УДК 622.732, 62-9

В.М.СИЗЯКОВ, *д-р техн. наук, профессор, (812)328-82-65*
Д.В.ГРАДОВ, *аспирант, gradov-dmitrii@mail.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург
ИЛККА ТУРУНЕН, *профессор, ilkka.turunen@lut.fi*
АРТО ЛААРИ, *доцент, arto.laari@lut.fi*
Лаппеенрантский технологический университет, Финляндия

V.M.SIZYAKOV, *Dr. in eng. sc., professor, (812)328-82-65*
D.V.GRADOV, *post-graduate student, gradov-dmitrii@mail.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg
ILKKA TURUNEN, *professor, ilkka.turunen@lut.fi*
ARTO LAARI, *associate professor, arto.laari@lut.fi*
Lappeenranta University of Technology, Finland

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГАЗОЖИДКОСТНОМ РЕАКТОРЕ

Компьютерное моделирование прочно укрепило свои позиции в разработке оборудования, особенно уникального, отвечающего заданным параметрам конкретного производства или предприятия металлургии. Это объясняется экономической целесообразностью, практически полным отсутствием ограничений в построении геометрии, а также возможностью всестороннего и оперативного исследования оборудования на прочность и, конечно, виртуальным тестированием изделия в рабочем режиме.

Одним из наиболее используемых и непрерывно совершенствуемых программных пакетов для работы с жидкостями и газами является Fluent, продукт компании ANSYS. Данный пакет используется для создания физической, а в дальнейшем и химической модели, способной с высокой точностью описывать и прогнозировать процессы и реакции, имеющие место в газожидкостном реакторе при выщелачивании золота с помощью тиосульфата.

Ключевые слова: выщелачивание, тиосульфат, золото, массообменные процессы, моделирование, газожидкостные реакторы.

COMPUTER MODELING OF PHYSICAL PROCESSES OF GAS-LIQUID REACTOR

Computer based modeling is increasingly strengthening its position in equipment designing, especially unique meeting particular needs of production line or certain plant of metallurgy. There are several reasons for that such as economic benefits, wide range of geometry available to be built and possibility of comprehensive study on materials reliability as well as virtual model testing in working regime.

One of the most applied and therefore permanently developed program packages for fluid behavior modeling is Fluent product of ANSYS company. The package is being used for creation first physical and in future chemical model which will be capable to describe and predict process and reactions behavior of high quality taking place in gold leaching gas-liquid reactor with thiosulphate using.

Key words: leaching, thiosulphate, gold, mass transfer, modeling, gas-liquid reactors.

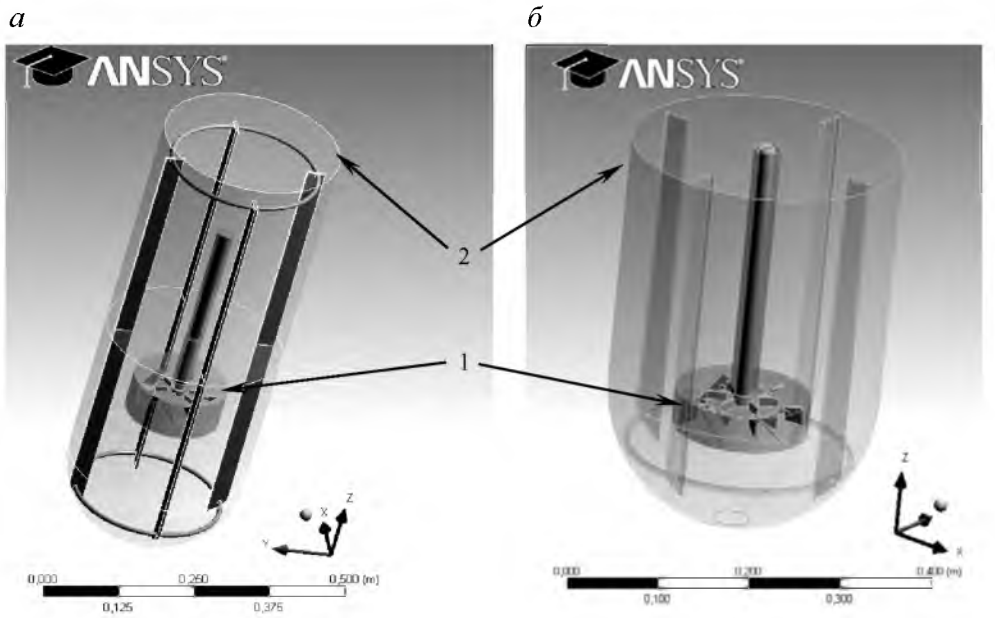


Рис.1. Разделение модели на зоны: *а* – целый реактор; *б* – нижняя часть реактора, заполненного жидкостью

Первым шагом на пути создания законченной компьютерной модели, описывающей процесс тиосульфатного выщелачивания в газожидкостном реакторе, является построение геометрической формы рассматриваемого реактора. Данный реактор был построен в программе Gambit и состоит из четырех основных элементов: импеллера, привода, отражательных перегородок, предотвращающих свободную циркуляцию перемешиваемой жидкости при высокой скорости вращения импеллера и собственно корпуса реактора, оборудованного впускным клапаном для подачи газа.

В настоящее время Fluent – современный, универсальный программный комплекс, предназначенный для решения задач механики жидкостей и газов, включающий ламинарные и турбулентные модели гидродинамики, теплопередачи, фазовых переходов и радиации. База данных содержит свойства множества материалов. Fluent включает множество моделей турбулентности: несколько версий модели *k*-epsilon, модели *k*-omega, и Reynolds stress модель.

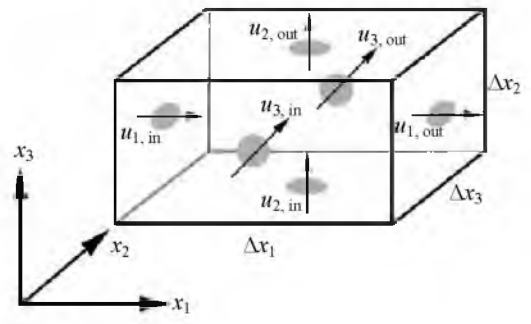


Рис.2. Принцип расчета элементарной ячейки

Чтобы имитировать процесс перемешивания, построенную геометрическую модель необходимо разбить на две основные зоны (рис.1): зону возмущения* (она же зона вращения, непосредственно примыкающая к приводу с импеллером) и зону отклика (все оставшееся пространство в пределах геометрии), на которую передается возмущение. Таким образом, жидкость в первой зоне движется вокруг неподвижных привода и импеллера, передавая остаточные возмущения в зону отклика, и тем самым создается эффект вязкой среды, сопротивляющейся возникшему в ней движению. В описанном способе построения симуляции процесса перемешивания в реакторе есть некоторые недостатки, прежде всего связанные с передачей движения между зонами, которые зависят от качества разбивки на единичные элементы перед расчетом, а следовательно, требуют большей мощности компьютера и (или) времени расчета. Еще одним недостатком является объем зоны возмущения: чем она больше, тем большее искажение.

* *Vlachos P., Vlachakis N., Telionis D.* Performing fluent simulations in stirring vessels. Blacksburg. USA. 2006.

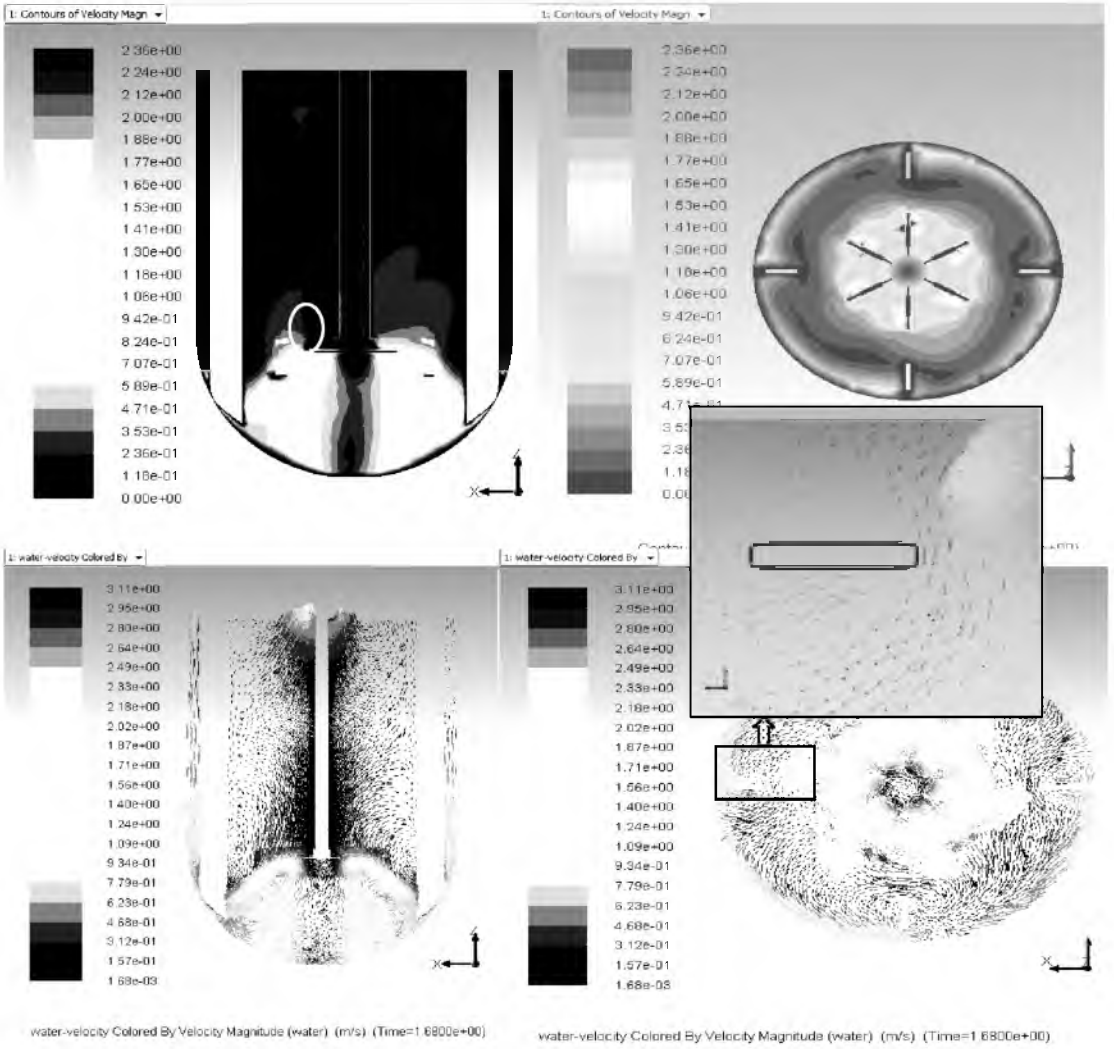


Рис.3. Контуры (сверху) и векторы (внизу) полей скоростей

Для упрощения расчетов была взята только нижняя часть модели (рис.1, *б*), в которой происходит движение жидкости, что вдвое сократило время расчета. Полученная модель имеет следующие параметры:

Параметр	Длина, мм
Высота реактора H	700
Высота уровня жидкости H_f	425
Диаметр реактора D_t	300
Диаметр импеллера d	135
Высота импеллера d_h	35
Расстояние от дна реактора до отражателей L	135
Диаметр газового клапана d_{gas}	40

Программа Fluent способна оперировать только потоками флюидов, т.е. жидкостями, газами и сыпучими средами, но не жесткими каркасами и движущимися частями механизмов. Расчет движения частиц основывается на уравнениях Навье – Стокса, описывающих гидродинамику ньютоновских жидкостей в элементарной ячейке (рис.2) сетки, разбивающей модель**:

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j)=$$

$$=-\frac{\partial \rho}{\partial x_i}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\mu\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j}+\frac{\partial u_j}{\partial x_i}-\frac{2}{3}\frac{\partial u_k}{\partial x_k}\delta_{ij}\right)\right]+$$

$$+\rho g_i+F_i$$

Затем геометрия была помещена в среду Fluent для задания условий симуляции:

** *Marshal E.M., Baker A.* Computational Fluid Mixing. Technical documentation. company "Fluent". Livan. 2001.

скорость вращения импеллера 300 об./мин по часовой стрелке, содержание твердой фазы (диаметр 10^{-5} мм, плотность 2970 кг/м^3) 30 % от объема жидкой фазы, расход воздуха 5 л/с. После обработки данных программным пакетом были получены результаты в виде контуров и векторов полей скоростей (рис.3). При увеличении видно, как смесь, увлекаемая лопастями импеллера, разбивается об отражательные перегородки и, снижая скорость, огибает препятствие. Последствия недостатков данного способа очевидны: на месте стыка зон возмущения и отклика ввиду расхождений в их разбивки сеткой на ячейки. Проблему можно устранить более детальной разбивкой зон, что неизбежно ведет к увеличению времени расчета.

Адекватность модели частично была проверена с помощью метода трассерной визуализации. В качестве среды использовалась вода, в нее были помещены стеклянные сферы – трассеры, при отслеживании движения которых были получены поля скоростей. Трассерная визуализация проводилась без подачи воздуха и твердой фазы. Задачей являлась проверка сходимости полей скоростей движения жидкости при одинаковой скорости вращения импеллера.

С помощью контуров распределения фаз можно отследить поведение подаваемого через клапан воздуха, уменьшая содержание газа. Сначала подаваемый газ плотным потоком движется к основанию импеллера. Затем, увлекаемый создаваемым импеллером потоком, газ рассеивается, занимая больший объем с меньшим содержанием, постепенно движется к поверхности и достигает 0,04 %.