

**Д.В.ГРАДОВ**, аспирант, *gradov-dmitrii@mail.ru*  
**В.М.СИЗЯКОВ**, д-р техн. наук, профессор, (812)328-82-65  
*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*

**D.V.GRADOV**, post-graduate student, *gradov-dmitrii@mail.ru*  
**V.M.SIZYAKOV**, Dr. in eng. sc., professor, (812)328-82-65  
*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*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТИОСУЛЬФАТНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ГАЗОЖИДКОСТНЫХ РЕАКТОРАХ**

В современной металлургии все больше внимания уделяется безопасности химических процессов как по отношению к работающему персоналу, так и окружающей среде. Одной из опаснейших отраслей металлургии является цианирование золотоносных руд. Последние 30 лет активно ведутся исследования возможности замены цианидов на другие растворители. Конкуренцию цианидам составляют тиосульфат и тиомочевина. В рамках программы сотрудничества между Горным университетом и Лаппеенрантским технологическим университетом проводятся исследования по совершенствованию выщелачивания золота с помощью тиосульфата. Основные усилия сосредоточены на химии процесса, однако не последнюю роль играют и массообменные процессы гетерогенных систем. Их оптимизацию планируется достичь за счет компьютерной модели, основанной на данных, полученных с помощью лазерной методики изучения полей скоростей.

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

## **RESEARCHES ON IMPROVEMENT OF GOLD LEACHING PROCESS BY MEANS OF MASS TRANSFER OPTIMIZATION IN GAS-LIQUID REACTORS**

Modern metallurgy pays more attention to chemical processes safety of staff and nature environment. One of the most hazardous branches in metallurgy is gold ores cyanidation. Researches on possibility to avoid cyanide leaching are carrying out during last thirty years. Cyanide competitors are thiosulphate and thiourea solvers. Within international cooperation between National Mineral Resources University and Lappeenranta University of Technology researches are devoted to thiosulphate leaching improvement. Main efforts are forwarded on process chemistry, however mass transfer processes of heterogenic systems are important as well. Therefore their optimization is planned to achieve by means of computer modeling based on particle image velocimetry.

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

Гидрометаллургические реакторы – основные элементы многих производственных схем. Главными критериями их работы являются результаты и достигаемая производительность. Оба эти показателя самым тесным образом связаны со скоростью технологического процесса, т.е. со скоростью физико-химических превращений, которые характеризуют особенности технологии. Эти превращения – физические процессы тепло- и массопереноса и собственно химические реакции – обычно протекают по сложным механизмам, кинетические модели которых часто строят на оценках первичных и лабораторных опытов\*.

Объектом исследования является процесс тиосульфатного выщелачивания в агитационном реакторе (рис.1) с добавлением аммония и сульфата меди, а также с подачей



Рис.1. Исследуемый реактор и его геометрическая модель, построенная в программе GAMBIT

воздуха. В качестве сырья выступает промышленный флотационный концентрат. Агитационное выщелачивание предусматривает интенсивное перемешивание выщелачиваемого твердого материала с растворителем. Можно считать, что при таком способе выщелачивания температура и кон-

\* Доброхотов Г.Н. Гидрометаллургические процессы: Учеб. пособие. Л., 1976.  
Dobrohotov G.N. Hydrometallurgical processes. Leningrad, 1976.

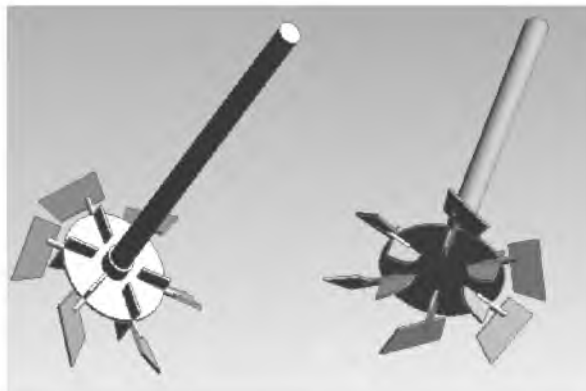


Рис.2. Модель импеллера 2000 Series компании «Outotec» (Финляндия)

центрация раствора в одном аппарате остаются постоянными\*\*.

При выборе мешалки следует учитывать два основных фактора: расход энергии и эффективность перемешивания, т.е. качество достигаемого результата и скорость его получения. Исследование проводится с использованием мешалки, предоставленной компанией «Outotec» с маркировкой OKTOP Reactor 2000 Series (рис.2), специально спроектированной для гетерогенных систем с увеличенной задержкой и диспергированием подаваемого газа в зоне агитации. В будущем планируется построение аналогичных моделей с другими типами мешалок, предназначенных для перемешивания и диспергирования газа в реакторе.

Компьютерное моделирование осуществляется с использованием программного пакета Fluent компании «Ansys», широко используемого инженерами-проектировщиками по всему миру, а также ведущими университетами в учебных и исследовательских целях. Данный программный продукт позволяет с высокой точностью прогнозировать поведение газовых и жидкостных потоков в пределах заданной геометрии и их механическое, тепловое, а также химическое взаимодействие с возможностью корректировки основных законов и параметров прогнозируемого взаимодействия.

\*\* Наумчик А.Н. Аппаратура для выщелачивания и разделения пульпы в гидрометаллургии. Л., 1984.  
Naumchik A.N. Leaching and pulp separating equipment in hydrometallurgy. Leningrad, 1984.

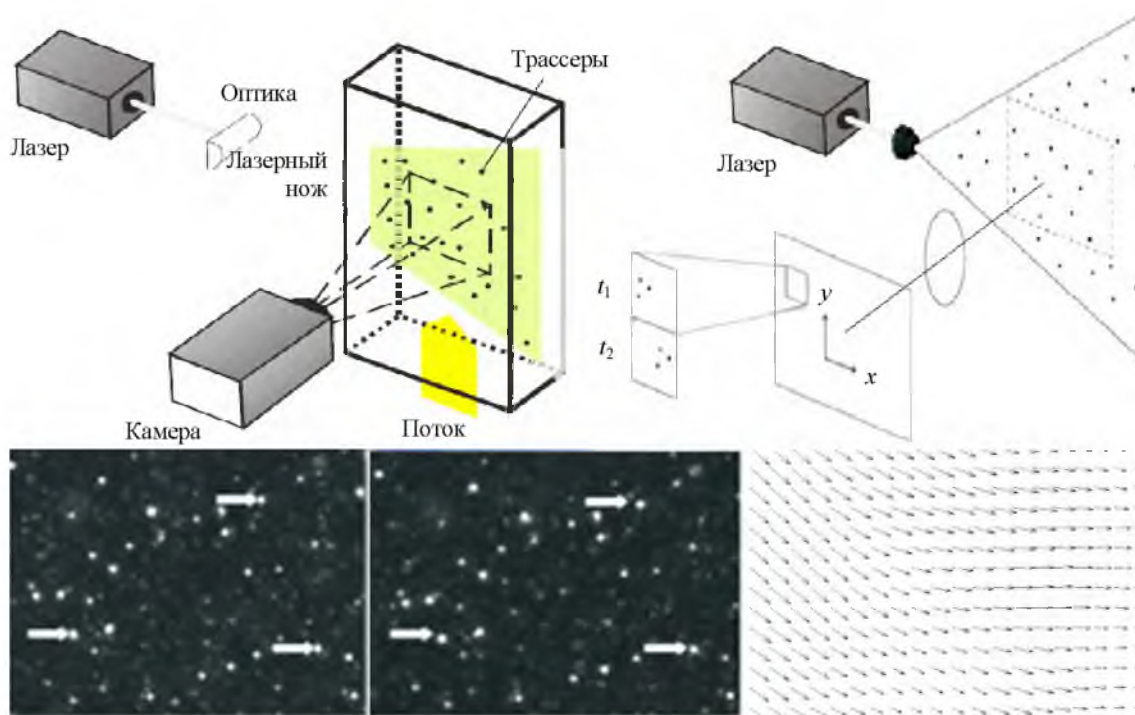


Рис.3. Принцип действия метода трассерной визуализации и последующей обработки с помощью программного обеспечения компании «Lavision» (Германия)

Апробация компьютерной модели на адекватность осуществляется с помощью метода цифровой трассерной визуализации. Принцип действия (рис.3) основан на измерении мгновенного поля скорости потока жидкости или газа в заданном сечении. Таким образом, лазер, создающий плоскость в исследуемом потоке, позволяет камере отследить специально подобранные трассирующие частицы, идентичные частицам потока, и после обработки изображений софтом построить поля скоростей частиц, двигающихся в пото-

ке. Отслеживание движения пузырьков воздуха осуществляется с помощью специального флюоресцирующего вещества.

Конечной целью является законченная модель, позволяющая определить оптимальные условия в реакторе для максимизации площади взаимодействия трех фаз. Следующий шаг – комбинирование физической модели, позволяющей с высокой точностью описывать поведение трехфазной системы в реакторе и происходящие в нем химические превращения.