

**В.В. КАРМАЗИН**, д-р техн. наук

(Россия, Москва, Московский горный государственный университет),

**П.И. ПИЛОВ**, д-р техн. наук

(Украина, Днепропетровск, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")

## **РАЗВИТИЕ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ПРОФЕССОРА ВИТАЛИЯ ИВАНОВИЧА КАРМАЗИНА**

После окончания химико-технологического техникума и вечернего металлургического института в Днепропетровске Виталий Иванович Кармазин под руководством академика Н.Н. Доброхотова в 1939 году успешно защитил кандидатскую диссертацию, посвященную проблеме повышения качества стали, главным образом за счет методов ее обессеривания при доменном переделе.

В той или иной мере этой проблеме он посвятил как ученый всю свою дальнейшую жизнь. Поняв, что повышение качества стали начинается и определяется техникой и технологией рудоподготовки, он еще в предвоенные годы на опытной установке в Кривбассе начал экспериментальные исследования по повышению качества рудного сырья для доменного производства.

Горно-металлургическую промышленность Кривбасса начали восстанавливать сразу же после его освобождения (уже с начала 1944 г.) и металл она начала давать стране еще до Победы. Как уже сложилось исторически, в послевоенные годы на полную мощность заработали мартеновские печи, переплавляя военный металлолом, собранный на полях боев и развалинах.

Сталь для восстанавливающейся промышленности и строительной индустрии пошла мощным потоком, поддержать который могло только развитие сырьевой базы черной металлургии. За 20 послевоенных лет запасы богатых железных руд были исчерпаны – на месте горы Магнитной на Урале дорабатывалась яма (карьер). Требовалось разработать технологию обогащения железистых кварцитов, запасы которых в стране огромны и доступны для открытых горных работ – значительно более дешевых, чем подземные. Это, прежде всего КМА и Кривбасс, запасы руды в которых превышают все остальные мировые запасы железа, и при создании оптимальной технологии обогащения их хватит не на несколько столетий.

Результаты довоенных исследований Виталия Ивановича Кармазина теперь помогли решить эту актуальнейшую народно-хозяйственную задачу и оказались остро востребованными, а их автор оказался в первых рядах специалистов, наиболее подготовленных к решению этой задачи. Он руководил первой Криворожской опытной фабрики по обогащению магнетитовых кварцитов.

Сегодня он – признанный основоположник техники и технологии обогащения железных кварцитов, как нового вида сырья для черной металлургии. На основе его исследований и предложений Правительство приняло решение о строительстве первенца черной металлургии СССР – ЮГОКа (Южного горно-обогатительного комбината), производительностью в перспективе до 30 млн

**Збагачення корисних копалин, 2014. – Вип. 56(97)**

## **Загальні питання технології збагачення**

тонн исходной руды в год. Как руководитель отдела обогащения руд НИГРИ, а затем заместитель директора института Механобрчермет по научно-исследовательской работе он руководил пуском и наладкой Южного горно-обогатительного комбината. Вначале эти работы выполнял отдел обогащения Криворожского института НИГРИ (Научно-исследовательский горнорудный институт), которым руководил В.И. Кармазин, совместно с отделом обогащения руд черных металлов Ленинградского "Механобра". Учитывая накопленный промышленный опыт в начале 50-х годов прошлого века, для ведения исследовательских и проектно-конструкторских работ в этом направлении, там же, в Кривом Роге был создан новый институт – "Механобрчермет". В его организации решающую роль сыграли его директор П.В. Самохвалов и В. И. Кармазин, который возглавил научную часть в качестве его заместителя. Создание такого комбината-гиганта было очень трудной, ответственной и в тоже время интересной работой, требующей непрерывных научных и проектных поисков, организационных, кадровых и хозяйственно-экономических решений.

Так, например, основной обогатительный аппарат – магнитный сепаратор для магнетитовых кварцитов в СССР серийно еще не выпускался, а опытное производство лихорадило в поисках оптимальной конструкции. Попытки внедрения электромагнитных ленточных сепараторов 128-СЭ, типа американского сепаратора конструкции Крокета (1934 г.), которые для этой цели были спроектированы институтом "Механобр" окончились провалом – ремонтировать постоянно сходящие и рвущиеся ленты и электромагниты с масляным охлаждением на сотнях сепараторов оказалось невозможным, да и большой расход электроэнергии никого не радовал. Приемлемым на то время оказался разработанный "Механобром" уже совместно с "Механобрчерметом" барабанный сепаратор 167-СЭ с магнитной системой на никель-кобальтовых постоянных магнитах, отлитых из сплава ЮНДК-24. Его диаметр был равен 600 мм, а длина – 1500 мм. С тех пор почти полвека продолжается в разных странах мира совершенствование сепараторов такого типа. В лабораториях "Механобрчермета" под руководством Виталия Ивановича в этом направлении работы были развернуты особенно широко. Все начиналось от разработки технологии изготовления пластин анизотропного феррита бария и заканчивая созданием на этой основе магнитных систем постоянных магнитов, имеющих наиболее совершенную картину магнитного поля за счет клиновых магнитных вставок (Г.И. Пилинский, П.А. Санжаровский, Л.А. Ломовцев, Л.Г. Быков, Л.Н. Херсонцев и др.). Серийные отечественные сепараторы типа ПБМ-120/300, разработанные в "Механобрчермете" имеют размеры в два раза больше, чем у 167-СЭ, а их производительность превышает 200 т/час. В настоящее время эти сепараторы серийно выпускаются Воронежским ЗАО "Рудгормаш" для стран СНГ и дальнего зарубежья и не уступают лучшим мировым образцам. В начале 80-х годов в "Механобрчермете" был создан и успешно испытан на ЮГОКе самый мощный в мире сепаратор этого типа – ПБМ-150/400.

После полной победы магнитной технологии обогащения железных руд и ее широкого внедрения на десятках ГОКов начались споры об оптимальном ка-

## **Загальні питання технології збагачення**

честве конечных концентратов. Официальная точка зрения Минчермета СССР состояла в том, что при доменном переделе концентратов нам достаточно иметь в них 62% железа при максимальной производительности ГОКов, против чего резко выступал Виталий Иванович. Его статья "Нужен металл, а не шлак", где он еще в начале 70-х годов предлагал получать высококачественные концентраты для бездоменной металлургии, вызвала тогда недоумение у многих коллег и даже критику сверху, а сегодня – это важнейшее направление развития черной металлургии, которому нет альтернативы.

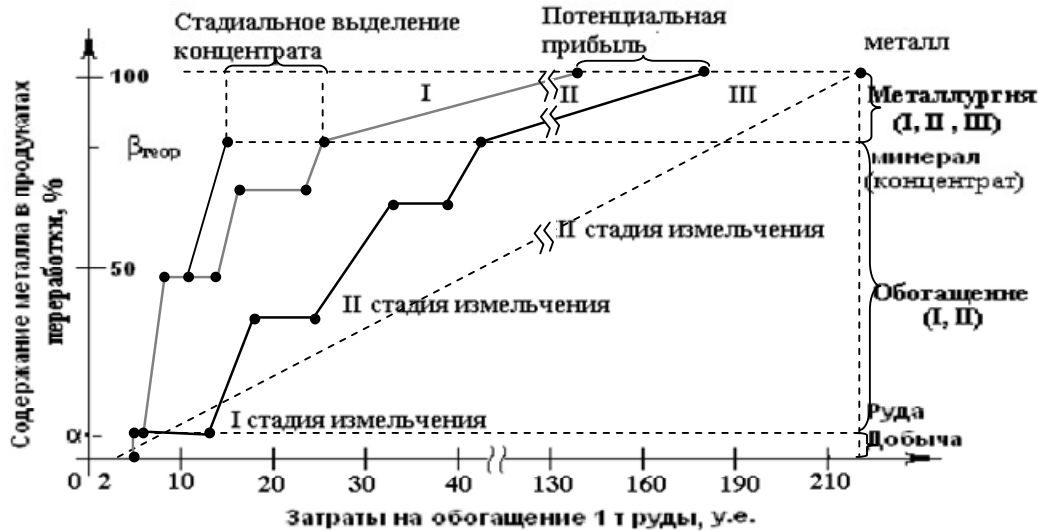
В производстве стали доменный передел является основным тормозом, потому, что необходимо расходовать много флюсов и дорогого кокса, к тому же являющегося основным источником серы и фосфора в чугунах. На фоне постоянно растущих требований к качеству стали, что создает большие проблемы сталеварам. Параллельно возникала проблема обогащения и обессеривания труднодоступных коксующихся углей. Занимаясь этими проблемами, Виталий Иванович прекрасно понимал, что страна располагает огромными запасами природного газа и относительно дешевой электро-энергии и пристально следил за развитием процессов бездоменной металлургии.

До настоящего времени в России основную долю черных металлов (более 98%) получают по двухступенчатой схеме "чугун-сталь". При этом более 94% всего производимого чугуна идет на производство стали (так называемый "перелый чугун") и лишь небольшую часть составляет "литейный чугун", из которого в дальнейшем отливают готовые детали, т.е. нет необходимости в чугунах, как самостоятельном продукте. В 70-е годы пределом наших мечтаний в СССР было достижение производства 160 млн т стали в год (догнать США), а сейчас мир выходит на рубеж полумиллиарда т стали в год, но и это значительно меньше потребности в стали Китая и Индии.

На рисунке показана принципиальная зависимость содержания металла в руде и продуктах ее передела от произведенных на этот передел затрат. Основные затраты носят энергетический характер и направлены на разрушение межмолекулярных связей в рудах для механического отделения частиц полезного минерала от минералов пустой породы. В предельном, идеальном случае, когда разрушение происходит по поверхности срастания этих минералов (раскрытие 100%) и энергозатраты минимальны (кривая I). С другой стороны – предельный случай с максимальными затратами был известен еще древним металлургам (кривая III). Они плавляли исходную руду в восстановительной среде – углеродное топливо, разрушая все межмолекулярные связи в кристаллической решетке, а затем отделяли металл от шлака по плотности силой тяжести, однако руды в те времена были куда более богатыми и объемы производства незначительными.

Участки затрат, на которых содержание металла возрастает – это процессы сепарации или отделения свободных частиц полезного минерала от частиц минералов различными методами обогащения. Все известные процессы сепарации минералов также отличаются друг от друга по стоимости и эффективности разделения минералов, причем последняя зависит от контрастности свойств разделяемых минералов, которые собственно и используются при их сепарации.

## Загальні питання технології збагачення



Зависимость содержания металла в продуктах передела от затрат на обогачення 1 тонны руды:  
I и II – идеальный и реальный варианты обогачення руды с последующей металлургической переработкой концентрата;  
III – прямая плавка руды в доменной печи

Все эти кривые на рисунке, включая и реальные (II), так или иначе, отражают ход технологического процесса получения полезного минерала холодными методами (минераллургия), а затем и металла – пирометаллургией, но с различной степенью технологического совершенства, т.е. с различным уровнем затрат. Участки прямых затрат без повышения содержания металла в продукте – это процессы раскрытия минералов (дробление, измельчение или классификация продуктов по крупности). Как видно из рисунка, стадийное выделение конечных продуктов и получение сырья для бездоменной металлургии является мощным резервом современной технологии обогачення руд железа. Однако расширение объемов бездоменного производства стали возможно только при наличии соответствующего ему сырья – высококачественных магнетитовых концентратов.

Наиболее важной проблемой технологии будущего является выбор типа измельчения, определяющего раскрытие минералов и всю технологию дальнейшего обогачення. В процессах обогачення полезных ископаемых главным принципом техники и технологии остается достижение максимальной степени раскрытия при минимальной степени измельчения. Повышение степени раскрытия за счет роста степени измельчения лишено практического смысла. Шаровое измельчение, имеющее почти трехсотлетнюю историю своей оптимизации. Размерный ряд шаровых мельниц практически достиг своего максимума по прочности используемых конструкционных материалов. Оно гарантирует надежность и преимущества в удельной производительности, но за это приходится расплачиваться снижением селективности раскрытия минералов и снижением качества конечных концентратов.

## **Загальні питання технології збагачення**

На более высоком технологическом уровне находится самоизмельчение, неизменным сторонником которого являлся Виталий Иванович. Оно обеспечивает повышение качества конечного концентрата и снижение себестоимости его производства. Как известно, Лебединский и Стойленский ГОКи работают на рудах практически одного месторождения и даже одного карьера, но первый (проект Механобрчермета) работает по схеме полного самоизмельчения, а второй – применяет традиционное шаровое измельчение. Показатели их работы не сопоставимы: первый – единственный в России ГОК, получающий суперконцентраты для бездоменной металлургии (свыше 70%  $Fe_{общ}$ ), а второй – только товарные концентраты и окатыши для доменного передела, содержащие не выше 66%  $Fe_{общ}$ . Тем не менее, даже на ЛГОКе на первых фабриках, где работают мельницы самоизмельчения диаметром 7 м не удается получать концентраты свыше 68%  $Fe_{общ}$ , однако на третьей фабрике, где на первой стадии измельчение осуществляется в двух мельницах мокрого самоизмельчения ММС 105×30А, производства ОАО "Тяжмаш" г. Сызрань, после доводки получают только суперконцентраты.

В сливе этих мельниц содержится до 70% зерен свободного магнетита. Низкая селективность раскрытия при шаровом помоле связана с тем, что благодаря многократному превосходству физико-механических свойств стали шаров по сравнению с железистыми кварцитами разрушение последних идет в направлении удара, и зона контакта разделяемых минералов "магнетит-кварц" остается в виде сростков. П.Е. Остапенко считал, что при шаровом помоле количество необогащаемого класса, т. е. класса который распределяется в равных долях между концентратом и хвостами определяется произведением площади срастания минералов на средний размер зерна в последней стадии измельчения. Такие сростки имеют повышенную прочность, но роль железа проявляется через относительно вязкий магнетит, а камня – через более хрупкий кварц. Самоизмельчение разрушает и такие сростки, поскольку физико-механические свойства разрушающего и разрушаемого материалов одинаковы (это один и тот же материал), чего нельзя сказать о материалах шара и руды.

Мокрая магнитная сепарация измельченных магнетитовых кварцитов на серийных мокрых барабанных магнитных сепараторах с постоянными магнитами типа ПБМ-120/300 выделяет из-за низкой селективности в конечный продукт (хвосты) только немагнитные зерна пустой породы. Вся рудная смесь (зерна магнетита, богатые и бедные сростки, коэффициент контрастности свойств между которыми значительно ниже, чем каждого из них с кварцем) при этом переходит в магнитный продукт (концентрат), в который к тому же захватываются и немагнитные зерна пустой породы за счет магнитной флокуляции сильномагнитных зерен и физико-механической адгезии.

Многочисленные попытки исследователей создать высокоселективные конструкции мокрых магнитных сепараторов были иногда положительными в технологическом плане, но экономически несостоятельными, либо неработоспособными или не доведенными до внедрения в промышленных условиях. В НТЦ МГГУ с 1995 г. проводились с участием Виталия Ивановича и проводятся

## **Загальні питання технології збагачення**

сейчас экспериментально-конструкторские и технологические исследования в промышленных условиях по созданию высокоселективных магнитных сепараторов высокой частотой вращения магнитного поля способных реализовать поэтапное получение товарных концентратов по мере раскрытия магнетита и получение сырья для бездоменной металлургии. На основе этих испытаний был выполнен проект, запатентованный НТЦ МГГУ и ОАО МГОК, нового опытно-промышленного высокоселективного сепаратора ВСПБМ-90/100, защищенного патентом РФ №236421, который изготовлен Воронежским заводом "Рудгор-маш" и успешно испытан на ЛГОКе и МГОКе. Прирост качества магнитного продукта после первой стадии измельчения на ЛГОКе составил 17% (до 68%), а на МГОКе на 11% (до 65%), т.е. задачи стадийного выделения магнетита этот сепаратор успешно решает. При доводке на ВСПБМ-90/100 товарного концентрата на ЛГОКе содержание железа можно повысить до 70% при извлечении около 80%, а на МГОКе, где раскрытие минералов вдвое ниже из-за шарового помола, только до 68% при извлечении более 30%.

В целях повышения качества концентрата на отдельных комбинатах для доводочной операции используется тонкое грохочение (Костомукшский ГОК), позволяющее повысить массовую долю железа с 65,7 до 67,6% с одновременным повышением извлечения металла с 76,4 до 78,0%. В настоящее время на многих предприятиях исследуется возможность применения для этих целей грохотов "Деррик".

Высокие технологические показатели по доводке магнетитового концентрата получены с применением магнитно-гравитационного классификатора типа (МГК-1500), промышленные испытания которого проведены на Костомукшском и Лебединском ГОКах. Показано, что при использовании МГК-1500 массовую долю железа в концентрате на Костомукшском ГОКе можно повысить до 68,5-69,0% без использования тонкого грохочения. На Лебединском ГОКе указанный аппарат позволил получить концентрат с массовой долей железа 70,0-71,0% без использования обратной флотации, но без выделения отвальных хвостов, т.е. с получением двух концентратов.

С этой же целью предлагаемую для ГОКа будущего технологию, даже без доизмельчения, можно дополнить магнитогравитационной сепарацией (в "бочках Зеленова"). Она уже более 30 лет назад внедрена с участием Виталия Ивановича и успешно используется на Оленегорском ГОКе. Иной путь – флотационная технология доводки концентрата для снижения содержания кремнезема до уровня менее 2%, а также и серы до уровня ниже 0,06% за счет механохимической активации его озоном (по патенту НТЦ МГГУ). Магнитно-флотационная доводка концентратов на Ингулецком ГОКе (Украина) обеспечивает получение флотационного концентрата с содержанием железа 69% при извлечении железа в концентрат до 90% (от операции). Процесс ведется на жесткой технической воде.

Флотационная доводка магнетитовых концентратов ОАО "Южный ГОК" (Украина) на технической воде при естественном рН = 8,3 и расходе катионных собирателей 100-150 г/т позволяет получить в лабораторных условиях концен-

траты содержанием железа 68,2-70,6%.

Лебединский горно-обогатительный комбинат обладает наиболее прогрессивной технологией самоизмельчения, включая рудногалечное, и магнитного обогащения железных руд, позволивший ему выйти на уровень производства сырья для бездоменной металлургии (горячее брикетирование железа, электро-сталь и др.). Достоинствами перечисленных способов является возможность получения стали и сплавов очень высокой чистоты, применение которых облегчает массу конструкций, увеличивает надежность и долговечность машин и механизмов. С начала железного века существовала выплавка железа с использованием древесного угля (на ряде уральских заводов эта технология, позволяющая получать очень чистый металл, сохранялась до середины нашего века). Такая сталь необходима для атомной, реактивной и космической техники.

В тоже время многие годы оставалась нерешенной проблема окисленных кварцитов, пласты которых залегают над магнетитовыми. Магнитные свойства гематита в 1000 раз ниже, чем у магнетита, что требует соответствующего повышения магнитных сил. Реально для их обогащения можно было бы применить флотационные методы обогащения. Последние, несмотря на свои большие технологические возможности, изначально были не желательны для внедрения в промышленность в густонаселенных районах Кривбасса, КМА и других по экологическим соображениям (токсичные реагенты, необходимость замкнутого водооборота и т.п.), что, в конечном счете, вызывало также экономические проблемы.

В 50-е годы для этой цели начинали создавать в "Механобрчермете" индукционно-роликовые сепараторы. Вначале родилась идея фокусировки магнитного поля в межполюсном пространстве для максимального увеличения магнитной силы. Для решения этой задачи Виталий Иванович помимо профессионалов из "Механобрчермета" (П.А. Санжаровский, В.В. Крутий и др.) привлек также математиков и электротехников Криворожского горнорудного института (Б.Х. Решетка, Э.Г. Файнштейн, С.Т. Толмачев и другие, включая студентов). В результате родилось и было запатентовано новое сочетание полюсов – "софокусные гиперболы", которое обеспечило технологические преимущества для нескольких поколений отечественных индукционно-роликовых сепараторов. На этой основе первыми появились трехвалковые индукционно-роликовые сепараторы типа 3-СКО для кусковых окисленных железных руд, успешно работавшие в промышленности до тех пор, пока запасы этих руд не были полностью отработаны.

Криворожский Суриковий завод треста на протяжении ряда лет не мог решить вопрос обогащения красковой окисленной железной руды, являющейся основным сырьем производства сурика. Руководство завода обратилось за консультацией и проведением опытов в НИГРИ к начальнику сектора обогащения Кармазину В.И., который с разрешения руководства НИГРИ провел ряд опытов по обогащению красковой руды на электромагнитном сепараторе ДК-НИГРИ собственной конструкции. В результате опытов были достигнуты положительные результаты и установлена необходимость в приобретении такого магнитно-

## **Загальні питання технології збагачення**

го сепаратора для технологической цепочки сурикового завода. Так было ликвидировано узкое место в технологическом процессе завода.

Следующим шагом в этом направлении было создание индукционно-роликовых магнитных сепараторов для мелкозернистых слабомагнитных руд. Это были конструкции В.И. Кармазина и В.В. Крутия, В.Г. Деркача и др. Так, например, сепараторы НИГРИ-2ВК-5 уже успешно работали в тресте "Никополь-Марганец", затем "Чиатури-Марганец" на зернистых фракциях окисленных и карбонатных марганцевых. А несколько позже также и для железных гидроокисных руд – Лисаковский ГОК, сепаратор 4ЭВМ-38/275 (В.А. Грамм и др.). Магнитные свойства минералов марганца близки к свойствам гематита, но необходимость тонкого измельчения окисленных кварцитов (менее 70 мкм) приводила к резкому снижению эффективности магнитной сепарации и делала их магнитное обогащение невозможным. В исполнении для сухого магнитного обогащения сепараторы такого типа – ЭРС-6 стали основным аппаратом на современных фабриках для обогащения титаноциркониевых руд (Верхнеднепровский горно-металлургический комбинат, Иршанский ГОК и др.).

В эти годы научным руководителем Виталия Ивановича был один из самых известных во всем мире обогатителей – чл.-корр. АН СССР Игорь Николаевич Плаксин и по его инициативе Виталий Иванович блестяще защищает докторскую диссертацию в Совете Института Горного Дела АН СССР. Этой диссертацией стала его основополагающая монография – "Современные методы магнитного обогащения руд черных металлов" (Москва, Госгортехиздат, 1962 г.), объемом более 40 печатных листов, которая явилась не только результатом обобщения теоретических и экспериментальных исследований, но и содержала основополагающие закономерности развития магнитной сепарации. Книга получила широкое признание, явилась учебным пособием для многих инженеров-обогатителей, аспирантов, и до сих пор не утратила своей актуальности. Она явилась наставлением для всех его многочисленных сотрудников и учеников. Среди них немало известных ученых в области обогащения полезных ископаемых, таких как Г.В. Губин, П.Е. Остапенко, А.Я. Денисенко, С.Ф. Шинкоренко, В.В. Кармазин, П.И. Зеленев, П.А. Усачев, А.М. Туркенич, П.И. Пиллов, И.К. Младецкий, С.И. Черных, Р.С. Улубабов и многие другие.

И.Н. Плаксин обладал редким даром мгновенно и безошибочно ориентироваться в самых сложных проблемах обогащения. После посещения им горно-обогатительных комбинатов Кривого Рога в начале 60-х годов он предложил испытать новшества – доводку железных концентратов путем виброотсадки и обратной флотации. Вскоре эти рекомендации были материализованы на IV магнитно-флотационной секции Ново-Криворожского ГОКа в виде крупных промышленных испытаний. Где были получены десятки тысяч тонн суперконцентрата, проплавленные затем на Криворожском металлургическом заводе с большим экономическим эффектом. Мастером на этой секции тогда работал аспирант И.Н. Плаксина – В.В. Кармазин, а руководил ими по приказу Зампреда Совета Народного Хозяйства В.С. Виноградова сам Виталий Иванович Кармазин.



## **Загальні питання технології збагачення**

Вопрос практического применения магнитной сепарации для обогащения окисленных кварцитов в то время радикально решался только за счет применения предварительного намагничивающего их обжига. Для такого хорошего металлурга, каким был В.И. Кармазин, в решении этой задачи технологических проблем не существовало, но требовалось преодолеть много технических. На основе многолетних предварительных исследований НИГРИ и "Механобрчермета" был спроектирован, сооружен и запущен обжигмагнитный комплекс, перерабатывающий 10 млн т/год окисленной руды путем превращения ее в искусственно магнетитовую, с последующим обогащением ее на обычных сепараторах с постоянными магнитами. Около 20 лет Криворожский Центральный горно-обогатительном комбинате на половину своей мощности работал по технологии обжигмагнитного обогащения окисленных кварцитов. Впервые в мире в таких масштабах была освоена и доказала право на жизнь эта новая технология. Наладка комплекса производилась Г.В. Губиным, В.П. Бушуевым, А.З. Измаковым и другими.

10 млн т/год – это пятая часть попутно добываемой окисленной руды была направлена на обжигмагнитное обогащение. Добыча и доставка на фабрику окисленных руд обходятся почти в два раза дешевле, чем магнетитовых (1,08 против 1,9 дол/т), а по мере углубления карьеров эта разница себестоимости этих двух видов сырья будет увеличиваться. Этот гигантский промышленный опыт дал стране десятки млн т. стали, но также позволил выявить два основных недостатка новой технологии – это загрязнение воздушного бассейна пылевыми выбросами и относительно большой расход (природный газ, мазут, кокс). Если первый можно было бы решить за счет совершенствования систем очистки отходящих газов, то последний в условиях нарастающего топливно-энергетического кризиса поставил под сомнение будущее новой технологии. Тем не менее, невзирая на все эти проблемы, китайские специалисты в 2006 г. при освоении Березовского железорудного месторождения на юге Читинской области уже приняли решение о применении там обжигмагнитной технологии.

С другой стороны, в борьбе идей начала побеждать высокоградиентная (или полиградиентная) магнитная сепарация – новый процесс позволяющий реализовать прямое, безобжиговое магнитное обогащение окисленных железных и многих других слабомагнитных руд, а также обессеривание углей. Он зародился в 1942 году в блокадном Ленинграде (Механобр), но получил новое дыхание и популярность после появления сепаратора Джонса в 60-е годы. Наибольшее развитие этот процесс получил в СССР, а точнее в Кривбассе, где на IV секции Центрального горно-обогатительного комбината. Здесь прошли промышленную проверку десятки отечественных и зарубежных конструкций сепараторов, причем некоторые из них были защищены зарубежными патентами Виталия Ивановича и его учеников (А.М. Туркенич, Р.С. Улубабов, И.Д. Ройзен, М.С. Захаровой, Л.Ф. Субботы, Е.А. Попкова и ряда других).

Однако окисленные железистые кварциты Кривого Рога имеют более тонкую вкрапленность, чем бразильские. Анализируя это, последователи профессора В.И. Кармазина и его ученики А.М. Туркенич и Р.С. Улубабов пришли к

## **Загальні питання технології збагачення**

выводу о том, что в сепараторе Джонса заложено противоречие. Оно заключается в следующем: для достижения высокого извлечения тонкозернистых слабомагнитных зерен ширина зазора между пластинами должна быть как можно меньше, а для обеспечения надежной работы сепаратора ширина зазора должна быть как можно больше. Поэтому А.М. Туркенич предложил установить пластины с такой шириной зазора, при которой обеспечивается надежная работа сепаратора, а для достижения при этом высокого извлечения перемещать пульпу не по всей ширине зазора, а только в виде пленки по поверхности пластин. Им была разработана теория формирования пленочного течения пульпы на пластинах. Исследования, выполненные совместно с институтом "Гипромашуглеобогащение", по предложению Р.С. Улубабова показали высокую эффективность сепараторов с новым профилем пластин и зазором, увеличенным за счет повышения магнитодвижущей силы. Созданный роторный электромагнитный сепаратор 6ЭРМ-35/315 при испытаниях показал значительно лучшие результаты, чем все сравниваемые сепараторы (немецкий Джонс, чехословацкий VMS, ленинградский 2/2-ЭРФМ-160). Промышленные испытания нового сепаратора осуществлялись с участием учеников Виталия Ивановича: А.М. Туркенича, Р.С. Улубабова, В.В. Дементьева, К.А. Левченко, З.Д. Ройзен, Л.Ф. Мостипан, Л.С. Шломиной.

Этот процесс стал основой для проектирования и строительства Криворожского горно-обогатительного комбината окисленных руд (КГОКОРа), которых только в отвалах Кривбасса накопилось около миллиарда тонн. К сожалению, процесс распада СССР не позволил быстро завершить его строительство и пуск, но там уже установлены более полусотни сепараторов 6ЭРМ-35/315, разработанных в конструкторском бюро Р.С. Улубабова и других учеников Виталия Ивановича.

Особенностью научной деятельности Виталия Ивановича было опережение времени, а его широкая эрудиция и интуиция позволяли ему это. Именно поэтому еще в 60-е он начал заниматься сверхпроводящими магнитами. Несмотря на их дороговизну в то время, он, понимая все их потенциальные возможности, совместно с Институтом Металлургии АН СССР им. Байкова АН СССР, Московским и Днепропетровским горными институтами и Механобрчетом приступил к этим исследованиям. Кроме него, в группе ученых, возглавивших эти работы, были академики АН СССР Е.М. Савицкий, И.Н. Плаксин, доктора наук В.И. Ревнивцев, В.В. Барон, Н.Ф. Олофинский, А.П. Дмитриев, П.Е. Остапенко, кандидаты наук С.М. Ангелова, О.П. Малюк. Координировал эти исследования профессор Московского горного института, д.т.н. В.В. Кармазин. Уже в 1972 году был создан и запатентован опытно-промышленный сверхпроводящий магнитный гидроциклон, на котором в стеновых условиях удалось экспериментально решить ряд наиболее острых технологических проблем обогащения тонкоизмельченных слабомагнитных материалов, в частности гематитовых кварцитов. При Московском горном институте в 1970-80-ые годы работала отраслевая лаборатория Минчермет СССР, заведовал которой В.В. Кармазин, а научное руководство осуществлял Виталий

## **Загальні питання технології збагачення**

Иванович, что отражено во многих публикациях и патентах того периода. Сейчас эти работы продолжаются в НТЦ МГГУ по гранту К-1-214-03.

Новый этап жизни связан с его переходом из "Механобрчемета" в Днепропетровский горный институт, где он возглавил кафедру обогащения. Несмотря на уменьшение административных возможностей, он получил значительно большее – талантливую молодежную аудиторию и опытный коллектив старейшей кафедры страны. Открылись и новые перспективы работы не только в области обогащения руд черных металлов, но и цветных, редких, благородных металлов, углей, а также различных видов другого сырья, металлолома, бытовых отходов и т.п. Появилась возможность широко развернуть в содружестве с горняками и металлургами (включая академиков РАН Е.И. Шемякина и В.В. Ржевского, докторов наук С.Г. Борисенко, Б.А. Картозия, Ф.К. Ефимова и др.) работы по реализации его давней мечты – Подземного ГОКа. В энциклопедии "Геологи и горные инженеры России" статью о Виталии Ивановиче Кармазине автор завершает словами: "...разработал новые технологии подземного обогащения руд с целью уменьшения экологического ущерба, причиняемого горнорудными предприятиями".

Необходимо отметить, что с приходом в 1961 году Виталия Ивановича Кармазина на кафедру обогащения Днепропетровского горного института ее научная деятельность значительно активизировалась.

Получили дальнейшее развитие ранее существовавшие научные направления. Зародились и новые, в основном связанные с обогащением руд черных металлов: рудное самоизмельчение, магнитная сепарация, обогащение в тяжелых средах, гидравлическая классификация. Создана отраслевая научно-исследовательская лаборатория по обогащению окисленных железистых кварцитов.

В это время существенно вырос объем научных работ, выполняемых кафедрой. Численность сотрудников кафедры выросла, превысив 60 человек. Существенно интенсифицировалась работа над диссертациями.

На кафедре обогащения полезных ископаемых в различные годы было создано три отраслевых научно-исследовательских лабораторий, которые успешно работали до начала известных экономических реформ реструктуризации промышленности, приватизации предприятий и разрушения отраслевой структуры управления.

Для проведения работ по исследованию технологии обогащения окисленных железистых кварцитов и разработки оборудования на кафедре осенью 1963 года была создана госбюджетная лаборатория, которая уже в следующем году была реорганизована в отраслевую лабораторию. Научным руководителем был назначен профессор В.И. Кармазин, а заведующим – Н.А. Малецкий. Первыми сотрудниками лаборатории были А.М. Туркенич и З.Д. Ройзен.

Сотрудники кафедры ОПИ выполнили ряд важных работ по усовершенствованию обогащения магнитных кварцитов и разубоженных руд подземной добычи. Цель этого цикла работ – получение высококачественных концентратов не только для доменного производства, но и для порошковой металлургии

## **Загальні питання технології збагачення**

(Л.А. Цибулько, З.Д. Ройзен).

Разработана новая технология обогащения и дефосфоризации окисных и карбонатных марганцевых руд на основе применения селективной флокуляции, марганцевых шламов, высокоградиентной магнитной сепарации и химических процессов обогащения (В.И. Кармазин, Е.Е. Серго, З.Д. Ройзен, О.И. Темченко).

Созданы и испытаны в опытно-промышленных условиях новые барабанные магнитные сепараторы с внутренним наливом для обогащения сильномагнитных продуктов (Е.А. Султанович), а также аппараты для гравитационно-магнитного и магнитно-гидравлического обесшламливания железорудных пульп в технологических схемах рудообогатительных фабрик.

В конце 60-ых годов (XX век) под руководством профессора В.И. Кармазина началось изучение технологии бактериального выщелачивания для десульфурации каменных углей (И.П. Васько, З.П. Кравченко), магнитогидродинамической сепарации (А.П. Шаленный). Разрабатываются замкнутые системы водооборота рудообогатительных фабрик Кривбасса с применением флокулянтов (А.И. Денисенко, В.Т. Соколюк)

В 80-ые годы прошлого века в стенах института происходят организационные изменения в проведении научных исследований. Образуется проблемная научно-исследовательская лаборатория с отделом обогащения полезных ископаемых, куда переходят практически все ведущие специалисты в направлениях обогащения руд черных металлов, в том числе магнитной сепарации. Научным руководителем отдела становится профессор В.И. Кармазин.

Продолжаются исследования высокоградиентной магнитной сепарации. В 1986 году под руководством профессора В.И. Кармазина были подготовлены и успешно защищены кандидатские диссертации. Это работа Л.Ф. Мостипан, которая создала новую технологию обогащения окисленных железистых кварцитов для получения высококачественных концентратов, и работа Ю.С. Мостыки, который усовершенствовал технологию обогащения ильменитсодержащих песков путем применения высокоградиентных соленоидных сепараторов.

Работая в проблемной научно-исследовательской лаборатории, профессор В.И. Кармазин продолжал развивать высокоградиентную магнитную сепарацию для слабомагнитных вкрапленных минералов. В его группу входили кандидаты технических наук З.Д.Ройзен, В.В.Дементьев, Ю.С. Мостыка, Л.Ф. Мостипан, инженеры К.А. Левченко, Л.А. Шутов и др. Совместно с профессором С.Г. Борисенко В.И. Кармазин разрабатывал идею создания в выработанном при подземной добыче руд пространстве полного цикла обогащения – создания так называемого подземного ГОКа.

Исследования процесса измельчения полезных ископаемых осуществлялись по новым для того времени направлениям: самоизмельчение руд (сухое и мокрое) и газоструйное измельчение, а также традиционное измельчение в шаровых барабанных мельницах.

Работы по самоизмельчению магнетитовых кварцитов и керченских табачных руд были начаты на кафедре в начале 60-ых годов. Под руководством профессора В.И. Кармазина в этом направлении работали Е.Е. Серго, А.И. Дени-

## **Загальні питання технології збагачення**

сенко, П.И. Пилов, Н.А. Малецкий, Б.Ф. Капуста, Е.А. Султанович, А.И. Молчанова и др.

Результат этих исследований – получение новой информации о технологических и энергетических преимуществах рудного самоизмельчения, значений конструктивных и режимных параметров, необходимых для промышленного внедрения.

Впервые внедрение бесшарового измельчения тонковкрапленных кварцитов в промышленных масштабах было осуществлено на Ингулецком ГОКе в 1967-1970 годах. Научным руководителем этой проблемы был профессор В.И. Кармазин, а исполнителями – профессор Е.Е. Серго, доцент А.И. Денисенко, инженеры Е.А. Султанович, А.И. Молчанова, В.В. Синявский, Д.Ф. Сергеев.

На основе полученных результатов институт Механобрчермет выполнил проекты обогатительных фабрик с рудным самоизмельчением на Ингулецком, Лебединском и Северном ГОКах. Их эксплуатация подтвердила целесообразность и технико-экономическую эффективность рудного самоизмельчения магнетитовых кварцитов.

Обобщение работ по рудному самоизмельчению было выполнено Е.Е. Серго в диссертации "Новые методы подготовки руд перед обогащением" на соискание ученой степени доктора технических наук. А.И. Денисенко в диссертации "Исследование самоизмельчения магнетитовых кварцитов Кривбасца", представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук. А также В.И. Кармазиным, А.И. Денисенко и Е.Е. Серго в монографии "Бесшаровое измельчение руд".

Исследования технологии газоструйного (огнеструйного) измельчения для окисленных железных руд начаты в 1963 году под руководством профессора В.И. Кармазина с целью совмещения магнетизирующего обжига с раскрытием рудных и нерудных минералов. Исполнителями на начальном этапе были Е.Е. Серго, Л.Ж. Горобец, Н.А. Малецкий и А.И. Молчанова. Затем развитие этого направления продолжала Л.Ж. Горобец применительно к другим полезным ископаемым.

Широкую заинтересованность у сотрудников кафедры получил распространившийся в 60-70-ые годы процесс обогащения в тяжелых средах. Актуальной проблемой того времени было создание тяжелых сред с заданными реологическими свойствами и их регенерация. Решением этой проблемы занялись В.И. Кармазин, П.И. Пилов, В.Т. Ивашко и другие. В результате получены более точные представления о причинах, повышающих вязкость суспензий, используемых в качестве тяжелой среды, оптимизирован гранулометрический состав утяжелителя, определены предельно допустимые концентрации шламов, обоснована доля суспензии, направляемой на регенерацию, обоснованы параметры магнитных сепараторов для регенерации.

В.И. Кармазин – один из крупных ученых, основавших школу магнитного обогащения полезных ископаемых, получившую признание обогатительной общественности, как в России и на Украине, так и за рубежом. Он автор более 350 научных трудов и 85 изобретений и международных патентов, в их числе

## **Загальні питання технології збагачення**

основополагающие монографии, десятки учебников. В 2001 году он написал первый учебник "Магнитные и электрические методы обогащения на украинском языке. Он являлся основателем и ответственным редактором республиканского межведомственного научно-технического сборника "Обогащение полезных ископаемых", членом редакционной коллегии международного журнала "Magnetical and Electrical Separation", издаваемого в США, научным руководителем отдела магнитного обогащения в проблемной научно-исследовательской лаборатории Национальной академии наук Украины. Работая в ВАК СССР, он активно способствовал повышению качества подготовки кадров наивысшей квалификации.

Активная подготовка научных кадров через аспирантуру ДГИ началась в 60-ые (XX век) годы с приходом на кафедру ОПИ профессора В.И. Кармазина и в связи со значительной интенсификацией научных исследований.

Под научным руководством профессора В.И. Кармазина кандидатские и докторские диссертации защитили: А.И. Денисенко (1965), М.С. Захарова (1966), А.А. Бебеш, Ю.А. Хватов, Н.А. Малецкий (1967), Ю.А. Коряков-Савойский, Н.П. Гнедов, В.Д. Трифонов (1968), Е.В. Герасимова, В.П. Николаенко (1969), Л.П. Скородумова, В.Л. Егоров, А.Г. Тищенко (1970), А.А. Артемова, И.М. Ямко, А.М. Туркенич, В.Т. Ивашко (1971), П.И. Зеленов (1972), Л.А. Цибулько (1973), В.Ф. Волгай, В.В. Салов (1974), З.Д. Ройзен, Ю.С. Гольдберг, Е.А. Султанович, Л.Г. Быков (1975), П.Е. Остапенко (1976), Г.В. Самойлик (1978), В.П. Погрузов, Н.Д. Кравченко (1979), В.Л. Солецкий (1980), А.И. Алипов, В.И. Горда (1985), Л.Ф. Мостипан, Ю.С. Мостыка (1986), В.В. Дементьев (1989), Н.А. Бондарев (1990) и многие другие.

Как гуманист Виталий Иванович думал о многих проблемах будущего. В частности, о необходимости сохранения земной поверхности за счет подземного размещения обогатительных фабрик, развития процессов бездоменного производства стали и др. Он много работал над подготовкой кадров высшей квалификации на всех уровнях, создал научную школу, редактировал научные журналы, писал учебники и т. д.

Все описанные выше и уже реализованные инновации (самоизмельчение, стадийное выделение концентратов, обратная флотация, прямое восстановление, металлизированные брикеты и др.) были прозорливо описаны в монографии "Новые направления глубокого обогащения тонковкрапленных железных руд", подготовленной учеными школы И.Н. Плаксина и В.И. Кармазина еще в 1964 г.

И, наконец, несколько слов о Виталии Ивановиче, как о Человеке. Он был большим Человеком и физически и морально. Много таких продвинутых людей родилось в начале XX века на волне повышенной пассионарности, людей незаурядных, преданных своему делу, любящих свой народ. Он еще успел послушать лекции Яворницкого, песни кобзарей, а общение его, рабфаковца, с такими великими металлургами, как Доброхотов, Бардин, Самарин и др. сделало для него профессию обогатителей и металлургов религией, фанатическим устремлением создать технологию производства стали лучше и дешевле, от руды и

до конечных изделий.

Война нанесла ему тяжелый удар с далеко идущими последствиями. Однако он не сломался и уже в 43-44 г.г. работал по восстановлению металлургических предприятий Юга. В послевоенный период страна остро нуждалась в железорудном сырье, и идеи магнитного обогащения железистых кварцитов снова стали материализоваться с его участием. Не очень его любили власти, не часто бывал он за границей, не получал он правительственных наград за свои неоспоримые трудовые подвиги, но его уважали и почитали не только дома. С дальнего зарубежья, ведущих стран мира прилетали к нему специалисты за советами, внедряли его сепараторы и патентные решения.

Виталий Иванович был не ординарной личностью. Открыл закон мелкого дробления. Директор Московского института строительных материалов – проф. Родин Р.А. специально летал в Кривой Рог, чтобы лично удостовериться в фондах Механообрчермета, что формулу для расчета расхода энергии на мелкое дробление В.И. Кармазин вывел и обосновал раньше Бонда. Честный Родин написал об этом статью, хотя для Запада это до сих пор формула Бонда. Виталий Иванович создал новую теорию измельчения минералов, где уже твердо есть формула Кармазина. Формулы раскрытия, основных законов обогащения и многое другое.

Можно смело утверждать, что идеи Виталия Ивановича живут, работают и развивают горно-металлургическую промышленность благодаря живучести их алгоритмов и благодаря обширной школе его учеников, как в странах СНГ, так и в дальнем зарубежье.

Многие из его идей, которые он начинал реализовывать и которые при его жизни казались почти фантастическими, уже внедрены в промышленность с огромным экономическим эффектом. Это, первую очередь:

- перевод Лебединского ГОКа, использующего самоизмельчение и самую передовую технологию обогащения на выпуск готовой металлургической продукции: металлических брикетов, электростали, а в скором времени и проката;
- повсеместное внедрение сухого магнитного обогащения дробленной руды перед обогащением на всех железорудных ГОКах стран СНГ;
- стадийное выделение магнетита по мере его раскрытия на некоторых железорудных ГОКах;
- внедрение новых магнитно-гравитационных технологий обогащения марганцевых руд;
- внедрение комбинированных схем обогащения россыпных титаноциркониевых руд;
- разработка и внедрение техники и технологии самоизмельчения руд и материалов (сухого и мокрого, рудогалечного, газоструйного и др.);
- разработка и внедрение техники и технологии высокоградиентной сепарации различных руд и материалов
- внедрение процессов и аппаратов для обогащения улей в тяжелых средах и их магнитного обессеривания.

Нет сомнения в том, что будут широко востребованы результаты его ис-

## **Загальні питання технології збагачення**

следований в області создания подземных ГОКов – это одна из задач выживания Человечества, в реализации предсказанных им конструкций магнитных сепараторов будущего и многих других идей Виталия Ивановича.

Он не был пророком, но как ученый с мировым именем он предопределил развитие основных направлений теории и практики в горно-металлургической промышленности и по важнейшим ее отраслям и все его идеи, конструкции, технологические решения живут, работают и внедряются его учениками вот уже более десятка лет после его ухода. Идеи Виталия Ивановича живут, работают благодаря живучести их алгоритмов и благодаря обширной школе его учеников, как в странах СНГ, так и в дальнем зарубежье. Он продолжает жить в своих делах, в деятельности созданной им научной школы на благо своего народа и людей, которые его любили.

© Кармазин В.В., Пилов П.И., 2014

*Надійшла до редколегії 28.02.2014 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким*