

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПРИРОДНЫХ И ПОПУТНЫХ ГАЗОВ**

А. А. Новиков, Л. Т. Назаренко

В статье рассматриваются возможности использования метода математического моделирования химико-технологических процессов и созданных на этой основе компьютерных комплексов в количественном проектном анализе технологий переработки природных и попутных газов на примере двухстадийной схемы промышленного синтеза метанола.

При всем многообразии вариантов постановки проектных задач они сводятся к двум основным:

1. По заданным: конструкции аппарата, параметрам входных потоков определить режимные параметры процесса и характеристики выходных потоков.
2. По заданным параметрам входных и выходных потоков подобрать конструкцию аппарата и режимные параметры процесса.

Фактически, решение этих задач – основа современных методов проектирования и анализа ХТП. Оно возможно только при наличии:

- адекватной математической модели реактора,
- алгоритмов решения прямых и обратных задач различного типа в их компьютерной реализации,
- эффективных оптимизационных процедур, поддерживающих решение обратных задач.

Задача 1 является задачей собственно анализа ХТП – исследования, оптимизации и прогнозирования существующих промышленных технологий. Задача 2, связанная с выбором реакторного устройства и технологического режима, является задачей оптимизационного типа и практически сводится к многократному решению задачи 1 при варьировании конструкции и режимных параметров реактора. Критерий выбора наилучшего варианта и способ варьирования параметров определяют метод решения оптимизационной задачи.

Из многообразия предложенных в литературе направлений по модернизации и оптимизации действующих установок синтеза метанола одним из наиболее перспективных вариантов представляется двухстадийный синтез, предложенный Розовским А.Я., Лин Г.И., Лендером Ю.В. и др. [1-3] Практически он сводится к включению одного или нескольких проточных реакторов (рис.2) в линию 1 свежего синтез-газа циркуляционной схемы синтеза (рис.1) Данный способ синтеза метанола легко осуществляется на базе существующих проточно-циркуляционных технологических схем.

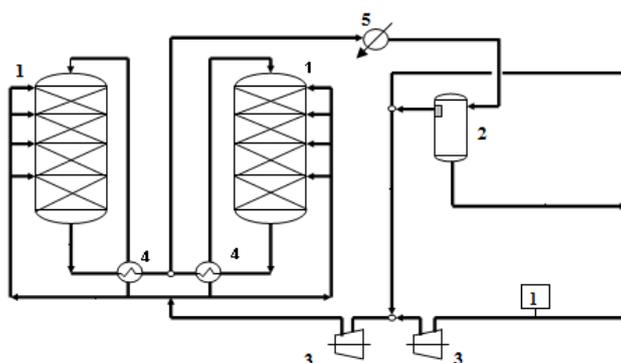


Рисунок 1: Схема реакторного блока синтеза метанола.

- 1 – реактор синтеза метанола, 2 – сепаратор метанола-сырца, 3 – компрессор, 4 – рекуперационные теплообменники, 5 – конденсатор метанола-сырца.

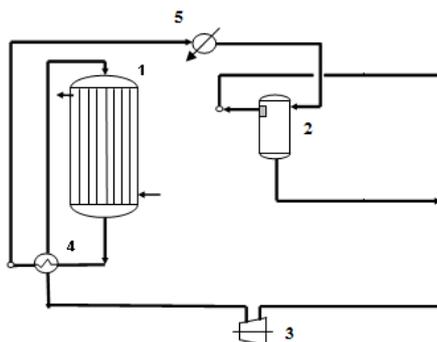


Рисунок 2: Проточный трубчатый реактор синтеза метанола.

1 – реактор синтеза метанола, 2 – сепаратор метанола-сырца, 3 – компрессор, 4 – рекуперационные теплообменники, 5 – конденсатор метанола-сырца.

Введением проточных реакторов снимаются основные противоречия, присущее циркуляционным схемам – стремление к возможно более полной переработке сырья, т.е. приближение состава циркуляционного потока к равновесному, с одной стороны, и связанное с этим снижение производительности единицы объема катализатора, с другой. Компенсируют этот эффект увеличением количества катализатора в реакторах циркуляционной схемы. Так, в современных агрегатах М-750 общий объем дорогостоящего катализатора в двух реакторах циркуляционной схемы составляет более  $260 \text{ м}^3$ .

Повышение удельной производительности катализатора в предлагаемом способе позволяет уменьшить количество катализатора, требуемое для переработки заданного количества газовой смеси, снизить расход энергии для циркуляции газа. В рамках двухстадийной схемы повышение удельной производительности катализатора может быть непосредственно использовано для увеличения производительности установки. Однако проектирование и внедрение таких схем требует проведения количественного анализа их эффективности с выдачей рекомендаций на основные характеристики реакторов и режимов их эксплуатации. Проведенный этапный компьютерный анализ процесса синтеза метанола позволил создать эффективный инструмент для проведения такого анализа.

Модульная структура созданного компьютерного комплекса в целом соответствует этапной схеме анализа технологического процесса и позволяет определять количественные характеристики работы циркуляционного контура (рис. 2) трубчатого реактора (рис. 1).

Основные варьируемые исходные данные:

- температура, давление, объемная скорость и состав входного потока – синтез-газа,
- температура, давление, объемная скорость и состав теплоносителя, организация теплообмена (прямоток, противоток, коэффициент теплопередачи),
- характеристики катализатора (кинетическая модель, набор кинетических параметров, активность, пористость),
- геометрические размеры: количество, длина, внешний и внутренний диаметр труб, диаметр кожуха,
- температура и давление в промежуточном сепараторе.

Основные результаты:

- состав потоков на выходе реактора и сепаратора,
- профили концентраций компонентов реакционной смеси, температуры во внутри- и межтрубном пространстве.

Сопоставление возможностей количественного компьютерного анализа [4,5] и формулировки проектной задачи 2 позволяет сделать вывод о принципиальной возможности его использования при оперативной оценке различных вариантов реконструкции реакторного узла промышленного синтеза метанола.

Компьютерный анализ позволил получить количественные характеристики процесса синтеза метанола в двухстадийной схеме на основе крупнотоннажных агрегатов М-750 (табл.1–3).

Таблица 1

**Проточный политропический реактор в линии свежего синтез-газа,  $V_{кт}=60 \text{ м}^3$**

Параметры	Вход	Выход
Поток синтез-газа, $\text{м}^3/\text{ч}$ при н.у.	346156	235708
Содержание СО/СО <sub>2</sub> , мол.%	14.6/7.5	7.8/9.7
Температура, °С	220	250
Выход метанола-сырца, кг/ч	50427	
Доля метанола, % масс	95	

Таблица 2

**Характеристика работы циркуляционного контура двухстадийной схемы**

$V_{кт}$ цс	Содержание СО в отдуве, % моль	Метанол-сырец, кг/ч	Доля метанола, % масс
132x2	0,08	78620	76,35
102x2	0,10	78560	76,35
80x2	0,12	78420	76,35
60x2	0,19	78160	76,35
50x2	0,33	77520	76,37
45x2	0,55	76290	76,39
42x2	1,00	73900	76,45
40x2	1,60	70020	76,56
Одностадийный синтез в циркуляционной схеме			
132x2	0,53	127490	83,85

Таблица 3

**Эффективность двухстадийной схемы синтеза**

Схема	Общий объем катализатора, $\text{м}^3$	Содержание СО в отдуве мол.%	Выход метанола-сырца, кг/ч	Выход метанола, кг/ч
Двух-стадийная	150	0.55	126717	106115
Циркуляционная	264	0.53	127490	106837

Как следует из полученных расчетных данных, при использовании двухстадийной схемы существенно уменьшается общий объем катализатора (с 264 до  $\sim 150 \text{ м}^3$ ) при практически неизменной производительности установки в целом.

Жесткие условия работы катализатора в проточных реакторах первой стадии (значительное удаление состава смеси от равновесного, интенсивное выделение тепла) требуют его повышенной, по сравнению с традиционно используемыми катализаторами, термостабильности.

В целом, подводя итог представленным материалам, следует подчеркнуть, что решением рассмотренных задач далеко не исчерпываются возможности созданных на основе многоуровневых детерминированных математических моделей компьютерных комплексов. Они позволяют проводить оперативное решение (анализ, одно- и многофакторная оптимизация, прогнозирование, проектные исследования) тех задач, которые наиболее актуальны для технологов в настоящее время.

**Литература**

1. Технология синтетического метанола / под ред. Караваева М. М., Леонова В. Е., Попова И. Г. – М.: Химия, 1984. – 240 с.
2. Розовский А. Я., Лин Г. И. Теоретические основы процесса синтеза метанола. – М.: Химия, 1990. – 272 с.

3. Кравцов А. В., Новиков А. А., Коваль П. И. Компьютерный анализ технологических процессов. – Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1998. – 216 с.
4. Кравцов А. В., Новиков А. А., Коваль П. И., Иволгин Д. В., Навоенко С. В. Оптимизация многотоннажного производства метанола. // Хим. пром. – 1999. – № 8. – С. 49–52.
5. Новиков А. А., Федяева И. М., Мариамидзе Л. Т. Циркуляционные технологические схемы химической переработки попутного нефтяного газа // Вестник Югорского государственного университета. – 2012. – № 3 (26). – С. 45–49.