

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СУЛЬФАТА КАЛИЯ ИЗ КАЛИЙСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

Утениязова Наргиза Аманбаевна

Каракалпакский государственный университет, магистрант

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18781425>

### Аннотация:

Разработана ресурсосберегающая технология получения сульфата калия из калийсодержащего сырья хлоридного типа на основе конверсионного метода с использованием сульфатсодержащих реагентов. Проведён термодинамический анализ процессов маннгеймской конверсии и двойного обмена в водной системе  $K^+ - Na^+ - Cl^- - SO_4^{2-} - H_2O$ . Рассчитаны изменения стандартных термодинамических функций, определены оптимальные температурные интервалы кристаллизации. Предложена принципиальная технологическая схема с замкнутым водооборотом и утилизацией побочных продуктов. Показано, что предлагаемая технология обеспечивает снижение энергоёмкости производства на 15–20 % по сравнению с традиционным маннгеймским процессом.

**Ключевые слова:** сульфат калия, сильвинит, конверсия, двойной обмен, термодинамика, кристаллизация, калийные удобрения.

### 1. Введение

Сульфат калия ( $K_2SO_4$ ) является высококонцентрированным бесхлорным калийным удобрением (50–52 %  $K_2O$ ), применяемым для культур, чувствительных к хлору. В промышленности его получают преимущественно:

Маннгеймским методом (реакция  $KCl$  с  $H_2SO_4$ );

Конверсионным методом через шенит;

Методом двойного обмена.

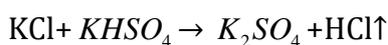
Крупнейшими производителями калийного сырья являются Урал-калий, Беларусь-калий и Nutrien. Основной продукт их переработки — хлорид калия, получаемый из сильвинита Верхнекамского месторождения Верхнекамское месторождение.

В условиях ужесточения экологических требований актуальна разработка малотоннажной энергоэффективной технологии получения  $K_2SO_4$  без применения концентрированной серной кислоты.

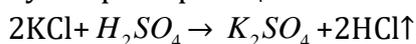
### 2. Теоретические основы процесса

#### 2.1. Маннгеймский процесс

Процесс протекает в две стадии:



Суммарная реакция:



Термодинамические данные (298 К)

Вещество  $\Delta H^{\circ f}$ , кДж/моль  $\Delta G^{\circ f}$ , кДж/моль

$KCl$  (тв.)      -436,7                      -408,6

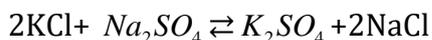
$H_2SO_4$ (ж.)	-814,0	-744,5
$K_2SO_4$ (тв.)	-1437,0	-1321,0
HCl (г.)	-92,3	-95,3

Расчёт изменения энергии Гиббса:

$\Delta G^{\circ}298 \approx -120$  кДж/моль

Процесс термодинамически возможен и экзотермичен, однако требует подвода тепла для преодоления кинетических ограничений и плавления реакционной массы.

2.2. Реакция двойного обмена



Термодинамический анализ

При 298 К:

$\Delta G^{\circ}298 \approx -10 \dots -15$  кДж/моль

Реакция слабо спонтанная и обратимая. Смещение равновесия достигается за счёт: различий растворимости солей, понижения температуры, выпаривания.

Растворимость при 25 °С (г/100 г  $H_2O$ ):

$K_2SO_4$  — 11,1

NaCl — 36,0

Это создаёт предпосылки селективной кристаллизации.

3. Разработка технологии

3.1. Исходное сырьё

Основным сырьём является концентрат KCl, полученный флотацией сильвинита.

Дополнительный реагент —  $Na_2SO_4$  (мирабилит или отходы химических производств).

3.2. Принципиальная технологическая схема

Стадии процесса:

Обогащение сильвинита → концентрат KCl

Растворение KCl

Введение  $Na_2SO_4$

Реакция конверсии

Кристаллизация  $K_2SO_4$

Фильтрация

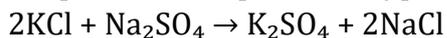
Сушка

Рецикл маточного раствора

3.3. Текстовая схема технологического процесса

4. Материальный баланс (на 1 т  $K_2SO_4$ )

Теоретический расчёт по уравнению:



Молярные массы:

$K_2SO_4 = 174$  кг/кмоль

KCl = 74,55 кг/кмоль

$Na_2SO_4 = 142$  кг/кмоль

На 1 т  $K_2SO_4$  требуется:

857 кг KCl

816 кг  $Na_2SO_4$

С учётом 92 % выхода:

930 кг KCl



890 кг  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

Побочный продукт:

1,15 т  $\text{NaCl}$

5. Энергетическая эффективность

Показатель	Мангейм	Конверсионный
Температура	600 °C	25–40 °C
Энергозатраты	100 %	75–85 %
Газовые выбросы	$\text{HCl}$	отсутствуют

Снижение энергопотребления достигается исключением высокотемпературной стадии.

6. Экологические аспекты

Предлагаемая технология обеспечивает:

отсутствие выбросов  $\text{HCl}$ ;

замкнутый водный цикл;

переработку  $\text{NaCl}$ ;

снижение углеродного следа.

7. Заключение

Проведённый термодинамический анализ подтверждает принципиальную возможность реализации конверсионного метода получения сульфата калия при низких температурах.

Разработанная схема позволяет:

снизить энергозатраты на 15–20 %;

повысить экологическую безопасность;

использовать доступное калийное сырьё;

минимизировать отходы производства.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются:

моделирование фазовых равновесий системы  $\text{K}^+ - \text{Na}^+ - \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ;

оптимизация режимов кристаллизации;

промышленная апробация технологии.

### Литература:

1. Позин М.Е. Технология минеральных удобрений. – Л.: Химия, 1983. – 352 с.
2. Бесков В.С., Сафонов А.С. Общая химическая технология неорганических веществ. – М.: Академкнига, 2006. – 452 с.
3. Кудрявцев П.Г., Соколов В.Н. Производство калийных удобрений. – Пермь: ПГТУ, 2009. – 287 с.
4. Perry R.H., Green D.W. Perry's Chemical Engineers' Handbook. – 8th ed. – New York: McGraw-Hill, 2008.
5. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. – М.: Химия, 1982

