоимпактными и коагулирующими степенями очистки. Получены гидродинамические характеристики сепаратора в диапазоне начальных концентраций загрязнителя от 20 до 40 г/м³, давлений газов от 3 до 4 МПа. Экспериментальным путем определен высокий коэффициент суммарной эффективности очистки исследуемых сепараторов, который составляет 90,0–99,8%.

Ключевые слова: сепаратор, технология турбоимпактная, ГТУ, замкнутый цикл, коагуляция, система суфлирования, экспериментальные исследования.

Анотація. Розроблено конструктивну схему турбоімпактного сепаратора підвищеного тиску систем суфлювання ГТУ замкнутого циклу. Розроблено експериментальний стенд зі створення модельного двофазного середовища середнього тиску та проведено експериментальні дослідження ефективності роботи сепаратора підвищеного тиску систем суфлювання газотурбінних установок замкнутого циклу із турбоімпактними та коагулюючими модулями очищення. Отримано гідродинамічні характеристики сепаратора в діапазоні початкових концентрацій забруднювача від 20 до 40 г/м³, тисках газів від 3 до 4 МПа. Експериментальним шляхом підтверджено високий коефіцієнт сумарної ефективності очищення дослідних сепараторів, який становить 90,0–99,8%.

Ключові слова: сепаратор, технологія турбоімпактна, ГТУ, замкнутий цикл, коагуляція, система суфлювання, експериментальні дослідження.

References

[1] *Sudovye i stacionarnye gazoturbinnye ustanovki zakrytogo cikla* [Ship and Stational Gas Turbine Systems of Closed Cycle] / S.N. Gavrilov, G.G. Zharov, A.A. Kanaev, I.Z. Kopp, Ju V. Smolkin . — L.: Shipbuilding, 1971. — 288 p.



Rostislav
S. Ryzhkov
РЫЖКОВ
Ростислав
Сергеевич

- [2] *Stvorennja universal'nih ransportnih suden ta zasobiv okeanotehniki : Monograph* [Creation of Universal Transport Vessels and Ocean Technology Tools] / S. S. Ryzhkov, V. S. Blincov, G. V. Egorov, Ju. D. Zhukov, V. F. Kvasnic'kij, K. V. Koshkin, I. V. Krivcun, V. O. Nekrasov, V. V. Cevrjukov, Ju. V. Solonichenko., P. 8.
- [3] Bilyk B. I. *Issledovanie maslootdelitelja dlja GTD DP 73* / Bilyk B. I., Ryzhkov S. S., Ryzhkov S. S. (st.) [Research of Oil Separator for Gas Turbine Engine 73] // Materials of 4-th international science conference «Energy Saving and Ecological Problems in Shipbuilding», Nikolaev, 2005., P. 287–288.
- [4] Ryzhkov R. S. *Vdoskonalennja masloologoviddil'nikiv energosistem stisnenoogo povitrja na osnovi gidrodinamichnih rozrahunkiv* [Improvement of Oil Separators for Compressed Air Energy System on Basics of Hydrodynamic Researches] / R. S. Ryzhkov, O. S. Rizhkov // Vysnik NUK., 2013.: <http://evn.uos.edu.ua>
- [5] Belousov, V. V. *Teoreticheskie osnovy processov gazoochistki* [Teoretical Basics of Gas Purification] / V. V. Belousov., M. : Metallurgy, 1988., 256 p.
- [6] Mednikov, E. P. *Turbulentnyj perenos i osazhdenie ajerozolej* [Turbulent Hyphenation and Precipitation of Aerosol] / E. P. Mednikov., M.: Nauka, 1981., 176 p.
- [7] Guseva, E. I. *Osazhdenie chastic na stenkah kanala v turbulentnom dvuhfaznom potoke pod dejstviem razlichnyh vneshnih faktorov* [Precipitation of Particles on the Channel Units in Turbolent Biphasic Flow under the Action of Different Factors] / E. I. Guseva, L. I. Zajchik // Modern Problems of Gas Dynamics and Heat Transfer : Materials of 3-d Ukrainian seminar school., M.: MG TU, 1991.
- [8] *Intensifikacija osazhennja ridskoj fazi u separatorah bagatofaznih sumishej paliv pidvishhenogo tisku* [Intensification of Precipitation of Fluid Flow in Separator of Multiphase Fuel Mixtures of High Pressure] / B. I. Basok, S. S. Rizhkov, R. S. Ryzhkov, O. S. Borcov., K.: NAS of Ukraine, ITTP, 2014., P. 20–26.
- [9] Ryzhkov, S. S. *Intensifikacija osadzhenja visokodispersnih chastinok u labirintnomu separatori za rahunok termoforetichnih efektiv* [Intensification of Precipitation of High Dispersed Particles in Labyrinth Separator by Thermophoresis Effects] / S. S. Rizhkov // Visnik NUK., Mikolaiv : NUK, 2011.
- [10] Ryzhkov, S. S. *Intensifikacija osazhdenija zhidkih chastic za schet poperechnykh pul'sacij setok gofrirovannogo koagulyatora* [Intensification of Liquid Particles Precipitation by Transverse Pulsation Grids of Corrugated Coagulator] / S. S. Ryzhkov, N. A. Goncharova // Visnik NUK., Mikolaiv: NUK, 2010. – <http://ev.nuos.edu.ua>.
- [11] Ryzhkov, S. S. *Issledovanie gazodinamiki separacionnogo profilja maslootdelitelja* [Research of Gas Dynamics of Oil Separator's Separating Profile] / S. S. Ryzhkov, I. V. Litvinov // Visnik NUK., Mikolaiv: NUK, 2010. – <http://ev.nuos.edu.ua>.
- [12] Rizhkov S. S. *Doslidzhennja gazodinamiki 3D modeli turboimpaktnogo separatora z radial'nim koagulyacijnim elementom paliv pidvishhenogo tisku* [Research of Gas Dynamics of 3D Model of Turboimpact Separator with Radial Corrugating Element of High Pressure Fuel] / S. S. Rizhkov, R. S. Rizhkov, O. S. Borcov // Ecological and Energy Saving Problems in Shipbuilding: Materials of VIII International science. Mikolaiv. 2013 r.

Problem statement. Currently there is an increased interest in the study of biphasic disperse gas mediums of high pressure. This is due to the growing importance of such medium in the conversion and energy generation processes in power, chemical and petroleum industries, etc.

The introduction of power installations of new generation such as gas and gas-steam turbine as well as nuclear power installations, the growing of a total number of power plants and the development of production contributes to the development of scientific research of hydrodynamic characteristics of biphasic disperse media of high pressure.

The gas turbine installations of closed cycle [1] are considered as prospective ones on the number of independent power facilities.

The working fluid of such systems (helium, nitrogen, carbon dioxide, etc.) must not come into contact with the oil of the lubrication system of the turbine installation in the main working circuit. Therefore, devices for cleaning of the working fluid from the oil should be always provided in the schemes of the shaft seal of the gas-turbine installations (GTI) of closed cycle.

Today the technologies of the turboimpact and coagulating purification have the prospective of purification

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

Впровадження енергетичних установок нових поколінь: газо- і газо-паротурбінних, а також атомних, зростання загального числа енергетичних установок та розвиток виробництва сприяє розвитку наукових досліджень гідродинамічних характеристик двофазних дисперсних середовищ з підвищеним тиском.

На ряді автономних енергетичних об'єктах в якості перспективних розглядаються газотурбінні установки закритого циклу [1].

Робоче тіло таких установок (гелій, азот, вуглекислий газ і ін.) не повинно вступати в контакт з маслом системи змащування турбоагрегату в основному робочому контурі. Тому в схемах ущільнення валів ГТУ замкнутого циклу завжди повинні буди передбачені пристрої для очистки робочого тіла від масла.

tion of multiphase mixtures. The turboimpact and coagulating purification are studied in the scientific research institute of ecology and energy saving of Admiral Markarov National University of Shipbuilding (NUS) [2–4]. On the basis of these technologies the static turboimpact coagulating oil separators have been developed at NUS, which total purification factor is more than 99%. In view of the characteristics of breathing systems of GTI of closed cycle, associated with the high-pressure of the working fluids, there is a need to conduct research on the improvement of schemes and the intensification of cleaning of biphasic medium of high pressure. Currently there is almost no theoretical and experimental data concerning the use of static separators and oil separators for purification of multiphase mixtures of high pressure, although, for example, the need for their development for gas turbines of closed cycle is due to the attempts to create such installation (the «Aksamit» [1] scheme) for the drive of the electric generator with the capacity of 3000 kW.

The development of highly efficient and economic separation devices of compressed gas, especially of the turboimpact action, is a significant reserve of the improvement of efficiency of the usage of fuel and energy resources and the improvement of the reliability of operation of the GTI.

Experimental research is an important step in the process of improving of design schemes of turboimpact separators of high pressure of breathing systems of GTI of closed cycle, which helps to clarify the previously adapted mathematical models of the physical purification processes and draw conclusions as for the effectiveness of the developed technical solutions [3, 6, 7]. The object of research is the operation processes in turboimpact separators of high pressure of breathing systems of GTI of closed cycle, which have a combined purification system (turboimpact and coagulating degrees of purification).

Latest research and publications analysis. The efficiency of sedimentation of different phase medium is considered in works by V. V. Belousov, E. P. Mednikov, E. I. Guseva, S. S. Ryzhkov, B. I. Baska, S. V. Ryzhkov [5–11] etc. In these works, purification of gases from particles at the expense of the turbulent transport, ripple cross-walls, thermophoretic effects [8–11] is studied. Special attention is paid to the purification of gases in the publication [12], where the study was conducted on the basis of turboimpact processes which affect the sedimentation of particles. However, the materials as for the experimental study of the effectiveness of high-pressure breathing systems of gas turbine of closed cycle are insufficient.

THE ARTICLE AIM is an experimental study of the effectiveness of high-pressure turboimpact separator of breathing systems of GTI of closed cycle.

Basic material. The turboimpact oil separator for the usage in GTI of closed cycle (Fig. 1) is developed on the basis of the unified separator of compressed gas [6]. It contains two levels of purification — input and out-

На сьогодні перспективу очищення багатофазних сумішей мають технології турбоімпадного та коагуляційного очищення, які досліджуються в Науково-дослідному інституті проблем екології та енергозбереження Національного університету кораблебудування (НУК) [2–4]. На основі даних технологій в НУК були розроблені статичні турбоімпактні коагуляційні масловіддільники, сумарний коефіцієнт очищення яких складає понад 99%. Враховуючи особливості систем суфлювання ГТУ замкнутого циклу, пов'язані з підвищеним тиском робочих тіл, виникає необхідність в проведенні досліджень щодо удосконалення схем та інтенсифікації очищення двофазного середовища підвищеного тиску. В даний час практично відсутні теоретичні і експериментальні дані відносно використання статичних сепараторів-масловіддільників для очистки багатофазних сумішей в умовах високих тисків, хоча необхідність їх створення для ГТУ замкнутого циклу обумовлена, наприклад, спробами створення подібних установок (схема «Аксамит» [1]) для привода електрогенератора потужністю 3000 кВт.

Створення високоефективних та економічних сепаруючих пристроїв стиснутих газів, особливо турбоімпадної дії, є значним резервом поліпшення ефективності використання паливо-енергетичних ресурсів та підвищення надійності експлуатації ГТУ.

Проведення експериментальних досліджень є важливим етапом в процесі вдосконалення конструктивних схем турбоімпактних сепараторів підвищеного тиску систем суфлювання ГТУ замкнутого циклу, за допомогою якого уточнюються раніш адаптовані математичні моделі фізичних процесів очищення та робляться висновки про ефективність розроблених технічних рішень [3, 6, 7]. Об'єктом дослідження є робочі процеси в турбоімпактних сепараторах підвищеного тиску систем суфлювання ГТУ замкнутого циклу, які мають комбіновану систему очищення (турбоімпактну та коагулюючу ступені очищення).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ефективність осадження різних фазових середовищ розглядається в роботах В. В. Белоусова, Є. П. Меднікова, О. І. Гусевої, С. С. Рижкова, Б. І. Баска, С. В. Рижкова [5–11] та ін. У цих роботах досліджено очищення газів від частинок за рахунок турбулентного переносу, поперечних пульсацій стінок, термофоретичних ефектів [8–11]. Особливу увагу очищенню газів приділено у публікації [12], де дослідження проводилось на основі турбоімпактних процесів, що впливають на осадження частинок. Проте матеріали щодо експериментальних досліджень ефективності підвищеного тиску систем суфлювання ГТУ замкнутого циклу існують в недостатній мірі.

МЕТОЮ СТАТТІ є експериментальні дослідження ефективності турбоімпактного сепаратора підвищеного тиску систем суфлювання газотурбінних установок замкнутого циклу.

Виклад основного матеріалу. Турбоімпактний масловіддільник для використання в ГТУ замкнуто-

put 1 and 12. In the input level there is a system «nozzle–plate» with the coagulator 5 and intermediate coagulator 7. Intermediate coagulator is fixed between the underside of the plate 6 and partition 8, dividing the body into sections. In the intermediate coagulator gas flow is directed in the opposite direction and is accompanied by the speed rise that allows one to consistently deposit smaller and smaller particles on the wires of the grid. There is the nozzle 2 in the partition 8, where enlarged drops are taken by the stream from the intermediate coagulator. The plate 9 is located opposite the nozzle, there is trimming coagulator 10 between the plate 9 and the partition 8. Every degree of purification has the pipes for the gas supply (disposal) and the drain of the fluid 13, 14.

The operation of the oil turboimpact separator is as follows. The compressed gas being cleaned is directed to the inlet 4 and from there into the nozzle 3. The first level of gas purification from liquid drops is in the system «nozzle 3–plate 6–coagulator 5». Then the stream is directed to the intermediate coagulator 7. It creates conditions for sequential fractional purification of the compressed gas from the smallest drops and further effective purification in the second level. Enlarged drops in the coagulator 7 are carried into the nozzle 2 by the stream, which together with the plate 9 and the coagulator 10 form the last trimming level of purification. The purified gas is directed to the outlet 11 and the collected oil is removed from the body through the drain pipes 13 and 14.

The exterior of the turboimpact oil separator of breathing system of GTI of closed cycle is shown in Fig. 2.

The number of series of the grid in the levels of purification is as follows: in the coagulator of the first level there are 16 series of the grid № 0.1; in the intermedi-

го циклу (рис.1) розроблено на основі уніфікованого сепаратора стиснутого газу [6]. Він містить два ступеня очистки — вхідний і вихідний 1 і 12. У вхідному ступені розташована система «сопло–пластина» з коагулятором 5, а також проміжний коагулятор 7. Проміжний коагулятор закріплений між зворотною стороною пластини 6 і перегородкою 8, що розділяє корпус на секції. У проміжному коагуляторі рух газу спрямовано в протилежну сторону і супроводжується підвищенням швидкості, що дозволяє послідовно осаджувати на дротах сітки все більш дрібні частинки. У перегородці 8 є сопло 2, куди виносяться потоком з проміжного коагулятора укрупнені краплі. Навпроти сопла розташована пластина 9, між якою і перегородкою 8 розташовується зачисний коагулятор 10. Кожний ступінь очистки має патрубки підведення газу (відведення), а також зливу рідини 13, 14.

Робота турбоімпатного масловіддільника здійснюється таким чином. Стиснутий газ, що очищується, надходить в патрубок підведення газу 4, а звідти — в сопло 3. В системі «сопло–пластина 6–коагулятор 5» здійснюється перший ступінь очистки газу від крапель рідини. Потім потік прямує до проміжного коагулятора 7. Це створює умови для послідовного фракційного очищення стиснутого газу від найдрібніших крапель і подальшого ефективного очищення в другому ступені. Укрупнені в коагуляторі 7 краплі потоком виносяться в сопло 2, яке разом з пластинною 9 і коагулятором 10 утворюють останній зачисний ступінь очистки. Очищений газ прямує у вихідний патрубок 11, а уловлене масло віддаляється з корпусу через патрубки зливу 13 і 14.

Зовнішній вигляд турбоімпатного масловіддільника системи суфлювання ГТУ замкнутого циклу показано на рис 2.

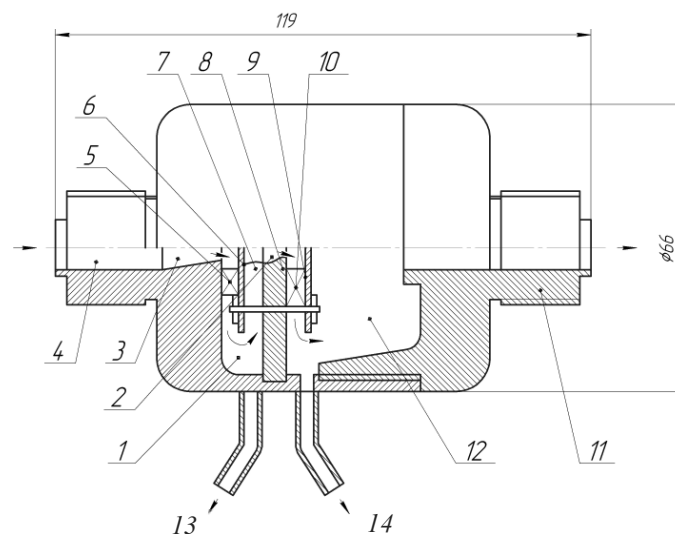


Fig. 1. Structural diagram of turboimpact oil separator of breathing system of GTI of closed cycle:

Рис. 1. Конструктивна схема турбоімпатного масловіддільника системи суфлювання ГТУ замкнутого циклу:

1 — input level / вхідний ступінь; 2, 3 — nozzle / сопла; 4 — inlet / вхідний патрубок; 5 — coagulator / коагулятор; 6 — plate / пластина; 7 — intermediate coagulator / проміжний коагулятор; 8 — partition / перегородка; 9 — plate / пластина; 10 — trimming coagulator / зачисний коагулятор; 11 — outlet / вихідний патрубок; 12 — output level / вихідний ступінь; 13, 14 — drain pipes / зливні патрубки



Fig. 2. Photo of the exploratory prototype of turboimpact oil separator of compressed gases of breathing system of GTI of closed cycle

Рис. 2. Зовнішній вигляд дослідного зразку турбоімпактного масловіддільника стиснутих газів системи суфлювання ГТУ замкнутого циклу

ate coagulator there are 16 series of the grid № 0.1; in the trimming coagulator there are 18 series of of the grid № 0.004. The length of the first level is 30 mm, the one of the second level is 45 mm. In the second level the cone-shaped collector is placed in front of the output nozzle that prevents the ingress of a film of oil to the outlet. To eliminate the secondary entrainment and possible flows of oil the following design activities were carried out: turbomachine oil eliminator is made with an increased size of the treatment degrees (inner diameter 100 mm, length of first degree 15 mm); in addition, in the plate of the first degree of cleaning performed macloud concentric grooves with slits at the bottom.

The following approach is used to investigate the oil separator: the development of a flowing part of separators was carried out on the experimental stand of the development of the model biphasic medium with the medium pressure up to 4 MPa (Fig. 3) in the form of open wind tunnels with the simulation of conditions of high pressure and under atmospheric pressure with subsequent recalculation of the current velocities of flow in the flowing parts of the separators according to the pressure.

The stand provides obtaining of the model two-fluid medium with the following parameters: the flow rate of the mixture is 5–20 g/s at a pressure of 2–4 MPa; the temperature of the mixture is 20–100 °C; the oil concentration in the air is up to 20 g/m³; the size-consist of the droplets is 0.1–100 μm.

The stand is a wind tunnel of the open type connected with the atmosphere through the reduction channels 28. Compressed gas is fed into the installation from the cylinders 36, where it was pumped by a compressor. The stand contains gas (air) heating chambers 3, the bubbler-

Кількість рядів сітки в ступенях очистки наступна: в коагуляторі першого ступеня — 16 рядів сітки № 0,1; в проміжному коагуляторі — 16 рядів сітки № 0,1; в зачисному коагуляторі — 18 рядів сітки № 0,004. Довжина першого ступеня дорівнює 30 мм, другого — 45 мм. У другому ступені перед вихідним патрубком встановлюється конусоподібний колектор, що запобігає попаданню плівки масла у вихідний патрубок. Для усунення вторинного віднесення і можливих перегікань масла були здійснені наступні конструктивні заходи: турбоімпактний масловіддільник виконано із збільшеними розмірами ступенів очистки (внутрішній діаметр корпусу 100 мм, довжина першого ступеня 15 мм); крім цього в пластині першого ступеня очистки виконано концентричні масловідвідні канавки з прорізами в нижній частині.

Для дослідження масловіддільника використано наступний підхід: відпрацювання проточної частини сепараторів проводилось на експериментальному стенді зі створення модельного двофазного середовища середнього тиску до 4 МПа (рис. 3) у вигляді відкритих аеродинамічних труб з моделюванням середовища підвищеного тиску та в умовах атмосферного тиску із подальшим перерахунком швидкостей течій в проточних частинах сепараторів відповідно до тиску.

Стенд забезпечує отримання модельного двофазного середовища наступних параметрів: витрата суміші 5–20 г/с при тиску 2–4 МПа; температура суміші 20–100 °C; концентрація масла в повітрі — до 20 г/м³; дисперсний склад крапель 0,1–100 мкм.

Стенд представляє собою аеродинамічну трубу відкритого типу, з'єднану з атмосферою через редуційні канали 28. Стиснутий газ подається до установки від балонів 36, куди він закачувався компресором. Стенд містить камери нагрівання газу (повітря) 3, генератор масляного аерозолу барботажного типу 7, універсальну робочу ділянку з сепаратором 18 з вхідним 11 і вихідним 27 вимірювальними ділянками, а також витратомірні ділянки 30. Стенд монтується на рамі, його окремі елементи з'єднуються трубопроводами та обладнуються регулюючими клапанами.

Стенд функціонує наступним чином. Стиснуте повітря тиском до 15 МПа з балонів 36 через клапан 1 надходить у редуційний клапан 2, на виході з якого підтримується постійний тиск (4 МПа). Далі стиснуте повітря спрямовується в камеру нагрівання 3, де його температура підвищується до 90–120 °C. Камера нагрівання обладнується електронагрівальними елементами, теплота від яких через проміжний теплоносій (вода, масло) передається стиснутому повітрю. Температура проміжного теплоносія контролюється термометром 4 типа ТЛ. Нагріте стиснуте повітря через два клапани надходить до генератора масляного аерозолу 7 барботажного типу. Нижня частина генератора заповнюється маслом та містить підігрівач і перфорований щит. Стиснуте повітря по трубопроводу потрапляє під перфорований щит, що знаходиться в маслі, проходить через його отвори і спінює речовину генерацією найдрібніших крапель.

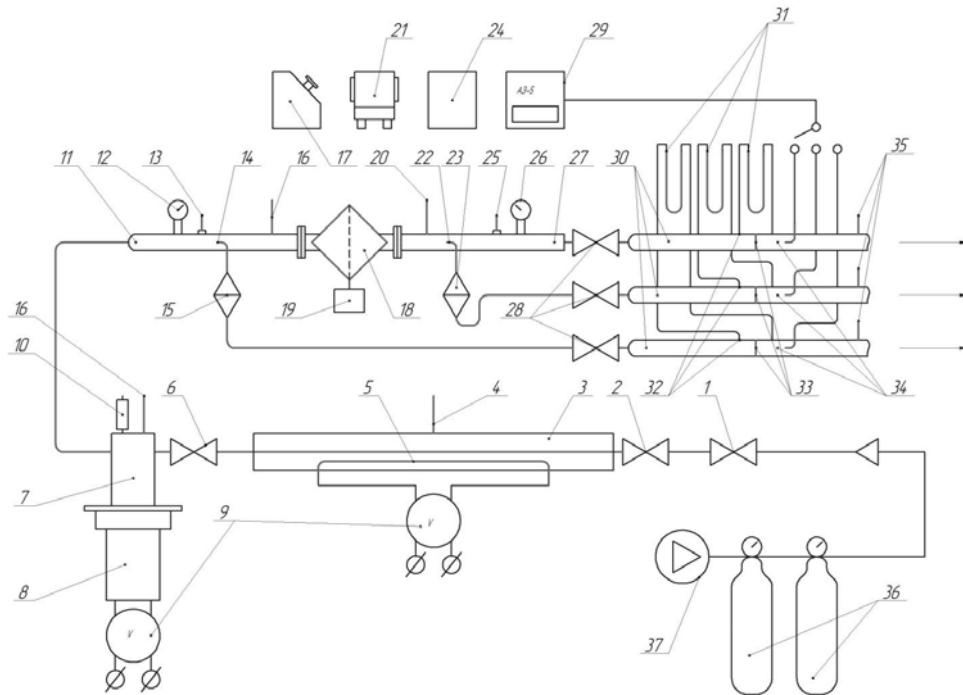


Fig. 3. Experimental stand of development of the model biphasic medium of medium pressure:

Рис. 3. Експериментальний стенд зі створення модельного двофазного середовища середнього тиску:

1, 5 — valve / клапан; 2 — reduction valve / редуційний клапан; 3 — oil gas heater / підігрівач масляний газу; 4, 16, 20 — thermocouple / термопара; 5 — heating elements / елементи підігріву; 7, 8 — aerosol generator / генератор аерозолу; 9 — autotransformers / автотрансформатори; 10 — safety valve / запобіжний клапан; 11 — input measurement site / вхідна вимірна ділянка; 12, 26 — gauges / манометри; 13, 25 — inertial probes / інерційні зонди; 14, 22 — samplers / пробовідбірники; 15, 23 — allonges with AFA filters / алонжі з фільтрами АФА; 17 — microscope / мікроскоп; 18 — separator / сепаратор; 21 — libra / аналітичні ваги; 24 — potentiometer / потенціометр; 27 — output measuring area / вихідна вимірна ділянка; 28 — throttle valves / дросельні клапани; 29 — A3 particle counter / лічильник часток АЗ; 30 — consumption measuring areas / витратомірні ділянки; 31 — manometers / манометри; 32 — tubes of static pressure selection / трубки відбору статичного тиску; 33 — orifice / дросельні шайби; 36 — cylinders / балони; 37 — compressor / компресор

type generator of oil aerosol 7, general service working area with the separator 18 with the inlet 11 and outlet 27 measuring areas, as well as consumption measuring areas 30. The stand is mounted on the frame, its individual elements are connected by pipelines and equipped by regulation valves.

The stand operates in a following way. Compressed air with the pressure up to 15 MPa from the cylinders 36 through the valve 1 enters the reduction valve 2, the constant pressure (4 MPa) is maintained in its outlet. Then compressed air is directed into the heating chamber 3, where its temperature is increased to 90–120 °C. The heating chamber is provided with the electric heating elements, the heat of which is passed to the compressed air through the intermediate coolant (water, oil). The temperature of the intermediate coolant is controlled by the thermometer 4 of the TL type. The heated compressed air comes to the generator of the bubbler-type oil aerosol 7 through two valves. The lower part of the generator is filled with oil and contains a heater and a perforated shield. Through the pipeline the compressed air falls under the perforated shield which is in the oil, then the air passes through its holes and causes the foaming of the substance by the generation of the smallest droplets.

Передбачається можливість перепуску частини стиснутого повітря повз барботажний пристрій. Конструкція генератора дозволяє отримувати масляний аерозоль, який по дисперсності та концентрації відповідний заданому маслоповітряному середовищу. Генератор аерозолу має запобіжний клапан 10. З генератора маслоповітряна суміш надходить в робочу ділянку, де встановлюється сепаратор 18. Перед сепаратором і за ним розташовуються вхідна 11 і вихідна 27 вимірювальні ділянки, на яких встановлені: манометри 12 і 26 для вимірювання тиску, дзеркальні зонди 13, 25 для визначення дисперсності крапель масла на вході і виході масловіддільника, а також пробовідбірники 14 і 22 масляного аерозолу. Витрата маслоповітряного середовища через робочу ділянку і пробовідбірники регулюється клапанами 28, за якими встановлені витратомірні ділянки 30 з дросельними шайбами. Перепад тисків на шайбах визначається U-подібними манометрами або мікроманометром. Пробовідбірники 14 з'єднуються з алонжами 15 з встановленими в них фільтрами АФА.

У процесі досліджень сепаратора визначається коефіцієнт сумарної ефективності очищення, аеродинамічний опір і вихідна концентрація масля-

There is a possibility for the part of the compressed air to come through the bubbling device. The design of the generator allows us to obtain the oil aerosol, which is corresponding to the specified oil and air medium by the dispersion and concentration. The aerosol generator includes the safety valve 10. From the generator the oil and air mixture enters the working area where the separator 18 is installed. In front of the separator and behind it there is the input measuring area 11 and the output measuring area 27 where the pressure gauges 12 and 26 for the pressure measuring, the mirror probes 13, 25 for the determination of the dispersion of oil drops in the inlet and outlet of the oil separator, as well as the samplers 14 and 22 of the oil aerosol are mounted. The expenditure of the oil and air environment through the working area and the samplers is regulated by the valves 28, behind which the measuring areas 30 with orifice are mounted. The differential pressure on the orifices is defined by U-shaped manometers or the micromanometer. The samplers 14 are connected with allonges 15 with AFA filters mounted in them.

During the studies of the separator the coefficient of the total efficiency of purification, wind resistance and the output concentration of the oil aerosol are determined. To determine the concentration of oil in the air the analytical AFA filters, the counter AZ-5 (29), inertial probes 13, 25 are used. The oil temperature in the aerosol generator, oil and gas mixture in front of and behind the working area and the measuring areas is determined by chromel-capleville thermocouples connected to the potentiometer of the PP-63type. The consumption of oil air medium through the consumption measuring areas is defined by the differential pressure on the orifice at the atmospheric pressure, and then is converted to parameters of the mixture in front of the working area and in front of the samplers.

The results are presented in Table 1.

Experimental studies have shown that in the studied range of the initial pollutant concentrations (from 20 to 40 g/m³), gas pressure (from 3 to 4 MPa) at the

ного аерозолі. Для визначення концентрації масла в повітрі використовуються аналітичні фільтри АФА, лічильник АЗ-5 (29), інерційні зонди 13, 25. Температура масла в генераторі аерозолі, маслоповітряної суміші перед і за робочою ділянкою та в мірних ділянках визначається хромель-копелевими термопарами, підключеними до потенціометрів типу ПП-63. Витрата маслоповітряного середовища через витратомірні ділянки визначається за перепадом тисків на дросельні шайби при атмосферному тиску, а потім перераховується для параметрів суміші перед робочою ділянкою і перед пробовідбірниками.

Результати досліджень представлені в табл. 1.

Проведені експериментальні дослідження показали, що в дослідженому діапазоні початкових концентрацій забруднювача (від 20 до 40 г/м³), тисків газу (від 3 до 4 МПа) при витраті стиснутого повітря 10 г/с сумарний коефіцієнт ефективності очищення турбоімпаکتного масловіддільника становить: для першого ступеня 92,0–98,6%, а для двох ступенів 99,7–99,9% при перепаді тиску біля 0,06 МПа. Вихідна концентрація масляного аерозолі в середньому становить 40–50 мг/м³, що повністю задовольняє сучасним вимогам до систем суфлювання ГТУ.

Навантаження ГТД імітувались зміною витрат маслоповітряної суміші через сепаратор: від 6 до 11 г/с, що відповідає основним режимам роботи двигуна установки (рис. 4).

Встановлено, що сумарний коефіцієнт ефективності очищення турбоімпаکتного масловіддільника становить біля 99,9% на всіх досліджуваних режимах при варіюванні початковою концентрацією забруднювача $C_{вх}$ від 2 до 30 г/м³. При цьому перепад тисків дорівнює 0,09–0,13 МПа.

На підставі виконаних досліджень створено дослідний зразок турбоімпаکتного масловіддільника для очищення газу систем суфлювання перспективних ГТУ замкнутого циклу.

Таблиця 1. Результати експериментальних досліджень турбоімпаکتного масловіддільника стиснутих газів системи суфлювання ГТУ замкнутого циклу

№	$G_{пов},$ г/с	$T_{вх},$ °C	$C_{вх},$ г/м ³	$P,$ МПа	$\Delta P,$ МПа	$C_{вих},$	$g_{вих},$	$\eta_{\Sigma},$ %	$C_{вих},$	$g_{вих},$	$\eta_{\Sigma},$ %	$\Delta\eta_{\Sigma},$ %
						г/м ³	кг/год		г/м ³	кг/год		
						<i>first level</i> перший ступінь			<i>output level</i> вихідний ступінь			
1	10,0	50	20,01	3,0	0,06	0,5	0,007	97,5	0,04	0,0006	99,81	2,31
2	10,0	50	35,76	3,0	0,06	0,55	0,0073	98,5	0,05	0,00065	99,86	1,36
3	10,0	50	35,98	3,0	0,06	0,52	0,0074	98,5	0,06	0,0008	99,83	1,33
4	10,0	50	20,67	3,0	0,06	0,60	0,0078	92,0	0,08	0,0009	99,71	7,71
5	10,0	50	40,87	3,0	0,06	0,54	0,0073	98,5	0,05	0,0007	99,88	1,38
6	10,0	50	36,89	4,0	0,06	0,5	0,0075	96,5	0,04	0,0006	99,90	3,30
7	10,0	50	35,38	4,0	0,06	0,51	0,0074	98,6	0,04	0,0006	99,89	1,39
8	10,0	50	39,87	4,0	0,06	0,55	0,0073	98,6	0,051	0,0007	99,87	1,27
9	10,0	50	36,79	4,0	0,06	0,52	0,0075	98,6	0,045	0,00065	99,88	1,28
10	10,0	50	37,98	4,0	0,06	0,51	0,0074	98,6	0,05	0,0007	99,87	1,27

consumption of the compressed air 10 g/s the total coefficient of efficiency of turboimpact purification of the oil separator for the first level is 92.0–98.6%, and 99.7–99.9% for two levels at the pressure drop of about 0.06 MPa. The initial concentration of the oil aerosol is approximately 40–50 mg/m³ which fully meets the modern requirements to breathing systems of GTI.

The capacity of GTI was simulated by changing the consumption of oil and air mixture through the separator: from 6 to 11 g/s which corresponds to the basic operation modes of the engine installation (Fig. 4).

It is stated that the total coefficient of efficiency of purification of the turboimpact oil separator is about 99.9% in all the studied modes under the variation of the initial concentration of the pollutant $C_{\text{вих}}$ from 2 to 30 g/m³. In this case the differential pressure is equal to 0.09–0.13 MPa.

On the basis of these studies the exploratory prototype of the turboimpact oil separator for gas purification of breathing systems of perspective GTI of closed cycle is developed.

CONCLUSIONS. 1. The test installation for the study of operation processes of the turboimpact high-pressure separator of breathing systems of GTI of closed cycle is developed in the form of a wind tunnel of open type with the simulation of the medium of increased pressure.

2. Experimental studies have shown that in the studied range of the initial pollutant concentrations (from 20 to 40 g/m³), gas pressure (from 3 to 4 MPa) at the consumption of the compressed air 10 g/s the total coefficient of efficiency of turboimpact purification of the oil separator for the first level is 92.0–98.6%, and 99.7–99.9% for two levels at the pressure drop of about 0.06 MPa. The initial concentration of oil aerosol is approximately 40–50 mg/m³.

3. On the basis of the studies the detailed drawings are developed and the exploratory prototype of the turboimpact oil separator for gas purification of breathing systems of perspective GTI of closed cycle is developed.

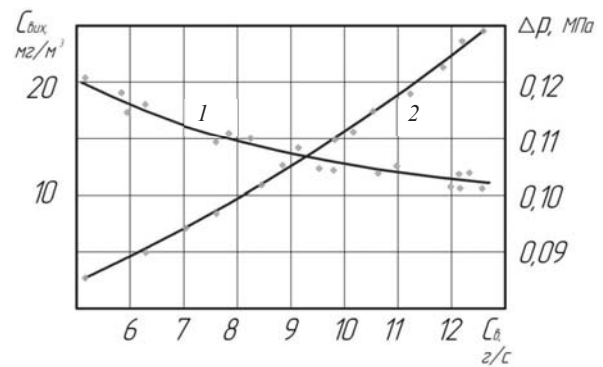


Fig. 4. Dependence of the output concentration of oil (1) and aerodynamic resistance (2) of air consumption through the turboimpact oil separator at the inlet oil concentration of 15 g/m³ and the gas temperature 50 °C.

Рис. 4. Залежність вихідної концентрації масла (1) і аеродинамічного опору (2) від витрати повітря через турбоімпаکتний масловіддільник при вхідній концентрації масла 15 г/м³ та температурі газу 50 °C

ВИСНОВКИ. 1. Розроблено та створено експериментальний стенд для дослідження робочих процесів турбоімпаکتного сепаратора підвищеного тиску систем суфлювання ГТУ замкнутого циклу у вигляді аеродинамічної труби відкритого типу з моделюванням середовища підвищеного тиску.

2. Проведено експериментальні дослідження сепаратора підвищеного тиску систем суфлювання ГТУ замкнутого циклу в стендових умовах, які показали, що в дослідженому діапазоні початкових концентрацій забруднювача (від 20 до 40 г/м³), тисків газу (від 3 до 4 МПа) при витраті стиснутого повітря 10 г/с сумарний коефіцієнт ефективності очищення турбоімпаکتного масловіддільника становить: для першого ступеня 92,0–98,6%, а для двох ступенів 99,7–99,9% при перепаді тиску біля 0,06 МПа. Вихідна концентрація масляного аерозолу в середньому становить 40–50 мг/м³.

3. На підставі виконаних досліджень розроблено робочі креслення і виготовлено дослідний зразок турбоімпаکتного масловіддільника для очищення газу систем суфлювання перспективних ГТУ замкнутого циклу.

Список литературы

- [1] Судовые и стационарные газотурбинные установки закрытого цикла [Текст] / С. Н. Гаврилов, Г. Г. Жаров, А. А. Канаев, И. З. Копп, Ю. В. Смолкин. — Л.: Судостроение, 1971. — 288 с.
- [2] Створення універсальних транспортних суден та засобів океанотехніки : монографія / С. С. Рижков, В. С. Блінцов, Г. В. Єгоров, Ю. Д. Жуков, В. Ф. Квасницький, К. В. Кошкін, І. В. Кривцун, В. О. Некрасов, В. В. Севрюков, Ю. В. Солоніченко. — С. 8 глава
- [3] **Бильк Б. И.** Исследование маслоотделителя для ГТД ДП 73 / Бильк Б. И., Рижков С. С., Рижков С. С. (ст.) // Тезисы докладов 4-й Международной научно-технической конференция «Проблемы энергосбережения и экологии в судостроении», Николаев, 2005. — С. 287–288.
- [4] **Рижков Р. С.** Вдосконалення масловологовіддільників енергосистем стисненого повітря на основі гідродинамічних розрахунків [Електронний ресурс] / Р. С. Рижков, О. С. Рижков // Вісник НУК. — 2013. Вип. 2 Режим доступу: <http://evn.uos.edu.ua>

- [5] Белоусов, В. В. Теоретические основы процессов газоочистки [Текст] / В. В. Белоусов. — М. : Metallurgiya, 1988. — 256 с.
- [6] Медников, Е. П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей [Текст] / Е. П. Медников. — М. : Наука, 1981. — 176 с.
- [7] 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.
- [8] Інтенсифікація осадження рідкої фази у сепараторах багатofазних 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.
- [9] Рижков, С. С. Інтенсифікація осадження високодисперсних частинок у лабіринтному сепараторі за рахунок термофоретичних ефектів [Текст] / С. С. Рижков // Вісник НУК. — Миколаїв : НУК, 2011.
- [10] Рыжков, С. С. Интенсификация осаждения жидких частиц за счет поперечных пульсаций сеток гофрированного коагулятора [Электронный ресурс] / С. С. Рыжков, Н. А. Гончарова // Вісник НУК. — Миколаїв: НУК, 2010. — Режим доступу: <http://ev.nuos.edu.ua>.
- [11] Рыжков, С. С. Исследование газодинамики сепарационного профиля маслоотделителя [Электронный ресурс] / С. С. Рыжков, И. В. Литвинов // Вісник НУК. — Миколаїв: НУК, 2010. — Режим доступу: <http://ev.nuos.edu.ua>.
- [12] Рижков С. С. Дослідження газодинаміки 3D моделі турбоімпаکتного сепаратора з радіальним коагуляційним елементом палив підвищеного тиску [Текст] / С. С. Рижков, Р. С. Рижков, О. С. Борцов // Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні: Матеріали VIII міжнародної науково-технічної конференції. Миколаїв. 2013 р.

© С. И. Сербин, Р. С. Рыжков

Статью рекомендует в печать
д-р техн. наук, проф. *Б. Г. Тимошевский*

ПРОФИЛЬНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ В УКРАИНЕ

Международная научно-техническая конференция ИННОВАЦИИ В СУДОСТРОЕНИИ И ОКЕАНОТЕХНИКЕ

Направления работы НТК:

Инновации в судостроении и судоремонте; Методы исследований в конструировании и проектировании судов; Технологии и материалы в судовом машиностроении; Инновационные средства усовершенствования СЭУ; Холод в энергетике; Эко- и техногенная безопасность в судостроении; Безопасность мореплавания; Инновации в судовых электротехнических системах и автоматике; Управление программами и проектами в судостроении; Экономические вопросы судостроения; Инновации в подготовке кадров для отрасли; Морское транспортное право

Организаторы:



По вопросам участия в конференции обращайтесь в оргкомитет:

каб. 456, просп. Героев Сталинграда, 9, г. Николаев, Украина, 54025

+ (380512) 70-91-04; 70-91-00; fax: + (380512) 43-07-95;

e-mail: conference@nuos.edu.ua <http://conference.nuos.edu.ua/>