

КОНТАКТНЫЕ ГАЗОПАРОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ НА МОРСКИХ ОБЪЕКТАХ

С. С. Рыжков, д-р техн. наук, проф.;

А. П. Шевцов, д-р техн. наук, проф.

Национальный университет кораблестроения, г. Николаев

Аннотация. Приведены результаты повышения эффективности контактных газопаротурбинных установок на морских объектах за счет дополнительного насыщения влагой рабочего тела, дистилляции морской воды и использования турбофореза для отделения капель из двухфазного потока.

Ключевые слова: эффективность, газ, пар, турбина, установка, море, объект, насыщение, дистилляция, турбофорез.

Анотація. Наведено результати підвищення ефективності контактних газопаротурбінних установок на морських об'єктах за рахунок додаткового насичення вологою робочого тіла, дистиляції морської води і використання турбофорезу при відділенні крапель із двофазного потоку.

Ключові слова: ефективність, газ, пара, турбіна, установка, море, об'єкт, насичення, дистиляція, турбофорез.

Abstract. Results of savings-energy solution for contact gas-and-steam turbine units of surface ships by inlet air evaporative cooling, heat recovery level increasing and units heat power governing are presented.

Keywords: savings-energy, surface ships, gas turbine, contact gas-and-steam turbine unit, inlet air evaporative cooling, heat recovery level.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Решение отдельных вопросов по изучению, освоению, сбережению и использованию ресурсов морей и океанов, обеспечению свободы судоходства и защите морских границ, изложенных в Морской доктрине Украины, связано с обеспечением морских объектов, судов и кораблей высокоэффективными энергетическими установками большой удельной мощности и относительно малой массы и габаритов.

Контактные газопаротурбинные установки (КПТУ) мощностью от 4 до 40 МВт по своим технико-экономи-

ческим и массогабаритным показателям могут рассматриваться как перспективные энергоустановки для применения на плавэлектростанциях (ПЛЭС), морских нефтегазовых сооружениях (МНГС), прибрежных объектах и транспортных средствах. Утилизация теплоты отработавших газов в котле-утилизаторе обеспечивает экономичность, подача пара из котла-утилизатора в проточную часть газотурбинного двигателя (ГТД) упрощает конструкцию, уменьшает габариты, снижает эмиссию вредных выбросов, а конденсация воды из газопаровой смеси за котлом-утилизатором позволяет не только обеспечить установку

водой, но и в отдельных случаях накапливать ее для других нужд.

Увеличение мощности энергетических установок морских объектов связано с обеспечением их внутренних потребностей, а также электрической энергией и приводом технологического оборудования для изучения, освоения, сбережения и использования морских ресурсов.

Совершенствование энергетических установок морских объектов является важной научно-технической проблемой. Актуальность этой проблемы сохранится длительное время, так как рост мощности энергоплатформ, борьба с тепловыми и вредными выбросами при сжигании углеводородного топлива, освоение морского шельфа развиваются, а программы их реализации носят долгосрочный характер.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ И ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты опытной и промышленной эксплуатации КГПТУ для наземных объектов, перспективы и основные направления их дальнейшего совершенствования приведены в [1, 4–6], а результаты исследования, посвященного применению КГПТУ в составе морских объектов, малочисленны и относятся к анализу обобщенных тепловых схем судовых энергетических установок [3, 9].

Применение КГПТУ на ПЛЭС с учетом особенностей ее эксплуатации и норм экологической безопасности рассмотрено в [2]. Оборудование КГПТУ дополнительным (увеличенным) экономайзером повышает степень утилизации теплоты, снижает тепловую нагрузку на контактный конденсатор и увеличивает общую эффективность. Получаемая при этом горячая вода может быть использована для технологических целей или в дистилляционной

опреснительной установке. Расчетные оценки показывают, что производительность опреснительной установки, работающей на утилизируемой дополнительным экономайзером теплоте, может составлять 2,3...2,5 т/ч дистиллята на 1 МВт электрической мощности установки, а при уменьшении температуры газопаровой смеси на входе в контактный конденсатор до 95...100 °С мощность циркуляционного насоса может быть уменьшена на 30...35% при одинаковом количестве возврата воды в цикл.

Эффективность КГПТУ повышается с увеличением влагосодержания газопаровой смеси как рабочего тела. Поэтому при применении КГПТУ на морских объектах использование морской воды как источника влаги и охлаждающей среды позволяет увеличить КПД установки и эффективность по возврату воды в цикле. Это возможно за счет полного насыщения воздуха влагой в орошаемом морской водой воздухоочистительном устройстве, дополнительного впрыска обессоленной воды на входе компрессора, дистилляции морской воды при глубокой утилизации теплоты отработавшей газопаровой смеси. Поэтому определение влияния перечисленных процессов на повышение значений КПД установки и эффективности по возврату воды в цикл КГПТУ требует дополнительных исследований.

ЦЕЛЬЮ ИССЛЕДОВАНИЯ является определение возможных показателей энергетической эффективности применения КГПТУ на морских объектах.

Достижение указанной цели сводится к решению следующих задач:

- 1) определение возможных резервов повышения КПД КГПТУ при увеличении влагосодержания газопаровой смеси как рабочего тела перед компрессором;
- 2) определение рациональных показателей дистилляции морской воды при

глубокой утилизации теплоты отработавшей газопаровой смеси;

3) обоснование способов эффективной сепарации влаги из насыщенной газопаровой смеси;

4) разработка схемы комплексной интенсификации улавливания капель.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Определение возможных резервов повышения КПД КГПТУ при увеличении влагосодержания газопаровой смеси как рабочего тела перед компрессором. Увеличение влагосодержания влажного воздуха на входе в КГПТУ достигается испарительным его охлаждением со снижением температуры при орошении морской водой слоев волокнистого материала невысокой плотности комплексного воздухоочистительного устройства. Такое устройство предварительно прошло апробацию и получило положительную оценку при испытаниях в составе судовой газотурбинной установки ГТУ-6А на судне ПС-1.

Ожидаемые результаты повышения КПД КГПТУ при увеличении влагосодержания влажного воздуха на ее входе приведены в табл. 1, где φ — относительная влажность, %; t — температура, °С; η — КПД установки; индексы: t , φ — текущие значения, $t_0 = 15$ °С, $\varphi_0 = 40$ %.

Повышенная относительная влажность воздуха увеличивает общее влагосодержание газопаровой смеси на выходе из газотурбинного двигателя, что положительно влияет на обеспечение баланса воды в цикле.

При увеличении влагосодержания влажного воздуха на входе КГПТУ с повышением КПД пропорционально возрастает и ее удельная мощность.

Применение дополнительного впрыска обессоленной воды на входе компрессора целесообразно, если дисперсный размер капель не превышает 10 мкм.

В этом случае они движутся в его проточной части аналогично линиям тока воздуха и практически не оседают на поверхностях направляющих и рабочих лопаток. При испарении капель воды в потоке воздуха работа сжатия компрессора уменьшается, а расход влажного воздуха увеличивается.

Ожидаемые результаты повышения КПД КГПТУ при применении дополнительного впрыска обессоленной воды на входе компрессора приведены в табл. 2, где d — отношение расхода впрыскиваемой жидкости к расходу воздуха через компрессор.

Увеличение впрыска воды на 0,01 в заданных выше пределах увеличивает удельную мощность установки в среднем на 7%. Это позволяет обеспечить ее номинальную мощность при повышении температуры наружного воздуха до 40 °С.

Описанные мероприятия в совокупности позволяют увеличить КПД КГПТУ на 1,3...3,7% абсолютных и обеспечить общий КПД установки в морских условиях на уровне 44...47%.

Определение рациональных показателей дистилляции морской воды при глубокой утилизации теплоты отработавшей газопаровой смеси.

Увеличение общего влагосодержания газопаровой смеси за газотурбинным двигателем способствует обеспечению баланса воды в цикле: 1) при постоянной эффективности по возврату воды и более высоких температурах газопаровой смеси за контактным конденсатором; 2) при постоянной конечной температуре газопаровой смеси и более высокой эффективности по возврату воды в цикле. Количественные зависимости эффективности по возврату воды в цикле E_w от влагосодержания газопаровой смеси d_w приведены на рис. 1.

Достаточно высокая температура газопаровой смеси за котлом-утилизатором (КУ) — на уровне

Таблиця 1. Расчетные результаты повышения КПД $\eta_{t, \varphi} / \eta_{t_0, \varphi_0}$ при увеличении влагосодержания влажного воздуха на входе КГПТУ

$\varphi, \%$	$t, ^\circ\text{C}$						
	15	20	25	30	35	40	45
40	1,010	1,011	1,012	1,013	1,014	1,016	1,018
60	1,012	1,014	1,016	1,019	1,022	1,026	1,030
80	1,016	1,019	1,022	1,026	1,030	1,035	1,041
100	1,021	1,025	1,029	1,034	1,039	1,045	1,052

Таблиця 2. Расчетные результаты повышения КПД КГПТУ $\eta_d / \eta_{d=0}$ при впрыске обессоленной воды на входе компрессора

d	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
$\eta_d / \eta_{d=0}$	1,000	1,007	1,014	1,020	1,026	1,031

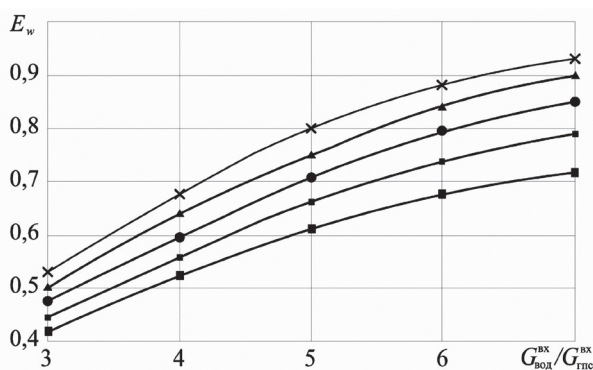


Рис. 1. Зависимость эффективности по возврату воды в цикле от влагосодержания газопаровой смеси и соотношения расходов охлаждающей воды $G_{\text{вод}}^{\text{вх}}$ и газопаровой смеси $G_{\text{гтс}}^{\text{вх}}$: ■ — $d_w = 0,13$; ■ — $0,15$; ◆ — $0,16$; ▲ — $0,18$; × — $0,20$

150...160 °С — по сравнению с температурой насыщения 70...80 °С, соответствующей ее влагосодержанию, обеспечивает возможность дистилляции морской воды, используя теплоту газопаровой смеси. Значение температуры насыщения увеличивается в соответствии с влагосодержанием газопаровой смеси, а следовательно, с повышением температуры влажного воздуха на входе в КГПТУ, особенно при увеличении влагосодержания газопаровой смеси как рабочего тела перед компрессором. Для дистилляции морской воды за КУ устанавливается дополнительная ступень парогенерирования (ДСПГ). Значения удельной теплоты, которые могут быть использованы в ДСПГ, соответствуют

85...95 кВт/(кг/с). Установка ДСПГ за КУ одновременно с повышением влагосодержания газопаровой смеси на 0,038...0,043 вызывает дополнительное сопротивление потоку на уровне 1,7...1,9 кПа, что приводит к снижению мощности КГПТУ на 0,9...1,0%.

Особенностью процесса дистилляции морской воды в ДСПГ является ограничение на минимально допустимую температуру газопаровой смеси, которая для предотвращения образования конденсата на выходе из ДСПГ должна быть выше температуры насыщения на величину около 10 °С и соответствовать 90...95 °С.

При этих условиях в КГПТУ с ДСПГ существенно увеличивается эффективность

по возврату воды в цикл (рис. 2), повышается экономичность контура охлаждения и установки в целом.

Альтернативным способом пополнения воды для поддержания работоспособности КГПТУ является глубокая утилизация теплоты водой с последующей ее дистилляцией в опреснительной установке. Этот способ можно реализовать оборудованием КУ дополнительным экономайзером для получения дополнительной нагретой воды и использованием температурного потенциала охлаждающей воды на выходе из контактного конденсатора. По расчетным оценкам, дистилляция такой воды в опреснительных установках составляет 1,4...1,6 т/ч на 1 МВт утилизируемой теплоты.

Обоснование способов эффективной сепарации влаги из насыщенной газопаровой смеси. Конденсация влаги в газопаровой смеси контактным способом приводит к образованию в ней капель воды широкого дисперсного состава — от 1000 до 1 мкм. Для частичной сепарации капель из потока газопаровой

смеси, выбрасываемой в окружающую среду, применяют инерционные отделители, эффективность которых оценивается величиной 0,96...0,98 при скоростях газопаровой смеси до 4 м/с из-за недостаточного улавливания капель размером менее 20 мкм. Отсутствие корректных измерений интегрального распределения капель по размерам на выходе из промышленных образцов контактных конденсаторов не позволило определить действительные потери воды при их уносе из контактного конденсатора. В то же время визуальные наблюдения за составом газопаровой смеси на выходе позволили приблизительно оценить такое распределение в виде, представленном в табл. 3, где d_k — диаметр капель; m_i — масса капель i -го диаметра; M — общая масса капель выборки.

Сопоставление значений эффективности инерционного отделителя с приближенной оценкой распределения капель по размерам дает основание предположить, что применение более

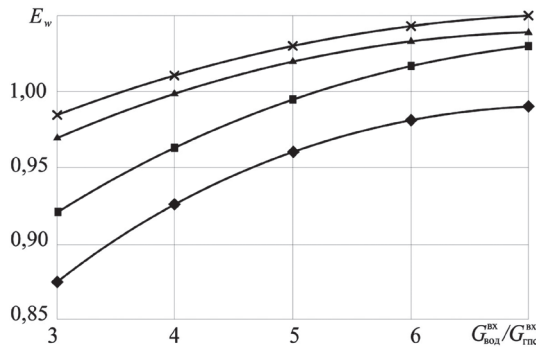


Рис. 2. Зависимость эффективности по возврату воды в цикл: ■ — КГПТУ при мощности $N = 1,0$; ◆ — КГПТУ с ДСПГ при мощности $N = 1,0$; × — КГПТУ с ДСПГ при мощности $N = 0,7$; ▲ — КГПТУ при мощности $N = 0,7$ для КГПТУ и КГПТУ с ДСПГ для номинальной мощности $N = 1$ и частичной $N = 0,7$

Таблица 3. Приближенная оценка распределения капель по размерам при уносе их из контактного конденсатора

d_k , мкм	0...10	10...20	20...30	30...40	40...100	100...1000
m_i/M	20	20	20	15	15	10

эфективных способов улавливания капель в контактном конденсаторе является резервом повышения коэффициента возврата воды в цикл на 2–3 %.

Это достигается путем применения следующей технологической последовательности: высокоинерционные капли отделяют силами инерции, низкоинерционные капли — силами инерции, турбофорезом и коагуляцией капиллярными силами, после чего их осаждают силами инерции и отводят пленку жидкости капиллярными силами и силами тяжести [7].

Разработка схемы комплексной интенсификации улавливания капле. Для улавливания грубодисперсных капель используются струйно-инерционные ступени очистки — зона удара и разворота струи, а для мелких частиц — сеточные коагуляторы. Разработанная схема комплексной интенсификации переноса частиц в системе улавливания «начальный участок струи — сеточный коагулятор» для КГПТУ представлена на рис. 3.

В ней реализованы традиционные и новые методы интенсификации переноса как грубо-, так и высокодисперсных

частиц за счет сил инерции, сил турбулентной диффузии, турбофореза. Установлена рациональная последовательность использования методов в зависимости от инерционных свойств частиц: направленная турбулизация потока в пристеночной области за счет создания отрывных зон; размещение в объеме струйного потока системы поверхностей в виде тонких пластин с выступами; генерация турбулентных пульсаций телами многофункционального назначения с различными размерами препятствий и проходных сечений. Многофункциональность выражается в способности тел генерировать микровихри и коагуляции осажденных капель в крупные объемы жидкости за счет капиллярных сил [8].

Результаты теоретических расчетов гидродинамической обстановки в предложенной схеме, полученные путем решения универсального транспортного уравнения методом Ньютона с помощью современных пакетов прикладных программ, показаны на рис. 4, 5. Как видно из рис. 4, на пластине образуется отрывная зона (области отрицательных значений скорости в голубой цветовой цифровой гамме).

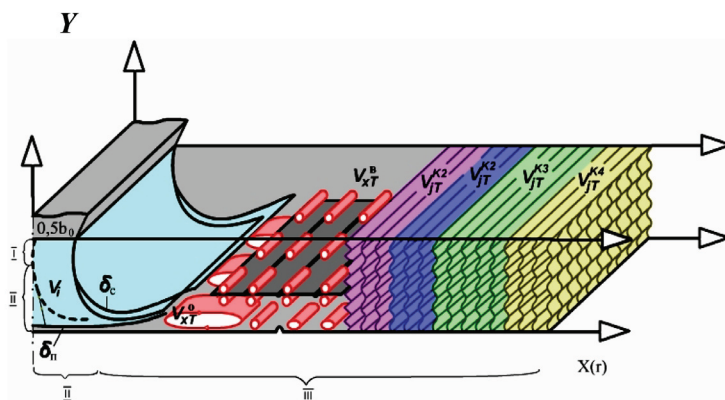


Рис. 3. Схема комплексной интенсификации турбофоретического переноса частиц в системе очистки «начальный участок струи – сеточный коагулятор». Области течения: I — свободной струи; II — градиентного, III — пристенного течения. Слои: δ_n — пристеночный; δ_c — струйный; v_{in} — инерционное осаждеие в зоне удара и разворота; $v_{x,jT}$ — турбофоретическое осаждеие высокодисперсных частиц

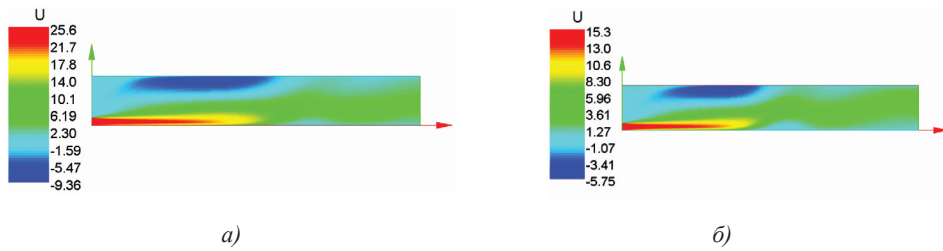


Рис. 4. Распределение продольной скорости $u_{xf} = U$ в области пристеночного течения струи в цветовой цифровой гамме при скоростях струи u_{xf0} : *a* — 15 м/с; *б* — 25 м/с

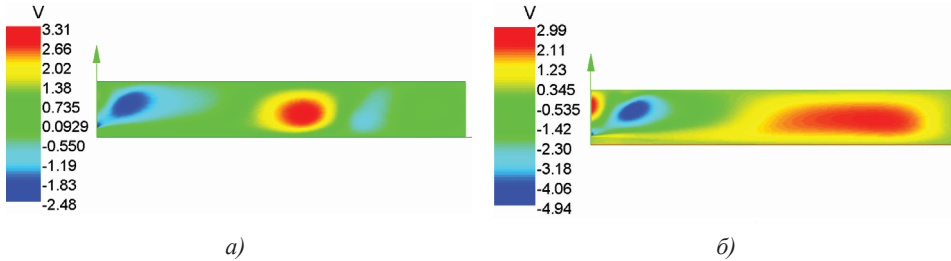


Рис. 5. Распределение поперечной скорости $u_{yf} = V$ в области пристеночного течения струи в цветовой цифровой гамме при скоростях струи u_{yf0} : *a* — 15 м/с; *б* — 25 м/с

Впервые установлено, что начальные и конечные размеры этих областей смещаются вдоль координаты X (вдоль движения) по мере роста скорости. Так, при $u_{xf} = 15$ м/с (см. рис. 4, *a*) эта область приходится, в соответствии с расчетной сеткой, на абсолютные значения от 0,02 до 0,025 м. Поскольку ширина сопла составляет 10 мм, а расчет начинается с момента разворота струи — координаты X , равной ширине сопла, то в относительной форме координаты зоны отрыва составляют $X = (3,0...3,5)b_0$. Для скорости $u_{xf} = 25$ м/с (см. рис. 4, *б*) координаты отрывной зоны смещаются и приходятся на $X = (3,5...4,0)b_0$. Увеличение скорости до 50 м/с смещает отрывную зону до размеров $X = (4,5...5,0)b_0$. Подтверждением смещения отрывной зоны вдоль оси служат графики распределения поперечной составляющей скорости u_{yf} (рис. 5).

Возникновение поперечной составляющей скорости при продольном обтекании пластины возможно только из-за наличия отрывных течений и конфузур-

ности канала. Учитывая значительную начальную скорость истечения струи, можно считать, что конфузурность играет второстепенную роль. Зоны повышенных поперечных составляющих скорости приходятся на указанные на основе анализа продольной составляющей скорости координаты отрывных зон (при 15 и 25 м/с). Повышенные значения поперечной составляющей скорости свидетельствуют о возможности значительного турбофоретического переноса. Изменение размеров зон отрыва и их смещение также подтверждают расчеты распределения статического давления на пластине. Резкий рост давления наблюдается сразу за началом отрывной зоны. Это также подтверждают расчеты распределения кинетической энергии турбулентности. Они показывают смещение максимальных значений и размеров их зон вниз вдоль координаты X по мере увеличения скорости. Причем с увеличением скорости кинетическая энергия турбулентности возрастает в значительно большей

мере, чем сама скорость, и при 50 м/с достигает 110 вместо 9 м²/с² при 15 м/с. Это свидетельствует о значительных возможностях турбофоретического переноса частиц.

На рис. 6 представлены основные гидродинамические характеристики шестирядного коагулятора при обтекании пристеночной струей со скоростью 15 м/с. Из рис. 6, а видно, что продольная составляющая скорости начинает распространяться, за счет поворота струи от обтекания сеток, по всему объему коагулятора. Ее значения в нижней части коагулятора примерно в два раза выше, чем в верхней. Продольная составляющая имеет максимальные величины во входном сечении (рис. 6, б), что дает возможность предположить наибольший турбофоретический перенос на первых рядах сеток. Максимальное статическое давление наблюдается в нижней части входного ряда коагуля-

тора. Распределение степени диссипации турбулентной энергии показывает ее наибольшие значения в нижней половине коагулятора. Распределение векторов скорости в коагуляторе подтверждает наличие обратных отрывных течений в объеме коагулятора.

Исследование переноса и осаждения частиц в системе улавливания (рис. 7) на основе схемы комплексной интенсификации выполнено на экспериментальном стенде, представлявшем собой аэродинамическую трубу открытого типа с генераторами аэрозольных частиц и средствами измерения и контроля параметров воздуха на входе и выходе из устройства. В рабочем участке цилиндрического сечения диаметром 0,28 мм и высотой 0,3 м устанавливался в системе «сопло–пластина» сеточный коагулятор, выполненный из сеток №0,25; 0,1 и 0,009 высотой от 5 до 20 мм. Число рядов сетки изменялось от

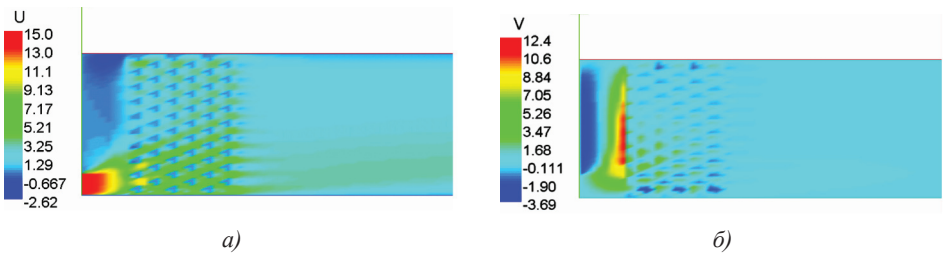


Рис. 6. Распределение продольной $u_{xf} = U$ (а) и поперечной $u_{yf} = V$ (б) составляющих скорости в шестирядном сеточном коагуляторе в цветовой цифровой гамме при начальной скорости на входе 15 м/с

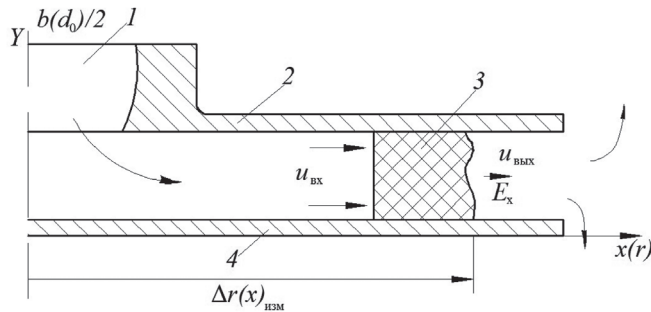


Рис. 7. Схема исследования системы улавливания: 1 — сопло; 2 — экран; 3 — коагулятор; 4 — пластина

12 до 50 в одному пакеті; при цьому внутрішній діаметр коагулятора становив $d_{\text{вн}} = 60$ мм, зовнішній не перевищував 200 мм. Використовувалися чотири пакети коагулятора, що дозволяло мати сумарне кількість рядів сіток до 200.

Робоча двохфазна середовище створювалася з допомогою генератора конденсаційного типу, середній діаметр частинок становив 0,3 мкм, їх концентрація — до 350 мг/м³.

Результати дослідження ефективності багаторядного сітчастого коагулятора по сумарному ефекту очищення, т.е. по зміні масової і кількісної концентрації, показані на рис. 8. З графіків видно, що чим більше рядів коагулятора, тим вище ефективність уловлювання від високодисперсного аерозолю з середнім діаметром частинок 0,3 мкм. Так, збільшення кількості рядів з 12 до 100 підвищує коефіцієнт

сумарної ефективності уловлювання на 20...25%, а з 100 до 200 — на 20%, що дає $\eta_{\Sigma} = 98...90\%$ в інтервалі вхідної концентрації аерозолю від 20 до 100 мг/м³ (рис. 8, а).

Дванадцятирядний коагулятор повністю уловлює краплі діаметром більше 4 мкм, в той час як сорокарядний — краплі діаметром більше 2 мкм. Стотрядний коагулятор повністю уловлює краплі діаметром 1 мкм. Такий процес пояснюється зростанням поверхності осадження і кількості генераторів пульсацій з збільшенням кількості рядів сітки, що підвищує турбофоретичний ефект. Зменшення розмірів ячеек і діаметра провідки сітки коагулятора підвищує ефективність уловлювання (рис. 8, б).

На рис. 9 приведені коефіцієнти сумарної і фракційної ефективності коагулятора з 50 рядів сіток:

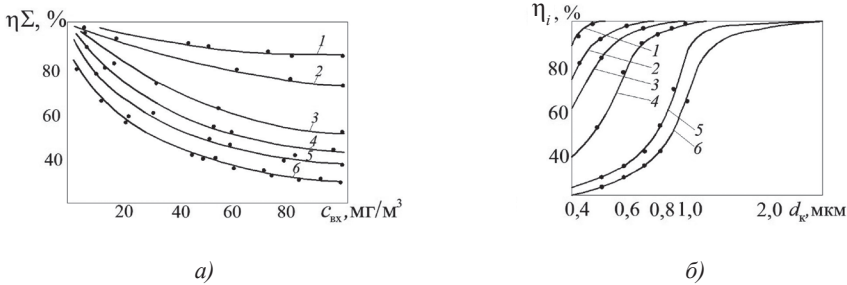


Рис. 8. Ефективність уловлювання багаторядним коагулятором — сумарна η_{Σ} (а) при різних вхідних концентраціях аерозолю $c_{\text{вх}}$ і фракційна η_i (б) при різних діаметрах частинок і $u_{\text{вх}} = 13,5$ м/с. Кількість рядів сітки № 0,1: 1 — 200; 2 — 150; 3 — 100; 4 — 50; 5 — 40; 6 — 12

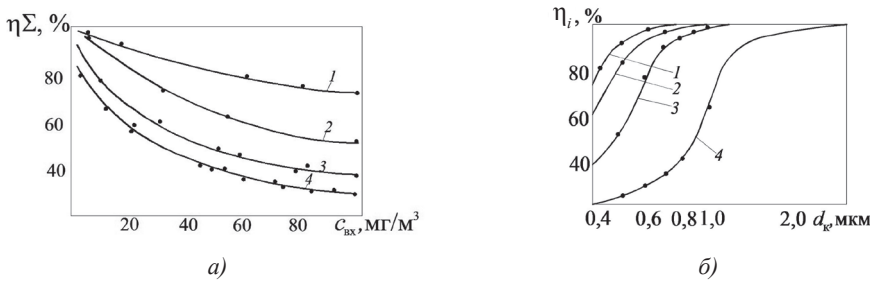


Рис. 9. Ефективність уловлювання коагулятором з 50 рядів сітки при $u_{\text{вх}} = 13,5$ м/с — сумарна η_{Σ} (а) при різних вхідних концентраціях аерозолю $c_{\text{вх}}$ і фракційна η_i (б) при різних діаметрах частинок

№ 0,004 (кривая 1); № 0,009 (кривая 2); № 0,1 (кривая 3); № 0,25 (кривая 4).

При одинаковых условиях для сетки №0,004 коэффициенты суммарной и фракционной эффективности на 10...7% выше, чем для №0,009; для №0,009 — на 10...15% выше, чем для № 0,1, и т.д. Это объясняется уменьшением характерного размера препятствия — диаметра проволоки сетки и толщины пограничного слоя, а также размеров микровихрей, генерируемых при отрывном обтекании проволок сетки, которые определяют турбофоретический перенос.

Увеличение входной концентрации высокодисперсного аэрозоля с $d_k = 0,3...0,33$ мкм увеличивает абсолютное количество уловленных частиц. В то же время при фиксированной турбофоретической энергии с ростом входной концентрации микрочастиц уменьшается воздействие на среднестатистическую частицу.

Усиления интенсивности улавливания можно добиться увеличением числа рядов сетки коагулятора, как генераторов турбулентных пульсаций.

На выходе из коагулятора скорость зависит от последующего способа улавливания выносимых скоагулировавшихся капель. При улавливании за счет сил инерции в одноволновых профилях она может достигать 10 м/с, а при гравитационном — не более 2 м/с.

Сопротивление коагулятора зависит от степени наполнения его жидкостью, по мере насыщения оно растет (рис. 10). При полном насыщении, когда количество уловленной жидкости равно количеству отведенной, сопротивление стабилизируется. Каждой скорости потока соответствует свое насыщение коагулятора. Так, для насыщенного жидкостью коагулятора из 24 рядов сетки при скорости на входе $u_{вх} = 3,5$ м/с сопротивление составляет около 1 кПа, а для $u_{вх} = 6,5$ м/с —

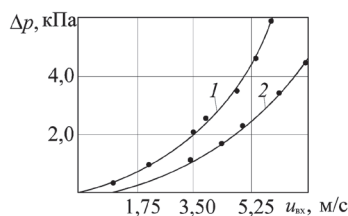


Рис. 10. Аэродинамическое сопротивление насыщенного жидкостью коагулятора из сетки №0,1: 1 — 40 рядов; 2 — 24 ряда

4 кПа. Для 40 рядов сетки Δp больше на 1,0...4,0 кПа при тех же скоростях. Такое же соотношение в перепаде давлений на коагуляторе с 100 и 50 рядами сетки № 0,1.

Многофакторный анализ показал, что рациональная область параметров кольцевого сеточного гофрированного коагулятора лежит в следующих пределах: скорость потока на входе — до 20 м/с, на выходе — не более 2...10 м/с в зависимости от метода улавливания выносимых капель; число рядов — более 24...100 из сеток №0,25–0,009; высота гофра сетки — 2,0...2,5 мм, угол наклона гофра 30...60 град.

Количество рядов коагулятора выбирается в зависимости от требований к степени очистки и допустимых энергетических затрат.

ВЫВОДЫ

1. Увеличение влагосодержания влажного воздуха испарительным охлаждением перед компрессором и дополнительный впрыск обессоленной воды в количестве до 5% от расхода влажного воздуха в проточную часть компрессора позволяют увеличить КПД КГПТУ соответственно на 0,4...0,6 и 0,9...3,1% абсолютных, т. е. в совокупности на 1,3...3,7%, и повысить общий КПД установки в морских условиях до 44...47%.

2. Дистилляция морской воды при утилизации теплоты отработавшей

газопаровой смеси в дополнительной ступени парогенерирования или в дополнительном экономайзере котла-утилизатора увеличивает эффективность по возврату воды в цикл на 34...39% и повышает экономичность контура охлаждения и установки в целом.

3. Применение более эффективных способов улавливания капель в контактном конденсаторе является резер-

вом повышения коэффициента возврата воды в цикл на 2...3%.

4. Разработанная схема комплексной интенсификации улавливания капель «начальный участок струи – сеточный коагулятор» позволяет обеспечить коэффициент суммарной эффективности улавливания 98...90% в интервале входной концентрации аэрозоля от 20 до 100 мг/м³ для капель с диаметром 0,3 мкм и больше.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] КГПТУ – опыт и новые решения для наземных и морских объектов [Текст] / Ю. Бондин, Б. Исаков, В. Кривуца [и др.] // Двигатель : науч.-техн. журнал. — М. : ИД «Двигатель». — 2004. — № 4 (34). — С. 14–15.
- [2] КГПТУ для плавэлектростанций [Текст] / С.Н. Мовчан, В.Н. Чобенко, С.А. Кузнецова, А.П. Шевцов // Газотурбинные технологии. — Рыбинск : ИД «Газотурбинные технологии», 2011. — № 8 (99). — С. 2–5.
- [3] Комплексное энерго- и ресурсосбережение при использовании контактных газопаровых турбинных установок на морских объектах [Текст] / С.А. Кузнецова, С.Н. Мовчан, В.Н. Чобенко, А.П. Шевцов // Современные технологии в газотурбостроении. Ч.1 : Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2009. — № 4/4 (40). — С. 29–33.
- [4] Контактные газопаротурбинные установки «Водолей» — состояние и перспективы [Текст] / О.С. Кучеренко, С.Н. Мовчан, В.В. Романов [и др.] // Сучасні технології в машинобудуванні : зб. наук. праць НТУ «ХП». — Х., 2008. — Вип. 2. — С. 197–209.
- [5] Контактные газопаротурбинные установки «Водолей»: состояние и перспективы [Текст] / В.В. Романов, С.Н. Мовчан, В.Н. Чобенко, А.П. Шевцов // Газотурбинные технологии. — Рыбинск : ИД «Газотурбинные технологии». — 2009. — № 7 (78). — С. 14–16.
- [6] Опыт эксплуатации газопаротурбинной установки ПТУ-16К с впрыском пара [Текст] / Ю.Н. Бондин, В.А. Кривуца, С.Н. Мовчан [и др.] // Газотурбинные технологии. — Рыбинск : ИД «Газотурбинные технологии». — 2004. — № 5 (32). — С. 18–21.
- [7] Патент № 930308 Україна, МПК F 02 C 6/18 (2011.01). Спосіб утилізації теплоти і маси робочого тіла в контактній газопаротурбінній установці на морському об'єкті [Текст] / Кузнецова С. А., Мовчан С. М., Романов В. В. та ін. ; ВАТ «НЕТ». — а2009 10031; заявл. 02.10.2009; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 17.
- [8] Рыжков, С.С. Обеспечение высокого уровня экологической безопасности при постройке и эксплуатации судов за счет внедрения аэрозольных технологий [Текст] / С. С. Рыжков // Вісник національного університету кораблебудування. — Миколаїв : НУК, 2010. — С. 23–36.
- [9] Совершенствование корабельных газотурбинных энергетических установок [Текст] / Ю. Бондин, С. Мовчан, С. Чернов, А. Шевцов // Военный парад. — М. : ИД «Военный парад». — 2005. — № 2 (68). — С. 54–56.