

КЕЙС НАПРАВЛЕНИЯ «ПРОЕКТНЫЙ ИНЖИНИРИНГ»  
ПОЛУФИНАЛА СТУДЕНЧЕСКОЙ ЛИГИ  
МЕЖДУНАРОДНОГО ИНЖЕНЕРНОГО ЧЕМПИОНАТА «CASE-IN»

CASE-IN. ПРОЕКТНЫЙ ИНЖИНИРИНГ



# КЕЙС

## «Технологии индустрии 4.0 и ESG-трансформация проектной и строительной деятельности: новые вызовы и перспективы»



МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
ИНЖЕНЕРНЫЙ ЧЕМПИОНАТ  
**CASE-IN**

ПИ2022ПИ



## ОРГАНИЗАТОРЫ



Фонд «Надежная смена» учрежден в 2007 году и является разработчиком и оператором образовательных проектов для школьников, студентов, молодых ученых и работников предприятий топливно-энергетического и минерально-сырьевого комплексов.



НП «Молодежный форум лидеров горного дела» – ведущая молодежная площадка горнодобывающего сектора для личностного и профессионального развития молодых специалистов, реализации молодежных инициатив и обмена опытом, а также пополнения кадрового резерва компаний.



ООО «АстраЛогика» – компания, целью которой является развитие новых образовательных технологий, в том числе метода кейсов. С 2012 года «АстраЛогика» активно внедряет в России использование метода кейсов, стоит у истоков создания инженерных кейсов, а также их использования в рамках мероприятий среди студентов технических вузов, корпоративных форумов для молодых специалистов организаций.



**РЕАЛИЗУЕТСЯ** в соответствии с планом мероприятий, направленных на популяризацию рабочих и инженерных профессий, утвержденным Распоряжением Правительства Российской Федерации № 366-р от 5 марта 2015 года.

**С 2019 года входит в платформу АНО «Россия – страна возможностей»**, наблюдательный совет которой возглавляет Президент России Владимир Путин.

**Входит в ТОП-15 олимпиад мира по версии рейтингового агентства RAEX (РАЭК-Аналитика).**

## О ЧЕМПИОНАТЕ

**Международный инженерный чемпионат «CASE-IN»®** – международная система соревнований по решению инженерных кейсов.

**Студенческая лига «CASE-IN»** – соревнование, состоящее из дистанционных отборочных этапов, проходящих на базе ВУЗов, дистанционных полуфиналов по федеральным округам, а также финального этапа, который проходит очно в Москве.

**Участники:** обучающиеся профильных вузов России и стран СНГ.

В рамках полуфиналов команды (от 3-х до 4-х человек в каждой) решают инженерный кейс – практическую задачу, в основе которой актуальная отраслевая или производственная ситуация. Исходные данные кейса представляют реальные описания и показатели, однако в определенной степени могут быть смоделированы.

Победителями каждого полуфинала становятся до половины лучших по рейтингу команд, которые получают право принять участие в финале Чемпионата.

Чемпионат 2022 года посвящен теме «Индустрия 4.0».

Сайт Чемпионата – <http://case-in.ru/>

НАПРАВЛЕНИЯ  
СТУДЕНЧЕСКОЙ  
ЛИГИ:



АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИТ



ГЕОЛОГОРАЗВЕДКА



ГОРНОЕ ДЕЛО



МЕТАЛЛУРГИЯ



НЕФТЕГАЗОВОЕ  
ДЕЛО



НЕФТЕХИМИЯ



ПРОЕКТНЫЙ  
ИНЖИНИРИНГ



ПРОМЫШЛЕННАЯ  
БЕЗОПАСНОСТЬ



ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА





## НАЦИОНАЛЬНЫЕ



МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ  
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



МИНИСТЕРСТВО ТРУДА  
И СОЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Росмолодежь



ЦСМ  
ЦЕНТР СТРАТЕГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ



Роснедра

РОССИЯ –  
СТРАНА  
ВОЗМОЖНОСТЕЙ



## СТРАТЕГИЧЕСКИЕ



СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ПАРТНЕР  
НАПРАВЛЕНИЙ «ГЕОЛОГОРАЗВЕДКА», «ГОРНОЕ ДЕЛО»

ГАЗСТРОЙПРОМ

СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ПАРТНЕР  
НАПРАВЛЕНИЙ «АВТОМАТИЗАЦИЯ И IT», «ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»



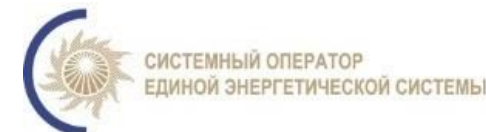
СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ПАРТНЕР  
НАПРАВЛЕНИЯ «МЕТАЛЛУРГИЯ»



СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ПАРТНЕР  
НАПРАВЛЕНИЯ «НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО»

СИБУР

СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ПАРТНЕР  
НАПРАВЛЕНИЯ «НЕФТЕХИМИЯ»



СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ПАРТНЕР  
НАПРАВЛЕНИЯ «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА»

## ГЕНЕРАЛЬНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И ПАРТНЕРЫ ОТДЕЛЬНЫХ ЭТАПОВ



micromine



ПРОСОФТ  
СИСТЕМЫ



ЕВРАЗ

Schlumberger





Создаём историю страны!

**АО «НИПИГАЗ»** – лидер российского промышленного инжиниринга. Компания осуществляет управление проектами во всех отраслях нефтегазового рынка: газопереработка, нефтепереработка, сжижение природного газа, транспортировка продуктов и инфраструктура, газо- и нефтехимия.

НИПИГАЗом реализовано более 100 значимых для страны проектов. Сегодня активно ведется работа над следующими объектами: Амурский ГПЗ ПАО «Газпром», «Арктик СПГ 2» ПАО «НОВАТЭК», Амурский ГХК ПАО «СИБУР» и Sinopet.

Компания обладает успешным опытом работы над проектами в сотрудничестве с глобальными инжиниринговыми компаниями в качестве партнера и консультанта. Сегодня НИПИГАЗ объединяет более 4 500 специалистов в Москве, Краснодаре, Тюмени, Санкт-Петербурге и Свободном.



НИПИГАЗ входит в ТОП-100 крупнейших инжиниринговых и строительных компаний мира по данным ENR, а также занимает высокие позиции в рейтингах лучших работодателей по версиям HeadHunter, Forbes, Universum, FutureToday, Changellenge >>.

**Миссия НИПИГАЗ** – повышать эффективность и надежность бизнеса заказчиков, используя современные инжиниринговые решения, передовые технологии и мировой опыт, опираясь на глубокую экспертизу и профессионализм наших специалистов.

#### Ценности компании:

- сплоченная команда;
- взаимоуважение;
- становиться лучше каждый день;
- умный результат;
- партнерство;
- безопасность без компромиссов.





## ОТ АВТОРОВ КЕЙСА

Организаторы Чемпионата разработали данный кейс исключительно в образовательных целях. В частности, кейс впервые будет использован на Международном инженерном чемпионате «CASE-IN» для оценки знаний студентов ведущих отраслевых вузов России и стран СНГ.

Кейс представляет собой образовательную технологию, использующую описание реальных экономических, социальных и бизнес-ситуаций. Участники должны исследовать ситуацию, разобраться в сути проблем, предложить возможные решения и выбрать лучшее из них. Кейсы основываются на реальном фактическом материале или же приближены к реальной ситуации.

При разработке кейса были использованы реальные данные, однако в целях формирования на их основе учебно-методического материала в формате инженерного кейса, а также соблюдения конфиденциальности, некоторые параметры, значения и показатели были смоделированы. При решении кейса необходимо основываться и использовать приведенную в кейсе информацию. Во избежание серьезных ошибок призываем не проводить никаких аналогий с реальными или схожими ситуациями, описанными в кейсе, не использовать в своем решении информацию из не подтвержденных источников.

Данные кейса и технические подробности основаны на реальных показателях, однако вовсе не обязательно в точности с ними совпадают, поскольку в целях соблюдения коммерческой и производственной тайны в них могли быть внесены незначительные коррективы, не искажающие общей картины деятельности предприятия. Несмотря на это, приступая к решению кейса, участники чемпионата принимают на себя обязательство не передавать кейс третьим лицам в электронной, печатной и любой другой форме, включая его публичное размещение на любых интернет ресурсах.

Важно понимать, что кейс может иметь большое количество альтернативных решений, ни одно из которых не является однозначно правильным или однозначно неправильным. Определяющее значение имеют техническая грамотность участников, логика решения, качество оформления и проведения презентации.



## О ЧЕМ ЭТОТ КЕЙС

Идея кейса заключается в разработке комплекса мероприятий по повышению эффективности проектной и строительной деятельности на основе технологий Индустрии 4.0 и ESG-принципов на примере предприятия по производству метано-водородных смесей из природного и попутного газов и последующего выделения из них чистого водорода.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	7
Технологии Индустрии 4.0: новые возможности в проектной и строительной деятельности .....	9
Инжиниринг и цифровые модели в строительстве .....	10
Виртуальные тренажёры технологического процесса .....	11
Индустрия 4.0 и охрана труда .....	12
ESG-принципы: актуальность, оценка соблюдения и практика применения .....	15
Перспективы водородной энергетики в России .....	16
Технологии получения водорода и метано-водородной смеси .....	17
Задание .....	22
Список рекомендованных источников .....	23



## ВВЕДЕНИЕ

1972

Основание НИПИГАЗа, который стал головным институтом страны в сфере переработки нефтяного газа и перешел в ведение Миннефтепрома.

1978

Начало совместных проектов первых газоперерабатывающих заводов с компаниями «Fluor» (США), «Japan steel works, Ltd» (Япония).

1980-е

В период с конца 70-х годов до текущего времени осуществление проектирования и авторского надзора в качестве генерального проектировщика всех газоперерабатывающих мощностей Западной Сибири.

1995

Вхождение в состав СИБУРа. Диверсификация деятельности: участие в проектах трубопроводного транспорта, СПГ, нефтепереработки и нефтехимии.

2000-е

Внедрение новейшего аналитического оборудования и современных комплексов, развитие системы 3D-проектирования и лазерного сканирования.

Сегодня

Трансформация Компании в EPC-контрактора (Engineering, Procurement, Construction), расширение портфеля проектов, компетенций, географий и штата.

Стратегия деятельности компании строится на следующих принципах:

- бескомпромиссное следование принципам высочайшего качества;
- реализация проектов, превосходящих ожидания заказчиков, в том числе предоставление полного комплекса услуг для выполнения проектов «под ключ»;
- снижение капиталоемкости проектов заказчиков;
- повышение энергоэффективности процессов подготовки, транспорта и переработки углеводородного сырья;
- дальнейшее укрепление лидирующих позиций в сегментах подготовки, транспорта, переработки и хранения легких углеводородов и производства СПГ, развитие в сфере нефтепереработки и нефтехимии;
- подтверждение репутации надежного и компетентного партнера.



Более 100 проектов

Все отрасли  
нефтегазового рынка

49 лет экспертизы



5 000 сотрудников



## ВВЕДЕНИЕ

Четвёртая промышленная революция (Индустрия 4.0) получила свое название от инициативы 2011 года (в рамках промышленной выставки в Ганновере), возглавляемой бизнесменами, политиками и учеными, которые определили ее как средство повышения конкурентоспособности обрабатывающей промышленности Германии через усиленную интеграцию «киберфизических систем» (CPS) в производственные процессы. При этом изменения должны охватить самые разные стороны жизни: технологический уклад, рынок труда, бытовые условия, человеческую идентичность и др.

Специально созданная для этих целей рабочая группа предложила стратегию трансформации промышленных предприятий страны в так называемые «умные» производства.

модели: он контролирует условия использования, может менять настройки удаленно, обновлять программное обеспечение, предупреждать клиента о возможных поломках, а по завершении цикла использования – принимать продукт на утилизацию.

Для внедрения сценариев четвертой промышленной революции на производстве было сформулировано несколько основных принципов построения Индустрии 4.0:

- **совместимость**, что означает способность машин, устройств, сенсоров и людей взаимодействовать и общаться друг с другом через интернет вещей (Internet of Things, IoT);
- **прозрачность**, которая появляется в результате такого взаимодействия.



Этому примеру последовали и другие страны, активно осваивающие новые технологии. А термин «Индустрия 4.0» стали использовать как синоним четвертой промышленной революции. Суть ее заключается в том, что сегодня материальный мир соединяется с виртуальным, в результате чего рождаются новые киберфизические комплексы, объединенные в одну цифровую экосистему.

Роботизированное производство и «умные» заводы – один из компонентов меняющейся отрасли. Четвертая промышленная революция означает все большую автоматизацию абсолютно всех процессов и этапов производства: цифровое проектирование изделия, создание его виртуальной копии, совместная работа инженеров и дизайнеров в едином цифровом конструкторском бюро, удаленная настройка оборудования на заводе под технические требования для выпуска этого конкретного «умного» продукта, автоматический заказ необходимых компонентов в нужном количестве, контроль их поставки, мониторинг пути готового продукта от склада на фабрике до магазина и до конечного клиента. Но и после продажи производитель не забывает о своем продукте, как это было в классической

В виртуальном мире создается цифровая копия реальных объектов, которая точно повторяет все, что происходит с ее физическим клоном. В результате накапливается максимально полная информация о всех процессах, которые происходят с оборудованием, «умными» продуктами и производством в целом. Для этого требуется обеспечить возможность сбора всех этих данных с сенсоров и датчиков и учета контекста, в котором они генерируются;

- **техническая поддержка** предполагает, что компьютерные системы помогают людям принимать решения благодаря сбору, анализу и визуализации всей той информации, о которой говорится выше. Эта поддержка также может заключаться в полном замещении людей машинами при выполнении опасных или рутинных операций;
- **децентрализация управленческих решений** заключается в делегировании некоторых из них киберфизическим системам. При этом автоматизация должна быть максимально полной: везде, где машина может эффективно работать без вмешательства людей, рано или поздно должно произойти человекозамещение.





## ИНДУСТРИЯ 4.0: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ В ПРОЕКТНОЙ И СТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

До недавнего времени применение цифровых моделей являлось сугубо добровольным мероприятием, но с января 2022 года это стало обязательным требованием для тех, кто хочет работать с государственными заказами (за исключением объектов строительства, которые создаются в интересах обороны и безопасности государства). Многие компании еще покупают 3D-принтеры по бетону, чтобы быть первыми в печати строительных конструкций. Другие – уже используют дроны для осмотра строительных площадок и высотных объектов.

### 1. Высокотехнологичная топосъёмка и георазведка.

Чтобы выбрать строительную площадку и исследовать почву, сейчас уже нет необходимости бурить, брать пробы и приглашать множество специалистов. Аэромониторинг дешевле и быстрее традиционной геодезии: беспилотник, даже с условием регулярных посадок для смены аккумуляторов, может облететь 40-50 гектаров за сутки.

Современные георадары позволяют неразрушающими методами выяснить состав почвы, а значит, понять места и глубину забивки свай или сделать расчет бетонной плиты. Технология фотограмметрии позволяет по обычным фотографиям и данным лазерных сканеров (лидаров) создать 3D-модель поверхности в мельчайших деталях и интегрировать ее в BIM-модель. Современные цифровые технологии в строительстве позволяют на самом раннем этапе, еще до появления первого экскаватора, понять, что под землей, и заложить в проект верные технические решения.

### 2. Интернет вещей и умные датчики.

Интернет вещей в случае стройки – это подключение всех машин, механизмов, стационарных объектов и даже рабочих (например, с помощью smart-часов) к единой сети, что позволяет отслеживать всё в режиме реального времени. К примеру, миксер с датчиком количества раствора, включенный в единую информационную среду, может сам «заказывать» бетон на заводе и прогнозировать время прибытия для загрузки.

### 3. Роботы и дроны.

Строительные роботы – это механизмы с удаленным управлением или искусственным интеллектом: в первом случае человек управляет на расстоянии, во втором – робот умеет сам, без вмешательства человека, принимать решения.

Дроны в строительстве – это беспилотные летательные аппараты, разновидность роботов. В основном дроны служат для обследования и наблюдения, выполнять с их помощью какие-либо работы пока технологически сложно.

### 4. 3D-печать.

Строительный принтер сам готовит смесь из заложенных в него компонентов, и слой за слоем строит конструкции, будь то стена или перекрытие. Современные 3D-принтеры работают не только в заводских условиях: их можно установить прямо на строительной площадке.

Процесс возведения здания происходит существенно быстрее, так как бетонный раствор может приготавливаться прямо на месте, а принтер превосходит по скорости самую профессиональную бригаду строителей и умеет работать 24 часа в сутки. Технологии 3D-печати в строительстве полностью автоматизированы, процесс исключает влияние человеческого фактора.

### 5. Искусственный интеллект.

Искусственный интеллект – это алгоритмы, которые могут имитировать мышление человека, то есть, например, анализировать данные и принимать решения. В частности искусственный интеллект может быть начинкой роботов: такой строительный робот не ждет команды от человека на каждое движение, а сам понимает, где копать, и насколько продвинуться, чтобы не упасть в траншею.

Более глубокие варианты использования искусственного интеллекта включают в себя машинное обучение и предиктивную аналитику, то есть возможность алгоритмов учиться и предсказывать ситуации.

### 6. Виртуальная и дополненная реальность.

Виртуальная реальность (VR) – это полностью цифровой мир, как, например, компьютерная игра. В VR можно воссоздать готовое здание, строительную площадку или кабину экскаватора. Дополненная реальность (AR) – это модель, где реальность и цифровой мир смешиваются: например, при помощи специальных алгоритмов на компьютере дорисовываются еще не построенные этажи здания вместе с помещениями.



## ИНЖИНИРИНГ И ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Объединяя цифровые, физические и виртуальные сферы, цифровая инженерия и передовые технологии способствуют переосмыслению методов разработки и производства продуктов. Продвигаясь в этом направлении, цифровая инженерия приводит нас к созданию интеллектуальных продуктов, услуг и технологических подходов нового поколения, которые повышают ее ценность для конечного пользователя.

Сфера применения цифровой инженерии охватывает весь жизненный цикл продукта, включая этап концептуального планирования, проектирование и производство продуктов, а также мониторинг (включая встроенную инфраструктуру) в течение данного жизненного цикла.

С ростом числа научных исследований и конструкторских разработок, а также, соответственно, их инженерных реализаций цифровая инженерия способствует созданию новых интеллектуальных продуктов и услуг.



Рисунок 1. Основные этапы перехода к цифровой инженерии

### BIM-МОДЕЛИРОВАНИЕ

Информационное моделирование зданий (от англ. Building Information Modeling, BIM) – процесс, в результате которого формируется информационная модель здания (сооружения), при этом каждой стадии соответствует некоторая модель, которая отображает объем обработанной на данный момент информации (архитектурной, конструкторской, технологической, экономической) о здании или сооружении, к которой имеют доступ все заинтересованные лица.

После завершения стройки модель передают эксплуатанту, и он даже спустя много лет может понять, какие технические решения использованы. А еще заранее будет знать, у какого оборудования истекает срок эксплуатации и сможет спланировать ремонт или замену.

BIM можно рассматривать как сам процесс построения модели, так и саму конечную модель, насыщенную информацией. Информационная модель – это пригодная для компьютерной обработки информация о проектируемом или существующем строительном объекте, при этом:

- нужным образом скоординированная, согласованная и взаимосвязанная;
- имеющая геометрическую привязку;
- пригодная для расчетов и анализа;
- допускающая необходимые обновления;
- интероперабельная.

С помощью BIM-моделей застройщики могут точно контролировать расходы, видеть в реальном времени отчеты по закупкам и использованию материалов. BIM-модели позволяют быстро построить график производства работ, буквально за секунду узнать планируемый срок готовности любого элемента здания. В связке с электронным документооборотом и электронными цифровыми подписями BIM-модели резко сокращают объем «живого» контроля на стройплощадке, в том числе со стороны государства.

Согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 05.03.2021 № 331 с 1 января 2022 года все государственные строительные заказы в России должны проектироваться с использованием BIM-моделирования.

## ВИРТУАЛЬНЫЕ ТРЕНАЖЁРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА



Одним из первых из крупных компаний виртуальную реальность освоил автогигант Ford. Еще в начале 2000-х годов предприятия компании использовали VR-технологии для дизайнерских целей и внутрикорпоративных коммуникаций. В последние семь лет технологии стали центром всего автоматизированного производства. Конструкторы и инженеры передвигаются по заводу в очках Oculus Rift.

Логистическая компания DHL успешно запустила проект с применением AR на производстве в Нидерландах. Складские рабочие получают через виртуальные очки подсказки по перемещениям и операциям погрузки. Представители компании декларируют увеличение производительности рабочих процессов на 25%.

ПАО «Газпромнефть» создает двойники технологических цепочек на основе математического моделирования и виртуальной реальности. Моделируется нефтяная установка, задаются ее характеристики и требования, отрабатывается реакция на внештатные ситуации.

ПАО «Башнефть» разработала AR-тренажер, позволяющий проводить обучение новых рабочих и подтверждение квалификации текущих сотрудников. AR-тренажеры погружают в специально смоделированную рабочую среду, где обучаемый может совершать необходимые операции и взаимодействовать с оборудованием или инструментами.

Компания НИПИГАЗ разработала систему «Удаленный эксперт» для дистанционного выполнения пуско-наладочных работ, например, руками сотрудника, находящегося на конкретном заводе, с использованием очков дополненной реальности. Также в области охраны труда внедрены VR-тренажеры, которые позволяют отрабатывать высотные работы и грузоподъемные операции безопасно для жизни и здоровья работника. Далее планируется масштабировать данный механизм на другие процессы.

### ВОЗМОЖНОСТИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

#### 1. 3D-визуализация рабочих операций.

VR-тренажеры позволяют ощутить эффект присутствия в 3D-симуляции реальной рабочей среды. Виртуальная реальность позволяет создавать «цифровой двойник» любого операционного подразделения для оценки рисков и затрат при внедрении нового процесса в нефтегазовых операциях.

#### 2. Обучение персонала.

Виртуальная реальность успешно применяется в обучении персонала в нефтегазовой отрасли. Использование наглядных иммерсивных 3D-моделей помогает в понимании систем и процессов. К примеру, позволяет создавать 3D-прохождения в реальных местах, включая нефтегазовые активы.

#### 3. Управление рисками.

Полевые техники в нефтегазовой промышленности подвержены воздействию опасных газов и химикатов. Тренажеры виртуальной реальности обучают сотрудников реагированию на чрезвычайные ситуации путем моделирования реальных сценариев.

Применение VR-тренажеров открывает ряд преимуществ компаниям нефтегазовой отрасли:

- повышение эффективности обучения кадров посредством практических заданий, взаимодействия и активного участия;
- формирование у персонала навыков, применимых в реальной производственной среде;
- возможность проводить аттестацию инструкторов и обучающихся;
- создание сред с нулевым уровнем риска для развития, проверки и выработки компетенций путем имитации производственных ситуаций;
- снижение временных и финансовых затрат за счет подготовки большого количества новых кадров на местах.



## ИНДУСТРИЯ 4.0 И ОХРАНА ТРУДА



Роботизированное производство и умные заводы, виртуальная и дополненная реальность, автоматизация процессов – эти и другие технологии призваны кардинально изменить производственную систему, подходы к проектированию, производству, сбыту и эксплуатации производственных объектов. С внедрением цифровых инициатив возникают новые риски в области охраны труда и промышленной безопасности.

Для предприятий химической и нефтехимической промышленности управление рисками в этих сферах особенно важно, поскольку последствия в случае их наступления могут иметь катастрофический характер, например, приводить к расстройству сложного технологического процесса, выходу из строя дорогостоящего оборудования и даже создавать угрозу для жизни и здоровья работников. Без должного внимания к этим рискам экономический эффект от внедрения технологий может быть негативным. Кроме того, при таком подходе под угрозой оказываются уже достигнутые результаты в области управления безопасностью.

Цифровизация производства призвана снизить **риски неопределенности**, оптимизировать использование ресурсов и повысить производительность труда. При этом данные изменения не всегда предполагают положительное влияние на безопасность, особенно в случае радикальных трансформаций в организации труда.

Производственные системы представляют собой структуры, в которых задействованы люди и оборудование. По мере технологического развития производственные системы усложняются. Новые стандарты эффективности порождают новые требования к профессиональным компетенциям и корпоративной культуре. Эти факторы способствуют увеличению **психосоциальных рисков**, среди которых, например, возникновение стрессовых ситуаций на работе. Руководство часто упускает из виду риски подобного типа. При этом устойчивость и стабильность технологических процессов на производстве может быть поставлена под угрозу именно вследствие психосоциальных рисков, связанных с возможными умственными и физическими перенапряжениями работников или конфликтами внутри коллектива.

**Нехватка квалифицированных кадров** – ключевой риск для многих высокотехнологических отраслей промышленности. В условиях технологического прогресса данный риск растет. Так, для эффективного труда в условиях умного производства рабочим необходимо приобрести широкий спектр специальных навыков. Необходимо сочетать традиционные знания, связанные с выполнением производственных задач, с компьютерными навыками. Приобретение таких навыков может быть затруднено для сотрудников пожилого возраста, которые не имеют начальной подготовки. Кроме того, работники должны быть более мотивированными и открытыми для изменений, а также готовыми к непрерывному повышению квалификации.

Большинство предприятий, которые начали внедрять технологии умного производства, уже имеют развитую систему управления охраной труда и высокую культуру безопасности. Опыт показывает, что интеграция аспектов охраны труда в производственные процессы оказывает благоприятное воздействие на производительность и снижает затраты. Также существует положительная корреляция между производительностью и реализацией инициатив в области охраны труда. Обязательным условием эффективного перехода на технологии умного производства является развитая система управления охраной труда и высокий уровень культуры безопасности. Внедрение лучших практик в области управления охраной труда, несомненно, поможет обеспечить плавный переход к технологиям умного производства. Однако при внедрении стандартов и новых практик следует обратить внимание на повышение уровня адаптивности систем к технологическим инновациям.





## ИНДУСТРИЯ 4.0 И ОХРАНА ТРУДА

Крупнейшие компании мира учитывают риски безопасности при принятии решений на различных уровнях управления. Хотя риски могут оцениваться на всех этапах жизненного цикла инноваций, идентификация риска наиболее целесообразна при планировании. После внедрения технологии в производственную систему финансовые затраты на корректирующие меры увеличиваются.

Анализ данных в режиме реального времени, интернет вещей, машинное обучение позволяют автоматизировать производственные процессы. Поставщики технологий и многие отраслевые эксперты уверены, что процессные ошибки при этом можно исключить. В конечном счете полная автоматизация позволит исключить риски безопасности и вместе с тем повысить эффективность всей производственно-сбытовой цепочки. Предполагается, что подобные системы будут оснащены техническими средствами контроля всех параметров. Таким образом, при возникновении отклонений от производственного процесса машины будут реагировать в соответствии с заложенным в них алгоритмом. Например, при появлении аномалий информация будет передаваться в диагностические центры, которые в автоматическом режиме смогут определять, необходимо ли дальнейшее вмешательство работника.

Многие эксперты предупреждают о потенциальных рисках, связанных с инновационными технологиями. Одна из наиболее изученных проблем касается взаимодействия человека и машины. До недавнего времени роботы были ограничены защищенными пространствами и перемещались в соответствии с запрограммированными и ранее протестированными алгоритмами. Сопутствующие их работе риски было относительно легко выявлять и контролировать. По сравнению с предыдущим поколением роботов более гибкие и мобильные коботы (робот, предназначенный для физического взаимодействия с людьми в совместной рабочей среде), выполняющие всевозможные задачи в тесном взаимодействии с работниками, несут гораздо больше рисков, которые к тому же менее предсказуемы. Несмотря на автономность и предполагаемый интеллект машин, можно предположить, что в будущем наряду с человеческим фактором мы будем рассматривать также «интеллектуальную машинную ошибку». Необходимо подчеркнуть, что надежность таких устройств становится все труднее прогнозировать по мере усложнения производственных процессов.

Инновационные технологии предоставляют почти неограниченные возможности для сбора данных. Современное оборудование способно регистрировать и архивировать огромные объемы информации. Однако задача по-прежнему заключается в определении действительно полезных данных. До принятия превентивных действий необходимо определить опасности путем тщательного управления информацией. Нужно проанализировать источники данных различных типов. Это зачастую выполняется командой экспертов из различных областей. Одной из задач управления рисками Индустрии 4.0 является анализ больших данных для принятия правильных управленческих решений.

Таким образом, использование инновационных технологий позволяет компаниям получать значительное конкурентное преимущество. Однако процесс цифровизации производства неразрывно связан с существенными рисками в области охраны труда и промышленной безопасности. Поэтому, эффективное внедрение инновационных технологий возможно только при непрерывном совершенствовании системы управления охраной труда.

Поэтому можно выделить следующие общие рекомендации для эффективного управления изменениями при переходе к Индустрии 4.0:

- внедрение инновационных технологий при непрерывном совершенствовании системы управления охраной труда;
- развитие культуры производственной безопасности до уровня коллективной ответственности;
- регулярная оценка потенциальных последствий для здоровья и безопасности сотрудников при внедрении инновационных технологий;
- оценка психосоциальных рисков, которые могут существенно вырасти вместе с внедрением цифровых технологий;
- анализ физических и когнитивных факторов при распределении задач между работниками и интеллектуальными устройствами, такими как коботы;
- моделирование поведения сотрудников, намерений и реакций человека на стресс и новые трудности в меняющихся условиях;
- адаптация конфигурации оборудования и усилий, необходимых для его эксплуатации, к физическим и когнитивным возможностям работников;
- проектирование новой рабочей среды с учетом безопасности и комфорта для работников;
- развитие компетенций и мотивации с целью содействия безопасному сотрудничеству между работниками и коботами.

## ИНДУСТРИЯ 4.0 И ОХРАНА ТРУДА

# VISION ZERO

Safety.Health.Wellbeing.

Развитие системы управления охраной труда в рамках Индустрии 4.0, очевидно, должно укладываться в концепцию Vision Zero («Нулевого травматизма») – это концепция Международной ассоциации социального обеспечения (МАСО). Это мировая кампания, цель которой состоит в том, чтобы повлиять на статистику смертности и травматизма на производстве, исключить формальный подход к охране труда. Она включает в себя экологическую, промышленную и пожарную безопасность, производственный контроль и охрану труда. Буквально, концепция «Нулевого травматизма» означает нулевую смертность/ заболеваемость/ травмированность на производстве.

Семь «золотых правил» концепции «Нулевого травматизма» – это практические правила. Следуя им, адаптируя их к специфике каждого конкретного предприятия или организации, можно добиться значительных результатов в построении эффективно работающей системы управления охраны труда.

По итогам работы над всеми «золотыми правилами» получается набор проблем и разработанных к ним планов, которые нужно реализовать в установленные сроки. Однако при составлении целостной программы по внедрению Vision Zero нужно проранжировать полученные проблемы по критериям важности и срочности. Далее, помимо срока выполнения, необходимо ввести в рассмотрение срок начала реализации.

При ранжировании можно использовать, например, матрицу дел Эйзенхауэра, которая представляет собой метод тайм-менеджмента, помогающий расставлять приоритеты: делать важное и не тратить время на ненужное. Таким образом, важно определить ключевые приоритеты. После чего следует разработать помесечный календарный план-график реализации поставленных целей.



Рисунок 2. Семь «золотых правил» концепции Vision Zero



## ESG-ПРИНЦИПЫ: АКТУАЛЬНОСТЬ, ОЦЕНКА СОБЛЮДЕНИЯ И ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ

Аббревиатуру ESG можно расшифровать как «экология, социальная политика и корпоративное управление». В широком смысле это устойчивое развитие коммерческой деятельности, которое строится на следующих принципах:

- ответственное отношение к окружающей среде (англ., E – environment);
- высокая социальная ответственность (англ., S – social);
- высокое качество корпоративного управления (англ., G – governance).

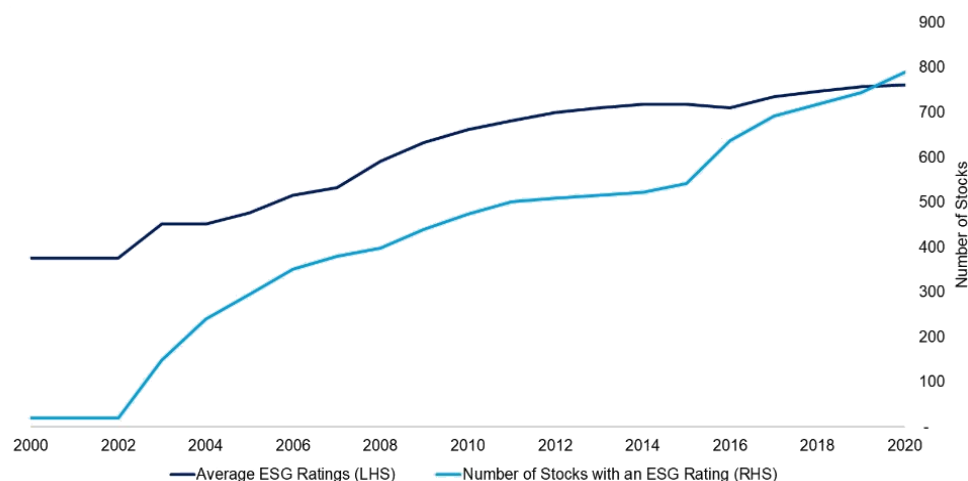


Рисунок 3. Количество компаний с ESG-рейтингом

В России ESG-принципы менее распространены, чем за рубежом, но их уже постепенно внедряют в бизнес. Одной из актуальных тем на Петербургском международном экономическом форуме в 2021 году стала защита окружающей среды.

Участники ПМЭФ-2021 обсуждали снижение выбросов углекислого газа при добыче и переработке топлива, а также развитие новых источников энергии. В рамках нацпроекта «Экология» поставлена задача к 2030 году отправлять на сортировку 100% отходов и вдвое сократить объем захоронения мусора.

Кроме того, треть крупнейших банков страны уже внедрила в кредитный процесс ESG-оценку компаний, еще 20% – планируют. Это значит, что банки будут тестировать каждого заемщика на соблюдение принципов устойчивого развития.

### ОЦЕНКА СОБЛЮДЕНИЯ ESG-ПРИНЦИПОВ

Экологические принципы определяют, насколько компания заботится об окружающей среде и как пытается сократить ущерб, который наносится экологии.

Социальные принципы показывают отношение компании к персоналу, поставщикам, клиентам, партнерам и потребителям. Чтобы соответствовать стандартам, бизнес должен работать над качеством условий труда, следить за гендерным балансом или инвестировать в социальные проекты.

Управленческие принципы затрагивают качество управления компаниями: прозрачность отчетности, зарплаты менеджмента, здоровую обстановку в офисах, отношения с акционерами, антикоррупционные меры.

ESG-рейтинг формируют независимые исследовательские агентства – Bloomberg, S&P Dow Jones Indices, JUST Capital, MSCI, Refinitiv и другие. Они оценивают развитие компаний по трем критериям – E, S и G – и присваивают баллы по 100-балльной шкале.

Единого подхода к формированию ESG-рейтинга пока нет. Все агентства анализируют открытые данные о компаниях, но считают баллы по-разному. Так, в 2021 году компания НИПИГАЗ вошла в рейтинг лучших работодателей России по критериям «Экология» (E), «Сотрудники и общество» (S) и «Корпоративное управление» (G) по версии Forbes с серебряным статусом.

### ВЛИЯНИЕ ESG-ИНВЕСТИЦИЙ НА РЫНОК

Повышенный спрос на ESG вынуждает компании считаться с принципами устойчивого развития. Теперь, из-за давления инвесторов и банков, им невыгодно иметь низкий ESG-рейтинг. Эксперты считают, что данный фактор связан с новыми ценностями поколения миллениалов, для которых бизнес и инвестиции – это не только про доход, но и про заботу об экологии и обществе.

Как следствие данного процесса в экономическом масштабе:

- инвесторы меньше поддерживают компании с низким ESG-рейтингом;
- банки учитывают ESG-рейтинг при выдаче кредитов.



## ПЕРСПЕКТИВЫ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ

Внедрение ESG-принципов – одна из ключевых мировых тенденций в инвестиционной деятельности и бизнесе, роль которой будет только возрастать ввиду повышения внимания государства и общественности к экологической повестке, а также растущей роли ESG-рейтингов.

Очевидно, что структура энергобаланса изменится в рамках ESG-повестки. При этом Россия должна сохранить свое преимущество и подготовиться к вызовам, которые сейчас появляются в связи с энергопереходом. Альтернативой как традиционным, так и возобновляемым источникам энергии может стать водород. И у России, по мнению экспертов, есть серьезный потенциал для производства «зеленого» водорода на гидроэлектростанциях в ночное время, а также производства «желтого» водорода, то есть водорода, произведенного на атомных электростанциях.



**Торосов Илья Эдуардович,**  
Заместитель Министра экономического развития  
Российской Федерации

*«Мы видим не только проблемы и риски в связи с падением спроса на энергоресурсы, но и ниши, где мы точно собираемся расти и замещать возможные выпадающие доходы. Это прежде всего атомная энергетика. Мы надеемся, что займем нишу и на рынке водородной энергетики – 10-15% мирового рынка».*

В России в 2021 году была принята «дорожная карта» по развитию водородной энергетики до 2024 года, а также утверждена Концепция развития водородной энергетики. Согласно данному документу, одно из основных направлений в этой сфере – создание научно-технологической инфраструктуры, на базе которой будет организована разработка отечественных технологий водородной энергетики, в том числе технологий производства, транспортировки и применения водорода. Минпромторг России подготовил атлас российских проектов по производству низкоуглеродного и безуглеродного водорода, в который вошли более 40 объектов по всей стране.

В России намечено сформировать как минимум три региональных водородных кластера – Северо-Западный, Восточный и Арктический. Их задача – способствовать созданию экспортно ориентированного производства водорода и метано-водородных смесей на его основе.

Сегодня наиболее перспективным является Восточный водородный кластер, формирующийся в Сахалинской области. Здесь есть прямой доступ к ресурсам: одним из вариантов сырья для получения водорода является природный газ. Преимуществом стала и географическая близость к странам АТР, в частности Японии и Южной Кореи, в которых уже утверждены правовые основы перехода на водородную экономику. Имеется транспортная инфраструктура, в частности, Корсаковский глубоководный морской порт. В 2021 году подписано соглашение между правительством Сахалинской области, компаниями «Русатом Оверсиз» и Air Liquide о строительстве водородного завода. На острове выбрана площадка для будущего предприятия и подготовлено предварительное технико-экономическое обоснование.

В настоящее время существуют три основные технологические схемы производства водорода:

1. Электролиз воды («зеленый» водород). Этот способ рассматривается как самый перспективный, хотя он и наиболее дорогой, в первую очередь потому, что наиболее энергоемкий.
2. Паровой риформинг метана и (или) автотермический риформинг. Представляет собой наиболее продвинутой технологию получения водорода, которая значительно дешевле технологии «зеленого» водорода. Однако этот процесс сопровождается выбросами CO<sub>2</sub> и требует использования технологий его улавливания и захоронения.
3. Набор технических решений для получения водорода из метана без доступа кислорода (пиролиз и ряд других методов) и, следовательно, без выбросов CO<sub>2</sub>, то есть чистого водорода.





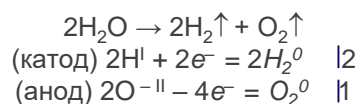


## ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА И МЕТАНО-ВОДОРОДНОЙ СМЕСИ

### ЭЛЕКТРОЛИЗ ВОДЫ

Этот окислительно-восстановительный процесс протекает на электродах при прохождении постоянного электрического тока через растворы или расплавы электролитов.

На отрицательно заряженном электроде – катоде происходит электрохимическое восстановление частиц (атомов, молекул, катионов), а на положительно заряженном электроде – аноде идет электрохимическое окисление частиц (атомов, молекул, анионов). Электролиз воды проводится всегда в присутствии инертного электролита (для увеличения электропроводности очень слабого электролита – воды):



В зависимости от инертного электролита электролиз проводится в нейтральной, кислотной или щелочной среде. При выборе инертного электролита необходимо учесть, что никогда не восстанавливаются на катоде в водном растворе катионы металлов, являющихся типичными восстановителями (например,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Cs}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ) и никогда не окисляется на аноде кислород O-II анионов оксокислот с элементом в высшей степени окисления (например,  $\text{ClO}_4^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SiO}_4^{4-}$ ,  $\text{MnO}_4^-$ ), вместо них окисляется вода. В промышленных процессах электролиза воды в настоящее время применяют только щелочные электролиты.

Метод имеет наибольшие преимущества, если потребителю необходимо небольшое количество водорода высокой чистоты, с высокими перепадами в графике потребления водорода.

#### Достоинства технологии:

- простота технологической схемы;
- доступность и дешевизна сырья;
- высокая надежность в эксплуатации (современные электролизеры для разложения воды при нормальной эксплуатации работают до 10 лет без капитального ремонта);
- простота обслуживания;

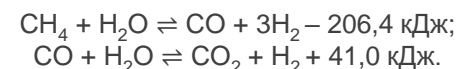
- в отличие от химических методов себестоимость продукта мало зависит от масштаба производства;
- в отличие от других способов производства водорода в этой технологии получают газы (водород и кислород) высокой чистоты;
- способ обладает особыми преимуществами в тех случаях, когда требуется высокая чистота газов (поэтому, например, для гидрогенизации жиров, каталитических процессов гидрирования, производства перекиси водорода, полупроводников и ряда других веществ применяют преимущественно электролитический водород).

#### Недостатки технологии:

- большая энергоемкость. В атмосферных электролизерах расход электроэнергии переменного тока составляет около 6300 кВт·ч на 1000  $\text{нм}^3$  водорода. При увеличении давления процесса удельный расход энергии снижается;
- высокие требования к уровню подготовки сырья;
- в отличие от химических методов себестоимость электролитического водорода в основном зависит от стоимости электроэнергии.

### ПАРОВОЙ РИФОРМИНГ

Это способ получения водорода из лёгких углеводородов (например, метана, пропан-бутановой фракции) путём каталитической конверсии углеводородов в присутствии водяного пара. Принцип парового риформинга представлен в следующих уравнениях реакции конверсии углеводородов и реакции превращения воды в газ:



Процесс конверсии протекает на никелевом катализаторе при температурах 750-850 °С. Чаще всего в промышленности процесс осуществляется в две стадии: на первой – в результате взаимодействия метана с нагретым водяным паром образуется смесь монооксида углерода и водорода. На второй стадии монооксид углерода, реагируя с водяным паром при температурах 200-250 °С, окисляется до диоксида с образованием дополнительного количества водорода. Выход  $\text{H}_2$  на моль израсходованного в процессе пара наибольший для метана и снижается с удлинением углеводородной цепочки.

## ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА И МЕТАНО-ВОДОРОДНОЙ СМЕСИ

В ходе парового риформинга углеводороды реагируют с паром при образовании смеси водорода и окисей углерода. Эта реакция происходит в печи парового риформинга в центробежнолитых микросплавных реакционных трубах, которые наполнены катализатором на базе никеля и расположены в рядах. Протекающая в них реакция имеет ярко выраженный эндотермический характер и требует подачи необходимого тепла. Тепло для этой эндотермической реакции и подогрева смеси сырья и пара поставляется рядами горелок, расположенных в потолке печи парового риформинга, что обеспечивает оптимальный, равномерный профиль температур по всей длине стенок труб. Печь парового риформинга коробчатой формы подогревается до температуры на выходе 860-880 °С.

### Достоинства технологии:

- низкие операционные затраты на единицу вырабатываемого  $H_2$ . Например, по сравнению с электролизом операционные затраты на паровую риформинг в три раза ниже;
- отсутствие производства кислорода, что значительно снижается первоначальные капитальные затраты;
- технологически зрелый процесс, широко апробированный в промышленном масштабе.

### Недостатки технологии:

- требуется подготовка сырья, как углеводородной части, так и воды;
- отход от крупнотоннажного процесса связан с повышением удельных затрат энергии на производство единицы продукции.

### МНОГОСТУПЕНЧАТАЯ АДИАБАТИЧЕСКАЯ КОНВЕРСИЯ МЕТАНА

Природный газ, очищенный от сернистых соединений поступает в узел смешения с водяным паром, поступающим из котла-утилизатора. Природный газ с водяными парами при температуре примерно 450 °С поступают в огневой подогреватель. На выходной линии огневого подогревателя температура смеси составляет примерно 680 °С. С такой температурой смесь поступает в адиабатический реактор. В реакторе, благодаря адиабатической конверсии метана, получается метано-водородная смесь (МВС) и водяные пары с температурой примерно 590 °С. Так как в адиабатическом реакторе часть воды тратится для получения водорода, производится постоянная подпитка воды в систему. Перед тем как попасть в систему вода проходит через фильтр. Все расходные показатели по природному газу, МВС, водяному пару и воде показаны на рисунке 3.

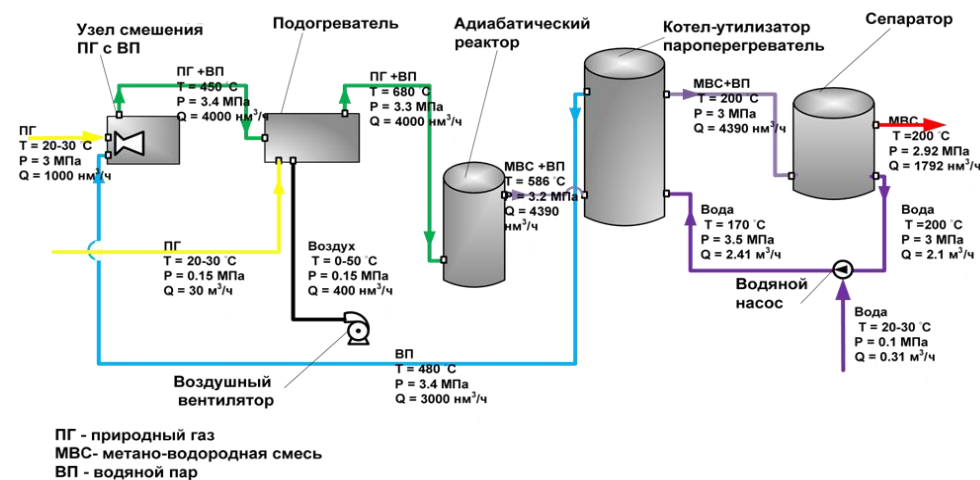


Рисунок 4. Схема многоступенчатой адиабатической конверсии метана

Применение МВС с высоким содержанием водорода (до 50 %) в качестве топливного газа на строящихся, а также на действующих компрессорных станциях с газоперекачивающими агрегатами, подлежащими реконструкции, позволит существенно улучшить как эксплуатационные характеристики и снизить расход топливного газа, значительно снизит эмиссионные показатели.

Таблица 1. Значения индекса Воббе и относительного выброса  $CO_2$  с изменением содержания водорода в метано-водородной смеси

МВС ( $H_2$ -содержание, % об.)	Относительный индекс Воббе, %*	Относительная эмиссия $CO_2$ , %
0	100	100
10	97,4	96,65
20	94,7	92,73
30	92,0	88,00
40	89,3	83,28
60	84,2	68,86
80	80,4	45,33
100	85,0	0



## ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА И МЕТАНО-ВОДОРОДНОЙ СМЕСИ

### МЯГКИЙ ПАРОВОЙ РИФОРМИНГ

Суть этой технологии заключается в проведении селективной каталитической низкотемпературной паровой конверсии углеводородов  $C_{2+}$  и выше, содержащихся в попутном нефтяном газе (ПНГ), в дополнительный метан и синтез-газ. При такой конверсии исходный метан, содержащейся в ПНГ, из-за низких температур конверсии не подвергается. Это открывает широкие технологические возможности для получения МВС из ПНГ. Технология мягкого парового риформинга обеспечивает получение МВС в одну стадию с вариацией содержания водорода от 2,5% до 20%, то есть во всем диапазоне необходимого для использования в энергетических и транспортных системах составов МВС.

#### Достоинства технологии:

- низкие температуры проведения процесса;
- снижение требований к материалам и используемому оборудованию;
- хорошая масштабируемость процесса;
- низкий порог по минимальной производительности установки;
- хорошая управляемость.

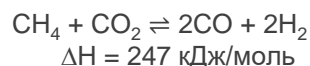
#### Недостатки технологии:

- низкое (до 20%) содержание водорода в конечной смеси;
- низкое (до 3%) содержание СО в конечной смеси.

Указанные недостатки ограничивают применение технологии для получения синтез-газа. Для получения непосредственно МВС технология мягкого парового риформинга представляется наиболее предпочтительной.

### УГЛЕКИСЛОТНАЯ КОНВЕРСИЯ

Данный способ позволяет получать синтез-газ из метана и углекислого газа по реакции:



Процесс углекислотной конверсии метана позволяет получать синтез-газ с более низким отношением  $H_2/CO$ , в интервале с 2:1 до 1:1. В настоящее время для многих технологий требуется такое низкое отношение  $H_2/CO$ . Например, это отношение предпочтительно для производства углеводородов по методу Фишера-Тропша, для гидроформилирования,

получения метанола, формальдегида, диметилового эфира и многих других органических соединений, что избавляет от необходимости регулировать отношение  $H_2/CO$  посредством реакции конверсии водяного газа. Углекислотная конверсия метана позволяет также вовлекать в синтез диоксид углерода, запасы которого огромны, а масштабы использования в промышленности невелики.

Всё выше перечисленное указывает на то, что процесс углекислотной конверсии метана имеет большую потенциальную экономическую выгоду и экологическое преимущество. Но главное препятствие промышленному использованию углекислотной конверсии метана состоит в том, что в настоящее время почти нет селективных катализаторов, которые могут работать, не подвергаясь дезактивации из-за коксообразования.

#### Достоинства технологии:

- использование  $CO_2$ .

#### Недостатки технологии:

- поиск селективных катализаторов, которые не подвергаются дезактивации при коксообразовании.
- низкое содержание водорода в синтез-газе.

### ПАРЦИАЛЬНОЕ ОКИСЛЕНИЕ (КИСЛОРОДНАЯ КОНВЕРСИЯ)

Кислородная конверсия представляет собой сложный процесс неполного окисления углеводородов, протекающий при температуре 1200-1500 °С. Основным его преимуществом является возможность переработки различных видов сырья, начиная от метана и кончая тяжелыми нефтяными остатками. Наибольшее развитие процесс получил в производстве газов для синтеза аммиака, метанола, синтез-газа для процесса карбонилирования олефинов и в несколько меньшей степени в производстве водорода.

Наряду с основной реакцией образования окиси углерода и водорода идут процессы термического расщепления, сопровождающиеся выделения углерода и углеводородных газов. С целью предотвращения образования углерода в процесс вместе с кислородом вводят водяной пар. Водяной пар и углекислота при температуре выше 1000 °С заметно реагируют с углеродом, увеличивая выход синтез-газа.



## ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА И МЕТАНО-ВОДОРОДНОЙ СМЕСИ

### Достоинства технологии:

- возможность конверсии тяжелых углеводородов без катализатора;
- высокие температуры в реакторе позволяют обойтись без стадии гидродесульфуризации (но  $\text{H}_2\text{S}$  все равно необходимо удалять);
- скорости реакции выше, чем в паровой конверсии, что важно для быстрого старта;
- отсутствие необходимости в парогенераторе.

### Недостатки технологии:

- высокие температуры процесса по сравнению с другими способами;
- увеличение затрат на оборудование, снижение надежности и безопасности процесса;
- меньший выход  $\text{H}_2$ ;
- требуется производство кислорода;
- при использовании воздуха парциальное давление  $\text{H}_2$  еще ниже;
- трудность управления;
- невозможность использования для портативных применений (топливных элементов).

### ПИРОЛИЗ МЕТАНА

Пиролиз метана является альтернативным подходом к получению водорода из природного газа без образования  $\text{CO}_2$  в ходе реакции:



При пиролизе метана образуется водород, который может быть использован в энергетике, транспортном секторе, в промышленных химических процессах и т. д. для снижения выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов, а также углерод в твердой форме.

Пиролиз метана относится к целому ряду процессов (по аналогии с конверсией метана), которые могут быть разделены на несколько больших классов – термический пиролиз, каталитический пиролиз, плазменный пиролиз, а также отдельно может быть выделен пиролиз в жидких средах, например, расплавах металлов.

В настоящее время пиролизом метана на промышленном уровне получают, например, технический углерод, с побочным образованием

водородсодержащего газа. Процессы целенаправленного получения низкоуглеродного водорода пиролизом метана – предмет научных исследований. В то время, как компании BASF, Thyssenkrupp и Linde сосредоточились на процессе термического пиролиза, американская компания Monolith занимается плазменным пиролизом. Другой подход применяют IASS и KIT – использование жидкого металла в качестве теплоносителя. Напротив, австралийский процесс HAZER® компании Hazer Group основан на каталитическом пиролизе метана.

Для термического разложения метана необходимы высокие температуры (выше  $1000^\circ\text{C}$ ). Использование катализатора помогает увеличить скорость реакции и, таким образом, снижает температуру, требуемую для конверсии природного газа.

Плазменный пиролиз – это способ разложения метана в плазме (например, сверхвысокочастотного разряда). В этом случае в качестве источника энергии используется электроэнергия (сетевая или возобновляемая) и, соответственно, процесс не сопровождается «прямыми» выбросами диоксида углерода.

Существенным преимуществом пиролиза метана является меньший удельный расход электроэнергии (оценивается менее  $20 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$  на килограмм водорода) в сравнении, например, с электролизом воды (от 48 до  $78 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ ).

В технологиях пиролиза метана не образуются «прямые» выбросы диоксида углерода, а «косвенные» выбросы зависят от «углеродного следа» поставок природного газа и электроэнергии, используемых в данном процессе. Кроме того, они связаны с необходимостью периодического восстановления катализатора, что сопровождается выбросами диоксида углерода, приводящими к повышению «углеродного следа» получения водорода.

При пиролизе метана технологический процесс обеспечивает производство углерода в твердой форме – так называемого технического углерода. На один килограмм водорода, как правило, образуется около трёх килограммов углерода, при этом существует возможность получения ценных продуктов, например, синтетического графита, графена, фуллеренов, углеродных нанотрубок.



# ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА И МЕТАНО-ВОДОРОДНОЙ СМЕСИ

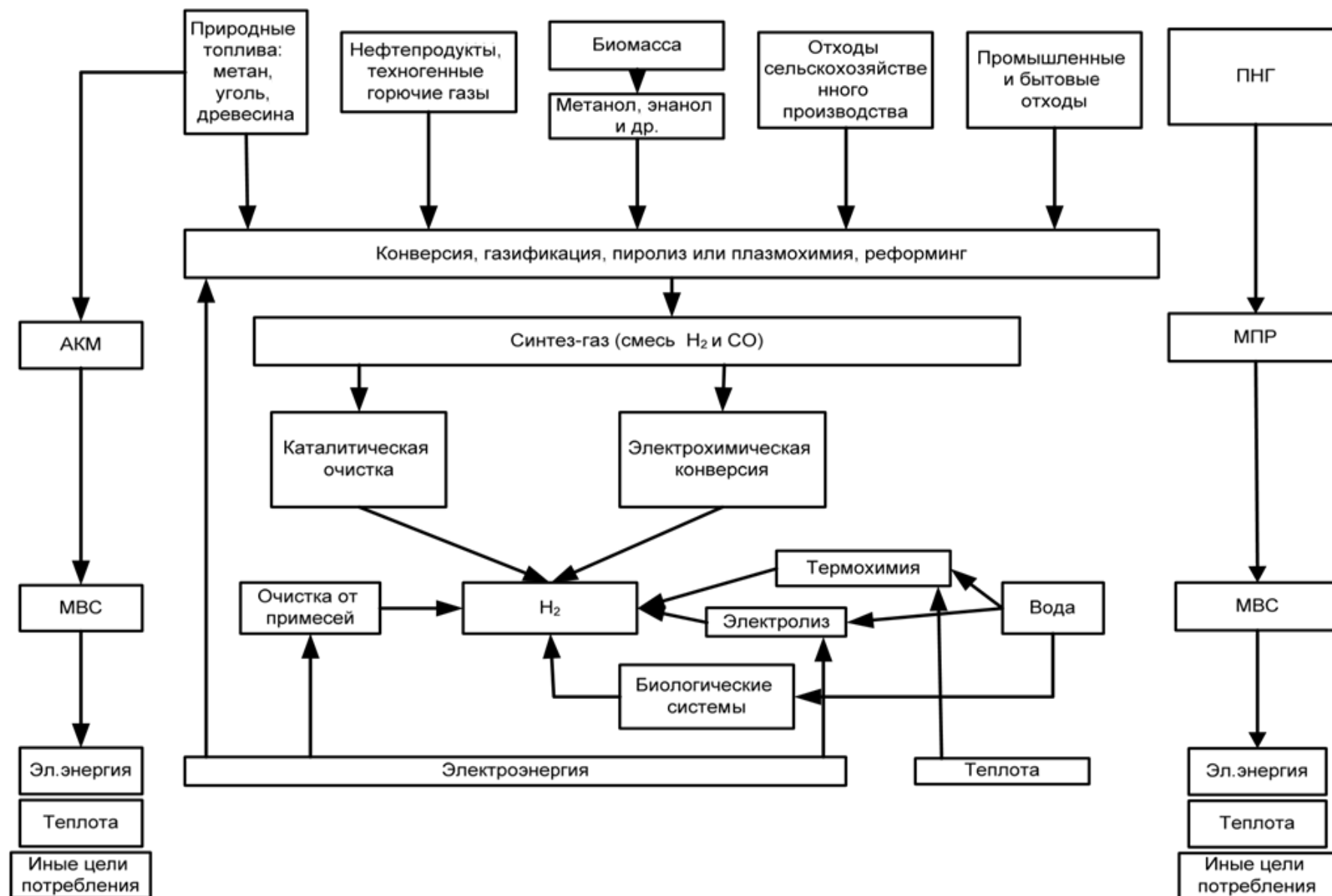


Рисунок 5. Технологии получения водорода и метано-водородной смеси



## ЗАДАНИЕ

В Восточном водородном кластере завершается строительство завода по производству водорода и метано-водородных смесей. Однако неожиданно возникшая перспектива возможных перебоев поставок строительных материалов и оборудования вынуждает заказчика выступить с требованием максимально быстрого завершения строительных работ и ввода объекта в эксплуатацию на четыре месяца ранее первоначально запланированного срока. Очевидно, это заставит подрядчика по проектированию и строительству данного завода, действовать в достаточно сложных условиях ограниченности по времени и в сверхурочном режиме. Это создает определенные риски с точки зрения охраны труда. Руководство компании-подрядчика считает необходимым подключение технологии Индустрии 4.0 для оперативного решения задач по завершению строительства объекта и обеспечению требований охраны труда работников. Первостепенная задача: определить, какие из этих технологий будут наиболее подходящими. При этом компания является ESG-ориентированной и важно, чтобы принимаемые решения укладывались в данную повестку, поддерживая рейтинг компании на высоком уровне.

## МОДЕЛЬ ОГРАНИЧЕНИЙ

1. Соответствие предлагаемых решений критериям экономической эффективности.
2. Временной горизонт для обоснования предлагаемых организационных и технических решений – 2023-2035 годы.



НИПИГАЗ



Создаём историю страны!



## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шваб, К. Технологии Четвертой промышленной революции / К. Шваб. – Москва : Бомбора, 2021. – 320 с.
2. Блуммарт, Т. Четвертая промышленная революция и бизнес. Как конкурировать и развиваться в эпоху сингулярности / Т. Блуммарт, С. Ван ден Брук. – Москва : Альпина Паблишер, 2019. – 204 с.
3. Шеффер, Э. Индустрия Х.0. Преимущества цифровых технологий для производства / Э. Шеффер. – Москва : Издательская группа Точка, 2019. – 320 с.
4. Цифровизация: Практические рекомендации по переводу бизнеса на цифровые технологии. – Москва : Альпина Паблишер, 2019. – 252 с.
5. Томас, С. Цифровая трансформация. Как выжить и преуспеть в новую эпоху / С. Томас. – Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2020. – 256 с.
6. Питер, В. Цифровая трансформация бизнеса. Изменение бизнес-модели для организации нового поколения / В. Питер, В. Стефани. – Москва : Альпина Паблишер, 2019. – 258 с.
7. Кулагин, В. Digital @ Scale: Настольная книга по цифровизации бизнеса / В.Кулагин, А. Сухаревски, Ю. Мефферт. – Москва : Интеллектуальная Литература, 2021. – 296 с.
8. Талапов, В.В. Основы BIM. Введение в информационное моделирование зданий / В.В, Талапов. – Москва : ДМК-Пресс, 2011. – 392 с.
9. Талапов, В.В. Технология BIM. Суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий / В.В, Талапов. – Москва : ДМК-Пресс, 2015. – 410 с.
10. Hill, J. Environmental, Social, and Governance (ESG) Investing: A Balanced Analysis of the Theory and Practice of a Sustainable Portfolio / J. Hill. – Academic Press, 2020.



МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
ИНЖЕНЕРНЫЙ ЧЕМПИОНАТ  
**CASE-IN**

УДАЧИ В РЕШЕНИИ КЕЙСА!

© Благотворительный фонд «Надежная смена»