

ПЛАНЕТАРНЫМ МЕЛЬНИЦАМ БОЛЕЕ 130 ЛЕТ, ЧТО МЫ ЗНАЕМ О НИХ

Мы хорошо знаем традиционные шаровые мельницы (рис.1). Видно, что конкретная промышленная шаровая мельница имеет большой диаметр (4,5 м) и большую длину (5,0 м). Внутри нее находится приблизительно 120 тонн шаров диаметром от 70 до 120 мм. Весь этот агрегат весит вместе с шарами около 410 т.



Рисунок 1 – Шаровые мельницы

Примерно 130 лет назад парень из Северной Америки, глядя на громоздкие шаровые мельницы, прикинул, а почему бы не объединить несколько шаровых мельниц, распределить их по кругу и заставить вращаться вокруг общей оси и вокруг собственных осей одновременно. Движение вокруг общей оси создает центробежное поле взамен гравитационного, но с ускорением в 10-30 раз более интенсивным, а вращение вокруг собственных осей позволяет мельничной загрузке (шары с материалом, или просто материалом) совершать циклы похожие на циклы шаров в обычной мельнице. Так родился патент за номером 405810 от 1889 г. Поскольку движение шаровых мельниц напоминало движение планет вокруг солнца (рис. 2), то эти мельницы стали называть планетарными, а позднее кто-то стал добавлять слово «центробежные». Тут все и началось. Идея оказалась настолько привлекательной, что к ней подключились практически все ведущие страны: патент США 596828 от 1896 г; Франции 401833 от 1909 г; вновь США 1144272 от 1915 г; Германии 660412 от 1939 г и другие.

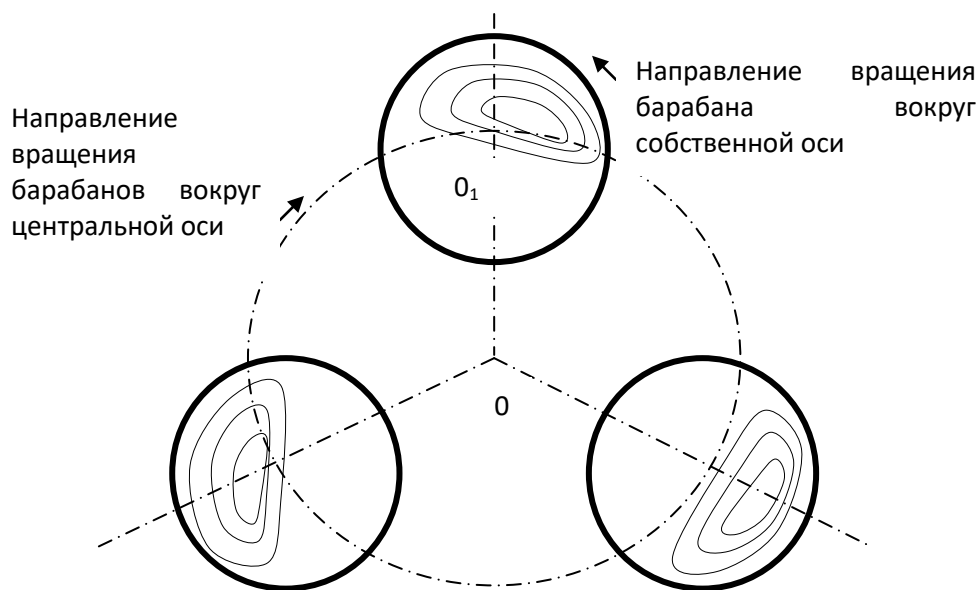


Рисунок 2 - Принцип действия планетарной мельницы.

Мировая война одна, потом вторая, восстановление экономик, и только в начале 50-х годов наблюдается некоторое оживление в исследованиях и в применениях планетарных мельниц. В 1951 г было опубликовано сообщение о сравнительных испытаниях планетарной шаровой мельницы с диаметром барабана 152 мм и обычной шаровой мельницей такого же диаметра. Отмечается, что производительность планетарной мельницы была в четыре раза выше [1]. *Добавлю свой комментарий: для современных планетарных мельниц производительность была бы в 40 раз выше.* В 1954 году сообщается о быстром помоле в планетарной мельнице таких твердых материалах, как двуокись титана, сульфат бария, и окиси хрома. Сообщается также, что измельчение осуществлялось в мельнице с четырьмя барабанами и емкостью 5 и 50 литров каждый [2]. С 1956 г в Англии планетарные мельницы периодического действия нашли промышленное применение при подготовке пигментов. Отмечается, что если пигмент в обычной шаровой мельнице измельчался за 40 часов, то в планетарной мельнице тот же эффект достигался за 4 часа [3]. *Опять не удержусь от комментария: при использовании современной планетарной мельницы, например производства компании ТТД сравнимый эффект был бы достигнут за 2-3 минуты.*

Результаты успешного применения планетарных мельниц периодического действия вызвали попытки создания машин непрерывного действия или как их еще называют – проточного типа. Первый патент на планетарную мельницу непрерывного действия был получен французским исследователем А. Жуазелем в 1953 г, а в 1956 г он опубликовал результаты ее лабораторных испытаний [4]. Позднее появился патент США 3529780 от

1970 г. также на мельницу непрерывного действия. В 1972 г. алмазная лаборатория компании De Beers в Йоганенсбурге опубликовала данные о проектировании промышленной мельницы непрерывного действия, предназначенной для работы в шахтах. Из публикации [5] видно, что мельница содержала три барабана и была изготовлена в вертикальном исполнении. Вес мельницы составлял 0,7 т, общая загрузка шаров была 73 кг. Как отмечают исследователи, возникшие трудности с непрерывной подачей исходного материала не позволили провести полноценные испытания.

В Советском Союзе первая планетарная мельница периодического действия была создана в 1956 г под руководством С.И. Голосова в институте Геологии и Геофизики СО АН СССР. При участии С.И. Голосова была разработана изготовлена целая серия планетарных мельниц с различными техническими данными. Значимость работ, которые были выполнены с применением планетарных мельниц в области механохимии, трудно переоценить.

По литературным данным и патентной информации всего в СССР созданием планетарных мельниц непрерывного действия занимались 25 организаций, однако, ни одной из них мельницу непрерывного действия сделать не удалось. Как не удалось этого сделать и за рубежом. Забегая вперед, скажу, что те предприятия, которые сейчас как-то демонстрируют непрерывную мельницу планетарного типа, используют нашу разработку центробежного питателя, ворованную еще в период 1993-94 г.г., когда наш питатель имел действующую патентную защиту, а некоторые сумели даже запатентовать один в один, а другие – по простоте, которая, как известно, хуже воровства. Не хочу хорошую статью в хорошем журнале пачкать их именами.

Теорией планетарных мельниц занимался довольно узкий круг специалистов. Первым среди них следует назвать французского ученого А.Жуазеля [7]. Дальнейшее развитие теория планетарных мельниц получила в трудах советских исследователей Л.П. Бушуева, С.И. Голосова, Г.П. Жаркова, А.Д. Лесина, А.Б. Лейтеса, В.Г. Кочнева. Из них наибольшее значение имеют работы сотрудника МГИ, к.т.н. Л.П.Бушуева.

Теоретические расчеты и экспериментальные исследования были, главным образом, направлены на решение трех вопросов. Первый из них затрагивает выбор оптимального соотношения скоростей барабанов и водила (ротора мельницы), второй – расчет мощности и третий – расчет производительности.

Таким образом, надеюсь, читатель понял, что планетарные мельницы не спонтанный продукт воспаленного воображения изобретателя, а

логически выверенная разработка, внимание к которой было приковано на протяжении нескольких десятков лет во всех ведущих странах мира. И, тем не менее, во многих из них бытует устойчивое мнение, что планетарные мельницы лучшие измельчители в мире, но невозможность создать непрерывные мельницы обесценивает их абсолютно.

Теперь мне хотелось бы немного рассказать о разработках, выполненных в нашей компании.

Итак, после окончания ленинградского горного института я в 1972 г. был по распределению направлен в г. Мирный, в институт Якутнипроалмаз, в лабораторию рудоподготовки к замечательному человеку, талантливому ученому и инженеру к Анатолию Борисовичу Лейтесу, что определило всю мою последующую работу и жизнь в целом. В этом же году мы сделали планетарную мельницу непрерывного действия производительностью 150-300 кг/час, не подозревая, что над этой проблемой работает весь мир, и решить не может. Мы свое техническое, сегодня можно сказать эпохальное, решение приняли за обычное – инженерное. Было много гораздо более сложных задач, которые я уже решал без Анатолия Борисовича, к сожалению рано ушедшего. Причем, решил совсем не так давно, может лет 11--12 назад. Это я к тому, что условия в нашей стране не для изобретателей. Представляете, если бы это решение попало на запад в начале 60-х или 70-х прошлого века, сегодня мы, наверное, забыли бы, что такое обычная шаровая мельница. Ну, а тогда, имея золотое решение в руках, мы боролись с работоспособностью подшипников. Иногда нагрузки были таковы, что шарики разрезали наружное кольцо подшипников пополам, мы ставили подшипники роликовые самоцентрирующиеся с запасом по нагрузкам в 100 раз, они разваливались в течение нескольких часов. Тем не менее, шли вперед – конструировали образец за образцом (рис. 4), изготавливали своими силами (какая механическая база могла быть в Мирном в 1975 г.), изготовили мельницу с расчетной производительностью 25 т/час, (рис.5) поставили на действующую фабрику, испытали – добились производительности 35 т/час.

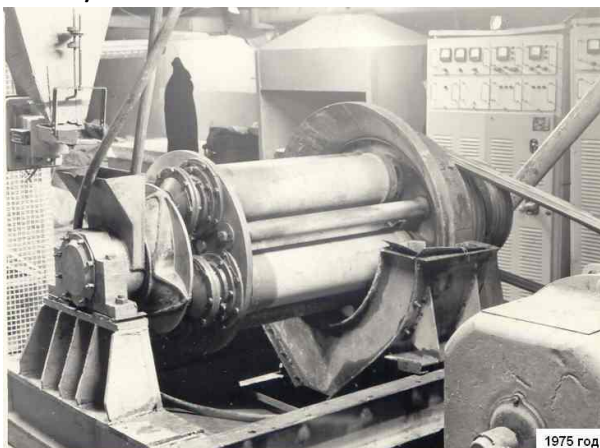


Рисунок 4 – Опытный образец планетарной мельницы непрерывного действия производительностью до 500 кг/час

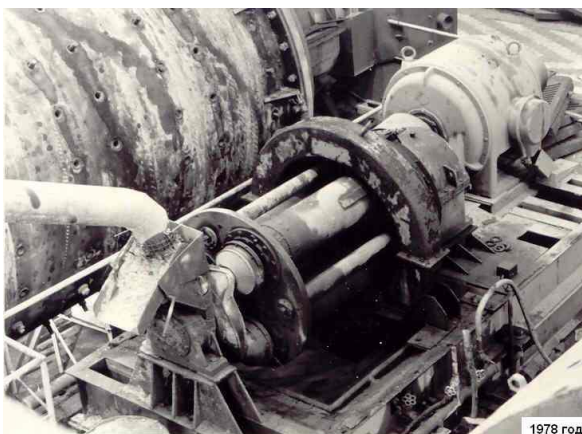


Рисунок 5 – Опытный образец планетарной мельницы непрерывного действия производительностью 35 т/час, смонтированная на фабрике №3 в технологическом проходе, между шаровыми мельницами

На основе технологических данных этих длительных испытаний подготовили технические условия на планетарную мельницу производительностью 50 т/час, добились в Министерстве Цветной Metallургии (МЦМ) финансирования. Был также определен завод-изготовитель – Сызранский турбостроительный завод, он же был и разработчиком технической документации. Завод готовил техническую документацию, изготавливал мельницу около шести лет. За это время было наработано еще несколько моделей, которые испытывались на фабриках. Несмотря на огромную занятость, в 1978-м году я защитил кандидатскую диссертацию в своем родном вузе в Ленинграде, познакомился с работами по механохимии в Новосибирске, узнал про постановление ЦК КПСС и Совета Министров о создании планетарной мельницы производительностью 100 т/час для цементной отрасли, предложил свои услуги разработчику-институту ГИПРОЦЕМЕНТ. Мое предложение принято не было. Наступил 1980-й год – конец очередной пятилетки. Планетарная мельница (рис.6) с завода была отгружена строго по плану – в конце пятилетки, правда ее отгрузка сопровождалась тремя листами печатного текста с перечнем недоделок, которые предполагалось исправить своими силами. Исправляли, практически еще одну пятилетку, потом МЦМ ее списало и все остались довольны, кроме нас с А.Б. Лейтесом.

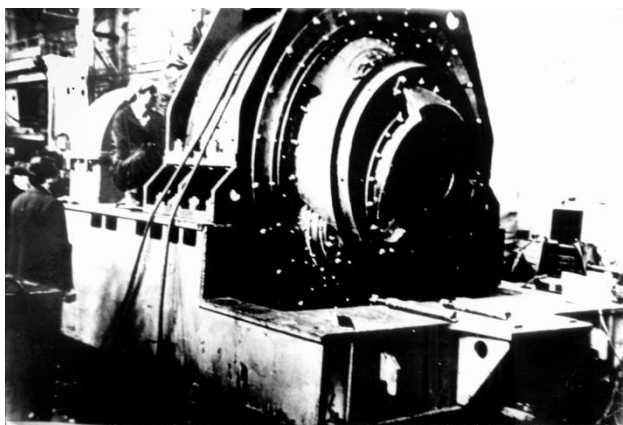


Рисунок 6 – Планетарная мельница непрерывного действия
производительностью 50 т/час

Так закончилась одна из ярких разработок в алмазодобывающей отрасли, которая могла бы принести колоссальную выгоду. Двенадцать лет спустя, когда компания ТТД набрала силу, я просил руководство АЛРОСЫ продать мне списанную мельницу – я был уверен в восстановлении ее работоспособности, но под разными предложениями мне отказали – легче было отправить ее на металлолом. Позже уже в 1996-м году, когда мы поставили в лабораторию De Beers планетарную мельницу Рис.12 производительностью 10 т/час и проводили там регламентные работы – приехала делегация АЛРОСЫ во главе с генеральным директором, разговорились, вспомнили. Он, будучи тогда генеральным директором фабрики, где внедрялась эта мельница, конечно, знал все ее болячки и честно пытался их исправить. Но одно дело завод, приспособленный для работы с такого рода оборудованием, другое дело технологическая единица, обогатительная фабрика. За честность, за совесть, за инженерную грамотность – огромное спасибо.

В середине 1984 года я с семьей покинул г.Мирный по переводу в Северный отдел ЦНИГРИ в г.Архангельск. Работа в течение шести лет на разведке алмазного месторождения им. М.В.Ломоносова отнимала все время и все силы и на планетарные мельницы ничего не оставалось.

Работы по планетарным мельницам возобновились лишь в 1991-м году во вновь созданной компании «Техника и Технология Дезинтеграции», сокращенно ТТД. В первые полтора, два года мы сделали упор на выпуск лабораторных мельниц для заводских лабораторий, исследовательских центров, учебных институтов. Это себя оправдало - заказов, было много. Огромную роль на начальном этапе, а в последующем на основе Российско-Эстонского совместного предприятия «ТТД-БАЛТИЕЦ» в развитии нашего направления сыграл Нарвский приборостроительный завод, относящийся тогда к Министерству Среднего Машиностроения. Завод изготавливал несколько модификаций «на склад», мы же их продавали и с выручки

оплачивали заводские затраты. Схема работала безукоризненно – покупателям лабораторного оборудования очень нравилось, что после оплаты заказа отгрузка осуществлялась через 3-4 дня. К сожалению, хорошее закончилось быстро. СП отработало чуть меньше четырех лет как начались, мягко сказать, неудобства – чтобы получить визу, и только на одну поездку, мне генеральному директору СП, нужно было отстоять 2-3-х часовую очередь, что далеко не гарантировало ее получение. Начали встречаться в ИВАНГОРОДЕ в заводском автобусе – обсуждение условий изготовления не остановишь. Дальше еще хуже – завод выкупила западная компания. На этом хорошее закончилось окончательно. Начали искать подходящий завод или заводик в С-Петербурге. В первую очередь обратились к легенде нашего города – на Кировский Завод. Специалисты завода посчитали себестоимость для одной из лабораторных мельниц – она, как сейчас помню, составила 18 млн.руб., тогда как при изготовлении в Нарве у нас продажная цена была на уровне 4-х млн.руб. Ну а дальше, где мы только не изготавливали. Везде вакханалия цен, провал сроков на месяц, на два, на девять.

Предваряя вопрос читателя об инвесторах, отвечаю – их в России нет. Те, которые якобы из инвесторов, кто с нами общался, а их было великое множество, но они ничего не понимали о чем идет речь. Мы им говорим, что бизнес на 300 лет, приводим доводы, продукция востребована, конкурентов практически нет, технические решения уникальны, опыт фантастический, в том числе и зарубежный, команда есть. Нам говорят фразу – «STEP BU STEP» и предлагают 500 тыс. руб. Это все, что освоили отечественные инвесторы.

К тому времени, когда компания ТТД начала производить первые планетарные мельницы (1991 год), рис.7, на рынке практически уже не осталось тех, кто делал попытки создать мельницы непрерывного действия.



Рисунок 7- Одна из первых планетарных мельниц ТТД периодического действия

После 15 лет перестала заниматься этим горнорудная палата ЮАР и все остальные ведущие страны. Устойчиво распространялось мнение, что

создать мельницу непрерывного действия невозможно. Остались на рынке лишь те, кто выпускал лабораторные мельницы – компания Fritsch и Retsch (Германия). Компания ТТД также стала продавать лабораторные мельницы, рис.8. Уже в год образования было продано 15 мельниц, что позволило фирме продолжить работы по разработке и выпуску мельниц непрерывного действия, рис. 9.

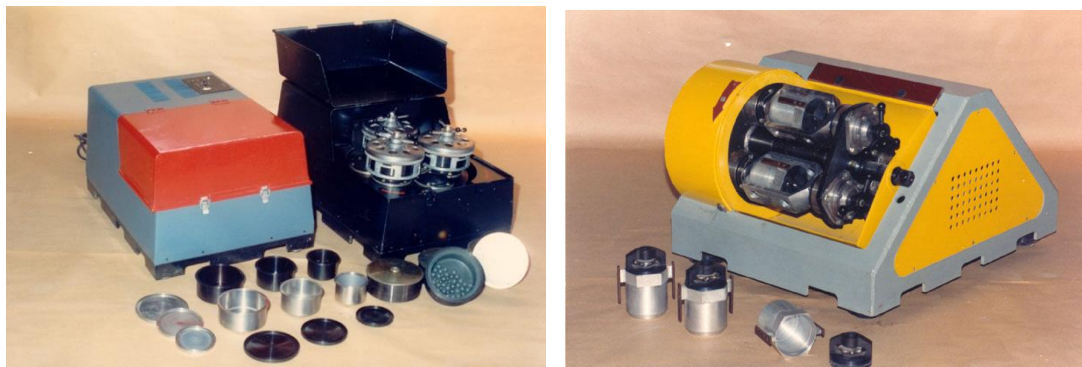


Рисунок 8 – Первые серийные планетарные мельницы периодического действия компании ТТД

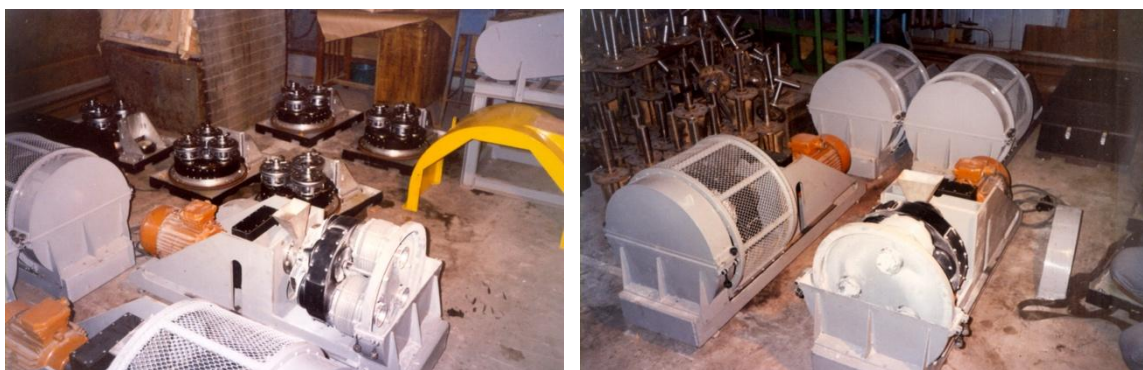


Рисунок 9 – Первые серийные планетарные мельницы непрерывного действия компании ТТД

В 1992 году мы продали лицензию на лабораторную мельницу одной японской фирме, которая уже 25 лет успешно занималась струйными мельницами. Однако, ограничение для этого типа машин по твердости исходного материала заставило фирму пойти на сделку с нами. Деловая поездка в Японию кроме восхищения дала огромную возможность посмотреть, как работает передовая компания. Многодневные испытания нашей мельницы МПЛ-1 (мы привезли ее с собой), показали действительно уникальные возможности принципа измельчения в планетарной мельнице.

На протяжении последующих десяти лет компания ТТД продала сотни мельниц, в том числе и непрерывного действия, в основном небольшой (до 50 кВт) мощности. Однако, вопрос создания промышленных машин стоял постоянно – поиск инвесторов не прекращался, но все усилия компании в

этом направлении кончались неудачно. Тем не менее, работы по совершенствованию мельниц непрерывного действия продолжают до сих пор.

К настоящему времени сложилась ситуация, когда компания ТТД в этом направлении является бесспорным лидером (хотя интерес к планетарным мельницам на западе и попытки их создания вернулись), так как такого обилия опытных и промышленных образцов не сделала ни одна компания в мире. Ни у кого нет пока такого опыта в конструировании, исследовании и производстве планетарных мельниц.

Модели планетарных мельниц периодического действия МПП-1-1, МПП-1-2, МПП-1-3, МПП-1-4, МПП-2, МПП-2-1К, МПП-2-3, МПП-3 (рис. 10_) предназначены для быстрой подготовки проб к физико-химическому анализу, для получения тонких и сверхтонких порошков при небольшом производстве пигментов, абразивных материалов, фармацевтических препаратов, для избирательного измельчения при разведке драгметаллов и алмазов, для активации концентратов перед гидрометаллургией



МПП-1-1



МПП-1-2



МПП-1-3



МПП-2-1



МПП-2-1К



МПП-2-3



МПП-3

Рисунок 10 – Модели планетарных мельниц периодического действия

Особое место среди них занимают мельницы МПП-2-1К (рис. 11) и МПП-2-1КМ (проектируется, рис.12). Они предназначены для отработки золотосодержащих керновых проб без предварительного дробления. Проба массой приблизительно 10-12 кг распределяется по четырем барабанам, дробится и измельчается с помощью ролика (один ролик в одном барабане) до крупности 74-100 мкм. Проба крупностью +100 мкм просматривается под бинокляром с целью выделения золотинок, содержание которых в пробе достигает 97-99,9 %, а продукт крупностью -100 мкм квартуется и отдается на пробирный анализ. Поскольку исходная проба (кern) не подвергается квартованию до планетарной мельницы, то извлеченные крупные золотины участвуют в подсчете содержания и запасов. Отработка двух скважин (250 м) традиционным методом, и методом избирательного измельчения ТТД показала прирост запасов во втором случае на 52 %. Как показала практика применения мельницы в одной из артелей и на месторождении «Сухой Лог» с помощью мельницы МПП-2-1К можно обработать 24-32 пробы в час. На мельнице МПП-2-1КМ (рис.12) с полуавтоматической заменой барабанов можно обработать более 100 проб в час. Тенденция сегодня такова, что из-за огромного количества керновых проб, необходимых к обработке, разряжается геологическая сеть, тем самым снижается представительность и соответственно достоверность. Мельницы МПП-2-1К и МПП-2-1КМ несомненно обеспечат качественную и быструю обработку проб и дополнительно обеспечат минимум 30-50 % прироста запасов за счет

крупного золота (если, конечно, оно присутствует). Качественная обработка керновых проб подразумевает абсолютно стерильную технологию из-за отсутствия «заражения». Мало того, в своих ранних статьях, посвященных отработки проб именно методом селективного измельчения в планетарных мельницах мы убедительно рассматривали работу такой установки в паре с бурильной техникой.



МПП-2-1К

Рисунок 11- Планетарная мельница периодического действия МПП-2-1 К

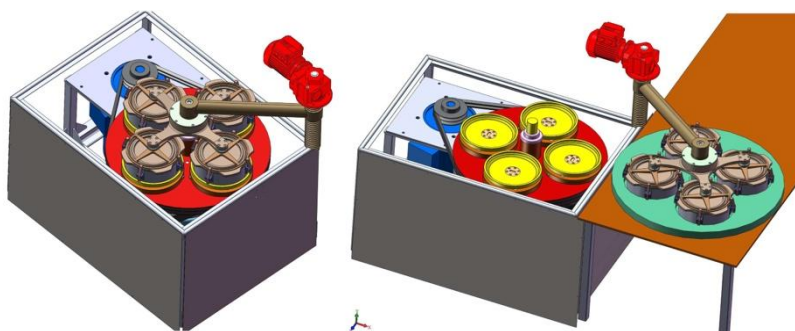


Рисунок 12 - Планетарная мельница периодического действия МПП-2-1 КМ

Немаловажное значение имеет мельница МПП-1-2, предназначенная для исследований наноструктурированных материалов крупностью, измеряемых в нанометрах. Мельница обеспечена частотным преобразователем, что позволяет регулировать ускорение от 5 до 60 g. Эта модель, как ни одна другая, подходит для выполнения комплекса исследований с целью расчета мельниц промышленного типа непрерывного действия для измельчения различных материалов и руд. В частности, благодаря механохимическим явлениям, возникающим в процессе сверхтонкого помола, конкретно аморфизации происходит ряд существенных изменений в свойствах измельчаемого материала. Например, извлечение скандия из металлургического шлака на уровне 90-94 % было возможно лишь при получении степени помола до 99,9 % менее 45 нм и сопровождающей его аморфизацию до 78 %. Подобные эффекты зафиксированы при извлечении ниобия и тантала – потребовалось всего 8-15

минут измельчения материала, чтобы извлечение этих элементов достигло более 85 %.

Ниже приведены модели планетарных мельниц **непрерывного действия** МП-0, МП-0,5, МП-1, МП-2, МП-3, МП-5, МП-4-8 (рис.12) предназначенные для производства пигментов, строительных материалов, различных минералов (кварц, флюорит, барит, известняк и др.карбонаты, твердые минералы – бор, алмазы, вольфрам и др.), отходов стекла, абразивных материалов, фармацевтических препаратов, активации концентратов перед гидрометаллургией, для доводки алмазо- и золотосодержащих концентратов.



МП-0



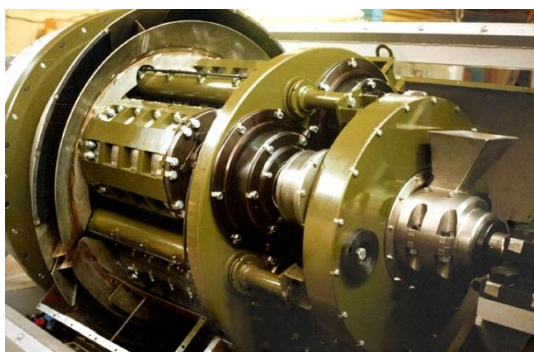
МП-1



МП-2



МП-3



МП-4



МП-5



МП-3



МП-4-8

Рисунок 12 - Модели планетарных мельниц непрерывного действия

Мельницы МП-4, МП-5 (рис. 12) предназначены для производства фарфоровых масс, компонентов для производства красок, электронных обмазок, стекла, огнеупоров, активации и производства цемента, для получения высокопрочного щебня, сухих строительных смесей, сухих бетонных смесей, для активации концентратов перед гидрометаллургией, для доизмельчения промпродуктов на обогатительных фабриках.

Для моделей МП-6, МП-7, МП-8 разработана концепция конструкции. Эти машины предназначены уже для крупных горно-обогатительных комбинатов, цементных заводов, для керамической, строительной и химической отраслей.

Ниже приведены эксперименты по сухому обогащению с применением измельчительного оборудования:

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ В КОМПАНИИ ТТД ПО СЕЛЕКТИВНОМУ ИЗМЕЛЬЧЕНИЮ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД И КОНЦЕНТРАТОВ:

Эксперимент № 1:

Исходный материал – концентрат отсадки крупностью -2 мм, содержание – 240 г/т, время измельчения в лабораторной планетарной мельнице – 3 мин. Содержание Au по классам крупности: +0,1 – 90%; -0,1+0,074 – 70%; -0,074+0,044 – 1%; -0,044 – 634 г/т (данные пробирного анализа). Извлечение Au в класс крупности +0,044 – 95%.

Эксперимент № 2:

Исходный материал – концентрат стола крупностью -0,5 мм, содержание – 439,6 г/т, время измельчения – 3 мин.

Содержание Au по классам крупности: +0,125 – 100%; -0,125+0,1 – 68,2%; -0,1+0,044 – 215,7 г/т (данные пробирного анализа); -0,04 – 81,9 г/т (данные пробирного анализа). Извлечение Au в класс крупности +0,044 – 99,6%.

Эксперимент №3 длиною семь лет:

Исходный материал - хвосты концентрационных столов в артели старателей крупностью -1,5 мм, с содержанием золота

Полупромышленные испытания технологии сухого обогащения на примере пробы руды Наталкинского месторождения проводились на установке компании ТТД с планетарной мельницей непрерывного действия МП-0.

Как показали испытания, при содержании в исходной руде 1,78 г/т был получен концентрат с содержанием в классе крупности +44 мкм – 438 г/т, в классе -44 мкм – 19,6 г/т, извлечение в концентрат составило 80,2%, извлечение в промпродукт – 16,7%, извлечение в хвосты – 3,1% с содержанием в них золота 0,15 г/т, ПОСЛЕДУЮЩАЯ ДОРАБОТКА КОНЦЕНТРАТОВ в планетарных мельницах периодического действия позволило получить концентрат уже с содержанием золота 30-35 %

Таким образом, испытания показали принципиальную возможность обогащения золотосодержащей руды единственным методом – селективным измельчением в планетарной мельнице. Также показана высокоэффективная технология доводки концентратов, которая не требует разветвленной схемы, большой номенклатуры оборудования, больших объемов пирометаллургии.

Литература:

1. Fahrenwald A.W. New type of grinding mill.
Rock products v.54, 1951, №5
2. Hyswing B. New ball mill Grinding faster.
Chem and Engin, August, 1954
3. Milling Around in Circles.
Chem and Engin, August, 1956, №6
4. Жуазель А. Планетарная мельница.
Перевод с французского. Цемент, Сб.переводов, МПСМ СССР, вып. 6,
1957, № 28
5. Bradley A. Высокоскоростные центробежные (планетарные)
мельницы и перспективы их применения в горнорудной промышленности.
South African Mechanical Engineer, 1972, v.22, IV