

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-5-98-107

Лозовая С.Ю., Бащева Е.С., Бражник Ю.В.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: lozwa@mail.ru*

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ВАРИАТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОЦИКЛОНА ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЕГО КОНСТРУКЦИИ

Аннотация. Рассмотрены перспективные направления повышения эффективности разделения пиритных огарков для дальнейшего их использования при производстве портландцементов. Объектом исследования является цифровая модель модифицированного гидроциклона с разделительной областью в рабочей зоне, позволяющая точно разделять частицы. Целью исследования является выявление целесообразных параметров конструкции модифицированного гидроциклона в ходе проведения прочностных расчетов и вариативного исполнения его модели. Компьютерное моделирование гидродинамических процессов при создании нового оборудования позволяет на этапе проектирования провести анализ его работоспособности, прочностные расчеты и вариативное исполнение устройства, что актуально в настоящее время. Рассмотрены изменения показателя эффективности разделения частиц в модифицированном гидроциклоне в зависимости от варьируемых геометрических параметров в рабочей зоне аппарата. Проведено исследование влияния толщины листов деталей разделительной области и выявлены важные аспекты влияющие на условия эксплуатации аппарата. Предложена оптимизация геометрии отверстий в разделительной области гидроциклона с целью улавливания большего количества частиц необходимой фракции (размером 60 мкм и менее). Полученная модифицированная конструкция гидроциклона на базе ГЦК-360-10 обладает значительным потенциалом применения в различных отраслях, включая обогащение руд, цементную, нефтяную, химическую промышленность и энергетику. Применение такой конструкции может привести к существенному снижению энергозатрат, повышению производительности и улучшению качества продукции. Приведена методика статического расчета на прочность разделительной области модифицированного гидроциклона, с использованием метода конечных элементов в САД/САЕ-системе.

Ключевые слова: гидроциклон, модификация, эффективность разделения частиц, расчёт, проектирование, САД/САЕ-система, энергоёмкость.

Введение. Пиритные огарки – техногенные отходы производства серной кислоты. На сегодняшний день в России их накоплено более 250 млн. т, и ежегодно образуется около 5 млн. т [1, 2]. Хранение данных техногенных отходов производится без должного надзора и контроля за их состоянием, вследствие чего существует проблема их утилизации. Одним из перспективных направлений утилизации является использование в цементной промышленности для повышения ранней твердости портландцемента. Пиритные огарки вводятся в сырьевую смесь в количестве 2–5 %, влажностью около 20 % и размером менее 60 мкм. При производстве 70 млн. тонн цемента в РФ ежегодно, потребность в порошке пиритных огарков размером частиц менее 60 мкм составляет около 3,5 млн. тонн [1, 2].

В технологии для измельчения огарков используется следующее оборудование [3, 4]: печь для обжига шихты, холодильник, шаровая мельница, мешалка, насос и гидроциклон. В настоящее время для получения суспензии из пиритных огарков с размером твердых частиц менее 60 мкм

используется гидроциклон напорного типа ГЦК-360-10 [5] (рис. 1). Его принцип действия [6, 7]: частицы, поступающие через входной патрубок, попадают в цилиндрическую часть, где под действием центробежной силы крупные частицы отбрасываются к стенке, и, теряя скорость, попадают в коническую часть гидроциклона, где выходят через нижний слив, а более мелкие частицы движутся к центру и выходят через верхний слив, при этом часть частиц размером менее 60 мкм по той или иной причине уходят в нижний слив. При этом много частиц размером менее 60 мкм попадает в нижний слив и отправляются в шаровую мельницу на домол, что уменьшает ее загрузку поступающего сырья до 10–15 % [8], в результате повышается энергоёмкость процесса.

Гидроциклон ГЦК-360-10 устойчив к агрессивным химическим средам, характеризуется простотой конструкции и управления, что снижает эксплуатационные затраты. Недостатком является отсутствие точной границы разделения частиц, которое увеличивает количество повторных подач материала в гидроциклон.

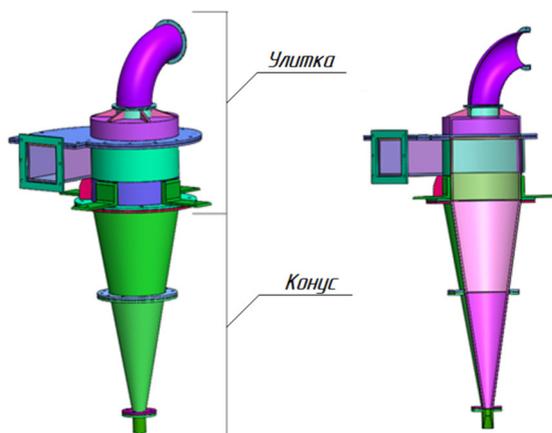


Рис. 1. Цифровая модель ГЦК-360-10

Для устранения указанного технологического недостатка предлагается модифицировать гидроциклон ГЦК-360-10, используемый в различных отраслях промышленности, разделительной областью в рабочей зоне [8, 9] (рис. 2, а) (исследуемый гидроциклон). Его принцип действия: частицы, поступающие через входной патрубок,

попадают в цилиндрическую часть, после чего под действием центробежной силы более мелкие частицы движутся к центру и выходят через верхний слив, оставшиеся частицы через отверстия цилиндрической части разделительной области попадают в коническую часть, где частицы размером > 60 мкм постепенно теряют скорость и уходят на нижний слив, а частицы с размером < 60 мкм стремительно теряют скорость и затем набирают ее из-за образовавшейся пробки из них, и образуют направленный вверх водоворот из нижней части конуса. Это объясняется тем, что за счет омывания стенок разделительной области водой, скорость которой выше скорости пульпы, частицы крупной фракции быстро попадают на нижний слив за счет того, что плотность воды гораздо меньше плотности пульпы, из-за чего в нижней части конуса создается разрежение, которое организует движение частиц размером < 60 мкм вверх по винтовой траектории на верхний слив (рис. 2, в) [8, 9].

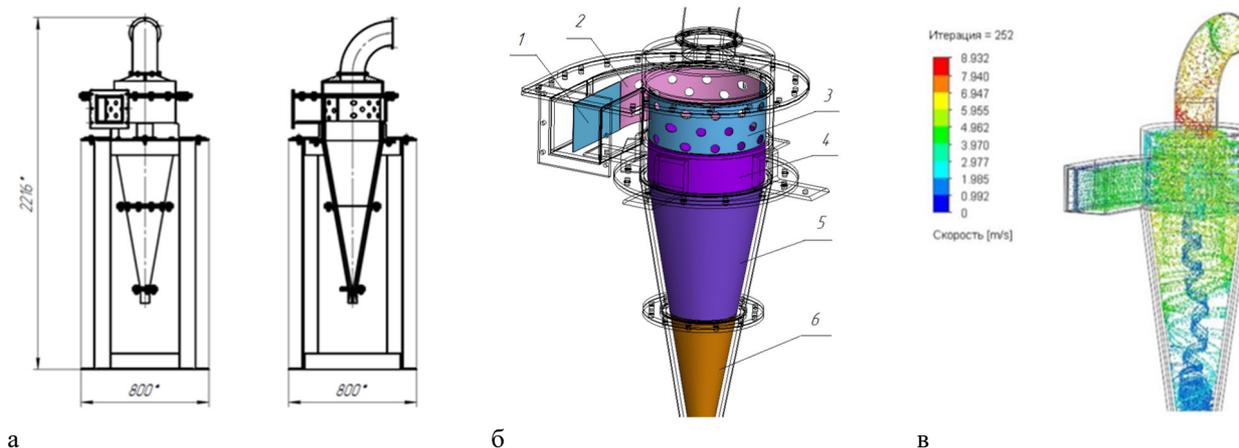


Рис. 2. Общий вид гидроциклона с разделительной областью в рабочей зоне (а); цифровая модель (б); гидродинамическая модель рабочего процесса (в):

1 – лист; 2 – сектор; 3 – сектор; 4 – обечайка; 5 – фартук; 6 – фартук

За счет установления точной границы разделения частиц необходимого размера применение модифицированного гидроциклона напорного типа дает возможность сократить количество повторных подач в гидроциклон, и, следовательно, повторных подач в мельницу для домола, существенно снижает энергоемкость процесса получения частиц нужного размера, позволяет подготовить большее количество пиритных огарков за определенный период. Это повышает эффективность утилизации большего объема опасных техногенных отходов.

Современные технологии позволяют использовать компьютерное моделирование для создания и совершенствования оборудования. Существуют CAD/CAE-системы, например SolidWorks, позволяющий выполнять пневмо- и гидродинамические, статические, кинематические

расчеты механики твердого тела [10, 11]. SolidWorks Simulation использует численные методы анализа, основным из которых является метод конечных элементов, заключающийся в разделении определенной области, в которой интересующий параметр изменяется сложным образом, на ряд подобластей, взаимосвязанных в точках их соприкосновения.

В данном исследовании особое значение уделяется проведению:

- статического линейного анализа, определяющего напряжения, деформации, перемещения и реакции опор, возникающие в конструкции под воздействием постоянных нагрузок;
- вариативного исполнения конструкции разделительной области модифицированного гидроциклона.

Материал. Данная работа была выполнена в

лицензионном программном обеспечении студенческой версии CAD/CAE-системы SolidWorks. Была создана цифровая модель напорного гидроциклона с разделительной областью в рабочей зоне (рис. 2, б).

Перед тем как приступить к статическому расчету, необходимо обратиться к эскизу и цифровой модели исследуемого модифицированного гидроциклона (рис. 2, а), чтобы обозначить габаритные размеры разрабатываемого объекта. В данном случае разделительная область монтируется непосредственно внутри гидроциклона. На рис. 2, а представлен эскиз гидроциклона со следующими габаритными размерами: длина 800 мм, высота 2216 мм и ширина 800 мм, внутренний диаметр цилиндрической части корпуса цифровой модели исследуемого гидроциклона – 360 мм. Исходя из габаритов гидроциклона, а также входящих в него узлов: улитки и конуса, принималась геометрия, а также размеры для разработки деталей на разделительную область гидроциклона.

Металлоемкость является важной характеристикой при изготовлении любого оборудования, что так же влияет на его экономическую составляющую. В стандартный гидроциклон ГЦК-360-10 было предложено установить разделительную область, что изменяет металлоемкость конструкции с внедрением новых деталей. Поэтому важно подобрать такую толщину деталей разделительной области, при которой будут выполняться условия прочности, но и так, чтобы запас прочности не был излишним.

Конструкция разделительной области в модели модифицированного гидроциклона с разделительной областью в рабочей зоне имеет 2 детали с отверстиями, через которые частицы размером > 60 мкм под действием центробежной силы выносятся за разделительную область, где орошаются водой и уносятся на нижний слив, так же все детали разделительной области создают два потока внутри гидроциклона. Разделительная область состоит из следующих деталей (рис. 2, б): лист толщиной 5 мм (1), два сектора с отверстиями (2, 3), обечайка (4) и две рубашки (5, 6).

Характер движения частиц в рабочей области модели гидроциклона с разделительной областью [8, 9] отличается от стандартной модели [8], тем, что за счет омывания стенок разделительной области водой, скорость которой выше скорости пульпы, частицы крупной фракции (рис. 2, в) быстро попадают на нижний слив за счет того, что плотность воды гораздо меньше плотности пульпы, из-за чего в нижней части конуса создается разрежение, которое организует движение частиц размером < 60 мкм

вверх по винтовой траектории на верхний слив.

Методика. Для достижения поставленных целей инженеру-конструктору требуется использовать точные расчеты прочности [10–12]. Для удобства прочностной расчет проводится в CAE среде Solidworks Simulation, где линейный статический анализ позволяет рассчитывать силы перемещений, напряжения, нагрузки и реакции при воздействии приложенных нагрузок, а также интерфейс SolidWorks Simulation дает информацию для внесения изменений в конструкцию и улучшения характеристик деталей или изделия. Расчет проводится методом конечно-элементного моделирования, что является наиболее популярным среди ведущих производителей технологического оборудования в мире. Его применение позволяет провести точный вычислительный эксперимент. Объектом исследования является гидроциклон с разделительной областью, с его расчетом на упрощенной модели (рис. 2, б).

Методика расчёта напряжений и перемещений в нагруженных элементах модели гидроциклона:

1. Определение наиболее нагруженных элементов.
2. Определение значений действующих нагрузок и построение расчётной схемы.
3. Создание имитационной модели гидроциклона.
4. Построение конечно элементной сетки.
5. Построение расчетной модели гидроциклона с выбранным типом сетки.
6. Задание ограничений и нагрузок на модель исследуемого гидроциклона с учетом расчётной схемы.
7. Выполнение расчёта.
8. Анализ полученных данных расчёта.

Первый этап – анализ нагруженных элементов модели для расчета и определение действующих нагрузок.

Второй этап – определение значений нагрузок, действующих нагрузок и построение расчетной схемы с учетом граничных условий, что позволяет решить систему уравнений, описывающих поведение модели при различных условиях эксплуатации, то есть при заданных воздействиях и ограничениях [10, 11].

Основной нагрузкой, действующей на конструкцию гидроциклона, является давление среды (пульпа), она накладывается на все внутренние стенки гидроциклона. Для того, чтобы найти величину данной нагрузки ранее был проведен гидродинамический анализ, который показал, какое давление возникает в гидроциклоне от воздействия пульпы при работе в каждой части

гидроциклона, при этом принята максимальная величина давления равная 100596 Па (табл. 1). Следующей нагрузкой, действующей на гидроциклон, является его собственный вес (табл. 1). Такая нагрузка всегда действует, не учитывается

только, когда она пренебрежительно мала по отношению к другим нагрузкам. Она вертикальна, направлена сверху вниз и постоянна, приложена в центре масс гидроциклона и равна 2835 Н.

Для расчета строится расчетная схема для моделирования исследуемого аппарата (рис. 3).

Таблица 1

Внешние нагрузки, действующие на гидроциклон

№	Наименование	Обозначение	Значение
1	Давление среды	P	100596 Па
2	Собственный вес гидроциклона	G	2835 Н

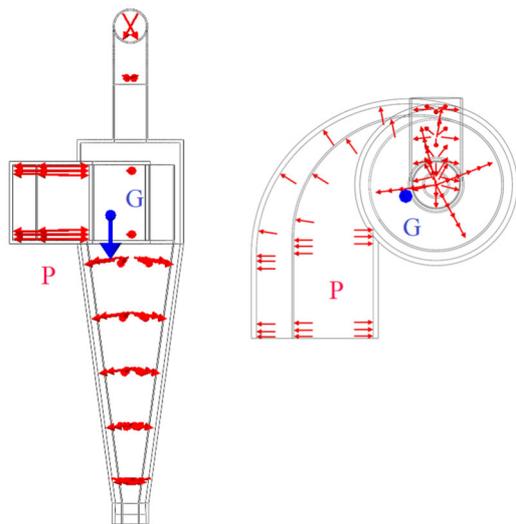


Рис. 3. Расчетная схема модели гидроциклона с разделительной областью в рабочей зоне с приложенными нагрузками

Третий этап – создание имитационной модели гидроциклона, которое предполагает упрощение геометрии модели для сокращения времени ее расчета. Упрощение включает удаление

элементов геометрии, не оказывающих существенного влияния на конечный результат расчета. Для начала из расчета удаляется крепеж; затем скругления и фаски, которые лишь незначительно влияют на структурную целостность конструкции. Имитационная модель позволяет уменьшить объем анализа и сделать его более управляемым. После проведения операций по упрощению геометрии время расчета модели существенно сокращается (до упрощения оно может составлять от часов до суток и более, после секунды), что позволяет за короткий срок проводить необходимое количество расчетов без влияния на их конечный результат.

Четвертый этап предполагает определение физических характеристик модели гидроциклона с разделительной областью (табл. 2), основанных на физических характеристиках материала коллектора сеток. Выбрана тетраэдральная сетка на основе кривизны, которая хорошо описывает криволинейную геометрию, сокращает время моделирования и целесообразна для использования геометрии с двумя потоками жидкости.

Таблица 2

Физические характеристики материала заданных деталей

Детали на	Материал	Характеристики
Гидроциклон	Ст20 ГОСТ 10704-91	Плотность $\rho = 7834 \text{ кг/м}^3$; Модуль упругости $E = 2,08 \cdot 10^5 \text{ МПа}$; Коэф. Пуассона $\nu = 0,3$; Предел прочности $\sigma_B = 372 \text{ МПа}$; Предел текучести $\sigma_T = 225 \text{ МПа}$.

Пятый этап включает наложение конечно-элементной сетки на модель гидроциклона. Выбор типа сетки осуществляется и зависит от сложности геометрии рассчитываемого элемента.

Шестой этап заключается в наложении нагрузок и ограничений, действующих на гидроциклон. Этот этап является важным, поскольку конечный расчет зависит от заданных условий. Исходя из расчетной схемы задаются расчетные

нагрузки и ограничения для модели исследуемого аппарата (внешние нагрузки: $P = 100596 \text{ Па}$, $G = 2835 \text{ Н}$ (табл. 1); ограничения: зафиксированная геометрия.

Задав все условия необходимо запустить расчет (шестой этап).

После выполнения расчета выводится изображение с полученными диаграммами распределения напряжений по Мизесу (рис. 4) и перемещений (рис. 5).

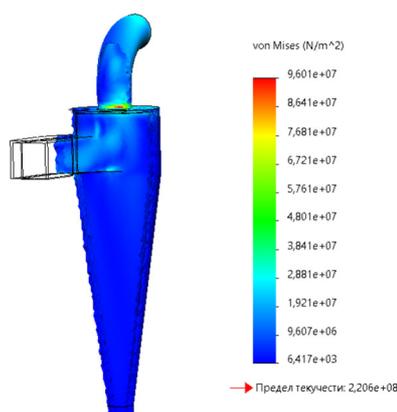


Рис. 4. Результат расчёта напряжений

Заключительный этап – анализ полученных данных расчета прочности и жесткости элементов гидроциклона. Для этого осуществляется сравнение численных значений максимальных напряжений и перемещений с установленными допустимыми значениями.

На входе пульпы в цилиндрическую часть гидроциклона и выходе мелкой фракции через верхний слив (рис. 4) возникают максимальные напряжения равные 9,6 МПа, затем проверяется условие (1) [13–15].

Условие прочности предполагает сравнение максимальных расчетных напряжений с допускаемыми для выбранного материала и определение коэффициента запаса прочности:

$$n = \frac{[\sigma]}{\sigma} \geq [n], \quad (1)$$

где n – коэффициент запаса прочности; $[\sigma]$ – допускаемые напряжения для Ст20, $[\sigma_T] = 225$ МПа; σ_{max} – максимальные расчетные напряжения в цилиндрической части гидроциклона и в верхнем выходном патрубке, $\sigma_{max} = 9,6$ МПа; $[n]$ – допускаемый коэффициент запаса прочности, $[n] = 5 \dots 9$;

$$n = \frac{225}{9,6} = 12.$$

Условия жесткости — это сравнение максимальных перемещений с допускаемыми:

$$\delta_{max} \leq [\delta], \quad (2)$$

где δ_{max} – максимальные расчетные перемещения, $\delta_{max} = 7,2$ мм; $[\delta]$ – допускаемые перемещения;

$$[\delta] = \frac{1}{250} \cdot a, \quad (3)$$

где a – габаритный размер конструкции, $a = 2448$ мм:

$$[\delta] = \frac{1}{250} \cdot 2448 = 9,8 \text{ мм};$$

$$9,8 \text{ мм} > 7,2 \text{ мм}.$$

Анализ результатов расчета показал: условие прочности выполняется во всех элементах

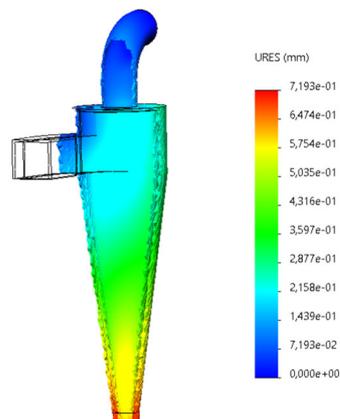


Рис. 5. Результат расчёта перемещений

сектора, однако имеется излишний запас прочности, который можно минимизировать путем внесения конструктивных изменений с целью снижения металлоемкости, таких как, например, использование деталей разделительной области с толщиной стенки равной 4 мм.

Таким образом, с использованием системы CAD/CAE Solidworks был проведен анализ прочности гидроциклона с разделительной областью в рабочей зоне. Исходя из результатов расчета, было установлено, что исследуемый гидроциклон обладает достаточной прочностью и способен выдерживать эксплуатационные нагрузки, но имеется излишний запас прочности.

Вариативное исполнение. После проведения прочностного расчета было принято решение о вариативной проработке конструкции исследуемого гидроциклона с целью выявления наиболее целесообразных конструктивных для повышения технологических характеристик данного аппарата:

- толщины стенок деталей на разделительную область гидроциклона, что позволит подобрать толщины, способные выдерживать внешние нагрузки без излишнего запаса прочности, а также позволит рационально определить металлоемкость конструкции;

- подбор геометрии конструкции, позволяющей еще более эффективно разделять частицы и улавливать большее количество частиц необходимой фракции (менее 60 мкм) за счет варьирования размера отверстий в разделительной цилиндрической области аппарата.

Таким образом, для вариативной проработки было определено два типа конструкции разделительной области отличающиеся от базового следующими показателями:

1. Разделительная область с максимальными прочностными характеристиками.
2. Разделительная область с отверстиями отличными от базовых.

Материалом для заготовки деталей для разделительной области является Ст20 ГОСТ

10704–91 [16] (табл. 2). В качестве прототипа используется разделительная область со следующими базовыми параметрами: разделительная область с максимальными прочностными характеристиками. Для достижения максимальной

прочности изделия подбирается лист с максимальной толщиной (табл. 3). По выбранному ГОСТу, принимается толщину деталей разделительной области равной 5 мм.

Таблица 3

Толщина листов по ГОСТ 1994–90

Наименование размера	Ряд размеров
Толщина	0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55; 0,60; 0,65; 0,70; 0,75; 0,80; 0,90; 1,00; 1,10; 1,20; 1,30; 1,40; 1,50; 1,60; 1,70; 1,80; 2,00; 2,20; 2,50; 2,80; 3,00; 3,20; 3,50; 3,80; 3,90; 4,00; 4,20; 4,50; 4,80; 5,00

С помощью проведения прочностного анализа в САЕ системе SolidWorks рассматривается изменение коэффициента запаса прочности, при изменении толщины деталей с 5 мм на 4 мм (рис. 6):

$$n = \frac{225}{9,7} = 8.$$

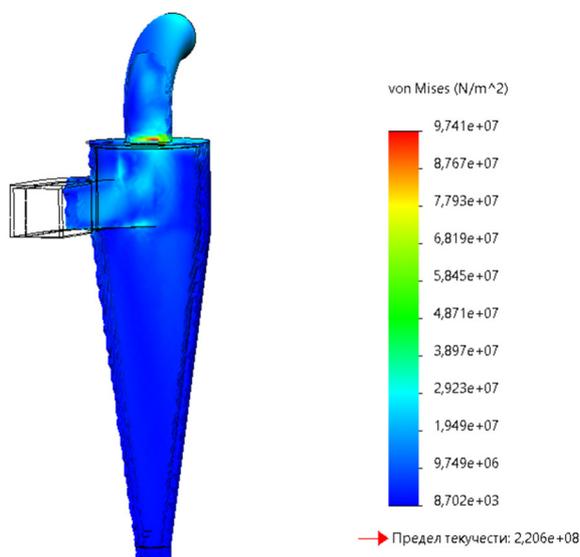


Рис. 6. Результат расчёта напряжений

Отметим, что коэффициент запаса прочности существенно не изменяется при задании толщины деталей разделительной области равной 4 мм. По ГОСТу толщина листов в 5 мм данного материала является максимальной и, соответственно, используя листы толщиной 5 мм, будут

получены максимальные прочностные характеристики конструкции, что также рационально для эксплуатации деталей, работающих в агрессивной среде. Тем не менее, при задании толщины деталей разделительной области равной 4 мм, коэффициент запаса прочности равен 8, а при 5 мм – 12. Допускаемый коэффициент запаса прочности варьируется в пределах от 5 до 9. Таким образом, рационально применение деталей толщиной в 4 мм, так как при использовании толщины листа в 5 мм увеличивается металлоемкость конструкции и стоимость ее изготовления.

Следующий этап – изменение эффективности разделения частиц в гидроциклоне при изменении геометрии отверстий в разделительной области. В конструкции разделительной области имеются 2 детали, имеющие отверстия, которые позволяют пульпе смешиваться с водой и эффективней разделять материал на две фракции. Геометрические параметры деталей – сектор с размером отверстий 15 мм (рис. 7). Геометрические параметры деталей – сектор с размером отверстий 25 мм (рис. 8).

Проведены гидродинамическое моделирование процесса и анализ изменения эффективности разделения частиц в гидроциклоне с разными геометрическими параметрами отверстий в разделительной области при диаметре отверстий 15 мм и 25 мм (рис. 9, 10).

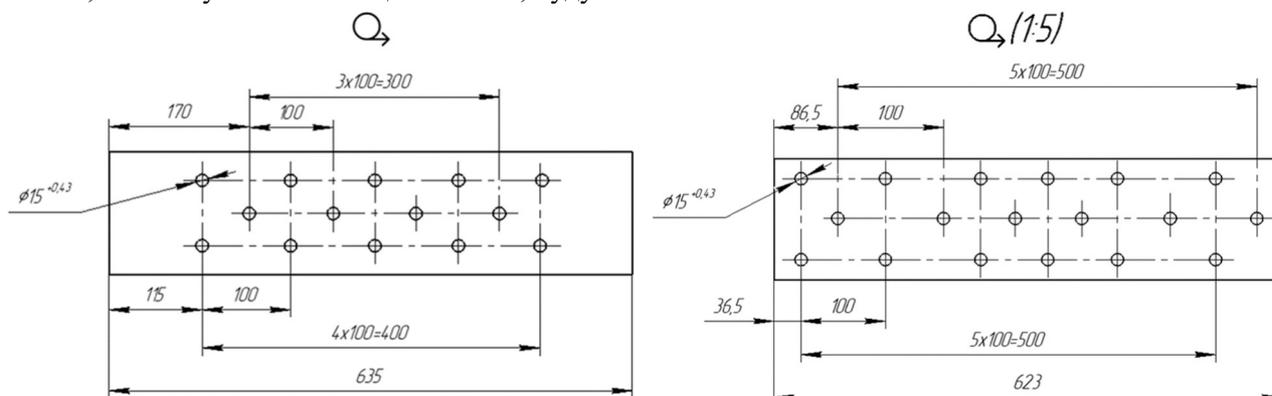


Рис. 7. Развертки деталей сектор с размером отверстий 15 мм

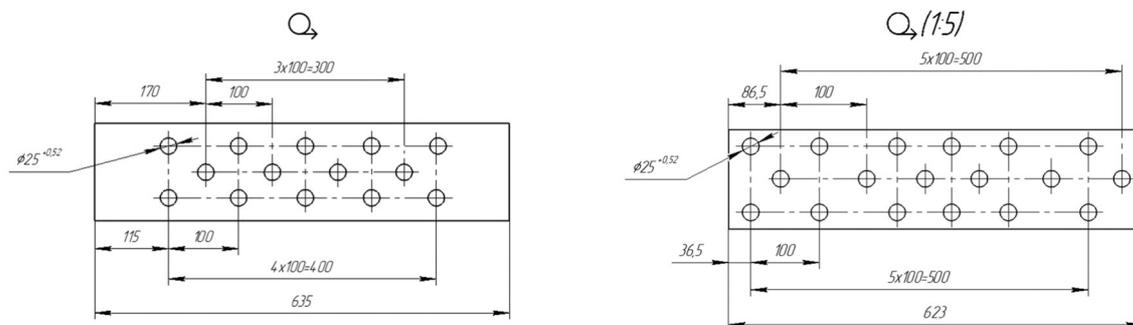


Рис. 8. Развертки деталей сектор с размером отверстий 25 мм

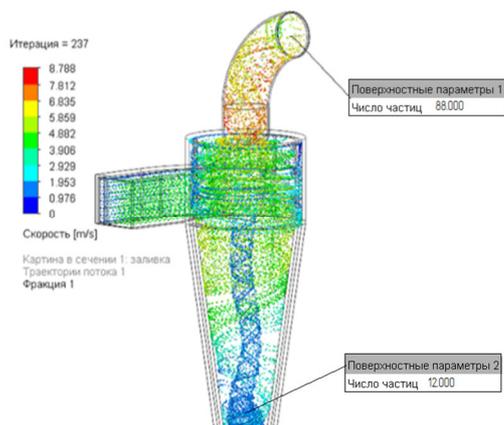


Рис. 9. Результат гидродинамического моделирования при диаметре отверстий 15 мм с количеством улавливаемых частиц

Проведенный анализ показал, что использование отверстий наибольшего диаметра способствует улавливанию большего количества частиц в гидроциклоне размером менее 60 мкм (на 12%).

Выводы.

1. Анализ проблем и перспектив утилизации огарков в производстве портландцемента выявляет важность разработки эффективных и устойчивых технологий для решения текущих экологических и технологических проблем.

2. Определено, что проблемы утилизации огарков включают в себя необходимость обработки агрессивного материала с точным разделением частиц (размером менее 60 мкм) для достижения повышенных характеристик портландцемента.

3. Выявлено, что для подготовки пиритных огарков ключевым является использование напорных гидроциклонов, что представляется перспективным и обоснованным с практической и технологической точек зрения, они позволяют эффективно работать с агрессивными средами и обеспечивают относительную простоту в управлении и обслуживании.

4. Выявлено, что целесообразно использование деталей разделительной области толщиной 4 мм, так как при данной толщине листов конструкция гидроциклона с разделительной областью в рабочей зоне способна выдерживать

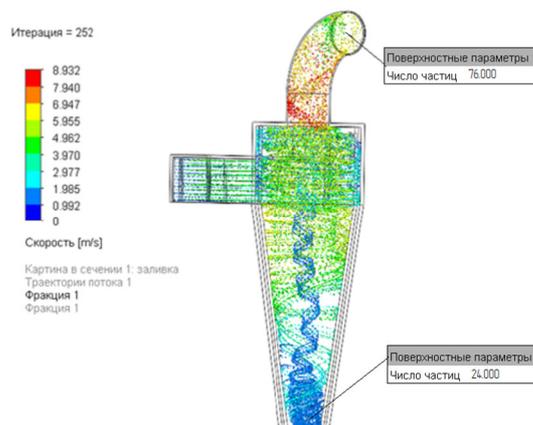


Рис. 10. Результат гидродинамического моделирования при диаметре отверстий 25 мм с количеством улавливаемых частиц

внешние нагрузки без излишнего запаса прочности, а также происходит снижение металлоемкости и стоимости аппарата.

5. Анализ вариативного исполнения геометрии отверстий разделительной области показал, что использование отверстий наибольшего диаметра способствует улавливанию большего количества частиц в гидроциклоне с разделительной областью в рабочей зоне размером менее 60 мкм (на 12%).

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Важникова Е.А., Тарчигина Н.Ф. Эколого-экономический анализ химических технологий переработки твердых отходов сернокислотного производства // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. №12–2. С. 77–80. DOI: 10.24411/2500-1000-2019-11890

2. Заболоцкий А.И. Практика и перспектива извлечения металлов из отходов сернокислотных производств – пиритных огарков. М.: Изд-во СФ РФ – maxconference, 2013. 500 с.

3. Богданов В.С., Булгаков С.Б., Ильин А.С. Технологические комплексы и линии для производства строительных материалов и изделий: Учеб. пособие. Белгород: Изд-во БелГТУ, 2003. 199 с.

4. Банит Ф.Г., Несвижский О.А. Механическое оборудование цементных заводов. М.: Изд-во Машиностроение, 1975. 318 с.

5. Лозовая С.Ю., Башева Е.С. Повышение эффективности классификации частиц в гидроциклоне напорного типа путем организации разделительной области в рабочей зоне // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. 2023. № 4. С. 10–14. DOI: 10.46418/2619-0729_2023_4_11

6. Бауман А.В. Гидроциклоны. Теория и практика. Новосибирск: Изд-во Б29 Гормашэкспорт, 2020. 56 с.

7. Терновский И.Г., Кутепов А.М. Гидроциклонирование. М.: Изд-во Наука, 1994. 350 с.

8. Лозовая С.Ю., Башева Е.С. Сравнительный анализ эффективности разделения частиц пиритных огарков в гидроциклонах напорного типа // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. №12. С. 356–361.

9. Башева Е.С., Лозовая С.Ю. Повышение эффективности подготовки пиритных огарков

для корректировки свойств высокомарочных цементов // Национальная конференция «Машины, агрегаты и процессы в строительной индустрии». 2023. №4. С. 10–13.

10. Алямовский А.А. COSMOSWorks. Основы расчета конструкций в среде SolidWorks. М.: Изд-во ДМК Пресс, 2010. 293 с.

11. Зиновьев Д.А. Основы проектирования в SolidWorks. М.: Изд-во Vertex, 2015. 277 с.

12. Овсянников В.Е., Шпитко Г.Н., Васильев В.И. Технические и инженерно-психологические основы проектирования машин. Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2014. 115 с.

13. Богданов В.С., Шарапов Р.Р., Фадин Ю.М. Основы расчета машин и оборудования предприятий строительных материалов и изделий. Старый Оскол: Изд-во ТНТ, 2013. 680 с.

14. Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин. М.: Изд-во Машиностроение, 1993. 640 с.

15. Абдулхаков К.А., Котляр В.М., Сидорин С.Г. Расчёт на прочность элементов конструкций. Казань: Изд-во КНИТУ, 2012. 120 с.

16. ГОСТ 10704–91. Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент. М.: Стандартинформ, 2007. 36 с.

Информация об авторах

Лозовая Светлана Юрьевна, доктор технических наук, профессор кафедры «Механическое оборудование». E-mail: lozwa@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова). Россия, 308012, Белгород, улица Костюкова, 46.

Бразжник Юлия Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Механическое оборудование». E-mail: brazhnik_yuliau@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова). Россия, 308012, Белгород, улица Костюкова, 46.

Башева Екатерина Сергеевна, аспирант кафедры «Механическое оборудование». E-mail: bashchevakate@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова). Россия, 308012, Белгород, улица Костюкова, 46.

Поступила 15.03.2024 г.

© Лозовая С.Ю., Башева Е.С., Бразжник Ю.В., 2024

***Lozovaya S. Yu., Bascheva E.S., Brazhnik Yu.V.**
Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov
**E-mail: lozwa@mail.ru*

OPTIMIZATION OF THE HYDROCYCLONE DESIGN: ANALYSIS OF STRENGTH CHARACTERISTICS AND THE EFFECT OF THE THICKNESS OF THE SEPARATION AREA SHEETS

Abstract. Promising directions for improving the efficiency of pyrite cinder separation for their further use in the production of Portland cement are considered. The object of the study is a digital model of a modified hydrocyclone with a separation area in the working area, which allows for precise separation of particles. The purpose of the study is to identify the appropriate design parameters of a modified hydrocyclone during strength calculations and variable execution of its model. Computer modeling of hydrodynamic processes

during the creation of new equipment allows for an analysis of its operability, strength calculations and variable design of the device at the design stage, which is currently relevant. The changes in the efficiency of particle separation in a modified hydrocyclone depending on the varying geometric parameters in the working area of the apparatus are considered. The influence of the thickness of the sheets of the parts of the separation area has been studied and important aspects affecting the operating conditions of the device have been identified. Optimization of the geometry of the holes in the separating area of the hydrocyclone is proposed in order to capture more particles of the required fraction (size 60 microns or less). The resulting modified hydrocyclone design based on HCC-360-10 has significant application potential in various industries, including ore dressing, cement, petroleum, chemical industry and energy. The use of such a design can lead to a significant reduction in energy consumption, increased productivity and improved product quality. A method for static calculation of the strength of the separation region of a modified hydrocyclone using the finite element method in a CAD/CAE system is presented.

Keywords: hydrocyclone, modification, particle separation efficiency, calculation, design, CAD/CAE system, energy consumption.

REFERENCES

1. Vazhnikova E.A. Tarchigina N.F. Ecological and economic analysis of chemical technologies for processing solid waste from sulfuric acid production [Ekologo-ekonomicheskij analiz himicheskikh tekhnologij pererabotki tverdyh othodov sernokislotnogo proizvodstva]. International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2019. No. 12-2. Pp. 77–80. DOI: 10.24411/2500-1000-2019-11890 (rus)
2. Zabolotsky A.I. The practice and prospect of extracting metals from waste from sulfuric acid production – pyrite ogarkov. [Praktika i perspektiva izvlecheniya metallov iz othodov sernokislotnykh proizvodstv – piritnykh ogarkov]. Moscow: Publishing House of the SF RF – maxconference, 2013. 500 p. (rus)
3. Bogdanov V.S., Bulgakov S.B., Ilyin A.S. Technological complexes and lines for the production of building materials and products: Textbook. [Tekhnologicheskie komplekсы i linii dlya proizvodstva stroitel'nykh materialov i izdelij]. Belgorod: Publishing House of the BelGTU, 2003. 199 p. (rus)
4. Banit F.G., Nesvizh O.A. Mechanical equipment of cement plants. [Mekhanicheskoe oborudovanie cementnykh zavodov]. Moscow: Publishing House of Mechanical Engineering, 1975. 318 p. (rus)
5. Lozovaya S.Yu., Bascheva E.S. Improving the efficiency of particle classification in a pressure-type hydrocyclone by organizing a separation area in the working area [Povyshenie effektivnosti klassifikatsii chastic v gidrociklone napornogo tipa putem organizatsii razdelitel'noj oblasti v rabochej zone]. Bulletin of the St. Petersburg State University of Technology and Design. 2023. No. 4. Pp. 10–14. DOI: 10.46418/2619-0729_2023_4_11 (rus)
6. Bauman A.V. Hydrocyclones. Theory and practice. [Gidrociklony. Teoriya i praktika]. Novosibirsk: Publishing house B29 Gormasheexport, 2020. 56 p. (rus)
7. Ternovsky I.G., Kutepov A.M. Hydrocyclone. [Gidrociklonirovanie]. Moscow: Publishing House Nauka, 1994. 350 p. (rus)
8. Lozovaya S.Yu., Bascheva E.S. Comparative analysis of the efficiency of separation of pyrite cinder particles in pressure-type hydrocyclones [Sravnitel'nyj analiz effektivnosti razdeleniya chastic piritnykh ogarkov v gidrociklonah napornogo tipa]. Izvestiya Tula State University. Technical sciences. 2023. No.12. Pp. 356–361. (rus)
9. Bascheva E.S., Lozovaya S.Yu. Improving the efficiency of pyrite cinder preparation for correcting the properties of high-quality cements [Povyshenie effektivnosti podgotovki piritnykh ogarkov dlya korrektsirovki svoystv vysokomarochnykh cementov]. National Conference "Machines, aggregates and processes in the construction industry". 2023. No. 4. Pp. 10–13. (rus)
10. Alyamovsky A.A. COSMOSWorks. Fundamentals of the calculation of structures in the SolidWorks environment. [COSMOSWorks. Osnovy rascheta konstrukcij v srede SolidWorks]. Moscow: Publishing house DMK Press, 2010. 293 p. (rus)
11. Zinoviev D.A. Fundamentals of design in SolidWorks. [Osnovy proektirovaniya v SolidWorks]. Moscow: Vertex Publishing House, 2015. 277 p. (rus)
12. Ovsyannikov V.E., Shpitko G.N., Vasiliev, V.I. Technical and engineering-psychological foundations of machine design. [Tekhnicheskie i inzhenerno-psihologicheskie osnovy proektirovaniya mashin]. Kurgan: Publishing house of Kurgan State University, 2014. 115 p. (rus)
13. Bogdanov V.S., Sharapov R.R., Fadin, Yu.M. Fundamentals of calculation of machinery and equipment of enterprises of building materials and products. [Osnovy rascheta mashin i oborudovaniya predpriyatij stroitel'nykh materialov i izdelij]. Stary Oskol: TNT Publishing House, 2013. 680 p. (rus)
14. Birger I.A., Shorr B.F., Iosilevich, G.B. Calculation of the strength of machine parts. [Raschet na

prochnost' detalej mashin]. Moscow: Publishing House of Mechanical Engineering, 1993. 640 p. (rus)

15. Abdulkhakov K.A., Kotlyar V.M., Sidorin S.G. Calculation of the strength of structural elements. [Raschyot na prochnost' elementov konstrukcij]. Kazan: KNITU Publishing House, 2012. 120 p. (rus)

16. GOST 10704-91. Straight-seam electric welded steel pipes. Assortment. [Truby stal'nye elektrosvarnyye]. Moscow: Standartinform, 2007. 36 p. (rus)

Information about the authors

Lozovaya, Svetlana Yu. DSc, Professor. E-mail: lozwa@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov (BSTU named after V.G. Shukhov). Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova Street, 46.

Brazhnik, Julia V. PhD, Assistant professor. E-mail: lozwa@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov (BSTU named after V.G. Shukhov). Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova Street, 46.

Bashcheva, Ekaterina S. Post-graduate student. E-mail: bashchevakate@mail.ru. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov (BSTU named after V.G. Shukhov). Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova Street, 46.

Received 15.03.2024

Для цитирования:

Лозовая С.Ю., Башчева Е.С., Бражник Ю.В. Анализ прочностных характеристик и вариативного исполнения элементов гидроциклона для совершенствования его конструкции // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №5. С. 98–107. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-5-98-107

For citation:

Lozovaya S. Yu., Bascheva E. S., Brazhnik Yu. V. Optimization of the hydrocyclone design: analysis of strength characteristics and the effect of the thickness of the separation area sheets. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 5. Pp. 98–107. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-5-98-107