

УДК 669.1.061.6

**А.И. Бабаченко**, д-р техн. наук, ст. науч. сотр., директор, e-mail: a\_babachenko@i.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4710-0343>**А.Е. Меркулов**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., зам. директора по научной работе, e-mail: office.isi@nas.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0002-7867-0659>**Л.Г. Тубольцев**, канд. техн. наук, заслуженный работник промышленности Украины, зав. отделом, e-mail: isi.tubol@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9540-3037>

Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины (Днепр, Украина)

## Опыт и перспективы развития научной тематики в Институте черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины

*Изложена история создания Института черной металлургии (ИЧМ). Показано, что создание и становление Института определялось необходимостью развития черной металлургии страны. Институт объединил разрозненные в своей деятельности группы ученых-металлургов, которые работали в различных институтах страны. Программа работ ИЧМ, несмотря на его молодость, была широка и актуальна, что можно объяснить опытом, инициативностью и масштабностью деятельности ученых, которые возглавили отделы Института. Описаны истоки создания научной тематики Института, которая охватывала все основные передельные процессы черной металлургии. Приведены крупные научные разработки, созданные сотрудниками Института впервые в мировой и отечественной практике, которые в настоящее время составляют основу мировой металлургии. Выдающимися учеными Института было создано немало научных школ, которые и сегодня продолжают вносить неоценимый вклад в развитие научной тематики, реализацию результатов фундаментальных и прикладных исследований на металлургических предприятиях. Анализ показывает, что стратегическим направлением развития отечественной металлургии на перспективу является эволюционное изменение металлургических технологий. В этой связи приведены развиваемые в Институте основные направления научно-технического сопровождения технологий доменного, сталеплавильного и прокатного производства, термической обработки проката. Приведены примеры современных научных разработок Института.*

*Направления научных исследований Института черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины охватывают весь круг проблем производства металлопродукции, благодаря чему имеют комплексный характер, что является очень важным преимуществом в современном мире. ИЧМ имеет серьезный научный потенциал новейших современных технологических и технических решений для отечественного металлургического производства, которые уже на стадии разработки адаптируются к существующим в Украине технологическим и сырьевым условиям и их изменениям. Большинство новых разработок по технологическому содержанию и интеллектуальному уровню реализации не уступают мировым аналогам.*

**Ключевые слова:** черная металлургия, технологии, научные школы, научно-техническое сопровождение металлургических технологий.

**Состояние вопроса.** В настоящее время в мировой металлургической промышленности преобладают следующие тенденции:

– продолжается рост мирового производства стали;

– приоритетным направлением развития металлургической промышленности продолжает оставаться повышение конкурентоспособности и снижение себестоимости производства;

– инвестиции и использование научных разработок в мировой металлургии остаются основой модернизации технологической и технической базы металлургического производства.

Подобные задачи развития металлургии стояли и перед Украиной, когда 9 декабря 1939 г. правительством было принято решение о создании Института черной металлургии (ИЧМ) в системе Академии наук Украины [1]. Создание Института было вызвано необходимостью научного сопровождения черной металлургии, перед которой в эти годы стояла задача

интенсивного развития и на пути развития которой возникли значительные трудности. Темпы развития черной металлургии существенно замедлились. Если в 1937 г. по сравнению с 1932 г. выплавка стали возросла в три раза, то за период с 1938 до 1940 г. – всего лишь на 0,6 %. Обеспечить дальнейший подъем производства металла можно было только за счет развития научных основ металлургических процессов. В идее создания ИЧМ было положение, что использование научных разработок должно стать основой модернизации металлургического производства Украины. Поэтому научная тематика была актуальна и востребована металлургическими предприятиями.

С момента создания, главной особенностью ИЧМ во все периоды его деятельности была направленность тематики на решение текущих и перспективных задач металлургии страны, проведение фундаментальных исследований в области черной металлургии и реализация их результатов в практику металлургического производства. Структура ИЧМ была

сформирована в соответствии с технологическими принципами современной черной металлургии, а научные подразделения охватывают все основные переделы черной металлургии. Практическая направленность исследований Института нашла отражение в целом ряде изобретений, послуживших основой создания новых технологий и оборудования. Разработки Института сформировали современное лицо отечественной и зарубежной черной металлургии и награждены многочисленными государственными премиями в области науки и техники.

**Цель настоящей работы** – анализ исторических и современных условий работы отечественной металлургической науки в соответствии с тенденциями развития мировой металлургии на примере научной деятельности Института черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины.

**Методика проведения исследований** основана на аналитическом изучении и анализе современных достижений и научной тематики одного из ведущих отечественных научно-исследовательских институтов металлургического профиля, использованных для совершенствования технологий производства металлургической продукции.

**Основные результаты исследования.** С момента создания ИЧМ АН УССР стал объединяющим началом для разрозненных групп ученых-металлургов, работающих в Украине. Организация работы Института была поручена его первому директору, академику АН УССР М.В. Луговцову. Это был видный ученый-доменщик, который внес весомый вклад в развитие отечественной металлургии. В Институте в разное время работали всемирно известные ученые – создатели новых научных школ и направлений: академики СССР и УССР М.В. Луговцов, Н.Н. Доброхотов, И.Н. Францевич, В.Н. Свечников, З.И. Некрасов, А.П. Чекмарев, К.Ф. Стародубов, В.И. Большаков, члены-корреспонденты академии наук Украины – К.П. Бунин, С.Н. Кожевников, д.т.н. Н.А. Воронова, И.Г. Узлов, Э.В. Приходько, И.Г. Товаровский, В.В. Парусов, и многие другие.

Можно отметить несколько важных этапов научной деятельности Института, которые характеризуются разработкой крупных проектов, созданием научных школ, реализацией в промышленности научных достижений. Научная тематика Института включила в себя наиболее важные проблемы отечественной металлургии.

Период 1939–1952 гг. характерен созданием организационных условий работы Института, решением важных задач повышения обороноспособности страны. Изучались вопросы перспективности использования керченских руд, совершенствования технологии выплавки мартеновской стали и конструкции мартеновских печей, проводились исследования процессов превращений в сталях при изотермическом нагревании в области субкритических температур. Уже в первые годы создания ИЧМ нашли признание труды его сотрудников в области доменного производства. Предложенный способ плавки чугуна на устойчивых шлаках обеспечил более ровный ход

печи, меньший расход кокса, более высокую производительность и получение заданного по составу чугуна. Во время войны научные работники ИЧМ приняли деятельное участие в решении задач по расширению сырьевой базы металлургической промышленности. Под руководством М.В. Луговцова разработаны технические предложения по строительству Узбекского металлургического завода и обеспечению его местным сырьем. И.Н. Францевич и Н.А. Воронова выполнили исследования по состоянию сырьевой базы металлургической промышленности Южного Урала. Н.Н. Доброхотов выполнил ряд важных разработок в области применения термодинамики и кинетики в металлургии, улучшения теплового режима мартеновских печей, разработал методы использования природного газа в мартеновском производстве, выполнил ряд усовершенствований технологии выплавки броневой стали для танкостроительных заводов. Член-корреспондент АН УССР П.Т. Емельяненко разработал метод расчета оптимальных геометрических параметров толстостенных труб, идущих на изготовление стволов артиллерийских орудий и минометов.

Сразу после освобождения территории Украины в 1943 г. от фашистских захватчиков сотрудники ИЧМ приступили к ликвидации тяжелых разрушений и восстановлению металлургических предприятий. И уже в 1951 г. в возведенных, по сути, заново сталеплавильных цехах, был превышен довоенный объем выплавки стали.

Для расширения научной базы исследований в 1946 г. из состава ИЧМ выделилась лаборатория металлофизики (впоследствии Институт металлофизики АН УССР), директором которой был назначен академик АН УССР Г.В. Курдюмов. В 1952 г. из состава ИЧМ выделилась самостоятельная лаборатория специальных сплавов, которая в 1955 г. была реорганизована в Институт металлокерамики и специальных сплавов АН УССР (Институт проблем материаловедения АН УССР). Начатые в ИЧМ исследования по разработке технологии литья отливок для металлургического оборудования были продолжены в Институте проблем литья АН УССР, созданном в 1958 г. Ныне это Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины.

В период 1939–1952 гг. Президиуму АН УССР пришлось решать необычный вопрос: где собственно территориально должен размещаться Институт черной металлургии. С одной стороны, для более тесной и живой связи с производством и решения вопросов развития черной металлургии лабораторная база Института должна была располагаться в непосредственной близости от металлургических предприятий (Приднепровье, Донбасс). С другой стороны, такая перспектива не устраивала большинство научных сотрудников из-за необходимости переезда из Киева. Однако в 1953 году этот вопрос был решен окончательно – ИЧМ должен базироваться в центре металлургии Украины – в г. Днепропетровске. Директором ИЧМ был назначен З.И. Некрасов. Вместе с директором Института З.И. Некрасовым в Днепропетровск приехали двое сотрудников – И.Б. Страшников и

Н.А. Воронова, которая впоследствии создала перспективный сегодня процесс внедоменной дусульфурации чугуна гранулированным магнием.

С 1953 г. ИЧМ традиционно проводит научные исследования в направлениях, востребованных металлургической промышленностью, в том числе такие, как:

- увеличение единичной мощности и производительности металлургических агрегатов, совершенствование оборудования металлургических агрегатов;

- улучшение качества металлургического железорудного сырья, использование отходов производства в доменной плавке, улучшение качества готовой продукции;

- интенсификация технологических процессов в доменном, сталеплавильном и прокатном производстве;

- совершенствование и модернизация кислородно-конвертерного производства с выводом из эксплуатации мартеновских печей;

- создание и освоение специальных технологических процессов для повышения физико-механических свойств и качества готовой металлопродукции;

- расширение сортамента готовой металлопродукции.

Из перечня выполненных в этих направлениях научных разработок ИЧМ следует отметить следующие.

Одна из первых разработок ИЧМ была направлена на расширение энергетической базы доменного производства. Впервые в мировой практике академиком З.И. Некрасовым было предложено использовать природный газ, который в то время был в избытке, в качестве энгергоносителя для дувания в доменные печи. В октябре 1957 г. на доменной печи завода им. Петровского реализована подача природного газа в горн в количестве до 120 м<sup>3</sup>/т чугуна, что позволило снизить расход кокса на 10–16 %, повысить производительность печи на 3–5 %. Внедрение разработки позволило использовать обогащенное кислородом дутье, увеличить производительность доменной печи, уменьшить энергетические затраты и послужило основой для дальнейшего применения других альтернативных источников энергии в доменном процессе. В 1960 г. за внедрение природного газа в доменном производстве З.И. Некрасову присуждена Ленинская премия.

ИЧМ активно участвует в обновлении и модернизации производственных мощностей металлургии Украины. При непосредственном участии ученых Института научно обоснована возможность создания доменных печей большого объема, спроектирована и запущена в эксплуатацию крупнейшая в мире доменная печь объемом 5034 м<sup>3</sup> на комбинате «Криворожсталь», разработаны мероприятия по увеличению объема доменных печей на комбинатах «Запорожсталь», Днепровском металлургическом и Макеевском.

Необходимость дальнейшего наращивания производства стали в 50–60-е годы прошлого века выдвинуло на передний план довоенную концепцию разви-

тия, которая заключалась в строительстве большегрузных мартеновских печей. В результате структура мартеновского производства Украины была сформирована как минимум на 20–25 лет с учетом срока окупаемости металлургического оборудования. Был ли обоснован такой подход, на фоне роста объема выплавки кислородно-конвертерной стали в западных странах? Логика сформированной в Украине структуры мартеновского производства вполне оправдана и имеет серьезное обоснование. Во-первых, мартеновские печи с наименьшими затратами в сравнении с электропечами позволяли переработать накопления послевоенного стального лома. Во-вторых, геологические работы и начало строительства последнего мартеновского цеха с большегрузными печами (введен в действие на заводе им. Ильича в 1962 г.) относятся к середине 50-х годов, то есть до начала «эпохи бурного распространения кислородно-конвертерного процесса». В то же время мартеновский цех строился с учетом современных научных, проектных и конструкторских разработок. В совершенствование этого процесса крупный вклад внесли сотрудники ИЧМ под руководством д-ра техн. наук И.И. Кобезы и канд. техн. наук В.Я. Ботвинского. Выполняя научно-техническое сопровождение мартеновского производства, сотрудники созданного в 1995 г. отдела металлургии стали ИЧМ участвовали в реконструкции мартеновских печей в двухванные агрегаты, что явилось в то время крупным научно-техническим достижением. Так, на основе сопоставительного анализа работы мартеновских печей с различной массой садки (от 70 до 300 т) было установлено, что при удвоении массы садки производительность печи возрастает, по меньшей мере, в полтора раза. Кроме того, увеличение производительности агрегата достигали за счет применения технического кислорода. В середине 70-х годов прошлого столетия в Украине выплавлялось около 33–34 млн т мартеновской стали в год, что составляло примерно две трети от всего объема выплавляемой стали.

Вместе с тем, в 60-х годах в ИЧМ широко развивалась и тематика кислородно-конвертерного производства. Две лаборатории конвертерного производства проводили исследования по выявлению эффективности процесса с комбинированной продувкой, по использованию повышенной доли металлолома в конвертере, по разработке эффективных продувочных устройств, по повышению стойкости футеровки конвертера и целому ряду других проблем конвертерного производства. Большой вклад в развитие отечественного конвертерного производства внесли д-р техн. наук Я.А. Шнееров, Р.В. Старов, канд. техн. наук В.В. Смоктий и В.П. Корченко. Кроме теоретических исследований, они проводили большую работу по разработке технологических заданий на проектирование отечественных большегрузных конвертеров и освоение технологии конвертерной плавки на металлургических предприятиях. Разработаны мероприятия и проведено научно-техническое сопровождение создания кислородно-конвертерного цеха комбината «Азовсталь», нового конвертера и

реконструкции существующих на комбинате «Криворожсталь», реконструкции кислородных конвертеров Днепропетровского металлургического завода.

Начало 70-х годов характеризуется быстрым внедрением непрерывной разливки стали на многих металлургических заводах промышленно развитых стран мира. В Украине процессам непрерывной разливки пришлось конкурировать с консервативным, но сравнительно дешевым процессом разливки стали в слитки. При развитом мартеновском производстве использование машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) встречало определенные финансовые и конструктивные трудности. Потребовалось создание новой системы технологий в сталеплавильном переделе. Оснащение действующих конвертерных цехов МНЛЗ и реконструкция сравнительно новых крупных мартеновских в соответствии с новой системой технологий требовало рассмотрения возможности второго пути совершенствования структуры сталеплавильного производства – реконструкции крупных мартеновских цехов. В результате научно-технического прогресса и кропотливой научной работы ученых Украины, в том числе и ИЧМ, все основные качественные и количественные показатели, достигаемые при непрерывной разливке стали, заметно превзошли параметры слиткового передела.

В 1958 г. впервые в практике прокатного производства на блюминге 1150 завода им. Дзержинского была применена технология сдвоенной прокатки слитков. По сравнению с одиночной прокаткой, новая технология обеспечила увеличение производительности обжимного стана на 15–30 % вследствие уменьшения времени пауз, ликвидации периодов торможения при выбросе из валков первого слитка и разгона при захвате второго, увеличения максимальной скорости прокатки. Пионерами в разработке новой технологии явились специалисты завода им. Дзержинского и ученые ИЧМ под руководством академика А.П. Чекмарева.

В 1962 г. под руководством А.П. Чекмарева началась разработка крупнейшей комплексной проблемы «Непрерывная и бесконечная прокатка», которая завершилась созданием впервые в мировой практике ряда мелкосортных станов бесконечной прокатки. Впервые в мировой практике прокатного производства в 1965 г. получена промышленная партия проката со сварным швом. Это открыло большие перспективы развития прогрессивного способа «бесконечной прокатки». Бесконечная прокатка сегодня получает широкое развитие в мировой практике.

При непосредственном участии Института спроектированы и построены новые прокатные станы: непрерывный проволочный стан 250/3 на комбинате «Криворожсталь», уникальный толстолистовой стан 3600 завода «Азовсталь», трубозлектросварочный стан (Харьков), новый колесопрокатный стан на Нижнеднепровском трубопрокатном заводе. На широкополосных станах горячей и холодной прокатки комбинатов «Запорожсталь» и ММК им. Ильича сотрудники Института ведут исследования по совершенствованию температурно-деформационных

режимов прокатки и улучшению качества готовой продукции. Практически на всех прокатных станах Украины использованы и внедрены разработки сотрудников ИЧМ.

В 1964 г. сотрудниками отдела механизации и автоматизации Института под руководством С.Н. Кожевникова, Б.М. Климковского, А.С. Ткаченко разработана и внедрена принципиально новая конструкция стана холодной прокатки труб и новое оборудование, позволившие значительно увеличить производительность за счет уравнивания сил инерции возвратно-поступательного движения масс стана. В 1968 г. комплекс изобретений был удостоен Государственной премии СССР за создание и широкое внедрение в промышленность гаммы высокопроизводительных универсальных станов холодной прокатки труб с комплексом новых механизмов.

В 1965 г. на основании данных опытной плавки на агломерате из богатого концентрата, проведенной доменщиками Института на заводе «Криворожсталь», Приднепровский Совнархоз утвердил новую технологию и принял решение о реконструкции обогатительных фабрик Кривбасса с целью выпуска концентрата с содержанием железа 64–65 %, что стало крупным шагом по производству в Украине обогащенного железорудного сырья.

В 1966 г. впервые в мире на Днепропетровском металлургическом заводе им. Г.И. Петровского сотрудниками ИЧМ успешно проведена опытная плавка с заменой обычного кокса формованным, полученным из газовых и слабоспекающихся углей. В этом же году построена первая в стране промышленная установка для термоупрочнения арматурной стали с прокатного нагрева в потоке мелкосортного стана завода «Криворожсталь». Технология разработана учеными ИЧМ под руководством академика К.Ф. Стародубова.

В 1970 г. впервые в мировой практике на доменной печи № 3 завода «Запорожсталь» под руководством академика З.И. Некрасова освоена технология плавки при подаче в горн пылеугольного топлива с помощью установки конструкции ИЧМ. К результатам этого года можно также отнести завершение освоения на заводе им. К. Либкнехта разработанной ИЧМ технологии вертикальной прерывистой закалки цельнокатанных железнодорожных колес, позволяющей повысить их долговечность на 15 %; а также завершение строительства на заводе им. Ильича отделения для десульфурации чугуна по технологии ИЧМ.

В 1972 г. сталеплавильщиками ИЧМ выплавлена серия опытных плавок с микролегированием рельсовой стали титаном или магнием, что улучшило ее хладостойкость и износостойкость. За разработку и широкое внедрение в народное хозяйство полуспокойных сталей взамен спокойных сотрудники отдела металлургии стали (ОМС) Я.А. Шнееров, В.А. Вихлевщук и А.С. Стороженко удостоены Государственной премии УССР.

В 1974 г. комплексная бригада ИЧМ под руководством д-ра техн. наук И.Г. Узлова активно участвовала в освоении поточной линии № 2 колесопрокатного цеха завода им. К.Либкнехта, созданной по техноло-

гическому заданию Института.

В 1975 г. в ИЧМ успешно выполнялись крупные научные исследования на уровне мировых достижений, определившие направления научно-технического прогресса в отрасли, в том числе:

- технология плавки с использованием богатого железом концентрата;
- использование кислорода и природного газа;
- разработка крупных доменных печей;
- совершенствование мартеновского производства за счет использования кислорода для продувки ванны;
- совершенствование кислородно-конвертерного производства продувкой ванны кислородом в струе защитного газа через днище в конвертере;
- создание новых марок полуспокойной стали;
- бесконечная прокатка на непрерывных сортовых станах;
- повышение точности размеров проката;
- улучшение качества тонкого листа за счет установления рациональных режимов обработки валков, создания рациональной технологии прокатки, разработки и внедрения надлежащих видов технологических смазочных средств;
- разработка и внедрение технологии и оборудования для термообработки проката в потоке станов – круглых профилей, швеллеров, балок, цельнокатанных колес, труб большого диаметра, толстого листа, катанки.

В 1976 г. впервые в практике доменного производства ученые ИЧМ провели на доменной печи № 4 объемом 2000 м<sup>3</sup> опытную плавку с доведением содержания кислорода в дутье до 40 % и показали возможность увеличить производительность печи более чем на 500 тонн в сутки.

В 1978 г. в ИЧМ завершено обобщение комплекса теоретических и экспериментальных исследований процесса получения прочных окускованных материалов оптимальных размеров и геометрии и неразрушающихся при восстановительно-тепловой обработке. Эта разработка сегодня находит широкое применение в отечественной и мировой практике металлургического производства.

В 1980 г. впервые в отечественной практике на Западно-Сибирском металлургическом комбинате (ЗСМК) с участием ученых прокатного отдела ИЧМ освоено производство экономичных тонкостенных швеллеров, использование которых взамен обычных позволяет экономить до 20 % металла.

В 1982 г. при участии ученых Института завершен комплекс работ по организации на Мариупольском металлургическом комбинате им. Ильича (ММК) производства высококачественной горячекатаной листовой стали марок 08ЮА – 20ЮА, которая используется более чем на 250 предприятиях-потребителях.

В 1983 г. сотрудниками ИЧМ освоена работа первого бесконусного загрузочного устройства на доменной печи № 6 «Криворожстали»; внедрена технология доменной плавки с частичной заменой природного газа коксовым с экономией кокса 6–7 % и приростом производительности печей на 5 %; вне-

дрена технология передела низкомарганцовистого чугуна в кислородных конвертерах, позволяющая получить сквозную экономию марганца 2,0–3,5 кг/т стали; выполнено промышленное опробование нагрева слитков с жидкой сердцевиной и прокатка на блюминге 1300 «Криворожстали», что дает возможность на 25–30 % сократить время нагрева и обеспечить экономию 10 % топлива; внедрена технология термического упрочнения с прокатного нагрева угловых профилей с самоотпуском.

В 1986 г. освоена технология термического упрочнения тонкого листа из низкоуглеродистых сталей на стане 3600 «Азовстали», позволившая повысить прочностные характеристики листа.

В 1990 г. сотрудниками ИЧМ завершены разработка и стендовые испытания технических решений по получению и вдуванию в доменную печь продуктов газификации низкосортных углей. Испытания на стенде прифурменного реактора-газификатора пылеугольного топлива и на плавильном циклоне завода им. Петровского показали возможность стабильного получения восстановительного газа с температурой 1900–2000 °С. Сегодня это направление является одним из перспективных направлений совершенствования доменного производства. Отработана технология и оборудование комплекса десульфурации чугуна известью в заливочных ковшах конвертерного цеха № 2 меткомбината «Криворожсталь», что обеспечило содержание серы в чугуне 0,010–0,018 % и очищение от шлака на 80–90 %. На меткомбинате «Азовсталь» внедрена усовершенствованная технология и оборудование дозирования магния, обеспечивающие при десульфурации чугуна повышение степени усвоения магния до 80–90 %. В результате, отработана промышленная технология получения чугуна с содержанием серы менее 0,003 %. Объем производства низкосернистого чугуна составил 3 млн т в год.

Комплексные разработки по сквозному циклу производства металлургической продукции позволили Институту выступить инициатором и разработчиком системы управления качеством продукции на металлургических предприятиях, основные принципы которой использованы в последующем для создания аналогичных систем на зарубежных металлургических предприятиях.

В период становления самостоятельности Украины ИЧМ продолжал научные исследования по совершенствованию металлургических технологий, однако кризис в металлургии Украины и тяжелое экономическое положение Института несколько снизили объемы выполняемых исследований. В этот период было практически заморожено проведение научных и технологических разработок для металлургических предприятий, отсутствовали финансовые возможности для создания экспериментальных образцов новых технологий и оборудования. Однако Институт даже в это тяжелое время сумел сохранить основные научные и инженерные кадры. В немалой степени этому способствовали настрой и квалификация сотрудников, а также философия научных школ

Института, которые были созданы в Днепропетровский период становления ИЧМ.

В ИЧМ работают крупные научные школы, которые существуют и поныне благодаря талантливым ученикам выдающихся ученых, работавших в Институте [2]. Сегодня в Институте продолжают активную работу созданные научные школы доменщиков Некрасова-Большакова, внепечной обработки чугуна Вороновой-Шевченко, сталеплавателей Шнейерова-Чернятевича, теплотехников Кобезы-Бородулина, прокатчиков Чекмарева-Мелешко-Мазура, термистов и металлургов Стародубова-Бунина-Узлова, машиноведения и систем управления металлургическими процессами Кожевникова-Праздника-Муравьевой.

Академик З.И. Некрасов вместе с академиком НАН Украины В.И. Большаковым создали замечательную плеяду ученых-доменщиков, которые и сегодня поддерживают доменное производство Украины на мировом уровне.

Член-корреспондент АН Украины С.Н. Кожевников создал уникальную школу машиноведов в ИЧМ, ученики которого и сегодня работают на передовых позициях металлургической науки и производства.

Академик А.П. Чекмарев – создатель уникальной школы прокатчиков в Институте черной металлургии и Днепропетровском металлургическом институте. Многие процессы непрерывной прокатки были созданы учеными школы прокатчиков впервые в мировой практике и получили широкое распространение в мировой практике. Научные разработки прокатчиков еще далеко не исчерпаны.

Члены-корреспонденты АН Украины К.П. Бунин и Ю.Н. Таран заложили основы школы металлургов Института, традиции которой бережно сохраняются и поддерживаются в Институте и сегодня.

Академик К.Ф. Стародубов – создатель одного из самых прогрессивных процессов в металлургии – термической обработки проката с прокатного нагрева. Его научная школа-термистов продолжает работать и сегодня. Одним из наиболее ярких представителей этой школы является И.Г. Узлов – тематика производства и термообработки железнодорожных колес является и сегодня одной из самых затребованных в Украине.

Мы сегодня с огромным уважением храним память об ученых Института, внесших неоценимый вклад в развитие научной тематики, реализацию результатов фундаментальных и прикладных исследований на металлургических предприятиях, в создание имиджа ИЧМ как ведущей научной организации металлургической отрасли, а сегодня – практически единственного в Украине комплексного научно-исследовательского института, охватывающего научной тематикой практически все металлургические переделы [3].

Продолжая традиции научных школ, коллектив Института выполнил комплекс фундаментальных исследований и реализовал их результаты на металлургических предприятиях Украины и мира в виде новых технологий и оборудования. Все современные направления модернизации металлургических процессов продолжают оставаться приоритетными

в тематике научных исследований Института черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины за последние 5 лет [4, 5].

**В области аглодомного производства** фундаментальные и прикладные работы проводили в направлении исследования процессов, протекающих при окомковании железорудного сырья с примесями вторичных ресурсов, и процессов, протекающих при производстве чугуна в доменных печах, особенно при использовании пылеугольного топлива.

Разработанные процессы спекания шихты с переменным составом минерального сырья и использования до 12 кг/т чугуна вторичных ресурсов позволяют увеличить на 2,4 % прочность агломерата, уменьшить вынос колошниковой пыли на 4,3 кг/т чугуна, снизить расход кокса на 9,6 кг/т чугуна.

Продолжены исследования по разработке перспективных технологий и показана перспективность использования горячих восстановительных газов в доменной плавке для существенного уменьшения расхода энергоносителей. Выявленные закономерности стали основой формирования рациональных режимов новой технологии, необходимость разработки которой обусловлена дефицитом низкотемпературного угля для технологии вдувания пылеугольного топлива.

Разработаны научно-практические основы, методология и система технологического сопровождения перехода доменных печей от работы с природным газом до рационального применения пылеугольного топлива (ПУТ). Результаты работы нашли промышленное использование на доменных печах Украины, работающих с ПУТ.

Продолжая исследования процесса доменной плавки, в Институте разработана методика моделирования процессов распределения элементов шихты между продуктами плавки, что позволяет сформировать структуру комплексных показателей агрегатного преобразования сырья в печи и температурно-дутьевые условия плавки, обеспечить прогнозирование состава продуктов плавки на базе направленного формирования свойств конечного шлака и качества чугуна.

Впервые получены аналитические зависимости для определения рациональных параметров работы безконусного загрузочного устройства (БЗУ), использование которых повышает эффективность реализации заданного распределения шихты на колошнике. С учетом полученных результатов разработаны технические задания на модернизацию систем автоматического управления БЗУ на ряде металлургических предприятий Украины.

На основе результатов компьютерного моделирования разработаны и реализованы мероприятия по обеспечению необходимого объема производства доменных печей ПАТ «МК «Азовсталь» за счет увеличения пропускной способности системы загрузки, рациональных параметров работы оборудования БЗУ и шихтоподачи, рационального распределения шихтовых материалов на колошнике, рациональных

параметров и состава дутья, газодинамического режима, что позволило в 2018 г. увеличить производство чугуна с 3900 т/сутки до 4360 т/сутки.

Продолжаются работы по созданию систем экспертной оценки и автоматизации работы доменных печей. В частности, разработаны принципы, создана и сдана в промышленную эксплуатацию система автоматизированного контроля тепловой работы и разгара шахты доменной печи № 4 ОАО «Запорожсталь».

**В области внедоменной обработки чугуна** в последние годы все большую актуальность получают исследования, начатые под руководством д-ра техн. наук, проф. Н.А. Вороновой в области теории и технологии внепечной обработки чугуна. Способы и оборудование для внепечной обработки чугуна гранулированным магнием запатентованы в 21 стране мира и внедрены на предприятиях Украины (ММК им. Ильича, ММК «Азовсталь», МК «Запорожсталь») и за рубежом: НЛМК, Раутаруукки (Финляндия), корпорация CSC (Тайвань). Под руководством д-ра техн. наук А.П. Шевченко по зарубежным контрактам проводились работы по внедрению установок внепечной обработки чугуна гранулированным магнием на 37 металлургических комбинатах КНР. Такой подход обеспечил лидирующее положение отечественной науки в мире в этой области знаний. В последние годы в Институте получены результаты, обеспечивающие высочайшую эффективность использования магния и глубину десульфурации чугуна, что позволило существенно улучшить результаты процесса десульфурации как по повышению качества чугуна, так и по сокращению затрат на обработку и продолжительность операции. В результате теоретических и экспериментальных исследований получены новые данные, которые позволили разработать рекомендации по технологии комплексной десульфурации и дегазации чугуна. Разработаны и переданы всем металлургическим предприятиям Украины технологические предложения по новой технологии десульфурации чугуна.

**В области сталеплавильного производства** фундаментальные и прикладные разработки проводили в сфере разработки новых технологий кислородно-конвертерного производства и совершенствование технологии улучшения стали путем внепечной обработки стали в агрегатах «ковш-печь». Получили развитие представления о механизме, гидрогазодинамических и тепломассообменных процессов, сопровождающих продувку конвертерной ванны через двух- и трехъярусные фурмы со специально ориентированными рядами над- и дозвуковых кислородных струй. На основе полученных результатов разработана новая промышленная технология комбинированной кислородно-конвертерной плавки с использованием многоярусной фурмы для продувки ванны «сверху».

Усовершенствовано технологию конвертерной плавки с наложением электрического потенциала на систему «фурма-конвертерная ванна». Предложен новый способ уменьшения количества королек в

шлаке путем снижения вязкости расплава: за счет температурного фактора анодного дожигания СО в СО<sub>2</sub>. Продолжаются исследования по использованию активированных струй кислорода в процессе кислородно-конвертерной плавки.

Продолжались работы по совершенствованию технологии ковшовой обработки стали в агрегате «ковш-печь» на основе исследования процессов плавления и растворения ферросплавов и лигатур различного состава в зависимости от положения дутьевых устройств и параметров обработки расплава. Впервые установлено влияние зоны введения кускового ферромарганца на установке «ковш-печь» и расположения донного продувочного узла фурм в ковше емкостью 250 т на продолжительность плавления добавки и гомогенизации металла по содержанию марганца. Использование предложенных разработок в условиях ПАО «Днепропетровский МК» обеспечило повышение устойчивости футеровки сталеразливочных ковшей в кампании на 10–18 %, снижение на 20–40 % химической и на 0,5 балла структурной неоднородности непрерывнолитой заготовки. Качество металлопродукции по неметаллическим включениям улучшилось с 3–5 баллов до 1–2 баллов.

**В области прокатного производства** продолжены исследования особенностей работы прокатного оборудования и влияния параметров процессов прокатки, характеристик раската различного профиля, значений межклетевых натяжений, параметров системы охлаждения валков на работу оборудования и качество металлопродукции широкого сортамента и назначения.

Впервые установлены закономерности влияния параметров процесса прокатки, систем и элементов сортовых калибров на распределение температуры по объему раската и интенсификацию деформации центральных зон пересечения раската. Это позволяет разрабатывать усовершенствованные алгоритмы систем автоматического регулирования толщины и натяжения полосы.

Разработаны новые методы расчета и алгоритм управления охлаждением валков, позволяющие обеспечивать стабилизацию температуры и теплового профиля рабочих валков в зависимости от изменения условий охлаждения в процессе прокатки. Установлено положительное влияние криогенной обработки на повышение износостойкости специальных валковых сталей типа 65X2C3MФ – от 25 до 40 %. Разработана новая технология термической обработки стали 38XНЗМФА с использованием после заковки с отпуском криогенной обработки при температуре 150 °С.

Создана энергосберегающая технология изготовления высококачественного титанового полосового проката с использованием метода асимметричной прокатки порошков.

Определены направления совершенствования валковых прессов конструкции ИЧМ высокой производительности 25–50 т/час брикетов. Пресса имеют высокую ремонтпригодность и ресурс эксплуатации; новую конструкцию бандажей валков;

гидравлическое устройство для защиты от перегрузок в пределах до 2500–3000 кН; шнековый подпрессовщик, что стабилизирует процесс производства качественных брикетов из материалов с малой насыпной плотностью 0,2–0,5 г/см<sup>3</sup>.

**В области материаловедения и термической обработки металлов** продолжались исследования влияния химического состава сталей и режимов термической обработки проката на его структурное состояние и механические свойства.

Аналитическим путем определены рациональный химический состав стали и технологические параметры производства горячего деформированного арматурного проката с винтовым профилем для анкерного крепления горных выработок высокой и особо высокой несущей способности (классы АШ500 и АШ600). Впервые в Украине производство данных видов проката освоено из непрерывнолитых заготовок.

Разработана технология производства на новом сортопрокатном проволочном стане 400/200 ОАО «ДМК» арматурного проката в мотках № 6–16 классов прочности А400, А500 и А600 из микролегированной ниобием и/или ванадием стали с реализацией процесса двухстадийного ускоренного охлаждения проката водой и на транспортере Стелмор. Разработана технология производства катанки диаметром 5,5–16 мм из стали марок SAE1006, Ст1кп, Ст3сп (пс).

Разработан химический состав стали и новый энергосберегающий режим термической обработки инструмента горячей деформации из сталей 12Х5М и 17Х5МА – оправок пресса 10000 тонн и головок пресс пуансона пресса 2000 тонн. Средняя устойчивость головок повышена на 146 %.

Разработана сквозная технология термомеханической обработки катанки повышенной деформируемости, предназначенной для изготовления высокопрочных арматурных канатов с низкой релаксацией. Достигнут экономический эффект в размере 697 грн/т проката.

Впервые установлены закономерности распада переохлажденного аустенита при непрерывном охлаждении с различными скоростями (от 0,2 до 20 °С/с) стали для железнодорожных рельсов с повышенным содержанием марганца и микролегированной ванадием. Определены предельные скорости охлаждения: максимально допустимую для поверхности катания головки рельса, при которой не происходит образование мартенсита и достигается твердость на уровне мировых аналогов.

Впервые установлены закономерности фазовых превращений при непрерывном охлаждении стали для железнодорожных колес с повышенным содержанием кремния. С учетом модернизации: оборудования колесопрокатного цеха ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» разработаны режимы ускоренного охлаждения при термической обработке железнодорожных колес различного химического состава. Разработаны рекомендации по выбору оптимальных геометрических параметров исходной заготовки (диаметр – 450 мм, высота – 380 мм) для производства железнодорож-

ных колес и их температуры нагрева. Установлены закономерности образования эксплуатационных дефектов термического происхождения на поверхности катания железнодорожных колес, проведен комплекс работ по совершенствованию химического состава сталей для производства железнодорожных осей и колес, и технологических параметров их термической обработки.

Институт имеет многолетние партнерские связи практически со всеми предприятиями горно-металлургического комплекса (ГМК) Украины, среди которых: Мариупольский металлургический комбинат имени Ильича, металлургический комбинат «Азовсталь», ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», Запорожский металлургический комбинат «Запорожсталь», «Интерпайп Сталь», «Интерпайп НТЗ», Днепровский металлургический завод, Днепровский металлургический комбинат, Днепропетросталь, «Силур», ЕВРАЗ и др. Важные исследования выполняются для «Укрзалізниця». К сожалению, потеряно связи с крупными металлургическими предприятиями, которые находятся на временно оккупированной территории (Енакиевский металлургический завод, Донецкий и Алчевский меткомбинаты).

Поскольку металлургия является одной из базовых отраслей экономики Украины, решение актуальных проблем металлургического комплекса является одной из важных задач национальной стратегии [6, 7]. Среди первоочередных – уменьшение энерго- и материалоемкости производства и внедрения новейших технологий, обеспечение конкурентоспособности продукции и ее экспортного потенциала.

На перспективу развитие научной тематики Института черной металлургии планируется в следующих направлениях:

- проведение научной теоретической, экспериментальной и научно-технической деятельности для получения новых знаний о закономерностях технического и практического развития науки и техники в металлургической отрасли;
- создание научной и научно-технической продукции, которая может быть использована для обеспечения национальной экономической безопасности;
- подготовка научных кадров;
- внедрение научных достижений в производство;
- изучение и обобщение достижений мировой науки и содействие их использованию в металлургической отрасли Украины.

## Выводы

Стратегическое значение Института черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины заключается в том, что в настоящее время он является практически единственной государственной научной организацией, которая проводит внедрение результатов комплексных фундаментальных исследований в практику работы металлургических предприятий и участвует в разработке промышленной политики по развитию металлургической отрасли. Такая стратегия развития Института является признанной

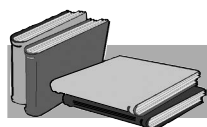


как металлургическими предприятиями страны, так и руководящими органами управления металлургической отраслью, позволяет ИЧМ быть ведущей организацией и «центром притяжения» для специалистов региональных групп металлургов Украины и зарубежья.

Направления научных исследований Института черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины охватывают весь круг проблем производства металлопродукции, благодаря чему имеют комплексный характер, что является очень важным преимуществом в современном мире. ИЧМ имеет серьезный научный потенциал новейших современных технологических и технических решений для отечественного металлургического производства, которые уже на

стадии разработки адаптируются к существующим в Украине технологическим и сырьевым условиям и их изменениям. Большинство новых разработок по технологическому содержанию и интеллектуальному уровню реализации не уступают мировым аналогам.

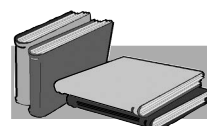
В последние годы актуальность научных разработок ИЧМ только возрастает, поскольку условия, в которых работают металлургические предприятия, довольно резко и непредсказуемо меняются из-за изменения топливно-энергетических условий, разрыва связей с давними партнерами, перестройки логистических схем, смены собственников и изменениями тенденций развития мировой металлургии.



## ЛИТЕРАТУРА

1. *Большаков В.И., Тубольцев Л.Г., Врублевский В.В.* Истоки становления научной тематики Института черной металлургии НАН Украины. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. науч. тр. ИЧМ.* 2004. Вып. 8. С. 3–23.
2. *Большаков В.И., Тубольцев Л.Г., Муравьева И.Г.* Научно-техническая деятельность ИЧМ в центре металлургии Украины (1952–2004 гг.). *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. науч. тр. ИЧМ.* 2004. Вып. 8. С. 24–51.
3. *Большаков В.И., Тубольцев Л.Г.* Роль научных исследований в развитии металлургии. *Металлургическая и горнорудная промышленность.* 2005. № 2. С. 1–7.
4. *Большаков В.И., Тубольцев Л.Г., Гринев А.Ф.* Технический уровень и научное сопровождение металлургической отрасли Украины. *Металлургическая и горнорудная промышленность.* 2011. № 2. С. 1–6.
5. *Большаков В.И., Тубольцев Л.Г., Гринев А.Ф.* Научно-техническое сопровождение развития черной металлургии Украины. *Металлургическая и горнорудная промышленность.* 2012. № 6. С. 1–6.
6. *Амоша А.И., Большаков В.И., Залознова Ю.С., Збаразская Л.А., Макогон Ю.В., Минаев А.А., Никифорова В.А., Смирнов А.Н., Тубольцев Л.Г., Хаджинов И.В., Череватский Д.Ю.* Украинская металлургия: современные вызовы и перспективы развития. Монография. – Донецк: Институт экономики промышленности НАН Украины, 2013. 113 с.
7. *Большаков В.И., Тубольцев Л.Г., Гринев А.Ф.* Украинская металлургия: как не зайти в тупик. *Металлы Евразии.* 2011. № 5. С. 3–10.

Поступила 12.09.2019



## REFERENCES

1. *Bolshakov, V.I., Tuboltsev, L.G., Vrublevsky, V.V.* (2004). The origins of the formation of scientific topics of the Iron and Steel Institute of the NAS of Ukraine. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy: ISI collection of scientific works.* Iss. 8, pp. 3–23 [in Russian].
2. *Bolshakov, V.I., Tuboltsev, L.G., Muravyova, I.G.* (2004). Scientific and technical activities of the ISI in the center of metallurgy of Ukraine (1952–2004). *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy: ISI collection of scientific works.* Iss. 8, pp. 24–51 [in Russian].
3. *Bolshakov, V.I., Tuboltsev, L.G.* (2005). The role of scientific research in the development of metallurgy. *Metallurgical and mining industry*, no. 2, pp. 1–7 [in Russian].
4. *Bolshakov, V.I., Tuboltsev, L.G., Grinev, A.F.* (2011). Technical level and scientific support of the metallurgical industry of Ukraine. *Metallurgical and mining industry*, no. 2, pp. 1–6 [in Russian].
5. *Bolshakov, V.I., Tuboltsev, L.G., Grinev, A.F.* (2012). Scientific and technical support for the development of ferrous metallurgy in Ukraine. *Metallurgical and mining industry*, no. 6, pp. 1–6 [in Russian].

6. Amosha, A.I., Bolshakov, V.I., Zaloznova, Yu.S., Zbarazskaya, L.A., Makogon, Yu.V., Minaev, A.A., Nikiforova, V.A., Smirnov, A.N., Tuboltsev, L.G., Khadzhinov, I.V., Cherevatsky, D. Yu. (2013). Ukrainian metallurgy: current challenges and development prospects. Monograph. Donetsk, Institute of Industrial Economics of the NAS of Ukraine, 113 p. [in Russian].
7. Bolshakov, V.I., Tuboltsev, L.G., Grinev, A.F. (2011). Ukrainian metallurgy: how not to get into a dead end. *Metals of Eurasia*, no. 5, pp. 3–10 [in Russian].

Received 12.09.2019

## Анотація

**О.І. Бабаченко**, д-р техн. наук, ст. наук. співр., директор,  
e-mail: a\_babachenko@i.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4710-0343>;  
**О.Є. Меркулов**, канд. техн. наук, ст. наук. співр., заст., директора з  
наукової роботи, e-mail: office.isi@nas.gov.ua,  
<https://orcid.org/0000-0002-7867-0659>; **Л.Г. Тубольцев**, канд. техн. наук,  
заслужений працівник промисловості України, зав. відділу,  
e-mail: isi.tubol@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9540-3037>

*Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України (Дніпро, Україна)*

## Досвід і перспективи розвитку наукової тематики в Інституті чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України

Наведено історію створення Інституту чорної металургії (ІЧМ). Показано, що створення і становлення Інституту визначалося необхідністю розвитку чорної металургії країни. Інститут об'єднав розрізнені у своїй діяльності групи вчених-металургів, які працювали в різних інститутах країни. Програма робіт ІЧМ, незважаючи на його молодість, була широка і актуальна, що можна пояснити досвідом, ініціативністю і масштабністю діяльності вчених, які очолили відділи Інституту. Наведено витоки створення наукової тематики Інституту, що охоплювала всі основні переділи чорної металургії. Описано наукові розробки, створені співробітниками Інституту вперше в світовій і вітчизняній практиці, які в даний час складають основу світової металургії. Видатними вченими Інституту було створено чимало наукових шкіл, які і сьогодні продовжують вносити неоціненний внесок у розвиток наукової тематики, реалізацію результатів фундаментальних і прикладних досліджень на металургійних підприємствах. Аналіз показує, що стратегічним напрямом розвитку вітчизняної металургії на перспективу є еволюційна зміна металургійних технологій. У зв'язку з цим наведено основні напрями науково-технічного супроводу технологій доменного, сталеплавильного і прокатного виробництва, термічної обробки прокату, що розвиваються в Інституті. Наведено приклади сучасних наукових розробок Інституту. Напрями наукових досліджень Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України охоплюють широке коло проблем виробництва металопродукції, завдяки чому мають комплексний характер, що є дуже важливою перевагою в сучасному світі. ІЧМ має серйозний науковий потенціал новітніх сучасних технологічних і технічних рішень для вітчизняного металургійного виробництва, що вже на стадії розробки адаптуються до існуючих в Україні технологічних і сировинних умов та їх змін. Більшість нових розробок за технологічним змістом і інтелектуальним рівнем реалізації не поступаються світовим аналогам.

## Ключові слова

Чорна металургія, технології, наукові школи, науково-технічний супровід металургійних технологій.

## Summary

**A.I. Babachenko**, Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Director, e-mail: a\_babachenko@i.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4710-0343>;  
**A.E. Merkulov**, PhD (Engin.), Senior Research Scientist, Director for Research, e-mail: office.isi@nas.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0002-7867-0659>;  
**L.G. Tuboltsev**, PhD (Engin.), Honored Worker of Industry of Ukraine, Head of the Department, e-mail: isi.tubol@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9540-3037>

*Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of the NAS of Ukraine (Dnipro, Ukraine)*

## Experience and prospects for the development of scientific topics at Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of the NAS of Ukraine

*The history of the creation of the Iron and Steel Institute (ISI) is given. It is shown, that the creation and establishment of the Institute was determined by the need to develop the country's ferrous metallurgy. The Institute has united groups of metallurgical scientists, scattered in their activities, who worked in various institutes of the country. The program of the ISI, despite its youth, was wide and relevant, which can be explained by the experience, initiative and scale of the activities of the scientists who headed the departments of the Institute. The origins of the creation of the scientific themes of the Institute, which covered all the major redistribution of the steel industry, are given. The major scientific developments created by the Institute staff for the first time in world and domestic practice, which currently form the basis of world metallurgy, are given. Outstanding scientists of the Institute created quite a few scientific schools, which even today continue to make an invaluable contribution to the development of scientific subjects, the implementation of the results of basic and applied research in metallurgical enterprises. The analysis shows that the strategic direction of development of the domestic metallurgy in the future is an evolutionary change in metallurgical technologies. In this regard, the main areas of scientific and technical support of blast furnace, steelmaking and rolling production, heat treatment of rolled products developed at the Institute are given. Examples of modern scientific developments of the Institute are given.*

*The research areas of the Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of the NAS of Ukraine cover the whole range of problems in the production of metal products, due to which they are complex, which is a very important advantage in the modern world. The ISI has a serious scientific potential for the latest modern technological and technical solutions for domestic metallurgical production, which at the development stage are adapted to the technological and raw material conditions existing in Ukraine and their changes. Most of the new developments in technological content and intellectual level of implementation are not inferior to world analogues.*

## Keywords

*Ferrous metallurgy, technologies, scientific schools, scientific and technical support of metallurgical technologies.*