

DOI: 10.18721/JEST.240212

УДК 620.22:669.018:658.512:628.1:621.398

*В.И. Горынин<sup>1</sup>, В.В. Рогожкин<sup>2</sup>, А.А. Ланин<sup>3</sup>, А. Туркбоев<sup>4</sup>*

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

4 – НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», Санкт-Петербург, Россия

### **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ БЛОКОВ КОНДЕНСЕРА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРИРОДНОЙ ПРЕСНОЙ ВОДЫ**

Рассмотрены требования к проектированию и эксплуатации оборудования крупногабаритных блоков W-Конденсера для производства в больших объемах природной пресной воды дождевого качества из атмосферного приморского влажного воздуха. Рекомендованы принципы выбора конструкционных материалов, обеспечивающие высокую коррозионную стойкость и работоспособность теплообменников системы «вода – воздух» при длительной эксплуатации. Сформулированы технические требования к материалам оборудования и трубных систем с целью отработки унифицированного технологического цикла производства чистой воды, обеспечивающего производительность и ресурс блока конденсера. Обоснованы наиболее перспективные конструкционные материалы для изготовления экологически чистого теплообменного оборудования и конденсаторов блоков W-Конденсера производства природной пресной воды из атмосферного влажного воздуха в акватории морей и океанов.

*Ключевые слова:* крупногабаритный блок, W-Конденсер, производство природной пресной воды из атмосферного влажного воздуха, конструкционные материалы и технические требования к ним, ресурс блока W-Конденсера.

*Ссылка при цитировании:*

В.И. Горынин, В.В. Рогожкин, А.А. Ланин, А. Туркбоев. Особенности проектирования и выбора материалов при изготовлении блоков конденсера для производства природной пресной воды // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2018. Т. 24. № 2. С. 140–148. DOI: 10.18721/JEST.240212.

*V.I. Gorynin<sup>1</sup>, V.V. Rogozhkin<sup>2</sup>, A.A. Lanin<sup>3</sup>, A. Turkboev<sup>4</sup>*

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

4 – NRC «Kurchatov Institute» – CRISM «Prometey», St. Petersburg, Russia

### **DESIGN FEATURES OF CONDENSER BLOCKS FOR PRODUCTION OF NATURAL FRESH WATER**

In this paper, we have considered the requirements for the design and operation of equipment for large-size W-Condenser units for production of natural fresh water of rainwater quality from atmospheric maritime moist air in large volumes. The principles of choosing structural materials are recommended, which ensure high corrosion resistance and serviceability of water-to-air heat exchangers during long-term operation. Technical requirements for materials of equipment and

pipe systems are formulated with the purpose of working out a unified technological cycle for the production of clean water, which ensures the productivity and resource of the condenser unit. We have substantiated which construction materials are the most promising for manufacturing environmentally friendly heat exchange equipment and capacitors for W-Condenser blocks produced by natural fresh water from atmospheric moist air in the seas and oceans.

*Keywords:* large-sized block, W-Condenser, production of natural fresh water from atmospheric moist air, construction materials and technical requirements, resource of W-Condenser unit

*Citation:*

V.I. Gorynin, V.V. Rogozhkin, A.A. Lanin, A. Turkboev, Design features of condenser blocks for production of natural fresh water, *St. Petersburg polytechnic university journal of engineering science and technology*, 24(02)(2018) 140–148, DOI: 10.18721/JEST.240212.

## Введение

Создание современного теплообменного оборудования для перспективной технологии общего и энергетического машиностроения в области обеспечения чистой воды на основе экопромышленной системы (W-Конденсер) – актуальная задача. В России и за рубежом ведутся интенсивные разработки по проектированию и вводу в эксплуатацию блоков W-Конденсера при морского базирования для производства больших объемов природной пресной воды (ППВ) из атмосферного влажного воздуха. По предварительным оценкам в воздухе содержится более 12 млрд тонн пресной воды в год. Работы по конструированию и освоению водогенерационных установок малой мощности в период конца второй половины XX века – начала (первое десятилетие) XXI века нашли свое воплощение в конструкциях малой производительности и локального пользования [1–4]. Эти установки для производства пресной воды, выполненные в виде коллекторно-ячеистых сетей большой площади, а также с источником холода (например, на базе абсорбционных водоаммиачных машин [2]) и принудительной продувкой влажного воздуха, были рекомендованы для применения в условиях безводной среды. Они предназначались для континентального и тропического климата аридных территорий и пустынь, где по приблизительным расчетам количество воды в проходящем потоке воздуха над поверхностью 10 км<sup>2</sup> соответствует объему озера площадью 1 км<sup>2</sup> и глубиной 50 м.

В настоящее время наблюдается тенденция перехода к технологии получения больших объемов ППВ из возобновляемого и практически неограниченного ресурса – атмосферного влажного воздуха, что чрезвычайно актуально в научном, технико-экономическом, социально-гуманитарном и биоэкологическом аспектах. Проблема дефицита и качества питьевой воды затронула почти все континенты Земли – Европу, Азию, Африку, Америку (Южная и Северная), Австралию. Пресная вода, чья скорость убыли больше, чем возобновления из таких источников, как реки, озера и подземные запасы, уже сейчас для многих территорий – дефицитный, а в ряде случаев и дорогостоящий природный ресурс. Вместе с тем при изготовлении установок производства ППВ уделяется недостаточное внимание выбору конструкционных материалов, технологий их изготовления и обоснованию технических требований к ним, в частности к изменению химической активности конденсата и пресной воды с учетом скорости их потоков в условиях длительной эксплуатации W-Конденсера морского базирования. Это может приводить к повреждаемости нагруженных и поверхностно-расширенных трубных пучков и нарушению плотности узлов «труба – трубная доска».

Первые разработки установок производства ППВ с незначительным дебитом (20–80 т/сутки) для локального и индивидуального пользования были ориентированы на существенно стационарные режимы работы с ограниченным ресурсом (около 50000 часов). К новым проектам W-Кон-

денсера и его поколений, включая проектно-реконструкторскую интеграцию в состав строящихся и действующих объектов тепловой и атомной энергетики, помимо регламента по экологии окружающей среды, предъявляются более жесткие требования к повышению ресурса и маневренности. В России к тому же важна максимальная унификация материалов и технических требований с существующими зарубежными аналогами (стандарты и требования Европейского Союза, США, Японии и т. д.).

В связи с актуальностью проблемы водообеспечения формирование облика конструкции основными проектными организациями и предприятиями-изготовителями теплообменного оборудования и трубопроводов России проводятся систематические работы в области выбора конструкционных материалов блоков W-Конденсера для производства больших объемов ППВ и его новых автономных и интегральных (в составе ТЭЦ и АЭС) вариантов. При этом разрабатываются научно-технические программы конструктивно-материаловедческого оформления, не имеющие зарубежных аналогов в Европейском Союзе, США, Японии и Китае, несмотря на то, что в США и Китае проблема дефицита питьевой пресной воды становится все более острой и зоны пустыней (Невада, Гоби) неуклонно расширяются. Многолетний опыт таких работ, начатых еще в период СССР, включая результаты испытаний на коррозионно-механическую прочность конструкционных материалов, особенно в местах сварки, позволяет практически полностью завершить выбор унифицированных материалов и разработку технических требований к ним для крупногабаритных блоков экосистемы производства ППВ, а также рекомендовать скорейшее изготовление головного оборудования с целью отработки унифицированного технологического цикла производства ППВ для нагруженных теплообменных элементов, которые лимитируют производительность, ресурс и маневренность блока W-Конденсера приморского базирования.

### Критерии выбора и оптимизации материала

Критерии выбора и оптимизации материала (КВОМ) элементов теплообменного оборудования из сталей перлитного, мартенситно-ферритного, а также аустенитно-ферритного классов и титана промышленной чистоты играют важную роль на стадии обоснования выбора и оптимизации материалов и разработки технических требований к ним.

Существует ряд КВОМ для химического состава хромистых и высокохромистых сталей перлитного и мартенситно-ферритного классов. КВОМ первого поколения были предложены на основе Мо-эквивалента [5]:

$$Mo_3 = Mo + 0,5W \text{ (масс. \%)}, \quad (1)$$

где W и Mo – содержание соответственно вольфрама и молибдена. Эти критерии позволили увеличить работоспособность металла за счет повышения характеристик кратковременной и длительной коррозионной прочности. Практика эксплуатации тепломеханического энергетического оборудования в различной коррозионной среде показала необходимость совершенствования КВОМ на основе указанного Мо-эквивалента в части обеспечения необходимых дополнительных требований по уровню сопротивляемости хрупким, малоцикловым усталостным и локальным разрушениям [6, 7] в сочетании с повышенной технологичностью и трещиностойкостью. Таким требованиям удовлетворяют высокохромистые с минимальным содержанием дельта-феррита стали мартенситно-ферритного класса, легированные в первую очередь молибденом, и их сварные соединения после гомогенизации и термической обработки для оптимизации структуры [8].

Отметим, что КВОМ на основе взаимосвязи хромовых и никелевых эквивалентов по диаграмме Шеффлера и ее модификаций, а также с учетом разработки новых технологий термической обработки (например, термическое улучшение, гомогенизация и др.) для улучшения и стабилизации структуры металла различного полу-

фабрикатного состояния [9, 10] используются практически во всех промышленно развитых странах с целью повышения комплексной работоспособности на основе ряда прочностных критериев: жаропрочности, коррозионно-механической прочности хрупкого разрушения, малоциклового усталости, чувствительности к надрезу или трещинам и технологичности [11].

### **Расчетные характеристики и критерии прочности**

Проектирование нового поколения установок конденсации воздушного пара – высокопроизводительных блоков W-Конденсера производства ППВ – требует введения современных методов расчета на прочность и ресурс основных элементов, которые лимитируют ресурс оборудования. В настоящее время преимущественно используются детерминированные расчеты на прочность и долговечность с оценкой системы коэффициентов запаса по прочности и долговечности. Особое внимание целесообразно уделять корректным расчетам полей напряжений и деформаций элементов блока W-Конденсера с учетом коррозионных процессов. Очевидно, что для таких расчетов следует располагать соответствующей базой данных, в том числе по возникновению и развитию процессов коррозии под напряжением. Для основных элементов оборудования расчеты на коррозионно-механическую прочность по результатам сравнительно кратковременных испытаний могут быть использованы только для предварительных расчетных процедур. Важно подчеркнуть, что используемые общие локальные деформационные критерии длительной и циклической коррозионно-механической прочности при расчетах предельных состояний в зонах эффективных концентраторов напряжений (деформаций) и малоциклового усталости требуют при количественных расчетах корректировки в области хрупких, включая межзеренные, разрушений [12, 13].

Отметим, что для обеспечения коррозионной стойкости высокохромистых сталей мартенситно-ферритного класса, леги-

рованных молибденом, после гомогенизационного отжига (чтобы предотвратить образование или снижение содержания  $\delta$ -феррита в процессе термической обработки и обеспечить оптимизацию структуры мартенсита) были получены положительные результаты по сопротивляемости металла хрупкому разрушению [14, 15].

При проектировании и изготовлении крупногабаритных блоков W-Конденсера производства ППВ следует избегать применения материалов и технологий, не обеспечивающих коэффициент прочности сварных соединений  $S_{w.0,8}$  за весь расчетный срок службы [8, 16, 17]. В случае проведения гомогенизации металла сварного соединения высокохромистой стали мартенситно-ферритного класса коэффициент прочности сварного соединения составляет практически  $S_{w.1,0}$ , т. е. на уровне основного металла, что позволяет и в случае соединения сваркой считать данный материал механически однородным. Более того, этот материал также является механически однородным по сопротивляемости хрупкому разрушению при ударном изгибе образцов 11 типа по ГОСТ 9454 во всем диапазоне рабочих температур, включая пониженные.

В связи с этим целесообразно унифицировать требования к оценке величины допускаемых напряжений и гарантированных характеристик коррозионно-механической прочности. С учетом ряда отечественных разработок по высокохромистым сталям и их сварным соединениям возможно применить усовершенствованные методы оценки «хрупкой» прочности основных элементов оборудования, исключая возможность разрушения в процессе эксплуатации блока W-Конденсера в существенно нестационарных режимах.

### **Конденсаторы и трубы теплообменного оборудования**

Один из главных вопросов при изготовлении поглощающего влажный воздух (преимущественно над теплой водной поверхностью морей и океанов) блока W-Конденсера

производства ППВ – оптимальный выбор материалов для тонкостенных труб пучков конденсатора и теплообменного оборудования, например водяных камер, трубных досок, промежуточных перегородок и т. д. [18–21].

Также важной проблемой при проектировании теплообменного оборудования (в том числе для ТЭЦ и АЭС) является создание надежных сварных конструкций, отвечающих требованиям и нормам экологии окружающей среды. При этом выбор материала и технология его изготовления с учетом технических требований к характеристикам работоспособности должны не только быть взаимосвязаны, но и составлять системную основу для разработки новых, более совершенных в конструктивно-материаловедческом аспекте проектов блока W-Конденсера для производства дефицитного природного ресурса в условиях приморского климата. Такие условия, например, существуют уже примерно 55 млн лет в пустыне Намиб (юго-запад Африки). Эта пустыня примыкает к морю и, несмотря на это, имеет весьма большие дюны высотой более 300 м, которые отсутствуют в составе ряда континентальных пустынь большей площади.

В России и других экономически развитых странах в качестве конструкционного материала при изготовлении конденсаторов и другого теплообменного оборудования энергоблоков ТЭЦ и АЭС применяются нержавеющие легированные стали мартенситно-ферритного и аустенитно-ферритного классов, технически чистый титан и медно-никелевые сплавы [18, 22].

Первое время при изготовлении трубных систем применялись хромоникелевые стали аустенитного класса. Но из-за склонности этих сталей к коррозионному растрескиванию, особенно при сварке, и повышенной повреждаемости трубных пучков конденсаторов и других элементов от их широкого применения отказались. Были разработаны другие нержавеющие стали аустенитно-ферритного класса (состоящие из феррита и аустенита в соотношении 50:50). Дуплексные стали системы Cr-Ni-Mo-N с

пониженным содержанием углерода характеризуются высокой стойкостью к общей коррозии, а также к следующим ее видам: межкристаллитной, питтинговой, щелевой и коррозионному растрескиванию. В России в девяностых годах прошлого столетия с участием НПО ЦКТИ была разработана технология производства труб из дуплексной стали 03X24H6AM3 (ЗИ130) с толщиной стенки 0,8 мм.

Дуплексные коррозионностойкие стали поддаются известным способам сварки: ручной дуговой, вольфрамовым электродом в инертном газе, ручной в инертном газе и под флюсом. Кроме того, эти стали свариваемы с другими материалами, включая углеродистые стали. Это важно для замены труб, когда трубные доски, находясь в удовлетворительно работоспособном состоянии, не нуждаются в трудоемкой замене.

Получение удовлетворительного комплекса характеристик работоспособности дуплексных сталей позволило ряду заводов России освоить технологии изготовления цельнотянутых и сварных тонкостенных труб не только из них, но и из технически чистого титана. При этом технология изготовления и уровень служебных свойств металла труб практически не уступают такому у зарубежных аналогов.

Отметим, что конденсаторные трубы из титана по сравнению с другими конструкционными материалами обладают самой высокой стойкостью к эрозии песком, ударной и химической коррозии, в том числе аммиачной, а также практически полным отсутствием склонности к коррозионному растрескиванию под напряжением. Кроме того, это превосходство титана обнаружено и для хлоридных растворов, что указывает на возможность его применения при охлаждении морской водой в различном по загрязнению состоянии.

За рубежом тонкостенные конденсаторные трубы из технически чистого титана изготавливаются в соответствии со стандартом ASTM B338 как в цельнотянутом, так и сварном варианте при толщине стенки 0,4 мм и более.

В России такое производство по ГОСТ 22897–86 и ГОСТ 24890–81 соответственно для бесшовной холоднодеформированной и сварной труб освоено для титана марки ВТ1-0. Для сварного варианта, который существенно дешевле цельнотянутого и позволяет уменьшить толщину стенки и увеличить длину, в НПО ЦКТИ была подтверждена высокая коррозионная стойкость не только основного металла, но и зоны шва.

Анализ данных фирмы «Siemens AG» по объемам производства конденсаторов паровых турбин зарубежными фирмами в последние годы XX века показал следующее. Для изготовления более половины продукции (56 %) был использован технически чистый титан; меньше половины составили медно-никелевые сплавы: зарубежные CuNi 70-30, CuNi 85-15, CuNi 90-10 (их отечественные аналоги МНЖМц 30-1-1, МН15 и МН10) в количестве 23 %; лишь 21 % – дуплексные нержавеющие стали. В связи с этим для обеспечения конкурентоспособности отечественного оборудования блоков W-Конденсера производства ППВ целесообразно использовать технически чистый титан.

Технико-экономическая целесообразность также диктует применение титановых труб в сочетании с трубными досками из биметалла: плакированный титан + сталь. В настоящее время возможна технология изготовления биметаллических трубных досок на основе системы сплавов ВТ1-0 + 09Г2СА-А методом сварки взрывом. Сталь 09Г2СА-А была разработана и успешно освоена при изготовлении листов и поковок для металлобетонных корпусов и оборудования транспортных контейнеров перевозки и хранения отработавшего ядерного топлива [23]. Следует отметить, что разработанная в [8, 24] прогрессивная технология термической обработки (по схеме закалки и двух последующих, различной интенсивности отпусков – для коагуляции и сфероидизации карбидной фазы, преимущественно карбидов цементитного типа) обеспечила получение у этой стали исключительно высокой хладостойкости [9, 10,

15, 24]. По-видимому, эти высокие характеристики титана и стали 09Г2СА-А делают их наиболее перспективными материалами для трубных досок блоков W-Конденсера производства природной пресной воды.

### Крепежные детали

Технические требования к крепежным деталям для фланцевых соединений с температурой среды от 0 до 650 °С, разработанные в [25] и изложенные в ГОСТ 20700–75, а также для фланцевых соединений атомных энергетических установок с температурой среды от 0 до 350 °С, представленные в ГОСТ 23304–78, применимы для изготовления шпилек, болтов, гаек, шайб и анкерных соединений крупногабаритных блоков W-Конденсера. Целесообразно при проектировании блоков W-Конденсера рассмотреть вопрос об использовании нержавеющих сталей А2 и А4 (AISI304 и AISI316; их отечественные аналоги – 08Х18Н10 и 10Х17Н13М2 соответственно) по ГОСТ ISO 3506-1–2014. В случае выбора конструктивного варианта фланцевого соединения W-Конденсера не рекомендуется использовать шпильки типа А по ГОСТ 9066–75. Для крепежных деталей фланцевых соединений блоков W-Конденсера необходимо применять 1-ю или 2-ю группу качества готовых изделий по ГОСТ 20700–75. Не допускается для изготовления крепежа W-Конденсера применение 5-й группы качества готовых изделий. Резьба должна быть по ГОСТ 9150–81 с допусками на профиль резьбы и длину свинчивания по ГОСТ 16093–81.

### Заключение

При проектировании и изготовлении экологически чистого теплообменного оборудования и конденсаторов для блоков W-Конденсера производства природной пресной воды из атмосферного влажного воздуха в акватории морей и океанов, по-видимому, наиболее перспективными следует считать следующие конструкционные материалы: для трубных систем – титан и

нержавеющие стали типа дуплекс и супердуплекс; для трубных досок – толстолистовой биметалл титан-сталь; для теплообмен-

ного оборудования конденсаторов – высокохромистая сталь мартенситно-ферритного класса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.В., Чекарев К.В. Получение пресной воды из влажного воздуха // Аридные экосистемы. 1996. Т. 2. № 2-3. С. 111–122.
2. Ищенко И.Н., Титлов А.С. Разработка систем получения воды из атмосферного воздуха на базе теплоиспользующих абсорбционных холодильных машин // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. Технические науки. 2011. № 4. С. 76–77.
3. Shimtnauer R.S., Cereceda P. Fog Collection in Coastal Location // AMBIO. 1991. Vol. 20. No 7. P. 303–308.
4. Семенов И.Е. Автономная установка для конденсации пресной воды из атмосферного воздуха // Водоснабжение и санитарная техника. 2008. № 5. С. 65–68.
5. Tchizhik A.A., Tchizhik T.A., Alexeichuk G.P. Properties and use of 10% Cr-Steel for tubes of modern boilers and steam generators // Proc. of Inter. Conference on plant condition Life management. VTT Symposium 150. Helsinki, Stockholm, 6–8 June 1995, P. 135–142.
6. Горьнин В.И., Кондратьев С.Ю. Механические свойства металлов. Усталость металлов. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2005. 91 с.
7. Кондратьев С.Ю. Механические свойства металлов. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 128 с.
8. Горьнин В.И., Оленин М.И. Пути повышения хладостойкости стали и сварных соединений. СПб.: Изд-во ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», 2017. 341 с.
9. Горьнин В.И., Кондратьев С.Ю., Оленин М.И. Повышение сопротивляемости хрупкому разрушению перлитных и мартенситных сталей при термическом воздействии на морфологию карбидной фазы // Металловедение и термическая обработка металлов. 2013. № 10 (700). С. 22–29.
10. Горьнин В.И., Кондратьев С.Ю., Оленин М.И. Повышение сопротивляемости разрушению сталей перлитного класса за счет микро и наноструктурной трансформации карбидной фазы при дополнительном отпуске // Заготовительные производства в машиностроении. 2013. № 2. С. 42–48.
11. Азбукин В.Г., Горьнин В.И., Павлов В.Н. Перспективные коррозионно-стойкие материалы для оборудования и трубопроводов АЭС. СПб.: Изд-во ЦНИИ КМ «Прометей», 1997. 118 с.
12. Карпенко Г.В. Малоцикловая усталость стали в рабочих средах. Киев: Наукова думка, 1977. 110 с.
13. Гутман Э.М., Султанов М.Х., Выбра В.А. Влияние концентрации напряжений на коррозионную усталость резьбовых соединений // Коррозия и защита. 1983. № 3. С. 2–3.
14. Чернявская С.Г., Красникова С.И., Суламенко А.В. Изменение дельта-феррита в стали 1X16ННБ при гомогенизации // Металловедение и термическая обработка металлов. 1972. № 9. С. 66–67.
15. Горьнин В.И., Кондратьев С.Ю., Оленин М.И., Рогожкин В.В. Концепция карбидного конструирования сталей повышенной хладостойкости // Металловедение и термическая обработка металлов. 2014. № 10 (712). С. 32–38.
16. Tchizhik A.A., Tchizhik T.A. Optimization of heat treatment for steam and gaz turbine parts from 9–12 % Cr steels // Proceeding of the International Conference on Advances in Materials and Processing Technologies. Dublin, Ireland. 8–12 August 1995. P. 1528–1536.
17. Ланин А.А., Балина В.С. Прочность и долговечность конструкций при ползучести. СПб.: Политехника, 1996. 181 с.
18. Горьнин В.И., Лихарева Т.П., Никитина В.И. [и др.]. Металлы для турбин и теплообменного оборудования атомных электростанций. Рекомендации по выбору металлов. Общие технические требования. РТМ 108.020.15-86. СПб.: НПО ЦКТИ, 1987. 107 с.
19. Энциклопедия. Машиностроение. Т. IV. 19. Турбинные установки. М.: Машиностроение, 2015. 1030 с.
20. Орыщенко А.С., Кондратьев С.Ю., Анастасиади Г.П., Фукс М.Д., Петров С.Н. Особенности структурных изменений в жаропрочном сплаве 45X26H33C2B2 при температурах эксплуатации. Сообщение 1: Литое состояние // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2012. № 142. С. 155–163.
21. Фукс М.Д., Орыщенко А.С., Кондратьев С.Ю., Анастасиади Г.П. Длительная прочность литого жаропрочного сплава 45X26H33C2B2 // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2012. № 159. С. 92–96.



22. Фукс М.Д., Зеленин Ю.В., Кондратьев С.Ю. Исследование качества металла толстостенных труб из коррозионно-стойких сталей // Заготовительные производства в машиностроении. 2012. № 2. С. 36–38.

23. Филимонов Г.Н. Создание и совершенствование материалов для крупногабаритных изделий машиностроения. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. 137 с.

24. Горынин В.И., Оленин М.И., Хламков Н.А., Тимофеев Б.Т. Метод трансформации карбидной фазы – фактор повышения сопротивляемости хрупкому разрушению конструкционных сталей // Вопросы материаловедения. 2013. № 1 (73). С. 7–19.

25. Горынин В.И. Высокопрочные материалы для резьбовых соединений. СПб.: Изд-во ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», 2016. 430 с.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**ГОРЫНИН Владимир Игоревич** – доктор технических наук начальник лаборатории Центрального научно-исследовательского института конструкционных материалов «Прометей»

E-mail: z1dehy97@mail.wplus.net

**РОГОЖКИН Владимир Владимирович** – кандидат физико-математических наук главный специалист АО «Атомпроект»

E-mail: vvrogzhkin@atomproekt.com

**ЛАНИН Александр Алексеевич** – доктор технических наук зав. отделом ОАО «Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова»

E-mail: svarka@ckti.ru

**ТУРКБОЕВ Ашурбек** – доктор технических наук начальник сектора НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей»

E-mail: npk6@crism.ru

Дата поступления статьи в редакцию: 09.06.2018

### REFERENCES

[1] Alekseyev V.V., Chekarev K.V., Polucheniye presnoy vody iz vlazhnogo vozdukha, *Aridnyye ekosistemy*. 1996. T. 2. № 2-3. S. 111–122. (rus.)

[2] Ishchenko I.N., Titlov A.S., Razrabotka sistem polucheniya vody iz atmosfernogo vozdukha na baze teploispolzuyushchikh absorbtionnykh kholodilnykh mashin, *Aktualnyye problemy aviatsii i kosmonavtiki. Tekhnicheskiye nauki*. 2011. № 4. S. 76–77. (rus.)

[3] Shimtnauer R.S., Cereceda P., Fog Collection in Coastal Location, *AMBIO*. 1991. Vol. 20. No 7. P. 303–308.

[4] Semenov I.Ye. Avtonomnaya ustanovka dlya kondensatsii presnoy vody iz atmosfernogo vozdukha, *Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika*. 2008. № 5. S. 65–68. (rus.)

[5] Tchizhik A.A., Tchizhik T.A., Alexeichuk G.P., Properties and use of 10% Cr-Steel for tubes of modern boilers and steam generators, *Proc. of Inter. Conference on plant condition Life management. VTT Symposium 150*. Helsinki, Stockholm, 6–8 June 1995, P. 135–142.

[6] Gorynin V.I., Kondratyev S.Yu. Mekhanicheskiye svoystva metallov. Uсталost metallov. SPb.: Izd-vo Politekh. un-ta, 2005. 91 s. (rus.)

[7] Kondratyev S.Yu., Mekhanicheskiye svoystva metallov. SPb.: Izd-vo Politekh. un-ta, 2011. 128 s. (rus.)

[8] Gorynin V.I., Olenin M.I., Puti povysheniya khladostoykosti stali i svarnykh soyedineniy. SPb.: Izd-vo FGUP TsNII KM «Prometey», 2017. 341 s. (rus.)

[9] Gorynin V.I., Kondratyev S.Yu., Olenin M.I., Povsheniye soprotivlyayemosti khrupkomu razrusheniyu perlitnykh i martensitnykh staley pri termicheskom vozdeystvii na morfologiyu karbidnoy fazy, *Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov*. 2013. № 10 (700). S. 22–29. (rus.)

[10] Gorynin V.I., Kondratyev S.Yu., Olenin M.I., Povsheniye soprotivlyayemosti razrusheniyu staley perlitnogo klassa za schet mikro i nanostrukturnoy transformatsii karbidnoy fazy pri dopolnitelnom otpuske, *Zagotovitelnyye proizvodstva v mashinostroyenii*. 2013. № 2. S. 42–48. (rus.)

[11] Azbukin V.G., Gorynin V.I., Pavlov V.N., Perspektivnyye korrozionno-stoykiye materialy dlya oborudovaniya i truboprovodov AES. SPb.: Izd-vo TsNII KM «Prometey», 1997. 118 s. (rus.)



- [12] **Karpenko G.V.**, Malotsiklovaya ustalost stali v rabochikh sredakh. Kiyev: Naukova dumka, 1977. 110 s. (rus.)
- [13] **Gutman E.M., Sultanov M.Kh., Vybra V.A.**, Vliyaniye kontsentratsii napryazheniy na korrozionnuyu ustalost rezbovykh soyedineniy, *Korroziya i zashchita*. 1983. № 3. S. 2–3. (rus.)
- [14] **Chernyavskaya S.G., Krasnikova S.I., Sulamenko A.V.**, Izmeneniye delta-ferrita v stali 1Kh16NNB pri gomogenizatsii, *Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov*. 1972. № 9. S. 66–67. (rus.)
- [15] **Gorynin V.I., Kondratyev S.Yu., Olenin M.I., Rogozhkin V.V.**, Kontsepsiya karbidnogo konstruirovaniya staley povyshennoy khladostoykosti, *Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov*. 2014. № 10 (712). S. 32–38. (rus.)
- [16] **Tchizhik A.A., Tchizhik T.A.**, Optimization of heat treatment for steam and gaz turbine parts from 9–12 % Cr steels, *Proceeding of the International Conference on Advances in Materials and Processing Technologies*. Dublin, Ireland. 8–12 August 1995. P. 1528–1536.
- [17] **Lanin A.A., Balina V.S.**, Prochnost i dolgovechnost konstruksiy pri polzuchesti. SPb.: Politekhnika, 1996. 181 s. (rus.)
- [18] **Gorynin V.I., Likhareva T.P., Nikitina V.I. [i dr.]**, Metally dlya turbin i teploobmennogo oborudovaniya atomnykh elektrostantsiy. Rekomendatsii po vyboru metallov. Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya. RTM 108.020.15-86. SPb.: NPO TsKTI, 1987. 107 s.
- [19] Entsiklopediya. Mashinostroyeniye. T. IV. 19 Turbinnyye ustanovki. M.: Mashinostroyeniye, 2015. 1030 s. (rus.)
- [20] **Oryshchenko A.S., Kondratyev S.Yu., Anastasiadi G.P., Fuks M.D., Petrov S.N.**, Osobennosti strukturnykh izmeneniy v zharoprochnom splave 45Kh26N33S2B2 pri temperaturakh ekspluatatsii. Soobshcheniye 1: Litoye sostoyaniye, *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta*. 2012. № 142. S. 155–163. (rus.)
- [21] **Fuks M.D., Oryshchenko A.S., Kondratyev S.Yu., Anastasiadi G.P.**, Dlitelnaya prochnost litogo zharoprochnogo splava 45Kh26N33S2B2, *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta*. 2012. № 159. S. 92–96. (rus.)
- [22] **Fuks M.D., Zelenin Yu.V., Kondratyev S.Yu.**, Issledovaniye kachestva metalla tolstostennykh trub iz korrozionno-stoykikh staley, *Zagotovitelnyye proizvodstva v mashinostroyenii*. 2012. № 2. S. 36–38. (rus.)
- [23] **Filimonov G.N.**, Sozdaniye i sovershenstvovaniye materialov dlya krupnogabaritnykh izdeliy mashinostroyeniya. SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2012. 137 s. (rus.)
- [24] **Gorynin V.I., Olenin M.I., Khlamkov N.A., Timofeyev B.T.**, Metod transformatsii karbidnoy fazy – faktor povysheniya soprotivlyayemosti khrupkomu razrusheniyu konstruksionnykh staley, *Voprosy materialovedeniya*. 2013. № 1 (73). S. 7–19. (rus.)
- [25] **Gorynin V.I.**, Vysokoprochnyye materialy dlya rezbovykh soyedineniy. SPb.: Izd-vo FGUP TsNII KM «Prometey», 2016. 430 s. (rus.)

## THE AUTHORS

**GORYNIN Vladimir I.** – Central research institute of structural materials «Prometey»

E-mail: z1dehy97@mail.wplus.net

**ROGOZHNIKIN Vladimir V.** – JSC «Atomproekt»

E-mail: vvrogozhkin@atomproekt.com

**LANIN Aleksandr A.** – JSC «I.I. Polzunov Scientific and development association on research and design of power equipment»

E-mail: svarka@ckti.ru

**TURKBOEV Ashurbek** – NRC «Kurchatov Institute» – CRISM «Prometey»

E-mail: npk6@crism.ru

Received: 09.06.2018