

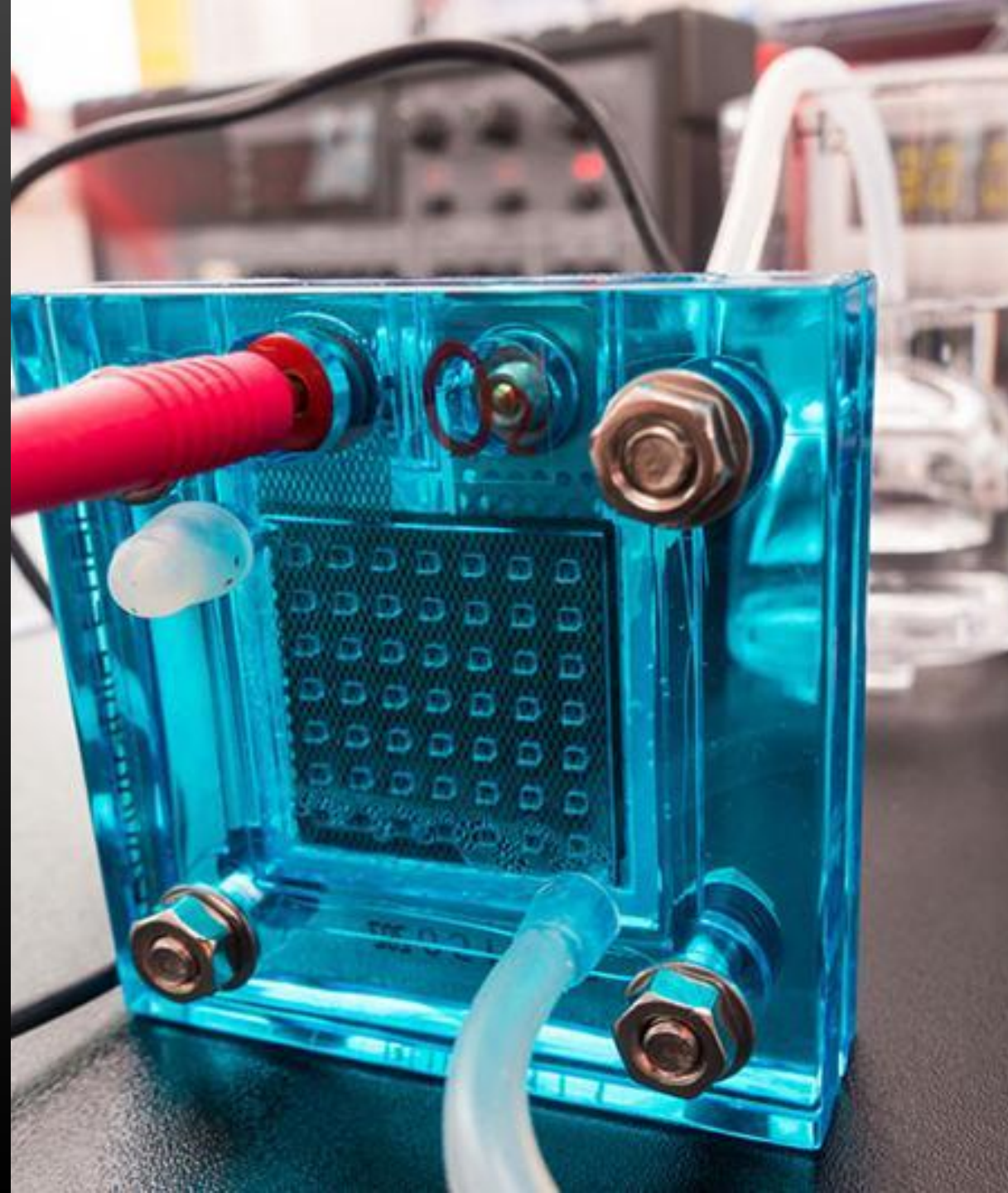
Разработка конструкции
микрореакторной установки для
получения водорода из водно-
спиртовой смеси

Выполнил:

Студент гр. ХТм-183, Щербо Никита Сергеевич

Руководитель:

*К.Х.Н., начальник Научно-Исследовательской Части,
Фефелов Василий Федорович*

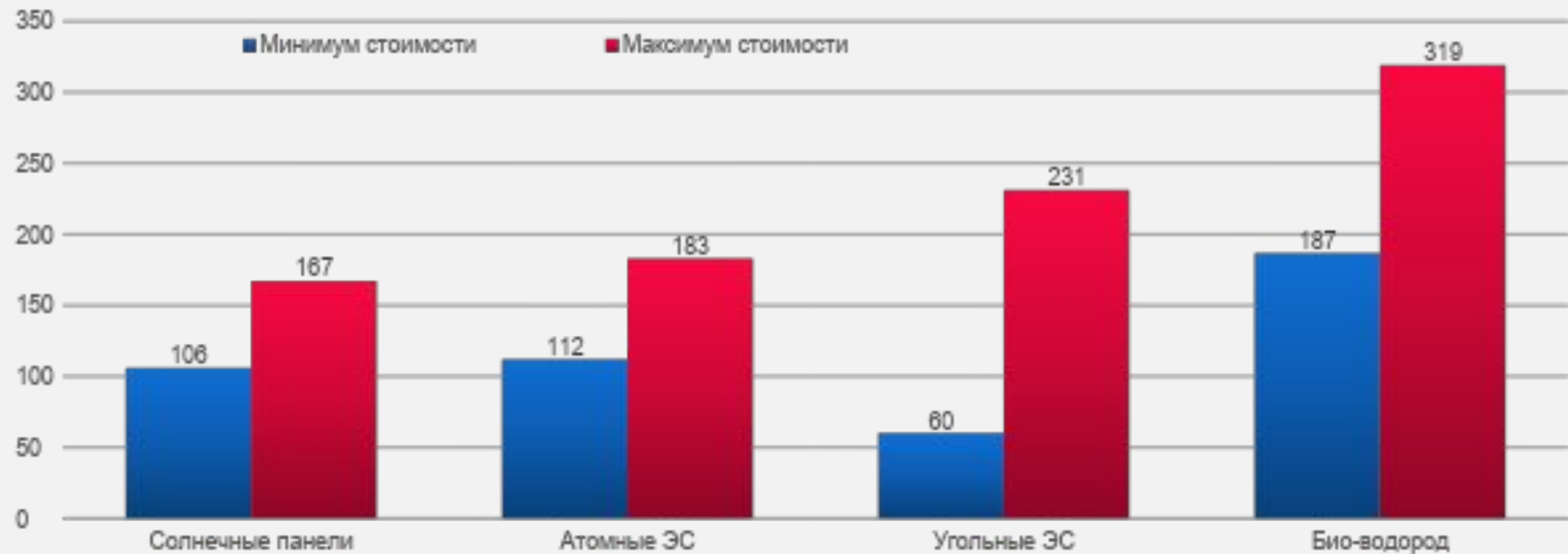


Актуальность

На графиках можно наблюдать, что стоимость электроэнергии, получаемой из био-водородных топливных элементов по данным на 2018 год сопоставимо со стоимостью классических источников энергии, например атомных и ископаемых.

Сравнение стоимости различных энергоресурсов (за кВт)

\$ за кВт

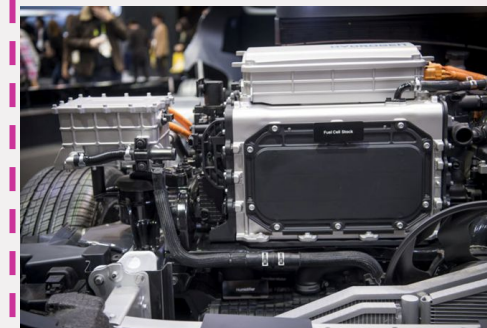
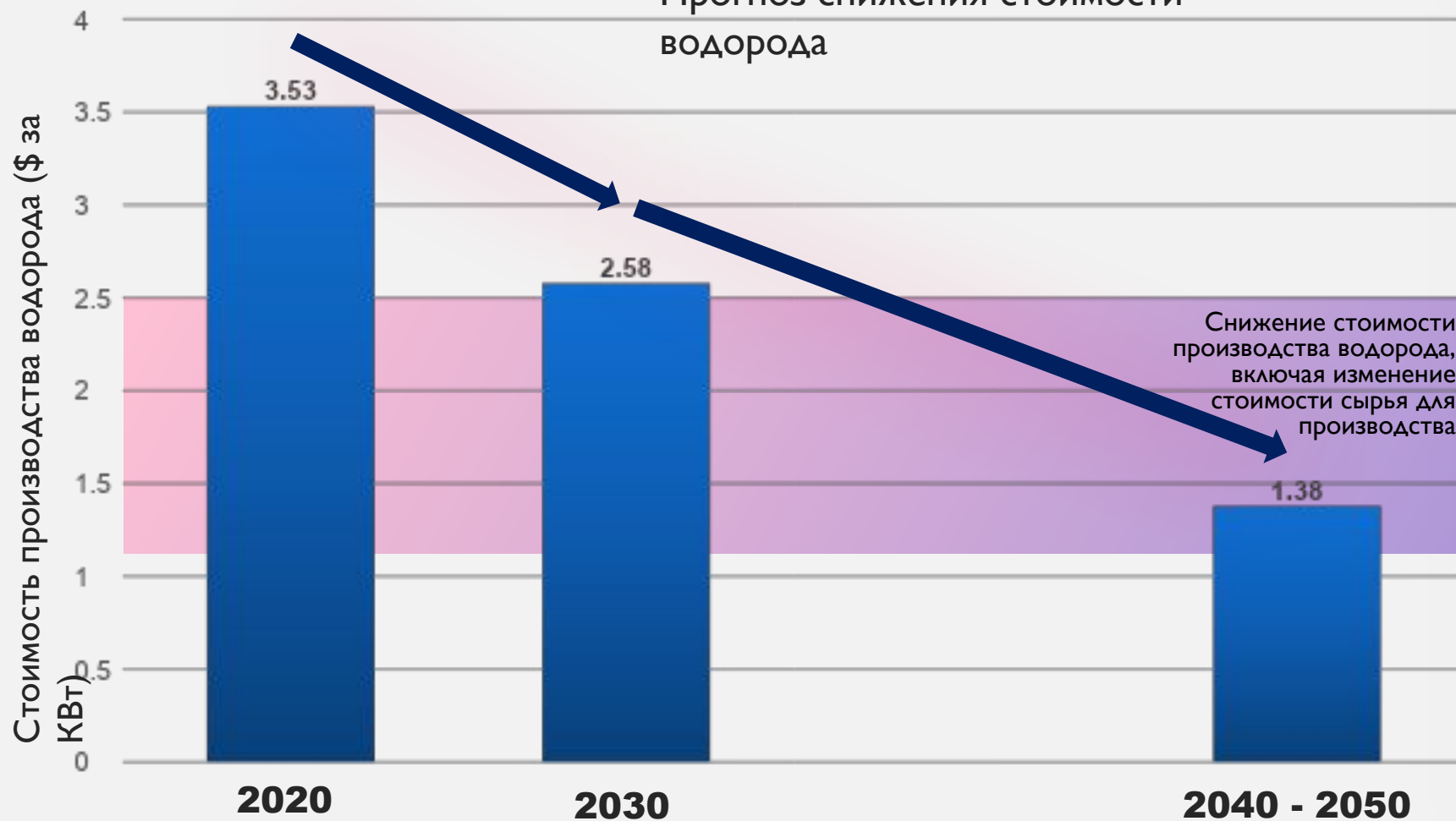


*Приведенная стоимость электроэнергии в США, по оценке Lazard



Актуальность

Прогноз снижения стоимости водорода



Топливные ячейки (**fuel cells**) – одни из самых главных, и самых инновационных генераторов энергии из водорода.

Основной потребитель таких элементов – автомобильная промышленность

*Оценка проведена IRENA – институтом исследования возобновляемых источников энергии



Автомобили на водородных топливных элементах уже выпускаются на рынок Honda, Toyota, Hyundai и ряд китайских компаний. К 2050 году доля автомобилей работающих на водородных ТЭ по прогнозам составит

25%

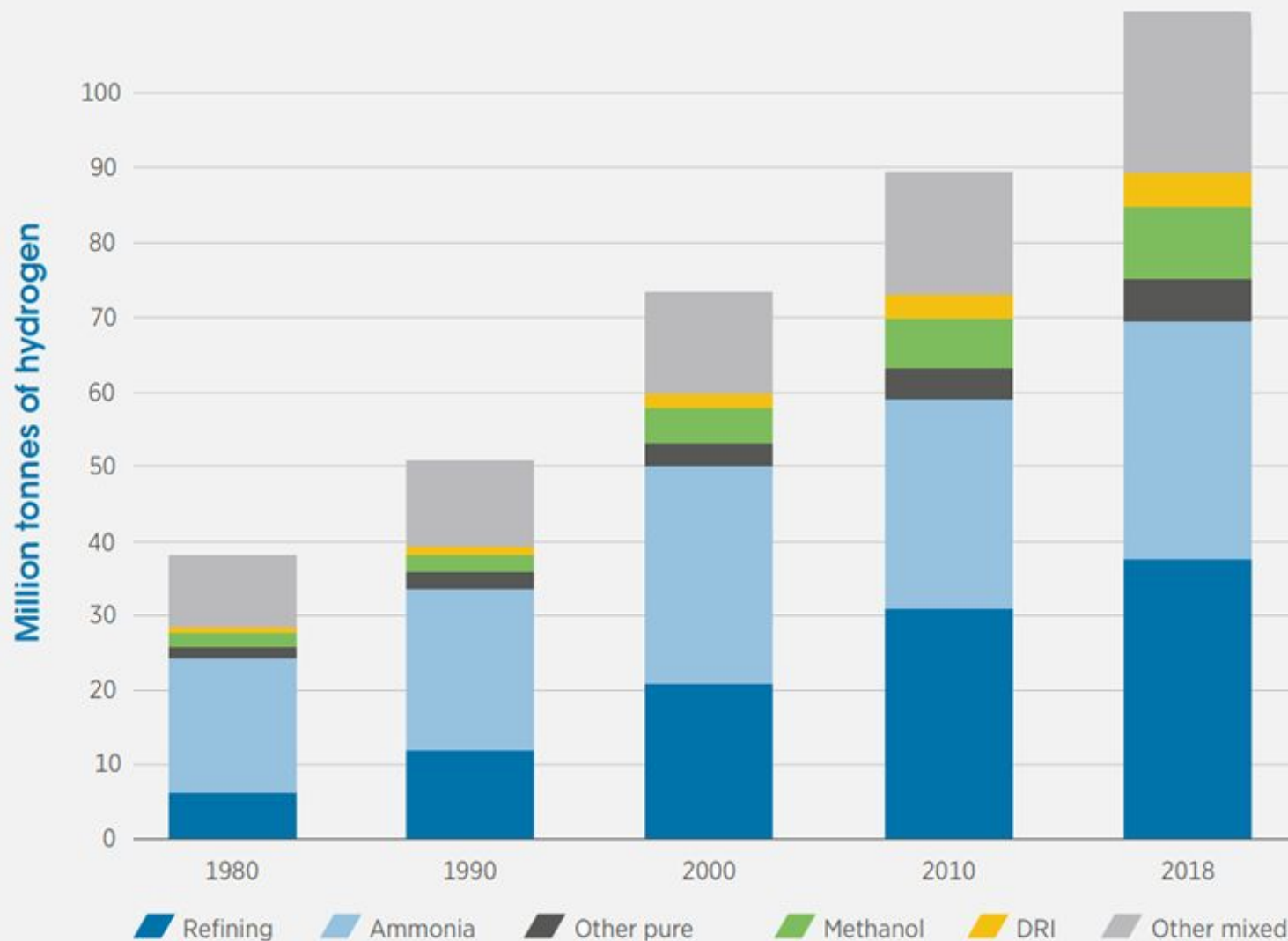


78%

топ-менеджеров глобальной автомобильной индустрии, опрошенных KPMG в 2017 году, полагают, что такие автомобили станут прорывом в секторе электромобилей, отодвинув на второй план аккумуляторные машины.

Рынок водорода

Global annual demand for hydrogen since 1980



20

Государств

50

Корпораций

Приняли долгосрочные программы развития водородных технологий, поддержанных льготами, финансированием из бюджетов разных уровней и международной технологической кооперацией.

В лидерах – **Япония**, поставившая целью строительство «общества, основанного на водороде»

Проблемы производства и их решение

● Активность

За счет того что реакционный объем установки очень мал и изолирован не возникает опасности крупных аварий

● Дороговизна

Производство водорода на микрореакторных элементах значительно удешевляется за счет высокой эффективности процесса.

● Сложность

За счет производства водорода в микроустановках непосредственно по месту потребления, не возникает необходимости его длительного хранения

● Сложность

Производство водорода вблизи мест его целевого использования позволяет избежать необходимости транспортировки на дальние расстояния

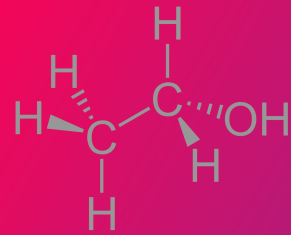
Микрореактор



H_2



Почему именно этанол?



Этанол (C_2H_5OH) – один из наиболее перспективных видов сырья для получения водорода каталитическими способами

Простота

Этанол является легкодоступным сырьем вследствие того, что его можно получать широкоизвестными и общедоступными методами практически из любого органического сырья


Экологическая

Этанол – экологически чистое сырье, поэтому даже в случае аварии или утечки не возникнет значительных экологических последствий

Отсутствие вредных побочных веществ

Все реакции синтеза водорода из этанола не предполагают выброса в атмосферу тяжелых экологических загрязнителей. Основными продуктами всех реакция являются водород, вода и углекислый газ





Цель

Разработать методологию синтеза водорода из этанола

Задачи

1. Провести обзор технологий синтеза водорода из этанола и выбрать целевую реакцию
2. Подобрать катализатор процесса
3. Разработать схему установки
4. Определить конструкционное оформление микрореактора
5. Разработать САУ ходом реакции
6. Разработать первичные модели



Существующие технологии

Некаталитические малоэффективные технологии



Пиролиз

- Высочайшая селективность
- Высочайшая температура ~1600
- Крайне энергозатратна



Фотохимическое разложение

- Минимум энергозатрат
- Низкая скорость реакции



Электролиз

- Высочайшая селективность
- Крайне энергозатратна



Биосинтез

- Минимум энергозатрат
- Малоизучена
- Низкая селективность

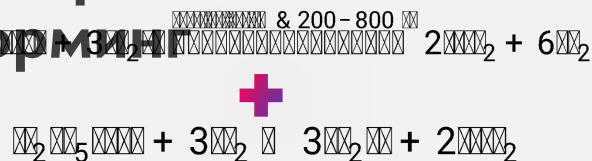
Каталитические эффективные технологии

Паровой риформинг



- Высочайшая селективность
- Простота контроля
- Высокая температура
- Экзотермическая

Автотермический риформинг



- Автотермическая
- Простота контроля
- Высокая селективность

Парциальное окисление



- Низкая температура
- Эндотермическая
- Низкая селективность



Выбор технологии

Выбирая наиболее предпочтительную каталитическую реакцию для проведения ее в микрореакторе рассмотрим энергоэффективность каждой реакции в пересчете на 1 моль этанола

1 моль C_2H_5OH

n моль H_2

m кДж в PEM

кДж



Паровой риформинг

кДж



Парциальное окисление

кДж



Автотермический риформинг

Катализатор

Оптимальный состав катализатора $10Ni/Ce_{0,8}La_{0,2}O_{1,9}$, в присутствие которого достигаются следующие показатели:

100% Конверсия этанола

300°
C Температура в зоне реакции

60% Селективность по водороду

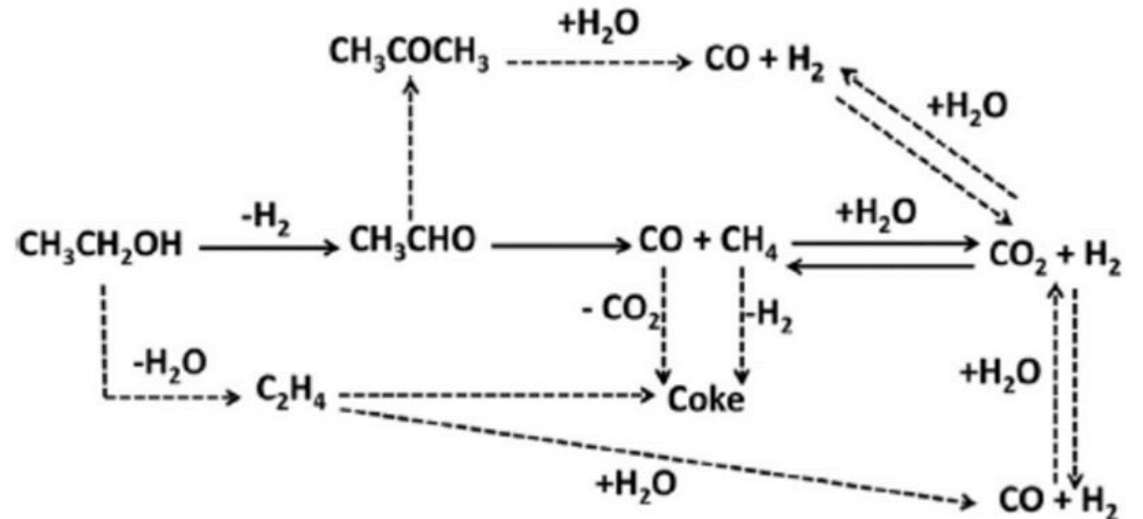
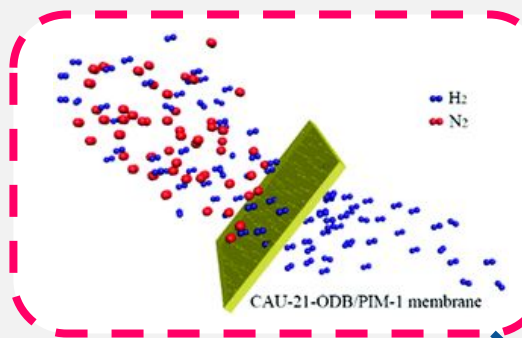
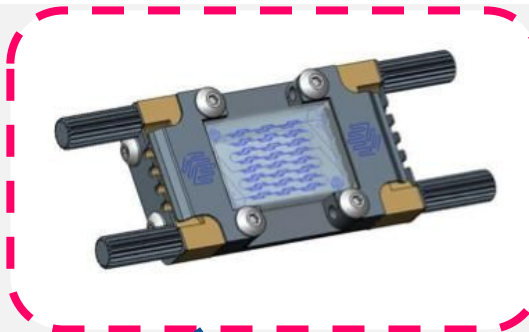


Схема установки



Водород-селективная мембрана является наиболее оптимальным методом сепарации продуктового водорода от побочных продуктов реакции

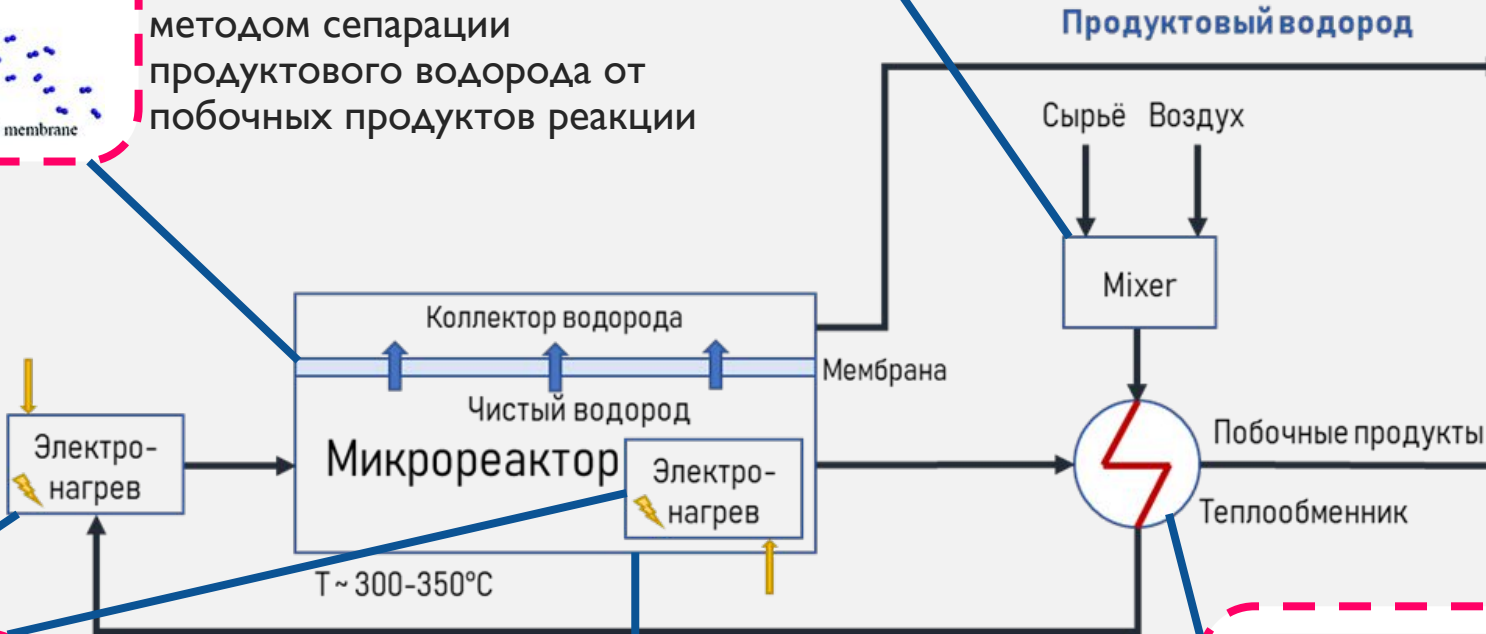


Микросмеситель является главным звеном управления. Контроль температуры в зоне реакции осуществляется за счет управления количеством воздуха, подаваемого в микрореактор.

Миканитовый нагреватель обладает достаточно высокой удельной мощностью и точностью для контроля поля температур



Микрореактор является ключевым звеном системы. Его конструкционное исполнение будет показано далее



Микротеплообменник позволит использовать тепло, отходящее из системы вместе с продуктами реакции для предварительного нагрева сырья в целях обеспечения максимальной энергоэффективности процесса



Первичные математические модели

Термодинамическая модель

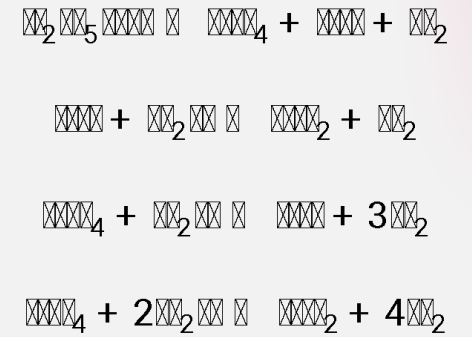
$$\rho C_p \frac{dT}{dt} = \rho C_p v \frac{dT}{dx} - \frac{dQ}{dx} + \sum_i \dot{m}_i h_i - \sum_o \dot{m}_o h_o$$

$$= \rho C_p v \frac{dT}{dx} - \frac{dQ}{dx} + \sum_i \dot{m}_i h_i - \sum_o \dot{m}_o h_o$$

MPC-контроллер
Математическая модель



Кинетика реакции, мат. баланс



Мат. баланс

$$\frac{dX_i}{dt} = \sum_j \nu_{ij} R_j - \sum_k \nu_{ik} R_k$$

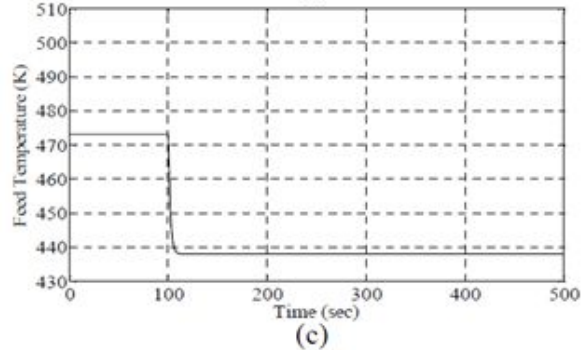
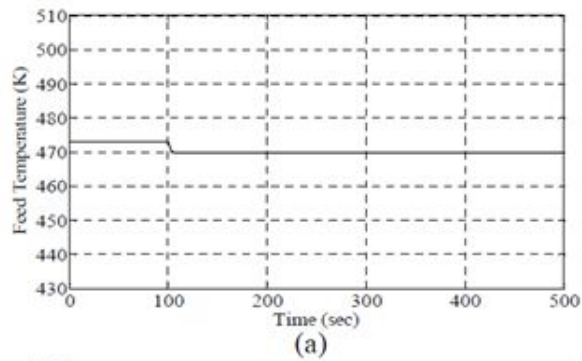
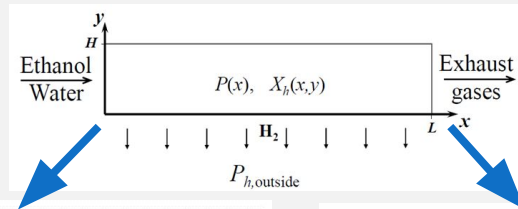
$$R_3 = \frac{R_4}{\tau_4} - \frac{R_3}{\tau_3}$$

$$R_3 = \frac{R_4}{\tau_4} - \frac{R_3}{\tau_3}$$

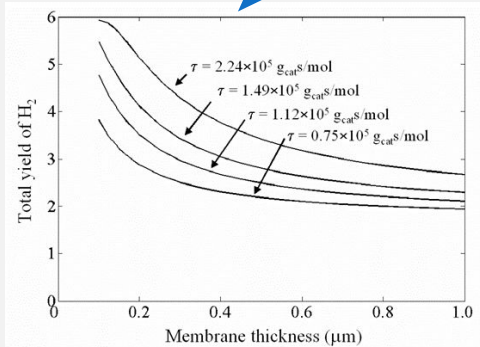
$$R_3 = \frac{R_5}{\tau_5} - \frac{R_3}{\tau_3}$$

Распределение компонентов

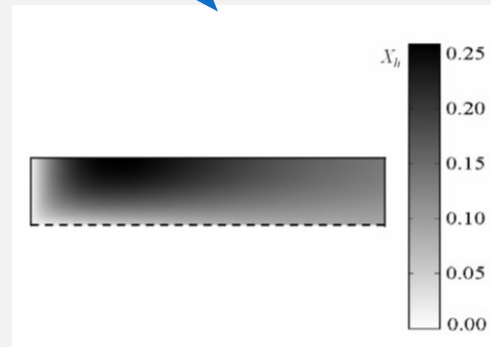
Модель ВС-



Динамика теплового баланса

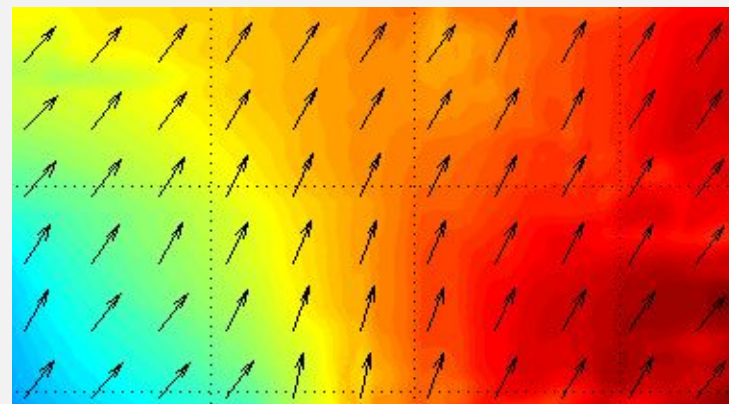
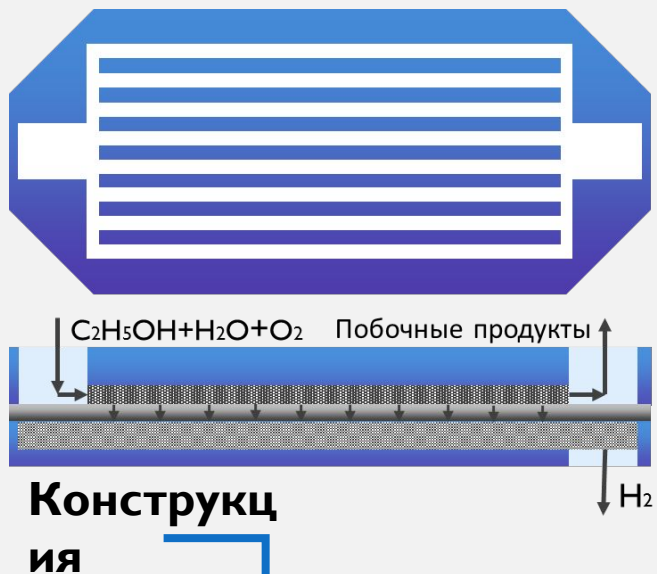


Толщина мембраны



Профиль мембраны

Конструкция микрореактора



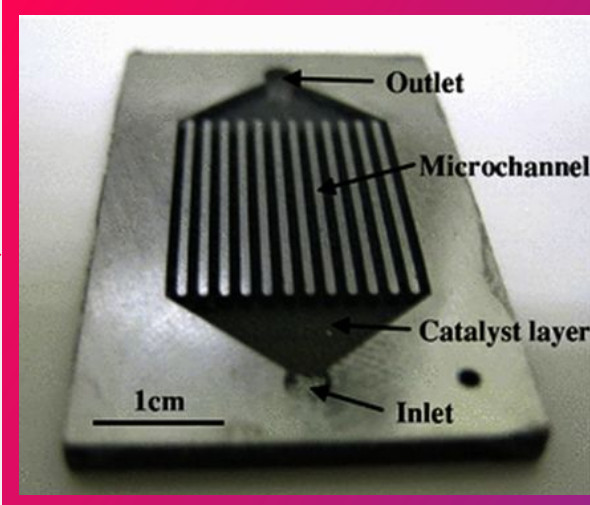
$$\frac{S \cdot n}{l} \geq 0.000032$$

$$\frac{S \cdot n}{l} = 0.000003$$

$$\frac{S \cdot n}{l} = 0.75 \sim 1$$

l – длина каналов
 S – площадь сечения
 n – количество каналов

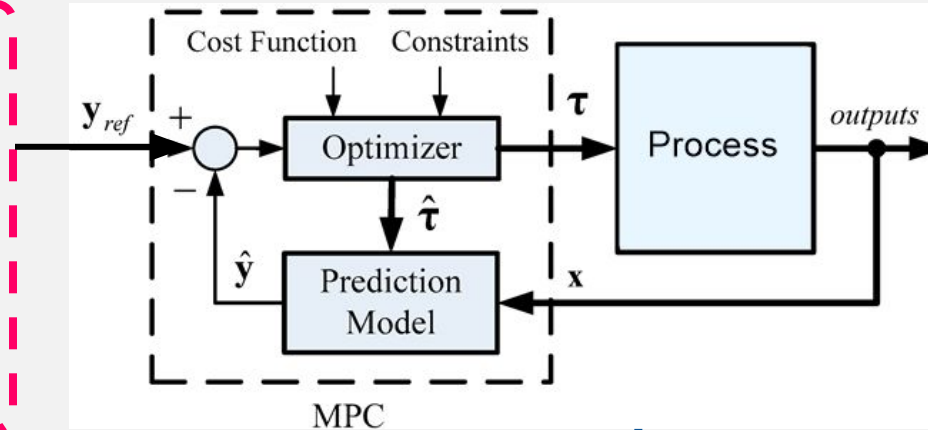
Расчет



Результат
 11 цилиндрических каналов с площадью поперечного сечения равной 27 мм^2 , и длиной канала равной 100 мм . Таким образом мы получим оптимальный микрореактор, длина которого будет составлять около 10 см , а ширина, с учетом перегородок между каналами – $60-70 \text{ мм}$.

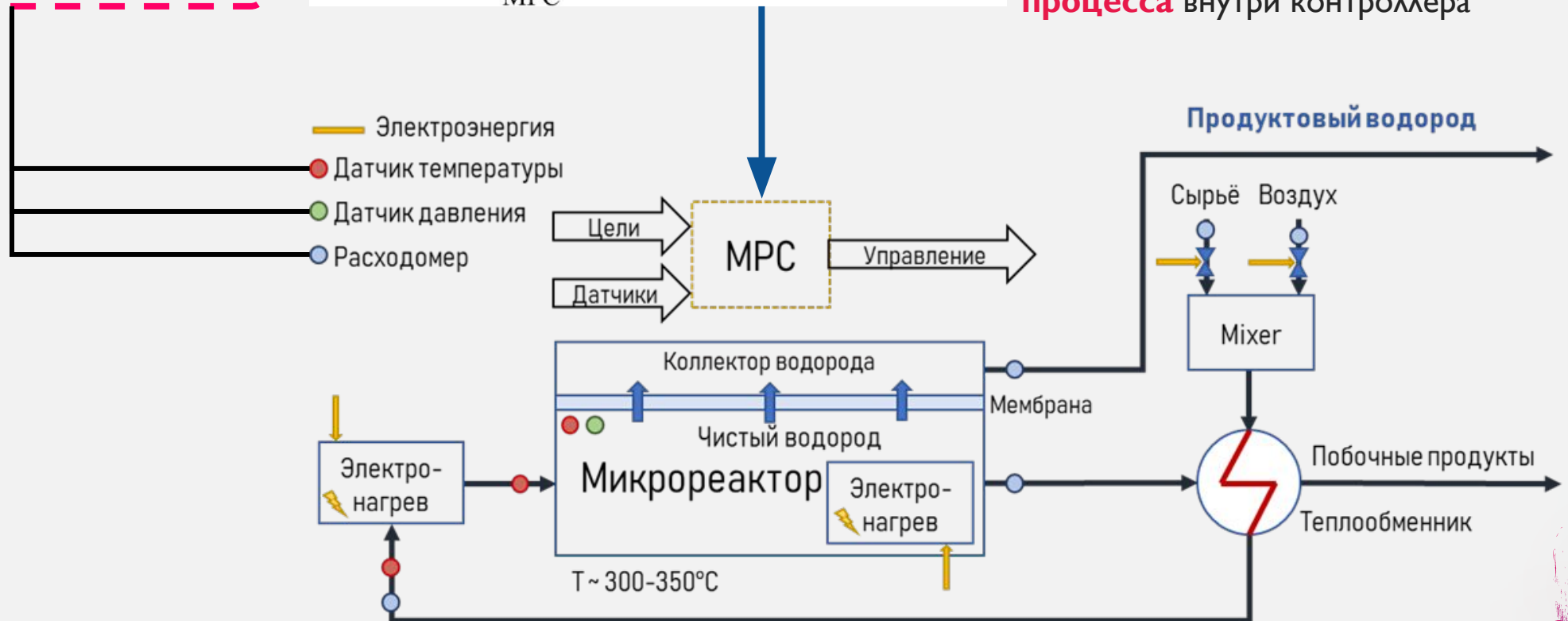
Система автоматического управления установкой

Данные для модели в виде сигналов с трех основных типов датчиков подаются в ПЛК, который, после цифро-аналоговых преобразований подает их в модель внутри контроллера



Управление с прогнозирующими моделями — один из современных методов теории управления, использующийся в основном в управлении производственными процессами.

Объектом управления в данном случае являются **динамические модели процесса** внутри контроллера




Заключение

На основании проделанной работы можно сделать несколько выводов:

- Технология **АТР водно-спиртовой смеси** является высокоэффективным и перспективным способом получения чистого водорода из био-сырья, для дальнейшего использования его в топливных элементах как источника дешевой и экологически чистой энергии.
- **Микрореакторы** являются перспективной технологией химического синтеза веществ с высокой степенью чистоты.
- Технология автоматического управления на базе совместного использования **МРС-контроллера** и высокоточных моделей реакции позволяет обеспечить качественное автоматическое управление технологическим процессом.





Спасибо за ВНИМАНИЕ

Выполнил:

Студент гр. ХТм-183,

Щербо Никита Сергеевич

Руководитель:

*К.Х.Н., начальник Научно-
исследовательской части ОмГТУ,*

Фефелов Василий Федорович

