

ВЫСОКОЭКОНОМИЧНЫЙ БИОКАТАЛИТИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ОЧИСТКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА ОТ СЕРОВОДОРОДА

С. В. Калюжный —

ведущий научный сотрудник кафедры химической энзимологии
химического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова, г. м. н.

В. В. Федорович —

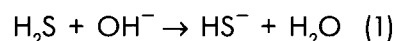
старший научный сотрудник той же кафедры, к. т. н.

По данным на 1993 г., добыча серосодержащего природного газа в странах СНГ составляла 10% от всего объема потребляемого газа. Основной примесью в таком природном газе является сероводород, содержание которого может колебаться в больших пределах — от нескольких миллионных долей до 15 % и более. Применяемые в настоящее время традиционные технологии очистки от сероводорода можно классифицировать на три группы: химическое связывание в жидкой фазе, физическая абсорбция в жидкой фазе и прямая конверсия. Процессы первого типа основаны на химическом взаимодействии H_2S , например, с аминами (Sulfinol процесс). Процессы второго типа (например, Selexol процесс) основаны на абсорбции H_2S диметилловым эфиром или этиленгликолем при повышенном давлении. Наиболее распространенные процессы прямой конверсии включают Stretford процесс (реагенты — карбонат и ванадат натрия), Claus процесс (SO_2 и H_2S реагируют с образованием элементарной серы), SCOT процесс (кобальто-молибденовый катализатор и аминный растворитель), Lo-Cat & Sulferox процесс (окислительно-

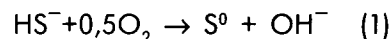
восстановительные процессы с использованием комплексов железа). Основным недостатком всех вышеперечисленных процессов является их реагентный характер, что проявляется в их относительной дороговизне (например, только стоимость реагентов обычно составляет 250-750 \$/тонну удаленной серы). Другие недостатки этих процессов связаны с коррозией оборудования, применением повышенных давлений и температур, а также агрессивных реагентов и, наконец, с общей экологической небезупречностью, так как реутилизация агрессивных реагентов должна являться неотъемлемой частью полного технологического цикла.

Существенно более дешевой альтернативой традиционным методам является разработанный на кафедре химической энзимологии химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова практически безреагентный биокаталитический процесс удаления H_2S из природного газа. Технологическая схема этого процесса представлена ниже. Очищаемый природный газ (1) поступает снизу в скруббер (2), где взаимодействует со слабощелочным раствором (рН 8,0-

8,5) водной фазы, циркулирующей в системе:



Очищенный газ (3) выходит через верх скруббера. Жидкость (4), содержащая H_2S и имеющая близкое к нейтральным значение рН (7,0-7,5), с помощью насоса (5) подается в биореактор (6), в котором с помощью кислорода (7), подаваемого из баллонов, и бактерий рода *Thiobacillus* происходит трансформация H_2S в элементарную серу. При этом происходит регенерация щелочности:



Биореактор является полностью герметичным для предотвращения отдува сероводорода и снабжен газовым компрессором (8) для рециркуляции не утилизованного кислорода по газовой линии (9), соединяющей верхнюю и нижнюю части реактора. Удаление элементарной серы, накопленной в реакторе, производится из нижней его части (11). Жидкая фаза, выходящая из реактора и имеющая слабощелочное значение рН (8,0-8,5), перед возвратом в скруббер по линии (10) проходит отстойник (12) для дополнительной седиментации эле-

ментарной серы. Таким образом, в предложенной технологии осуществляется практически замкнутый цикл по водной фазе, а единственным продуктом является элементарная сера, находящаяся (что крайне важно для ее последующей утилизации) в твердом состоянии.

Так как успех представленной исключительно элегантной технологической схемы в значительной степени определяется эффективностью работы биореактора, то значительные усилия были направлены на оптимизацию его конструкции и производительности. Различные реакторные конструкции (традиционный мешалочный реактор, реактор с внешним аэрируемым контуром, неуправляемый газлифтный реактор и др.) были из-

готовлены и испытаны в лабораторных условиях. Наиболее оптимальная на сегодняшний день из разработанных нами конструкций представляет собой газлифтный реактор, снабженный автоматической системой управления. Этот реактор способен обеспечивать достаточно высокие (94-98%) эффективности конверсии сероводорода в серу при продуктивностях 0,2-0,6 кг S /м³ реактора/ч. Для того чтобы проиллюстрировать исключительную практическую значимость достигнутых результатов, приведем ряд предварительных расчетов экономической эффективности разработанного биокаталитического процесса.

В данных расчетах принимается во внимание только стадия очистки H₂S-содержащей водной фазы, которая поступает в биореактор после растворения сероводорода в скруббере (предполагается, что можно использовать типовые скрубберы, применяемые в промышленности, проектирование и экономика которых хорошо известны).

В качестве типичного примера рассмотрим установку по очистке природного газа производительностью 156 м³/час с концентрацией сероводорода на входе, равной 2% (см. таблицу). При этом эффективность работы скруббера принята как 100%, а производительность биореактора по удалению сероводорода — как 0,42 кг S/м³/час (средняя производительность, полученная при разработке данной технологии в нашей лаборатории). Результаты предварительных рас-

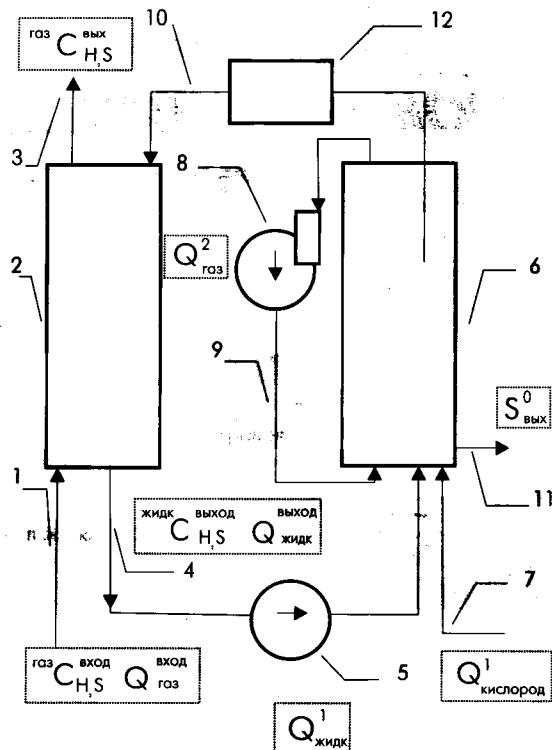


Рис.. Технологическая схема микробиологической очистки природного газа от сероводорода

четов технологических параметров установки приведены в таблице, из которой видно, что для обессеривания заданного потока газа требуется весьма компактный биореактор (фактически пилотного масштаба), что существенно облегчает его встраивание, например, в существующие цеха очистки природного газа.

Капитальные затраты на строительство биотехнологических реакторов экологической направленности (объемом более 1000 м³) в развивающихся странах (к которым Россия по современному уровню развития экономики может быть отнесена) составляют в среднем \$ 200-500 за 1 м³ реактора. С уменьшением объема реактора данная величина становится выше. Для рассматриваемых в нашем случае условий \$ 1000 за 1 м³ реактора является приемлемой величиной. Исходя из объема реактора 13,3 м³ и кур-

Таблица

Пример расчета технологических параметров при проектировании биореактора для очистки природного газа от H₂S.

Параметры	Расчетное значение
Объемная скорость газа, проходящего через скруббер, м ³ /час	156
Концентрация сероводорода в очищаемом газе, %	2
Степень удаления H ₂ S из природного газа в скруббере, %	100
Поток жидкой фазы, выходящей из скруббера, м ³ /час	44,6
Концентрация сульфида в жидкой фазе на выходе из скруббера, кг/м ³	0,1
Общий объем биореактора, м ³	13,3
Коэффициент заполнения биореактора жидкой фазой, %	80
Производительность биореактора, кг S/м ³	0,42
Диаметр реактора, м	1,78
Высота реактора, м	5,34
Производительность насоса для перекачки жидкости из скруббера в реактор, м ³ /час	44,6
Производительность насоса для создания рециркуляции газовой фазы в реакторе, м ³ /час	3590
Скорость подачи газообразного кислорода в реактор, м ³ /час	1,6
pH в биореакторе	7,0-8,5

са американского доллара 27 рублей (декабрь 1999 г.), капитальные затраты на строительство биореактора составят около 360 тыс. рублей.

Эксплуатационные затраты преимущественно складываются из энергозатрат на создание газового рецикла внутри реактора, энергозатрат на перекачку жидкой фазы из скруббера в биореактор, затрат на воду, кислород и соли, стоимости обслуживающей реактор рабочей силы. По нашим прикидкам, годовые эксплуатационные затраты составят не более 380 тыс. руб./год, при этом будет удалено примерно 50 т серы. Таким образом, стоимость удаления одной тонны серы (без учета расходов на скруббер) составит 7,6 тыс. руб. или \$ 281. Эта величина близка к нижней границе стоимости одних только реагентов, применяемых в традиционных технологиях очистки природного газа, загрязненного H_2S .

Экономический эффект от внедрения предлагаемой биокаталитической технологии складывается из стоимости очищенного газа и получаемой в процессе очистки элементарной серы. Если принять увеличение стоимости газа в результате очистки всего лишь в размере один рубль за один m^3 , то суммарное годовое увеличение стоимости очищенного газа составит 1366 тыс. руб.

Таким образом, за вычетом эксплуатационных затрат, годовая экономия составит около миллиона рублей, а срок окупаемости биореактора — порядка четырех месяцев (даже без учета стоимости получаемой серы!). Естественно, эти расчеты носят предварительный характер и требуют корректировки профессиональными экономистами, но полученные оценки впечатляют.

Суммируя все вышесказанное, можно отметить следующие бес-

ПОМОЩЬ В РАЗВИТИИ БИЗНЕСА

Уполномоченный Правительства Москвы

НЕЖИЛЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ В НОВОСТРОЙКАХ МОСКВЫ

- Оперативная информация о нежилых помещениях в новостройках
- Консультации и сопровождение клиента до момента получения договора купли-продажи
- Подготовка полного пакета документов
- Полная гарантия чистоты сделки
- Постановка на постоянное информационное обслуживание

Тел.: **277-1105/06**
Факс: **277-1101**
E-mail: peresvet-in@mtu-net.ru

МАР

**ПЕРЕСВЕТ
ИНВЕСТ**

Агентство
недвижимости

Лицензии:
№ 000220(006)
№ 000354(222)

МГР

КВАРТИРЫ В МОСКВЕ И ПОДМОСКОВЬЕ

- Новостройки Москвы **274-4101**
- Новостройки Подмосковья **277-1108/09**
(для жителей стран СНГ-оформление гражданства)
- Вторичный рынок **277-1005/06**
(обмен, продажа, покупка)
- Дома и дачи Подмосковья **277-1408**

Бесплатная охраняемая стоянка

спорные преимущества предлагаемого подхода для очистки природного газа от сероводорода по сравнению с традиционными технологиями:

- практически безреагентный характер (небольшие количества минеральных солей требуются для роста бактерий, а также щелочь для подтитровки среды в скруббере);

- дешевизна;
- высокие эффективности удаления сероводорода;

- практически замкнутый цикл и минимальное количество сточных вод;

- единственным продуктом процесса является элементарная сера, которая может быть легко реутилизирована;

- проведение процесса при давлениях и температуре окружающей среды, что делает его безопасным;

- компактность реализации.

В настоящее время нами проводятся разработки нового поколения биореакторов для работы с газообразным сырьем, которые будут обладать более высокой эффективностью использования последнего и более низкими энергозатратами.

Однако успешное проведение данных работ требует дополнительного финансирования, поэтому авторы всемерно готовы к сотрудничеству с заинтересованными организациями.

Авторы выражают благодарность Министерству науки и технологий РФ (подпрограмма «Биокаталитические технологии»), а также предприятию «Оренбурггазпром» за финансовую поддержку при проведении этих работ. ■