



Serhiy S. Ryzhkov
Рыжков Сергей Сергеевич

УДК 502/504:629.5
P93

USE OF AEROSOL GRADIENT TECHNOLOGIES IN SEPARATION EQUIPMENT FOR SHIPBUILDING AND MARINE INFRASTRUCTURE

ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОЗОЛЬНЫХ ГРАДИЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СЕПАРАЦИОННОМ ОБОРУДОВАНИИ ДЛЯ СУДОСТРОЕНИЯ И МОРСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

DOI 10.15589/SMI. 2015.01.08

Serhiy S. Ryzhkov

С. С. Рыжков, канд. техн. наук, доц.
sergiy.ryzhkov@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0002-2201-6172

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaev

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, г. Николаєв

Abstract. A new approach to ensure high level of resource and environmental safety for shipbuilding and marine infrastructure through the use of technology in aerosol gradient separation equipment was developed. A wide range of theoretical and experimental studies which allowed working out aerosol gradient technologies using gradient fields of speed, pulsation, temperature, pressure, acoustic vibrations and the schemes of complex clearing intensification was carried out. On the basis of developed technologies a wide range of resource-saving and environmental equipment for shipbuilding and marine infrastructure was designed and implemented.

Keywords: aerosol gradient technologies; separation equipment; gradient field; resource and environmental safety.

Аннотация. Разработан новый подход обеспечения высокого уровня ресурсосбережения и экологической безопасности для судостроения и морской инфраструктуры за счет применения аэрозольных градиентных технологий в сепарационном оборудовании. Выполненный широкий комплекс теоретических и экспериментальных исследований, позволивший разработать аэрозольные градиентные технологии с использованием градиентных полей скоростей, пульсаций, температур, давлений, акустических колебаний и схемы комплексной интенсификации очистки. На базе разработанных технологий создан и внедрен широкий спектр ресурсосберегающего и экологического оборудования для судостроения и морской инфраструктуры.

Ключевые слова: аэрозольные градиентные технологии; сепарационное оборудование; градиентное поле; ресурсосбережение и экологическая безопасность.

Анотація. Розроблено новий підхід забезпечення високого рівня ресурсозбереження та екологічної безпеки для суднобудування і морської інфраструктури за рахунок застосування аерозольних градієнтних технологій в сепараційному обладнанні. Виконаний широкий комплекс теоретичних і експериментальних досліджень, що дозволив розробити аерозольні градієнтні технології з використанням градієнтних полів швидкостей, пульсацій, температур, тисків, акустичних коливань і схеми комплексної інтенсифікації очищення. На базі розроблених технологій створений і впроваджений широкий спектр ресурсозберігаючого та екологічного обладнання для суднобудування і морської інфраструктури.

Ключові слова: аерозольні градієнтні технології; сепараційне обладнання; градієнтне поле; ресурсозбереження та екологічна безпека.

References

- [1] Kalvert S., Inglund G. M. *Zashchita atmosfery ot promyshlennykh zagryazneniy: spravochnik, ch. 1* [Atmosphere protection from industrial pollution: reference book, part 1]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1988. 760 p.
- [2] Kalvert S., Inglund G. M. *Zashchita atmosfery ot promyshlennykh zagryazneniy: spravochnik, ch. 2* [Atmosphere protection from industrial pollution: reference book, part 2]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1988. 770 p.

- [3] Sazhin T. M., Krechun K. N., Botez N. *Uderzhanie NO_x i SO₂ iz dymovykh gazov v elektricheskikh polyakh* [NO_x and SO₂ retention out of flue gases in electric fields]. *Promyshlennaya teplotekhnika. Mezhdunarodnyy nauchno-prikladnyy zhurnal* — Industrial heat engineering. International applied scientific journal. Kiev, 2003, no. 4, pp. 193–196.
- [4] Straus V. *Promyshlennaya ochestka gazov* [Industrial gas cleaning]. Moscow, Khimiya Publ., 1981. 583 p.
- [5] Hall D. E., King D. B., Morgan T. B. A review of recent literature investigating of the measurement of automotive particulate; the relationship with environment aerosol, air quality and health effect. *Ibid*, 1998, no. 982602, pp. 53–65.
- [6] Ryzhkov S. S. Ship complex installation of clearing oil mixture of water. Proceedings of the third international conference on marine industry. Varna, 2001, vol. 2, pp. 285–288.

Problem statement. In the third millennium the development of shipbuilding and marine infrastructure raises new requirements for efficient use of resources and environmental safety. In the process of construction and operation of ships, port operations, offshore platforms gas, liquid and solid discharges get into the environment. Power plants and systems use gaseous and liquid environments as the operating fluids. This two-phase fluids are performed as exhaust gases and aerosols of different systems and technological processes, oily water, which is formed by mixing the leak of fuel and lubricating oils, cooling water and condensate, hydrocarbon vapors in the ship engine rooms, cutting fluids of the metalworking workshops etc.

The appearance of polydisperse medium in the environment causes the pollution and loss of expensive materials such as oils. High and low potential energy emission should be used for the purification of gases and polluted water. Thus the general problem of separation and utilization of gas, liquid and solid discharges should be solved through the comprehensive clearing intensification.

Latest research and publications analysis. Over the last years some progress in the creation of technologies and production of purification equipment has been achieved. In this area there are some widely known studies by V. Strauss [1] S. Calvert and G.M. Inglund [2, 3], researchers of Admiral Makarov National University of Shipbuilding (Nikolaev), as well as by foreign researchers [4, 5]. These studies show the developed and used types of separation equipment. The presented analysis of the composition and aerosols characteristics [1–4], which is supplemented with new data, indicates that the particles have polydisperse composition (from less than 1 micrometer to large ones — more than 100 micrometers) and vapours.

This allows defining new methods of particle settling intensification on account of hydrodynamic forces. It also advantageous for the use of intensification of processes of particles transport to the deposition surfaces due to the velocity gradient fields, pulsation, pressure, temperature, acoustic vibrations for creating a compact separation equipment.

Постановка проблемы. В третьем тысячелетии развитие морской инфраструктуры и судостроения ставит новые требования к обеспечению ресурсосбережения и экологической безопасности. В процессе постройки и эксплуатации судов, работы портов, морских платформ в окружающую среду попадают газообразные, жидкие и твердые выбросы. Энергетические установки и системы используют газообразные и жидкие среды в качестве рабочих тел. Это двухфазные среды в виде отработанных газов и аэрозолей от разных систем и технологических процессов, нефтесодержащие воды, которые образуются от смешивания протечек топлива и смазывающих масел с охлаждающей водой и конденсатом, пары углеводородов в машинных отделениях судов, смазочно-охлаждающие жидкости металлообрабатывающих цехов и др.

Попадание полидисперсных сред в окружающую среду вызывает загрязнение окружающей среды и потерю дорогостоящих материалов, например масел. Высоко и низко потенциальную энергию выбросов целесообразно использовать для очистки газов и загрязненной воды. Таким образом, общую задачу сепарации и утилизации газовых, жидких и твердых выбросов необходимо решать за счет комплексной интенсификации очистки [1–6].

Анализ последних достижений и публикаций. В последние годы достигнуты определенные успехи в создании технологий и производства очистного оборудования. В этой области широко известны работы В. Страуса [1], С. Калверта и Г. М. Инглунда [2, 3], Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова (г. Николаев), а также зарубежных исследователей в этих направлениях [4, 5]. В этих работах показаны разработанные и используемые типы сепарационного оборудования. Анализ состава и свойств аэрозолей представленный в работе [1–4] и дополненный новыми данными, показывает, что частицы имеют полидисперсный состав — от зародышевых менее 1 мкм до крупных — более 100 мкм и пары, табл. 1.

Это позволяет определить новые методы интенсификации осаждения частиц за счет гидродинамических сил. Представляет интерес использование интенсификации процессов переноса частиц к поверхностям осаждения за счет градиентных полей скоростей, пульсаций, давлений, температур, акустических колебаний для создания компактного сепарационного оборудования.

Table 1. Emission sources of dispersed two-phase media in shipbuilding and marine industry

Таблица 1. Источники выбросов дисперсных двухфазных сред в судостроении и морской индустрии

Source Источник	Aerosol composition Состав аэрозоля	Output concentration, g/m ³ Концентрация на выходе, г/м ³	Concentration after the operating purifier, g/m ³ Концентрация после штатных очистителей, г/м ³	Particle size before purifi- cation, mcm Размеры частиц до очистки, мкм	Particle size after purification, mcm Размеры частиц после очистки, Мкм
1	2	3	4	5	6
<i>Exhaust gases system of thermal engines (Internal combustion engine, turbine engine) and boilers</i> Системы выпускных газов тепловых двигателей (ДВС, ГТД), котлов	CO C _x H _y NO _x С НСОН	0,2...0,5 0,2...0,4 0,4...0,2 0,01...0,01 0,001...0,01 0,075...0,01 0,07...0,35	No purifiers Очистители отсутствуют	— 0,4...5,0 1...100 1...2000	— 0,4...5,0 1...50 1...50
<i>ICE crankcase ventilation system</i> Системы вентиляции картера ДВС	Oil Масляный	1,0...20,0	0,4...2,0	0,5...200	0,5...50
<i>Turbine engine breather system</i> Система суфлирования ГТД	Oil Масляный	200...5000	Centrifugal breather / центробежные суфлеры: 2,0...10,0; static oil separators / статические маслоотделители: 0,6...1,0	0,1...500	Centrifugal breather / центробежные суфлеры: 0,1...50,0; static oil separa- tors / статические маслоотделители: 0,1...4,0
<i>Main geared turbines reducer</i> Редуктор главного турбозубчатого агрегата	Oil Масляный	0,25...0,5	0,05	0,03...20	0,03...1,0
<i>Compressors</i> Компрессоры	Water-oil Водомасляный	5,0...10,0	0,05...0,5	0,5...500,0	0,5...20,0
<i>Oil tank of Main circulating pump of Atomic Power Station</i> Маслобак главного циркулярного насоса АЭС	Oil Масляный	0,25...0,5	No purifiers Очистители отсутствуют	0,5...50,0	0,5...50,0
<i>Conditioning systems.</i> Системы кондиционирования (КВ)	Water Водяной	0,25...0,5	Louvered / жалюзийные 0,1...0,2	0,5...50,0	0,5...20
<i>Drying technologies</i> Технологии сушки	Emulsion drops Капли эмульсий	10...100	Louvered / жалюзийные 0,1...0,2	0,5...500,0	0,5...30,0
<i>Fuel and oil tanks ventilation systems</i> Системы вентиляции топливных и масляных цистерн, танков	Oil products va- pours and drops Капли и пары нефтепродуктов	0,5...50	Ventilation valves Сапуны	5...50	5...50
<i>Boilers, fuel combustion incinerators (exhaust gas)</i> Котлы, инсинераторы при сжигании топлива (выпускные газы)	CO C _x H _y NO _x С НСОН	0,2...0,5 0,2...0,4 0,4...0,2 0,01...0,01 0,001...0,01 0,075...0,01 0,07...0,35	Spark-preventer Искрогасители	20...200	20...50
<i>Engine and boiler room ventilation systems</i> Системы вентиляции	Fuel and oil drops and vapours Капли и пары масла и топлива	0,1...0,3	No purifiers Отсутствуют	2...20	2...20
<i>Gas boiler pass blowoff</i> Продувка газоходов, котлов	Soot Сажа	0,05...0,2	Spark-preventer Искрогасители	2...200	2...50
<i>Agents leaks from the air conditioning system</i> Утечки агентов из системы КВ	Vapours Пары	0,005...0,1	No purifiers Отсутствуют	Vapours Пары	Vapours Пары

THE ARTICLE AIM is to develop aerosol gradient technologies (AGT) for separation equipment which is used at power sites of shipbuilding and marine infrastructure. AGT is expected to use the gradient fields of speed, pulsation, temperature, pressure, acoustic vibrations.

Basic material. Basic mechanisms and physical processes of particles deposition in the aerosol technologies and quantitative indicators are shown in Fig. 1.

Physical processes of the above presented AGT can be characterized by the following processes of movement of medium that flows around the deposition surface: highly turbulent jets, turbophoretic, turbulent-diffusion, thermophoretic, acoustic, eddy and tear. In addition, with the possible phases of the movement processes the processes of their interaction are possible — coagulation, grinding, heat and mass transfer. Different variants of the sequences of these processes and their quantitative trait indicators allow to obtain various physical models and variants of design solutions for the equipment.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ — разработка аэрозольных градиентных технологий (АГТ) для сепарационного оборудования, применяемого на энергетических объектах судостроения и морской инфраструктуры. АГТ предполагает использование градиентных полей скоростей, пульсаций, температур, давлений, акустических колебаний.

Изложение основного материала. Основные механизмы и физические процессы осаждения частиц в аэрозольных технологиях и их количественные показатели приведены на рис 1.

Физические процессы вышеуказанной АГТ можно характеризовать следующими процессами движения среды, обтекающей поверхность осаждения: высокотурбулентных струй, турбофоретическим, турбулентно-диффузионным, термофоретическим, акустическим, вихревым и отрывным. Дополнительно с движением фаз возможны процессы их взаимодействия — коагуляции, дробления, тепло- и массообмена. Различные варианты последовательностей таких процессов и количественных признаков их показателей позволяют получать различные физические

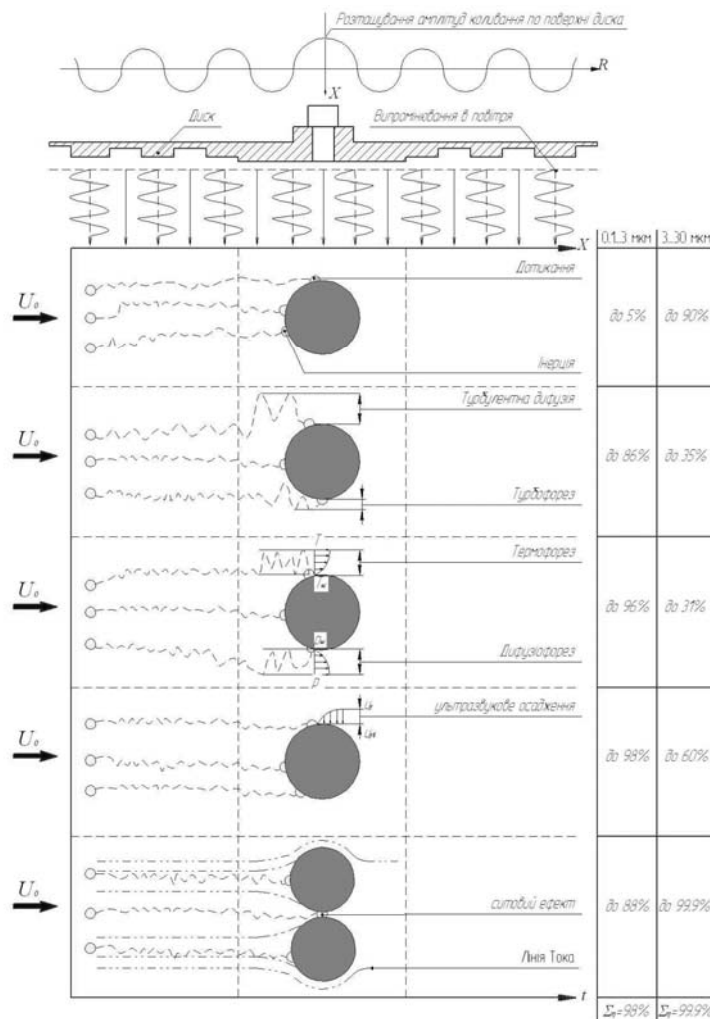


Fig. 1. The basic mechanisms and processes of deposition in aerosol gradient technologies of separation and their performance indicators

Рис. 1. Основные механизмы и процессы осаждения в аэрозольных градиентных технологиях сепарации и показатели их эффективности

The solution is carried out on the basis of a systematic approach. This allowed to explore the complex aerodynamic system in the form of a polydisperse medium stage by stage, from individual processes in their totality, and thus to determine the conditions of intensification of comprehensive treatment, and to form technology and equipment construction based on them.

The mathematical model of the process. Used mathematical model of the processes of particle transport in the channel is based on the transport equation of Reynolds stress with individual stress analysis ($u'_i u'_j$) and has the form:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho \overline{u'_i u'_j}) + \frac{\partial}{\partial x_k}(\rho u_k \overline{u'_i u'_j}) = & \frac{\partial}{\partial x_k} \left[\frac{\mu_T}{\sigma_T} \frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_k} \right] + \\ & + \frac{\partial}{\partial x_k} \left[\mu_L \frac{\partial}{\partial x_k} (\overline{u'_i u'_j}) \right] - \\ & - \rho \left[\overline{u'_i u'_k} \frac{\partial u_j}{\partial x_k} + \overline{u'_i u'_k} \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \right] - 2\mu_L \frac{\partial u'_i}{\partial x_k} \frac{\partial u'_j}{\partial x_k}. \end{aligned}$$

where t — the temperature; u' — fluctuating velocity component; x — coordinate; μ — viscosity; u — speed; ρ — the density; i, j, k — the coordinates of the indices and vector quantities of 1 and 2; indices: T — turbulent; L — molecular.

By analogy with the transport equation of Reynolds stress to account for non-isothermal process parameters convective heat transfer by means of the energy equation has been calculated:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \frac{\partial}{\partial x_i} [u_i (\rho E + P)] = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(k + \frac{C_p \mu_T}{Pr_T} \right) \frac{\partial T}{\partial x_i} + u_i (\tau_{ij})_{eff} \right],$$

where τ is calculated as:

$$\tau = \mu_{eff} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) - \frac{2}{3} \mu_{eff} \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \delta_{ij},$$

where $\mu_{eff} = \mu_T + \mu_L$;

E — energy; τ — stress tensor; k — kinetic energy of turbulence; P — generated voltages; C — coefficient; indices: p — particle, L — molecular.

To simulate the trajectories of dispersed two-phase medium particles there was solved the equation of motion [1], which takes into account the particles inertia force and other basic forces acting on it. In Cartesian coordinates, this equation can be written as follows:

$$\frac{\partial u_p}{\partial t} = F_D + \frac{g_x (\rho_p - \rho)}{\rho_p} + F_i,$$

where F_D — resistance force for unit mass of the particles:

$$F_D = \frac{18\mu}{p_p d_p^2} \frac{C_D}{24} Re,$$

модели, а также варианты конструктивных решений для оборудования. Решение проблемы проведены на основе системного подхода. Это позволило сложную аэродинамическую систему в виде полидисперсной среды исследовать поэтапно, от отдельных процессов к их совокупностям, и в результате определять условия комплексной интенсификации очистки, и на их основе формировать технологию и конструкцию оборудования.

Математическая модель процесса. Используемая математическая модель процессов переноса частиц в канале основана на транспортном уравнении напряжений Рейнольдса с расчетом индивидуальных напряжений ($u'_i u'_j$) и имела вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho \overline{u'_i u'_j}) + \frac{\partial}{\partial x_k}(\rho u_k \overline{u'_i u'_j}) = & \frac{\partial}{\partial x_k} \left[\frac{\mu_T}{\sigma_T} \frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_k} \right] + \\ & + \frac{\partial}{\partial x_k} \left[\mu_L \frac{\partial}{\partial x_k} (\overline{u'_i u'_j}) \right] - \\ & - \rho \left[\overline{u'_i u'_k} \frac{\partial u_j}{\partial x_k} + \overline{u'_i u'_k} \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \right] - 2\mu_L \frac{\partial u'_i}{\partial x_k} \frac{\partial u'_j}{\partial x_k}. \end{aligned}$$

где t — температура; u' — пульсационная составляющая скорости; x — координата; μ — вязкость; u — скорость; ρ — плотность; i, j, k — индексы координаты и векторных величин, равные 1 и 2; индексы: T — турбулентный; L — молекулярный.

По аналогии с транспортным уравнением напряжений Рейнольдса для учета неизоэтермических параметров процесса выполнен расчет конвективного теплопереноса с помощью уравнения энергии:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \frac{\partial}{\partial x_i} [u_i (\rho E + P)] = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(k + \frac{C_p \mu_T}{Pr_T} \right) \frac{\partial T}{\partial x_i} + u_i (\tau_{ij})_{eff} \right],$$

где τ рассчитывался как:

$$\tau = \mu_{eff} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) - \frac{2}{3} \mu_{eff} \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \delta_{ij},$$

где $\mu_{eff} = \mu_T + \mu_L$;

E — энергия; τ — тензор напряжений; k — кинетическая энергия турбулентности; P — генерация напряжений; C — коэффициент; индексы: p — частица, L — молекулярный.

Для моделирования траекторий дисперсных частиц двухфазной среды решалось уравнение движения [1], которое учитывало силу инерции частицы и другие основные силы, воздействующие на нее. В декартовых координатах это уравнение записывалось следующим образом:

$$\frac{\partial u_p}{\partial t} = F_D + \frac{g_x (\rho_p - \rho)}{\rho_p} + F_i,$$

где F_D — сила сопротивления для единицы массы частицы:

$$F_D = \frac{18\mu}{p_p d_p^2} \frac{C_D}{24} Re,$$

$$\text{Re} = \rho d_p \frac{|u_p - u|}{\mu},$$

where F_i — the additional forces exerted on the particle; d — diameter particles; m — mass of the particle.

The drag coefficient C_D is calculated as follows:

$$C_D = \frac{24}{\text{Re}} \left(1 + b_1 \text{Re}^{b_2} \right) + \frac{b_3 \text{Re}}{b_4 + \text{Re}},$$

where b_i — asked polynomial coefficients.

The equation takes into account the additional forces that act on the particle. To account for the settling of the particles under the influence of forces of inertia, acceleration should be considered when flowing around the particle. The force of inertia is determined by:

$$F_1 = \frac{1}{2} \frac{\rho}{\rho_k} \frac{\partial}{\partial t} (u - u_k).$$

Lateral displacement of the particles can be caused not only by the gradient of the averaged velocity of the gas, but the heterogeneity of the field of his fluctuating speeds. The unevenness of the velocity profile leads to the direction of displacement of a particle in the direction of reducing the pulsation intensity. This effect, commonly referred to as the turbulent migration or turbophoresis, is calculated as follows:

$$F_2 = -0,5m_k \frac{\partial u_k'^2}{\partial y}.$$

Additional force of particle transport occurs in the event of a pressure drop and is called difusiophoretic force, which can be found:

$$F_3 = \left(\frac{P}{P_w} \right) u_k \frac{\partial u}{\partial x}.$$

The calculation of the flow of the separation equipment for AGT. On the basis of a mathematical model the calculation of hydrodynamic and thermal characteristics in the construction of hydrodynamic separators was carried out, applying the possibilities for intensification of precipitation AGT. The initial and boundary conditions were set according to the parameters of operation of ship power and process plants.

Calculation of multi-jet separator with AGT. The results of the calculation of the distribution of the longitudinal and transverse velocity component, static pressure, turbulent kinetic energy and the degree of turbulent energy dissipation in the separator are analysed.

The calculations confirmed the separation of the boundary layer to form the reverse currents (the field of negative values of the longitudinal velocity) and large amounts of vortex above the surface turbulent with significant energy potential.

$$\text{Re} = \rho d_p \frac{|u_p - u|}{\mu},$$

где F_i — дополнительные силы, действующие на частицу; d — диаметр частицы; m — масса частицы.

Коэффициент сопротивления C_D рассчитывался так:

$$C_D = \frac{24}{\text{Re}} \left(1 + b_1 \text{Re}^{b_2} \right) + \frac{b_3 \text{Re}}{b_4 + \text{Re}},$$

где b_i — полиномиально задаваемые коэффициенты.

Уравнение учитывает дополнительные силы F_i , которые действуют на частицу. Для учета осаждения частиц под действием силы инерции, необходимо учитывать ускорение потока обтекающего частицу. Сила инерции определяется:

$$F_1 = \frac{1}{2} \frac{\rho}{\rho_k} \frac{\partial}{\partial t} (u - u_k).$$

Поперечное смещение частиц может быть вызвано не только градиентом осредненной скорости газа, но и неоднородностью поля его пульсационных скоростей. Неравномерность профиля скорости приводит к направленному смещению частицы в сторону уменьшения интенсивности пульсаций. Этот эффект, обычно именуемый турбулентной миграцией или турбофорезом, рассчитывается по формуле:

$$F_2 = -0,5m_k \frac{\partial u_k'^2}{\partial y}.$$

Дополнительная сила переноса частиц появляется в случае возникновения перепада давления и называется дифузиофоретической силой, которую можно найти:

$$F_3 = \left(\frac{P}{P_w} \right) u_k \frac{\partial u}{\partial x}.$$

Расчет проточной части сепарационного оборудования для использования АГТ. На основе математической модели выполнены расчет гидродинамических и теплофизических характеристик в конструкциях гидродинамических сепараторов с учетом возможности применения для интенсификации осаждения АГТ. Начальные и граничные условия задавались в соответствии с параметрами эксплуатации судовых энергетических и технологических установок.

Расчет многоструйного маслоотделителя с АГТ. Проанализированы результаты расчета распределения продольной и поперечной составных скоростей, статического давления, кинетической энергии турбулентности и степени диссипации турбулентной энергии в сепараторе.

Расчеты подтвердили отрыв пограничного пласта с образованием обратных течений (области негативных значений продольной скорости) и больших вихревых объемов над поверхностью со значительным турбулентным энергетическим потенциалом.

На рис. 2 показано распределение скорости для маслоотделителя системы суфлирования для диапазона расхода рабочей среды $G = 80 \text{ м}^3/\text{час}$.

Figure 2 shows the velocity distribution of the oil separator venting system for the working environment flow range $G = 80 \text{ m}^3/\text{h}$.

On the basis of the research, a new cage design has developed (Table 2, the separator number 1) which functionally corresponds to world standards.

Calculation of non-isothermal separator. Non-isothermal jet scrubber with a grid (mechanical) is based on coagulator transfer intensification methods in non-isothermal flows and characterized in that the module has cooled jet plate and the screen, creating a temperature gradient. Figure 3 shows the calculation of the distribution of the working medium speed horizontal slice channel in a three-dimensional model of the separator number 2 at $G = 80 \text{ m}^3/\text{h}$.

The deposition of particles in the ring mesh coalescers is investigated; the deposition rate is defined as a function of flow rate, the number of rows and the diameter of the wire mesh. To achieve rational values of microparticle capture efficiency and energy costs of cleaning, it is advisable to apply the coagulant, which is made of successively arranged rows multilayer mesh wires with different diameters.

On the basis of the principles developed by the treatment and disposal of emissions created by the physical model and the investigations, a new cage design has developed (Table 2, the separator number 2), which functionally corresponds to world standards.

Separation Equipment for cleaning high-pressure gases. For the implementation of methods for intensifying the transfer of fine particles there was developed a generalized sequence of process workflows on the basis of which created new design cleaning machines (Table 1, the separator number 3) for high-pressure systems, which functionally corresponds to the world standards. Figure 4 shows a horizontal section of the working medium velocity distribution in a three-dimensional model of the channel separator № 3 at $G = 1000 \text{ kg}/\text{h}$.

На основе выполненных исследований, разработана новая конструкция сепаратора (табл. 2, сепаратор № 1), которая по функциональности соответствует мировым аналогам.

Расчет неизотермического сепаратора. Струйный газоочиститель с неизотермическим сеточным (механическим) коагулятором основан на методах интенсификации переноса в неизотермических потоках и отличается тем, что струйный модуль имеет охлаждаемую пластину и экран, что создает градиент температур. На рис. 3 представлен расчет распределения скорости рабочей среды в канале горизонтального среза в трёхмерной модели сепаратора № 2 при $G = 80 \text{ м}^3/\text{час}$.

Исследовано осаждение частиц в кольцевых сетчатых коагуляторах, определена скорость осаждения в зависимости от скорости потока, числа рядов и диаметра проводов сеток. Чтобы достичь рациональных значений из эффективности улавливания микрочастиц и энергетических затрат на очистку, целесообразно применить коагулятор, который сделан из последовательно расположенных многослойных рядов сеток с разными диаметрами проволок.

На основе разработанных принципов очистки и утилизации выбросов, созданной физической модели и выполненных исследований, разработана новая конструкция сепаратора (табл. 2, сепаратор № 2), которая по функциональности соответствует мировым аналогам.

Сепарационное оборудование для очистки газов повышенного давления. Для осуществления методов интенсификации переноса высокодисперсных частиц разработана обобщенная технологическая последовательность рабочих процессов на основе которой создана новая конструкция аппаратов очистки (табл. 1, сепаратор № 3), для систем повышенного давления, которая по функциональности соответствует мировым аналогам. На рис. 4 представлен горизонтальный срез распределения скорости рабочей среды в канале в трёхмерной модели сепаратора № 3 при $G = 1000 \text{ кг}/\text{час}$.

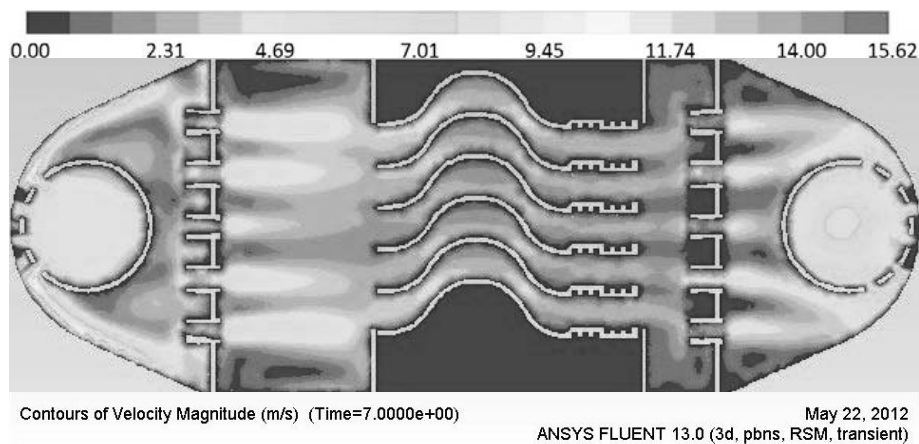


Fig. 2. The horizontal slice allocation working fluid velocity in the duct in the three-dimensional model of the separator 1 at $G = 80 \text{ m}^3/\text{h}$

Рис. 2. Горизонтальный срез распределения скорости рабочей среды в канале в трёхмерной модели сепаратора № 1 при $G = 80 \text{ м}^3/\text{час}$

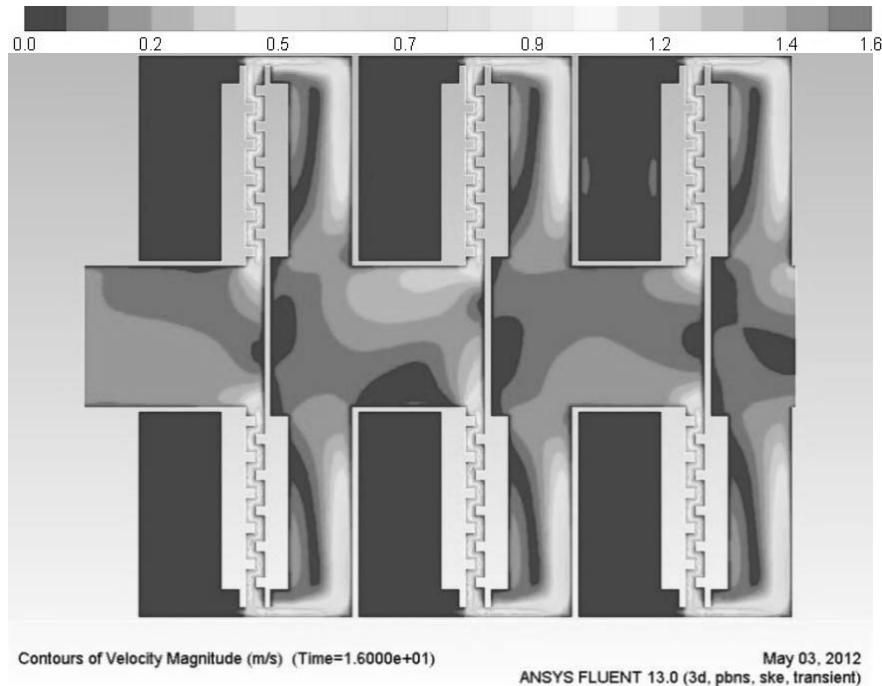


Fig. 3. Horizontal shear distribution channel in the operating environment of three-dimensional velocity model of the separator 2 at $G = 80 \text{ m}^3/\text{h}$

Рис 3. Горизонтальный срез распределения скорости рабочей среды в канале в трёхмерной модели сепаратора № 2 при $G = 80 \text{ м}^3/\text{час}$

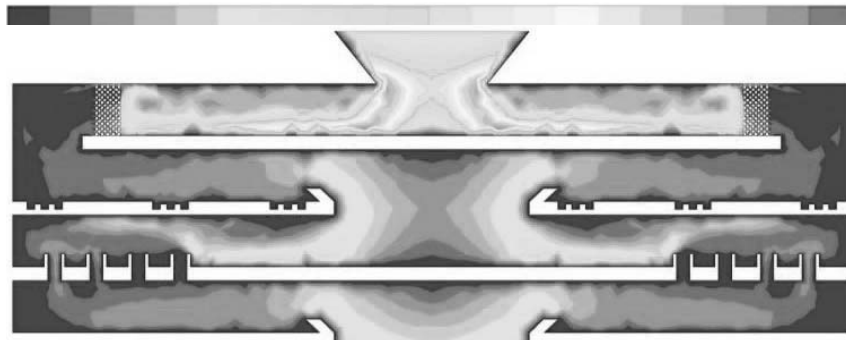


Fig. 4. The horizontal section of the working medium velocity distribution in a three-dimensional channel model of the separator 3 at $G = 1000 \text{ kg}/\text{hour}$

Рис 4. Горизонтальный срез распределения скорости рабочей среды в канале в трёхмерной модели сепаратора № 3 при $G = 1000 \text{ кг}/\text{час}$

Basic scrubber spray module provides complete capture of droplets with a diameter greater than 5 microns. Inkjet module purification system represents "nozzle-plate" and a mechanical coalescer. Spray scrubber module recommended for cleaning gas streams of high pressure (10 MPa) at a concentration drops to $100 \text{ g}/\text{m}^3$. Rational cost bulk modulus through the jet ranges from 1.0 to $2000 \text{ m}^3/\text{h}$. Increased performance is achieved by a multi structure drift eliminators - up to 8 units arranged in a single package. Its three-dimensional view is shown under number 3 in the Table 2.

Separation Equipment for installation of processing of plastic waste by pyrolysis multiplanimetric. Figure 5 denotes a horizontal section of the working medium velocity distribution in the channel separator in a three-

Базовый газоочиститель со струйным модулем обеспечивает полное улавливание капель диаметром более 5 мкм. Струйный модуль очищения представляет систему «сопло-пластина» и механический коагулятор. Газоочистители со струйным модулем рекомендуются для очистки газовых потоков повышенного давления (до 10 МПа) с концентрацией капель до $100 \text{ г}/\text{м}^3$. Рациональные объемные затраты через струйный модуль лежат в пределах от 1,0 до $2000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Увеличение производительности достигается многомодульной конструкцией каплеуловителей — до 8 модулей, размещенных в одном корпусе. Его трехмерный вид показан под № 3 в табл. 2.

Сепарационное оборудование для установки переработки полимерных отходов методом многоконтурного пиролиза. На рис. 5 обозначен

dimensional model № 4 at $G = 80$ kg/h. New design cleaning machines (Table 1, the separator number 4) functionality corresponding to world standards.

The separation of exhaust gas treatment equipment. Figure 6 shows a horizontal section of the working medium of velocity distribution in the channel in the three-dimensional model of the separator 5, with $G = 80$ kg/h. New design cleaning machines (Table 1, the separator number 5) on the functionality corresponds to world standards.

General characteristics of the separator are shown in Figure 6, Table 2.

Separation Equipment for cleaning oil mist in the technical-conditioning systems. Figure 7 shows a horizontal section of the working medium velocity distribution in a three-dimensional channel model of the separator 6 at $G = 80$ kg/h. New design cleaning machines (Table 1, the separator 6) functionality corresponds to world standards.

горизонтальный срез распределения скорости рабочей среды в канале в трёхмерной модели сепаратора №4 при $G = 80$ кг/час. Новая конструкция аппаратов очистки (табл. 1, сепаратор № 4) по функциональности соответствует мировым аналогам.

Сепарационное оборудование очистки выпускных газов. На рис. 6 изображен горизонтальный срез распределения скорости рабочей среды в канале в трёхмерной модели сепаратора № 5 при $G = 80$ кг/ч. Новая конструкция аппаратов очистки (табл. 1, сепаратор № 5) по функциональности соответствует мировым аналогам.

Общие характеристики сепаратора представлены на рис. 6 в табл. 2.

Сепарационное оборудование для очистки масляного аэрозоля в системах технического кондиционирования. На рис. 7 показан горизонтальный срез распределения скорости рабочей среды в канале в трёхмерной модели сепаратора № 6 при $G = 80$ кг/ч. Новая конструкция аппаратов очистки (табл. 1, сепаратор № 6) по функциональности соответствует мировым аналогам.

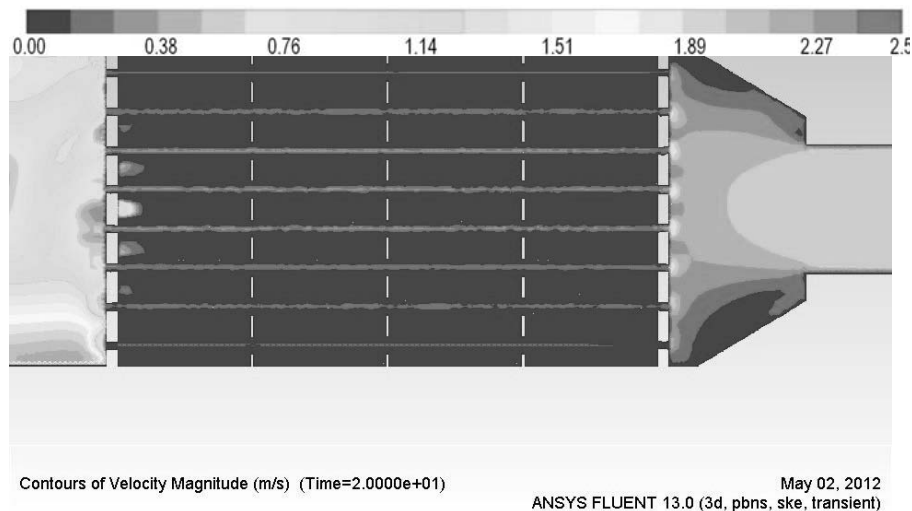


Fig. 5. The horizontal section of the distribution of the working fluid velocity in the channel in a three-dimensional model of the separator 3 at $G = 80$ kg/h

Рис 5. Горизонтальный срез распределения скорости рабочей среды в канале в трёхмерной модели сепаратора №3 при $G = 80$ кг/час

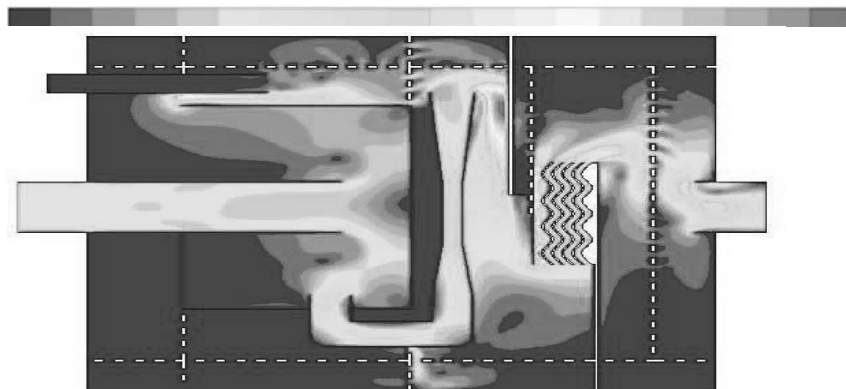


Fig. 6. The horizontal section of the distribution of the working fluid velocity in the channel in the three-dimensional model of the separator 5 at $G = 80$ kg/h

Рис. 6. Горизонтальный срез распределения скорости рабочей среды в канале в трёхмерной модели сепаратора № 5 при $G = 80$ кг/час

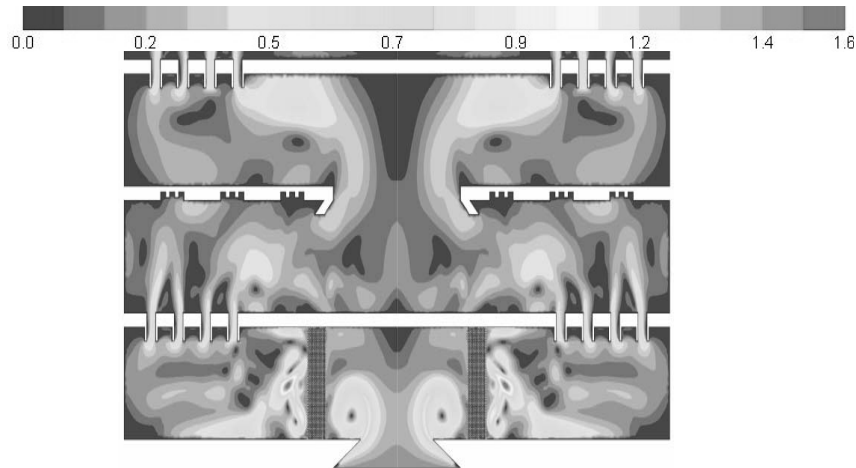


Fig. 7. The horizontal slice working medium in the distribution channel in the three-dimensional model of the separator 6 No rate at $G = 80$ kg/h

Рис 7. Горизонтальный срез распределения скорости рабочей среды в канале в трёхмерной модели сепаратора №6 при $G = 80$ кг/час

The use of aerosol gradient technologies in the development and improvement of the separation equipment. The use of AGT in improving and refining oil separators for venting systems, marine gas turbine engines of the third and fourth generation has significantly reduced weight and overall dimensions, to increase the reliability and efficiency of treatment, which is 99.99% of the economic benefit of up to 10...15 thousand USD per GTD. They are higher than world analogues, have improved reliability and introduced marine turbine engine production NVKG "Zorya-Mashproekt" in ships GTD 4th generation: DN 80 and DW 90, DW 80, TG 110, TG and unit capacity of 16, 25 and 110 MW and others. The novelty of the designs was confirmed by copyright certificates.

Proposed AGTs are used in the development of oil separators for crankcase ventilation of internal combustion engine systems; for apparatuses for: 1) capture liquid aerosols; 2) the evaporative cooling water; 3) cleaning exhaust gases of heat engines and boilers; 4) cleaning the air inlet to the compressor (turbine engine, compressor stations); 5) capture oil mist in the venting systems of gas turbine engines; 6) capture the oil mist in the crankcase ventilation of internal combustion engines; 7) the purification of compressed air and gases; 8) evaporating oily water treatment; 9) purifying the complex of water and gases; 10) capture the oil mist in the machine and boiler rooms and others.

Table 2 consists of diagrams and photographs of the separation equipment with AGT of different capacities for marine power and process plants of shipbuilding and maritime infrastructure. They were tested at the Research Institute of the EEP stands of NUS in accordance with appropriate program and methods of determining the efficiency of c coefficients, aerodynamic drag, and others.

ратор №6) по функциональности соответствует мировым аналогам.

Применение аэрозольных градиентных технологий при разработке и совершенствовании сепарационного оборудования. Применение АГТ при совершенствовании и доработке маслоотделителей для систем суфлирования судовых газотурбинных двигателей третьего и четвертого поколения позволило существенно снизить массогабаритные показатели, увеличить надежность и эффективность очистки, которая составляет 99,99% с экономическим эффектом до 10...15 тыс. долларов США на один ГТД. Они превышают мировые аналоги, имеют повышенную надежность и внедрены в судовых ГТД производства НВКГ «Зоря-Машпроект» в судовых ГТД 4-го поколения: ДН 80 и ДГ 90, ДГ 80, ГТГ 110 для ГТГ и ГПА мощностью 16, 25 и 110 МВт и др. Новизна конструкций подтверждена авторскими свидетельствами.

Предложенные в работе АГТ использованы при разработке маслоотделителей для систем вентиляции картера ДВС; для аппаратов по: 1) улавливанию жидких аэрозолей; 2) испарительному охлаждению воды; 3) очистке выпускных газов тепловых двигателей и котлов; 4) очистке воздуха на входе в компрессоры (ГТД, компрессорных станций); 5) улавливанию масляного аэрозоля в системах суфлирования ГТД; 6) улавливанию масляного аэрозоля в системах вентиляции картера ДВС; 7) очищению сжатого воздуха и газов; 8) испарительной очистки нефтесодержащих вод; 9) комплексного очищения воды и газов; 10) улавливанию масляного аэрозоля машинно-котельных отделений и др.



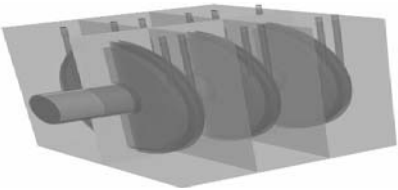



В табл. 2 представлены схемы и фотографии сепарационного оборудования с применением АГТ различной производительностью для судовых энергетических и технологических установок судостроения и морской инфраструктуры. Они были испытаны на стендах НИИ ПЭЭ НУК по соответствующей программе и методике с определением коэффициентов эффективности, аэродинамического сопротивления и др.

Table 2. Estimated net and separators photos

Таблица 2. Расчетные сетки и фото сепараторов

1			<p>CHARACTERISTICS Flow medium — up to 400 m³/hour Pressure drop — to 1.5 kPa Unlike analogues • The use of regenerable mesh coalescers • The use of inkjet technology</p>	<p>ХАРАКТЕРИСТИКИ Расход среды — до 400 м³/ч Аэродинамическое сопротивление — до 1,5 кПа Отличие от аналогов: • Применение regenerable сеточных коагуляторов • Применение струйных технологий</p>	<p>THE EFFICIENCY OF CLEARING Summary • more than 99.9% Fractional • drops of more than 10 microns to 100% • drops of greater than 5 microns 96% • drops from 3 mm to 70% • from droplets greater than 1 micron up to 50%</p>	<p>ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ Суммарная • больше 99,9% Фракционная • от капель больше 10 мкм на 100% • от капель больше 5 мкм на 96% • от капель 3 мкм до 70% • от капель больше 1 мкм до 50%</p>
Scope: GTE		Область применения: ГТД				
2			<p>CHARACTERISTICS Flow medium — up to 100 m³/hour Drag — to 1,5 kPa Unlike analogues • The use of regenerable mesh coalescers • The use of inkjet technology</p>	<p>ХАРАКТЕРИСТИКИ Расход среды — до 100 м³/ч Аэродинамическое сопротивление — до 1,5 кПа Отличие от аналогов • Применение regenerable сеточных коагуляторов • Применение струйных технологий</p>	<p>THE EFFICIENCY OF CLEARING Summary • more than 99.9% Fractional • drops of more than 10 microns to 100% • drops of greater than 5 microns 96% • drops from 3 mm to 70% • from droplets greater than 1 micron up to 50%</p>	<p>ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ Суммарная • больше 99,9% Фракционная • от капель больше 10 мкм на 100% • от капель больше 5 мкм на 96% • от капель 3 мкм до 70% • от капель больше 1 мкм до 50%</p>
Scope: Systems of technical air conditioning		Область применения: Системы технического кондиционирования воздуха				
3			<p>CHARACTERISTICS Flow medium — up to 2000 m³/h Drag — to 1,5 kPa Unlike analogues • The use of regenerable mesh coalescers • The use of inkjet technology</p>	<p>ХАРАКТЕРИСТИКИ Расход среды — до 2000 м³/ч Аэродинамическое сопротивление — до 1,5 кПа Отличие от аналогов • Применение regenerable сеточных коагуляторов • Применение струйных технологий</p>	<p>THE EFFICIENCY OF CLEARING Summary • more than 99.9% Fractional • drops of more than 10 microns to 100% • drops of greater than 5 microns 96% • drops from 3 mm to 70% • from droplets greater than 1 micron up to 50%</p>	<p>ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ Суммарная • больше 99,9% Фракционная • от капель больше 10 мкм на 100% • от капель больше 5 мкм на 96% • от капель 3 мкм до 70% • от капель больше 1 мкм до 50%</p>
Scope: Fuel Gas Purification System		Область применения: Система очистки топливного газа				

End of Table 2 / Окончание таблицы 2

			
<p>4</p> <p>CHARACTERISTICS Flow medium — up to 70 m³/h Drag — to 1,5 kPa Unlike analogues • The use of regenerable mesh coalescers • The use of inkjet technology</p>	<p>ХАРАКТЕРИСТИКИ Расход среды — до 70 м³/ч Аэродинамическое сопротивление — до 1,5 кПа Отличие от аналогов • Применение регенерируемых сеточных коагуляторов • Применение струйных технологий</p>	<p>THE EFFICIENCY OF CLEARING Summary • more than 99.9% Fractional • drops of more than 10 microns to 100% • drops of greater than 5 microns 96% • drops from 3 mm to 70% • from droplets greater than 1 micron up to 50%</p>	<p>ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ Суммарная • больше 99,9% Фракционная • от капель больше 10 мкм на 100% • от капель больше 5 мкм на 96% • от капель 3 мкм до 70% • от капель больше 1 мкм до 50%</p>
<p>Scope: System of exhaust gases of heat engines</p>		<p>Область применения: Системы выпускных газов тепловых двигателей</p>	
			
<p>5</p> <p>CHARACTERISTICS Flow medium — up to 100 m³/hour Drag — to 1,5 kPa Unlike analogues • The use of regenerable mesh coalescers • The use of inkjet technology</p>	<p>ХАРАКТЕРИСТИКИ Расход среды — до 100 м³/ч Аэродинамическое сопротивление — до 1,5 кПа Отличие от аналогов • Применение регенерируемых сеточных коагуляторов • Применение струйных технологий</p>	<p>THE EFFICIENCY OF CLEARING Summary • more than 99.9% Fractional • drops of more than 10 microns to 100% • drops of greater than 5 microns 96% • drops from 3 mm to 70% • from droplets greater than 1 micron up to 50%</p>	<p>ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ Суммарная • больше 99,9% Фракционная • от капель больше 10 мкм на 100% • от капель больше 5 мкм на 96% • от капель 3 мкм до 70% • от капель больше 1 мкм до 50%</p>
<p>Scope: cleaning system of oily waters</p>		<p>Область применения: Система очистки нефтесодержащих вод</p>	
			
<p>6</p> <p>CHARACTERISTICS Flow medium — up to 20 m³/h Drag — to 1,5 kPa Unlike analogues • The use of regenerable mesh coalescers • The use of inkjet technology</p>	<p>ХАРАКТЕРИСТИКИ Расход среды — до 20 м³/ч Аэродинамическое сопротивление — до 1,5 кПа Отличие от аналогов • Применение регенерируемых сеточных коагуляторов • Применение струйных технологий</p>	<p>THE EFFICIENCY OF CLEARING Summary • more than 99.9% Fractional • drops of more than 10 microns to 100% • drops of greater than 5 microns 96% • drops from 3 mm to 70% • from droplets greater than 1 micron up to 50%</p>	<p>ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ Суммарная • больше 99,9% Фракционная • от капель больше 10 мкм на 100% • от капель больше 5 мкм на 96% • от капель 3 мкм до 70% • от капель больше 1 мкм до 50%</p>
<p>Scope: Crankcase Ventilation System</p>		<p>Область применения: Системы вентиляции картера</p>	

Conclusions. The studies have shown the efficiency of aerosol gradient technology to create and improve the separation equipment for power plants, used in shipbuilding and maritime infrastructure.

Выводы. Проведенные исследования показали эффективность применения аэрозольных градиентных технологий для создания и совершенствования сепарационного оборудования для энергетических установок, используемых в судостроении и морской инфраструктуре.

Список литературы

- [1] Защита атмосферы от промышленных загрязнений: справочник ч. 1 [Текст] / Под ред. С. Калверта и Г. М. Инглунда. — М. : Металлургия, 1988. — 760 с.
- [2] Защита атмосферы от промышленных загрязнений: справочник ч. 2 [Текст] / Под ред. С. Калверта и Г. М. Инглунда. — М. : Металлургия, 1988. — 770 с.
- [3] **Сажин Т. М.** Удержание NO_x и SO_2 из дымовых газов в электрических полях [Текст] / Т.М. Сажин, А.Т. Кречун, К.Н. Ботез // Промышленная теплотехника. Международный научно-прикладной журнал. — Киев, 2003. — № 4. — С. 193–196.
- [4] **Страус В.** Промышленная очистка газов [Текст] / В. Страус. — М. : Химия, 1981. — 583 с.
- [5] **Hall D.E.** A review of recent literature investigating of the measurement of automotive particulate; the relationship with environment aerosol, air quality and health effect [Text] / D.E. Hall, D.B. King, T.B. Morgan et al. // Ibid. — 1998. — № 98 (2602). — pp. 53–65.
- [6] **Ryzhkov S.S.** Ship complex installation of clearing oil mixture of water [Текст] / S.S. Ryzhkov // Proceedings of the third international conference on marine industry. — Varna : Bulgaria, 2001. — vol. 2. — pp. 285–288.

© С. С. Рыжков

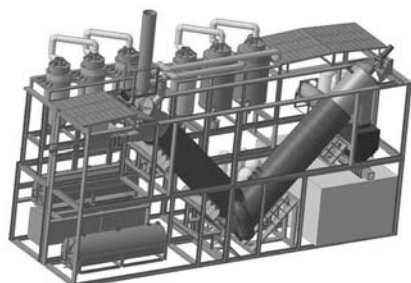
Статью рекомендует в печать
д-р техн. наук, проф. *Б.Г. Тимошевский*



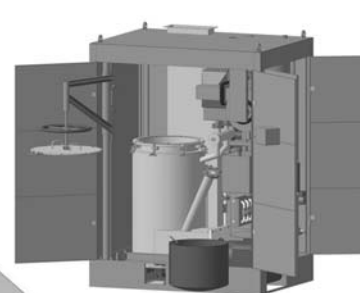
Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова
**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЭКОЛОГИИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

ЦЕНТР ПИРОЛИЗНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

● Создание универсальных комплексов по переработке полимерных отходов на основе многоконтурного пиролиза



● Проектирование и изготовление подающих узлов и агрегатов пиролизных комплексов переработки отходов



● Проектирование и изготовление установок переработки медицинских полимерных отходов

● Разработка комплексов по получению синтез-газа и жидких альтернативных топлив

просп. Героев Сталинграда, 9, каб. 455
тел.: +38 (0512) 70-94-44

◆ г. Николаев, Украина, 54025
◆ e-mail: sergiy.ryzhkov@nuos.edu.ua

Подробная информация: nuos.edu.ua/science/