

«Engineering and Consulting PFA Alexander Gadetskiy»

**MASTER**

Discipline: GTL; FT-LT, MTG

Name: [Alexander.gadetskiy@inbox.lv](mailto:Alexander.gadetskiy@inbox.lv)

Sign.

Date: 22.06.2015

**Концептуальный инжиниринг. Варианты переработки  
природного газа в топлива.**

**Основные технологические решения.**

**Concept Engineering. Options of processing natural gas into  
fuels. Principal technological solutions.**



## Содержание

1. Перечень лицензиаров процессов переработки природного газа .....	5
2. Сравнительная таблица капитальных затрат построенных GTL установок на основе референц-листов лицензиаров или инжиниринговых компаний.....	7
3. Сравнение процессов лицензируемых технологии .....	9
4. Материальные балансы. Вариант 1 .....	10
Вариант 1. Переработка ПГ с выпуском автобензина не ниже Аи 92 .....	10
Вариант 1А. ПГ – синтетический газ – метанол – автобензин. Риформинг SMR	10
Вариант 1Б. ПГ – синтетический газ – ДМЭ – автобензин. Риформинг ATR	10
Вариант 1В. ПГ – синтетический газ – метанол – автобензин. Риформинг POX и ATR	11
5. Материальные балансы. Вариант 2 .....	11
Вариант 2. Переработка природного газа с выпуском дизельного топлива.....	11
Вариант 2А. ПГ – синтетический газ – традиционные реактора Фишера Тропша – синтетическая нефть – фракционирование с получением товарных продуктов (нафта, керосин или уайтспирит, высоко цетановый компонент дизтоплива, жидкие парафины, твердые парафины). Риформинги POX и ATR.	12
Вариант 2Б. ПГ – синтетический газ – микроканальные реактора Фишера Тропша – синтетическая нефть – фракционирование с получением товарных продуктов (нафта, керосин или Уайт-спирит, высоко цетановый компонент дизтоплива, жидкие парафины, твердые парафины).	12
Вариант 2В. ПГ – синтетический газ – метанол – дизельное топливо. Процесс MtSynfuels.	13
6. BFD схемы переработки природного газа по Вариантам 1 и 2.....	14
7. PFD схемы и описание технологических процесса (процессов), для выбранного варианта (вариантов).....	
8. Расходы сырья, энергоресурсов, реагентов .....	
9. Качество выпускаемой продукции и полуфабрикатов, для выбранного варианта (вариантов).....	
10. Объемы хранения сырья, полуфабрикатов, продукции .....	
11. Расходы энергоресурсов на одну тонну перерабатываемого сырья (все виды воды, пара, газа, воздуха, электроэнергии, азота и т.д.), для выбранного варианта (вариантов)	
12. Планируемое ОЗХ с учетом качества и количества энергоресурсов площадки.....	

13. Количество стоков на тонну сырья или продукции для выбранного варианта (вариантов).....
14. Генеральный план. Площади застройки.....
15. График реализации проекта.....
16. Капитальные затраты на строительство .....
17. Операционные затраты для выбранного варианта (вариантов) .....
18. Экономическая эффективность завода.....
19. Процесс и этапы проектирования и строительства
  - a. Распределение ответственности при проектировании.....
  - b. Возможность совмещения проектирования, строительства и приобретения оборудования.....
  - c. Надзор за строительством и проектированием со стороны Заказчика.....
  - d. Список необходимых согласований.....
  - e. Рекомендации по выбору проектных организаций.....
  - f. Рекомендации по выбору строительно-монтажной организации .....

## Приложения

- Приложение 1. Техническое задание Заказчика
- Приложение 2. Полные характеристики сырья – природного газа
- Приложение 3. Качественные показатели предоставляемых энергоресурсов площадки строительства.
- Приложение 4. Генеральный план завода по переработке ПГ в моторное топливо
- Приложение 5. PFD схема процесса
- Приложение 6. PFD схема процесса
- Приложение 7. PFD схема процесса
- Приложение 8. PFD схема процесса
- Приложение 9. PFD схема процесса
- Приложение 10. PFD схема процесса
- Приложение 11. Расчеты экономической эффективности
- Приложение 12. Статья 51 из Градостроительного кодекса Российской Федерации от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ с изменениями от 22 января 2015
- Приложение 11. Выписки из контракта ФИДИК касающиеся основных терминов, а также прав и обязанностей Инженера.
- Приложение 12. График реализации проекта

**Принятые сокращения**

ПГ – природный газ

СГ – синтез газ

GTL – Gas to Liquid, процесс «газ - жидкость»

FT – Fischer and Tropsch, процесс Фишера – Тропша

MTG – Metanol to Gasoline, процесс получения бензина из метанол

LTFT / FT LT – Низкотемпературный процесс Фишера – Тропша 220 – 240°C

HTFT / FT HT – высокотемпературный процесс Фишера – Тропша 350°C и выше

ОЗХ – общезаводское хозяйство

SMR – Steam Methane Reforming, паровой риформинг метана

ATR – Autothermal Reforming, адиабатический риформинг

POX – Noncatalytic Partial Oxidation, некаталитическое парциальное окисление

ДМЭ – диметиловый эфир

PFR – реактор с пробковым поршневым потоком (plug flow reactor)

CSTR - проточный химический реактор с мешалкой (continuous stirred-tank reactor)

TIGAS – Процесс синтеза бензина компании Topsøe (Topsøe Integrated Gasoline

Synthesis)

STD – процесс синтеза диметилового эфира из синтез-газа (syngas to DME)

STF - процесс синтеза топлива из синтез-газа (syngas to fuel)

DTG - процесс синтеза, бензина из диметилового эфира (DME to gasoline)

ABO – аппарат воздушного охлаждения

CAPEX - капитальные вложения (capital expenditures)

OPEX - эксплуатационные затраты (operational expenditure)

H<sub>2</sub> - водород

CO – окись углерода

CO<sub>2</sub> – углекислый газ

Fe - железо

Co - кобальт

LPG - сжиженный углеводородный газ

ЦЧ – цетановое число

Основной целью данной работы является демонстрация того, что:

- технология GTL уже давно не является чем-то уникальным, как по своему предназначению, так и по стоимости;
- конфигурация процессов GTL может сочетать в себе выполнение желания Заказчика, как по продуктовой корзине, так и по разумным капитальным затратам.

Концептуальный инжиниринг является:

- справочником для Заказчика в отношении технологии, экономики, основных этапов проектирования и строительства, а также о роли и месте планируемого завода (установки) в иерархии родственных производств и процессов;
- фундамент в определении бюджета проекта и возможных сроков его реализации.

Практика показывает, что ошибочная концепция, которая базируется на неверных технологических предпосылках, приводит в лучшем случае к потере времени на повторный поиск правильного решения, а в худшем – к значительным финансовым потерям.

### 1. Перечень лицензиаров процессов переработки природного газа

В **Таблицах 1, 2** приведены лицензиары технологии GTL, именно лицензиары, а не продавцы реплик и копий, которых на рынке в разы больше, чем компаний владеющих «ноу-хау» на катализатор или на оборудование, или на внутренние устройства аппаратов. Лицензия на GTL, как процесс, так и осталась в авторстве Фишера и Тропша.

В **Таблице 1** приведены компании лицензирующие технологию по схеме: Природный газ (ПГ) – Синтез-газ (СГ) – Метанол или диметиловый эфир (ДМЭ) – моторное топливо (бензин или дизель).

В **Таблице 2** приведены компании лицензирующие технологию по схеме: Природный газ (ПГ) – Синтез-газ (СГ) – Синтетическая нефть – моторное топливо (бензин или дизель).

**Таблица 1**

Компания	Процесс	Координаты и контактные данные


Таблица 2.

Компания	Тип катализатора. Температурный режим	Тип реактора	Координаты и контактные данные


В **Таблице 3** приведены Российские компании, позиционирующие себя на рынке GTL технологий, полученные результаты по расходным показателям и в большинстве случаев не уступают мировым аналогам, но ни одна из них не может предоставить пакет, который интересует покупателя – базовый инжиниринг на все установки, кроме ОЗХ, которые входят в комплекс GTL. В Таблицу не включались компании, которые ограничивают себя только производством метанола через синтетический газ.

Таблица 3.

Компания (Россия)	Процесс	Координаты и контактные данные

## 2. Сравнительная таблица капитальных затрат построенных GTL установок на основе референц-листов лицензиаров или инжиниринговых компаний

В **Таблице 4** приведены удельные капитальные затраты по процессам, причем для процесса FT затраты показаны с учетом процесса гидрокрекинга, т.е. с получением товарных бензинов и дизелей, для сравнения процессов с равными продуктовыми корзинами. При работе процесса FT на синтетическую нефть, как конечный продукт, удельные капитальные затраты на него могут быть вдвое дешевле, чем на процессы по производству бензина или дизеля через метанол.

Таблица 4

Средние капитальные затраты на строительство установок GTL				
Процесс	MTG/TIGAS	MtSynfuels	Фишер – Тропш(FT)	
Плотность ПГ 0,6827 кг/м3, при н.у				
Мощность установки т.т/год, по ПГ				
Очистка газа				
Риформинг ПГ (SMR, ATR или POX)*				
Фишер – Тропш, с разделением продуктов				
Получение метанола из синтез газа				
Получение бензина из метанола				
Получение дизеля из метанола				
Гидрокрекинг				
Товарные продукты				
<b>Итого:</b> <b>долл. на тонну ПГ</b>				

\* разница в стоимости риформингов SMR, ATR или POX достигает ///////////////%

В **Таблице 5** приведены реальные затраты на строительство установок ///////////////. Зеленым цветом выделены объекты, которые по выпуску товарного бензина (или дизеля) близки к планируемой мощности Заказчика. ///////////////и более того приведены к общему знаменателю с помощью индекса СЕРСІ, который учитывает инфляцию именно для строительства. Объясняется это довольно просто, а именно:

////////////////////////////////////

////////////////////////////////////

Именно поэтому мы всегда рекомендуем, с осторожностью относиться к опубликованным данным, так как Заказчика должна интересовать цена строительства в границах установки GTL + стандартный ОЗХ, а не чужие проблемы, которые учтены в цене строительства. **Таблица 4** отражает цену строительства, конечно же, обобщенно, но она показывает тенденцию, а также максимально цену, которую можно получить при EPCM контракте. Далее в **Главе 19** будет показано, как по условиям управления строительства цена может снижаться, если не в два раза, то на 40% гарантированно.

В **Главе 16** будет показан расчет капитальных затрат по шагам и этапам строительства выбранного вами варианта, на основании стандартных методик принятых на данной стадии проекта в соответствии с ААСЕ практикой (Американская ассоциация стоимостного инжиниринга).

**Таблица 5**



### 3. Сравнение процессов лицензируемых технологии

На **Схеме 1** показаны два принципиальных направления использования GTL процессов: получение бензина и дизеля через метанол или диметиловый эфир, и получение бензина и дизеля через синтетическую нефть. На схеме не показаны направления по производству олефинов, так как итогом выполнения ТЗ является выбор технологии производства моторных топлив. Для информации на схеме показаны и альтернативные сырьевые источники, такие как, каменный уголь, отходы биоразлагаемые и пластмассы. Принципиальные отличия в продуктовых корзинах при производстве через синтетическую нефть, т.е. процесс Фишера – Тропша (далее FT) и через метанол или диметиловый эфир (далее MTG) заключается в следующем:

- дизельное топливо **в процессе FT** имеет цетановое число 70, требуемое по стандартам 51, слишком хорошо это тоже не хорошо, поэтому требуется его разбавление или за счет дизеля, который получен в итоге нефтепереработки, либо собственным полученным при гидрокрекинге парафинов, только после этого они будут отвечать стандартам России для моторных топлив;

- бензины, полученные **в процессе FT**, не могут быть использованы как моторное топливо без дополнительного облагораживания с использованием гидропроцессов;

- получаемые **в процессе FT** парафины имеют ограниченное применение, а использование гидрокрекинга для их переработки является чрезвычайно дорогим процессом в строительстве и эксплуатации, хотя его эффективность не оспорима;

- бензины, получаемые **в процессе MTG**, отвечают стандартам России для моторных топлив, имеют октановое число (ОЧ) не менее 92, применение октаноповышающих добавок позволяет достигать ОЧ равное 95;

- дизельные топлива, получаемые **в процессе MTG**, отвечают стандартам России для моторных топлив.

**Схема 1.**

Описание к **Схеме 1** позволяет сделать вывод, //

Процесс MTG имеет достаточно много конфигураций, что и показано на **Схеме 2.**

**Схеме 2.**

Процесс FT **Схема 3** // Схемы FT-Co используются для получения топлив и подразделяются на два подтипа: с выделением катализатора из продуктов реакции в выносной камере и без выделения с фильтрацией внутри реактора.

**Схема 3****4. Материальные балансы. Вариант 1**

Материальные балансы процессов GTL во многом определяются самой первой стадией – риформингом ПГ. В **Таблице 6** приведены три основных типа этих процессов, с учетом всех преимуществ и недостатков. В **Таблицах 7 – 14** общие материальные балансы показаны в дополнение к ТЗ с использованием различных типов риформингов.

**Таблица 6**

Технология	Преимущества	Недостатки

**Вариант 1. Переработка ПГ с выпуском автобензина не ниже Аи 92**

Вариант 1А. ПГ – синтетический газ – метанол – автобензин. Риформинг SMR

**Таблица 7**

Сводный баланс метанол в бензин, риформинг SMR		
Сырьё	% масс	т.т год
Природный газ		
Водяной пар		
<b>Итого</b>		
Инерты, включая С1, С2		
Фракция С1,С2		
Фракция С3, С4		
Бензин, ОЧ 92		
Вода		
<b>Всего</b>		

Вариант 1Б. ПГ – синтетический газ – ДМЭ – автобензин. Риформинг АTR

**Таблица 8**

<b>Сводный баланс ДМЭ в бензин, риформинг ATR</b>		
<b>Сырьё</b>	<b>% масс</b>	<b>т.т год</b>
Природный газ		
Кислород		
Водяной пар		
<b>Итого</b>		
Инерты, включая C1, C2		
Фракция C1,C2		
Фракция C3, C4		
Бензин, ОЧ 92		
Вода		
<b>Итого</b>		

Вариант 1В. ПГ – синтетический газ – метанол – автобензин. Риформинг POX и ATR

Таблица 9

<b>Сводный баланс метанол в бензин, риформинг POX</b>		
<b>Сырьё</b>	<b>% масс</b>	<b>т.т год</b>
Природный газ		
Кислород		
<b>Итого</b>		
Инерты, включая C1, C2		
Фракция C1,C2		
Фракция C3, C4		
Бензин, ОЧ 92		
Вода		
<b>Итого</b>		

Таблица 10

<b>Сводный баланс метанол в бензин, риформинг ATR</b>		
<b>Сырьё</b>	<b>% масс</b>	<b>т.т год</b>
Природный газ		
Кислород		
Водяной пар		
<b>Итого</b>		
Инерты, включая C1, C2		
Фракция C1,C2		
Фракция C3, C4		
Бензин, ОЧ 92		
Вода		
<b>Итого</b>		

## 5. Материальные балансы. Вариант 2

Вариант 2. Переработка природного газа с выпуском дизельного топлива

Вариант 2А. ПГ – синтетический газ – традиционные реактора Фишера Тропша – синтетическая нефть – фракционирование с получением товарных продуктов (нафта, керосин или уайтспирит, высоко цетановый компонент дизтоплива, жидкие парафины, твердые парафины). Риформинги РОХ и АTR.

Таблица 11

<b>Сводный баланс FT-Co, риформинг РОХ</b>		
<b>Сырьё</b>	<b>% масс</b>	<b>т.т год</b>
Природный газ		
Кислород		
<b>Итого</b>		
Инерты, включая С1, С2		
Фракция С1, С2		
Не товарный бензин		
Фракция С3, С4		
Дизель, ЦЧ 68-71		
Жидкие парафины		
Твёрдые парафины		
Вода		
<b>Итого</b>		

Таблица 12

<b>Сводный баланс FT-Co, риформинг АTR</b>		
<b>Сырьё</b>	<b>% масс</b>	<b>т.т год</b>
Природный газ		
Кислород		
Водяной пар		
<b>Итого</b>		
Инерты, включая С1, С2		
Фракция С1, С2		
Не товарный бензин		
Фракция С3, С4		
Дизель, ЦЧ 68-71		
Жидкие парафины		
Твёрдые парафины		
Вода		
<b>Итого</b>		

Вариант 2Б. ПГ – синтетический газ – микроканальные реактора Фишера Тропша – синтетическая нефть – фракционирование с получением товарных продуктов (нафта, керосин или Уайт-спирит, высоко цетановый компонент дизтоплива, жидкие парафины, твердые парафины).

Таблица 13

<b>Сводный баланс FT-Co, риформинг АTR с микроканальным реактором</b>		
<b>Сырьё</b>	<b>% масс</b>	<b>т.т год</b>

Природный газ		
Водяной пар		
<b>Итого</b>		
Инерты, включая С1, С2		
Фракция С1, С2		
Не товарный бензин		
Фракция С3, С4		
Дизель, ЦЧ 68-71		
Жидкие парафины		
Твёрдые парафины		
Вода		
<b>Итого</b>		

Вариант 2В. ПГ – синтетический газ – метанол – дизельное топливо. Процесс MtSynfuels.

Таблица 14

<b>Сводный баланс метанол в дизель Процесс MtSynfuels. Риформинг SMR</b>		
<b>Сырьё</b>	<b>% масс</b>	<b>т.т год</b>
Природный газ		
Водяной пар		
<b>Итого</b>		
Вода		
Инерты, включая С1, С2		
Дизельное топливо товарное		
Фракция С3, С4		
Не товарный бензин		
<b>Итого</b>		

Таблица 15

<b>Сводный баланс метанол в дизель Процесс MtSynfuels. Риформинг POX</b>		
<b>Сырьё</b>	<b>% масс</b>	<b>т.т год</b>
Природный газ		
Кислород		
<b>Итого</b>		
Вода		
Инерты, включая С1, С2		
Дизельное топливо товарное		
Фракция С3, С4		
Не товарный бензин		
<b>Итого</b>		

Таблица 16

<b>Сводный баланс метанол в дизель Процесс MtSynfuels. Риформинг POX</b>		
<b>Сырьё</b>	<b>% масс</b>	<b>т.т год</b>

Природный газ		
Кислород		
Водяной пар		
<b>Итого</b>		
Вода		
Инерты, включая С1, С2		
Дизельное топливо товарное		
Фракция С3, С4		
Не товарный бензин		
<b>Итого</b>		

**Внимание!** В Таблицах 7 – 16 количества ПГ приведено согласно ТЗ, т.е. ////////////// млн. м3/год или ////////////// т/год, что позволяет достаточно объективно оценить затраты на сырье и сравнить с продуктовой корзиной, фактически выбор сводится к тому, выпускать товарный бензин по процессу ////////////// или товарный дизель также ///////////////. Все нюансы по типу риформингов не имеют в данной ситуации, ни какого значения, так как после принятия вами решения бензин или дизель, мы, конечно, определим оптимальный тип процесса получения синтез – газа применительно к особенностям вашей площадки строительства. Мы однозначно рекомендуем, не использовать процессы типа ////////////// в связи с отсутствием в РФ ///////////////.

## 6. BFD схемы переработки природного газа по Вариантам 1 и 2