

УДК 547.822.6 : 547.564.12 : 691.175.743

Данилов Сергей Алексеевич,

магистрант, Ангарский государственный технический университет,  
e-mail: 89526234@mail.ru

Черниговская Марина Алексеевна,

к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,  
e-mail: pm888@mail.ru

Семёнов Иван Александрович,

к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,  
e-mail: semenov\_ia82@mail.ru**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ БЛОКА СИНТЕЗА МЕТАНОЛА  
НА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ**

Danilov S.A., Chernigovskaya M.A., Semenov I.A.

**MODELING THE WORK OF FACILITY FOR METHANOL SYNTHESIS  
ON HIGH-TEMPERATURE CATALYSTS**

**Аннотация.** В рамках работы выполнено моделирование процесса синтеза метанола на цинк-хромовом катализаторе. Модель процесса составлена с применением программного пакета DWSim. Полученные на модели результаты хорошо согласуются с данными по действующей установке, что свидетельствует об адекватности сформированной модели.

**Ключевые слова:** метанол, моделирование, катализаторы.

**Abstract.** The synthesis of methanol on zinc-chromium catalyst was simulated in this work. The process model was compiled using the DWSim. Calculated results are in good agreement with practical data. It indicates the adequacy of the formed model.

**Keywords:** methanol, modeling, catalysts.

Метанол является одним из важнейших продуктов органического синтеза. Он применяется в качестве сырья для различных процессов основного органического синтеза, является хорошим алкилирующим агентом, также может использоваться в качестве растворителя, экстрагента. Особую важность в настоящее время приобретает топливное направление применения метанола [1].

Одним из способов получения метанола является синтез из монооксида углерода и водорода на цинк-хромовых катализаторах при высоких температурах (до 400 °С) и давлениях (25-35 МПа). Подобная технология в настоящее время считается малоэффективной и приводит к увеличению стоимости конечного продукта – метанола-ректификата [2]. Поэтому актуальной задачей является поиск способов повышения эффективности таких установок. Вариантами повышения производительности являются:

1. Применение более экономичных технических решений и устранение «узких мест» в действующих технологических системах, предполагающие реконструкцию или модернизацию установки;
2. Применение более эффективных катализаторов без существенного изменения конст-

руктивных параметров отдельных аппаратов и всей установки в целом.

Прежде, чем приступить к реализации нового технического решения на действующей установке, необходимо создать и проработать модель процесса, которая бы позволила в дальнейшем адекватно отобразить планируемые изменения и их результаты в рамках изучаемого объекта. Поэтому целью данной работы стало создание базовой инженерной модели процесса синтеза метанола на высокотемпературных катализаторах.

Объектом исследования стала действующая установка производства метанола из синтез-газа. Данный процесс протекает на цинк-хромовом катализаторе при температурах от 280 до 400 °С и давлении до 32 МПа. Моделирование осуществляли с помощью программного пакета DWSim.

Модель процесса включала следующие основные стадии:

1. Смешение свежего сырья с рециркулирующим потоком;
2. Предварительный подогрев полученной газосырьевой смеси до температуры синтеза;
3. Синтез метанола;

4. Охлаждение и первичное разделение газопродуктовой смеси.

Схема полученной модели процесса синтеза метанола на высокотемпературных катализаторах представлена на рисунке 1.

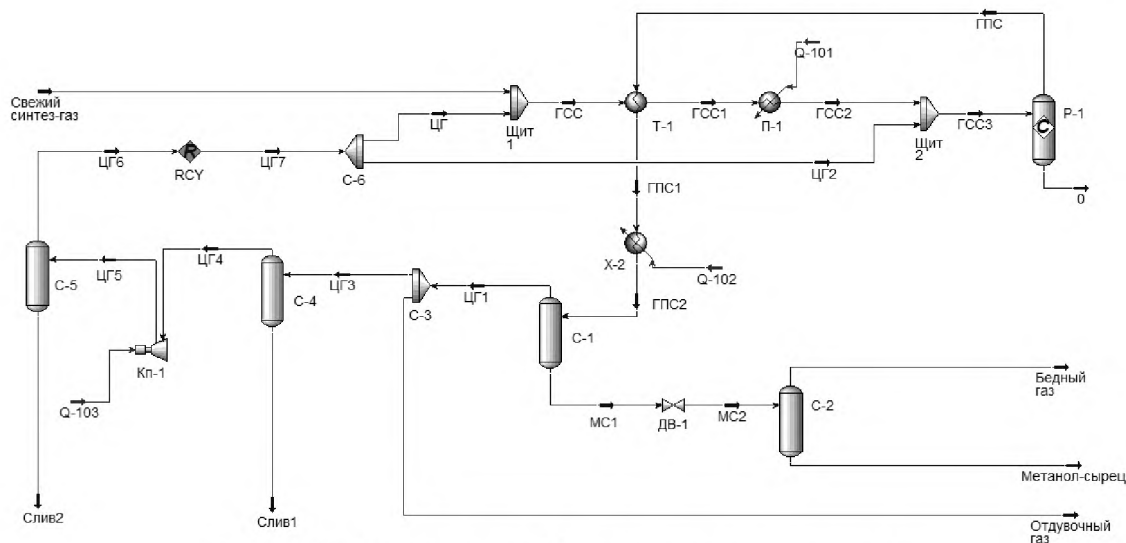


Рисунок 1 – Схема модели блока синтеза метанола-сырца

ДВ-1 – щит дросселирования, Кп-1 – компрессор, П-1 – печь, Р-1 – реактор синтеза, С-1 – сепаратор высокого давления, С-2 – сепаратор низкого давления, С-3 – щит сдувочного газа, С-4, С-5 – каплеотделители, С-6 – щит циркуляционного газа, Т-1 – теплообменник, Х-2 – холодильник, Щит 1 – щит смешения холодного газа, Щит 2 – щит смешения реакционного газа, RCY – оператор рецикла ГСС, ГПС – газосырьевая и газопродуктовая смесь, ЦГ – циркулирующий газ, МС – метанол-сырец

Свежий синтез-газ смешивается с циркуляционным газом на Щите 1. Полученная газосырьевая смесь (ГСС) последовательно нагревается потоком газопродуктовой смеси (ГПС) в теплообменнике Т-1, затем – в печи П-1 и поступает в реактор синтеза Р-1. Для снятия тепла, выделяющегося в ходе экзотермических реакций, в реактор поступает также поток холодного циркуляционного газа. Для упрощения модели было выполнено предварительное смешение горячей ГСС и холодного циркуляционного газа на Щите 2.

Выходящая с реактора ГПС охлаждается в теплообменнике Т-1 потоком ГСС, затем поступает на дополнительное охлаждение в водяной холодильник Х-2. Далее ГПС направляется в сепаратор высокого давления С-1, где разделяется на два потока. Жидкий поток, представляющий собой метанол-сырец с растворенными в нем газами, отводится из нижней части аппарата, проходит через щит дросселирования ДВ-1 и поступает на вторую ступень сепарации в аппарат С-2. Здесь происходит отделение метанола-сырца от растворенных в нем остатков циркуляционного газа, которые в виде потока бедного газа отводятся с установки. Мета-

нол-сырец отводится с блока синтеза в отделение ректификации.

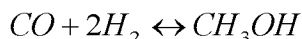
Поток циркуляционного газа из сепаратора высокого давления С-1 направляется на щит сдувочного газа С-3, где часть его в виде потока отдувочного газа удаляется во избежание накопления в системе различных примесей.

После щита С-3 циркуляционный газ направляется в сепаратор-каплеотделитель С-4, где освобождается от следов капельной жидкости, и далее компрессором Кп-1 дожимается до рабочего давления. После компрессора газ отделяется от капель жидкости в сепараторе С-5 и далее поступает на щит циркуляционного газа С-6. Здесь он разделяется на два потока: первый направляется на Щит 1 для смешения со свежим синтез-газом, а второй подается в виде потока холодного газа в реактор через Щит 2.

Для уравнения состояния была выбрана модель Пенга-Робинсона в модификации Стрижека-Веры (Peng-Robinson-Stryjek-Vera, PRSV). Она позволяет более точно просчитывать давления паров чистых компонентов и смесей, а также допускает возможность расчета умеренно неидеальных смесей [3].

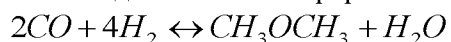
Данная модель также показала хорошие результаты для описания фазового равновесия в системах, содержащих метанол, воду и углекислый газ [4].

Одним из условий корректной работы модели являлось моделирование реактора синтеза с учетом протекающих в нем реакций. Помимо основной реакции получения метанола из синтез-газа:

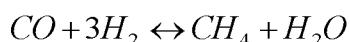


нами были учтены побочные реакции:

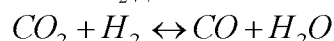
– образования диметилового эфира:



– образования метана:



– гидрирования  $CO_2$  до  $CO$ :



Данный процесс протекает в реакторе адиабатического типа, работающем по принципу вытеснения [5, 6]. В реакторе в несколько слоев загружен гранулированный катализатор (в нашем случае, СМС-4).

Для получения более полной модели такого реактора необходимо иметь все кинетические параметры протекающих в нем реакций с учетом механизма процесса и характеристик катализатора. На предварительном этапе исследования данная задача сводилась к упрощению процесса расчета, поэтому в качестве модели расчета данного аппарата была выбрана модель реактора конверсии. В данной модели степень конверсии не рассчитывается, а задается на основе данных о фактической работе реактора.

Для проверки адекватности полученной базовой инженерной модели было проведено сравнение составов основных потоков, получаемых в ходе процесса, а также сравнение некоторых параметров процесса. Результаты расчета представлены в таблице 1.

Из таблицы видно, что данные, полу-

ченные в ходе расчета процесса с помощью модели, хорошо согласуются с фактическими параметрами работы установки. Это позволяет сделать вывод об адекватности сформированной базовой модели процесса.

Таблица 1 – Сравнение фактических и расчетных данных

Параметр	Данные	
	факт	расчет
Состав циркуляционного газа, мол. дол.:		
H <sub>2</sub>	0,9885	0,9886
N <sub>2</sub>	0,0068	0,0068
CO	0,0040	0,0039
CH <sub>4</sub>	0,0001	0,0001
CH <sub>3</sub> OH	0,0004	0,0004
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	0,0001	0,0001
Состав метанола-сырца, мол. дол.:		
H <sub>2</sub>	-	0,0003
N <sub>2</sub>	-	0,0004
H <sub>2</sub> O	0,1015	0,1038
CH <sub>3</sub> OH	0,8773	0,8940
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	0,0212	0,0015
Температура, °С:		
ГСС на входе в Т-1	28,9	19,8
ГПС на выходе из Р-1	316,6	323,8
Давление, МПа:		
циркуляционного газа	26,9	26,9
Расход, кг/ч:		
циркуляционного газа	7241	7253

Дальнейшие направления использования полученной модели могут быть связаны с анализом работы установки для выявления ее «узких мест» на предмет:

- оптимизации работы установки,
- увеличения энерго- и ресурсоэффективности производства,
- корректировки объема выпуска продукции в соответствии с потребностями рынка.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метанол 2018 [Электронный ресурс] // Creon conferences [сайт] : URL: [http://creon-conferences.com/consulting/detail\\_Conf.php?ID=123802](http://creon-conferences.com/consulting/detail_Conf.php?ID=123802) (дата обращения 02.2020).
2. Караваев М.М., Мастеров А.П. Производство метанола. – М.: Химия, 1973.
3. Thermodynamic Models [Электронный ресурс] // DWSIM Simulator Help (Mobile)

[сайт] : URL: <http://dwsim.inforside.com.br/docs/mobile/help/thermo.htm> (дата обращения 07.2020).

4. Федорова, Е.Б. Комплексное научно-технологическое обоснование производства сжиженного природного газа : дис. ... докт. техн. наук : 05.17.07 / Федорова Елена Борисовна. – Москва, 2019. – 360 с.

5. Караваев М.М., Леонов Е.В., Попов И.Г., Шепелев Е.Т. Технология синтетического метанола. Под ред. проф. М.М. Караваева – М.: Химия, 1984.

6. Караваев М.М., Мастеров А.П., Леонов В.И. Промышленный синтез метанола. – М.: Химия, 1974.

УДК 66-5

*Евдокименко Дмитрий Сергеевич,*  
магистрант, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: evdokimenko.dima@yandex.ru

*Ахтареева Екатерина Олеговна,*  
магистрант, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: yekaterina.akhtareeva@bk.ru

*Дементьев Анатолий Иванович,*  
к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: dementev@angtu.ru

*Подоплелов Евгений Викторович,*  
к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: podoplelov@angtu.ru

### РЕКОНСТРУКЦИЯ СОЕДИНЕНИЯ ТРУБ С ТРУБНОЙ РЕШЕТКОЙ В АППАРАТАХ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

*Evdokimenko D.S., Akhtareeva E.O., Dementev A.I., Podoplelov E.V.*

### RECONSTRUCTION OF THE CONNECTION OF PIPES TO THE GRID IN THE AIR-COOLING UNIT

**Аннотация.** В статье проанализированы виды соединений труб с трубной решеткой в аппаратах воздушного охлаждения. На основе данного анализа предлагается изменить конструкцию крепления труб, и вместо развальцовки использовать затяжные гайки в АВО-103/1-2 установки сернокислотного алкилирования.

**Ключевые слова:** развальцовка, трубная решетка, аппарат воздушного охлаждения, затяжная гайка, трубный пучок.

**Abstract.** The article analyzes the types of pipe connections with a pipe grid in air-cooling devices. Based on this analysis, it is proposed to change the design of pipe fastening instead of rolling to tightening nuts in AVO-103/1-2 of the sulfuric acid alkylation unit.

**Keywords:** flaring, pipe grating, air cooling unit, tightening nut, pipe bundle.

Аппараты воздушного охлаждения в основном используются там, где применение других систем охлаждения технически невозможно или не целесообразно с экономической точки зрения. Крупные производственные предприятия различных отраслей промышленности, расположенные вдали от природных источников воды, нуждаются в охлаждении технологических жидкостей, паров и газов. Для этих целей применяются специальные теплообменные установки – аппараты воздушного охлаждения (АВО) [1].

Одним из важных вопросов совершенствования АВО является прочное и герметичное соединение трубного пучка с трубной решеткой, так как от этого зависит продолжительность работы аппарата, а также каче-

ство охлаждаемого продукта.

Из всех известных способов соединения труб и трубных решеток наиболее производительными следует считать импульсные (способ крепления труб взрывом и электрогидроимпульсный способ), основанные на использовании энергии взрывной волны при взрыве пороха в замкнутом объеме или при мгновенном испарении проволоочки внутри патрона с жидкостью.

Метод крепления труб энергией взрывчатых веществ основан на использовании энергии высокого давления (порядка 1000 МПа), возникающего при взрыве внутри трубы заряда взрывчатого вещества (рис. 1) и вызывающего деформацию трубы и трубной доски.