

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫСОКОГО УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПОСТРОЙКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

С. С. Рыжков, проф., д-р техн. наук

Национальный университет кораблестроения, г. Николаев

Аннотация. Разработан новый подход к обеспечению высокого уровня экологической безопасности при постройке и эксплуатации судов за счет внедрения аэрозольных технологий. Выполнен широкий комплекс теоретических и экспериментальных исследований, позволивший разработать схемы комплексной интенсификации очистки, которая осуществляется с использованием энергетического потенциала самих аэрозольных выбросов от энергоустановок. Разработан и внедрен широкий спектр экологического и энергосберегающего оборудования.

Ключевые слова: аэрозольные технологии, энергетический потенциал, интенсификация очистки, коагулятор, газоочиститель.

Анотація. Розроблено новий підхід щодо забезпечення високого рівня екологічної безпеки при побудові та експлуатації суден шляхом упровадження аерозольних технологій. Виконано широкий комплекс теоретичних і експериментальних досліджень, що дозволило розробити схеми комплексної інтенсифікації очищення, яке здійснюється завдяки використанню енергетичного потенціалу власне аерозольних викидів від енергоустановок. Розроблено і впроваджено широкий спектр екологічного та енергозберігаючого обладнання.

Ключові слова: аерозольні технології, енергетичний потенціал, інтенсифікація очищення, коагулятор, газоочисник.

Abstract. A new approach of providing a high level of ecological safety while building and maintaining ships at the expense of introduction of aerosol technologies was worked out. A wide complex of theoretical and experimental researches which made it possible to work out a scheme of complex purification intensification was done. Purification of discharges into the atmosphere, hydrosphere and lithosphere is done by using energy potential of spray emissions from the power installations themselves. A wide range of ecological and energy saving equipment was worked out and implemented.

Keywords: aerosol technologies, energy potential, cleaning intensification, coagulator, gas cleaner.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В третьем тысячелетии развитие судостроения и судостроения выдвигает новые требования к обеспечению экологической безопасности. В процессе постройки и эксплуатации судов в окружающую среду по-

падают газообразные, жидкие выбросы и твердые отходы. Энергетические установки и системы генерируют газообразные и жидкие среды — 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 теплоэнергетических объектов; смазочно-охлаждающие жидкости металлообрабатывающих цехов и др.

Попадание аэрозольных сред в окружающее пространство вызывает загрязнение атмосферы и потерю дорогостоящих материалов, например масел. Их улавливание и возвращение в технологический процесс позволяет решать как экологические, так и ресурсосберегающие проблемы. Газовые выбросы — разные по происхождению, составу и параметрам, некоторые содержат дорогие материалы, имеют высоко- и низкопотенциальную энергию, которую целесообразно использовать для очистки газов и загрязненной воды методом выпаривания. В общем случае задачу очистки и утилизации газовых и жидких выбросов можно решать за счет применения аэрозольных технологий.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ДОСТИЖЕНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В последние годы достигнуты определенные успехи в создании очистного оборудования по улавливанию аэрозолей для судостроения и судовых энергетических установок. В этой области широко известны работы В. Страуса [16], С. Калверта и Г.М. Инглунда [11], Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова (г. Николаев), а также зарубежных исследователей в этих направлениях [15, 17]. Во многих работах отмечается эффективность использования воды как нейтрализатора с подачей ее в зоны горения в составе топливо-водяной эмульсии в виде пара. Одновременно делаются попытки очистки выпускных газов от оксидов азота с помощью селективных каталитических фильтров с предварительной обработкой газов аммиаком. При достаточно высокой степени очистки такие фильтры дороги, имеют значительные массогабаритные показатели, сложны и опасны в эксплуатации из-за использования аммиака [17].

ЦЕЛЬЮ РАБОТЫ является повышение уровня экологической безопасности при постройке и эксплуатации судов за счет внедрения экологических и ресурсосберегающих аэрозольных технологий.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

В работе выполнен широкий комплекс теоретических и экспериментальных исследований. Решение проблемы проведено на основе системного подхода, что позволило сложную аэродинамическую систему в виде аэрозольной среды исследовать постепенно. Сначала изучались характеристики гидродинамики потока, затем вносились корректировки для проектирования. Решение дифференциальных уравнений гидродинамики потока осуществлялось на ЭВМ с помощью современного пакета прикладных программ типа FLUENT.

Экспериментальные установки и рабочие участки основаны на применении неконтактных методов измерений. Среди них голографическая интерферометрия в реальном времени [3], лазерная доплеровская анемометрия, поверхностная индикация потока, скоростная фотосъемка, оптические измерения дисперсности, концентрации частиц и др. Рабочие участки — это аэродинамические трубы, предназначенные для исследования процессов переноса в одно- и двухфазных средах в изотермических условиях и при наличии теплообмена. Скорость потока в рабочих участках достигала 70 м/с.

Результаты исследований. Для повышения уровня экологической безопасности использован новый способ применения аэрозольных технологий — очистка выбросов из судостроительных предприятий и судов в атмосферу, гидросферу и литосферу за счет энергетического потенциала самих аэрозольных выбросов. Анализ современного состояния газоочистительных устройств для судостроения и судов показал перспективу использования для очистки струйных аэрозольных технологий в неизотермических условиях, когда происходит обтекание поверхностей начальными участками струи. Общие закономерности более полно прояв-

ляются при нормальном обтекании плоской пластины осесимметричной струей.

Впервые создана новая физическая модель и доказано отрывное обтекание пластины начальным участком струи. Модель показана на рис. 1.

Как показал анализ физической сущности процессов на пластине, обтекаемой начальным участком струи, на ее поверхности составляются все необходимые условия для отрыва пограничного пласта. Выполненные эксперименты свидетельствуют, что в зоне отрыва профиль скорости имеет S-образный характер (рис. 2, 3) с противоположным током газов в верхней и нижней частях сечения. Отрыв пограничного пласта и его следующее разрушение сопровождаются периодическими выбросами больших газовых объемов, которые турбулизуют основной струйный поток. Эти эффекты зафиксированы специальными измерениями.

На основе математической модели выполнен расчет пограничного слоя в зоне удара и разворота струи в виде числового решения после преобразований системы уравнений Навье–Стокса и сплошности. Установлено, что толщина пограничного слоя не зависит от продольной координаты и постоянная; ее абсолютные значения не превышают 2 %

от диаметра (ширины) струи и не влияют на инерционное осаждение частичек. Полученные данные использованы как начальные условия для расчета точки отрыва на пластине методом продолжения. Численно решено уравнение пограничного слоя Прандтля. Определены профиль продольной скорости и радиус с нулевым значением касательных напряжений, которые свидетельствуют об отрыве пограничного слоя.

Получено типичное распределение продольной и поперечной составляющих скорости, статического давления, кинетической энергии турбулентности и степени диссипации турбулентной энергии в области пристенного течения струи для случаев обтекания при скоростях 15...50 м/с (рис. 4).

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.

Исследовано осаждение частиц в кольцевых и плоских сетчатых коагуляторах, определена скорость осаждения в зависимости от скорости потока, числа рядов и диаметра проводов сеток. Чтобы достичь рациональных значений эффективности улавливания

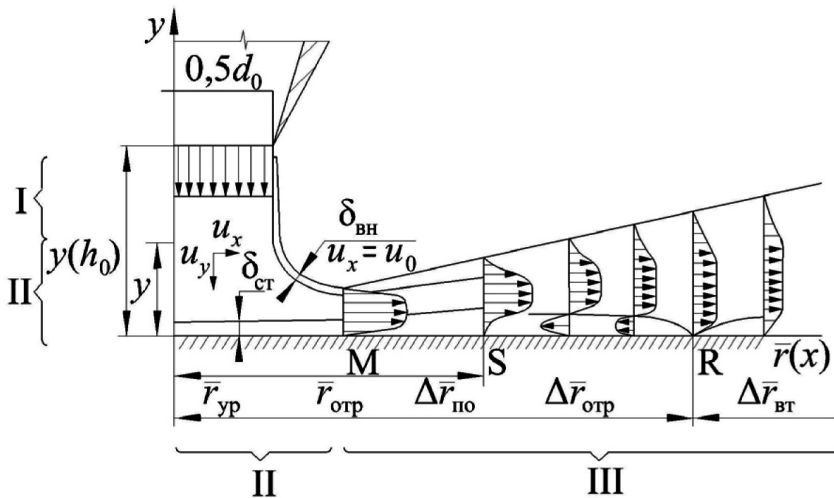


Рис. 1. Обтекание пластины начальным участком струи. Области течения: I — свободной струи; II — градиентного течения в зоне удара и разворота; III — пограничного. Размеры зон на пластине: $r_{ур}$ — удара и разворота; $r_{пр}$ — предотрывной; S — начала отрыва; $r_{отр}$ — отрывной; $r_{вт}$ — вторичного течения. Слои: $\delta_{ст}$ — пограничный; $\delta_{вн}$ — внешний

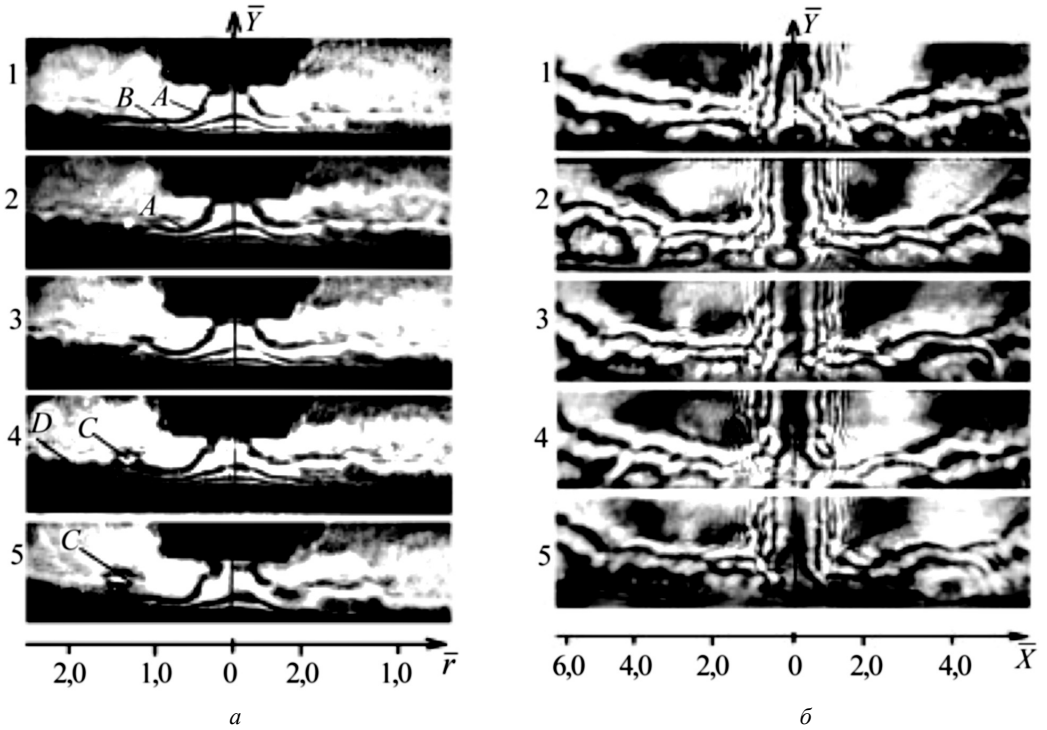


Рис. 2. Кинограммы интерферограмм обтекания пластины начальным участком осесимметричной (а) и плоской (б) струи при скорости 30 м/с и частоте кадров 6000/с

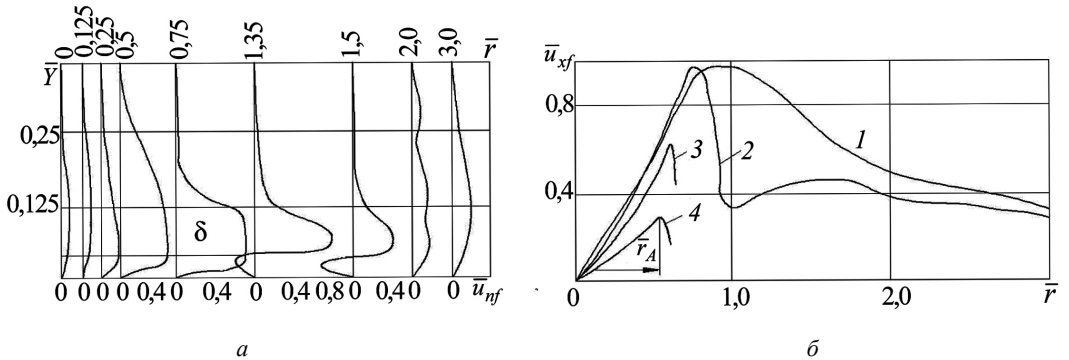


Рис. 3. Результаты типичного исследования распределения скорости с помощью лазерного анемометра при обтекании начальным участком струи в сечениях: а — вдоль пластины; б — вдоль струи (скорость 25 м/с; расстояние от пластины 1,25 диаметра сопла d_0); 1 — $0,1d_0$; 2 — $0,25d_0$; 3 — $0,4d_0$; 4 — $0,8d_0$

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 исследова-

ний разработана новая обобщенная схема комплексной интенсификации переноса массы для систем очистки и утилизации выбросов для изотермических аппаратов (рис. 5), которая по функциональности превосходит мировые аналоги.

В ней реализованы традиционные и новые методы интенсификации переноса как

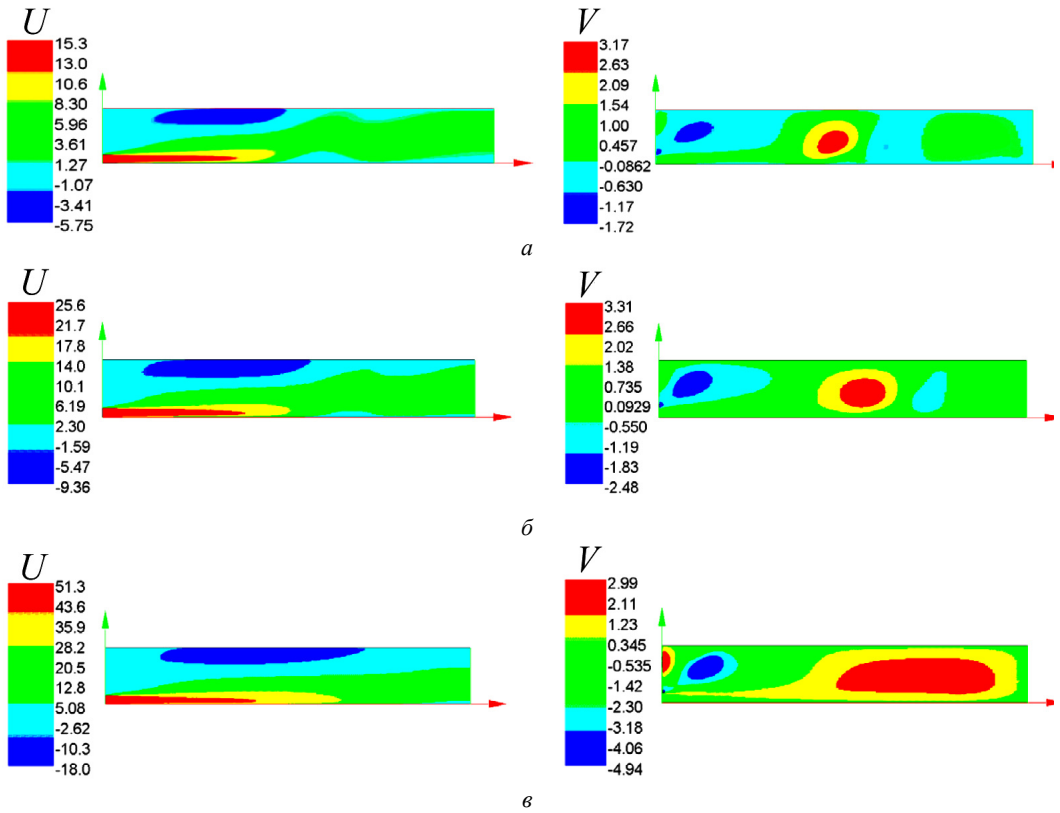


Рис. 4. Распределение продольной $u_{xf} = U$ и поперечной $u_{yf} = V$ составляющих скорости при обтекании плоской пластины в области пристенного течения в цифровой гамме при скоростях струи $u_0 = 15$ (а), 25 (б) и 50 м/с (в)

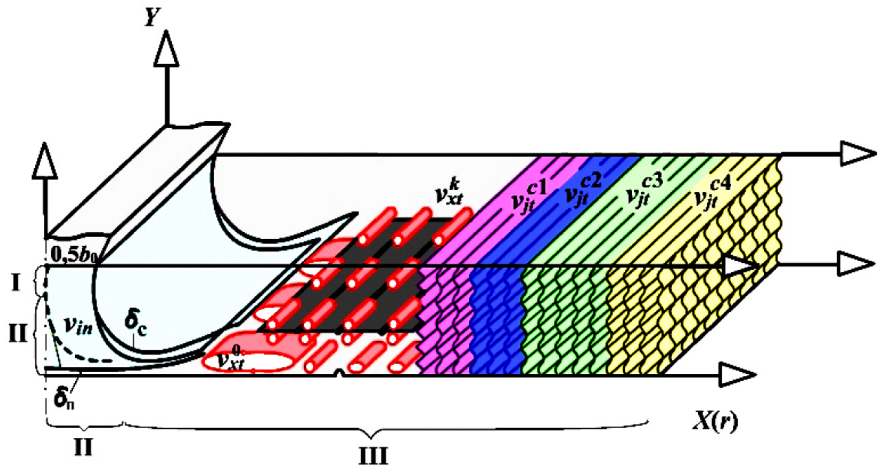


Рис. 5. Схема комплексной интенсификации переноса частичек в системе очистки начальный участок струи — сетчатый коагулятор. Области течения: I — свободной струи; II — градиентной; III — пристенной. Слои: δ — пристенный; δ_c — струйный; v_{in} — инерционное осаждение; v_t — турбофоретическое осаждение: v_{xr}^0 — в естественной отрывной зоне; v_{xr}^k — за выступами; $v_{yj}^{c1} - v_{yj}^{c4}$ — в коагуляторах в направлениях $j = x, y, z$

грубо-, так и высокодисперсных частиц за счет сил инерции, сил турбулентной диффузии, турбо- и термофореза; установлена рациональная последовательность использования методов в зависимости от инерционных свойств частиц.

Для реализации методов интенсификации переноса высокодисперсных и грубодисперсных частиц, создания базовых конструкций аппаратов очистки и утилизации выбросов разработана обобщенная технологическая последовательность рабочих процессов. Она использована для аппаратов по улавливанию жидких аэрозолей; испарительному охлаждению воды; очистке выпускных газов тепловых двигателей и котлов; очистке воздуха на входе в компрессоры (ГТД, компрессорных станций); улавливанию масляного аэрозоля в системах суфлирования ГТД; улавливанию масляного аэрозоля в системах вентиляции картера ДВС; очистке сжатого воздуха и газов; испарительной очистке нефтесодержащих вод; комплексной очистке воды и газов; улавливанию масляного аэрозоля металлообрабатывающих цехов.

На основе созданной аэрозольной технологии разработаны базовые экологические и ресурсосберегающие устройства по очистке и утилизации выбросов (рис. 6) [12, 14]. Они охватывают широкий интервал расходов газа и жидкости, требований к степени очистки и рабочих состояний дисперсной двухфазной среды. Их новизна подтверждена 30 авторскими свидетельствами и патентами. Во всех базовых устройствах первая стадия очистки совпадает со струйной ступенью. Расчеты и эксперименты показали, что на первой ступени можно полностью уловить капли диаметром более 20 мкм и частично меньшие.

Базовый газоочиститель со струйным модулем (рис. 6, а) обеспечивает полное улавливание капель диаметром более 5 мкм. Струйный модуль очищения представляет собой систему сопло – пластина и механический коагулятор. Базовый газоочиститель со струйным модулем содержит корпус 5 с патрубками подведения газа, которые переходят в сопло 1, патрубок слива жидкости. Напротив сопла 1 установлена плоская пластина-диск 3.

Между экраном сопла и пластиной 3 расположен кольцевой сетевой коагулятор 2, выполненный из сеток в виде спиральных гофрированных полос с противоположным наклоном гофров в соседних полосах. Внутреннее пространство корпуса образует отсек для гравитационного осаждения больших капель, которые выносятся из коагулятора. Газоочистители со струйным модулем рекомендуются для очистки газовых потоков повышенного давления (до 10 МПа) с концентрацией капель до 100 г/м³. Рациональные объемные затраты через струйный модуль находятся в пределах от 1,0 до 200 м³/ч. Увеличение производительности достигается многомодульной конструкцией каплеуловителей — до восьми модулей, размещенных в одном корпусе.

Базовые многомодульные газоочистители разработаны для повышенных расходов двухфазной среды с концентрацией жидкой фазы до 10000 г/м³ (рис. 6, б).

К прямоугольному или цилиндрическому корпусу газоочистителя присоединены V-образные входная и выходная камеры, в которых расположены раздатчики двухфазной среды в виде системы сопел 1. Между раздатчиком и внутренней стенкой входной V-образной камеры расположена перфорированная V-образная пластина. Нижняя часть V-образной камеры создает сбросовую камеру. За входной V-образной камерой установлены плоский перфорированный щит 9 и коагулятор 2. Для улавливания больших капель, которые выносятся из коагулятора, за ним размещен пакет одноволновых профилей НКИ с канавками 6, отводящими жидкость.

Базовый струйный газоочиститель с неизотермическим сетевым (механическим) коагулятором (рис. 6, в) основан на методах интенсификации переноса в неизотермических потоках и отличается тем, что струйный модуль имеет охлаждаемую пластину и экран. Для этого к ним с внешней стороны прикреплены теплообменники 7 или в теле пластины и экрана выполняются специальные канавки для теплоносителя. Их можно использовать в системах с повышенным давлением газа (до 10 МПа).

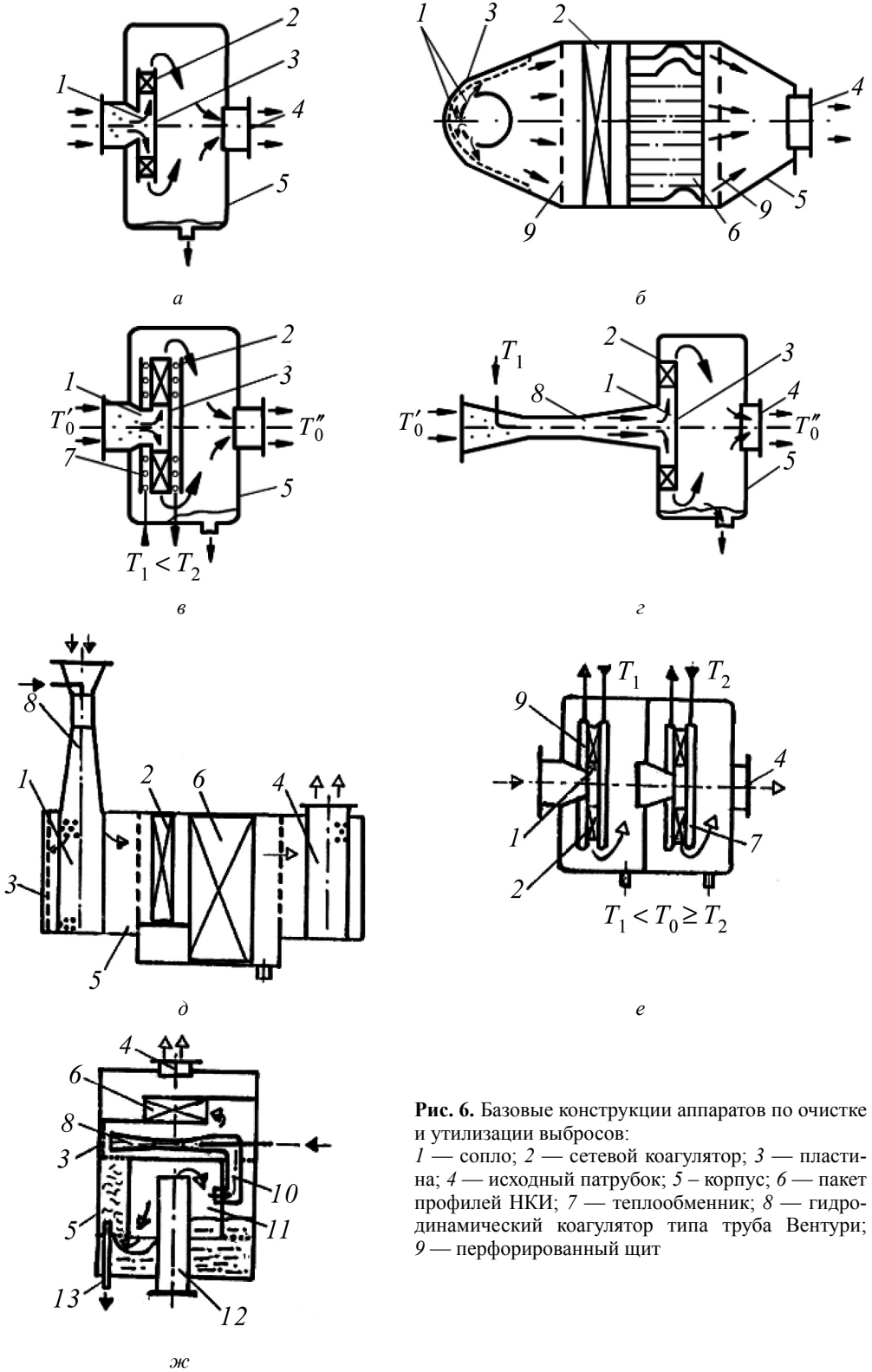


Рис. 6. Базовые конструкции аппаратов по очистке и утилизации выбросов:

1 — сопло; 2 — сетевой коагулятор; 3 — пластина; 4 — исходный патрубок; 5 — корпус; 6 — пакет профилей НКИ; 7 — теплообменник; 8 — гидродинамический коагулятор типа труба Вентури; 9 — перфорированный щит

Применение в струйных газоочистителях гидродинамических коагуляторов (рис. 6, *з, д*) позволяет снизить металлоемкость и осуществлять комплексную обработку очищаемой среды: коагуляцию частиц, конденсацию паров, охлаждение среды и др. В системах очистки выпускных газов среды можно использовать забортную воду, в системах суфлирования ГТД – масло и т. д.

Струйный газоочиститель с гидродинамическим коагулятором, показанный на рис. 6, *з* отличается тем, что коагулятор типа труба Вентури присоединен к струйному модулю на его входе, при этом исходная часть диффузора трубы Вентури выполняет роль сопла. Такой коагулятор можно применять также в многоструйном газоочистителе (рис. 6, *д*).

На рис. 6, *е* показан двухсекционный базовый струйный газоочиститель с неизотермическим сеточным (механическим) коагулятором. Количество секций может достигать трех-четырех в зависимости от требований к очистке. На рис. 6, *ж* приведена конструкция очистителя выпускных газов для судовых двигателей, которые работают на сменных режимах нагрузки.

Базовые конструкции позволили разрабатывать широкий круг аппаратов для очистки и утилизации выбросов. Общий вид промышленного образца маслоотделителя производительностью 100 м³/ч и его трехмерный вид показаны на рис. 7 [12, 14, 19, 21].

Маслоотделители разработаны для систем суфлирования судовых газотурбинных двигателей, систем вентиляции картера двигателей внутреннего сгорания. Эффективность очистки составляет 99,99 %. Они превосходят мировые аналоги, имеют повышенную надежность и внедрены в судовых ГТД производства НПКГ «Зоря–Машпроект», ГТД 3-го поколения: ДЖ 59, ДТ 59 ГПА-10, ГПА 12, ГПА 16; ГТГ 12, ГТГ 16; М 80 ГПА-25; ДР 77 ГПА 6 и ГТГ 6, ГТД ДП 73 — проект «Сингапур»; проект «Аksamит», М 29; 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. — всего более чем на 700 двигателях с экономическим эффектом от экономии масла 1...2 кг/ч. Новизна конструкций подтверждена авторскими свидетельствами [1, 2, 4, 6, 8, 9, 18, 20].

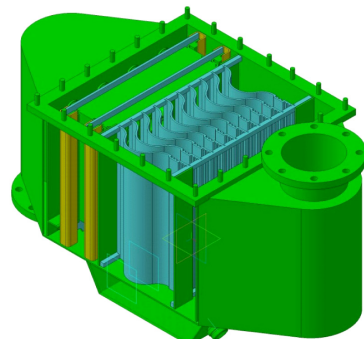
Для энергосистем сжатого воздуха судостроительных предприятий и судов разработаны конструкции, основанные на струйном модуле (рис. 8), согласно базовой конструкции (см. рис. 6, *а*).

Новизна конструкций струйных маслоотделителей подтверждена авторскими свидетельствами на изобретения СССР [1, 2, 6, 8]. По показателям они соответствуют мировым аналогам и внедрены более чем на 145 предприятиях.

Для очистки выпускных газов судовых двигателей разработан очиститель выпускных газов (рис. 9), конструкция которого защищена патентом [10]. Он может работать



а



б

Рис. 7. Общий вид промышленного образца маслоотделителя производительностью 100 м³/ч (*а*) и его трехмерный вид (*б*)

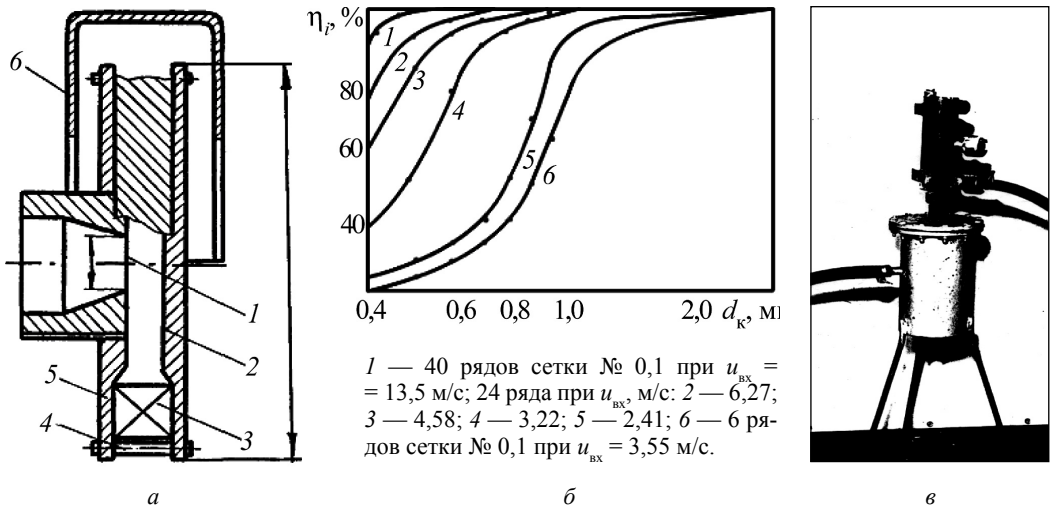


Рис. 8. Струйный модуль: *а* — схема; *б* — фракционная эффективность; *в* — фотография промышленного образца масловолагодотделителя с одним модулем

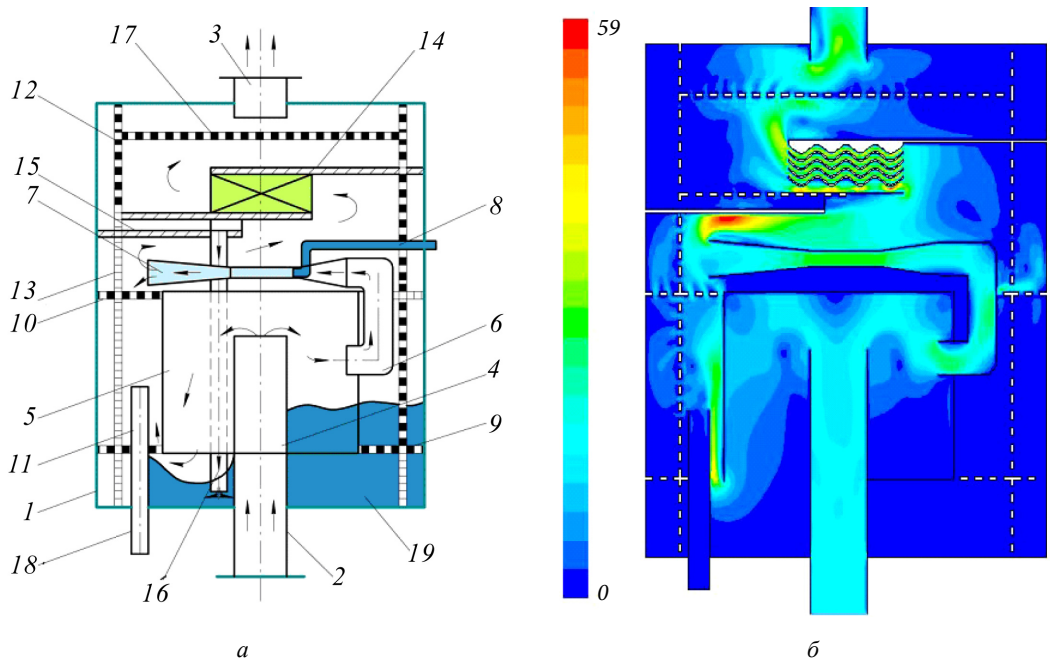


Рис. 9. Очиститель выпускных газов для судовых двигателей: *а* — общая схема; *б* — газодинамический расчет скорости в проточной части

в широком диапазоне нагрузок — от 0,1 до 1,1 номинальных расходов выпускных газов. Состоит из корпуса 1, впускного 2 и выпускного 3 патрубков, причем впускной патрубков утеплен внутри корпуса и частично (область 4) расположен в цилиндрической камере 5. Камера 5 выполнена с глухой верхней торцевой стенкой. К ее боковой стенке — вертикальной цилиндрической перегородке — крепится патрубков подвода газов 6 к трубе Вентури 7. Перерез входного отверстия патрубков 6 находится в цилиндрической камере 5.

Камера 5 выполнена с глухой верхней торцевой стенкой. К ее боковой стенке — вертикальной цилиндрической перегородке — крепится патрубков подвода газов 6 к трубе Вентури 7. Перерез входного отверстия патрубков 6 находится в цилиндрической камере 5.

дрической перегородке ниже среза части 4 и впускного патрубка 2.

В минимальном сечении трубы Вентури установлена форсунка (трубка) 6. Цилиндрическая разделяющая перегородка крепится к корпусу перфорированными дисками — нижним 9, расположенным ниже уровня жидкости, и верхним 10 (дополнительным), установленным над срезом переливной трубы 11, находящейся в кольцевом пространстве между корпусом и цилиндрической перегородкой. Концентрично корпусу установлена шумоглушительная перфорированная цилиндрическая поверхность 12, ее часть 13 расположена напротив диффузора трубы Вентури на расстоянии менее его исходного диаметра. Труба Вентури 7 размещена над камерой 5, а над ней — каплеуловитель 14. Для отвода жидкости с каплеуловителя предусмотрен поддон 15 с каналом слива 16. Перед исходным патрубком имеется перфорированный щит 17. Переливная труба 11 соединена со сливным патрубком 18. Корпус 1 частично заполнен рабочей жидкостью (морской или речной во-

дой), уровень 19 которой определяется переливной трубой. Эффективность очистки газообразных составляющих достигала: от SO_2 — 95 %; от NO_x — 30 %; углеводородов C_nH_y — 20...30%. Температура газов снижалась от 540...150 °С к 30...35 °С, что позволяло осуществлять процесс конденсации паровой составляющей. При этом степень орошения трубы Вентури составляла до 0,5 кг/м³. Аэродинамическое сопротивление на расчетном режиме (200 м³/ч) — не больше 1,4 кПа.

Для испарительной очистки нефтесодержащих вод разработана установка, (рис. 10), защищенная патентом СССР [7].

Испарительная установка (рис. 10, а) состоит из испарительного устройства с трубой Вентури 8, цистерны сбора нефтесодержащих вод, переливной 5 и дозирующей 6 труб. Трубка 7 объединена с горловиной трубы Вентури 9. Газоход двигателя или котла 10 соединен через клапан 11 трубой 12 с конфузуром. Поток газа осуществляет нагнетатель 13, который соединен с капле-

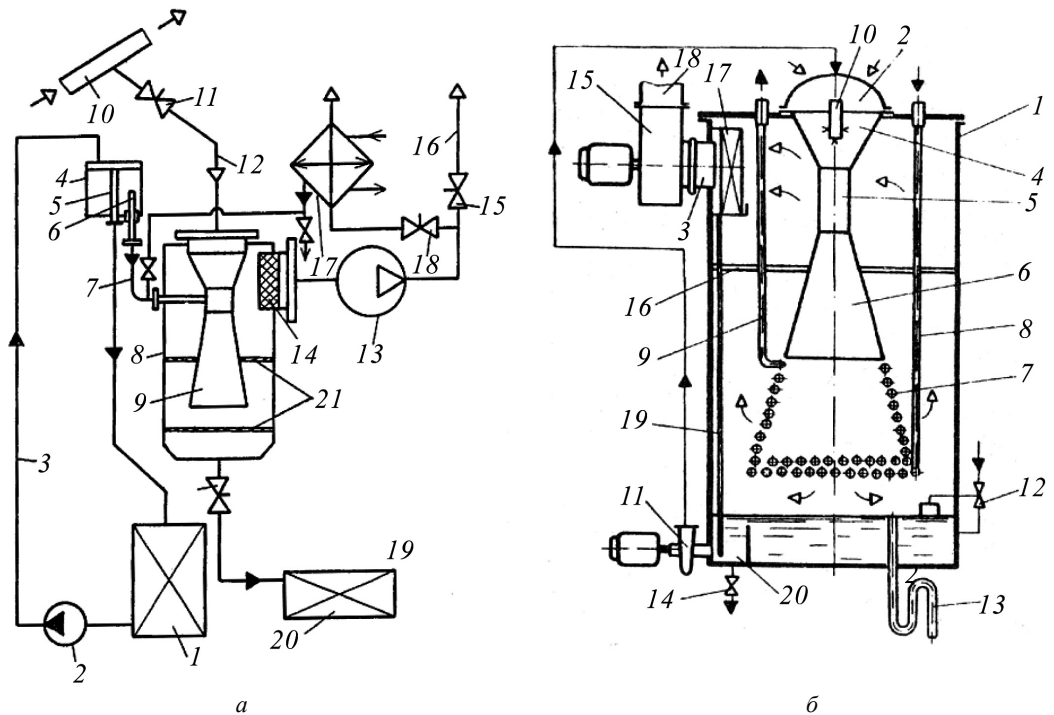


Рис. 10. Установка сепарации нефтесодержащих вод (а) и теплообменный аппарат с трубчатый диффузором трубы Вентури (б)

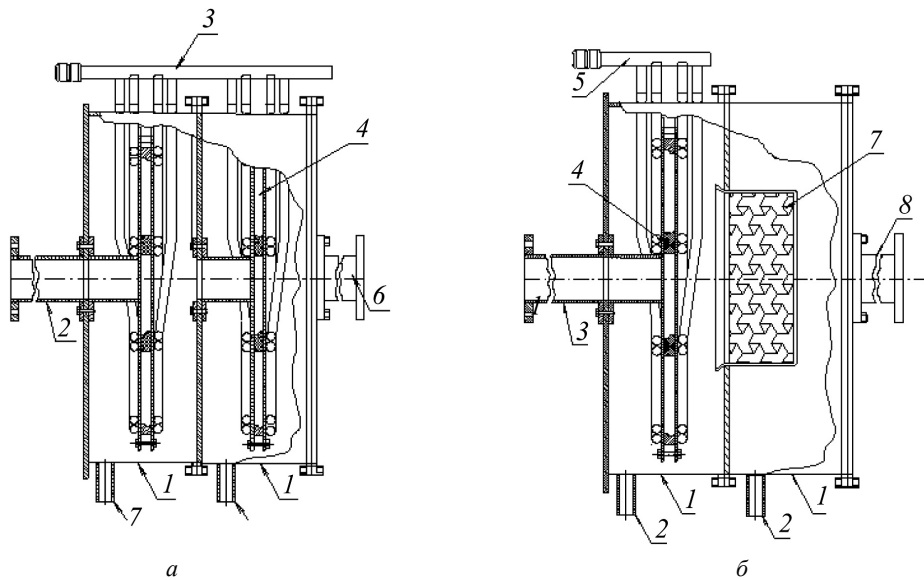


Рис. 11. Двухсекционный неизотермический фильтр с сетчатым коагулятором (а) и с угольной кассетой (б): 1 — части корпуса; 2, 6 — патрубки подвода и отвода газа; 3, 5 — патрубки подведения и отвода воды; 4 — сетевой коагулятор; 7 — патрубок слива масла

уловителем 14, клапаном 15 для воздуха и конденсатором 17 с клапаном 18. Отвод сепарированных нефтепродуктов осуществляет клапан 19 в цистерну 20. Щит 21 выравнивает поток. Изготовлен промышленный образец установки производительностью по газу 300 м³/ч, по воде — 15 кг/ч, который установлен на плавкране. Полученная водная эмульсия повысила концентрацию с 1...2 до 50...60 % содержания нефтепродуктов и идет на переработку.

Аппарат с трубчатым диффузором (рис. 1-0, б) включает в себя корпус 1, в котором установлена труба Вентури 2 с конфузуром 4, горловиной 5 и диффузорной целостной частью 6 в виде кольцевой спирали 7, которая дополнительно усиливает эффект охлаждения и конденсации за счет циркуляции охлаждающей жидкости. Последняя подается по трубкам 8, 10 и отводится по трубкам 9; насосом 11 она подается на циркуляцию к реактору. Для улавливания капель служит каплеуловитель 17 с трубкой слива конденсата 19, для предотвращения выноса капель и выравнивания потока газа — дырчатый щит 16. Выпускные газы выводятся из корпуса через патрубок 3 вентилятором 15 к патрубку

18. Слив жидкости 20 осуществляется с помощью гидрозатвора 13 и системы кранов 12 и 14. Конструкция сепаратора-конденсатора защищена патентом России [13].

Для очистки воздуха вентиляционных систем металлообрабатывающих цехов, машинно-котельных отделений судов созданы фильтры (рис. 11) [1, 2, 5].

Коэффициент суммарной эффективности очистки двухсекционного неизотермического фильтра при $C_{вх} = 250$ мг/м³ и среднем диаметре аэрозольных частичек 0,3 мкм составил 80 %. Коэффициент суммарной эффективности очистки за счет теплового эффекта может повыситься до 30 %. Перепад температур в секциях можно увеличить, используя промежуточный подогрев газа в секции, за счет подачи вместо охлажденного теплоносителя — подогретого. Это повысит суммарную эффективность очистки газа за счет теплового эффекта. Для тонкой очистки от паров используется угольная кассета (рис. 11, б).

ВЫВОДЫ

1. Разработанный подход использования энергетического потенциала аэрозолей су-

дового и стационарного оборудования для процессов очистки выбросов в окружающую среду показал свою эффективность для повышения уровня экологической безопасности при постройке и эксплуатации судов.

2. На основе созданных аэрозольных технологий с использованием струйных и отрывных течений разработан и внедрен широкий спектр экологического и энергосберегающего оборудования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] А. с. 1071783 СССР, МКИ В01Д 45/04. Устройство для отделения жидкости от газа / С.С. Рыжков (СССР). – № 290629/23-261; Заявлено 07.04.80; Опубл. 08.02.89. Бюл. №5. — 4 с.
- [2] А. с. 1209261 СССР, МКИ В01Д 45/04. Устройство для отделения жидкости от газа / С.С. Рыжков (СССР). – № 3511542/23-26; Заявлено 09.11.82; Опубл. 07.02.89. Бюл. №5. — 3 с.
- [3] А. с. 1783292 СССР, МКИ G01В 9/02. Установка для изучения гидродинамических течений методом голографической интерферометрии / С.С. Рыжков, Г.Ф. Романовский, Ю.Г. Золотой, С.И. Липатников (СССР). – № 4899861-25; Заявлено 08.01.92; Опубл. 23.12.92. Бюл. № 47. — 3 с.
- [4] А. с. 1731258 СССР, МКИ В01Д 47/10. Газоочиститель / С.С. Рыжков (СССР). — № 4784931-26; Заявлено 05.12.89; Опубл. 07.05.92. Бюл. № 17. — 5 с.
- [5] А. с. 1315003 СССР, МКИ В01Д 45/08. Способ для отделения жидкости от горячих газов / С.С. Рыжков, С.В. Рыжков (СССР). — № 3934135/31-26; Заявлено 05.05.85; Опубл. 07.06.87. Бюл. № 21. — 7 с.
- [6] А. с. 1465085 СССР, МКИ В01Д 45/08. Сепаратор сжатых газов / С.С. Рыжков, Ю.Л. Лецинер (СССР). – № 4252004/31-26; Заявлено 28.05.87; Опубл. 15.08.89. Бюл. № 10. — 5 с.
- [7] А. с. 1579520 СССР, МКИ В01Д 17/02, C02F 1/40. Судовая установка для сепарации нефтесодержащих вод / А.С. Рыжков, С.С. Рыжков (СССР). — № 4348262/27-26; Заявлено 23.12.87; Опубл. 28.07.90. Бюл. № 27 — 5 с.
- [8] А. с. 1662629 СССР, МКИ В01Д45/04. Сепаратор сжатых газов / С.С. Рыжков (СССР). — № 4729332-26; Заявлено 10.05.89; Опубл. 15.07.91. Бюл. № 26. — 5 с.
- [9] А. с. 1806824 СССР, МКИ В01Д 45/04. Устройство для очистки газов от капельной жидкости / С.С. Рыжков, Ю.А. Николайчук (СССР). — № 4807120-26; Заявлено 14.02.90; Опубл. 07.04.93. Бюл. № 13. — 6 с.
- [10] Декларацийний патент України на корисну модель № 10747 Україна, МКВ В01Д 45/04. Пристрій для рідинного очищення відпрацьованих газів теплового двигуна / С.С. Рижков, О.С. Рижков (Україна). — № 05664; Заявлено 13.06.2005; Надрук. 15.11.2005. Бюл. № 11. — 4 с.
- [11] Защита атмосферы от промышленных загрязнений: Справочник / Под ред. С. Калверта и Г.М. Инглунда. – М.: Металлургия, 1988. — Ч. 1, 2.
- [12] Інноваційні технології проектування та побудови суден і засобів океанотехніки / С.С. Рижков, В.С. Блінцов, В.Ф. Квасницький та ін. — Миколаїв, НУК, 2009. — 354 с.
- [13] Патент RU2029197 РФ, МКИ F24F 3/14, F28C 1/90. Аппарат для обработки воздуха / С.С. Рыжков, С.В. Рыжков (Украина). — 4788432/06; Заявлено 25.01.90; Опубл. 20.02.95. Бюл. № 5. — 8 с.
- [14] Рыжков С.С., Басок Б.И. Экологические ресурсосберегающие технологии для промышленной теплотехники на основе дисперсных двухфазных сред // Промышленная теплотехника. — 2001. — Т. 23 (4–5). — С. 141–145.
- [15] Сажин Т.М., Кречун А.Т., Ботез К.Н. Удержание NO_x и SO₂ из дымовых газов в электрических полях // Промышленная теплотехника: Международ. науч.-прикл. журнал. — К., 2003. — Т. 25, № 4. — С. 193–196.

- [16] *Страус В.* Промышленная очистка газов. — М.: Химия, 1981. — 583 с.
- [17] A review of recent literature investigating of the measurement of automotive particulate; the relationship with environment aerosol, air quality and health effect / Hall D.E., King D.B., Morgan T.B. et al // *Ibid.* — 1998. — № 982602. — P. 53–65.
- [18] *Ryzhkov S.S.* Ship biopositive engineering for Black sea. // Proceedings of the third international conference on marine industry. — Varna, Bulgaria, 2001. — Vol. 2. — P. 265–270.
- [19] *Ryzhkov S.S.* Jet-contact separator of exhaust gases of ship engines // Proceedings of the third international conference on marine industry. — Varna, Bulgaria, 2001. — Vol. 2. — P. 137–145.
- [20] *Ryzhkov S.S.* Reduction of losses of oils in ship diesel engines at the expence of increase of efficiency of clearing crank-cases gases // Proceedings of the third international conference on marine industry. — Varna, Bulgaria, 2001. — Vol. 2. — P. 111–114.
- [21] *Ryzhkov S.S.* Ship complex installation of clearing oil mixture of water // Proceedings of the third international conference on marine industry. — Varna, Bulgaria, 2001. — Vol. 2. — P. 285–288.