

Информационные ресурсы и технологии

БИРЮКОВ Валерий Валентинович – научный сотрудник Горного института Кольского научного центра РАН, преподаватель Кольского филиала Петрозаводского государственного университета.

ОЛЕЙНИК Андрей Григорьевич – доктор технических наук, заместитель директора Института информатики и математического моделирования технологических процессов (ИИММ) Кольского научного центра РАН, заведующий кафедрой информационных систем Кольского филиала Петрозаводского государственного университета.

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ FEMLAB ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ ТЕЧЕНИЙ В ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ

Признание информации в качестве одного из основных ресурсов человечества не снижает актуальности задач эффективного использования «традиционных» природных ресурсов, и, в частности, минеральных полезных ископаемых. Горный институт (ГоИ) Кольского НЦ РАН является одной из ведущих в России научных организаций, разрабатывающих теоретические основы и практические решения по совершенствованию технологий и аппаратов обогащения минерального сырья. Разработки информационных ресурсов и компьютерных моделей для решения задач в данной области проводятся в тесном сотрудничестве с Институтом информатики и математического моделирования технологических процессов (ИИММ) КНЦ РАН. Получен ряд интересных результатов как в направлении развития методологии обеспечения информационной поддержки, так и в создании конкретных информационных ресурсов. Содержательный обзор этих результатов представлен в работах [1,2]. В настоящей работе рассматривается пример использования программного пакета **FEMLAB** [3] для решения задачи усовершенствования конструкции обогатительного аппарата.

Решаемая задача

На протяжении нескольких десятков лет наблюдается устойчивое возрастание спроса на железорудную продукцию. В современных условиях острой конкуренции на мировых рынках горно-обогатительные комбинаты стремятся постоянно совершенствовать технику и технологии переработки железорудного сырья с получением товарной продукции требуемого качества и высокой рентабельностью. Наблюдается все возрастающий интерес к магнитно–гравитационным (МГ) аппаратам, использующим магнитные поля малой напряженности для получения высококачественных магнетитовых концентратов [4,5].

Востребованными в настоящее время являются МГ–сепараторы производительностью от 70 до 200 тонн в час. При этом аппараты должны иметь диаметр до 4 метров. Однако производство и широкое промышленное применение высокопроизводительных аппаратов подобного типа сдерживается недостаточной изученностью закономерностей протекающих в них процессов разделения.

Изучение гидродинамических потоков в условиях реально действующих аппаратов большого диаметра невозможно по экономическим причинам. Следовательно, необходимо использовать компьютерные модели, более или менее адекватно отражающие макрокартину гидродинамических потоков в аппаратах. Решение задачи облегчается наличием компьютерных программ, позволяющих создавать модели разнообразных физических процессов в условиях реальной геометрии.

Примером таких программ является пакет моделирования **FEMLAB** [3] фирмы Comsol, который позволяет решать системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных элементов в одном, двух и трех измерениях. Уравнения подобного типа используются в задачах из области электромагнетизма, теории упругости, динамики жидкостей и газов, химической газодинамики [6]. Пакет позволяет при моделировании использовать физические системы единиц и физическую терминологию, а также заранее определенные уравнения для многих явлений, имеющих место в науке и технике. Важной при исследовании сложных объектов и процессов является возможность создания мультифизических моделей. Наличие встроенного в пакет редактора CAD позволяет оперативно создавать одномерные (1D), двухмерные (2D) и трехмерные (3D) объекты и системы, отображая реальную геометрическую конструкцию аппарата, или экспортировать изображения из любой CAD–программы.

Реализация и исследование модели разделительного аппарата

В среде **FEMLAB** (версия 3.0) моделировалась гидродинамика течений магнетитовой суспензии в условиях закрученного восходящего потока и вертикально направленного внешнего магнитного поля малой напряженности.

Геометрическая модель магнитно-гравитационного аппарата представлена на рисунке 1. Цилиндрический корпус сепаратора имеет высоту 1,75 м и диаметр 2

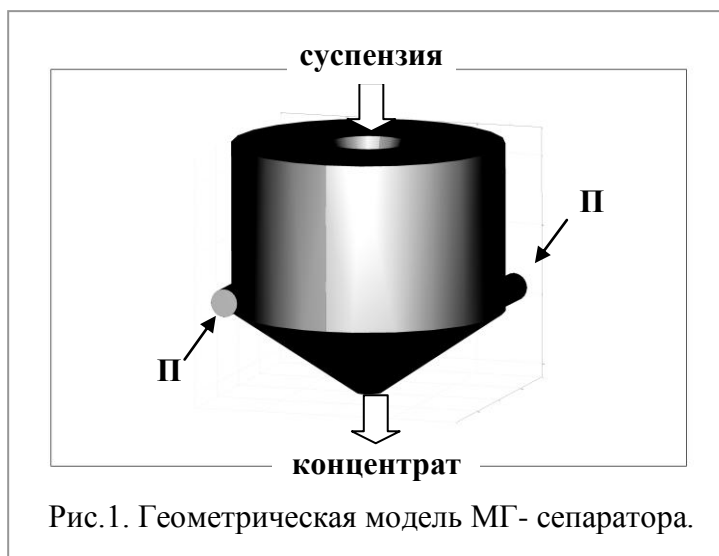


Рис. 1. Геометрическая модель МГ- сепаратора.

метра. По патрубкам (II на рис.1) в нижней части корпуса осуществляется подача промывающей жидкости. Характерное расположение патрубков обеспечивает закручивание потока жидкости в объеме аппарата. В моделируемом аппарате подвод исходной магнетитовой суспензии осуществляется через конический патрубок в верхней части корпуса. Слив концентрата происходит через отверстие в вершине конической части аппарата.

Движение жидкости в объеме сепаратора моделируется 3D-уравнениями Навье-Стокса в приближении несжимаемой жидкости. Магнетитовая суспензия рассматривается как примесь, и движение ее задается 3D-уравнениями конвекции-диффузии. Плотность жидкости в объеме аппарата в уравнениях Навье-Стокса зависит от концентрации частиц примеси. Вязкость жидкости зависит от концентрации частиц и от напряженности внешнего магнитного поля. Сформированная мультифизическая модель представляет собой систему дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка и включает уравнения Навье-Стокса, конвекции-диффузии, Максвелла.

Следующим шагом после формирования системы уравнений является разбиение расчетной области на конечные элементы. Выбор шага разбиения производится исходя из необходимой точности решения и возможностей имеющейся в наличии вычислительной техники.

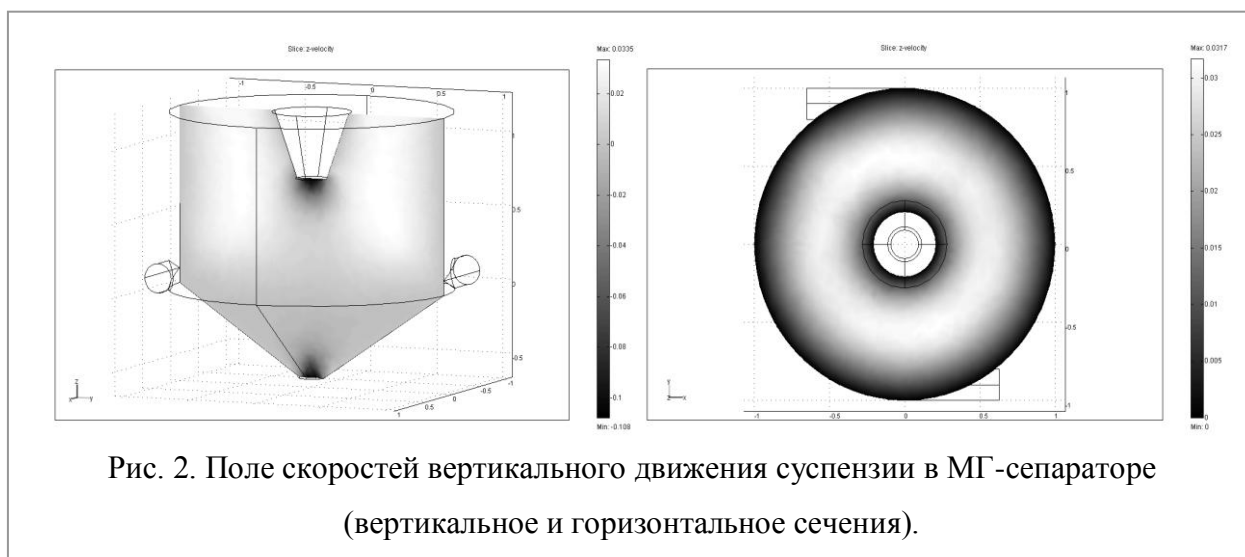


Рис. 2. Поле скоростей вертикального движения суспензии в МГ-сепараторе (вертикальное и горизонтальное сечения).

Использование пакета **FEMLAB** позволяет получить вывод решения задачи моделирования в графическом виде. При этом могут быть сформированы сечения расчетной геометрии в любых направлениях, а также получены графики функций плотности, вязкости, скорости течения, числа Рейнольдса, концентрации частиц. Некоторые результаты моделирования представлены на рисунках 3 и 4.

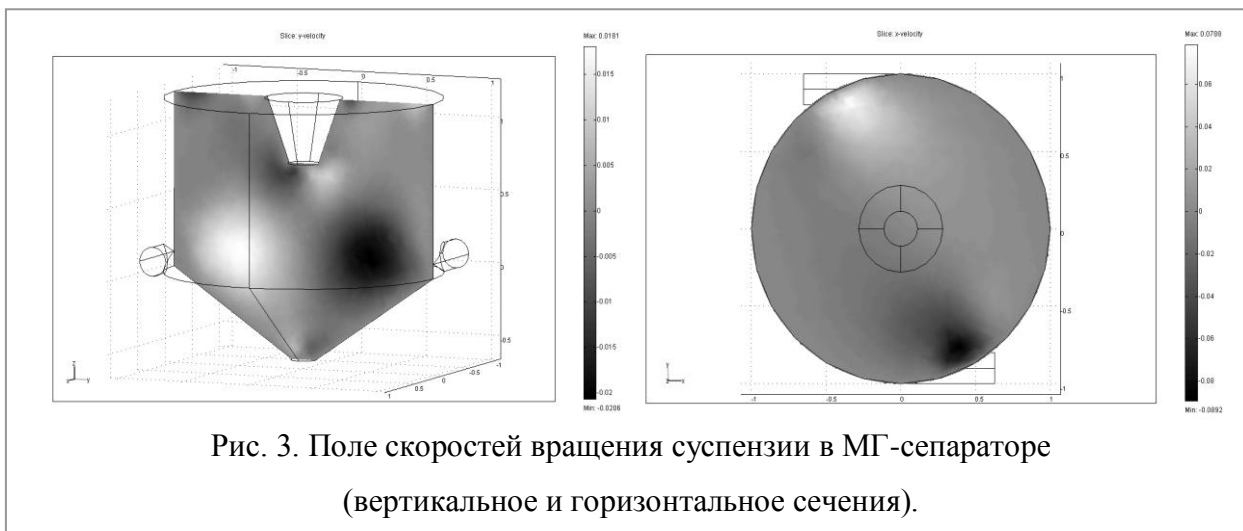


Рис. 3. Поле скоростей вращения суспензии в МГ-сепараторе (вертикальное и горизонтальное сечения).

Цветное изображение, получаемое в результате работы программы, дает наглядную картину распределения исследуемых характеристик по объему аппарата (плоскости сечения). Но и по представленным здесь черно-белым вариантам видно, что скорости потоков суспензии различны в различных точках МГ-сепаратора. В центральной части (по оси) наблюдается нисходящий поток суспензии – подача исходного концентрата. Этот нисходящий поток радиально расходится от оси к стенкам аппарата в донной части. Радиальные скорости имеют нулевые значения на оси сепаратора. В пристеночной области скорость восходящего потока минимальна. Максимального значения вертикальные скорости достигают при значении $\approx 0,5R$ (R - радиус аппарата)

Таким образом, результаты моделирования подтвердили, что условия разделения для магнетитовой суспензии различны в различных точках сечений аппарата. Изучение результатов моделирования гидродинамических потоков выявило следующие недостатки существующих конструкций МГ-аппаратов:

- непостоянство скоростей восходящих потоков жидкости по горизонтальному сечению аппарата;
- наличие большого градиента плотности суспензии по горизонтальному сечению аппарата;
- наличие значительных градиентов напряженности магнитного поля в суспензии по горизонтальному сечению аппарата.

Следствием вышеперечисленных недостатков является сглаживание контрастности свойств выходных продуктов сепаратора и, как следствие, широкий разброс выносимых в слив частиц по классам крупности и по магнитным свойствам. Это приводит к взаимному «загрязнению» продуктов, что отрицательно сказывается на эксплуатационных свойствах существующих моделей МГ-сепараторов.

Усовершенствование конструкции разделительного аппарата

С учетом недостатков, выявленных в существующих конструкциях магнитно-гравитационных аппаратов, и рекомендаций теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) предложена конструкция МГ-аппарата, в которой область подачи и область разделения отделены друг от друга (рис. 4). В предлагаемой конструкции вводится дополнительная цилиндрическая емкость. Ввод суспензии осуществляется через эллиптические отверстия в нижней части этой емкости напротив трубопроводов подачи промывной воды с формированием области интенсивного перемешивания суспензии. Процессы разделения осуществляются в достаточно узком кольцевом канале между двумя цилиндрическими емкостями, что, по предположению, позволит стабилизировать скорость восходящего потока промывной воды и устранить градиенты плотности суспензии и градиенты напряженности магнитного поля H по радиусу аппарата.

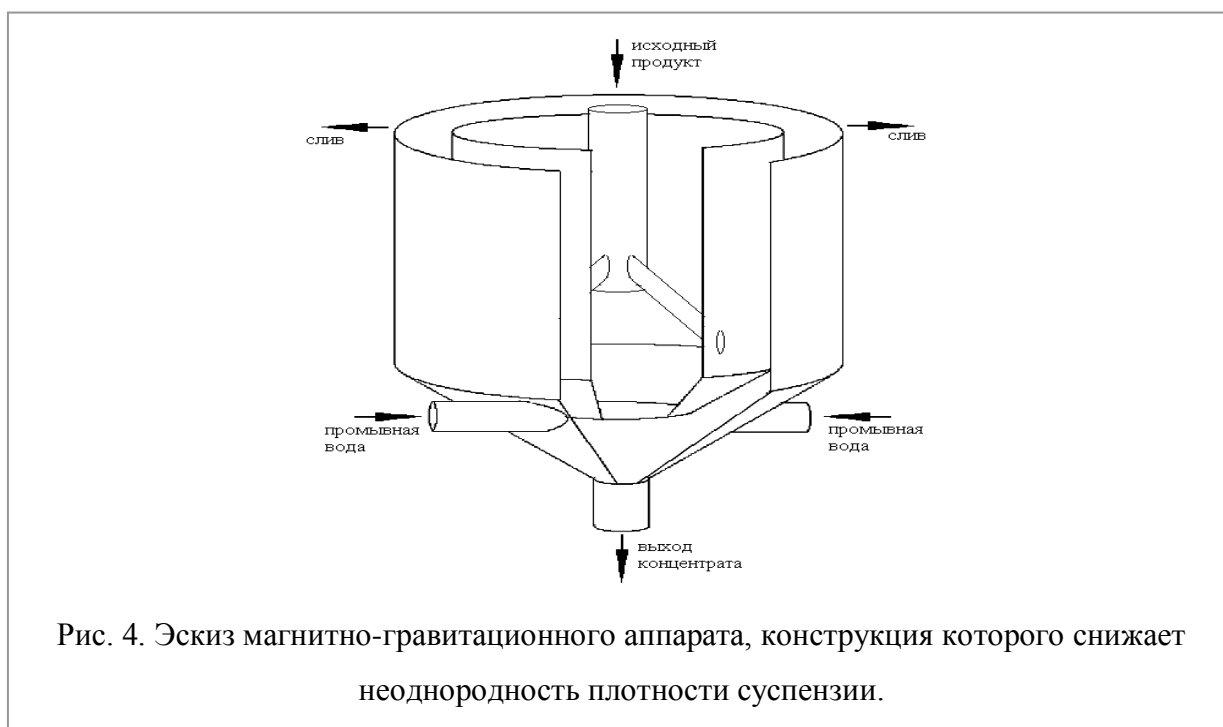
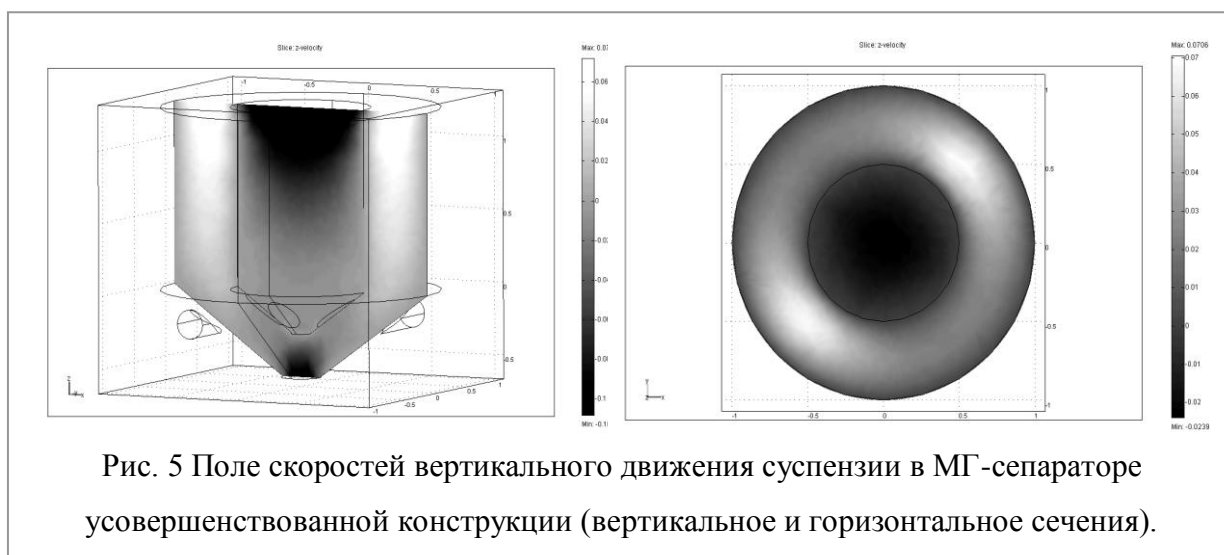


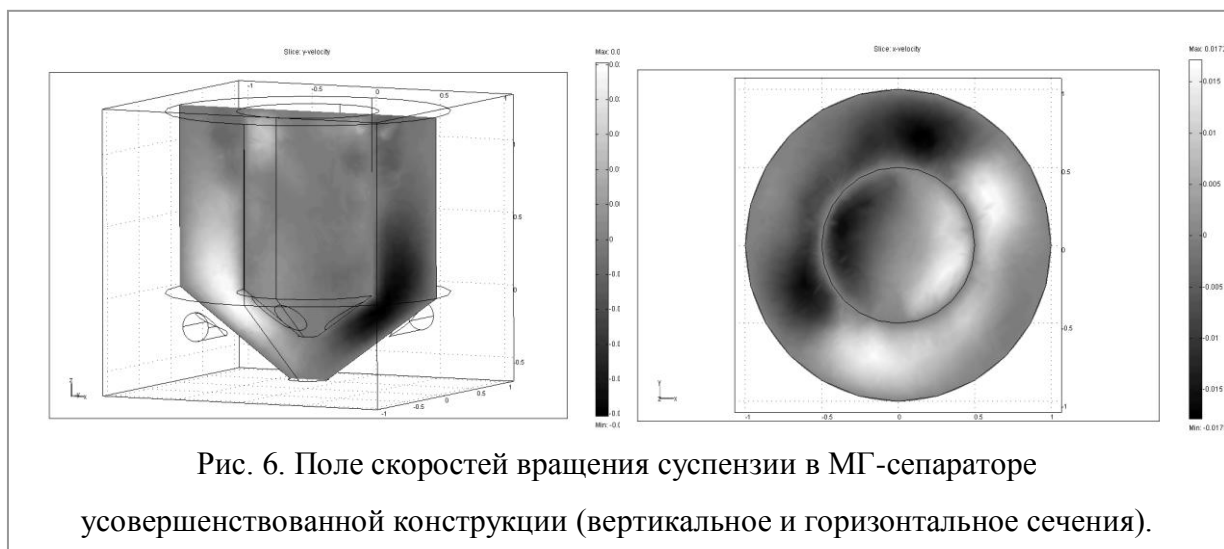
Рис. 4. Эскиз магнитно-гравитационного аппарата, конструкция которого снижает неоднородность плотности суспензии.

Результаты моделирования гидродинамики течений суспензии в усовершенствованной конструкции аппарата, полученные с помощью пакета **FEMLAB** и представленные на рисунках 5 и 6, подтверждают существенное снижение неоднородности параметров процесса.

Выводы



Использование мощных современных программных пакетов моделирования, обеспечивающих решения уравнений различного типа, позволяет снизить трудозатраты на разработку средств информационной поддержки задач совершенствования технологий и аппаратов обогащения минеральных полезных ископаемых. Представленная в статье разработка расширяет спектр решений, созданных в данной области ГоИ и ИИММ КНЦ



РАН. Рассмотренный пример доказывает работоспособность выбранного подхода. Авторы предполагают, что этот подход может быть положен в основу разработки и реализации общей технологии компьютерного моделирования обогатительных аппаратов и схем на основе использования аналитических моделей гидродинамики течений неньютоновских жидкостей в сепарационных аппаратах.

Литература:

1. Олейник А.Г. Информационные ресурсы обеспечения задач переработки минеральных полезных ископаемых// Информационные ресурсы России. - 2004. - № 2. – С.18-21.

2. *Oleynik, A.; Skorokhodov, V. Modeling and simulation in the mineral processing industry // Annals of DAAAM for 2006 & Proceedings of the 17-th International DAAAM Symposium . Vienna, Austria. Vol.17, No1 – P. 275-276.*
3. *<http://www.femlab.com/>*
4. *Усачев П.А., Опалев А.С. Магнитно-гравитационное обогащение руд. - Апатиты: КНЦ РАН, 1993. - 92с.*
5. *Усачев П.А., Бирюков В.В., Олейник А.Г. Имитационная модель магнитно-гравитационного сепаратора // Информационные технологии в региональном развитии. – Апатиты, 2003. - С.148-153.*
6. *<http://matlab.krasu.ru/femlab/default.asp.htm>*