

Научная статья

УДК 621.319.4

DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.29106>



*В.И. Горынин*¹ ✉, *В.В. Рогожкин*², *В.Е. Михайлов*³,
*Ю.Г. Сухоруков*³, *А.А. Ланин*³, *Л.А. Хоменок*³, *С.Б. Есин*³

¹ Центральный научно-исследовательский институт
конструкционных материалов «Прометей», Санкт-Петербург, Россия;

² АО «Атомпроект», Санкт-Петербург, Россия;

³ ОАО «Научно-производственное объединение по исследованию
и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова»,
Санкт-Петербург, Россия

✉ z1dehy97@mail.wplus.net

ПРИРОДНАЯ ПРЕСНАЯ ВОДА ДЛЯ САУДОВСКОЙ АРАВИИ

Аннотация. Предложены экологически чистая турбоконденсатная технология и установка «W-Condenser» для крупномасштабного производства природной пресной воды дождевого качества из атмосферного воздуха акватории Красного моря Аравийского полуострова для приморских городов Королевства Саудовской Аравии. Сформулированы принципы работы и характеристики конденсатной установки производительностью более 4000 тонн/сутки пресной воды, условия размещения на морском побережье с учётом особенностей климата и природного рельефа северо-западной территории для решения актуальной проблемы снабжения пресноводными ресурсами и обеспечения устойчивого развития и озеленения аридных экосистем города будущего по проекту Неом. Установка «W-Condenser» использует практически безграничную и экологически чистую природную атмосферную влагу акватории Красного моря и турбокомпрессорную систему охлаждения воздуха при его адиабатическом расширении с образованием пресноводного конденсата, где источником получения технологического холода служит электроэнергия из различных источников Саудовской Аравии.

Ключевые слова: экологически чистая турбоконденсатная технология и установка «W-Condenser»; крупномасштабное производство природной пресной воды дождевого качества; атмосферная влага воздуха акватории Красного моря; снабжение пресноводными ресурсами, город по проекту Неом.

Для цитирования:

Горынин В.И., Рогожкин В.В., Михайлов В.Е. и др. Природная пресная вода для Саудовской Аравии // Глобальная энергия. 2023. Т. 29, № 1. С. 118–128. DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.29106>

Research article

DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.29106>

V.I. Gorynin¹ ✉, V.V. Rogozhkin², V.I. Mikhailov³,
Yu.G. Sukhorukov³, A.A. Lanin³, L.A. Homenok³, S.B. Esin³

¹ Central Research Institute of Structural Materials "Prometey",
St. Petersburg, Russia;

² JSC "Atomproekt", St. Petersburg, Russia;

³ JSC "I.I. Polzunov Scientific and Development Association
on Research and Design of Power Equipment", St. Petersburg, Russia

✉ z1dehy97@mail.wplus.net

NATURAL FRESH WATER FOR SAUDI ARABIA

Abstract. An environmentally friendly turbo-condensate technology and the W-Condenser plant for large-scale production of natural fresh water of rain quality from the atmospheric air of the Red Sea of the Arabian Peninsula for the coastal cities of the Kingdom of Saudi Arabia are proposed. The principles of operation and characteristics of a condensate unit with a capacity of more than 4000 tons of fresh water per day, conditions for location on the sea coast, taking into account the climate and natural topography of the northwestern territory, are formulated to solve the urgent problem of supplying freshwater resources and ensuring sustainable development and landscaping of arid ecosystems of the city of the future under the Neom project. The W-Condenser plant uses practically unlimited and environmentally friendly natural atmospheric moisture of the Red Sea water area and a turbocompressor air cooling system during its adiabatic expansion with the formation of freshwater condensate, where the source of technological cold is electricity from various sources of Saudi Arabia.

Keywords: environmentally friendly turbo-condensate technology and W-Condenser plant, large-scale production of rain-quality natural fresh water, atmospheric moisture of the air in the Red Sea, freshwater supply, Neom city.

Citation:

V.I. Gorynin, V.V. Rogozhkin, V.I. Mikhailov, etc., Natural fresh water for Saudi Arabia, *Global Energy*, 29 (01) (2023) 118–128, DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.29106>

Введение. Дефицит пресноводных ресурсов на побережье и суше Королевства Саудовской Аравии – актуальная проблема не только Аравийского полуострова, но и Юго-восточной Азии. Эксперты ООН прогнозируют нехватку пресной воды к 2030 г. примерно для 50% населения Земли.

Несмотря на окружение межматериковым Красным морем на западе и Персидским заливом (море по гидрологии) на северо-востоке, Саудовская Аравия остаётся преимущественно территорией пустынь. Её жаркий и сухой климат без дождей и водоёмов (реки, озёра и др.) препятствует обеспечению населения и промышленности пресной водой. Крупные запасы чистых грунтовых вод на глубинах от 200 до 1000 м в восточной части пустыни Эль-Хаса в значительной степени исчерпаны. Поэтому примерно 50% пресной воды поступает от опреснения морской воды, 40% от добычи практически невозобновляемых подземных вод и 10% от поверхностных вод горного юго-запада страны. Столица – г. Эр-Рияд снабжается опреснённой водой, получаемой из Персидского залива на расстоянии 467 км.

Строительство объектов города будущего по проекту Неом на территории северо-запада до побережья Красного моря (от города Табука до города Дуба) планируется с учётом строгих

экологических принципов. При этом также предусмотрено создание искусственного пресноводного озера. Горнолыжный курорт TROJENA будет в 50 км от берега залива Акаба в центре нового города будущего по проекту Неом. Всё это требует не только снабжения населения чистой водой атмосферного происхождения, но и регулирования пресноводными ресурсами для устойчивого развития экономики северо-западного региона.

Актуальность проблемы

Атмосферная влага морей – решение проблемы дефицита пресной воды. С поверхности мирового океана и суши испаряется 577000 куб.км пресной воды в год и столько же выпадает в виде осадков. Вода в атмосфере в течение года обновляется до 45 раз. По высоте влага распределена неравномерно: 55% всего водяного пара находится в нижнем ярусе (~2 км высота) тропосферы. У земной поверхности средняя абсолютная влажность атмосферы – 11 г/куб.м., у водной поверхности южных морей – 20–30 г/куб.м. В ряде стран пресная вода дефицитна, несмотря на то, что её много в атмосфере. Например, над каждым квадратом поверхности пустыни Аравийского полуострова со стороной 10 км в сутки может проходить количество воды, которое соразмерно озеру площадью 1 кв. км и глубиной 50 м. Сегодня важна задача освоения этого изобилия атмосферной воды – бесценного ресурса человеческой жизни, поскольку этот практически неограниченный источник – пресная вода в атмосфере – масштабно человеком почти не используется.

Приморская территория Саудовской Аравии на Красном море перспективна для крупномасштабного производства атмосферной пресной воды дождевого качества на основе широкого применения конденсатной технологии в промышленных объёмах 4000–100000 куб.м/сутки на одну типовую конденсатную станцию. При конденсации атмосферной влаги моря эта технология позволяет реализовать два обычно не сочетаемых разнонаправленных фактора качества: во-первых, исходно высокая степень чистоты получаемой пресной воды от морских солей (хлориды, сульфаты и др.), токсичных металлов и патогенных микроорганизмов, и во-вторых, отсутствие токсичных промышленных отходов повышенной солевой концентрации, загрязняющих акваторию, побережье и сухопутные подземные водоносные горизонты.

Этим двум условиям не удовлетворяют практически все применяемые методы опреснения морской воды, включая такие, как обратный осмос, дистилляция и электродиализ. Образующийся в больших количествах (десятки тысяч тонн в сутки) солевой отход-рассол является главным загрязняющим веществом, проблемным для сбора, хранения и утилизации, требующий затрат. По данным ООН при опреснении на каждый литр полученной пресной воды приходится значительное (до 1,5 л) количество жидкости, загрязнённой хлором и медью. Такой концентрат может быть в 2 раза солёнее, чем вода в море. Повышенная солёность и температура могут снижать содержание растворённого кислорода и способствовать образованию «мёртвых зон», в которых сможет обитать лишь ограниченное число морских животных.

В связи с этим в 2019 г. Ассамблея ООН по окружающей среде приняла резолюцию о защите морской среды от наземной деятельности.

Пресная вода, полученная путем опреснения морской воды по распространенной технологии обратного осмоса, непригодна для питьевого употребления и опасна для человека по причине повышенного содержания в ней тяжелых изотопов водорода (дейтерий и тритий) и кислорода (в полтора раза выше, чем в исходной морской воде).

Снабжение северо-западного региона Саудовской Аравии пресноводными ресурсами технологически возможно за счёт использования имеющихся природных паровых форм воды в акватории Красного моря и глобальной циркуляции водяного пара в зависимости от состояния морской атмосферы, поскольку его запасы в атмосфере доступны и практически не ограничены. Атмосферный водный конденсат экологически безопасен, а процесс его получения идёт

без образования солевых и технологических отходов, к которым относятся такие расходные материалы и изделия, как мембраны, фильтры и др.

Принцип технического решения проблемы

Прямая конденсация атмосферной влаги. Конденсат атмосферной влаги является практически единственной природной основой для насыщения поверхностных и подземных источников пресноводных ресурсов. Конденсат атмосферной влаги, например, дождевая вода, естественен и безвреден для человека и животных со времен возникновения наземных форм жизни. Он может употребляться ими в качестве пищи после природной минерализации конденсата в реках, озерах и подземных водохранилищах [1].

Зависимость насыщения воды (%) в воздухе от температуры на уровне моря показана на рис. 1. Главным природным фактором приморской территории для получения пресной воды является повышенная концентрация ее пара в воздухе (до 25–30 г/куб.м), т.к. средняя температура воздуха в акватории Красного моря не ниже 20°C, а летом – минимум 30°C (рис. 1).

Для получения пресной воды из водяного пара в промышленных объемах путем снижения температуры водяного пара ниже точки росы нами предложена конденсатная турбокомпрессорная технология на основе близости неограниченного объема морской воды для принципиального снятия нагрева (более 100°C) воздуха при его компрессии и известного физического эффекта охлаждения воздуха при его адиабатическом расширении. Комплексом технических средств для сбора и конденсации атмосферной влаги, накопления и передачи природной пресной воды являются установки «W-Condenser» [2–9].

Турбокомпрессорная установка формирует и охлаждает исходный технологический объем воздуха из поступающего потока влажного морского воздуха, с учётом основных направлений розы ветров нижнего яруса тропосферы. Оптимальными условиями работы установки «W-Condenser» (далее «W-Co») для крупномасштабного производства природной пресной воды из воздуха акватории моря являются высокая относительная влажность воздуха от 70 до 100% при температуре воздуха от +20 до +40°C.

Система конденсации атмосферной влаги морей с её накоплением и передачей потребителю представляет собой корпусную промышленную установку «W-Co» типа башенной градирни. По предварительной оценке, для получения пресноводного конденсата в объёме более 4000 тонн в сутки необходимо иметь расход воздуха через «W-Co» более 2000 куб.м в секунду, что технически реализует именно приморская турбокомпрессорная технология.

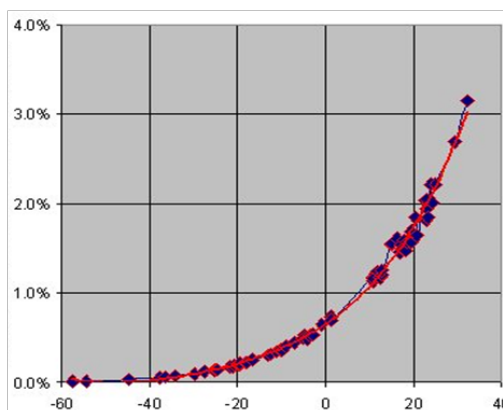


Рис. 1. Температура воздуха на уровне моря, °C

Fig. 1. Air temperature at sea level, °C

Описание технического предложения. Турбокомпрессорная технология получения пресной воды на основе конденсации атмосферной влаги морей детально описана в патенте РФ № 2504417 от 20.01.2014 г. «Атомно-энергетический комплекс» [2, 10–11]. Вид корпусной установки «W-Co» с производительностью пресной воды более 4000 тонн/сутки представлен на рис. 2.

Сооружение установок «W-Co» совместно с АЭС или ТЭС может обеспечить не только производство пресной воды, но и масштабируемое управление пресноводными ресурсами северо-западного региона страны. Основные элементы конструкции установки и движение сред показаны на рис. 3.

Принцип действия конденсационной конструкции «W-Co» следующий:

1) атмосферный воздух акватории моря, движимый ветром, поступает в модульную камеру «Air Intake Tower» за счёт разрежения, создаваемого блоком вентиляторов и турбокомпрессоров;

2) сжатый в «Turbo Compressor» влажный воздух охлаждается с помощью систем «Heat Exchanger» и «Circulating Sea Water» до уровня температуры, обеспечивающей с проходом через турбодетандер «Turbo Expander» эффект ее спада до температуры воздуха ниже точки росы;

3) охлажденная воздушно-капельная среда «Freeze steam-water mixture» поступает в «Waterbox», откуда вода передается в «Condensate Pool» для минерализации до уровня питьевой воды и передачи в систему водообеспечения АЭС, а холодный сухой воздух поступает в вентиляционную систему АЭС.

Металлические стенки установок «W-Co» должны иметь тепловую изоляцию, а также снаружи светоотражающее покрытие для уменьшения солнечного нагрева.

Поскольку Аравийский полуостров является сейсмически активным, крепление оборудования и труб осуществляется с применением демпфирующих устройств для обеспечения устойчивости к толчкам. По предварительным оценкам высота «W-Co» над уровнем моря может составлять с учётом рельефа местности от 40 до 100 м, удаленность от побережья не более 300 м.

Для передачи пресноводного конденсата для технических и питьевых целей могут быть использованы трубы Ду 300 из нержавеющей стали или титана.

Основные технические характеристики установки «W-Condenser». Основным отличием турбокомпрессорной установки «W-Co» от известных прототипов является использование ее вы-



Рис. 2. Общий вид корпусной установки «W-Co»

Fig. 2. General view of the “W-Co” hull unit

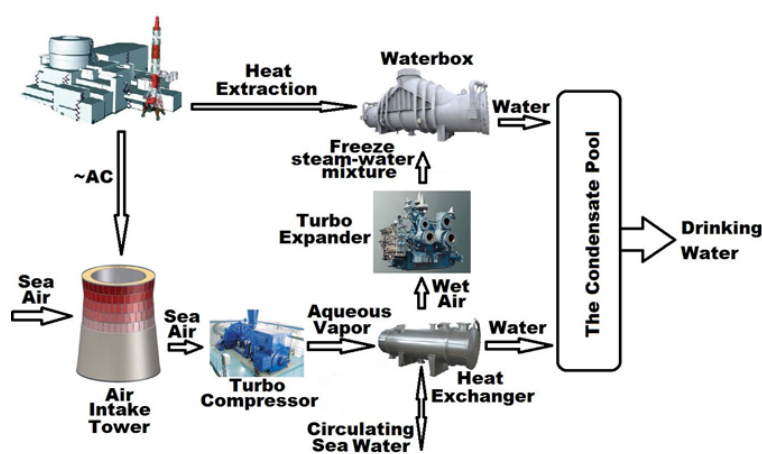


Рис. 3. Основные элементы и принцип действия конденсационной конструкции «W-Co»

Fig. 3. Main elements and principle of operation of the condensing unit "W-Co"

сокой воздухозаборной и охлаждающей способности применительно к природным формам экосистемы северо-западного побережья Красного моря Саудовской Аравии.

Предлагаемая конденсационная конструкция «W-Co» имеет компоновку по типу корпусного исполнения испарительной вентиляторной градирни (рис. 3) с простыми формами на пространственном каркасе для обеспечения высокой энергоэффективности и ускоренного монтажа на площадке.

Установка «W-Co» может иметь собственную высоту (с диффузорами) до 40 м, металлоемкость около 200 тонн, расчётную мощность турбокомпрессорной системы ~ 5 МВт, производительность по пресной воде более 4000 тонн/сутки, удельные энергозатраты от различных источников электроэнергии, в основном для получения технологического холода, около 15 кВт·ч/т. При этом производительность «W-Co» по пресной воде может зависеть от климатических факторов: чем выше температура и относительная влажность воздуха – тем больше её продуктивность, которая может вырасти до 1,5 раз без изменения удельных энергозатрат (кВт·ч/т).

Из-за суточного изменения относительной влажности наилучшим временем для получения пресной воды являются ночные и утренние часы, когда относительная влажность повышается, достигая значения 100%.

Предварительные технико-экономические показатели установки «W-Co», следующие: капитальные вложения с учётом турбокомпрессорной системы ~ 3 млрд руб; себестоимость пресной воды – ~ 150 руб/т; срок окупаемости – ~ 15 лет. Режим работы: автономный с мониторингом. Срок службы – не менее 50 лет. Эти показатели будут уточняться при проектировании с учётом выбора площадки для работы установки «W-Co». После ввода установки в эксплуатацию и её работы в конкретных климатических и атмосферных условиях акватории, потенциала природных форм акватории Красного моря, рельефа побережья и путей циркуляции пресноводного конденсата, полученные данные могут быть использованы для проектного масштабирования новых более мощных установок типа «W-Co».

Преимущества зелёной конденсатной технологии. Производство пресной воды с применением установок «W-Condenser» и процесс их строительства базируется на экологических принципах зелёной конденсатной технологии.

Во-первых, важным фактором является *экологическая безопасность производства* природной пресной воды дождевого качества. Полученная практически без солевых и техногенных отходов пресная вода является безвредной по причине использования именно безотходной технологии конденсации природного водяного пара. В результате своего образования за счёт природного

низкотемпературного испарения молекул воды с поверхности моря под действием солнечной радиации, получаемый пресноводный продукт имеет изотопный и химический состав воды дождевого качества, практически не попадающей на Аравийский полуостров.

Во-вторых, для монтажа конструкции установки «W-Co» предусмотрено модульное исполнение. Например, индустриально изготовленные углепластиковые трубы Ду 2500 и турбокомпрессоры имеют размеры, обеспечивающие их перевозку в пределах габаритов не более 12×2,55×4,0 м (длина-ширина-высота) автомобильным и железнодорожным транспортом к месту монтажа установки. Установка «W-Co» может иметь двухуровневую трубную систему с турбокомпрессорами для обеспечения ее необходимой производительности при сильном ветре и волнении моря.

В-третьих, быстрый монтаж установки. В проекте, за исключением фундаментов, используются строительные конструкции на основе типовых вентиляторных градирен и оборудования индустриального изготовления, доставляемые до места расположения автотранспортом. При монтаже возможно использование крановых устройств по пневмоходу.

Конденсационная безотходная технология позволит сформировать новые рынки природной пресной воды дождевого качества не только для отдельного региона, но и страны в целом, а также и для стран Аравийского полуострова и Африки для снижения дефицита пресной воды.

Потенциальные риски нового проекта. Риски при эксплуатации промышленной установки «W-Co» с турбокомпрессорной системой охлаждения пресноводного конденсата обусловлен природной уникальностью акватории Красного моря, самого соленого в мире.

Известно, что поверхность моря является источником аэрозольных частиц размером от 1 до 10000 нм, попадающих в атмосферу. Эти частицы начинают своё существование в виде микрокапелек морской воды. Капельки возникают в результате нескольких механизмов образования, главными из которых являются пузырьковый с образованием взвешенных капелек, при испарении которых возникают солевые аэрозольные частицы диаметром до 900 нм, и механизм сдувания брызг с гребней (пены) разбивающихся волн. И тот, и другой механизм являются основными источниками поступления в атмосферу солевых частиц, являющихся активными ядрами конденсации. Их химический состав примерно соответствует составу сухого остатка морской воды (в основном хлориды и сульфаты). Микроструктура морского аэрозоля заметно меняется при скорости ветра более 7 м/с, когда повышается концентрация морских солей по характеристикам оптической плотности [12–15].

В связи с этим установка «W-Co» может выполняться конструктивно двухуровневой с двумя трубными системами Ду2500 для производства, как технической пресной воды на нижнем уровне, так и природной пресной воды дождевого качества на верхнем уровне. В случае скорости ветра менее 7 м/с и соответственно отсутствия морских солей, установка может использоваться только для производства природной пресной воды дождевого качества.

Зарубежный опыт: в США разработаны мобильные установки для производства пресноводного конденсата преимущественно континентального происхождения. Одной из самых производительных в линейке является автономная установка EA-5000 с использованием хладагентов R22 и R401. Объём пресной воды от установки EA-5000 составляет разницу от 30 до 5000 литров в сутки. Она применяется в удалённых от морей засушливых и пустынных регионах, над которыми проходит смешанная континентально-морская воздушная масса с возможным стоком морского аэрозоля на поверхность суши. При этом отсутствие учёта влияния природных факторов на континентальную конденсацию водяного пара может неограниченно повышать стоимость производства пресноводных ресурсов.

Строительство промышленной установки «W-Condenser». Установка «W-Co» может быть расположена на побережье Красного моря с учётом его рельефа и близости населённых пунктов, например, город будущего Неом. В ходе конструкторской разработки создаются эскизный и

рабочий проекты и на их основе проектно-конструкторская документация, включая технологическую. После завершения строительства и наладки-настройки установка «W-Co» эксплуатируется в условиях адаптации к различным изменениям климата для её эксплуатационной оптимизации. Примерные сроки строительства – 18 месяцев, адаптационной эксплуатации – 12 месяцев, предварительная стоимость работ ~500 млн. руб.

Заключение

1. Зелёная безотходная турбоконденсатная технология [2] производства пресной воды из атмосферной влаги акватории Красного моря обеспечит природной пресной воды дождевого и питьевого качества город будущего Неом в Королевстве Саудовской Аравии.

2. Установка «W-Condenser» использует практически безграничную и экологически чистую природную атмосферную влагу акватории Красного моря и турбокомпрессорную систему охлаждения воздуха при его адиабатическом расширении с образованием пресноводного конденсата, где источником получения технологического холода служит электроэнергия из различных источников Саудовской Аравии.

3. Расположенная на северо-западном побережье Красного моря промышленная конденсационная установка «W-Condenser» производительностью более 4000 куб.м/сутки при ее неограниченном тиражировании обеспечит снижение дефицита природных пресноводных ресурсов всех прибрежных городов в Королевстве Саудовской Аравии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

[1] Горынин В.И., Рогожкин В.В., Кондратьев С.Ю., Мишин Е.Б., Коленов Е.В. Технология и средства конденсации атмосферной влаги для производства пресной воды // Вестник машиностроения. 2019. № 7. С. 84–88.

[2] Патент на изобретение RU 2504417 C1 от 20.01.2014, Бюл. № 2. Атомно-энергетический комплекс / Рогожкин В.В., Мошков К.В., Вализер Н.А., Потапов К.А.

[3] Беккариа К. Глобальная карта ветров. 2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://earth.nullschool.net/about>

[4] Горынин В.И., Кондратьев С.Ю., Рогожкин В.В., Мишин Е.Б., Коленов Е.В. Конденсация атмосферной влаги акватории моря для поточного производства природной пресной воды // Материаловедение. Энергетика. 2020. Т. 26. С. 23–35.

[5] Кухлинг Х. Справочник по физике. М.: Мир, 1982. 519 с.

[6] Пристли С.Х.Б. Турбулентный перенос в приземном слое атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1964. – 122 с.

[7] Андреев А.О., Дукальская М.В., Головина Е.Г. Облака: происхождение, классификация, распознавание. СПб.: Изд. РГГМУ, 2007. – 228 с.

[8] Горынин В.И., Рогожкин В.В., Кондратьев С.Ю., Мишин Е.Б., Коленов Е.В., Шеволдин А.В. Кулер для регулирования климата – решение проблемы пустыни // Материаловедение. Энергетика. 2021. Т. 27. № 2. С. 23–37.

[9] Ricke K., Drouet L., Kalderia K., Tavoni M. Country-level social cost of carbon // Nature Climate Change. 2018. V. 8. P. 895–900.

[10] Патент на изобретение RU 2734834 от 23.10.2020, Бюл. № 30. Кулер для регулирования климата / Рогожкин В.В., Коленов Е.В., Горынин В.И., Шеволдин А.В.

[11] Горынин В.И., Рогожкин В.В., Ланин А.А., Туркбоев А. Особенности проектирования и выбора материалов при изготовлении блоков конденсера для производства пресной воды // Научно-технические ведомости СПбГУ. Естественные и инженерные науки. 2018. Т. 24. № 2. С. 140–148.

[12] Wells W.C., Gal G., Munn W. // Appl. Opt. 1977. V. 16. Is. 3. P. 63–64.

[13] Kondrat'ev K.Ya., Moskalenko N.I., Terzi V.F. Modeling of optical characteristics of atmospheric aerosol in littoral zones // Dokl. Akad. Nauk SSSR. 1982. V. 262. № 3. P. 577–580.

[14] Кондратьев К.Я., Москаленко Н.И., Поздняков Д.В. Атмосферный аэрозоль. – Л.: Гидромете-
оиздат, 1983. 145 с.

[15] Ивлев Л.С., Довгалоук Ю.А. Физика атмосферных аэрозольных систем. – СПб: СПбГУ, 1999.
– 194 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ГОРЫНИН Владимир Игоревич – начальник лаборатории, Центральный научно-исследова-
тельский институт конструкционных материалов «Прометей», д-р техн. наук.

E-mail: z1dehy97@mail.wplus.net

РОГОЖКИН Владимир Владимирович – главный специалист, АО «Атомпроект», канд. физ.-
мат. наук.

E-mail: vvrogzhkin@atomproekt.com

МИХАЙЛОВ Владимир Евгеньевич – генеральный директор, ОАО «Научно-производственное
объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползу-
нова» (ОАО «НПО ЦКТИ»), д-р техн. наук.

E-mail: mikhvi@ckti.ru

СУХОРУКОВ Юрий Германович – зам. генерального директора, ОАО «Научно-производствен-
ное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И.
Ползунова» (ОАО «НПО ЦКТИ»), канд. техн. наук.

E-mail: ygsukhorukov@gmail.com

ЛАНИН Александр Алексеевич – зав. отделом, ОАО «Научно-производственное объединение по
исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова», д-р техн.
наук.

E-mail: svarka@ckti.ru

ХОМЕНОК Леонид Арсеньевич – начальник отдела, ОАО «Научно-производственное объеди-
нение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова»
(ОАО «НПО ЦКТИ»), д-р техн. наук.

E-mail: deptresursmikhvi@ckti.ru

ЕСИН Сергей Борисович – заведующий лабораторией, ОАО «Научно-производственное объе-
динение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова»
(ОАО «НПО ЦКТИ»), канд. техн. наук.

E-mail: esinsb@gmail.com

REFERENCES

[1] V.I. Gorynin, V.V. Rogozhkin, S.Yu. Kondratyev, Ye.B. Mishin, Ye.V. Kolenov, Tekhnologiya i sredst-
va kondensatsii atmosferno y vlagi dlya proizvodstva presnoy vody // Vestnik mashinostroyeniya. 2019. № 7.
S. 84–88.

[2] Patent na izobreteniyе RU 2504417 S1 ot 20.01.2014, Byul. № 2. Atomno-energeticheskiy kompleks /
Rogozhkin V.V., Moshkov K.V., Valizer N.A., Potapov K.A.

- [3] **K. Bekkaria**, Globalnaya karta vetrov. 2018. [Elektronnyy resurs]. URL: <https://earth.nullschool.net/about>
- [4] **V.I. Gorynin, S.Yu. Kondratyev, V.V. Rogozhkin, Ye.B. Mishin, Ye.V. Kolenov**, Kondensatsiya atmosfery dlya akvatorii morya dlya potochnogo proizvodstva prirodnoy presnoy vody // Materialovedeniye. Energetika. 2020. T. 26. C. 23–35.
- [5] **Kh. Kukhling**, Spravochnik po fizike. M.: Mir, 1982. 519 s.
- [6] **S.Kh.B. Pristli**, Turbulentnyy perenos v prizemnom sloye atmosfery. – L.: Gidrometeoizdat, 1964. – 122 s.
- [7] **A.O. Andreyev, M.V. Dukalskaya, Ye.G. Golovina**, Oblaka: proiskhozhdeniye, klassifikatsiya, raspoznavaniye. SPb.: Izd. RGGMU, 2007. – 228 s.
- [8] **V.I. Gorynin, V.V. Rogozhkin, S.Yu. Kondratyev, Ye.B. Mishin, Ye.V. Kolenov, A.V. Shevoldin**, Kuler dlya regulirovaniya klimata – resheniye problemy pustyni // Materialovedeniye. Energetika. 2021. T. 27. № 2. S. 23–37.
- [9] **K. Ricke, L. Drouet, K. Kalderia, M. Tavoni**, Country-level social cost of carbon // Nature Climate Change. 2018. V. 8. P. 895–900.
- [10] Patent na izobreteniyе RU 2734834 ot 23.10.2020, Byul. № 30. Kuler dlya regulirovaniya klimata / Rogozhkin V.V., Kolenov Ye.V., Gorynin V.I., Shevoldin A.V.
- [11] **V.I. Gorynin, V.V. Rogozhkin, A.A. Lanin, A. Turkboyev**, Osobennosti proyektirovaniya i vybora materialov pri izgotovlenii blokov kondensera dlya proizvodstva presnoy vody // Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGU. Yestestvennyye i inzhenernyye nauki. 2018. T. 24. № 2. S. 140–148.
- [12] **W.C. Wells, G. Gal, W. Munn**, // Appl. Opt. 1977. V. 16. Is. 3. P. 63–64.
- [13] **K.Ya. Kondrat'ev, N.I. Moskalenko, V.F. Terzi**, Modeling of optical characteristics of atmospheric aerosol in littoral zones // Dokl. Akad. Nauk SSSR. 1982. V. 262. № 3. R. 577–580.
- [14] **K.Ya. Kondratyev, N.I. Moskalenko, D.V. Pozdnyakov**, Atmosfernyy aerol. – L.: Gidrometeoizdat, 1983. 145 s.
- [15] **L.S. Ivlev, Yu.A. Dovgalyuk**, Fizika atmosfernykh aerolnykh sistem. – SPb: SPbGU, 1999. – 194 s.

INFORMATION ABOUT AUTHOR

Vladimir I. GORYNIN – *Central Research Institute of Structural Materials “Prometey”*.
E-mail: z1dehy97@mail.wplus.net

Vladimir V. ROGOZHKIN – *JSC “Atomproekt”*.
E-mail: vvrogzhkin@atomproekt.com

Vladimir I. MIKHAILOV – *JSC “NPO CKTI”*.
E-mail: mikhvi@ckti.ru

Yuriy G. SUKHORUKOV – *JSC “NPO CKTI”*.
E-mail: ygsukhorukov@gmail.com

Aleksandr A. LANIN – *JSC “I.I. Polzunov Scientific and Development Association on Research and Design of Power Equipment”*.
E-mail: svarka@ckti.ru

Leinid A. HOMENOK – *JSC “NPO CKTI”*.
E-mail: deptresurmikhvi@ckti.ru

Sergey B. ESIN – JSC "NPO CKTI".
E-mail: esinsb@gmail.com

Поступила: 05.03.2023; Одобрена: 22.03.2023; Принята: 24.03.2023.
Submitted: 05.03.2023; Approved: 22.03.2023; Accepted: 24.03.2023.