



УДК 82-94:669.14.018  
DOI 10.17073/0368-0797-2021-1-78-83



## ПАМЯТИ ПРОФЕССОРА ЦОЛО РАШЕВА (1933 – 2019)

М. В. Костина<sup>1</sup>, Л. Ц. Жекова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН* (Россия, 119991, Москва, Ленинский пр. 49)

<sup>2</sup> *Институт металловедения, сооружений и технологий Болгарской Академии Наук* (Болгария, 1574, София)

**Аннотация.** Статья содержит биографию выдающегося ученого-металлурга и металловеда XX века Цоло Рашева. Его жизнь была посвящена развитию металлургии Болгарии, исследованию и разработке металлургических процессов, связанных с получением азотосодержащих и высокоазотистых сталей различных структурных классов и исследованию самих этих сталей. Поскольку его жизнь была неотделима от этой работы, в статье уделено внимание основным направлениям его научной деятельности. Цоло Рашев проводил работы по термодинамике и кинетике взаимодействия нетрадиционных легирующих элементов с металлами и шлаками в жидком и твердом состоянии (в том числе изучение растворимости азота в расплавах различных систем легирования на основе железа); по математическому моделированию металлургических процессов; по технологии и свойствам качественных, специальных и высокоазотистых сталей и сплавов. Разрабатывал и реализовывал на практике методы и устройства для обработки и получения сталей и сплавов, особое внимание уделяя при этом способам и конструкциям для введения и удержания азота в сталях и сплавах на основе железа. Своими работами Цоло Рашев внес неоценимый вклад в мировой фонд научных знаний.

**Ключевые слова:** сталь, плавка, легирование, азот, давление, установка, способ, выплавка, прочность, металлург, Цоло Рашев, биография

**Для цитирования:** Костина М.В., Жекова Л.Ц. Памяти профессора Цоло Рашева (1933 – 2019) // Известия вузов. Черная металлургия. 2021. Т. 64. № 1. С. 78–83. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-1-78-83>

## IN MEMORY OF PROFESSOR TSOLO RASHEV (1933 – 2019)

M. V. Kostina<sup>1</sup>, L. Ts. Zhekova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science, RAS* (49, Leninskii ave., Moscow 119991, Russian Federation)

<sup>2</sup> *Institute of Metal Science, Equipment and Technologies, Bulgarian Academy of Science* (67, Shipchenski prohod str., Sofia 1574, Bulgaria)

**Abstract.** The article contains biography of TsoLo Rashev – an outstanding metallurgical scientist of the 20<sup>th</sup> century. His life was devoted to the development of metallurgy in Bulgaria, to the research of metallurgical processes related to the production of nitrogen-containing and high-nitrogen steels and their various structural classes. Since his life was inseparable from this work, the article focuses on the main directions of his scientific activity. In particular, Professor Rashev has carried out the work on thermodynamics and kinetics of interaction of unconventional alloying elements with metals and slags in liquid and solid states, including studies on the solubility of nitrogen in melts of various iron-based alloying systems; on mathematical modeling of metallurgical processes; on technology and properties of high-quality, special and high-nitrogen steels and alloys. He has developed and implemented in practice methods and devices for processing and production of steels and alloys, paying particular attention to introduction and retention of nitrogen in steels and iron-based alloys. With his works TsoLo Rashev made an invaluable contribution to the world fund of scientific knowledge.

**Keywords:** steel, melting, alloying, nitrogen, pressure, installation, method, smelting, strength, metallurgist, TsoLo Rashev, biography

**For citation:** Kostina M.V., Zhekova L.Ts. In memory of Professor TsoLo Rashev (1933 – 2019). *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2021, vol. 64, no. 1, pp. 78–83. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-1-78-83>

Цоло Рашев, ученый-металлург с мировой известностью, родился в Болгарии 13.02.1933 г. в деревне Попица, в семье сельскохозяйственного новатора и организатора Вълко Рашева. Он принадлежит к поколению людей, чье детство пришлось на тяжелые годы Второй мировой войны, к поколению людей, не боявшихся трудностей, которое дало миру многих замечательных специалистов – инженеров и ученых XX века, которые

<sup>1</sup> Сейчас город носит свое дореволюционное имя – Екатеринбург, а УПИ стал Уральским федеральным университетом им. первого Президента России Б.Н. Ельцина.

активным, творческим трудом формировали послевоенный облик своих стран.

Цоло Рашев связал свою жизнь с металлургией, когда в 19 лет уехал в СССР, поступил на инженерно-технологический факультет, а позже перевелся на металлургический факультет Уральского политехнического института (УПИ) в городе Свердловске<sup>1</sup>, металлургической и промышленной столице Урала. За шесть лет учебы (1952 – 1957 гг.) Цоло Рашев обрел в нашей стране друзей среди студентов УПИ. Через всю свою жизнь он пронес дружбу с однокурсником Л.И. Леонтьевым, ко-



торый впоследствии возглавил Институт металлургии Уральского отделения Академии Наук СССР, став академиком, членом Президиума РАН, а с 2017 г. – главным редактором журнала «Известия вузов. Черная металлургия». По воспоминаниям Л.И. Леонтьева, Цоло Рашев проявил себя в студенческие годы не только как усердный студент, но и как хороший товарищ, человек с активной жизненной позицией: в 1953 – 1956 гг. он был председателем землячества, объединившего 280 болгарских студентов из девяти учебных институтов в Свердловске.

Годы прилежной учебы на студенческой скамье в УПИ позволили Цоло Рашеву приобрести прочный базис фундаментальных и практических знаний в металлургии. Получив в 1957 г. диплом инженера по специальности «Металлургия черных металлов», он вернулся в Болгарию, где четыре года проработал на металлургическом комбинате «Стомана» им. Ленина в г. Перник. В эти годы там шло наращивание объемов производства стали, в том числе за счет строительства и пуска мартеновской печи № 5. Вчерашний выпускник института стал активным участником этого процесса, пройдя путь от сталевара III, II и I ступеней до мастера

<sup>2</sup> [https://ru.wikipedia.org/wiki/Кремиковский\\_металлургический\\_комбинат](https://ru.wikipedia.org/wiki/Кремиковский_металлургический_комбинат).

<sup>3</sup> В настоящее время – Национальный исследовательский технологический университет (НИТУ) «МИСиС».

<sup>4</sup> Эквивалент диссертации кандидата технических наук в СССР, а потом в РФ.

<sup>5</sup> Расположен: бул. «Шипченски проход» 67, 1574. В настоящее время он называется Институт металловедения, сооружений и технологий с центром гидродинамики им. А. Балевого (Институт по металознание, съоръжения и технологии с Център по хидро- и аэродинамика Акад. А. Балеви“: <http://www.bas.bg/научни-изследвания/нанонауки-нови-материали/институт-по-металознание-съоръжения/>).

и начальника смены, а затем – заместителя начальника цеха.

В 1959 г. в окрестностях г. Софии (село Ботунец), в районе крупного Кремиковского месторождения высокомарганцевой железной руды, открытого в 1953 г., было начато строительство металлургического комбината «Кремиковци» (Кремиковский металлургический комбинат (КМК)). Предприятие было спроектировано Московским государственным институтом по проектированию металлургических заводов, строительство проходило при помощи СССР<sup>2</sup>. Цоло Рашев, как специалист-металлург, стал в 1960 г. болгарским куратором этого проекта, главным технологом по стали. Он участвовал в планировании технологического процесса, проектных работах, строительстве и вводе в эксплуатацию двух электродуговых печей емкостью 100 т, трех 100-т конверторов и двух 1300-т миксеров. Для эффективного использования на КМК местной руды Цоло Рашевым была разработана новая технология производства стали из высокомарганцовистого чугуна. Выполненные им научные исследования и технологические разработки, связанные с этой темой, легли в основу его первой диссертационной работы. Следует отметить, что этот рост Цоло Рашева как ученого на начальном этапе его научной карьеры также был связан с нашей страной. В 1961 г. он поступил в аспирантуру Московского института стали и сплавов (МИСиС)<sup>3</sup>. Под руководством В.И. Явойского им была выполнена и в 1963 г. защищена кандидатская диссертационная работа<sup>4</sup>. Тогда же, в 1963 г., первая очередь КМК была введена в эксплуатацию. На КМК Цоло Рашев проработал до 1967 г., когда комбинат вышел на проектную мощность.

Внедрение на КМК инновации Цоло Рашева способствовало успешному развитию производства на комбинате. В своей краткой служебной биографии Ц. Рашев отмечал, что комбинатом был осуществлен экспорт 2,5 млн т слитков во многие страны мира, в том числе Австрию, Испанию, Федеративную Республику Германию. Для осуществления этой масштабной международной деятельности, имевшей и научные, и производственные, и экономические аспекты, Ц. Рашев в период с 1967 по 1970 г. в рамках ГХО «Черная металлургия» руководил организацией научно-производственного металлургического сотрудничества по линии Совета экономической взаимопомощи (СЭВ) в качестве начальника департамента «Наука и СЭВ».

Научные идеи, творческий и организаторский потенциал Цоло Рашева требовали реализации, и в 1970 г. начался новый период его жизни. Он начал работу в г. Софии, в Институте металловедения Болгарской академии наук<sup>5</sup> (ИМ БАН).

Здесь в биографии Цоло Рашева следует сделать небольшое отступление научного характера. В 60-е годы XX века учеными разных стран начаты активные исследования и разработки в области создания безникелевых

коррозионностойких сталей, в том числе марганецсодержащих, легированных азотом. В 1960 г. опубликована статья Пелке и Эллиота [2] о влиянии хрома, никеля, марганца и других легирующих элементов, в том числе карбидо- и нитридообразующих, на содержание азота в расплавах на основе железа при 1600 °С и давлении 1 атм. Приведенные в этой статье данные свидетельствовали, что марганец является легирующим элементом, значительно повышающим растворимость азота в твердых растворах на основе железа, уступая в этой способности среди основных элементов, вводимых в состав коррозионностойких сталей, лишь хрому. В 1963 г. японскими учеными Окамото и Наито опубликована диаграмма фазового состояния системы Fe–Cr–N [2], где продемонстрировано аустенитообразующее влияние азота в сплавах этой системы. В 1969 г. в СССР выпущена монография Приданцева, Талова и Левина [3], одна из глав которой посвящена новым высокопрочным аустенитным сталям системы легирования Fe–Cr–Ni–Mn–N.

Цоло Рашев, разработчик технологии производства стали из высокомарганцевистого чугуна для КМК, не мог остаться в стороне от этой темы – исследования возможностей растворения и удержания азота в высокомарганцевых сталях, в том числе в зависимости от температуры и давления азота в процессе получения слитка, включая получение высокоазотистых сталей (ВАС)<sup>6</sup>. Придя в 1970 г. в ИМ БАН, он стал основателем и руководителем Департамента ВАС. Его деятельность заключалась в создании теоретических основ растворимости азота в жидких металлах (в том числе в ВАС), технологий легирования азотом, лабораторных и промышленных печей, а также во внедрении полученных разработок.

Много лет спустя, в своей последней статье (2019 г.) Ц. Рашев отмечал: «Механизм повышения азотом прочности аустенита является все еще дискуссионным, но нет сомнения, что азот обусловил решение проблем создания высокопрочных высококоррозионностойких  $\gamma$ -сталей» [4]. Одним из итогов работы Ц. Рашева в первые годы деятельности в качестве ученого в ИМ БАН явились разработка и патентование в 1973 – 1978 гг. коллективом болгарских ученых из ИМ БАН с участи-

<sup>6</sup> Азотосодержащие стали принято подразделять на две категории:

– стали с равновесным содержанием азота;  
– стали с неравновесным (т.н. «сверхравновесным») содержанием азота.

Первые получают в условиях затвердевания расплава на воздухе при атмосферном давлении азота. Вторые в промышленном масштабе можно производить выплавкой и кристаллизацией слитков под повышенным давлением азота, что обеспечивает содержание азота в металле значительно выше, чем в результате кристаллизации при 1 атм. Именно стали, выплавленные и закристаллизованные при давлениях выше атмосферного, обозначают термином «ВАС» – высокоазотистые.

<sup>7</sup> Эквивалент диссертации доктора технических наук в СССР, а потом в РФ.

ем Ц. Рашева высокоазотистых коррозионностойких сталей, в том числе – безникелевой марганецсодержащей стали.

Для практического использования разработанных на лабораторном уровне сталей требовалось промышленное оборудование. В 1974 г. Цоло Рашев основал в г. Перник Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт технологии и оборудования качественных сталей (НИПКИТОКС). С этого года и вплоть до 1992 г. он совмещал руководство данным институтом с исследовательской деятельностью в ИМ БАН. В НИПКИТОКС им были развернуты работы по созданию полупромышленных (пилотных) и промышленных технологий, а также пилотных и промышленных установок для производства качественных сталей и ВАС, по испытаниям и внедрению этих сталей в промышленность. Он был организатором производства, уделял большое внимание международному сотрудничеству. Одним из творческих итогов его работы этого периода явились выпущенные в 1978, 1981 и 1990 г. монографии, посвященные производству азотосодержащих легированных и инструментальных сталей [5 – 7].

На период с 1980-х годов и до середины 2000-х годов приходится эпоха расцвета исследований в области азотосодержащих сталей и, особенно, ВАС. Не будет преувеличением сказать, что Цоло Рашев стал одним научных лидеров этих исследований. В 1984 г. он защитил докторскую диссертацию<sup>7</sup> «Пирометаллургические основы легирования сталей и сплавов с азотом при различном давлении газовой фазы», а в 1995 г. вышла в свет монография, описывающая разработку, исследование и производство ВАС [8]. Она не утратила своей актуальности и по сей день. Этой же теме была посвящена монография 2004 г. [9].

Сам Цоло Рашев классифицировал по научной тематике свои публикации так:

- 20 работ по термодинамике и кинетике взаимодействия нетрадиционных легирующих элементов с металлами и шлаками в жидком и твердом состоянии;
- 18 работ по математическому моделированию металлургических процессов;
- более 100 работ по технологии и свойствам качественных, специальных и высокоазотистых сталей и сплавов;
- около 70 работ по методам и устройствам для обработки и получения сталей и сплавов.

Часть данной статьи содержит краткий обзор некоторых его работ.

В конце 1970-х годов им была создана установка для определения растворимости азота в жидких металлах под давлением методом взвешенной капли. Это позволило не только проводить исследования растворимости азота в расплавах разных систем легирования на основе железа, но и получать микрослитки высокоазотистых сталей для исследования структуры и фазового состава. Большое внимание Ц. Рашев уделял физико-химичес-

ким процессам в системе металл – флюс – газ при выплавке сталей под давлением азота и в самом металлическом многокомпонентном расплаве. Цоло Рашев внес большой вклад в фундаментальные исследования по термодинамике и кинетике реакций металлов и сплавов с азотом под газовым давлением. Ряд его экспериментов посвящен изучению отклонения металлургических процессов по насыщению реальных сталей и сплавов азотом от закона Сиверта. Им был разработан и внедрен ряд новых технологий, в том числе для азотистых и высокоазотистых сталей и сплавов. Работы по математическому моделированию металлургических процессов охватывали вопросы выплавки и кристаллизации слитков.

Среди разработок, посвященных конструкционным сталям массового назначения, микролегированных азотом, особо следует выделить направление по трубным азотосодержащим сталям типа 10Г2САФ. При активном участии Цоло Рашева с применением этих сталей был решен ряд важных экономических задач для страны, основными из которых были:

- производство магистральных труб, из которых был построен газопровод «СССР – Болгария – юг» протяженностью 150 км;
- создание и производство конструкций и сооружений для эксплуатации при температуре до минус 70 °С, включенных в строительство промышленных предприятий в Сибири;
- создание легких контейнеров для хранения нефтепродуктов в резервуарах большого объема (50 000 м<sup>3</sup>);
- реконструкция болгарского вагонного строительства. Применение этой стали позволило облегчить до 30 % железнодорожные цистерны, вагоны, контейнеровозы и др.

Ц. Рашев активно занимался разработкой и исследованием коррозионноустойчивых хромомарганцевых безникелевых аустенитных сталей и как металлург, и как металловед. Проводились исследования их структуры и фазового состава, в том числе склонности Cr–Mn сталей к распаду твердого раствора при нагреве, механических свойств, коррозионной и релаксационной стойкости, износостойкости. Несомненным и ярким успехом Цоло Рашева была разработка стали 18 % Cr – 12 % Mn (X18AG12) с высокой концентрацией азота (0,6 – 1,2 %), проявившей себя при исследованиях и испытаниях как высокопрочный, коррозионноустойчивый, стабильно немагнитный конструкционный материал. Исследования этой композиции и ее вариаций активно проводились в 70–90-е годы XX века, в том числе на лабораторном уровне совместно с учеными из ИМЕТ РАН (Баных О.А., Блинов В.М., Проскурин В.Б., Пойменов И.Л.) и на опытно-промышленном уровне с учеными из ЦНИИ КМ «Прометей» под руководством И.В. Горынина.

Цоло Рашев внес свой вклад в разработку и исследование сталей для атомного реакторостроения, сталей

медицинского назначения. С использованием высокоазотистых модельных составов сталей, выплавленных Ц. Рашевым методом левитирующей (взвешенной) капли [10], в ИМЕТ РАН были проведены исследования и построена неравновесная фазовая диаграмма для Fe–Cr–N сталей [11, 12]. На основе исследований свойств сталей этой системы в соавторстве с Ц. Рашевым была изобретена «Высокопрочная, коррозионноустойчивая аустенитная сталь» (Fe – ~22 % Cr – ~1,2 % N) с пределом текучести в четыре раза выше, чем у традиционных аустенитных сталей [13], которая была успешно исследована и опробована как материал медицинского назначения [14].

Вот некоторые цифры, характеризующие активную изобретательскую и научно-производственную деятельность Цоло Рашева, приведенные в краткой автобиографической анкете. Им были сконструированы лабораторные и промышленные установки (инсталляции) 20 видов для производства слитков ВАС весом от 1 г («метод левитирующей капли») до 10 000 кг (в том числе и печи для ЭШПД в г. Перник). Он разработал и внедрил в промышленное производство десятки новых марок стали, внедрил 48 своих изобретений и организовал продажу 18 изобретений в качестве ноу-хау. Всего за свой более чем 60-летний путь в науке он выпустил 440 научных публикаций, пять монографий (в том числе три написанных им лично и одна в соавторстве с ведущими учеными Франции, Швейцарии, Японии, Индии и Бразилии), получил 101 патент на изобретения.

Цоло Рашев был руководителем 37 научных и прикладных проектов, четырех национальных программ с коллективами от 120 до 400 научных работников, инженеров и других специалистов на самых больших комбинатах страны (МК «Кремиковци», МК «Стомана»), заводе стальных магистральных труб (г. Септември), ГХО «Монтажи», ГХО «Булгаргаз». Принимал участие в европейских программах. Самая большая разработка – это исследование и производство стали типа 10Г2СА, о которой говорилось выше.

В российском лексиконе есть такое понятие, как «организатор науки». Так называют ученых, создающих новые научные школы и организующих исследовательские лаборатории, отделы, экспериментальные цеха, институты. Именно таким создателем международной научной школы по ВАС и организатором фундаментальной и прикладной науки в направлении ВАС был и Цоло Рашев, не только создавший НИПКИТОКС и подразделение для исследования ВАС в ИМ БАН, но и содействовавший организации таких лабораторий в Китае, Индии, Корее и Египте. Ц. Рашев уделял большое внимание воспитанию квалифицированных научных кадров в металлургии и передаче знаний молодым ученым. В рамках его научной школы было защищено 40 диссертационных работ, в том числе под его руководством – 18 докторских работ. Цоло Рашев

был активным участником многих международных конференций по ВАС. Вторая из них была организована Ц. Рашевым и Ч. Андреевым в 1989 г. в Болгарии. После проведения этой конференции «ВАС 89» было получено более 40 письменных заявок на промышленные конструкции печей для получения ВАС с экспертной оценкой их общей стоимости на 1991 г. в 160 млн левов. В период с 1993 по 1999 г. Ц. Рашев был вице-президентом филиала Международной инженерной академии в Болгарии.

Вплоть до последних лет нынешнего века длилось не только научное взаимодействие, но и дружба Цоло Рашева с учеными из ИМЕТ РАН (с 1980-х годов с проф., д.т.н. В.М. Блиновым, с 2000-х годов и с д.т.н. М.В. Костиной). Поддерживалось научное сотрудничество с ЦНИИ КМ «Прометей», и когда его возглавлял академик И.В. Горынин, и когда у руля этого института стал д.т.н., проф., с 2019 г. чл.-корр. РАН А.С. Орыщенко.

Цоло Рашев прожил долгую жизнь. Он был счастлив в браке со своей женой Иванкой. Он познакомился с ней в России, их свадьба состоялась в 1959 г. и с тех пор, до своего ухода из жизни в 2017 г., Иванка была его верной спутницей по жизни и помощницей. Они вырастили двух успешных детей – дочь Любовь (1960 г.р.) и сына Владимира (1965 г.р.). Он испытал самое большое счастье для ученого – возможность научного творчества и реализации своих научных идей на практике, возможность принести тем самым пользу родной стране и мировой науке.

Говорят, что в древнем Китае было такое пожелание для недруга: «Чтобы тебе довелось жить в эпоху больших перемен!» После 1991 г. перестала существовать прежняя, социалистическая Народная Республика Болгария, для расцвета металлургической

промышленности которой он приложил столько сил. В этот период ему пришлось испытать самое большое горе для ученого – когда в результате стремительных политических процессов на глазах рушится дело всей жизни. Сильный характер, ясный ум, воля к жизни позволили ему не сломиться. Будучи ученым мирового масштаба, он нашел возможности для самореализации как специалиста и в новых условиях, в том числе и после окончания работы в ИМ БАН в 2005 г. Его последним научным детищем был высокопроизводительный экономичный метод получения ВАС – метод большой сталеплавильной ванны (БСВ). В 2016 г. была запатентована конструкция печи для реализации метода БСВ. Достоинства этого метода были отражены в работах [4, 15], опубликованных в 2017 и 2019 г. в журнале «Известия вузов. Черная металлургия», членом редколлегии которого он являлся. По просьбе Цоло Рашева в сентябре 2019 г. М.В. Костиной был доложен на заседании металлургической секции международного XXI Менделеевского съезда по общей и прикладной химии его приглашенный доклад «Способы производства высокоазотистых сталей», так как здоровье не позволило ему приехать для этого доклада в г. Санкт-Петербург. В октябре 2019 г. Цоло Рашев ушел из жизни.

Цоло Рашев оставил большое научное наследие – научные труды металловедческого и металлургического характера, изобретенные и реализованные прогрессивные металлургические конструкции, новые стали и технологии их получения, вырастил плеяду учеников, оставив свою школу. Все, кто знал Ц. Рашева, сохранили его в памяти не только как талантливую ученого, деятельного и целеустремленного организатора науки, но и запомнили как хорошего, светлого, доброжелательного человека.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

## REFERENCES

1. Pehlke R.D., Elliott J.F. Solubility of nitrogen in liquid iron alloys // *Trans. AIME*. 1960. Vol. 218. P. 1088–1101.
2. Okamoto M., Tanaka R., Naito T., Fujimoto R. The phase diagram of the Fe–Cr–N System // *Tetsu-to-Hagané*. 1963. Vol. 49. No. 13. P. 1915–1921.
3. Приданцев М.В., Талов Н.П., Левин Ф.Л. Высокопрочные аустенитные стали. М.: Металлургия, 1969. 248 с.
4. Рашев Ц.В., Елисеев А.В., Жекова Л.Ц., Боев П.В. Высокоазотистые стали // *Известия вузов. Черная металлургия*. 2019. Т. 62. № 7. С. 503–510. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2019-7-503-510>
5. Рашев Ц. Добиване на легирани стомани. София: Изд-во БАН, 1978. 246 с.
6. Рашев Ц.В. Производство легированной стали. М.: Металлургия, 1981. 246 с.
7. Инструментальные стали (болгарское производство) / Ц.В. Рашев, И.А. Рашева, Е.И. Ковачев и др. / Под ред. Ц.В. Рашева. София: Техника, 1990. 224 с.
8. Рашев Ц. Высокоазотистые стали. Металлургия под давлением. София: Изд-во БАН «Проф. Марин Дринов», 1995. 268 с.
1. Pehlke R.D., Elliott J.F. Solubility of nitrogen in liquid iron alloys. *Trans. AIME*. 1960, vol. 218, pp. 1088–1101.
2. Okamoto M., Tanaka R., Naito T., Fujimoto R. The phase diagram of the Fe–Cr–N System. *Tetsu-to-Hagané*. 1963, vol. 49, no. 13, pp. 1915–1921.
3. Pridantsev M.V., Talov N.P., Levin F.L. *High-Strength Austenitic Steels*. Moscow: Metallurgiya, 1969, 248 p. (In Russ.).
4. Rashev Ts.V., Eliseev A.V., Zhekova L.Ts., Bogeve P.V. High nitrogen steels. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2019, vol. 62, no. 7, pp. 503–510. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2019-7-503-510>
5. Rashev Ts. *Production of Alloyed Steel: Monograph*. Sofiya: Izd-vo BAN, 1978, 246 p. (In Bulgar.).
6. Rashev Ts.V. *Production of Alloyed Steel*. Moscow: Metallurgiya, 1981, 246 p. (In Russ.).
7. Rashev Ts.V., Rasheva I.A., Kovachev E.I. etc. *Tool Steels (Bulgarian Production)*. Rashev Ts. ed. Sofiya: Tekhnika, 1990, 224 p. (In Bulgar.).
8. Rashev Ts. *High Nitrogen Steels. Metallurgy under Pressure: Monograph*. Sofia: Bulg. Acad. Sci., 1995. (In Russ.).

9. Rashev Ts. High Nitrogen Austenitic Steels and Stainless Steels (manufacturing, properties and application): Int. monograph. Raj B., Mudali K. eds. Woodhead Publishing, 2004. 224 p.
10. Рашев Ц., Жекова Л. Создание высокоазотистых сталей методом левитационной плавки под давлением // *Металлург*. 2007. № 2. С. 11–18. <https://doi.org/10.1007/s11015-007-0018-0>
11. Костина М.В., Банных О.А., Блинов В.М. Новый немагнитный Fe–Cr–N высокопрочный коррозионно- и износостойкий сплав. Часть I. Влияние хрома и азота на структуру и фазовый состав Fe–Cr–N сплавов // *Электromеталлургия*. 2005. № 12. С. 26–32.
12. Kostina M.V., Bannykh O.A., Blinov V.M. New nonmagnetic chromium-nitrogen iron-based steel // *Proceedings of 7<sup>th</sup> Int. Conference “High Nitrogen Steels”*, Belgium, Ostende, 19–22 September, 2004. P. 395–403.
13. Пат. 98121664 РФ. Высокопрочная, коррозионностойкая аустенитная сталь / О.А. Банных, В.М. Блинов, Ц.В. Рашев и др.; опубл. 07.12.98.
14. Банных О.А., Блинов В.М., Костина М.В., Червяков А.В., Дымов А.В. О возможности применения высокопрочных коррозионно-стойких аустенитных хромозотистых сталей для хирургических имплантатов // *Металлы*. 2002. № 3. С. 301–307.
15. Рашев Ц.В., Жекова Л.Ц., Богев П.В. О развитии металлургии под давлением // *Известия вузов. Черная металлургия*. 2017. Т. 60. № 1. С. 60–66. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2017-1-60-66>
9. Rashev Ts. *High Nitrogen Austenitic Steels and Stainless Steels (manufacturing, properties and application): Int. monograph*. Raj B., Mudali K. eds. Woodhead Publishing, 2004, 224 p.
10. Rashev Ts., Zhekova L. Feasibility study on developing high-nitrogen steels by refining in suspended state under high pressure. *Metallurgist*. 2007, vol. 51, no. 1–2, pp. 90–96. <https://doi.org/10.1007/s11015-007-0018-0>
11. Kostina M.V., Bannykh O.A., Blinov V.M. New non-magnetic Fe–Cr–N high-strength corrosion- and wear-resistant alloy. Part I. Influence of chromium and nitrogen on the structure and phase composition of Fe–Cr–N alloys. *Elektrometallurgiya*. 2005, no. 12, pp. 26–32. (In Russ.).
12. Kostina M.V., Bannykh O.A., Blinov V.M. New nonmagnetic chromium-nitrogen iron-based steel. *Proceedings of 7<sup>th</sup> Int. Conference “High Nitrogen Steels”*, Belgium, Ostende, 19–22 September, 2004, pp. 395–403.
13. Bannykh O.A., Blinov V.M., Rashev Ts.V., Ustinovshchikov Yu.I., Kostina M.V., Andreev Ch.A. etc. *High strength, corrosion resistant austenitic steel*. Patent RF no. 98121664, publ. 07.12.98. (In Russ.).
14. Bannykh O.A., Blinov V.M., Kostina M.V., Karpman M.G., Chernyakov A.V., Dymov A.V. On the possibility of using high-strength corrosion-resistant austenitic Cr–N-bearing steels for surgical implants. *Russian Metallurgy (Metally)*. 2002, vol. 2002, no. 3, pp. 301–307.
15. Rashev Ts.V., Zhekova L.Ts., BogeV P.V. Development of metallurgy under pressure. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2017, vol. 60, no. 1, pp. 60–66. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2017-1-60-66>

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Мария Владимировна Костина**, д.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией физикохимии и механики металлических материалов, Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН  
**E-mail:** [mvk@imet.ac.ru](mailto:mvk@imet.ac.ru)

**Любов Цолова Жекова**, к.т.н., доцент, Институт металлургии, сооружений и технологий Болгарской Академии Наук  
**E-mail:** [kdlacky@yahoo.com](mailto:kdlacky@yahoo.com)

**Mariya V. Kostina**, Dr. Sci. (Eng.), Assist. Prof., Senior Researcher, Head of the Laboratory “Physicochemistry and Mechanics of Metallic Materials”, Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science, RAS  
**E-mail:** [mvk@imet.ac.ru](mailto:mvk@imet.ac.ru)

**Lyubov Ts. Zhekova**, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof., Institute of Metal Science, Equipment and Technologies, Bulgarian Academy of Science  
**E-mail:** [kdlacky@yahoo.com](mailto:kdlacky@yahoo.com)

Поступила в редакцию 30.10.2020  
После доработки 17.11.2020  
Принята к публикации 25.12.2020

Received 30.10.2020  
Revised 17.11.2020  
Accepted 25.12.2020