

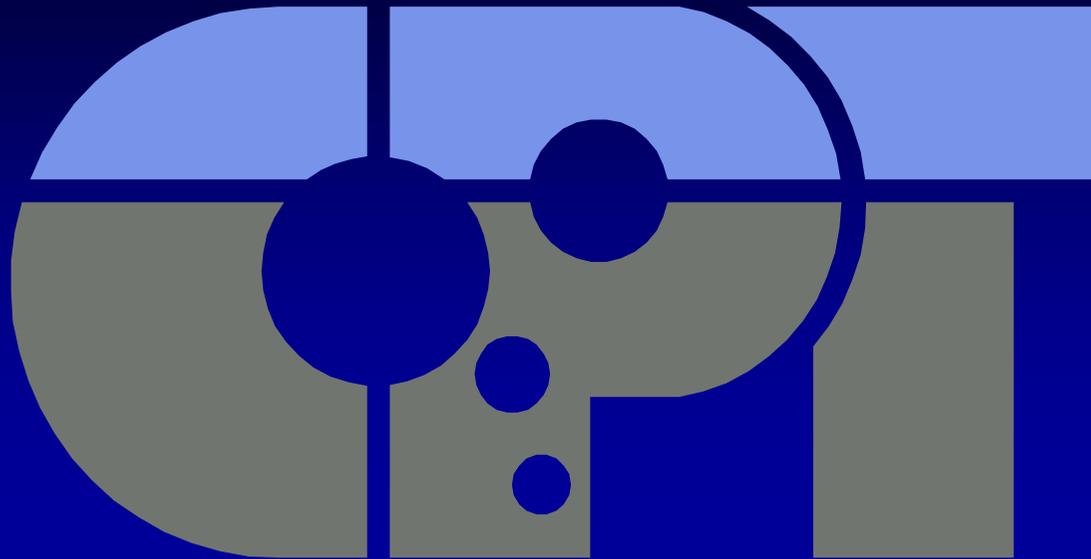


Современная технология колонной флотации

Представлено на

Выставке-конференции
«Подготовка, обогащение и
обезвоживание руд и
минералов»

18-20 февраля 2006 г.



**Canadian Process
Technologies Inc.**

Ванкувер - Канада



Ванкувер, Канада

CETCO

**Московское
представительство
тел. (095) 232 1002
mining@cetco.ru**

История колонной флотации

▶▶ Column Flotation Company of Canada

- ▶ Начинается около 30 лет назад - Don Wheeler
- ▶ Первые опыты в Iron Ore Company of Canada
- ▶ Первые промышленные колонны установлены на фабрике Les Mines Selbaie

▶▶ Gibraltar Mines and Cominco

- ▶ Начало исследований в этих двух компаниях
- ▶ Прекрасные результаты при обогащении молибдена
- ▶ Другие компании начинают проявлять интерес
- ▶ Все первые применения - на перечистках

История колонной флотации

▶▶ 1980 - Ранние разработки

- ▶ Высокие соотношения $H : D$ - высокие стройные колонны
- ▶ Первые системы промывки - капельного типа
- ▶ Технология управления уровнем не развита
- ▶ Первые аэраторы, изготовленные из фильтроткани
- ▶ Необходимость в изменении дизайна
- ▶ Из компании Cominco выделяется независимая компания CESL Engineering

История колонной флотации

▶▶ 1985 - Начало интенсивных исследований

- ▶ CESL активно участвует в развитии колонной флотации в рамках государственной программы Канады по развитию исследований в промышленности
- ▶ Внедрение технологии на Zn/Pb фабрике Cominco's Red Dog на Аляске

▶▶ 1989 - Улучшение дизайна

- ▶ В рамках компании CESL создан отдел флотационной технологии
- ▶ Улучшение контроля уровнем
- ▶ Создание системы аэрации SparJet® переводит технологию колонной флотации на новый уровень

История колонной флотации

▶ 1998 - Создание специализированной компании

- ▶ Менеджмент отдела флотационной технологии CESL выкупает активы отдела, включая патенты и торговые марки - новая компания называется . . .

Canadian Process Technologies Inc.



Штаб-квартира в Ванкувере, Канада

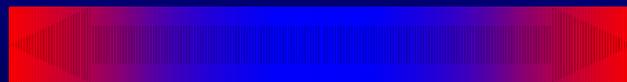
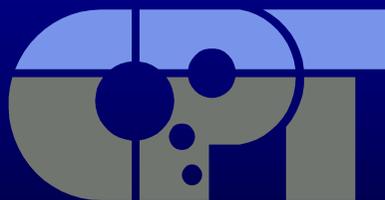
Филиал в Бразилии

Сеть представительств в 13 странах

Всемирная технологическая поддержка

▶▶ 1998

- ▶ Принято решение о продвижении технологии в России.
- ▶ Формирование стратегического альянса с компанией CETCO
- ▶ Первые проекты в России по применению колонной флотации для обогащения апатитовых, никелевых и железных руд



CETCO

Достижения в колонной флотации

- ▶▶ Управление уровнем
- ▶▶ Распределение промывочной воды
- ▶▶ Распределение питания
- ▶▶ Транспорт и удаление пены
- ▶▶ Системы диспергации газа
- ▶▶ Выбор типоразмеров

Управление уровнем

- ▶ Механические флотомшины представляет из себя ПЕРЕЛИВНЫЕ аппараты, уровень поддерживается регулированием высоты порога в конце камеры
- ▶ Колонные флотомшины - ДИНАМИЧЕСКИЕ аппараты. Требующие постоянного активного управления уровнем в камере
- ▶ Если уровень не поддерживается, камера либо переполнится, либо опустеет

Управление уровнем

- ▶ В ранних системах применялись пневматические пузырьковые трубки – ненадежные и склонные к запесочиванию
- ▶ Последние разработки в ультразвуковых системах позволили надежно и точно замерять расстояния в промышленных условиях
- ▶ Простой шариковый поплавок и мишень при использовании ультразвуковой системы обеспечивают надежное и точное измерение уровня
- ▶ Цифровые контроллеры широко распространены и достаточно дешевы – автоматизация производства становится стандартом для обогатительных фабрик
- ▶ Пережимные задвижки для управления потоками надежны и долговечны – они заменили устаревшие дарт-клапаны и другие системы

Управление уровнем

Пластина
мишени и
стержень



Тефлоновые
направляющие
стержней



Управление уровнем



Пережимная
задвижка камерного
продукта и
барометрическое
колено

Massey Coal Liberty – США

Распределение промывочной ВОДЫ

- ▶ Возможность промывки пены в колонной флотомашине – одно из основных отличий колонной флотации от механической.
- ▶ Подача воды в пенный слой служит как для стабилизации пены, так и для удаления пустой породы, распределенной в водной фазе.
- ▶ Оптимальный дизайн системы промывки характеризуется следующими чертами . . .
 - ▶ Позволяет подавать большие объемы воды при низкой скорости подачи (для предотвращения разрушения пузырьков)
 - ▶ Легко очищается и обслуживается
 - ▶ Может подавать воду как над пенным слоем, так и внутрь пенного слоя

Распределение промывочной воды

- ▶ При первых установках применялись простые верхние системы «капельных» лотков
- ▶ Надежные и легко очищаемые, но возможность подачи воды внутрь пенного слоя отсутствовала
- ▶ Компанией СРТ были разработаны распределители с регулированием высоты подачи воды – самотеком или под давлением
- ▶ Позволяет подавать воду на пенный слой при гидрофобной быстро сохнущей пене (например, уголь)
- ▶ Позволяет проводить промывку “внутри пены” для увеличения плотности пены и сокращения последующего фронта обезвоживания
- ▶ При промывке пенного слоя изнутри дает хороший его обзор

Распределение промывочной воды



Система
промывки
с быстрым
подъемом

Токиерала - Перу

Распределение промывочной воды



Верхняя
промывка

Kingwood Coal – США

Распределение промывочной воды



Промывка
изнутри

CWF Италия – Сардиния

Распределение питания

- ▶ При увеличении диаметра колонн возрастает важность правильного распределения питания
- ▶ От единичной точки подачи для распределения питания требуется несколько метров по высоте колонны
- ▶ Эффективная система распределения питания позволяет уменьшить высоту колонны без потерь в ее показателях
- ▶ Правильный выбор распределителя подачи питания необходим для уменьшения потерь в линии и обратного давления, для организации самотечного питания

Распределение питания



Внутренний
четырёх-ходовой
распределитель
(диспергирующие
пластины сняты)

Mount Polley - Канада



Распределение питания

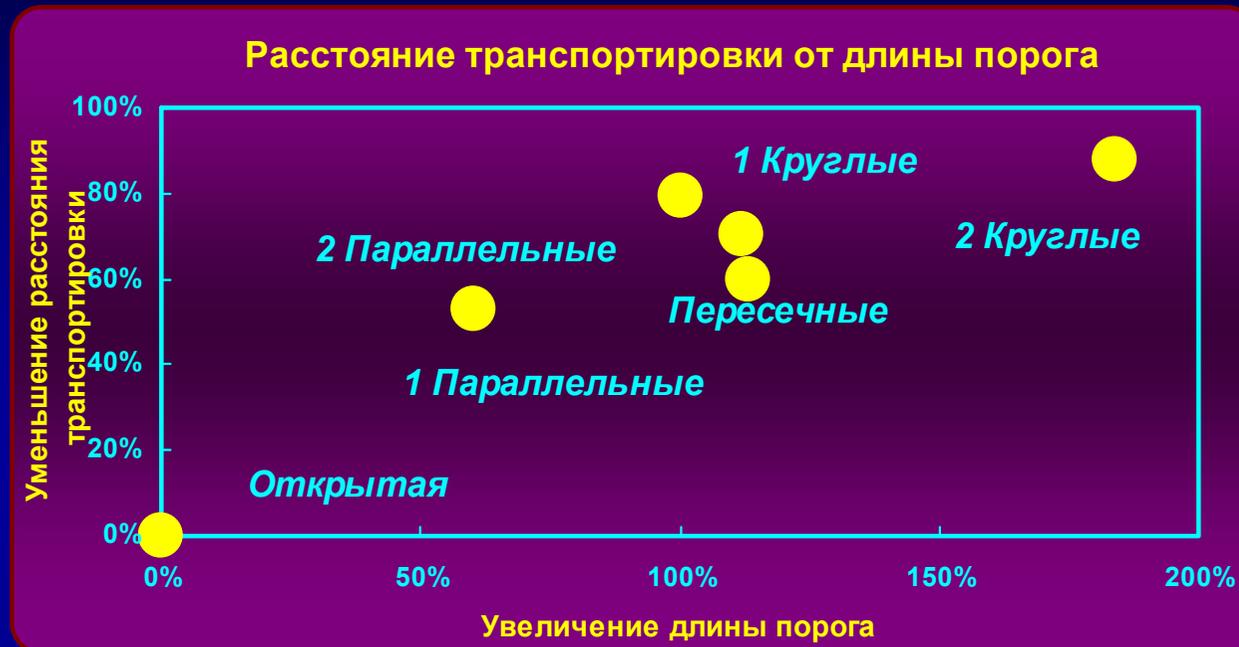
Диспергирующие
пластины в работе

Serrana - Бразилия

Транспортировка и удаление пенного продукта

- ▶ Наблюдения над транспортировкой пены от центра колонны к внешнему переливному желобу показали, что за время этого движения пена нередко разрушается
- ▶ Целью является максимальное увеличение длины разгрузочного порога при минимизации расстояния горизонтальной транспортировки
- ▶ Ранний дизайн колонн большого диаметра предусматривал параллельные или пересекающиеся желоба - большие расстояния транспортировки пенного продукта и формирование мертвых зон
- ▶ СРТ впервые применила внутренние круглые желоба, обеспечивающие максимум длины разгрузочного порога при минимальных потерях площади поверхности
- ▶ Отражатели в пенной зоне стабилизируют пену и сводят к минимуму латеральное перемешивание и выпадение материала обратно

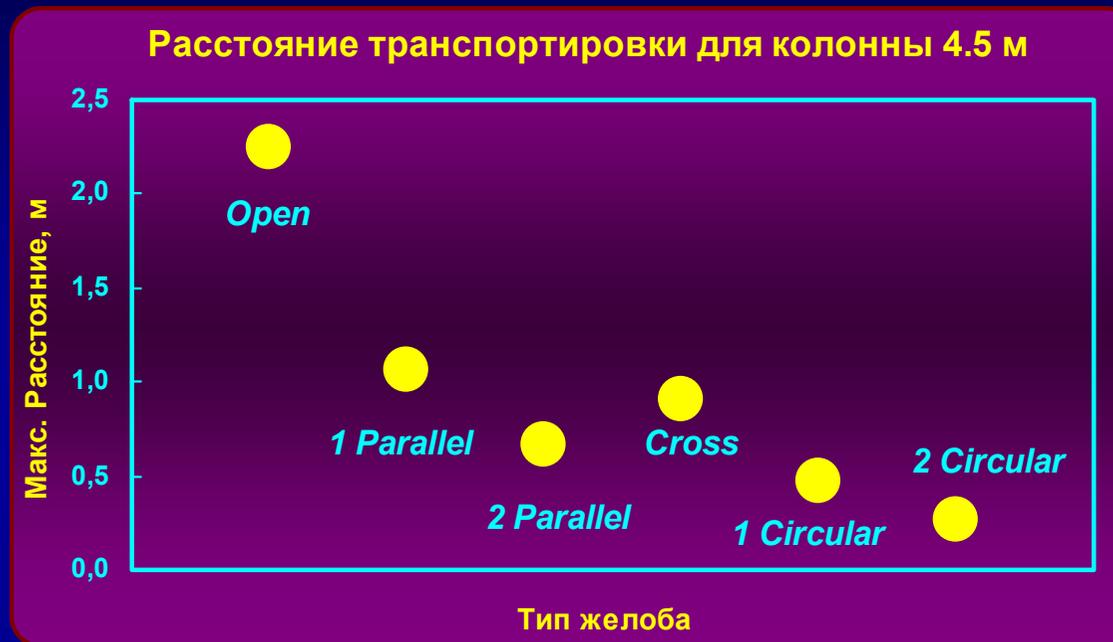
Транспортировка и удаление пенного продукта



Сравнение проведено для различных типов желобов.

К примеру, двойные круглые желоба уменьшают расстояние транспортировки на 85% при увеличении длины разгрузочного порога почти на 200%

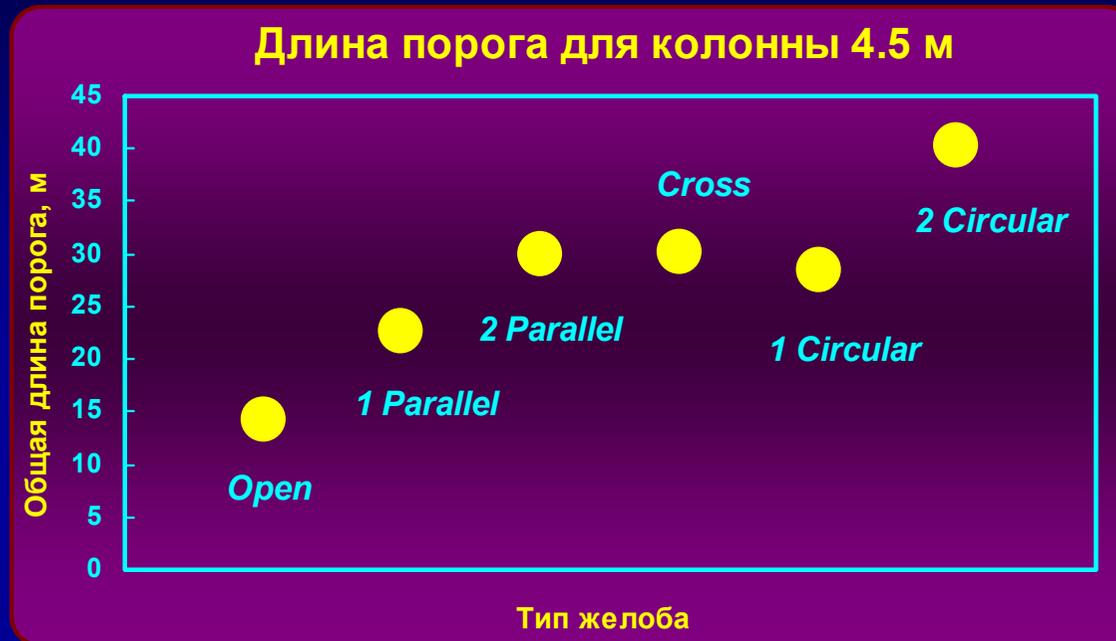
Транспортировка и удаление пенного продукта



Эффект снижения расстояния при добавлении внутренних желобов

Для колонны 4.5 м двойные круглые желоба снижают расстояние до 25 см

Транспортировка и удаление пенного продукта



Эффект увеличения длины порога при добавлении внутренних желобов

Для колонны 4.5 м двойные круглые внутренние желоба увеличивают длину порога с 14 м до 40 м

Транспортировка и удаление пенного продукта



Круглые
внутренние
желоба

Francisco Madero - Мексика

Транспортировка и удаление пенного продукта



Круглые внутренние желоба

Niobes - Канада

Транспортировка и удаление пенного продукта



Пенный
продукт -
медь

Токиерала - Перу

Транспортировка и удаление пенного продукта



Отражатели
пенной зоны
(вид снизу)

Токиерала - Перу

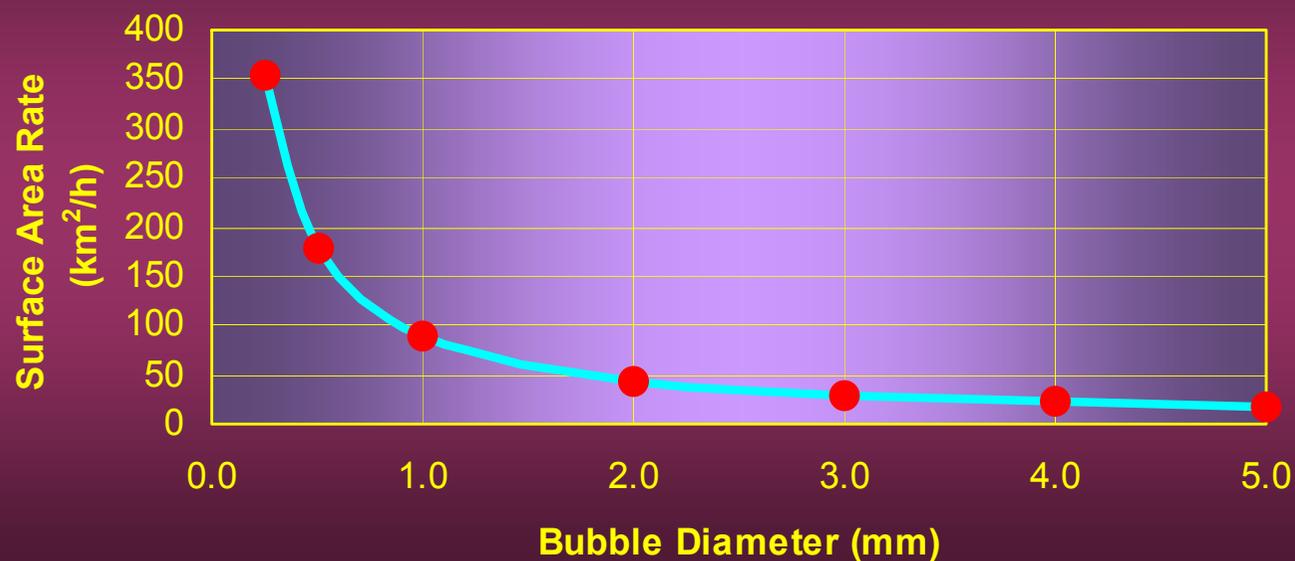
Система диспергации газов

- ▶▶ Диспергация является СЕРДЦЕВИНОЙ колонной флотации
- ▶▶ Требуется обеспечить . . .
 - ▶ Определенное количество пузырьков
 - ▶ Определенного размера
 - ▶ Для обеспечения требуемой площади поверхности
 - ▶ И равномерного распределения по колонне

Размер пузырька - Площадь поверхности

- ▶ Флотация зависит от общей площади поверхности пузырьков для извлечения продукта

Effect of Bubble Diameter on Surface Area Rate
(for 1,480 Nm³/h)



Пористый диспергатор СРТ

- ▶▶ Нержавеющая сталь или пористый полимер
- ▶▶ Номинальный размер пор 0.5 - 20 μm
 - ▶ Преимущества
 - » Прекрасные размеры пузырьков и дисперсия
 - » Очень низкий перепад давления
 - ▶ Недостатки
 - » Подвержен забиванию
 - » Требуется фильтрация воздуха
 - » Применяется при отсутствии гипсования (извлечение органики, сепарация масла / воды)

Пористый диспергатор СРТ



Водно / воздушный диспергатор

▶▶ Оригинальная система диспергации Cominco

- ▶ Большое количество маленьких отверстий с внутренними вставками из карбида вольфрама
- ▶ Одновременная инжекция воздуха и воды
- ▶ Преимущества
 - » Прекрасные размер пузырьков и распределение
 - » Прекрасные характеристики по износу
- ▶ Недостатки
 - » Подвержен забиванию - требуется вода хорошего качества
 - » Трудности с точным управлением водно-воздушной смесью

Водно / воздушный диспергатор



Воздушный диспергатор - SlamJet®

▶▶ Единичная форсунка - Саморегулирующаяся -
Керамическая защита от износа - Не забивающаяся

▶ Преимущества

- » Прекрасный размер пузырьков и распределение
- » Высокая надежность и долговечность (более 3 лет)
- » Забивание и засорение практически исключены
- » Саморегулирующиеся для компенсации вариаций давления
- » Защита при потере давления воздуха
- » Может быть извлечен для инспекции во время работы флотомшины, без остановки оборудования

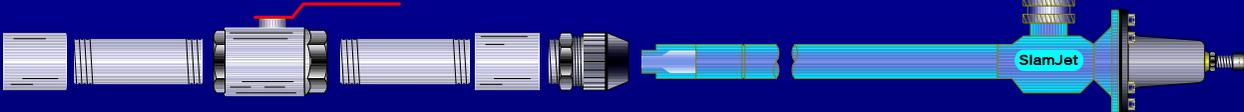
Диспергатор CPT SlamJet®

- ▶▶ Саморегулирующийся
- ▶▶ Положительное уплотнение
- ▶▶ Закрывается при потере давления воздуха
 - ▶ Игольчатый клапан с приводом от диафрагмы, устанавливается на закрытое положение до тех пор пока давление в коллекторе не превысит статическое давление в колонне
 - ▶ При потере давления игольчатый клапан закрывает линию, предотвращая обратный поток пульпы в систему аэрации
 - ▶ Действует мгновенно при разрыве линии, выключении компрессора, выключении тока



SlamJet® Advanced Gas Sparging System

Column Body



Insertion Port
Assembly

SlamJet®

Gas
Manifold

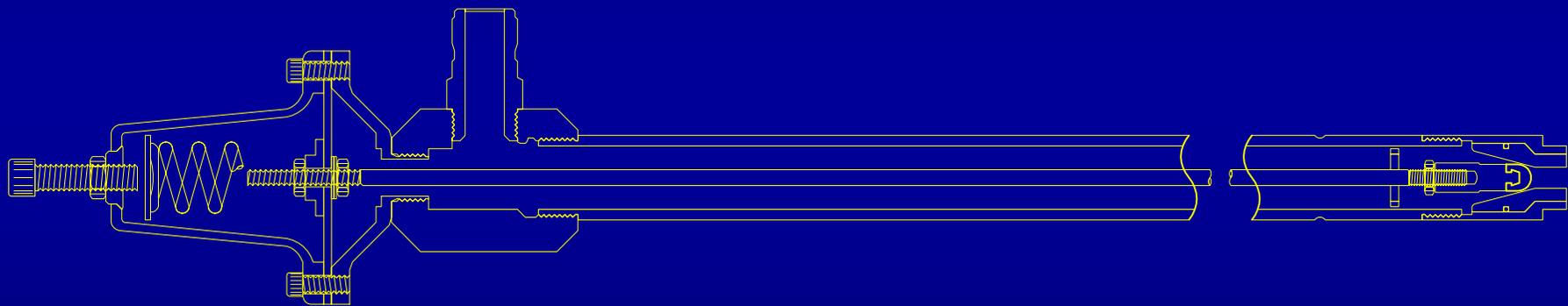
Water
Manifold

CPT SlamJet® модель SLJ-75

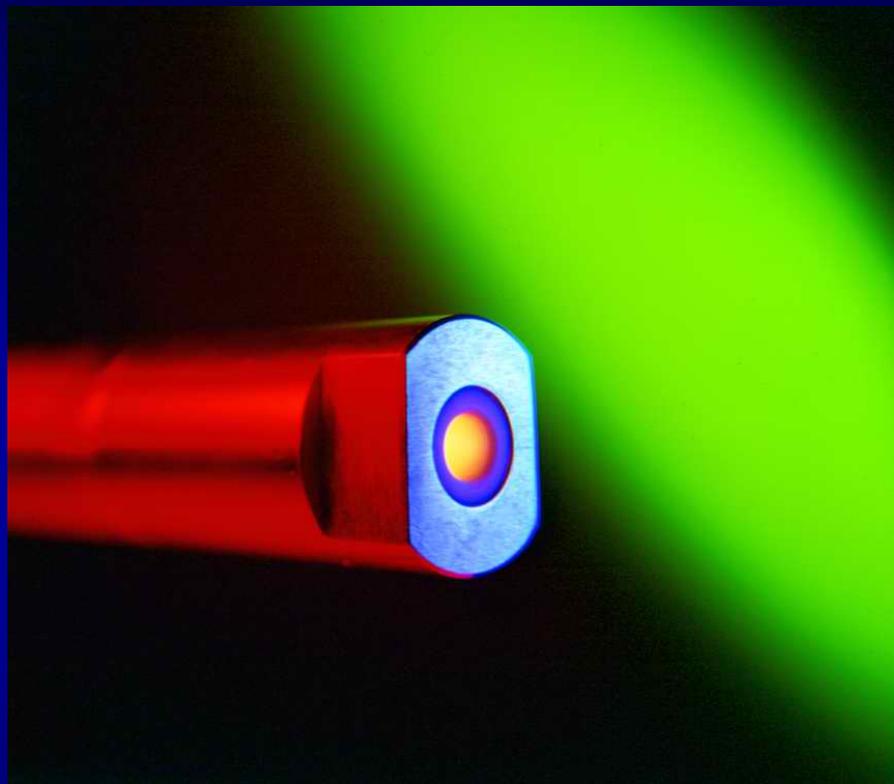


CPT SlamJet®

CXEMA



SlamJet®



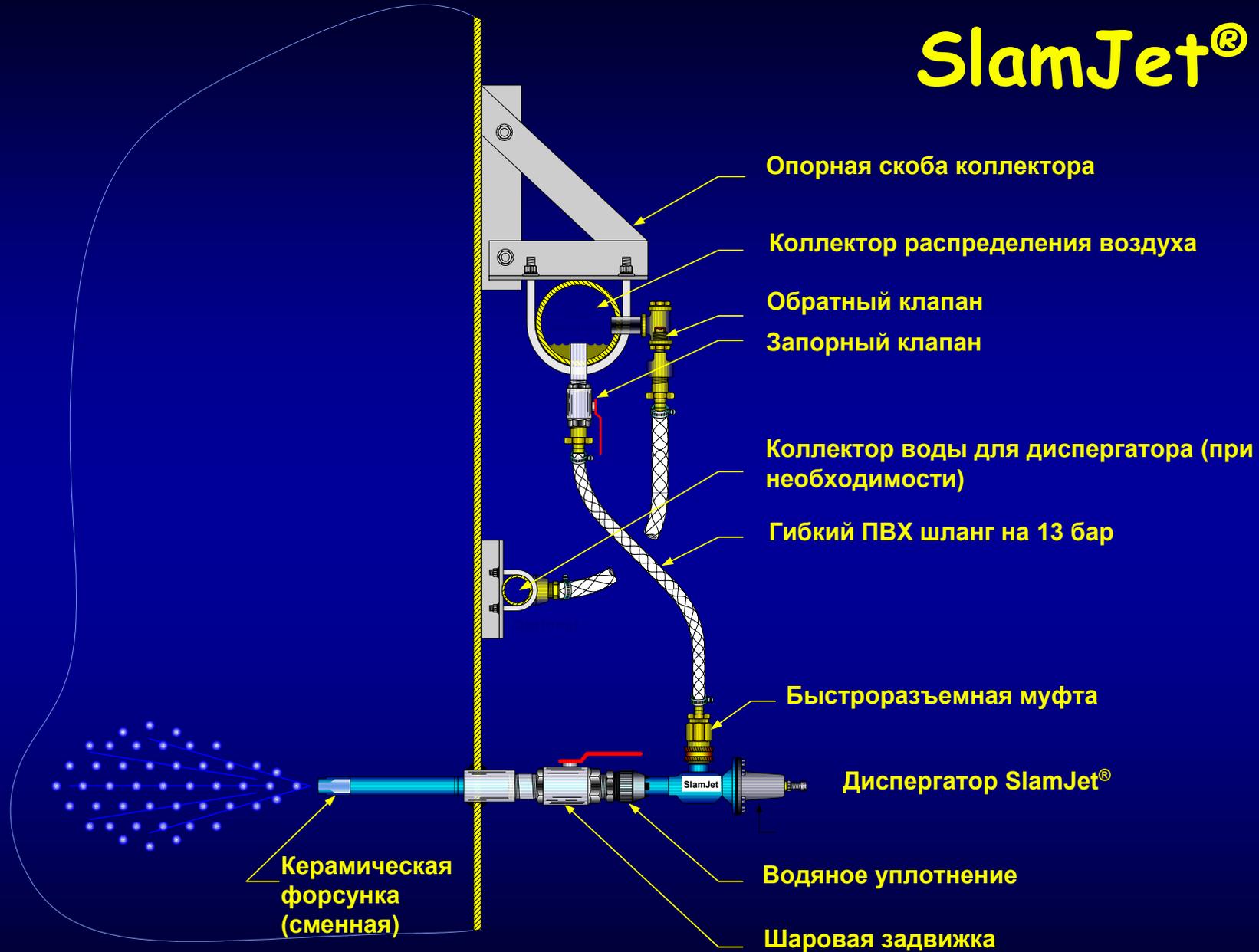
Форсунка с
керамической
вставкой

SlamJet®



Вид пузырьков

SlamJet®

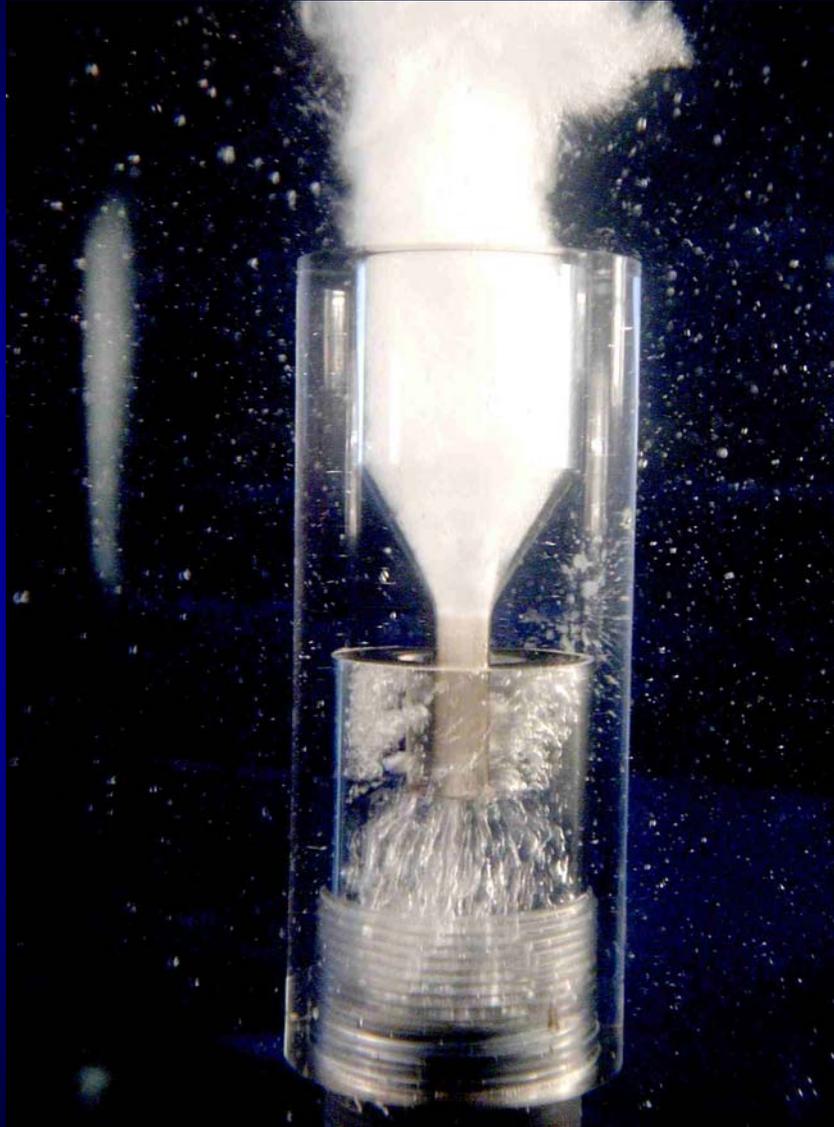


Продолжение исследований



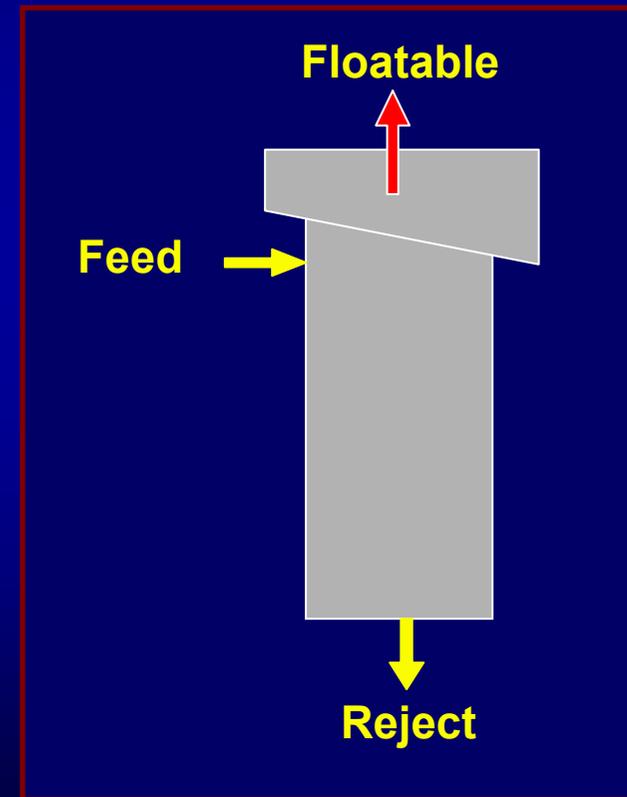
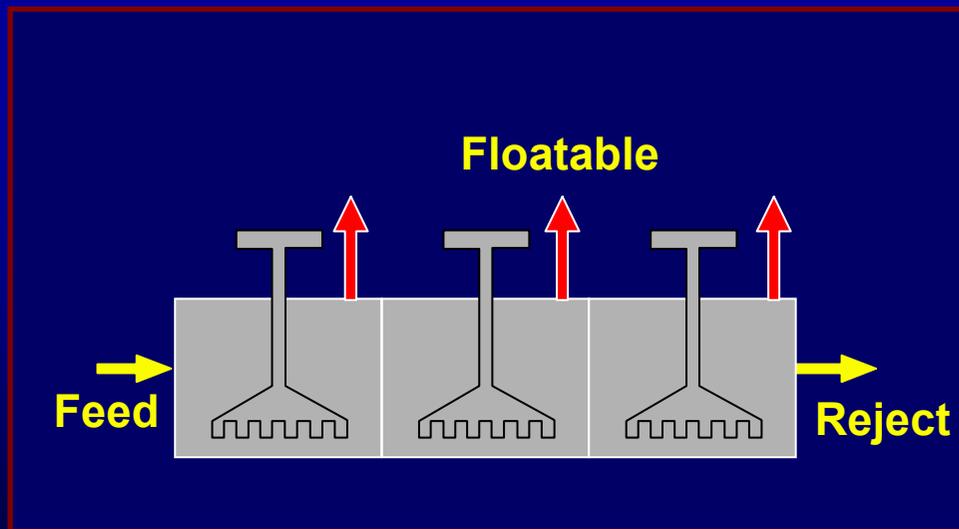
Варианты форсунок и вставок

Продолжение исследований



Кавитационная
труба

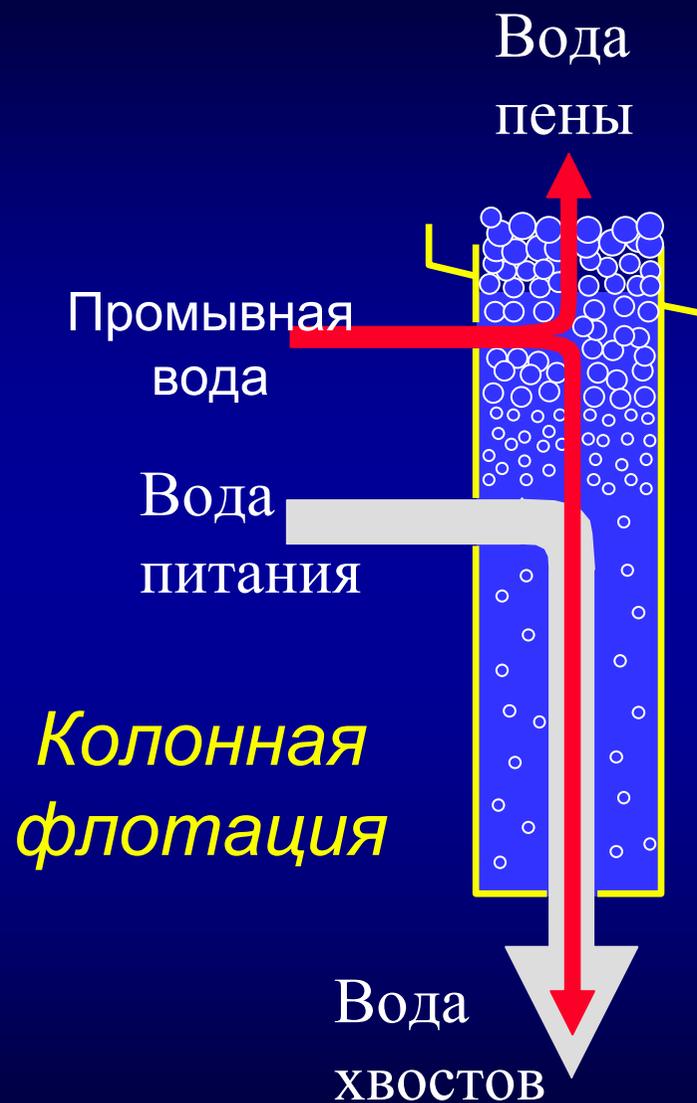
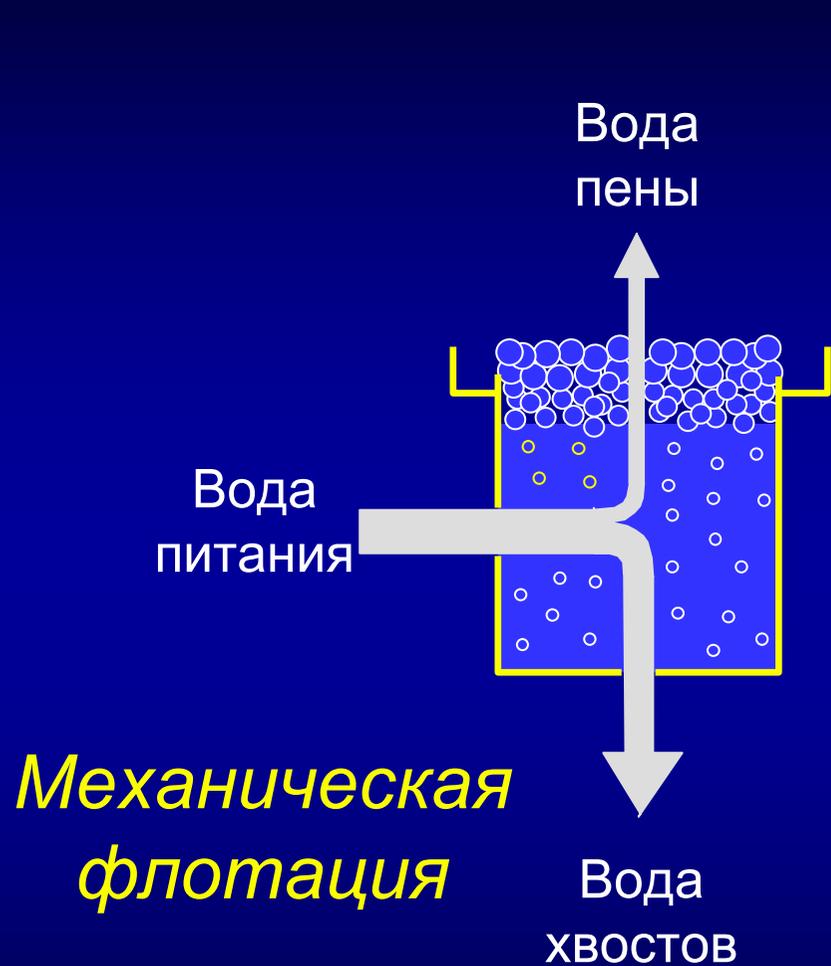
Выбор типоразмеров и дизайна



Выбор типоразмеров и дизайна

- ▶▶ Компанией СРТ проведены многочисленные исследования и накоплен огромный практический опыт по разработке дизайна камеры колонны и ее работе
 - ▶ Дизайн флотомашин многократно проверен на практике, опыт по дизайну колонн составляет более 75 человеко-лет
 - ▶ Более 350 колонн установлено по всему миру
 - ▶ Доказано успешное применение практически во всех установках
 - ▶ Для каждого применения проводится расчет несущей способности (C_a), времени флотации (NRT), нагрузки порога (C_l), нагрузки газа (C_g), удержания газа (E_g), приведенных скоростей питания (J_f), камерного продукта (J_{sl}), промывочной воды (J_w) и газа (J_g)

Концепция дизайна



Концепция дизайна

▶▶ Геометрия

- ▶ Высокое соотношение высоты к диаметру
- ▶ Высота от 8 до 16 м, диаметр до 5 м
- ▶ Квадратное или круглое сечение

▶▶ Пена

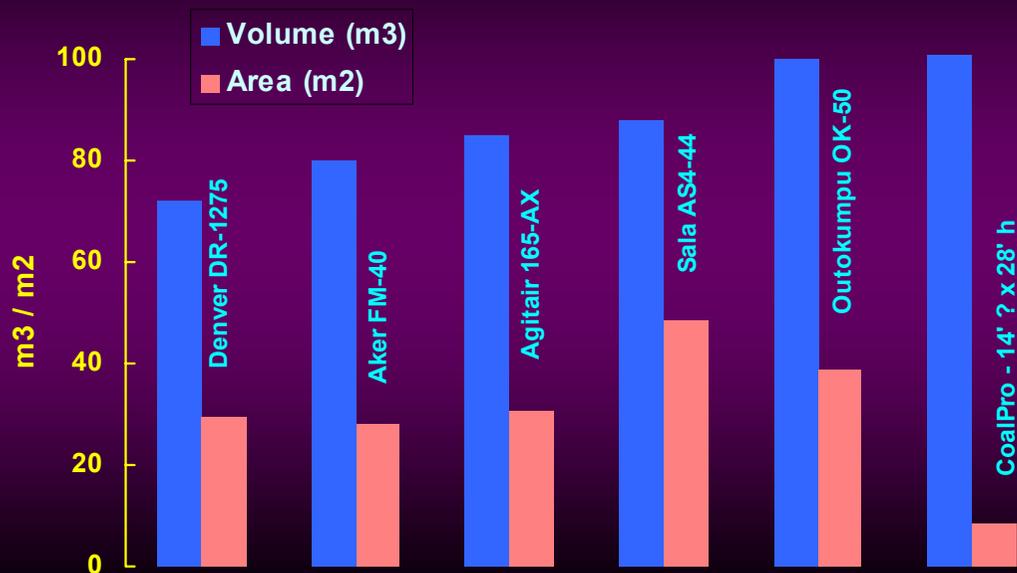
- ▶ Добавление промывной воды для минимизации захвата
- ▶ Вода увеличивает стабильность пены (глубина 1-2 м)

▶▶ Диспергация воздуха

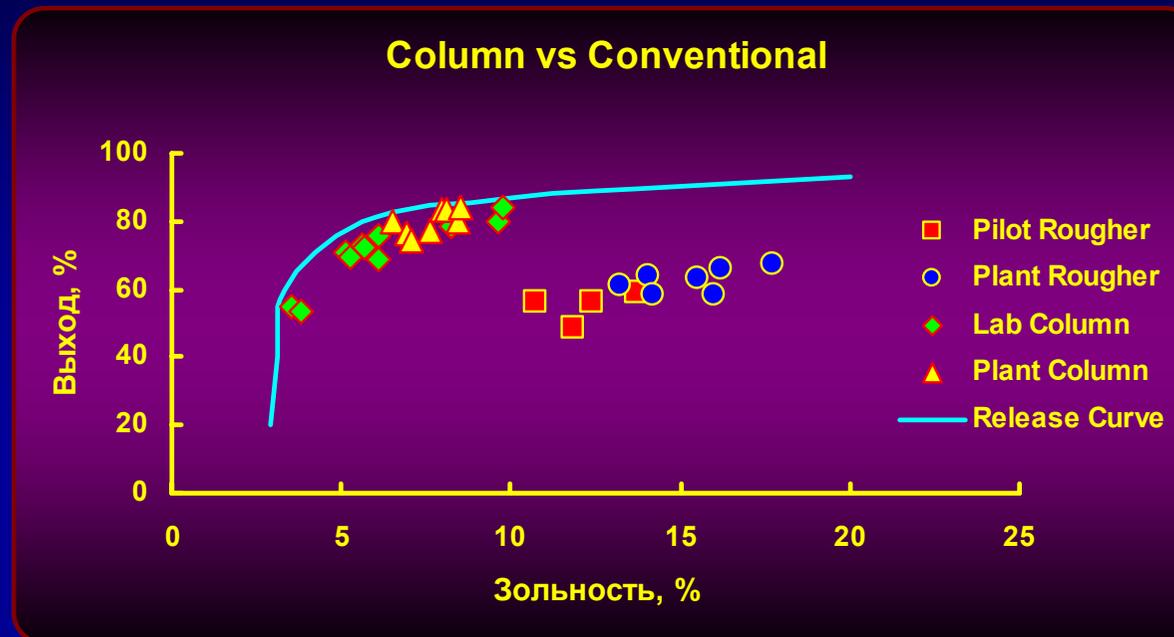
- ▶ Нет механического перемешивания
- ▶ Специально разработанный дизайн системы
- ▶ Для диспергаторов необходим сжатый воздух

Колонны и механические машины

Соотношение объема к занимаемой площади
Две механических камеры против одной колонны CoalPro



Колонны и механические машины



При сравнении работы колонных и механических флотомашин отмечается близость показателей работы колонных флотомашин к теоретической кривой угольной флотации

Ключевые параметры проектирования

- ▶▶ Несущая способность - C_a
 - ▶ Способность колонны транспортировать коллектированный материал к концентратному желобу
 - ▶ Определяется как скорость выхода концентрата на единицу площади
 - ▶ Измеряется в т/час на кв.м
 - ▶ C_a зависит от (прямо пропорциональна) удельному весу частиц и их размеру
 - ▶ Это означает, что при уменьшении размера частиц в 2 раза, производительность колонны также упадет в 2 раза

Ключевые параметры проектирования

▶▶ Несущая способность - C_a

▶ $C_a = 0.03 \rho d_{80}$

▶ ρ = плотность твердого (т/м³)

▶ d_{80} = диаметр частиц (μм)

▶ Эта формула была разработана в начальные периоды исследований колонной флотации. В последствии область ее применения была значительно сужена, поскольку она завышает C_a для тонких высокоплотных материалов (сульфиды) и завышает ее для легких грубых материалов (фосфаты)

Ключевые параметры проектирования

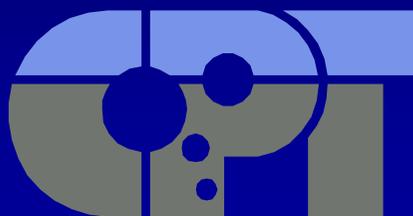
- ▶▶ Пример несущей способности
 - ▶ Тонкий галенит (уд.вес 7.5) при $d_{80}=45$ микрон дает $C_a = 10$ т/ч·м²
 - ▶ Опыт же многих работающих колонн показывает, что для полиметаллов максимальная практическая $C_a = 2.5$ т/ч·м²
 - ▶ В то же самое время нами достигается C_a до 10 т/ч·м² при апатитовой флотации, в то время, как по формуле получается лишь 5.

Ключевые параметры проектирования

▶▶ Другие параметры проектирования

- ▶ Компанией СРТ разработана огромная база данных по многим фабрикам мира, эта база данных позволяет правильно выбрать размеры колонн для обеспечения оптимальных технологических показателей
- ▶ При выборе размеров колонн необходимо учитывать также большое количество других параметров, в зависимости о конкретных условий того или иного производства

Опыт



Флотация минерального сырья

▶▶ Цветные и благородные металлы

▶ Cu, Ni, Pb, Zn, Mo, Nb, Au, Ag, Pt

▶▶ Железо

▶ Обратная флотация SiO_2

▶▶ Нерудное сырье

▶ Фосфаты, Каолин



**Samarco -
Бразилия**



Red Dog - США



ZCCM - Замбия



Toquepala - Перу

Извлечение органики

▶▶ Фабрики экстракции-осаждения (SX / EW)

- ▶ Применения на медных и никелевых фабриках
- ▶ Применяются для снижения содержания органических реагентов (выщелачивателей и керосина) в насыщенном электролите перед электролизом
- ▶ Значительное сокращение фронта последующей фильтрации
- ▶ Уменьшение потребления воды в цикле промывки фильтров
- ▶ Обычно 200 ppm уменьшается до 20 ppm



Radomiro Tomic - Чили



Konkola - Замбия

Сепарация нефти / воды

- ▶▶ Совместная программа с компанией Chevron
 - ▶ Успехи, полученные при извлечении органики привели к разработке камеры VOSCell (Vertical Oil Separation Cell - вертикальная камера для сепарации нефти)
 - ▶ Применяются на буровых платформах на шельфе
 - ▶ Содержание нефти в воде снижается с 1,000 ppm до <20 ppm за одну операцию



Береговая - Ангола

**На шельфе -
Мексиканский залив**



CoalPro Угольная флотация

Система колонной флотации оптимизирована для извлечения угля (от грубого до тонкого)

- ▶ Применение при обогащении рядовых углей и извлечение высокосортных тонкозернистых концентратов из хвостов обогащения
- ▶ Показатели работы колонны *CoalPro* обычно очень близки к теоретической кривой обогатимости (на 95%)



Coastal Coal - Kingwood



TECO - Clintwood Elkhorn



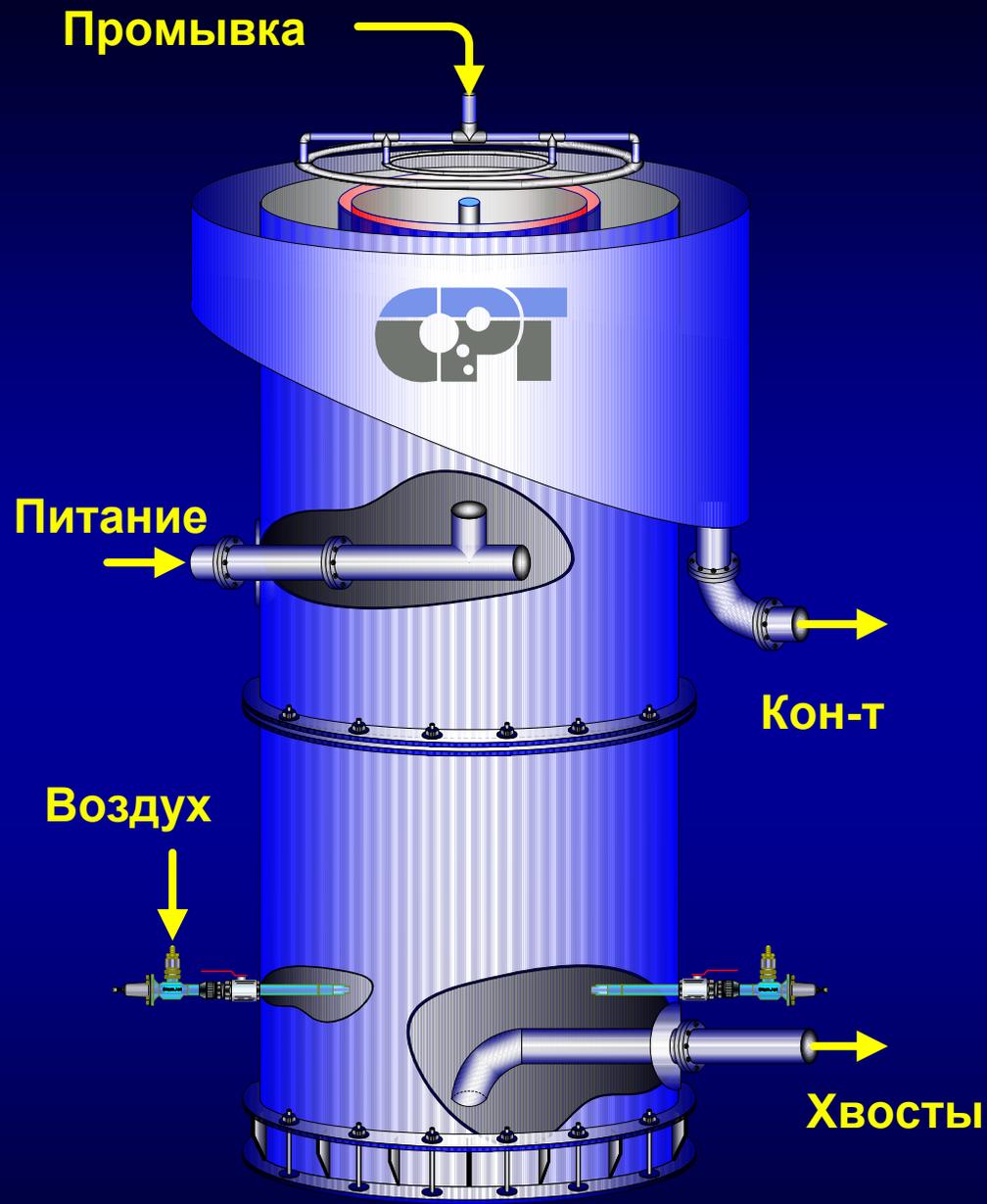
CWF Italia - Sardinia



Massey Coal - Power Mountain

Заключение

С момента появления первых флотационных колонн 30 лет назад произошли значительные изменения в теории и практике колонной флотации.



Column Hardware

- ✓ Детекция уровня
- ✓ Промывочная вода
- ✓ Распределение питания
- ✓ Транспорт пены
- ✓ Диспергация газа
- ✓ КИП и автоматика

