



ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

П.А. ВИТЯЗЬ, акад. НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф.
сопредседатель Совета¹

А.В. ТОЛСТОЙ, канд. физ.-мат. наук, доц.
ученый секретарь Совета¹

заместитель заведующего лабораторией металлургии в машиностроении НПЦ «Технологии машиностроения и технологическое оборудование»²

E-mail: labmetal@rambler.ru

¹НПЦ «ОАО «БМЗ — управляющая компания холдинга «БМК» — НАН Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь

²Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 18.11.2025.

О ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КЛАСТЕРА НПЦ «ОАО «БМЗ — УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БМК» — НАН БЕЛАРУСИ»

Освещены вопросы деятельности Совета НПЦ «ОАО «БМЗ — управляющая компания холдинга «БМК» — НАН Беларуси». Рассмотрены результаты выполнения заданий подпрограммы «Металлургия» ГПНИ «Механика, металлургия, диагностика в машиностроении» на 2021–2025 годы, завершённых в 2023 году. Проанализирован ход выполнения мероприятий Программы развития литейных производств Республики Беларусь на 2017–2030 годы. Обсуждены результаты научно-технической деятельности ОАО «БМЗ» в 2023–2024 годах. В частности, отмечено, что в условиях санкционного давления основными направлениями научной, научно-технической и инновационной деятельности ОАО «БМЗ — управляющая компания холдинга «БМК» являются разработка новых видов продуктов и технологий сталеплавильного, сталепрокатного и сталепроволочного производств; разработка, совершенствование, внедрение и освоение технологии производства инновационных видов продукции. Проанализированы особенности чугунолитейного производства в Республике Беларусь и его перспективы. Принимая во внимание, что 2024 год объявлен в стране годом качества, на заседании Совета НПЦ были обсуждены вопросы, касающиеся средств измерения и контроля для метрологического и технологического обеспечения качества в металлургии и литейном производстве.

Ключевые слова: металлургия, термообработка, обработка давлением, экология, переработка и утилизация отходов

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2026-1-74-88-98>

В [1, 2] была приведена информация о деятельности Совета НПЦ «ОАО «БМЗ — управляющая компания холдинга «БМК» — НАН Беларуси» в предыдущие годы. Очередное (восьмое) заседание Совета состоялось 18 июня 2024 года. На нем были рассмотрены результаты выполнения заданий подпрограммы «Металлургия» ГПНИ «Механика, металлургия, диагностика в машиностроении» на 2021–2025 годы, завершённых в 2023 году, ход выполнения мероприя-

тий Программы развития литейных производств Республики Беларусь на 2017–2030 годы (далее — Программы), итоги работы ОАО «БМЗ» за 2023 год и перспективы дальнейшего развития. Проанализированы особенности чугунолитейного производства в Республике Беларусь и его перспективы. Принимая во внимание, что 2024 год объявлен в стране годом качества, на заседании Совета НПЦ были обсуждены вопросы, касающиеся средств измерения и контроля для ме-

трологического и технологического обеспечения качества в металлургии и литейном производстве.

Сопредседатель Совета П.А. Витязь проинформировал присутствующих об основных результатах научно-исследовательских работ, выполненных организациями НАН Беларуси и Министерства образования Республики Беларусь в рамках подпрограммы «Металлургия», завершенных в 2023 году, подчеркнув их вклад в решение практических задач в области металлургии [3]. В частности, Объединенным институтом машиностроения НАН Беларуси разработаны технологические требования к силовым параметрам оборудования кольцераскатного комплекса применительно к условиям автоматизированного производства при заданной номенклатуре кольцевых заготовок (рисунок 1). Полученные результаты предназначены для использования на создаваемом в Республике Беларусь автоматизированном кольцераскатном комплексе в составе ОАО «БЕЛАЗ — управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ» [4].

Разработаны рекомендации по повышению надежности и ресурса крупногабаритных нешлифуемых конических зубчатых колес с круговым зубом ведущих мостов и колец крупногабаритных подшипников редукторов мотор-колес карьерных самосвалов путем применения перспективной и новой цементируемых сталей (20ХН3А с добавками ванадия — 20ХН3ФА и 20ХН3МА соответственно), по замене цементации маломодульных зубчатых колес из стали 20ХН3А на их ионно-плазменное азотирование из стали 40ХМФА [5].

На ЭРУП «Центр механизации путевых работ Белорусской железной дороги» (г. Пинск) внедрены:

- технология индукционной наплавки;
- оборудование с оснасткой;
- составы материалов для нанесения модифицированных антифрикционных покрытий на детали исполнительных механизмов и ходовых сопряжений рабочих органов путевых машин. Стоимость изделий с покрытиями из композиций на основе алюминиевых сплавов в 2,5–2,7 раза меньше по сравнению с аналогичными изделиями с покрытиями из сплавов на медной основе [6].



Рисунок 1 — Кольцераскатный стан
Figure 1 — Ring rolling mill

Директор ОАО «БЕЛНИИЛИТ» С.Л. Римосhevский проанализировал ход выполнения Программы, разработанной Министерством промышленности Республики Беларусь. Ее основными задачами являются:

- оптимизация действующих литейных производств, повышение качества выпускаемой продукции, снижение производственных затрат, обеспечение максимальной загрузки литейных мощностей;
- обеспечение роста финансово-экономических показателей организаций;
- производство конкурентоспособной продукции, удовлетворяющей требованиям потребителей;
- сохранение здоровья членов трудового коллектива, предотвращение загрязнения окружающей среды в процессе производственной деятельности, планомерное улучшение экологических показателей и рациональное использование ресурсов.

В основу разработки механизмов развития литейных производств положены следующие принципы:

- конкретизация финансирования инфраструктурных проектов;
- концентрация ресурсов на решении приоритетных задач;
- сбалансированное развитие различных видов литейных производств;
- развитие внутрихолдинговой и межведомственной кооперации;
- оказание мер государственной поддержки и создание условий, стимулирующих обновление и модернизацию основных производственных средств для повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции.

В результате реализации мер по развитию литейного производства в Республике Беларусь будет изменена производственная структура литейной отрасли за счет повышения доли:

- мощностей по производству конкурентоспособной продукции;
- специализированных предприятий, ориентированных на выпуск необходимого перечня продукции с более высокой степенью загрузки производственных мощностей. Это позволит повысить конкурентоспособность товарной продукции литейных производств и ее соответствие требованиям рынка.

Приоритет отдается технологиям, обладающим низкой энерго- и материалоемкостью, способствующим созданию новых видов товаров и услуг, экологически безопасных (чистых) материалов и продуктов, обеспечивающим производство традиционных товаров и услуг с потребительскими свойствами и параметрами, уровень которых невозможно достичь в рамках существующих технологий. Наряду с необходимостью проведения мероприятий по техническому переоснащению устаревших литейных производств

определен перечень тех, которые соответствуют либо близки по уровню технологического оснащения к условиям производства конкурентоспособного литья и рассматриваются как базовые для обеспечения эффективной деятельности литейной отрасли в целом [7, 8].

Сведения о ходе выполнения мероприятий Программы запрашивались у предприятий ежеквартально. Анализ полученных данных показывает, что по состоянию на 1 октября 2023 года суммарные мощности литейных производств базовых организаций составили 295 тыс. т литья в год, в том числе мощности по видам сплавов: серый чугун (СЧ) — 181,09; сталь — 64,39; высокопрочный чугун (ВЧ) — 38,75 и алюминий — 10,83 тыс. т литья в год. В 2023 году наблюдалось некоторое уменьшение суммарного показателя по сравнению с 2020 годом. Произошло это, в основном, за счет уменьшения объемов стального и чугунного литья.

Что касается загрузки производственных мощностей — одного из главных показателей Программы, то здесь наблюдается следующая картина: в I квартале 2023 года она возросла до 57,89 %, во II квартале — до 62,29 %, но в III квартале несколько уменьшилась (до 61,13 %).

Всего Программа содержит 66 мероприятий, имеющих различные сроки начала и окончания. На данный момент 19 мероприятий Программы выполнены полностью, срок начала выполнения 21 мероприятия еще не подошел, 13 мероприятий по различным объективным причинам выполнены не будут. В частности, для ОАО «Могилевский завод «Строммашина» в первоначальный план были включены мероприятия: «Обследование несущих строительных конструкций здания с последующим капремонтом кровли литейного цеха», «Модернизация плавильного участка», которые не выполнены в связи отсутствием финансирования.

ОАО «Гомельский литейный завод «ЦЕНТРОЛИТ». Мероприятие «Строительство отопительной котельной на местных видах топлива мощностью 2 МВт» исключено из Программы на основании программы корректирующих мероприятий. Сроки выполнения некоторых мероприятий были изменены. Так, срок выполнения мероприятия «Замена дробеметных барабанов» перенесен на 2024 год в связи со сложившимися обстоятельствами. Введение санкций недружественными странами вызвали сложности с приобретением оборудования. В настоящее время выбран победитель в конкурентной процедуре закупки. Срок изготовления оборудования составляет 11 месяцев. Срок выполнения мероприятия «Замена плавильной печи промышленной частоты (ИЧТ-10) на среднечастотную» перенесен на 2024–2025 годы по тем же обстоятельствам. Проведена повторно процедура закупки, принято решение перейти к закупке из одного источника.

ОАО «Управляющая компания холдинга «МИНСКИЙ МОТОРНЫЙ ЗАВОД». Мероприятие «Приобретение и ввод в эксплуатацию тигельных раздаточных печей с карбидокремниевым тиглем взамен печей с чугунным тиглем» перенесено на 2024 год. В связи с отсутствием финансирования тигельные раздаточные печи с карбидокремниевым тиглем в 2022 году не приобретались. В настоящее время проводятся работы по испытанию плавильно-раздаточной печи с карбидокремниевым тиглем, разработанной Физико-техническим институтом (ФТИ) НАН Беларуси, по результатам которых будет принято решение об их приобретении.

ОАО «Могилевский завод лифтового машиностроения». Мероприятие «Строительство цеха по изготовлению стального литья и лифтогрузов» не выполнено в установленный срок. В связи с тем, что по объекту не начато производство строительно-монтажных работ в течение двух лет после получения заключения государственной экспертизы, необходима разработка новой либо корректировка разработанной проектно-сметной документации, проведение повторной экспертизы архитектурного проекта и дальнейшая его реализация. Срок начала строительства — I квартал 2025 года. Остальные мероприятия находятся на стадии выполнения.

Начальник технического управления ОАО «БМЗ — управляющая компания холдинга «БМК» В.С. Путеев проинформировал присутствующих о научно-технической деятельности на предприятии. В частности, отметил, что в условиях санкционного давления [9, 10] основными направлениями научной, научно-технической и инновационной деятельности являются:

- разработка новых видов продуктов и технологий сталеплавильного, сталепрокатного и сталепроволочного производств, включая производство металлокорда для автомобильных шин;
- проведение прикладных исследований и разработок с целью создания новых или усовершенствования существующих процессов производства металлопродукции [11, 12];
- разработка, совершенствование, внедрение и освоение технологии производства инновационных видов продукции;
- разработка и внедрение новых методов исследований металлургических процессов и испытаний металлопродукции;
- исследования и испытания новых видов материалов и изделий, которые используются в производстве и оказывают критическое влияние на качество готовой продукции, надежность производственного и технологического процессов;
- научно-техническое и конструкторско-технологическое обеспечение реализации государственных, отраслевых программ инновационного развития, инвестиционных программ, программ технического перевооружения и модернизации.

ОАО «БМЗ» участвует в реализации заданий государственных, отраслевых научно-технических программ. В частности, отраслевая лаборатория компании совместно с ФТИ НАН Беларуси в рамках подпрограммы «Технологии машиностроения» ГНТП «Инновационное машиностроение и машиностроительные технологии» 2021–2025 годов выполняет задание «Разработать и внедрить технологию производства проката из подшипниковых марок сталей для предприятий Республики Беларусь с учетом гармонизации международного стандарта ISO 683-17». В 2023 году ОАО «БМЗ» проведена следующая работа:

- изготовлены и испытаны образцы проката из стали марок 100Cr6;
- изготовлена опытно-промышленная партия проката сталей марок 100Cr6 и 100CrMnSi6;
- проведены приемочные испытания технологии производства проката;
- изготовлена промышленная партия проката сталей марок 100Cr6 и 100CrMnSi6.

В результате выполнения работ по заданию «Разработка и внедрение технологии производства пластины-заготовки из стали марки 45X2НМФБА в условиях ОАО «БМЗ — управляющая компания холдинга «БМК» разработаны:

- технология выплавки, внепечной обработки и разливки непрерывнолитой круглой заготовки диаметром 200 мм из сложнелегированной стали марки 45X2НМФБА;
- технологический процесс изготовления трубы и пластины-заготовки из стали марки 45X2НМФБА.

Всего ОАО «БМЗ» создано и внедрено в действующее производство 135 инновационных видов продукции. Среди них:

- сталеплавильная и прокатная продукция:
 - непрерывнолитая заготовка для дальнейшего производства магистральных железнодорожных рельс;
 - для производства автокомпонентов и комплектующих;
 - горячекатаный круглый прокат изготовления подшипниковой продукции (рисунок 2);
 - высококачественная катанка из высокоуглеродистых и легированных марок стали с особыми специфическими требованиями по загрязненности неметаллическими включениями для автомобильной промышленности и связанной с ней отраслями, включая катанку для производства пружин амортизаторов;
 - катанка из подшипниковых марок стали для рынков СНГ и дальнего зарубежья;
 - арматура в бунтах двухстороннего профиля диаметром 6,0 мм с дополнительными требованиями по свариваемости, повышенной и высокой категории пластичности, с требованиями к выносливости при многократно повторяющихся циклических нагрузках, с требованиями к стойкости против коррозионного растрескивания;



Рисунок 2 — Горячекатаный круглый прокат диаметром 20–80 мм
Figure 2 — Hot rolled round steel with a diameter of 20–80 mm

- трубная продукция:
 - труба-заготовка из никельмолибденсодержащей марки стали, предназначенная для изготовления бурильных (рисунок 3) и насосно-компрессорных (рисунок 4) труб;
 - более 80 новых типоразмеров бесшовных горячекатаных труб, стойких к различного вида коррозии (бактериальной, сероводородной, углекислотной), для добычи нефти и газа;
 - бесшовные горячекатаные трубы из никельмолибденсодержащих марок стали для изготовления перфораторов при операции гидроразрыва пластов методом взрыва;
 - бесшовные горячекатаные трубы из легированных марок стали для изготовления деталей и узлов в машиностроении, пакетов для глушения скважин и другой оснастки при нефтедобыче;
- метизная продукция:
 - новые конструкции металлокорда $7 \times (3+9+15 \times 0,22) + 0,20$ НТ и $7 \times (3+9 \times 0,30) + 0,20$ НТ для производства крупногабаритных (рисунок 5) и сверхкрупногабаритных шин для ОАО «Белшина»;
 - металлокорд конструкций $3+8 \times 0,33$ НТ и $0,25+6+12 \times 0,225$ НТ для Artawheel Tire Co. (Иран);



Рисунок 3 — Труба-заготовка для изготовления бурильных труб
Figure 3 — Pipe blank for the production of drill pipes



Рисунок 4 — Труба-заготовка для производства насосно-компрессорных труб
Figure 4 — Pipe blank for the production of tubing



Рисунок 5 — Металлокорд для производства крупногабаритных шин
Figure 5 — Metal cord for the production of large-size tires

- металлокорд с увеличенной прочностью категории ST, UT, MT;
- проволока из марки стали ШХ 15 по ГОСТ 7417-75 для ОАО «Минский подшипниковый завод»;
- бронзированная проволока диаметром 2,10 мм для армирования бортовых колец автомобильных специальных шин, обеспечивающих увеличение статических и динамических прочностных характеристик и ходимости в специальных условиях эксплуатации;
- проволока Saw wire диаметрами 0,14; 0,15 и 0,20 мм для резки кристаллов кремния для заводов в Республике Беларусь и Российской Федерации;
- инновационная продукция, освоенная за 2023 год:
 - стали сортовые арматурные углеродистые обыкновенного качества А500С (НУК) №8-40 по ГОСТ 34028-2016, класса S500 по СТБ 1704-2012, сталь В500В по DIN 488-1:2009-08 и DIN 488-2:2009-08;
 - сталь сортовая арматурная углеродистая обыкновенного качества А500 № 6;
 - труба стальная легированная из стали марки 09Г2С (класс прочности 265) — 82 типоразмера;
 - труба стальная легированная из стали марки 20Х — 1 типоразмер;
 - труба стальная легированная из стали марки 40Х — 9 типоразмеров;
 - труба-заготовка стальная легированная из стали марки 30ХГСА по спецификации 1440-0/СС-2014 исполнение 2 — 19 типоразмеров;
 - труба-заготовка стальная легированная из стали марки 18ХГТ — 1 типоразмер;
 - труба стальная никельмолибденсодержащая из стали марки 4130 — 4 новых типоразмера;
 - труба-заготовка стальная никельмолибденсодержащая из стали марки 30ХМА — 16 новых типоразмеров;
 - проволока класса Вр-1 диаметром 3,40 мм по спецификации № 2560-0/СС-2022.

В 2025–2030 годах планируется создание на базе ОАО «БМЗ» научной школы в области металлургии стали для обеспечения выполнения научных исследований и их практического подтверждения в реальных производственных условиях.

Глобальные направления развития металлургии:

- «зеленое» производство стали;

- моделирование металлургических процессов в реальном времени с реальными входными данными;
- цифровизация технологического процесса (Индустрия 4.0).

Направления научной, научно-технической и инновационной деятельности предприятия в 2024–2028 годах. Разработки в области:

- технологии производства высокоуглеродистых марок высококачественных сталей с особыми специфическими, требованиями по загрязненности неметаллическими включениями;
 - технологии производства металлопродукции из легированных марок стали;
 - технологии производства сверх-, ультра- и мегапрочных конструкций металлокорда, бортовой бронзированной проволоки, проволоки и металлокорда для армирования рукавов высокого давления;
 - модификации существующих производств и технологий для внедрения наукоемких, высокоэффективных энерго- и ресурсосберегающих технологий;
 - создания и совершенствование технологии производства продукции для рынка ЕАЭС по новым стандартам, разработанным взамен устаревших;
 - импортозамещающей продукции для нужд потребителей ЕАЭС;
 - продукции для поставок на альтернативные рынки (страны Азии, Африки и Латинской Америки);
 - технологии использования в металлургическом производстве альтернативных материалов, взамен ранее поставляемых из недружественных стран, а также
 - моделирования новых и совершенствования существующих технологических процессов изготовления инновационной продукции с использованием программно-аппаратного комплекса.
- Заведующий лабораторией ФТИ НАН Беларуси А.И. Покровский проинформировал присутствующих об особенностях чугунолитейного производства в Республике Беларусь и его перспективах [12–17]. Было подчеркнуто, что в настоящее время наблюдается переориентация выпуска продукции с СЧ на ВЧ, распространение их применения на весьма нагруженные детали машин в самых ответственных областях техники: автомобиле-, станко-, судостроении, железнодорожном, трубопроводном транспорте. Помимо уже давно и хорошо известных изделий типа блоков цилиндров, поршневых колец, коленчатых и распределительных валов, можно привести новые примеры деталей, для которых еще недавно не использовался ВЧ. Например, он массово применяется для изготовления шестерен трансмиссии тяжелых грузовиков фирм Ford и Chrysler, деталей подвески железнодорожных вагонов. Литой чугун за счет своей лучшей технологичности и высоких прочностных характеристик в некоторых случаях вытесняет легированный стальной прокат.

Особенностями современного литейного производства чугуна в Беларуси являются:

- технологии и оборудование, применяемые в литейных цехах страны, значительно уступают зарубежным по производительности и удельным затратам ресурсов на единицу изделия;
- более половины чугунных отливок производится на механизированных литейных конвейерах, оснащенных устаревшими формовочными машинами;
- высокий физический и моральный износ основных фондов: показатели обновления основных фондов невелики (2–3 %), парк плавильных печей устаревший;
- высокая энергоемкость литейного производства;
- приток прямых инвестиций и технологий находится на низком уровне.

Основной выпуск литья СЧ и ВЧ в Беларуси сосредоточен:

- на ОАО «Минский тракторный завод»;
- ОАО «Минский автомобильный завод — управляющая компания холдинга «БЕЛАВТОМАЗ»;
- ОАО «Гомельский литейный завод «ЦЕНТРОЛИТ»;
- ОАО «Гомельский завод литья и нормалей»;
- ОАО «Могилевский завод лифтового машиностроения» — управляющая компания холдинга «Могилевлифтмаш»;
- ОАО «Управляющая компания холдинга «Минский моторный завод».

На всех остальных предприятиях сосредоточено не более 25 % общего объема литья чугуна. Половина парка литейных печей Беларуси представлена вагранками, на которых в принципе невозможно получать чугуны высоких марок и которые характеризуются существенными выбросами в атмосферу пыли и газов. Остальная половина печей — индукционные, приблизительно поровну делящихся на три подгруппы (промышленной частоты, средней частоты и каналные печи).

Перспективы использования в Беларуси аусферритного чугуна. В мире сейчас происходит своего рода бум получения изделий из бейнитного (аусферритного) чугуна, называемого в англоязычной литературе Austempered Ductile Iron (ADI). Это разновидность высокопрочного чугуна, в котором специальной термообработкой получают структуру аусферритной металлической матрицы. Он успешно конкурирует с высококачественным прокатом легированных марок сталей, демонстрируя прочность до 1400 МПа. В настоящее время в промышленных масштабах выпускаются (в частности, фирмами General Motors и Ford) сотни типоразмеров деталей, причем за рубежом наиболее массовыми изделиями являются зубчатые колеса. ФТИ НАН Беларуси была принята попытка применить бейнитный чугун на Минском автомобильном заводе для деталей типа средних и крупных зубчатых колес (рисунки 6, 7).

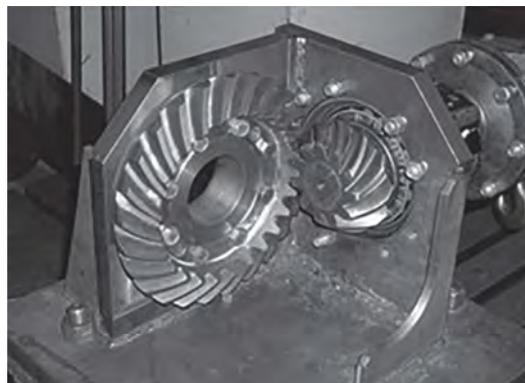


Рисунок 6 — Вал-шестерня главной передачи автомобиля MAZ-5551 (деталь 5551-2402017)

Figure 6 — Pinion shaft of the main transmission of the MAZ-5551 vehicle (part no. 5551-2402017)



Рисунок 7 — Шестерня главной передачи автомобиля MAZ-5551 (деталь 5551-2402060)

Figure 7 — Main transmission gear of the MAZ-5551 vehicle (part no. 5551-2402060)

Технологию отработывали на шестернях дифференциала заднего моста автомобиля MAZ-5551: шестерни полуоси и сателлита.

На основании полученных результатов была установлена возможность использования бейнитного чугуна в качестве заменителя традиционного материала для зубчатых колес (стали 20ХН3А). Вероятнее всего, в Беларуси в ближайшее время произойдет повторение мировой тенденции — переход на изготовление ответственных отливок из ВЧ взамен СЧ и дальнейший переход на аусферритный чугун взамен стального проката.

Директор Института прикладной физики (ИПФ) НАН Беларуси М.Л. Хейфец проинформировал присутствующих об основных целях и задачах деятельности организации в области метрологии. Они охватывают направления теоретической, прикладной и законодательной метрологии и направлены на обеспечение качества продукции путем управления процессами производства. Сформирован комплекс метрологических задач, который включает разработку физических основ, методов и средств измерений. Разработаны автоматизированные контрольно-измерительные системы для неразрушающего контроля и технической диагностики как широкого применения (для определения характеристик материалов и конструкций, их физико-механических и электромагнитных свойств на различных масштабных

уровнях), так и специального назначения (в медицине и биологии, экологии и природопользовании, обороне и безопасности). Структура учреждения сформирована так, чтобы решать поставленные первоочередные задачи по неразрушающему контролю и технической диагностике. ИПФ НАН Беларуси активно сотрудничает с организациями академической, университетской и отраслевой науки, что нашло отражение в создании филиалов кафедр ведущих университетов страны, научного центра информационно-измерительных и диагностических систем, образующего кластер с организациями Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь, Государственного военно-промышленного комитета Республики Беларусь, Министерства промышленности Республики Беларусь и Министерства энергетики Республики Беларусь. Нормативная база неразрушающего контроля (ГОСТ 18353-79) в рамках СНГ координируется Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 515. С 2022 года после проведенной подготовительной работы [18–20] на базе ИПФ НАН Беларуси организован Научный совет Международной ассоциации академий наук (МАН) по неразрушающему контролю и диагностике. Совет объединяет не только академических ученых, председателей национальных обществ (ассоциаций) неразрушающего контроля и технической диагностики различных стран, но и метрологов — участников и руководителей национальных технических комитетов.

МТК 515 включает 8 подкомитетов (ПК) по различным направлениям неразрушающего контроля. Все направления присутствуют в деятельности ИПФ НАН Беларуси:

- ПК1 — Поверхностные методы: оптический, визуальный и измерительный контроль (в этой деятельности, помимо ИПФ НАН Беларуси, наиболее активно участвует Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси);
- ПК2 — Ультразвуковой контроль: ультразвуковой контроль и акустическая тензометрия;
- ПК3 — Вихретоковый неразрушающий контроль: вихретоковый контроль и магнитные методы контроля;
- ПК4 — Радиографический контроль: радиоловой и радиационный контроль;
- ПК5 — Течеискание: контроль герметичности, капиллярный и магнитопорошковый контроль;
- ПК6 — Квалификация персонала: учебно-методическая работа;
- ПК7 — Тепловой (термографический) контроль: тепловой контроль (наиболее активно участвует Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси);
- ПК8 — Акустико-эмиссионный контроль: акустическая эмиссия и вибродиагностика (наиболее активно участвуют Объединенный институт ма-

шиностроения НАН Беларуси и Институт технической акустики НАН Беларуси).

Также ИПФ НАН Беларуси развивает ряд дополнительных направлений: ПК, представленные в технических комитетах ИСО (Контактно-динамический контроль) и МЭК (Электрический контроль).

Шесть лабораторий и отдел техногенной безопасности и конструкционного материаловедения ИПФ НАН Беларуси ведут научно-исследовательскую работу по этим направлениям в рамках подпрограммы «Техническая диагностика» ГПНИ «Механика» и по проектам БРФФИ и ГКНТ, в том числе и международным. Все фундаментальные результаты структурных подразделений ИПФ НАН Беларуси ориентированы на использование в производстве и реализуются затем на практике в виде автоматизированных комплексов контроля и диагностики. Комплексные проекты, внедряемые структурными подразделениями ИПФ НАН Беларуси, базируются на фундаментальных научных разработках национальных эталонов, стандартов, методик измерений и включают создание средств измерений и контроля для метрологического и технологического обеспечения качества продукции.

По направлениям неразрушающего контроля и технической диагностики отделом техногенной безопасности и конструкционного материаловедения ИПФ НАН Беларуси разработаны:

- статистические методы контроля качества и управление процессами, базирование, установка и закрепление изделий для обеспечения точности изделий;
- индикатор толщины закаленных слоев ИЧ-31 (рисунок 8);
- индикатор механических напряжений И4-М (рисунок 9);
- высокоточный ЭМА-толщиномер.

Лабораторией металлофизики разработаны:

- национальный эталон Республики Беларусь магнитной индукции постоянного магнитного поля НЭ РБ 04-00 (внесен в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь);



Рисунок 8 — Индикатор толщины закаленных слоев ИЧ-31
Figure 8 — Hardened layer thickness indicator ИЧ-31 (ICh-31)



Рисунок 9 — Индикатор механических напряжений И4-М
Figure 9 — Mechanical stress indicator И4-М (I4-M)



Рисунок 10 — Национальный эталон единицы магнитной индукции в диапазоне 0,05–2,0 Тл
Figure 10 — National standard of the unit of magnetic induction in the range of 0.05–2.0 T

- национальный эталон Республики Беларусь магнитной индукции слабого постоянного магнитного поля НЭ РБ 21-13 (внесен в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь) (рисунок 10);

- национальный эталон Республики Беларусь магнитной индукции переменного магнитного поля НЭ РБ 27-15 (внесен в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь) (рисунок 11);

- измеритель магнитных полей ИМП-1 (включен в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь);

- измеритель остаточной индукции ИОН-4;

- магнитный толщиномер МТЦ-3 (включен в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь);

- магнитный толщиномер никелевых покрытий МТНП-1 (включен в Государственный реестр средств измерений Российской Федерации);

- магнитный толщиномер двухслойных покрытий МТДП-1 (включен в Государственный реестр средств измерений Российской Федерации);

- вихретоковый дефектоскоп типа FD-1;

- вихретоковый дефектоскоп типа НТ-8.

Лабораторией контактно-динамических методов контроля разработаны:

- толщиномер МТП-ХН1;

- информационно-измерительный комплекс для контроля качества никелевых покрытий НТ-800.

Лабораторией электромагнитных методов контроля разработаны:

- эталон для воспроизведения, хранения и передачи размера единиц удельных магнитных потерь и магнитной индукции в магнитомягких материалах в диапазоне частот от 50 до $2 \cdot 10^4$ Гц;

- эталон для воспроизведения, хранения и передачи размера единиц удельных магнитных потерь и магнитной индукции в электротехнической стали;

- анализатор импульсный магнитный ИМА-4М (включен в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь);



Рисунок 11 — Национальный эталон единицы магнитной индукции переменного магнитного поля для диапазона от $1 \cdot 10^{-7}$ до $2 \cdot 10^{-2}$ Тл

Figure 11 — National standard of the unit of magnetic induction of an alternating magnetic field for the range from $1 \cdot 10^{-7}$ to $2 \cdot 10^{-2}$ T

- коэрцитиметр КИПФ-1 (включен в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь);

- прибор для диагностики силовых трансформаторов ДСТ-1М;

- установка импульсная магнитная ИМПОК-1Б (включена в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь);

- установка магнитоизмерительная УМ-ИМПИ (внесена в Государственный реестр средств измерений Российской Федерации);

- установка магнитоизмерительная целочистовая УМЦ;

- тестер магнитопроводов ТМ;

- тестер катушек ТК;

- тестер витковый ТВ.

Лабораторией вычислительных методов диагностики разработаны:

- портативный индикатор магнитного шума ИМШ-1;

- магнитошумовой анализатор ИНТРОСКАН.

Лабораторией СВЧ-электроники и радиотомографии разработаны:

- методы и алгоритмы радиотомографического мониторинга ионосферы;
- микроволновый индикатор радиопрозрачности антенных обтекателей;
- портативный радар для визуализации внутренней структуры строительных конструкций.

Лабораторией контактно-динамических методов контроля разработаны:

- твердомеры портативные цифровые ТПЦ-7 (включены в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь);
- измеритель прочности материалов ИПМ-1А (включен в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь);
- измеритель прочности материалов ИПМ-1Б (включен в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь);
- измеритель свойств углеродных материалов ПАК ИСУМ-1 (включен в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь);
- измеритель физико-механических свойств резин и пластмасс ИПМ-1К (включен в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь);
- измеритель свойств чугуна ИФМХ-Ч.

Анализ проведенных исследований и внедренных средств и автоматизированных комплексов измерения и контроля показывает, что и далее следует поддерживать практическую направленность разработок по метрологическому обеспечению и повышению достоверности результатов контроля, по стандартизации и подтверждению соответствия требуемых параметров качества.

На настоящем этапе наиболее актуальными являются следующие задачи:

- внедрение новых принципов моделирования производственных процессов и сложных инфраструктурных объектов;
- получение измерительной информации в реальном масштабе времени и выделение первичных информативных параметров;
- мониторинг состояния сложных технологических объектов и процессов и их техническая диагностика;
- построение и обучение интеллектуальных приборов и систем неразрушающего контроля, методов обработки сигналов и представления результатов;
- создание национальных эталонов с установленными метрологическими характеристиками.

Список литературы

1. Витязь, П.А. Научное обеспечение модернизации холдинга «Белорусская металлургическая компания» / П.А. Витязь, А.В. Толстой, А.В. Венгура // *Литье и металлургия*. — 2019. — № 1. — С. 11–17. — DOI: <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-1-11-17>.
2. Витязь, П.А. О деятельности Совета НПЦ ОАО «БМЗ» – НАН Беларуси / П.А. Витязь, А.В. Толстой // *Литье и металлургия*. — 2022. — № 4. — С. 139–143. — DOI: <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-4-139-143>.
3. Витязь, П.А. Результаты выполнения заданий подпрограммы «Металлургия» ГПНИ «Механика, металлургия, диагностика в машиностроении» на 2021–2025 годы, завершенных в 2023 году / П.А. Витязь, А.В. Толстой // *Механика машин, механизмов и материалов*. — 2025. — № 1(70). — С. 84–94. — DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2025-1-70-84-94>.
4. Разработка основных требований к автоматизированному участку термической обработки кольцеракатного комплекса / В.Е. Антонюк, С.Г. Сандомирский, С.О. Никифорович [и др.] // *Литье и металлургия*. — 2022. — № 2. — С. 97–103. — DOI: <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-2-97-103>.
5. Куделко, И.Ю. Исследование причин разрушения крупногабаритных подшипников карьерных автосамосвалов / И.Ю. Куделко, А.Г. Сидоренко, М.В. Сотников // *Механика машин, механизмов и материалов*. — 2023. — № 4(65). — С. 31–37. — DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2023-4-65-31-37>.
6. Сосновский, И.А. Оптимизация процесса наплавки покрытий на основе алюминиевых сплавов центробежным индукционным методом / И.А. Сосновский, М.А. Белоцерковский, А.А. Куриленок // *Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. науч. тр. : в 3 кн. — Кн. 2. Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки / отв. ред. В.Г. Залесский*. — Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2023. — С. 236–246.
7. Витязь, П.А. Анализ состояния литейных производств Республики Беларусь / П.А. Витязь, А.В. Толстой, М.А. Садохина // *Литье и металлургия*. — 2019. — № 3. — С. 35–40. — DOI: <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-3-35-40>.
8. Витязь, П.А. Пути повышения эффективности литейных производств Республики Беларусь / П.А. Витязь, А.В. Толстой, М.А. Садохина // *Литье и металлургия*. — 2019. — № 4. — С. 81–89. — DOI: <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-4-81-89>.
9. Способы повышения пластических свойств холоднодеформированной арматуры / Т.А. Ахметов, В.А. Харитонов, Ю.И. Козырева [и др.] // *Литье и металлургия*. — 2018. — № 1(90). — С. 110–112. — DOI: <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2018-1-110-112>.
10. Рожкова, О.В. Влияние раскисляющего порошка на качество внутренней поверхности горячекатаных труб / О.В. Рожкова // *Литье и металлургия*. — 2019. — № 1. — С. 61–65. — DOI: <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-1-61-65>.
11. Применение энергоэффективных технологий в рамках реализации инвестиционного проекта «Организация производства сортового проката со строительством мелкосортно-проволочного стана» в ОАО «БМЗ» — управляющая компания холдинга «БМК» / Н.И. Анелькин, О.М. Кириленко, В.Э. Марушкевич, С.А. Мозгов // *Литье и металлургия*. — 2018. — № 1(90). — С. 90–95.
12. Основные направления развития отечественной металлургии в разрезе мировых тенденций / Н.И. Анелькин, А.В. Манцевич, Д.Г. Войтеховский, С.А. Мозгов // *Литье и металлургия*. — 2023. — № 2. — С. 31–44. — DOI: <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-2-31-44>.
13. Моделирование процесса формирования литой структуры высокопрочного чугуна / И.В. Рафальский, П.Е. Лущик, Д.С. Морозов, А.И. Покровский // *Металлургия: респ. межвед. сб. науч. тр. / БНТУ; редкол.: И.А. Иванов (гл. ред.) [и др.]*. — Минск, 2021. — Вып. 42. — С. 137–147.
14. Покровский, А.И. Высокопрочные аусферритные (бейнитные) чугуны для ответственных изделий / А.И. Покровский, Е.И. Марукович // *Литейное производство и металлургия 2022. Беларусь: тр. 30-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16–18 нояб. 2022.* — 2022. — С. 35–40.
15. Microstructure and properties evaluation of ductile cast iron subjected to hot plastic deformation and ambient temperature compression / A.S. Chaus, L. Čaplovič, A.I. Pokrovskii, R. Sobota // *Archives of Metallurgy and Materials*. — 2023. — Vol. 68, iss. 2. — P. 639–648. — DOI: <https://doi.org/10.24425/amm.2023.142445>.
16. Покровский, А.И. Особенности структурообразования графитных включений в высокопрочном чугуне при литье и горячей пластической деформации / И.И. Покровский // *Черные металлы*. — 2023. — № 4. — С. 8–15. — DOI: <https://doi.org/10.17580/chm.2023.04.02>.

17. Покровский, А.И. Механизм пластической деформации графитных включений в высокопрочном чугуне при обработке давлением / А.И. Покровский // Черные металлы. — 2023. — № 6. — С. 52–60. — DOI: <https://doi.org/10.17580/chm.2023.06.08>.
18. Классификация объектов и процессов производства при цифровизации жизненного цикла изделий / Б.М. Базров, М.Л. Хейфец, З.М. Короткевич [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — Минск, 2021. — Вып. 10. — С. 386–390.
19. Интегрированные системы на базе международных стандартов менеджмента качества / А.Е. Дайнеко, М.Л. Хейфец, А.С. Гаркун [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — Минск, 2022. — Вып. 11. — С. 363–368.
20. Интегрированная система менеджмента на основе организационно-технической структуры предприятия / А.Е. Дайнеко, В.Е. Шолоник, Г.В. Подгорный [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — Минск, 2023. — Вып. 12. — С. 299–302.

VITYAZ Petr A., Academician of the NAS of Belarus, D. Sc. in Eng., Prof.
Co-Chairman of the Council¹

TOLSTOY Aliaksandr V., Ph. D. in Phys. and Math., Assoc. Prof.
Academic Secretary of the Council¹

Deputy Head of the Laboratory of Metallurgy in Mechanical Engineering of the R&D Center “Mechanical Engineering Technologies and Processing Equipment”²
E-mail: labmetal@rambler.ru

¹Research and Production Center “OJSC “BSW — Management Company of “BMC” Holding” – NAS of Belarus”, Minsk, Republic of Belarus

²Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Received November 18, 2025.

ON THE ACTIVITIES OF THE CLUSTER OF THE RESEARCH AND PRODUCTION CENTER “OJSC “BSW — MANAGEMENT COMPANY OF “BMC” HOLDING” – NAS OF BELARUS”

The article covers the activities of the Council of the Research and Production Center “OJSC “BSW — Management Company of “BMC” Holding” – NAS of Belarus”. The results of the implementation of the tasks of the subprogram “Metallurgy” of the State Program of Scientific Research “Mechanics, Metallurgy, Diagnostics in Mechanical Engineering for 2021–2025”, completed in 2023, are considered. The progress of the implementation of the activities of the Program for the Development of Foundries of the Republic of Belarus for 2017–2030 is analyzed. The results of scientific and technical activities of OJSC “BSW” in 2023–2024 are discussed. In particular, it was noted that, in the context of sanctions pressure, the main areas of research, scientific and technical, and innovative activities of OJSC “BSW — Management Company of “BMC” Holding”, are the development of new types of products and technologies for steelmaking, steel rolling, and steel wire production, as well as the development, improvement, implementation of production technologies for innovative products. The features of iron foundry production in the Republic of Belarus and its prospects were analyzed. Considering that the year 2024 has been declared the Year of Quality in the Republic of Belarus, issues related to measuring and control instruments for metrological and technological quality assurance in metallurgy and foundry production were discussed at the Council meeting.

Keywords: metallurgy, heat treatment, pressure treatment, ecology, recycling and waste disposal

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2026-1-74-88-98>

References

1. Vityaz P.A., Tolstoy A.V., Vengura A.V. Nauchnoe obespechenie modernizatsii kholdinga “Belorusskaya metallurgicheskaya kompaniya” [Scientific support for the modernization of the Holding “Belarusian Metallurgical Company”]. *Foundry production and metallurgy*, 2019, no. 1, pp. 11–17. DOI: <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-1-11-17> (in Russ.).
2. Vityaz P.A., Tolstoy A.V. O deyatelnosti Soveta NPTs OAO “BMZ” – NAN Belarusi” [About the activities of the board of the SPC of OJSC “BSW” – NAS of Belarus”]. *Foundry production and metallurgy*, 2022, no. 4, pp. 139–143. DOI: <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-4-139-143> (in Russ.).
3. Vityaz P.A., Tolstoy A.V. Rezultaty vypolneniya zadaniy podprogrammy “Metallurgiya” GPNI “Mekhanika, metallurgiya,

- diagnostika v mashinostroenii” na 2021–2025 gody, zavershen-nykh v 2023 godu [Task fulfillment results under the subprogram “Metallurgy” of the State Program “Mechanics, Metallurgy, Diagnostics in Mechanical Engineering” for 2021–2025, completed in 2023]. *Mechanics of machines, mechanisms and materials*, 2025, no. 1(70), pp. 84–94. DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2025-1-70-84-94> (in Russ.).
4. Antonyuk V.E., et al. Razrabotka osnovnykh trebovaniy k avtomatizirovannomu uchastku termicheskoy obrabotki koltseraskatnogo kompleksa [Development of basic requirements for an automated heat treatment site of a ring-rolling complex]. *Foundry production and metallurgy*, 2022, no. 2, pp. 97–103. DOI: <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-2-97-103> (in Russ.).
 5. Kudelko I.U., Sidorenko A.G., Sotnikov M.V. Issledovanie prichin razrusheniya krupnogabaritnykh podshipnikov karernykh avtosamosvalov [Research of destruction causes of large-sized bearings of mining dump trucks]. *Mechanics of machines, mechanisms and materials*, 2023, no. 4(65), pp. 31–37. DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2023-4-65-31-37> (in Russ.).
 6. Sosnovskiy I.A., Belotserkovskiy M.A., Kurilyonok A.A. Optimizatsiya protsessa naplavki pokrytiy na osnove aluminievyykh splavov tsentrobezhnym induktsionnym metodom [Optimization of the process of surfacing coatings based on aluminum alloys by the centrifugal induction method]. *Sovremennye metody i tekhnologii sozdaniya i obrabotki materialov. Kn. 2. Tekhnologii i oborudovaniye mekhanicheskoy i fiziko-tekhnicheskoy obrabotki*, 2023, pp. 236–246 (in Russ.).
 7. Vityaz P.A., Tolstoy A.V., Sadokha M.A. Analiz sostoyaniya liteynykh proizvodstv Respubliki Belarus [Status analysis of the foundries in the Republic of Belarus]. *Foundry production and metallurgy*, 2019, no. 3, pp. 35–40. DOI: <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-3-35-40> (in Russ.).
 8. Vityaz P.A., Tolstoy A.V., Sadokha M.A. Puti povysheniya effektivnosti liteynykh proizvodstv Respubliki Belarus [Ways to improve the efficiency of Foundries of The Republic of Belarus]. *Foundry production and metallurgy*, 2019, no. 4, pp. 81–89. DOI: <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-4-81-89> (in Russ.).
 9. Akhmetov T.A., et al. Sposoby povysheniya plasticheskikh svoystv kholodnodeformirovannoy armatury [Methods of increasing the plastic properties of cold-worked reinforcement]. *Foundry production and metallurgy*, 2018, no. 1(90), pp. 110–112. DOI: <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2018-1-110-112> (in Russ.).
 10. Rozhkova O.V. Vliyaniye raskislyayushchego poroshka na kachestvo vnutrenney poverkhnosti goryachekatanykh trub [Influence of deoxidizing powder on the internal surface of hot-rolled pipes]. *Foundry production and metallurgy*, 2019, no. 1, pp. 61–65. DOI: <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-1-61-65> (in Russ.).
 11. Anelkin N.I., Kirilenko O.M., Marushkevich V.E., Mozgov S.A. Primeneniye energoeffektivnykh tekhnologiy v ramkakh realizatsii investitsionnogo proekta “Organizatsiya proizvodstva sortovogo prokata so stroitelstvom melkosortno-provolochnogo stana» v OAO “BMZ” — upravlyayushchaya kompaniya kholdinga “BMK” [The use of energy efficient technologies in the framework of implementation of investment project “Organization of production of rolled bar iron with the construction of small-section wire rolling mill” OJSC “BSW – Management Company of Holding “BMC”]. *Foundry production and metallurgy*, 2018, no. 1(90), pp. 90–95. DOI: <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2018-1-90-95> (in Russ.).
 12. Anelkin N.I., Mantsevich A.V., Voitekhovsky D.G., Mozgov S.A. Osnovnye napravleniya razvitiya otechestvennoy metallurgii v razreze mirovykh tendentsiy [The main directions of national metallurgy development in the context of global trends]. *Foundry production and metallurgy*, 2023, no. 2, pp. 31–44. DOI: <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-2-31-44> (in Russ.).
 13. Rafalski I.V., Lushchik P.E., Morozov D.S., Pokrovskiy A.I. Modelirovaniye protsessov formirovaniya litoy struktury vysokoprochnogo chuguna [Modeling the formation of cast structures in ductile iron]. *Metallurgy*, 2021, iss. 42, pp. 137–147 (in Russ.).
 14. Pokrovskiy A.I., Marukovich E.I. Vysokoprochnyye ausferriitnye (beynitnye) chuguny dlya otvetstvennykh izdeliy [High-strength austferritic (bainitic) cast iron for critical products]. *Trudy 30-y mezhduнародnoy nauchnoo-tekhnicheskoy konferentsii “Liteynoe proizvodstvo i metallurgiya 2022. Belarus”* [Proc. 30th international scientific and technical conference “Foundry and metallurgy 2022. Belarus”]. Minsk, 2022, pp. 35–40 (in Russ.).
 15. Chau A.S., Čaplovič L., Pokrovskiy A.I., Sobota R. Microstructure and properties evaluation of ductile cast iron subjected to hot plastic deformation and ambient temperature compression. *Archives of metallurgy and materials*, 2023, vol. 68, iss. 2, pp. 639–648. DOI: <https://doi.org/10.24425/amm.2023.142445>.
 16. Pokrovskiy A.I. Osobennosti strukturoobrazovaniya grafitnykh vkluycheniy v vysokoprochnom chugune pri lite i goryachey plasticheskoy deformatsii [Features of structure formation of graphite inclusions in ductile cast iron during casting and hot plastic deformation]. *Chernye metally*, 2023, no. 4, pp. 8–15. DOI: <https://doi.org/10.17580/chm.2023.04.02> (in Russ.).
 17. Pokrovskiy A.I. Mekhanizm plasticheskoy deformatsii grafitnykh vkluycheniy v vysokoprochnom chugune pri obrabotke davleniem [The mechanism of plastic deformation of graphite inclusions in high-strength cast iron during metal forming]. *Chernye metally*, 2023, no. 6, pp. 52–60. DOI: <https://doi.org/10.17580/chm.2023.06.08> (in Russ.).
 18. Bazrov B.M., et al. Klassifikatsiya obektov i protsessov proizvodstva pri tsifrovizatsii zhiznennogo tsikla izdeliy [Classification of production objects and processes in digitalization of the life cycle of products]. *Aktualnye voprosy mashinovedeniya*, 2021, iss. 10, pp. 386–390 (in Russ.).
 19. Daineko A.E., et al. Integrirovannyye sistemy na baze mezhduнародnykh standartov menedzhmenta kachestva [Integrated systems on the basis of international standards of quality management]. *Aktualnye voprosy mashinovedeniya*, 2022, iss. 11, pp. 363–368 (in Russ.).
 20. Daineko A.E., et al. Integrirovannaya sistema menedzhmenta na osnove organizatsionno-tekhnicheskoy struktury predpriyatiya [Integrated management system based on the organizational and technical structure of a company]. *Aktualnye voprosy mashinovedeniya*, 2023, iss. 12, pp. 299–302 (in Russ.).