

**Рис. 5.** Изменение средней относительной закоксованности ( $Z_c = q_c / q_c^0$ ) слоев катализатора при динамическом изменении концентрации  $O_2$

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Масагутов Р.М., Морозов Б.Ф., Кутепов Б.И. Регенерация катализаторов в нефтехимии и нефтепереработке. М.: Химия, 1987.
2. Балаев А.В., Дробышев В.И., Губайдуллин И.М., Масагутов Р.М. Исследование волновых процессов в регенераторах с неподвижным слоем катализатора // Распространение тепловых волн в гетерогенных средах. Новосибирск: Наука, 1988. С.233–246.
3. Слинко М.Г. Основы и принципы моделирования каталитических процессов. Новосибирск: ИК им.Г.И. Борескова СО РАН, 2004.

# Параллельные вычисления в нефтехимии и буровой технологии



## 19 Параллельные вычисления в нефтехимии и буровой технологии

При исследовании и оптимизации технологических процессов, таких, как управление технологическими параметрами буровых растворов в процессе строительства нефтяных и газовых скважин, исследователи сталкиваются с необходимостью решения обратных оптимизационных задач. Такие задачи могут быть решены только на основе адекватной математической модели свойств бурового раствора. В статье приводится пример решения задачи определения состава раствора по его технологическим параметрам с применением технологии параллельного программирования MPI.

### АВТОРЫ:

**И.М. Губайдуллин** – канд. физ.-мат. наук, доцент, ст. науч. сотрудник. ИНК РАН;  
e-mail: IrekMars@mail.ru

**Ю.Б. Лид** – канд. физ.-мат. наук, инженер ООО «БашНИПНефть»;  
e-mail: LindYuB@yandex.ru

**Р.А. Мулюков** – канд. тех. наук, доцент, руководитель сектора промысловых жидкостей и крепления скважин ООО «БашНИПНефть»;  
e-mail: MulukovRA@bashneft.ru

При исследовании и оптимизации технологических процессов, таких, как построение кинетических схем сложных химических реакций и управление технологическими параметрами буровых растворов в процессе строительства нефтяных и газовых скважин, исследователи сталкиваются с необходимостью решения обратных оптимизационных задач. Специфика обратных задач состоит в том, что они предполагают значительный объем вычислений и организованную структуру хранения данных. Решение обратных задач должно удовлетворять современным требованиям, таким, как получение результатов за ограниченное время с достаточно высокой точностью. Для этого необходимо использовать современные вычислительные технологии и разрабатывать новые базы для хранения данных и алгоритмы распараллеливания вычислений.

### Рассматриваемые объекты

При исследовании сложных химических реакций одним из основных этапов идентификации их механизма является построение кинетической модели реакции. В Институте нефтехимии и катализа РАН под руководством директора института, чл.-корр. РАН У.М. Джемилева проводятся исследования реакции каталитического гидроалюминирования олефинов как более безопасного и универсального способа синтеза высших алюминийорганических соединений, альтернативного традиционно применяемому термическому гидроалюминированию [1].

При исследовании и построении кинетической модели рассматриваемой реакции возникают следующие задачи:

- построение и анализ математической модели;
- определение кинетических параметров, описывающих экспериментальные данные; анализ методов решения прямой кинетической задачи;
- анализ методов решения обратной кинетической задачи – минимизации функции многих переменных; выбор и реализация наиболее эффективных из рассмотренных способов.

В лабораториях ООО «БашНИПНефть» ведутся исследования по разработке оптимальных рецептур буровых растворов [2]. Понятие «буровые растворы» охватывает широкий круг жидких, суспензионных, коллоидных и аэрированных сред, имеющих различные составы и свойства и применяемых для промывки скважин в процессе бурения.

Получение и поддержание проектных технологических параметров буровых растворов в настоящее время носит, как правило, эмпирический характер. Это вызвано тем, что характерной особенностью процесса проектирования

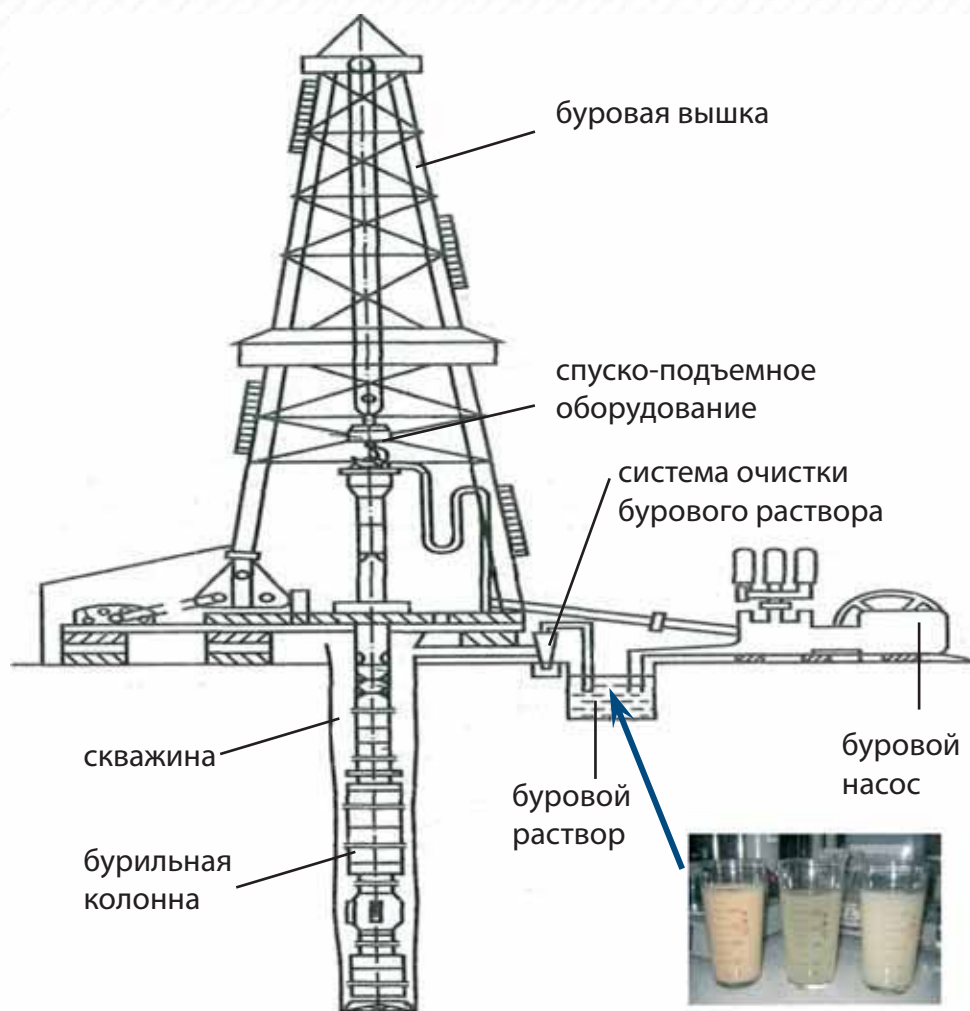


Рис. 1. Схема циркуляционной системы буровой

промывочных жидкостей является необходимость варьирования достаточно большого числа входных факторов, при этом степень влияния многих из них на показатели свойств раствора нередко зависят от величины и уровня остальных факторов. Кроме того, свойства бурового раствора претерпевают значительные изменения в процессе эксплуатации за счет попадания в него многообразных



Рис. 2. Экспериментальная база рассматриваемых объектов

примесей, что приводит к различным физико-химическим превращениям. Учесть все эти факторы при проектировании раствора не представляется возможным.

Эффективное решение данной проблемы состоит в решении обратной задачи — определение состава раствора по его технологическим параметрам, которое возможно только на основе адекватной математической модели свойств бурового раствора.

Таким образом, обратные задачи изучения механизмов сложных химических реакций и проектирования технологических параметров буровых растворов связаны с минимизацией критерия отклонения результатов расчета от данных натурального эксперимента и предполагают значительный объем вычислений, обеспечивающих, тем не менее, достаточно низкую точность, что вызывает необходимость использования для их решения технологии высокопроизводительных параллельных вычислений.

Распараллеливание вычислительного процесса и результаты

Для эффективной организации вычислительного процесса при решении поставленных задач предложена модель распараллеливания, объединяющая три подхода [3]:

- распараллеливание по экспериментальной базе;
- использование внутреннего параллелизма задачи;
- распараллеливание численных методов решения обратной задачи.

Распараллеливание вычислительного процесса для рассматриваемых задач осуществляется посредством передачи сообщений при помощи стандарта MPI. На основе разработанных параллельных алгоритмов был составлен про-



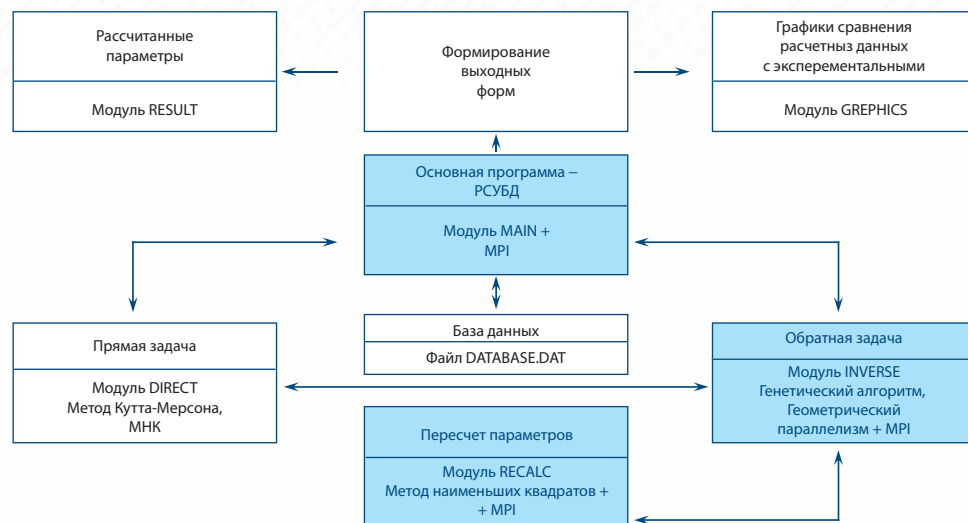


Рис. 3. Комплекс программ по решению обратных задач

граммный комплекс решения обратных производственных задач и произведен вычислительный эксперимент на суперкомпьютере МВС-100К Межведомственного суперкомпьютерного центра РАН.

С использованием разработанного программного комплекса были получены следующие результаты:

- построена кинетическая модель реакции гидроалюминирования олефинов алкилаланами, на основе которой уточнены расчетно-экспериментальные гипотезы о механизме протекания реакции;
- разработан оптимальный состав ингибирующего бурового раствора с высокой транспортирующей способностью (ИБРВТС), удовлетворяющий проектным интервалам и обладающий повышенной транспортирующей и выносной способностями;

Разработанные программные комплексы внедрены в работу экспериментальных лабораторий ИНК РАН, ООО «БашНИПинефть», а также на буровых предприятиях ОАО АНК «Башнефть». Экономическая эффективность их использования составляет более 700 тыс. руб. в месяц.

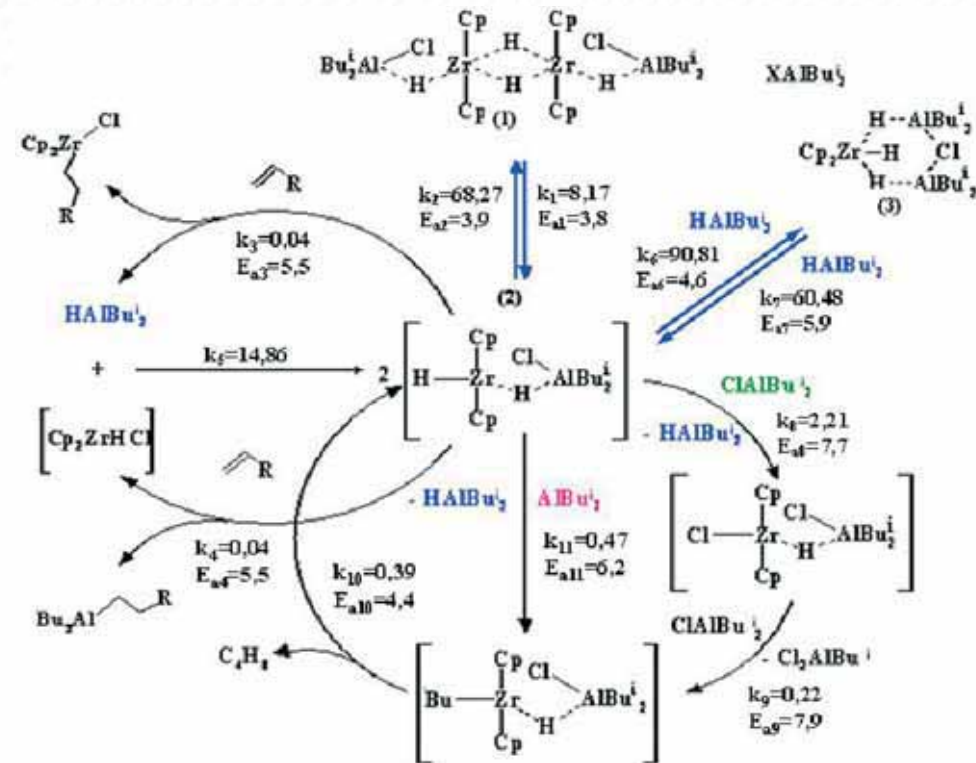


Рис. 4. Кинетическая модель реакции гидроалюминирования олефинов

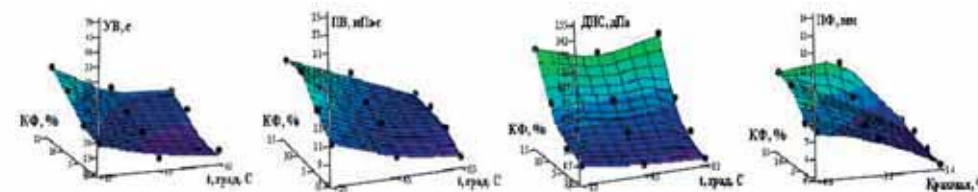


Рис. 5. Сравнение рассчитанных значений технологических параметров ИБРВТС с экспериментальными данными (точки – эксперимент, поверхности – расчет)

## Эволюционная история предельно упрощенных животных — ортонектид

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Parfenova L.V., Balaev A.V., Gubaidullin I.M., Pechatkina S.V., Abzalilova, L.R., Spivak S.I., Khalilov L.M., Dzhemilev U.M. Kinetic Model of Olefins Hydroalumination by  $\text{HAlBui}_2$  and  $\text{AlBui}_3$  in Presence of  $\text{Cp}^*2\text{ZrCl}_2$  Catalyst // *Int. J. Chem. Kinet.*, 2007. V. 39, N 6. P. 333–339.
2. Клеттер В.Ю. Эффективность применения ингибирующих буровых растворов при строительстве скважин на месторождениях ОАО «АНК «Башнефть» // Мат. I научно-технической конференции молодых ученых-специалистов ООО «Башнефть-Геопроект». Уфа. 2009. Т. 1. С. 147–150.
3. Линд Ю.Б., Губайдуллин И.М., Мулюков Р.А. Методология параллельных вычислений для решения задач химической кинетики и буровой технологии // *Системы управления и информационные технологии*. 2009. № 2(36). С. 44–50.

