

621.9
С 90

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. С. М. КИРОВА

На правах рукописи

СУСЛОВ Сергей Леонидович

УДК 621.928.37

**ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ
И РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ
НА ЗАТРАТЫ ЭНЕРГИИ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ
ПРИ КЛАССИФИКАЦИИ СУСПЕНЗИЙ
В ГИДРОЦИКЛОНАХ**

05.17.08 — процессы и аппараты химической технологии

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск 1990

Работа выполнена в Белорусском ордена Трудового Красного Знамени технологическом институте им. С.М.Кирова и Белорусском филиале Всесоюзного научно-исследовательского и проектного института галургии.

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор ЕРШОВ А.И.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор ПЛЕХОВ И.М.;
кандидат технических наук,
доцент ПИЛОВ П.И.

Ведущая организация: ПО "Белорускалий" имени 50-летия
СССР.

Защита диссертации состоится "6 февраля 1990 г.
в 14 часов на заседании специализированного совета
К.053.01.03 при Белорусском ордена Трудового Красного Зна-
мени технологическом институте им. С.М.Кирова по адресу:
220630, г. Минск, ул. Свердлова, 13,а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белор-
русского ордена Трудового Красного Знамени технологического
института им. С.М.Кирова.

Автореферат разослан "2 января 1990 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
к.х.н., с.н.с.

Е.Д.Зуба

ДЗУБА Е.Д.

А Н Н О Т А Ц И Я *

В диссертационной работе изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований по влиянию конструктивных и режимных параметров на затраты энергии и технологические показатели при классификации суспензий в гидроциклонах.

На основе изучения научной информации о механизме разделения гетерогенных систем в аппаратах циклонного типа и теоретического анализа движения закрученного потока внутри гидроциклонов определены пути совершенствования их конструкций.

Теоретически и экспериментально исследовано влияние способа подвода питания и габаритов сепарационной зоны гидроциклона, как на его гидродинамические характеристики, так и на технологические показатели разделения.

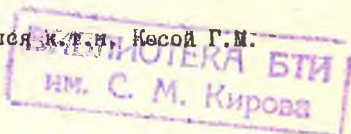
Выведена аналитическая зависимость для определения изменения давления в гидроциклоне с учетом конструктивных и режимных параметров аппарата. Получено регрессионное уравнение для определения коэффициента гидравлического сопротивления гидроциклона и последующего расчета затрат энергии на преодоление гидравлического сопротивления.

На специально созданной лабораторной установке экспериментально исследовано влияние конструкции подвода питания, длины сепарационной зоны и угла наклона гидроциклона на структуру потока в различных сечениях по высоте аппарата и на показатели разделения суспензий. В результате обработки опытных данных получено расчетное уравнение для нахождения производительности усовершенствованного гидроциклона или его оптимальных геометрических размеров при заданной производительности.

Разработана конструкция многосекционного гидроциклона со спиральным подводом питания и полиуретановой футеровкой типа СВП. Изготовлена партия гидроциклонов диаметром 500 (СВП-500) и 710 мм (СВП-710). Промышленные испытания гидроциклонов СВП-500 и СВП-710 показали, что они обеспечивают более высокие показатели, чем серийные гидроциклоны ГЦР-500.

Гидроциклоны СВП-710 внедрены на обогатительных фабриках ПО "Белорускалий" в операции первой стадии обесшламлива-

* Научным консультантом по работе являлся М. И. Носой Г. М.



ния измельченной руды. Экономический эффект от внедрения гидроциклонов составил 118,9 тыс.руб.

Автор защищает:

установленные закономерности движения циклонного потока в гидроциклоне с удлинённой зоной разделения и спиральным подводом питания;

результаты аналитических и экспериментальных исследований по влиянию конструктивных параметров аппарата на гидравлическое сопротивление и затраты удельной энергии на преодоление сопротивления гидроциклона;

результаты экспериментальных исследований по влиянию конструкции подвода питания, длины сепарационной зоны и угла наклона оси гидроциклона на показатели разделения;

уточнённую зависимость для расчёта общей производительности гидроциклона;

конструкцию многосекционного гидроциклона со спиральным подводом питания.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на период до 2000 года указывается, что главная задача двенадцатой пятилетки состоит в повышении темпов развития народного хозяйства на базе ускорения научно-технического прогресса, технического перевооружения и реконструкции производства. Для решения поставленной задачи в различных отраслях химической технологии, включая и производство минеральных удобрений, необходимо повышение эффективности и интенсификации технологических процессов, создание более совершенных конструкций аппаратов с улучшенными технико-экономическими показателями.

В связи с этим важное значение для производства калийных удобрений приобретают исследования и разработки высокоэффективного оборудования для процессов разделения и классификации гетерогенных систем. Практика обогащения калийных руд в СССР и за рубежом показала, что гидроциклоны являются перспективными аппаратами для различных технологических операций. Их отличает высокая производительность, отсутствие движущихся частей, компактность, простота и лёгкость обслуживания, относительно небольшая стоимость.

Однако, типовые гидроциклоны отечественного производ-

ства не удовлетворяют полностью современным требованиям по производительности и другим технологическим показателям, что объясняется недостаточной изученностью влияния таких конструктивных параметров аппаратов как длина сепарационной зоны, конструкция камеры подвода питания и угол их установки на качество работы. Поэтому продолжение исследований по совершенствованию конструкций гидроциклонов является вполне обоснованным и актуальным.

Работа выполнена в соответствии с планом НИР ВО "Союзкалий" и тематическим планом работы института ВФ ВНИИГалургии "Разработка и внедрение технологии и оборудования мокрой подготовки руды со снижением содержания класса 0,1-0 мм до 20 % и нерастворимого остатка в питании флотации до 1,6-1,9 % на ПО "Белорускалий" (заказ-наряд В 04807700511).

Цель работы - создание совершенной конструкции гидроциклона, обеспечивающей снижение гидравлического сопротивления и повышение показателей разделения, на основании результатов исследований влияния конструктивных параметров аппарата на гидродинамические характеристики, на затраты энергии и технологические показатели классификации.

Научная новизна. Аналитически и экспериментально установлено влияние конструкции подвода питания и длины сепарационной зоны гидроциклона на структуру потоков и гидродинамические характеристики в объеме аппарата. Предложено регрессионное уравнение для определения коэффициента гидравлического сопротивления гидроциклона и последующего расчета затрат энергии на преодоление сопротивления гидроциклона. Изучено влияние угла наклона оси аппарата на технологические показатели разделения и на оптимальное соотношение конструктивных размеров гидроциклона. Получено уточненное уравнение для определения общей производительности гидроциклонов, учитывающее конструкцию подвода питания и длину аппарата. Предложены направления интенсификации процесса классификации суспензий в гидроциклоне.

Практическая ценность и реализация результатов исследований. В результате выполненных исследований разработана конструкция многосекционного гидроциклона со спиральным подводом питания, защищенная авторскими свидетельствами № 808161 и № 1024111. Изготовлена партия гидроциклонов диаметром 500 и 710 мм с полиуретановой футеровкой.

Результаты промышленных испытаний разработанных гидроциклонов СВП-500 и СВП-710 показали, что они обеспечивают более высокие результаты по всем показателям: классификации, обесшламливания и обезвоживанию по сравнению с серийными гидроциклонами ГЦР-500. Экономический эффект от внедрения гидроциклонов СВП-710 в операции первой стадии обесшламливания руды на обогатительных фабриках ПО "Белорускалий" составил 118,9 тыс.руб.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены на Всесоюзной совещании "Интенсификация подготовительных магнитных и гравитационных процессов обогащения" (г.Днепропетровск, 1980); на I Всесоюзном симпозиуме "Исследование и промышленное применение гидроциклонов" (г.Горький, 1980); на Всесоюзном совещании "Калийные удобрения и их эффективное использование" (г.Солигорск, 1988); отраслевой конференции "Совершенствование технологии и оборудования для обогащения калийных руд" (г.Пермь, 1989); на 49-й, 50-й, 54-й научно-технических конференциях по итогам научно-исследовательских работ БТИ (г.Минск, 1984, 1985, 1989 гг.).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 10 статей, получено 2 авторских свидетельства.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы (108 наименований) и приложения, в котором представлены акт внедрения гидроциклонов и расчет фактического экономического эффекта от внедрения гидроциклонов. Диссертация изложена на 158 страницах, содержит 41 рисунок и 13 таблиц. Названия глав в диссертации и автореферате совпадают.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение

Во введении сформулированы направление исследований и цель работы, актуальность и связь с отраслевыми программами, указаны основные результаты, научная новизна и прикладная значимость, практическое использование и экономическая эффективность.

1. Влияние конструктивных и режимных параметров на гидродинамику потока в гидроциклоне

Взвешенные частицы, поступающие в гидроциклон с потоком жидкости, вовлекаются в сложное пространственное движение, характер которого во многом определяется гидродинамикой потока в объеме аппарата. Этим объясняется должное внимание исследователей, посвященное изучению структуры циклонных потоков, включая работы Д.Ф.Келсалла, Ф.Д.Фонтейна, К.Дийксмана, А.А.Кузнецова, И.Н.Хусаинова, К.Риетема, М.Дриссена, М.Г.Блурра, Д.В.Ингхама, А.И.Поварова, Д.Бредли и других. Результаты исследований вышеприведенных авторов и самостоятельный анализ движения закрученного потока внутри гидроциклонов позволили наметить пути совершенствования их конструкций.

Существующие конструктивные варианты гидроциклонов, как показали результаты сравнительных экспериментальных исследований, практически не отличаются ни по технологическим показателям, ни по производительности.

Одним из путей создания более перспективной конструкции является дальнейшее совершенствование камеры подвода питания, обеспечивающее равномерный, осесимметричный ввод суспензии в зону разделения и максимальную скорость вращения при минимальных затратах энергии.

Из закона сохранения момента количества движения, для обеспечения минимальных потерь напора при вводе суспензии в гидроциклоны, форма наружной стенки спиральной камеры должна быть выполнена в соответствии с уравнением:

$$r = (R - \alpha) \cdot \left(\frac{R + \beta}{R - \alpha} \right)^{\frac{\theta}{2\pi}}, \quad (I)$$

где r - полярный радиус, м;

R - радиус цилиндрической части гидроциклона, м;

α - толщина футеровки, м;

β - ширина входного отверстия, м;

θ - угол охвата спиральной камеры корпуса аппарата, рад.

Экспериментальные исследования и визуальные наблюдения позволили разработать нам новый спиральный подвод питания, обеспечивающий свободный ввод поступающего потока в сепарационную зону и устранение воздействия закрученного циркуляционного потока на поступающий поток. Конструкция подвода питания представляет собой спиральную камеру с углом охвата

корпуса $\theta = 2\pi$, наружная стенка которой продолжена за входное отверстие внутри аппарата коаксиально ей.

Не менее важным конструктивным параметром гидроциклона является длина сепарационной зоны L_{ou} , в связи с противоречивой оценкой различными исследователями влияния данного параметра на эффективность процесса разделения и на энергетические затраты.

В задачу наших исследований при изучении гидродинамических характеристик циклонного потока входило определение влияния конструктивных и режимных параметров как на структуру потока в сепарационном пространстве и характер изменения отдельных составляющих скорости, так и на условия разделения фаз в системе.

Экспериментальные исследования проводились на лабораторной установке. В качестве модели использовался гидроциклон, изготовленный из прозрачного оргстекла диаметром 0,1 м со сменным тангенциальным и разработанным спиральным подводами питания. Набор цилиндрических вставок позволял менять длину сепарационной зоны в пределах $L_{ou}/D = 2,65-5,65$.

Измерения проводились зондами полного и статического давления диаметром 2 мм. Кроме того, для определения направления потока в локальных точках объема аппарата использовался нитевой метод, заключающийся в визуальном наблюдении за отклонениями эластичной нити, закрепленной на игле, вводимой в аппарат, путем проектирования ее на измерительную сетку, нанесенную на прозрачную пластину.

Сравнительные исследования проводились при одинаковых скоростях ввода жидкости в гидроциклон $U_e = const$, т.е. при одинаковой подаче, и при постоянном давлении на входе в аппарат $P_e = const$, т.е. при постоянных энергетических показателях работы гидроциклона.

В соответствии с поставленной задачей получено распределение полей скоростей и давлений в различных сходственных сечениях гидроциклона, определены диаметры воздушного столба и поверхности нулевых осевых скоростей.

На рис. 1 а, б представлены характерные эпюры распределения тангенциальной и осевой скоростей в одном из сечений гидроциклона с тангенциальным подводом питания и с разработанным спиральным подводом питания и удлиненной зоной сепарации $L_{ou}/D = 5,65$ при $P_e = const$.

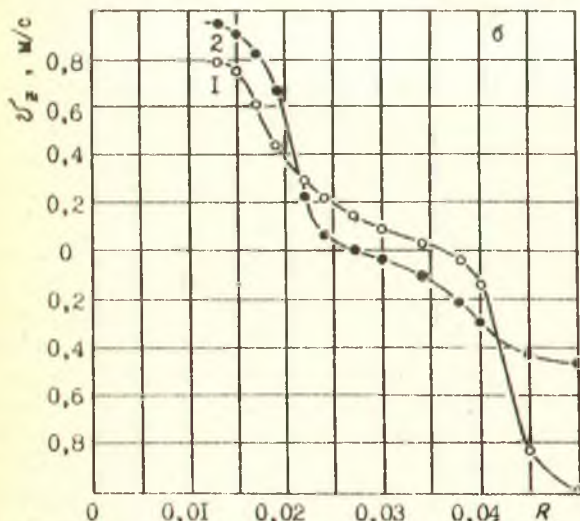
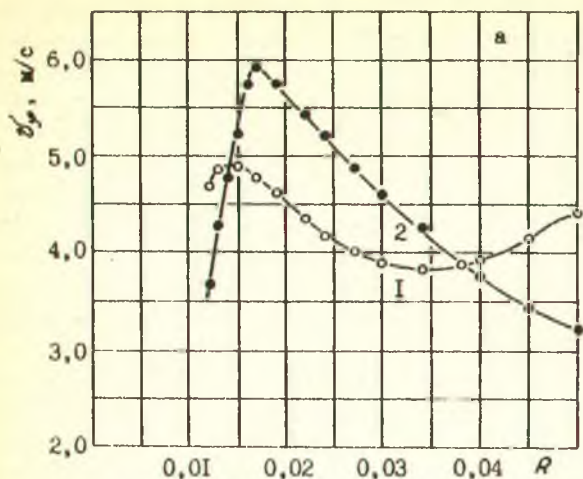


Рис. 1. Изменение тангенциальной v_t (а) и осевой v_z (б) составляющих скорости вдоль радиуса гидроциклона R в цилиндрической части аппаратов при $P_0 = const$.

1 - спиральный подвод питания, $L_{ou}/D = 5,65$;

2 - тангенциальный подвод питания, $L_{ou}/D = 2,65$.

На основании полученных результатов и визуальных наблюдений на прозрачной модели были сделаны следующие выводы. Разработанная конструкция спирального подвода питания с углом закрутки спиральной камеры $\Theta = 33^\circ$ обеспечивает предварительное закручивание входящего потока и свободный безударный ввод в сепарационную зону, где происходит плавное слияние его с циркулирующим потоком. С применением спирального подвода питания достигается снижение полного и статического давления в объеме аппарата, обуславливающее уменьшение гидравлического сопротивления гидроциклона по сравнению с гидроциклоном с тангенциальным подводом питания. При этом тангенциальные скорости изменяются незначительно.

Увеличение длины сепарационной зоны гидроциклона приводит к снижению полного и статического давления в аппарате, а также к снижению общего сопротивления гидроциклона. Наблюдается уменьшение осевой составляющей скорости внутреннего винтового потока. В результате чего, время пребывания частиц в аппарате увеличивается пропорционально длине сепарационной зоны. При совокупности изменений всех перечисленных параметров при постоянных энергетических показателях работы гидроциклона (при $P_e = const$), достигается положительный эффект как по крупности разделения, так и по выходу твердой фазы в осветленный продукт при увеличении общей производительности аппарата.

2. Влияние конструктивных и режимных параметров на затраты энергии при разделении суспензий в гидроциклоне с улучшенными характеристиками

Эффективность разделения и производительность гидроциклонов зависят от затрат энергии на движение суспензии в корпусе аппарата, т.е. от потерь напора на преодоление гидравлических сопротивлений. Известно, что гидравлическое сопротивление гидроциклона зависит от характера изменения давления вдоль радиуса аппарата. Для оценки энергетических показателей гидроциклонов проведены аналитические и экспериментальные исследования по изучению влияния конструктивных и режимных параметров на характер изменения давления в аппарате и его сопротивление.

Из уравнения Бернулли в форме для идеальной жидкости с допущениями, что движение в аппарате является установившимся, безвихревым и осесимметричным, линии тока которого представ-

ляют собой концентрические окружности, получена зависимость изменения давления в гидроциклоне от конструктивных параметров аппарата:

$$\rho = \frac{3 \cdot \rho \cdot v_e^2 \cdot \left(\frac{d_e}{D}\right)^2}{\left(\frac{L}{D}\right)^{0,64}} \cdot \left(\frac{D^{1,6}}{0,8 \cdot d_o^{1,6}} - 1\right). \quad (2)$$

где ρ - плотность суспензии, кг/м³; v_e - скорость суспензии в питающем патрубке, м; d_e - диаметр питающего патрубка, м; D - диаметр цилиндрической части гидроциклона, м; L - длина цилиндрической части гидроциклона, м; d_o - диаметр сливного патрубка, м.

Согласно уравнению (2) увеличение длины цилиндрической части гидроциклона приводит к снижению давления, а следовательно и гидравлического сопротивления, что согласуется с результатами исследований структуры циклонного потока на опытной модели.

Экспериментальные исследования энергетических характеристик гидроциклонов проводились на моделях аппаратов диаметром 0,1 м. Измерения мощности, потребляемой электродвигателем насоса на подачу суспензии в гидроциклон, осуществлялись механическим способом, основанным на измерении числа оборотов и крутящего момента на валу электродвигателя насоса. Для обработки результатов использовался графо-аналитический метод оценки отдельных составляющих общего напора, развиваемого насосом. Влияние длины сепарационной зоны гидроциклона изучалось в пределах $L_{ou}/D = 2,65-5,65$, диаметров сливного патрубка в пределах $d_o/D = 0,3-0,4$, песковой насадки в пределах $d_u/D = 0,12-0,28$, питающего патрубка в пределах $d_e/D = 0,19-0,27$, конструкции подвода питания и режимных параметров, оцениваемых числом Фруда в пределах 5,3-87,2, что соответствует режимам работы промышленных гидроциклонов диаметром 0,5 и 0,71 м.

Установлено, что с увеличением конструктивных параметров гидроциклона (L_{ou} , d_o , d_e , d_u), сопротивление аппарата снижается. Вместе с тем известно, что увеличение d_e и d_o приводит к увеличению крупности разделения и выходу твердой фазы в слив, а увеличение d_u приводит к увеличению выхода жидкой фазы в сгущенный продукт. Только длина сепарационной зоны L_{ou} является единственным геометрическим параметром, уве-

личение которого приводит к одновременному снижению сопротивления аппарата, уменьшению крупности твердых частиц в сливе и повышению эффективности классификации.

Разработанная конструкция спирального подвода питания снижает сопротивление гидроциклона по сравнению с серийно выпускаемыми аппаратами.

В результате обработки экспериментальных данных на ЭВМ, получено регрессионное уравнение для определения коэффициента гидравлического сопротивления гидроциклона:

$$K_{гч} = 0,4 \cdot \left(\frac{L_{04}}{D}\right)^{-0,84} \cdot \left(\frac{d_0}{D}\right)^{-1,55} \cdot \left(\frac{d_e}{D}\right)^{-2,04} \cdot \left(\frac{d_u}{D}\right)^{-0,24} \cdot Fr^{0,08} \cdot A^{0,21}, \quad (3)$$

где A - коэффициент, равный для разработанного спирального подвода питания 2,718, а для тангенциального подвода питания $A = 7,389$.

Для уравнения (3) в логарифмических координатах коэффициент множественной корреляции $R = 0,993$, критерий Фишера $F = 900$, стандартная ошибка оценки $\delta_n = 0,039$, среднеквадратическое отклонение $\delta_{\ln y} = 0,34$.

3. Влияние конструктивных и режимных параметров гидроциклона на показатели классификации суспензии

Приводятся результаты экспериментальных исследований влияния конструкции подвода питания, длины сепарационной зоны и угла наклона гидроциклона на технологические показатели классификации.

Согласно вышеизложенному материалу, поиски путей совершенствования конструкции узлов гидроциклона привели к разработке нового аппарата с спиральным подводом питания (а.с. № 808161) и многосекционного гидроциклона с удлиненной сепарационной зоной (а.с. № 1024111), обладающих улучшенными рабочими характеристиками.

В задачу исследований на данном этапе входило экспериментальное подтверждение аналитических положений и определение оптимальных соотношений конструктивных параметров отдельных узлов гидроциклона.

Исследования проводились на моделях аппаратов диаметром 0,1 м. В качестве базовой модели использовался гидроциклон с тангенциальным подводом питания.

При определении параметров спирального подвода питания

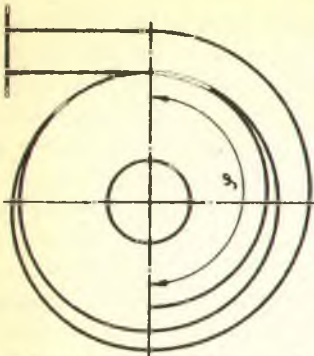


Рис.2. Схема разработанной конструкции спирального подвода питания

изучалось влияние угла закрутки внутренней стенки спиральной камеры φ (рис.2) на производительность и технологические показатели. Установлено, что оптимальным является угол $\varphi = 180^\circ$. При этом общий угол закрутки спиральной камеры составляет 3π .

Данная конструкция обеспечивает увеличение объемной производительности гидроциклона на 22,7 % при одинаковых технологических показателях классификации.

При изучении влияния габаритов сепарационной зоны на показатели разделения в качестве переменного параметра принималась длина цилиндрической части гидроциклона L . Набор цилиндрических вставок позволял изменять относительную длину цилиндрической части в широких пределах $L/D = 0,75-6,0$, при этом относительная длина сепарационной зоны изменялась в интервале $L_{ou}/D = 2,65-7,9$. Анал



Рис.3. Влияние длины сепарационной зоны L_{ou}/D гидроциклона на показатели разделения.

1 - эффективность обезвоживания, $E_{г}$; 2 - выход твердого в слив, $E_{т}$; 3 - эффективность классификации, $E_{к}$; 4 - содержание класса $-0,05$ мм в сливе, $E_{п}$; 5 - производительность гидроциклона, Q .

результатов исследований показывает (рис.3), что при $L_{ou}/D = 6,0-6,5$ содержание тонких классов в сливе, выход твердой фазы в слив и эффективность классификации и обезвоживания имеют экстремальные значения. Максимальному содержанию тонких классов и минимальному выходу твердой фазы в слив соответствует максимальная эффективность классификации. В оптимальных условиях производительность гидроциклона увеличивается в 1,4 раза.

Таким образом, длина сепарационной зоны гидроциклона является единственным геометрическим параметром, увеличение

которого приводит к росту производительности аппарата при снижении крупности твердых частиц в сливе и высокой эффективности классификации. При этом отрицательным эффектом увеличения длины зоны сепарации является возрастание гидростатического давления столба жидкости на песковую насадку, что вызывает увеличение выхода жидкой фазы в сгущенный продукт. Устранения отрицательного эффекта можно достичь изменением угла установки аппарата. Опытами по изучению влияния угла наклона аппарата на показатели классификации установлено, что при факторах разделения $f = 20-35$, характерных для промышленных гидроциклонов, угол наклона оказывает существенное влияние на технологические показатели. При установке аппарата, близкому к горизонтальному, внешние факторы: давление, колебания нагрузки - практически не влияют на качество пескового продукта. При этом диаметры песковой насадки d_u и сливного патрубка d_o необходимо увеличить по эмпирической зависимости:

$$\frac{d_u}{D} = \left(\frac{d_u}{D} \right)_0 + 0,0458 \cdot \beta, \quad (4)$$

$$\frac{d_o}{D} = \left(\frac{d_o}{D} \right)_0 + 0,1058 \cdot \beta, \quad (5)$$

где β - угол наклона оси гидроциклона в радианах; $\left(\frac{d_u}{D} \right)_0$ - отношение диаметра песковой насадки к диаметру гидроциклона при вертикальном положении аппарат; $\left(\frac{d_o}{D} \right)_0$ - отношение разгрузочных отверстий при вертикальном положении гидроциклона.

В результате обработки экспериментальных данных получено уточненное уравнение для расчета производительности гидроциклона, учитывающее длину аппарата и конструкцию спирального подвода пития:

$$Q = 0,33 \cdot K_D \cdot \left(\frac{L_{ou}}{2,7 \cdot D} \right)^{0,36} \cdot d_e \cdot d_o \cdot \sqrt{g \cdot \Delta \rho}, \quad (6)$$

где K_D - поправочный коэффициент на диаметр гидроциклона:

$$K_D = 0,8 + \frac{1,2}{1 + 0,1 \cdot D} \quad (7)$$

4. Опытнo-промышленные испытания исследованных гидроциклонов и практическая реализация результатов исследований

На основании проведенных исследований разработан типоразмерный ряд гидроциклонов СВП-500 и СВП-710 (рис.4) с про-

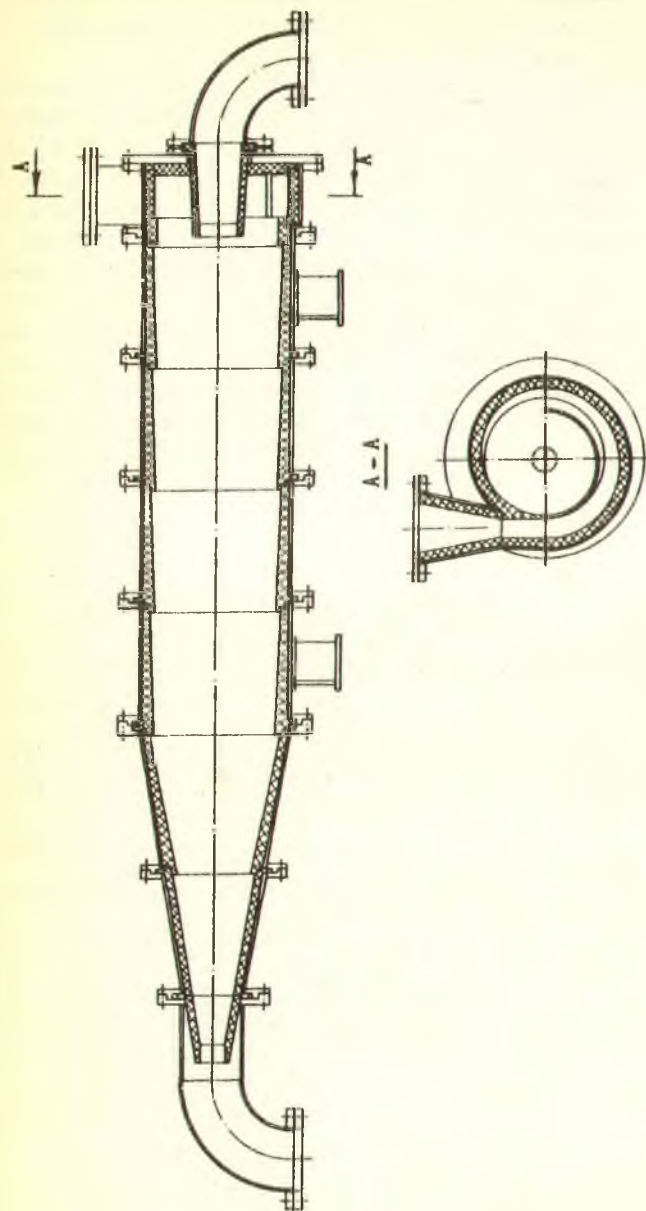


Рис. 4. Общий вид гидроциклона типа СВП

изводительностью, соответствующей подаче грунтовых насосов ГрТ-400/40 и ГрТ-800/40, применяющихся в настоящее время на обогатительных фабриках.

По заказу производственного объединения "Белорускалий" на Рузавском заводе "Химмаш" изготовлена партия гидроциклонов СВП-500 и СВП-710. Испытания гидроциклонов СВП-710 проводились на обогатительной фабрике 2-го рудоуправления ПО "Белорускалий" в первой стадии обесшламливания измельченной сильвинитовой руды параллельно с тремя серийными гидроциклонами ГЦР-500 Усольского завода горного оборудования, работающими в этой операции.

Установлено, что гидроциклоны СВП-710 обеспечивают снижение крупности разделения, выхода твердой фазы в слив на 5,8 %, содержания нерастворимого остатка в песковом продукте на 0,2 %. Эффективность обесшламливания повышается на 3,8 %, эффективность обезвоживания на 3,7 %.

На основании результатов испытаний в 1987 году начато внедрение гидроциклонов СВП-710 на обогатительных фабриках ПО "Белорускалий" в операции первой стадии обесшламливания.

Фактический экономический эффект от внедрения гидроциклонов СВП-710 на обогатительных фабриках ПО "Белорускалий" за 1988 год составил 118,9 тыс.рублей.

Испытания гидроциклонов СВП-500 проводились в операции обезвоживания хвостов флотации параллельно с гидроциклонами ГЦР-500 и ГЦ-500К.

Высокие технологические показатели процесса обезвоживания хвостов флотации в гидроциклоне СВП-500: низкий выход твердой фазы в слив (8-10 %), высокая концентрация твердой фазы в песках (62,1-66,2 %) - позволили рекомендовать их для внедрения на обогатительных фабриках вместо серийных гидроциклонов ГЦР-500 и ГЦ-500К.

ВЫВОДЫ

1. Широкое применение типовых гидроциклонов для классификации и разделения суспензий в производстве калийных удобрений сдерживается как технологическими показателями их работы, так и отсутствием надежных методов расчета.

2. Анализ современного состояния теории и практики разделения суспензий в гидроциклонах позволил разработать на уровне изобретений (а.с. СССР №№ 808161, 1024111) новые кон-

структивные решения, обеспечивающие интенсификацию процесса классификации и снижение энергозатрат на проведение процесса.

3. Экспериментально установлены закономерности влияния длины сепарационной зоны гидроциклона и усовершенствованного спирального подвода питания на структуру циклонного потока и технологические показатели. В частности, увеличение относительной длины аппарата L_{rc}/D позволяет снизить гидравлическое сопротивление и выход твердой фазы в осветленный продукт, а новая форма спирального подвода питания снижает гидравлическое сопротивление при неизменных технологических показателях классификации.

4. Исследованиями установлено, что при относительной длине сепарационной зоны $L_{oc}/D = 5,5-6,5$, обеспечивающей максимальную эффективность классификации и обезвоживания, производительность гидроциклона увеличивается на 40 % по сравнению с типовыми конструкциями.

5. Согласно исследованиям, угол наклона гидроциклона, работающего при факторах разделения $\beta = 20-30$, оказывает заметное влияние на содержание тонких фракций и концентрацию твердой фазы в продуктах разделения. При положении аппарата близком к горизонтальному, колебания нагрузки и давления в системе практически не влияют на качество пескового продукта.

6. Получены уточненное уравнение для определения производительности гидроциклона и регрессионное уравнение для расчета коэффициента гидравлического сопротивления и затрат энергии на проведение процесса в гидроциклоне.

7. При промышленных испытаниях усовершенствованных гидроциклонов СВП-710 подтвердились результаты исследований, достигнуты повышенные показатели по классификации, обесшламливанию и обезвоживанию суспензии. Экономический эффект от внедрения гидроциклонов СВП-710 на обогатительных фабриках ЦО "Белорускалий" составил 118,9 тыс. руб.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Косой Г.М., Суслов С.Л., Мелихова Э.П. Интенсификация процессов гидромеханической классификации в наклонных вихревых гидроциклонах большой длины // Интенсификация подготовительных, магнитных и гравитационных процессов обогащения: Тез. докл. - М., 1980. - С. 164-165.

2. Косой Г.М., Мелихова Э.П., Суслов С.Л. Испытание и

внедрение наклонных гидроциклонов для обесшламливания глинисто-солевых суспензий и обезвоживания хвостов флотации // Калийная промышленность: Науч.-техн.реф.сб. - М.: НИИТЭХИМ, 1980. - Вып.3. - С. 8-11.

3. Косой Г.М., Суслов С.Л., Мелихова Э.П. и др. Исследование и промышленное применение наклонных вихревых гидроциклонов большого диаметра и длины для обесшламливания глинисто-солевых суспензий // Исследование и промышленное применение гидроциклонов: Тез.докл. I Всесоюзн. симпозиума. - Горький, 1981. - С. 76-80.

4. А.с. 808161 СССР, МКл.³ В 04 С 5/103. Гидроциклон / Г.М.Косой, С.Л.Сулов (СССР). - № 2547520/23-26; заявлено 02.II.77; опубл. 28.02.81; Бюл. № 8 - 3 с.: ил.

5. Косой Г.М., Суслов С.Л., Мелихова Э.П. и др. Интенсификация процессов классификации и обесшламливания полидисперсных суспензий в вихревых гидроциклонах // Горный журнал. - 1982. - № 3. - С. 49-53.

6. Косой Г.М., Суслов С.Л., Мелихова Э.П. Высокопроизводительные гидроциклоны для классификации полидисперсных суспензий // Химическое и нефтяное машиностроение: Науч.-техн.реф.сб. - М.: ЦИТИХИМНЕФТЕМАШ, 1982. - Вып.1. - С.2-3.

7. А.с. 1024111 СССР, МКл.³ В 04 5/085. Многосекционный гидроциклон / Г.М.Косой, С.Л.Сулов, С.Н.Дайнеко и др. (СССР). № 3392411/23-26; заявлено 11.02.82; опубл. 23.06.83; Бюл. № 23. - 3 с.: ил.

8. Сулов С.Л., Косой Г.М., Сапешко В.В. Влияние конструктивных и режимных параметров на затраты энергии при классификации суспензий в гидроциклонах // Промышленное освоение Старобинского месторождения калийных солей: Сб.науч.тр. - Л., 1986. - С. 77-80.

9. Сулов С.Л., Косой Г.М., Ершов А.И. Влияние конструктивных параметров гидроциклона на гидродинамику циклонного потока // Химия и химическая технология: межвед.сб. - Минск: Университетское, 1987. - Вып.1. - С. 86-90.

10. Косой Г.М., Сулов С.Л. Разработка и создание высокопроизводительных и эффективных гидроциклонов путем оптимизации их формы // Исследование процессов, машин и аппаратов разделения материалов по крупности: Межвед. сб. науч.тр. / Механообр. - Л., 1988. - С. 133-141.

11. Косой Г.М., Суслов С.Л., Дайнеко С.Н. Новое обога-
тительное оборудование для технического перевооружения фло-
тационных фабрик // Калийные удобрения и их эффективное ис-
пользование: Тез.докл.Всесоюзн.совещания. - Солигорск, 1988.
- С. 99.

12. Косой Г.М., Суслов С.Л., Стрельский Л.В. Новое обо-
гатительное оборудование для технического перевооружения
флотационных фабрик калийной промышленности // Совершенство-
вание технологии и оборудования для обогащения калийных руд:
Тез.докл.конфер. - Пермь, 1989. - С. 8-10.

Суслов

Подписано в печать 19 хб. 2000. АТ/35 34. Формат 60x84/16
Уч. изд. 1. Тираж 100 экз. Заказ 2940.
Отпечатано на роталпринте производственно-полиграфического
предприятия БелНИИПИ, 220004, г. Минск, пр. Машерова, 23.