

***Технология прямого синтеза метанола плазмохимическим  
методом из попутного нефтяного или природного газа  
на местах добычи***

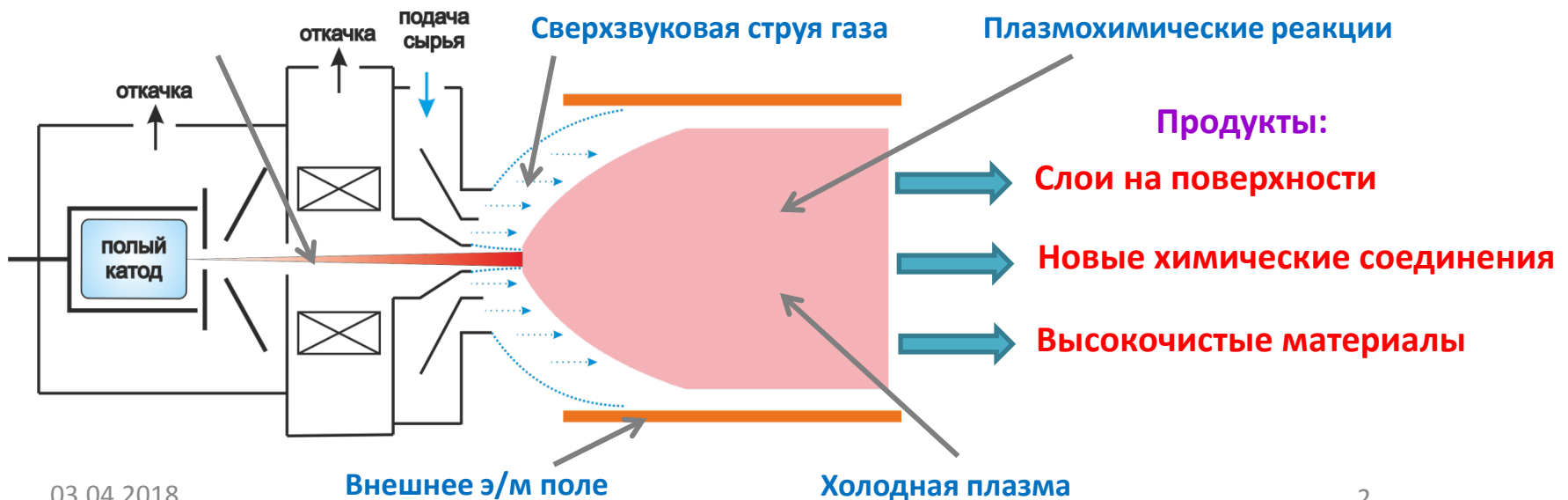
ООО «Научно-технический центр «Плазма»  
ФГБУН Институт Теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН

**Новосибирск 2018**

В современном мире, в котором хорошо развита инфраструктура и навыки притворения знаний в технологии, действует правило (закон Мура) «пока большое производство запускается, оно уже морально и экономически устарело».

В борьбе с этими жестокими реалиями, в технологиях основанных на физико-химических превращениях необходимо резкое увеличение скоростей химических реакций. **Эту возможность обеспечивает холодная, неравновесная плазма.** Активация в плазме резко увеличивает скорости химических реакций. Одним из вариантов реализации плазмохимии является газоструйный плазмохимический метод.

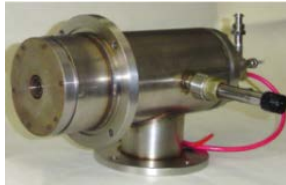
## Управляемая плазмохимия



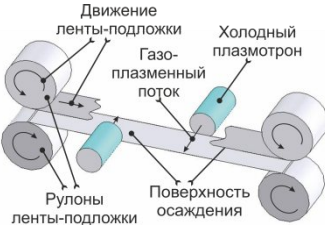
## Газоструйный плазмохимический метод (GJ EBP)

### Холодный плазмотрон (ХП)

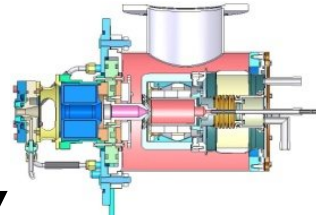
расход сырья  
~ 1 м<sup>3</sup>/час



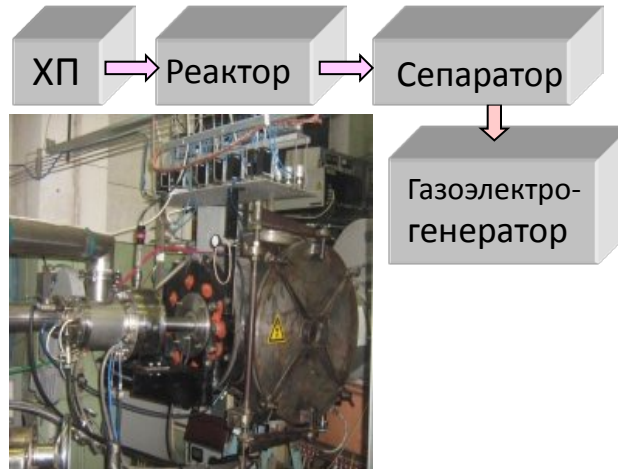
Плазмохимическое осаджение слоев и обработка поверхностей



расход сырья  
~ 1000 м<sup>3</sup>/час



Малотоннажная плазменная газохимия



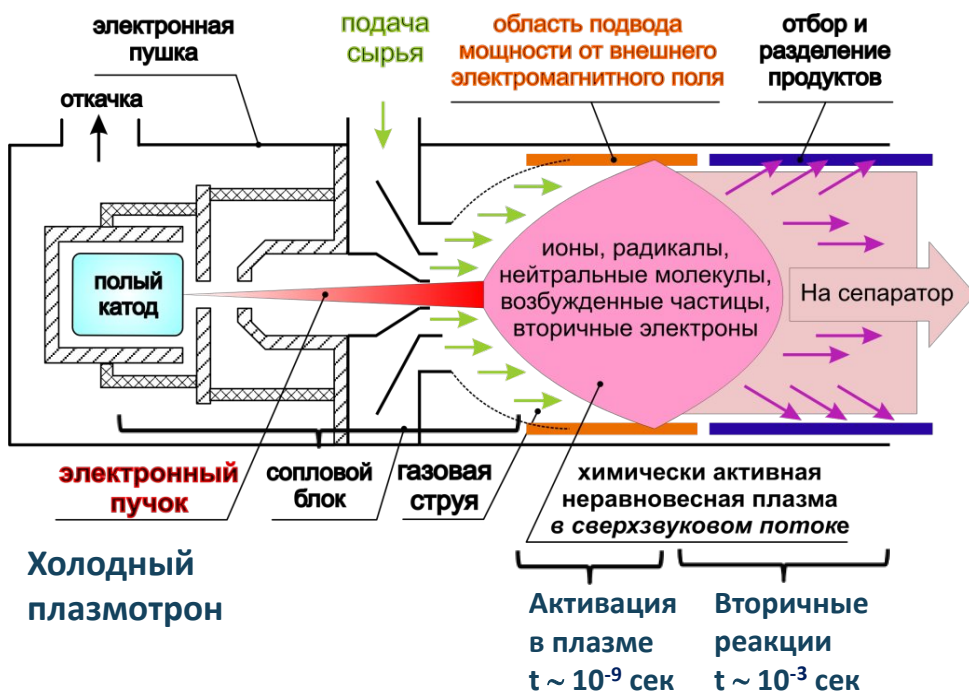
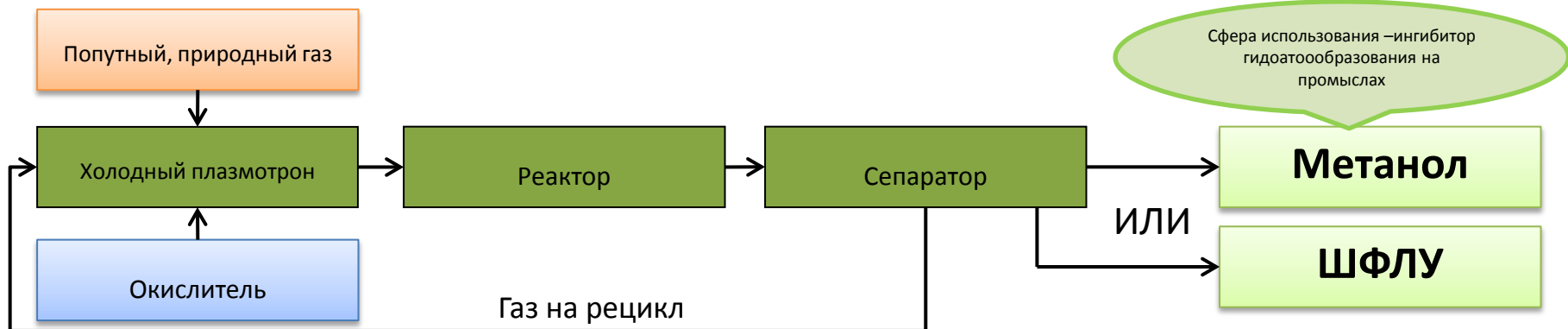
расход сырья  
~ 1-10кг/час



Рафинирование материалов



## Принцип струйной плазмохимической технологии для получения метанола из природного и попутного газа



В качестве основных блоков струйного плазмохимического метода используется **холодный плазмотрон и реактор**.

Сырье подаётся на переработку в виде **сверхзвуковой струи**, одновременно обеспечивая газовый затвор и быстрое удаление продуктов реакций.

Инициация реакции производится посредством **электронно-пучковой плазмы с наложением внешних электромагнитных полей**.

В результате обеспечиваются **высокие скорости** протекания процесса в **компактной проточной системе**.

- Исключает практически все стадии подготовки сырья и промежуточные процессы, такие как сероочистка и стадия получения синтез-газа, составляющие около 60% затрат на производство в традиционной каталитической технологии GTL;
- Процесс протекает при низких давлениях и температурах и не требует использования катализаторов, что существенно снижает стоимость оборудования и расходных материалов для его функционирования, а также требования к условиям эксплуатации и безопасности;
- Дает возможность создавать малогабаритные, модульные установки переработки газа, которые являются мобильными, вмещаются в обычный морской или наземный контейнер, легко транспортируются непосредственно к местам добычи;
- Технология может быть адаптирована для получения различных продуктов и решения задач:
  - производство метанола (для предотвращения гидратообразования), *исключающее затраты, связанные с его доставкой и хранением на месторождениях;*
  - производство ШФЛУ и других легко транспортируемых продуктов;
  - переработка ПНГ в вышеуказанные продукты с целью повышения уровня утилизации;
  - разработка малодобитных и законсервированных месторождений и скважин;
  - переработка газа в условиях крайнего севера и Арктики;
  - удаление серы из газового потока, что решает проблему коррозии газопроводов.

**Данный метод позволит создавать компактное и эффективное оборудования для переработки газа на местах добычи в жидкие, легко транспортируемые продукты**

*что даст возможность:*

- Решить проблему доставки метанола на места добычи природного газа;
- Решить проблему сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках;
- Исключить транспортировку добываемого газа (транспортировать жидкий продукт экономически эффективнее);
- Организовать переработку газа в условиях Крайнего Севера и Арктики, в том числе на малодобитных и законсервированных месторождениях;
- Наладить выпуск модульных, мобильных, малогабаритных, автоматизированных перерабатывающих установок, способных помещаться в двух 40-ка футовых контейнерах, обслуживаемых двумя операторами в смену;
- Снизить удельные капиталовложения в производство и затраты на сервис за счет:
  - отсутствия выделенной стадии получения промежуточных продуктов (синтез газа);
  - отсутствия предварительной сероочистки;
  - отсутствия катализаторов (необходим только один 40-ка литровый баллон гелия в год);
- Уменьшить срок окупаемости проекта и себестоимости получаемой продукции.

1. Р.Г.Шарафутдинов и др. «Способ проведения гомогенных и гетерогенных химических реакций с использованием плазмы», Патент РФ № 2200058 от 10.03.2003.;

2. R.G.Sharafutdinov et al. «Method for carrying out homogeneous and heterogeneous chemical reactions using plasma», International patent #WO03068383, 21.08.2003.

Европейский патент EP1491255;  
Патент Украины 75530;  
Патент Китая ZL 02828724.X;  
Патент Австралии AU2002332200;  
Патент Узбекистана IAP 03424

3. Р.Г. Шарафутдинов и др. «Способ ввода пучка электронов в среду с повышенным давлением», Патент РФ № 2612267 от 28.07.2015



Параметр	ПАО «НОВАТЭК» *	НТЦ «ПЛАЗМА»
Установка	УПМ-12,5	Плазма 3
Процесс	2-х стадийная улучшенная классическая технология на катализаторах (через стадию получения синтез-газа)	Новая плазмохимическая технология конверсии природного или попутного нефтяного газа в жидкие продукты (в частности, в метанол) (отсутствует стадия получения синтез-газа)
Производительность по метанолу-сырцу, тонн/год	-	11 500
Содержание метанола, %	90-95	80
Производительность по метанолу (98%), тонн/год	12 500	9 000 **
Коэффициент переработки сырья в метанол в однопроходном режиме, %	4,33	20
Коэффициент переработки сырья в метанол с учетом рециклирования, %	50 (по оценкам)	80
Условия проведения процесса	1-я стадия (получение синтез-газа): 22 атм, 850 °С, никелевый катализатор 2-я стадия (синтез метанола): 50 атм, 220 °С, медный катализатор	Одностадийный процесс, 1 атм, 50 °С, без катализаторов
Сероочистка	Необходима, установка интегрирована в установку комплексной подготовки газа	Перерабатываемый газ не требует предварительной сероочистки. Необходима очистка только от механических примесей.
Исполнение	Блок-боксы с высокой заводской готовностью	Модульные, мобильные установки. Контейнерное исполнение.

\* Технология ПАО «НОВАТЭК» наиболее эффективная из действующих технологий GTL на сегодняшний день;

\*\* При необходимости метанола по ГОСТУ установка может быть укомплектована отпарными колоннами.

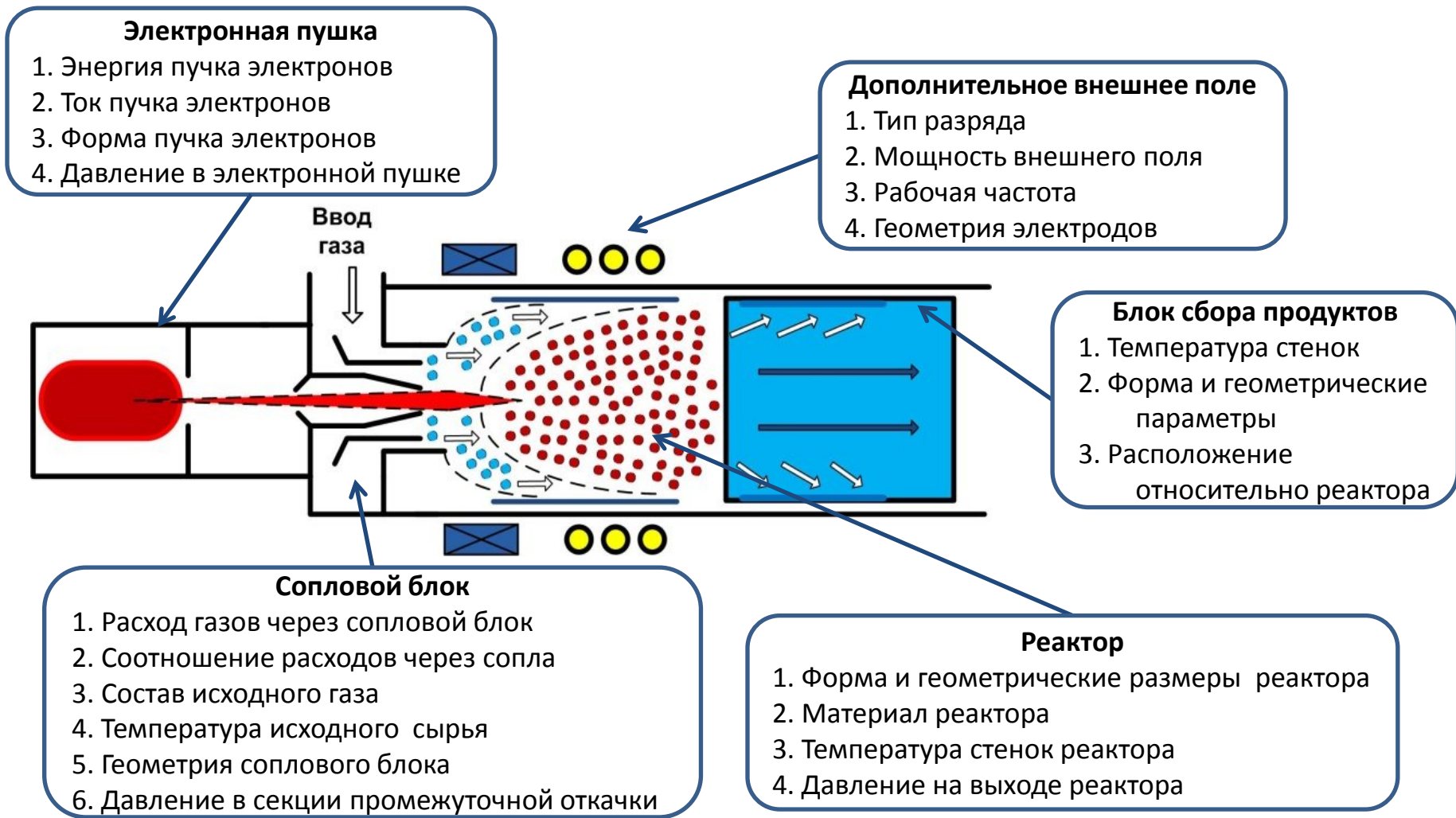


№	Параметр	«Плазма 1»	«Плазма 3»
1	Производимый продукт	Метанол	
2	Сырье	ПНГ, ПГ	
3	Режим работы модуля, час/год	8000	
4	Расход сырья от скважины, м <sup>3</sup> /час	375	1125
5	Производительность по метанолу (98%), т/год	3000	9000
6	Установленная мощность, кВт	200	600
7	Коэффициент переработки сырья в одностадийном процессе, %	20	
8	Коэффициент переработки сырья с учетом рецикла, %	80	
9	Утилизация непереработанного сырья	На электрогазогенератор	
10	Селективность по метанолу, %	80	
11	Рабочее давление в плазмохимическом реакторе, атм	1	
12	Площадь для размещения оборудования, м <sup>2</sup>	40	60

Разработано техническое задание и подобрано оборудование для создания опытно-демонстрационной установки, производительностью 100 м<sup>3</sup>/час по сырью



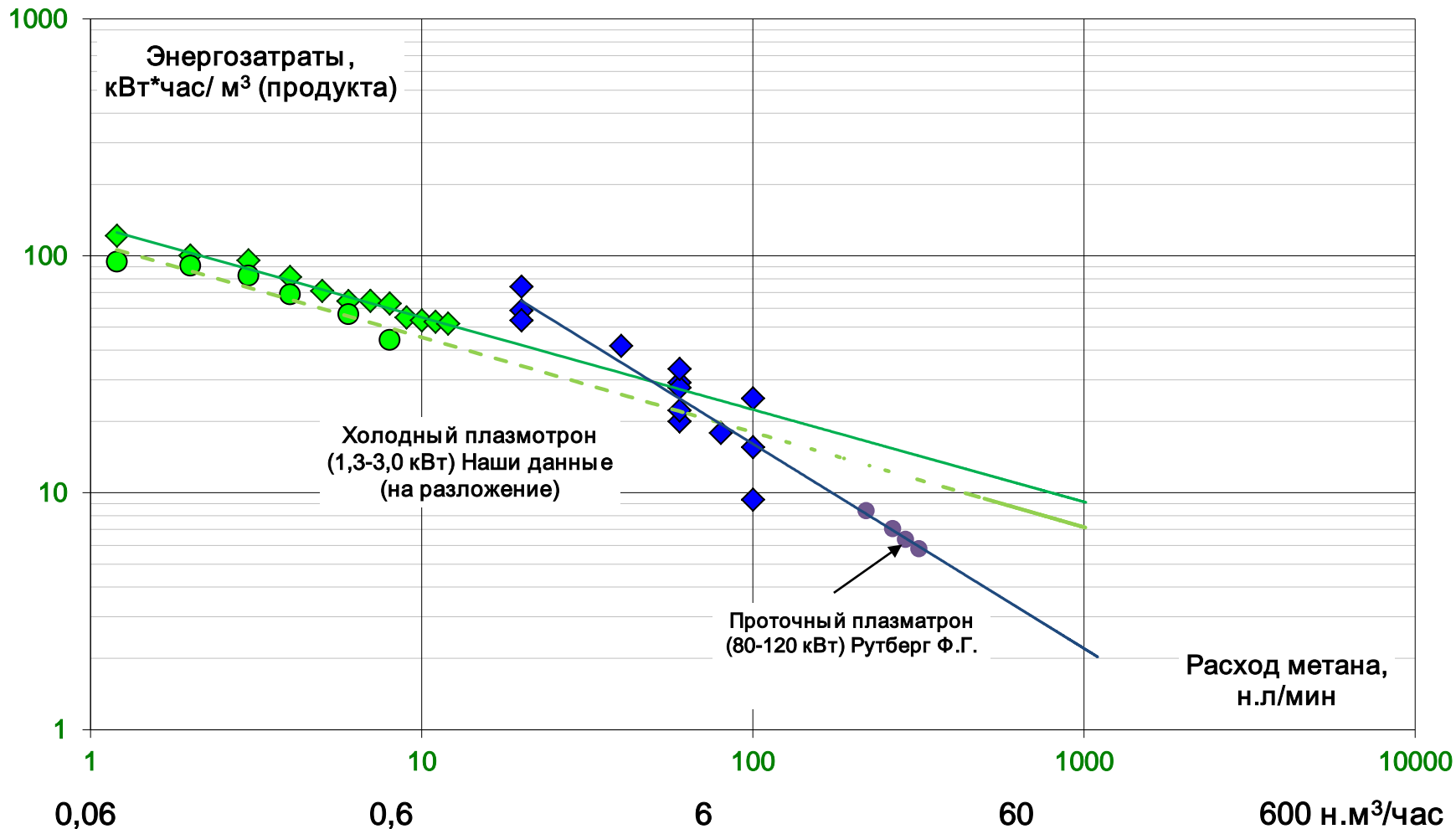
Основные принципы холодного плазмотрона защищены патентами



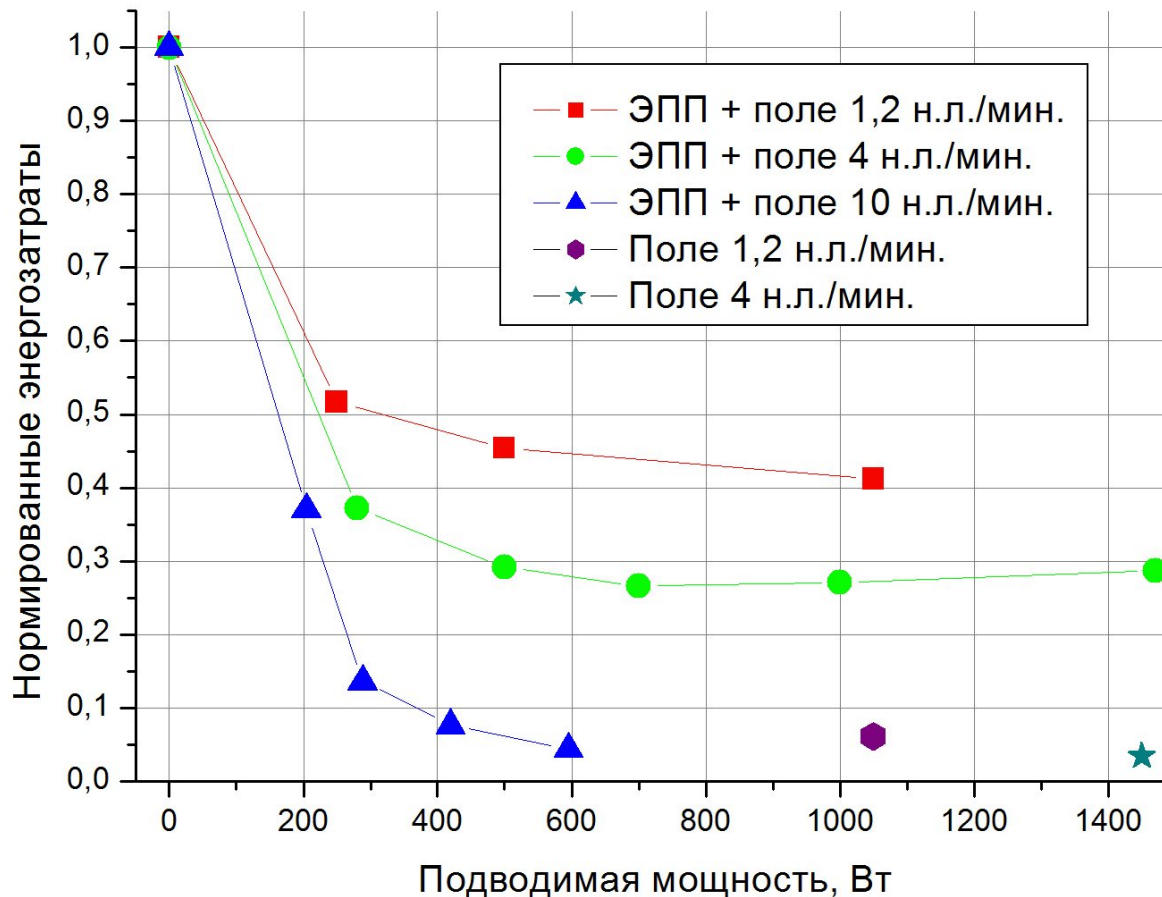
Процесс зависит от большого числа внешних определяющих параметров. Получение зависимостей от них - очень время емкая задача.

**В настоящий момент достигнут коэффициент переработки 4,25% в одностадийном режиме с селективностью по метанолу 75%.**

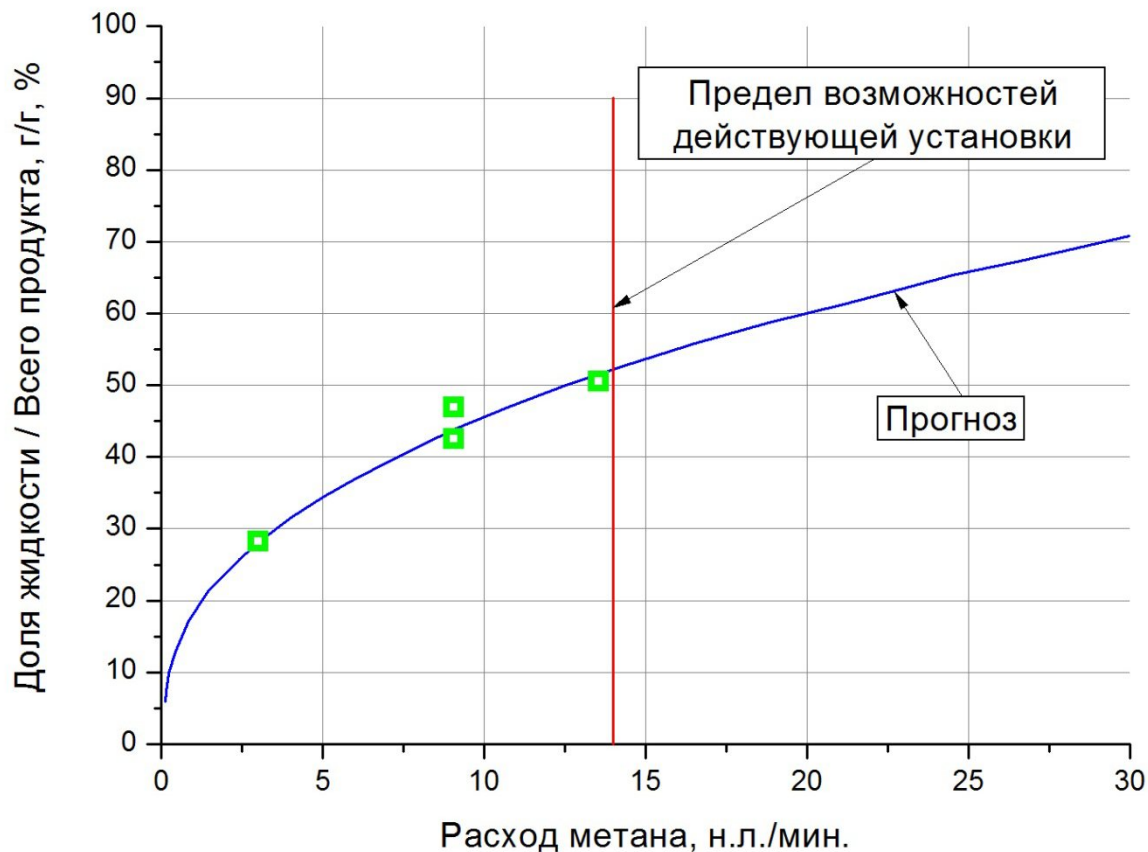
Для получения максимальной эффективности процесса необходимо увеличить расход сырьевого газа, давление в реакторе, а также подводимой мощности. Зависимости, подтверждающие данные тезисы приведены далее в презентации.



При увеличении расхода газа удельные энергозатраты резко уменьшаются, приближаясь к промышленно приемлемому уровню.



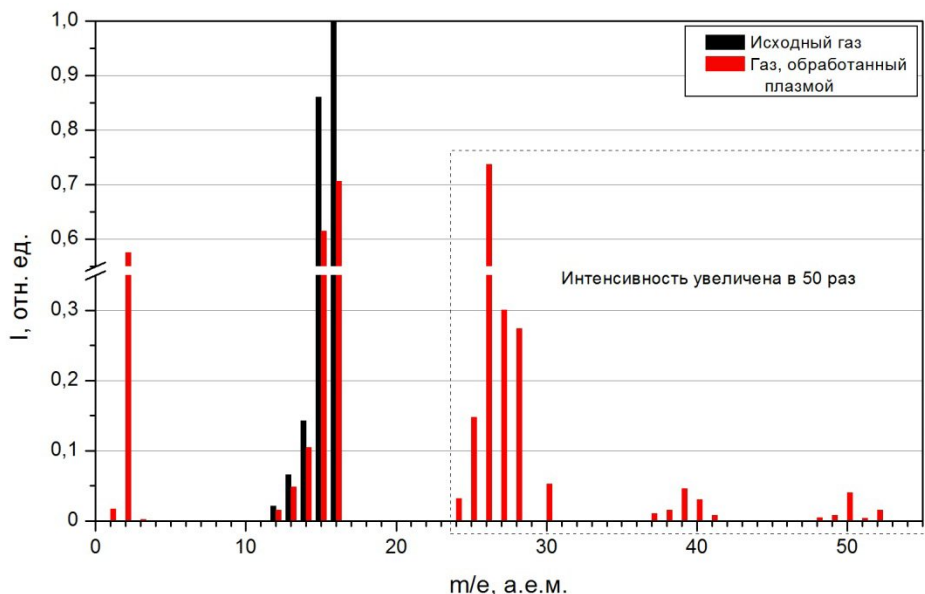
Подвод мощности от внешнего поля сильно изменяет ФРЭЭ, существенно снижая удельные энергозатраты.



Расход сырья, л/мин	Состав продуктов реакции (весовые соотношения)			
	Водород	Газообразные C2-C4	Жидкие C5 и выше	Сажа
1	23,5%	8,5%	0%	68%
6	6,7%	37,7%	55,6%	0%

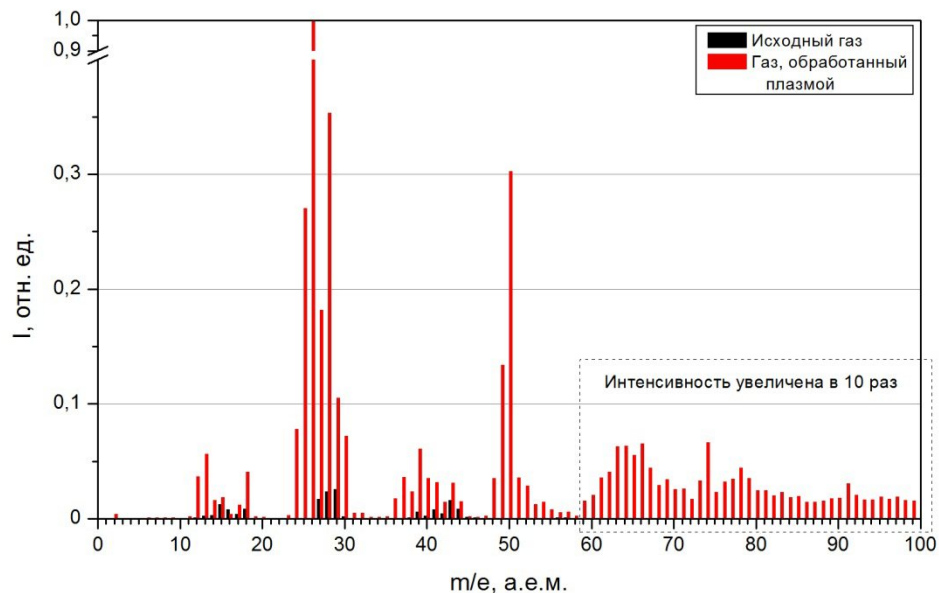
С увеличением расхода рабочего газа возрастает доля жидкости в продуктах реакции.

## «On-line»



Наименование вещества	Содержание в пробе, %
H <sub>2</sub> (Водород)	17,5
CH <sub>4</sub> (Метан)	70
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (Ацетилен)	1,4
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (Этилен)	0,6
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (Этан)	0,2
C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> (Циклопропен)	0,2
C <sub>4</sub> H <sub>2</sub> (1-3 бутадиен)	0,2
Другие	9,9

## «Наморозка»



Наименование вещества	Содержание в пробе, %
C <sub>2</sub> H <sub>x</sub> (Этан, этилен, ацетилен)	64,9
C <sub>3</sub> H <sub>x</sub> (Пропан, пропен, пропиен, пропилен, и др.)	9,4
C <sub>4</sub> H <sub>x</sub> (Бутаны, бутены, бутины, бутилены, и др.)	21,2
C <sub>5</sub> H <sub>x</sub> (Пентаны, пентены и др.)	1,9
C <sub>6</sub> H <sub>x</sub> (Гексаны, гексены и др.)	1,3
C <sub>7</sub> H <sub>x</sub> (Гептаны, гептены и др.)	0,6
C <sub>8</sub> H <sub>x</sub> (Октаны, октены и др.)	0,1

При бескислородной конверсии природного газа происходит образование широкой фракции легких газообразных углеводородов (ШФЛУ), а также жидких углеводородов.

1. Реализован новый способ осуществления плазмохимических процессов с получением ШФЛУ, жидких углеводородов фракции С6-С8, метанола и др.;
2. В однопроходном процессе получен метанол;
3. Достигнута селективность процесса конверсии на уровне 80%;
4. Выявлены тенденции
  - к уменьшению удельных энергозатрат при увеличении расхода газа к промышленно приемлемому уровню;
  - к увеличению доли жидкости в переработанном сырье с увеличением расхода сырья;
  - к увеличению коэффициента разложения и преобразования в жидкость сырья с увеличением подводимой мощности;
5. Составлено ТЗ на опытно-демонстрационную GTL установку с параметрами:
  - производительность по сырью - 100 м<sup>3</sup>/час;
  - выход по метанолу - 20% в однопроходном режиме.

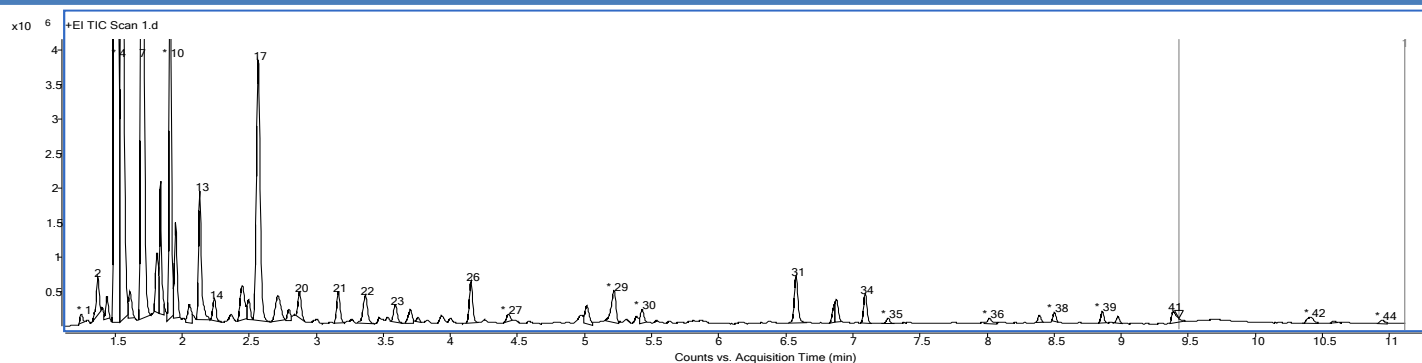


На лабораторной установке проведены эксперименты по переработке модельной смеси попутного нефтяного газа в метанолосодержащую жидкость.



- Методом добавок установлено, что в жидком продукте содержится 75% метанола;
- Коэффициент переработки оценен на уровне 4,25%;

**Получение максимальной эффективности процесса достижимо при увеличении расхода сырьевого газа, давления в реакторе, подводимой мощности, а также замене окислителя на пары воды, что требует создания новой опытно-промышленной установки.**



Peak	Area Sum%	Compound	Peak	Area Sum%	Compound	Peak	Area Sum%	Compound
1	0.15	butane	16	0.17	Acetonitrile	31	1.09	Acetoin
2	0.71	Acetaldehyde	17	6.2	2-Butanol	32	0.3	Hydroxyacetone
3	0.35	Methylformiaat	18	0.86	1-Propanol	33	0.41	N,N-Dimethylformamide
4	40.97	Acetaldehyde, dimethyl acetal	19	0.11	Crotonaldehyde, dimethyl acetal	34	0.62	tert-Butyl Hydroperoxide
5	13.22	Acetone	20	0.51	2-Butanol, 3-methoxy-	35	0.11	
6	0.51	Acetaldehyde, ethyl methyl acetal	21	0.66	3-Buten-2-ol	36	0.18	1-Hydroxy-2-butanone
7	14.29	Propionaldehyde, dimethyl acetal	22	0.77	2-Butanol, 3-methoxy-	37	0.14	
8	1.13	2-Butanone	23	0.4	Neoamyl alcohol	38	0.15	
9	0.08	tert-Butyl alcohol	24	0.33	Allyl alcohol	39	0.22	di-tert-Butyl dicarbonate
10	6	Isopropyl Alcohol	25	0.08	2-Butanol, 3-methyl-	40	0.12	
11	1.53	Ethanol	26	0.87	1-Butanol	41	0.39	Acetic acid
12	0.44	Methyl vinyl ketone	27	0.16	1-Nitro-2-propanol	42	0.26	1,2-Butanediol
13	2.38	Isobutylaldehyde dimethyl acetal	28	0.48	1,1,3-Trimethoxypropane	43	0.04	propanoic acid
14	0.46	2-Pentanone	29	0.76	2-Methyl-2-pentanol	44	0.12	2-Butanol, 3-methyl-
15	1.01	tert-Amyl alcohol	30	0.28	2-Butanone, 4-methoxy-			

1	2	3
<b>Содержание работ:</b>		
НИОКР: Увеличение производительности опытно-демонстрационной установки «Испытательный стенд» до 100 м <sup>3</sup> /час по сырью.	ОКР: Создание пилотной GTL установки «Плазменная газохимия» производительностью 3000 тонн/год по метанолу (375 м <sup>3</sup> /час по сырью от скважины).	ОКР: Создание серийного GTL модуля *.
<b>Результаты работ:</b>		
1. Снятие рисков;  2. Эскизный проект пилотной GTL установки.	1. Пилотная установка на территории заказчика;  2. ТЗ на серийный GTL модуль.	<b>Серийный GTL модуль «Плазма 3»</b> <i>* Продукт: Метанол 98%;</i> <i>* Производительность: 9000 тонн/год;</i> <i>* Селективность: 80%;</i> <i>* Коэффициент переработки в одностадийном процессе: 20%;</i> <i>* Коэффициент переработки с учетом рецикла: 80%</i> • Расход сырья от скважины: 1125 м <sup>3</sup> /час.
<b>Срок выполнения работ по этапу</b>		
<b>18 месяцев</b>	<b>22 месяца</b> (возможно уменьшение после 1-го этапа)	<b>4 - 6 месяцев</b> (требуется согласования с промышленным партнером)
<b>Стоимость выполнения работ по этапу</b>		
<b>126 млн. руб.</b>	<b>215 млн. руб.</b>	<b>178 млн. руб.</b>
* Производительность установки может составлять от 3000 тонн/год до 9000 тонн/год (по согласованию с заказчиком)		

ПГ,  
ПНГ

Установка «Плазма»  
для производства  
метанола (ингибитора  
гидратообразования)

метанол

Хранилище  
метанола

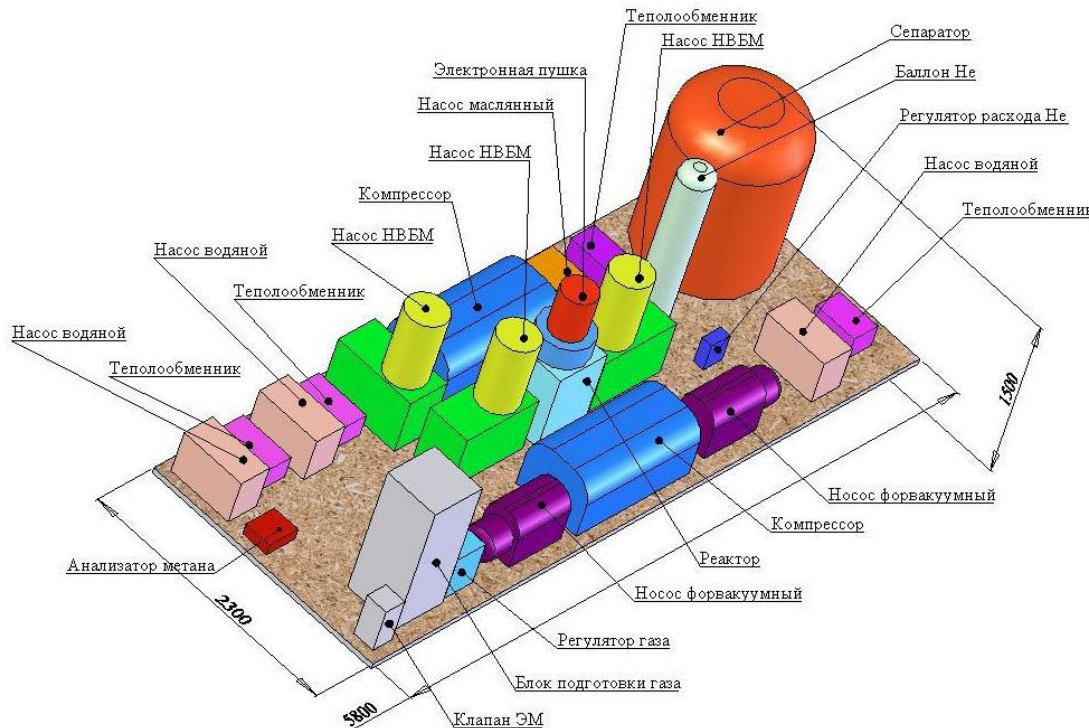
Трубопровод

(транспортировка  
метанола потребителю)

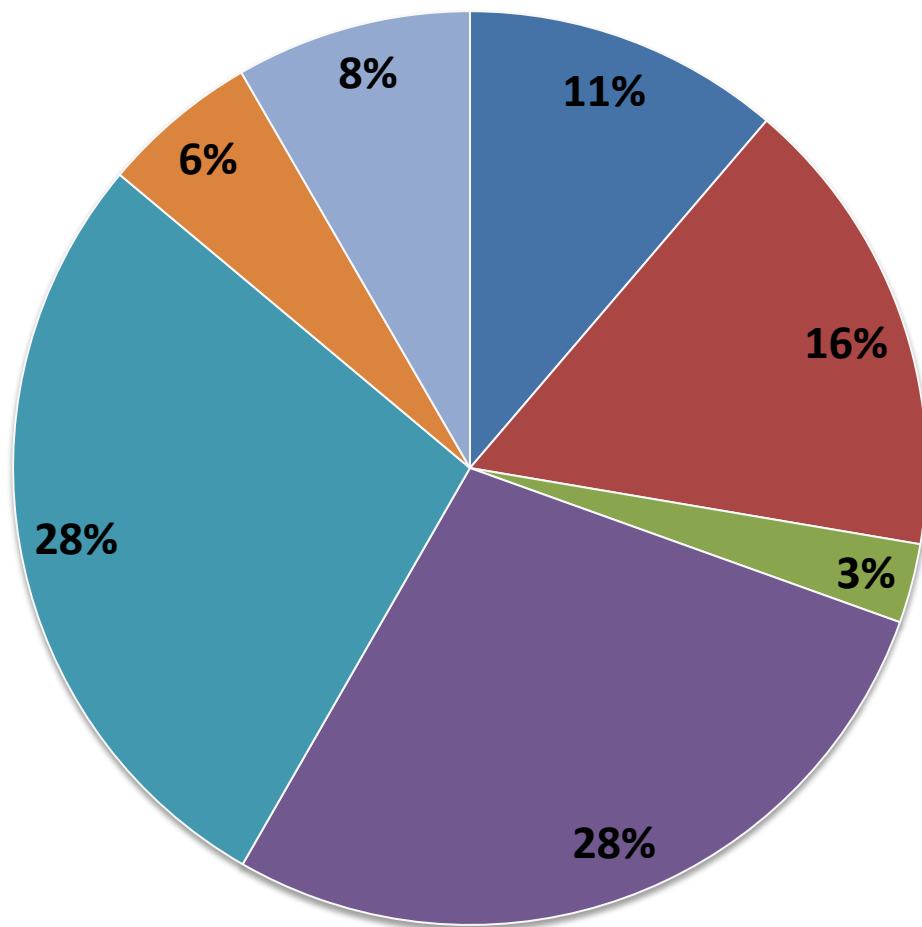
Потребитель:

1. Подача в газопровод для борьбы с образованием гидратов;
2. Синтез органических соединений (формальдегид, олефины, спирты...;
3. Топливо для электростанций;
4. Синтез биотоплива;
5. Топливные элементы.

Установка плазмохимического синтеза  
в контейнерном исполнении



**Полностью автономные  
перерабатывающие установки:  
Для работы необходимо только  
подать перерабатываемый газ и  
собрать готовый продукт!**



- 1. Сырье - ПГ или ПНГ, расход сырья - 1125 куб.м/час, стоимость сырья - 1 руб./куб.м.
- 2. ЗП с налогами (6 чел., средняя ЗП - 100 т. руб./мес.)
- 3. Электроэнергия (электрогазогенератор, непереработанное сырьё)
- 4. Амортизация основного оборудования - 10 лет
- 5. Накладные расходы организации (10% от стоимости основного оборудования)
- 6. Налог на основные средства (2% от стоимости основного оборудования)
- 7. Расходы на эксплуатацию (3% от стоимости основного оборудования)

**Себестоимость продукта –  
7 112 руб./тонна**

№	Параметр	«Плазма 3»
1	Себестоимость продукта, руб./тонна *	7 112
2	Экономический эффект за счет производства метанола на месте добычи газа, руб./тонна **	35 188
3	Стоимость модуля, млн. руб.	178

\* Срок амортизации 10 лет.

\*\* Стоимость метанола на месторождении с учетом доставки – 42 300 руб./тонна.

#### Для справки:

- для закрытия потребности месторождения в 9 000 тонн метанола в год достаточно одной установки «Плазма 3»;
- ожидаемый экономический эффект – 316 млн.руб. в год.

- **Риск изменения конъюнктуры рынка, цены на продукт.** *Риск несущественный.* В настоящий момент в мире нет технологий, позволяющих производить метанол на местах добычи газа в условиях Крайнего Севера и Арктики;
- **Риск недостижения заявленных параметров технологии.** *Риск несущественный.* Коллектив исполнителей имеет необходимые компетенции в разработке технологий связанных с плазмохимическим получением химических продуктов. Материально-техническая база позволяет проводить исследования и разработки по теме проекта;
- **Риск недостаточного финансирования проекта.** *Риск существенный.* Для выполнения первого этапа, состоящего в отработке технологии на опытно-демонстрационном уровне, подготовки ТЗ и эскизного проекта пилотной установки средств НТЦ не достаточно;
- **Риск невыполнения хозяйственных соглашений.** *Риск несущественный.* В технологии не предполагается использования в качестве сырья нестандартных, редких компонентов. Основное сырье – природный или попутный нефтяной газы добывается в России в огромных объемах;
- **Риск защиты прав собственности.** *Риск несущественный.* Метод защищен патентами. В ходе реализации проекта предполагается создать патент, защищающий конкретное применение метода, направленное на получение метанола.
- **Риск не изготовления промышленного оборудования.** *Риск несущественный.* У НТЦ есть договоренности с промышленными партнерами.

- Разработка промышленной технологии и оборудования с учетом требований заказчика;
- Испытание оборудования на территории заказчика;
- Организация серийного выпуска установок;
- Доставка и пусконаладочные работы;
- Сервисное обслуживание;
- Обучение персонала;
- Технологическое сопровождение (замена устаревшего оборудования на новое);
- Организовать производство ингибитора гидратообразования на местах добычи в условиях Крайнего Севера и Арктики.



## **НТЦ «Плазма»**

630055, г. Новосибирск, ул. М.Джалиля 3/1 оф. 86  
ИНН 5408016285, КПП 540801001, ОГРН 1175476072705  
[e-mail: stc.plasma@mail.ru](mailto:stc.plasma@mail.ru)

- Генеральный директор, к.т.н.  
Городецкий Сергей Александрович  
Тел.: +7 (913) 986 97 17
- Коммерческий директор  
Миллер Алексей Александрович  
Тел.: +7 (913) 955 74 88
- Директор по развитию  
Быченков Алексей Вячеславович  
Тел.: +7 (913) 750 24 42
- Директор по науке, д.ф.-м.н.  
Шарафутдинов Равель Газизович  
Тел.: +7 (913) 470 10 35
- Ведущий специалист  
Константинов Виктор Олегович  
Тел.: +7 (913) 791 31 75
- Ведущий специалист  
Щукин Виктор Геннадьевич  
Тел.: +7 (913) 928 03 94