



Объединенный институт высоких температур
Российской академии наук

В.М. Зайченко

Распределённая энергетика: проблемы и перспективы

Москва, 2019 г.



УКАЗ ПРЕЗИДЕНТА РФ ОТ 13 МАЯ 2019 Г. № 216

- Указ Президента РФ от 13 мая 2019 г. № 216 “Об утверждении Доктрины энергетической безопасности Российской Федерации”

В целях обеспечения энергетической безопасности Российской Федерации постановляю:

- 1. Утвердить прилагаемую Доктрину энергетической безопасности Российской Федерации.
- 2. Признать утратившей силу Доктрину энергетической безопасности Российской Федерации, утвержденную Президентом Российской Федерации 29 ноября 2012 г. № Пр-3167.
- 3. Настоящий Указ вступает в силу со дня его подписания.

Президент Российской Федерации
Москва, Кремль, 13 мая 2019 года

В.В. Путин



УКАЗ ПРЕЗИДЕНТА РФ ОТ 13 МАЯ 2019 Г. № 216

... 18. Трансграничным вызовом энергетической безопасности является развитие и распространение прорывных технологий в сфере энергетики, в том числе технологий использования возобновляемых источников энергии, распределённой генерации электрической энергии, накопителей энергии, добычи углеводородного сырья из трудноизвлекаемых запасов, цифровых и интеллектуальных технологий, энергосберегающих и энергоэффективных технологий на транспорте, в строительстве, жилищно-коммунальном хозяйстве и промышленности.



Распределённая энергетика

Распределённая энергетика (*Малая энергетика, малая распределённая энергетика*) — концепция развития энергетики, подразумевающая строительство потребителями электрической энергии источников энергии компактных размеров или мобильной конструкции и распределительных сетей, производящих тепловую и электрическую энергию для собственных нужд...

wikipedia.org



МОТИВАЦИЯ ПРИОРИТЕТНОГО РАЗВИТИЯ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ - 1

- Приоритетность развития распределенной энергетики определяется возможностью осуществления совместной выработки электрической и тепловой энергии.
- КПД использования топлива в современных теплогенерирующих агрегатах составляет более 90%. Тепловую энергию нельзя передавать на большие расстояния, поэтому производство тепловой энергии необходимо располагать вблизи потребителя.
- Если производство электрической энергии расположено на большом расстоянии от потребителя, которому необходимо также и теплоснабжение, то когенерационный цикл становится невозможным.



ИЗМЕНЕНИЕ ПРИОРИТЕТОВ...

В Дании законодательно запрещено устанавливать системы теплоснабжения мощностью более 1 МВт без комбинированной выработки электроэнергии.

В Нью-Йорке средняя мощность устанавливаемых ТЭЦ снизилась с 2 МВт в 1980 г. до 0,3 МВт в 2006 г.

Под концепцией **энергетического поворота** в Германии понимается взятый правительством курс на постепенный отказ от использования ископаемого углеводородного топлива.

В рамках данной концепции к 2020 г. планируется увеличить долю электроэнергии, получаемую из альтернативных источников, до 35%, а к 2030, 2040 и 2050 до 50, 65 и 80% соответственно.

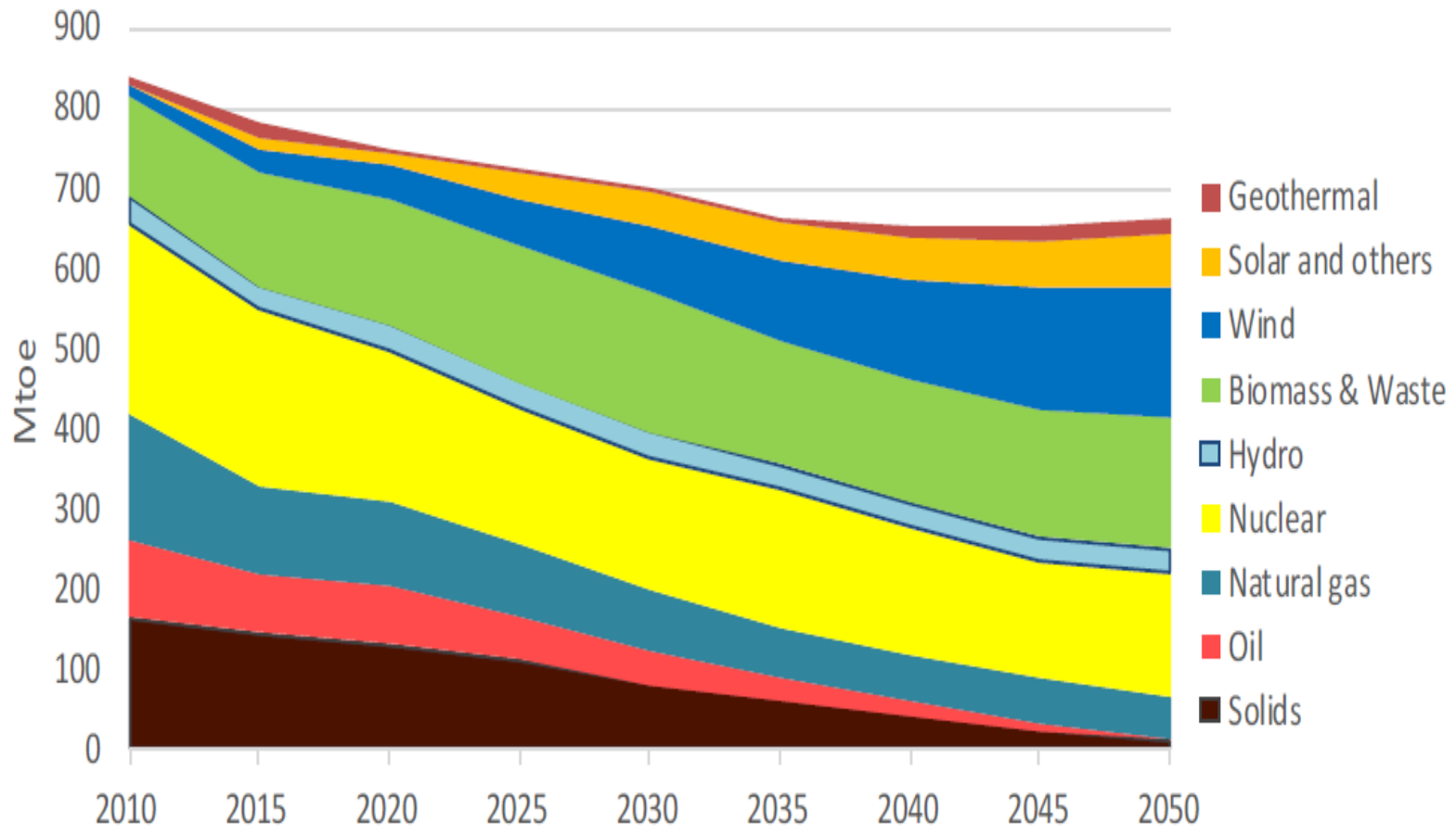


ВСЕМИРНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ООН ПО КЛИМАТУ

- Всемирная конференция ООН по климату (30.11 – 12.12 2015 г.) поставила задачу ограничить рост глобальной температуры на планете в пределах 2°C к 2050 г. Для этого, в соответствии с решением Конференции, необходимо к 2050 г. использовать не более 10% от уже имеющихся запасов углеродных топлив.
- **В рамках обозначенных ограничений примерно 80% мировых запасов угля, 50% природного газа и 30% нефти должны будут остаться неиспользованными.** Если данные подходы справедливы, то затраты на разведку и освоение новых месторождений ископаемых топлив не имеют смысла.
- **Необходимо финансировать не разведку и освоение новых месторождений, а исследования, направленные на создание новых методов получения энергии без использования природных топлив.**



БАЗОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЭНЕРГИИ



Source: Eurostat (2010, 2015), PRIMES.



СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Наименование показателей	Значение показателей для ТЭС							
	на твердом топливе с циркулирующим кипящим слоем		на природном газе с использованием парогазовых технологий			на природном газе с использованием газопоршневых агрегатов		
	Новочеркасская ГРЭС, блок № 9	Новорос-товская ГРЭС с ДПМ	Ставро-польская ГРЭС, бл.9 и 10	Ставро-польская ГРЭС с ДПМ	ПГЭС «Кубань» с ДПМ	Мини-ТЭС 5хАГ200-Т400-1Р-МТ	Специаль-ная астро-физическая обсерва-тория РАН	Пушкинский завод в Моск.обл.
Номинальная электрическая мощность, МВт	330	1000	1000	1000	480	1,0	0,31	1,3
Номинальная тепловая мощность, МВт/Гкал/ч	0	0	0	0	700/602	1,5/1,3	0,40/0,34	1,6/1,4
Годовая выработка электроэнергии, млн.кВтч	2145	5434	7500	7500	3124	7,5	2,4	10,1
Годовая выработка тепловой энергии, тыс.Гкал	0	0	0	0	1800	9,8	2,6	11,0
Удельные капитальные вложения, €/кВт (1€=48р.)	1190,2	2324,0	908,3	908,3	1324,1	483,3	1653,2	1052,1
Планируемые тарифы (на 01.07.2015) на отпуск:								
- электрической энергии, руб./кВтч	1,36	2,63	1,62	3,72	3,55	7,00	5,14	4,69
- тепловой энергии, руб./Гкал	-	-	-	-	1210,7	2000	2502,7	2133,5
Расчётная себестоимость отпуска (на 01.01.14):								
- электрической энергии, руб./кВтч	0,769	0,788	0,950	0,950	1,38	1,77	1,41	1,33
- тепловой энергии, руб./Гкал	-	-	-	-	555,4	560,0	1230,4	1061,8
Критерии эффективности инвестиций:								
- чистый дисконтирован. доход (NPV), млн.руб.	2673,4	38931	1580	5642	16569	89,4	59,8	335,2
- внутренняя норма доходности (IRR) %	14,1	15,0	13,6	14,0	14,9	48,5	45,0	53,4
- рентабельность инвестиций (R), %	8,85	9,00	4,65	10,52	9,71	33,5	28,6	35,0
- индекс доходности (PI)	1,02	1,35	1,04	1,13	1,54	4,85	3,43	4,86
- простой срок окупаемости (PP), лет	11,3	11,1	21,5	9,5	10,3	2,9	3,5	2,9
- дисконтированный срок окупаемости (PBP), лет	21,2	16,3	>50	22,4	15,2	3,2	3,9	3,1



ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ОИВТ РАН

При существующем в Институте графике нагрузки максимальное количество часов использования оборудования будет реализовано при схеме с 4 газопоршневыми когенерационными агрегатами АГ315-Т400-1РК-МТ, поставщик - ООО «МГТ», г. Москва) в контейнерном исполнении электрической мощностью 315 кВт и тепловой – 450 кВт каждый.

Данная схема является наиболее рациональной с точки зрения технико-экономической эффективности.



РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТОВ ЗНАЧЕНИЙ ОСНОВНЫХ КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ ДЛЯ ДВУХ ВАРИАНТОВ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Наименование критерия, ед. изм.	1 вариант	2 вариант
Дисконтированный срок окупаемости инвестиций (PBP), лет	5,0	4,5
Чистый дисконтированный доход на инвестиции (NPV), млн. руб.	136,1	142,2
Внутренняя норма доходности (IRR), %	34,5	36,9
Индекс доходности	3,53	3,67
Чистый дисконтированный доход бюджетов всех рангов, млн. руб.	127,8	121,9

Проект может быть рекомендован к реализации с использованием любой схемы финансирования



ВЫСОКИЕ БЮДЖЕТНЫЕ ПОСТУПЛЕНИЯ ДЛЯ РЕГИОНОВ-ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

- Использование установок распределённой энергетики является особенно важным для регионов, в которых потребление электрической энергии не обеспечивается наличием собственных мощностей по её производству. При использовании «сторонних» энергоресурсов основной экономический эффект от производства и доходы от увеличения тарифов будут аккумулироваться в регионах-производителях электроэнергии.
- Установки распределённой энергетики обеспечивают наличие бюджетных поступлений непосредственно для регионов, на территории которых они находятся.



МОТИВАЦИЯ ПРИОРИТЕТНОГО РАЗВИТИЯ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ - 2

- В настоящее время сроки окупаемости сооружаемых и реконструируемых крупных электростанций на твёрдом и газовом топливах в стране составляют **30-50** лет.
- Чтобы обеспечить приемлемые значения основных критериев эффективности инвестиций при строительстве и реконструкции крупных электростанций используется ДПМ – специальные договора с энергосистемой, обеспечивающий продажу энергии по повышенным тарифам за счёт бюджетных дотаций. **При условии бюджетной поддержки** сроки окупаемости этих электростанций составляют **15-18** лет.
- Сроки окупаемости газопоршневых электростанций, установок конверсии биомассы, солнечных и ветровых электростанций от **4 до 12** лет (без ДПМ).



Концерн Siemens...

Из-за падающего спроса на энергетическое и газовое оборудование концерн Siemens принял решение сократить производство турбин... Во многих странах эпоха больших турбин уходит в прошлое, уступая место локальной и малой энергетике.

Если в 2010 г. Siemens получил заказы на 300 газовых турбин мощностью более 100 МВт, то в 2013 г. их было лишь 212, а в 2017 было заказано только 122 турбины.

За последние пять лет инвестиции в новые мощности ВИЭ примерно вдвое превысили вложения в традиционную энергетику и составили \$249,8 млрд. (2018 г.)

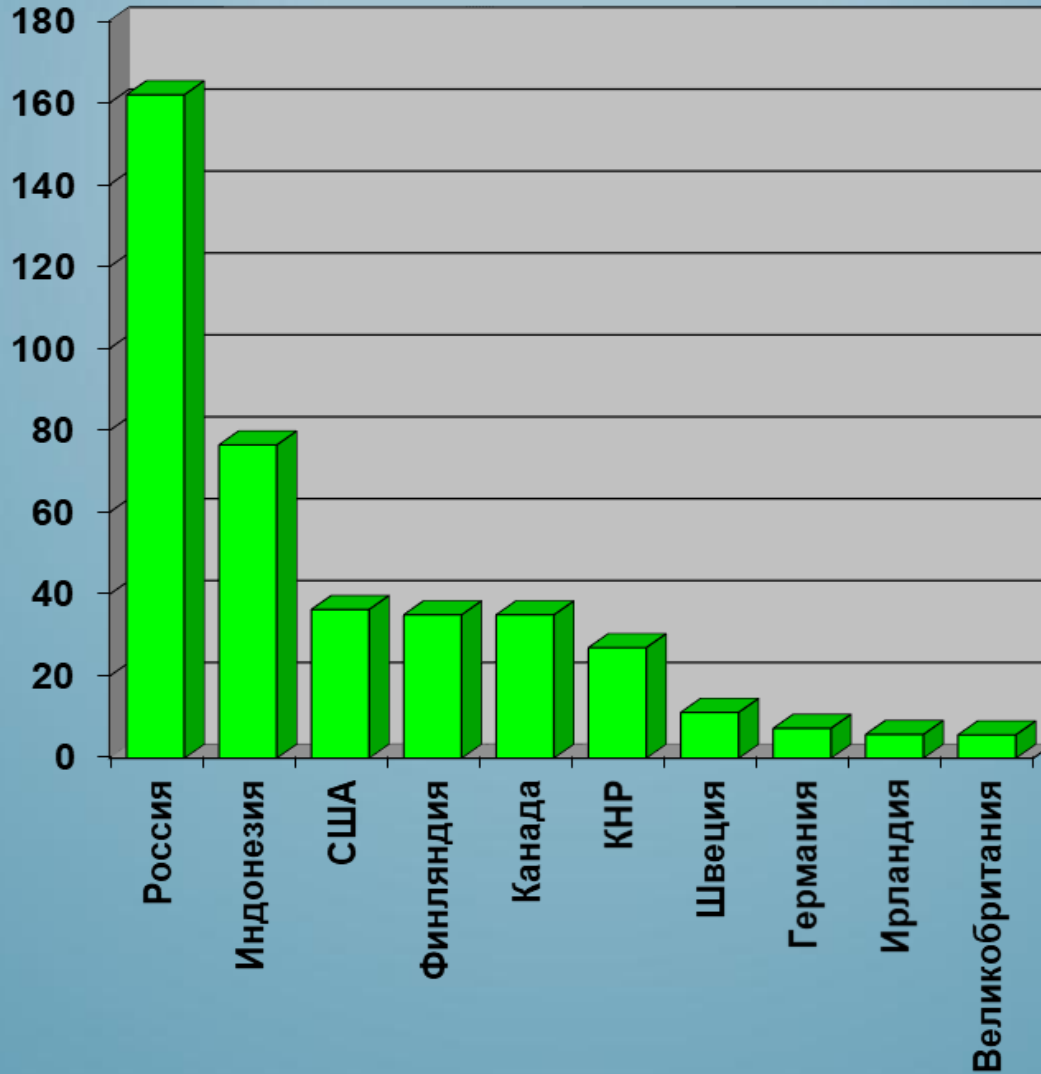


РЕСУРСЫ ТОРФА И ДРЕВЕСИНЫ В РОССИИ

- Для каждой страны есть свои приоритетные направления развития распределённой генерации. Наша страна обладает самыми большими в мире запасами природной биомассы, к которой относятся древесные и сельскохозяйственные отходы, торф, отходы жизнедеятельности различных видов.. На территории РФ сосредоточено около четверти имеющихся в мире ресурсов древесины и около 45% мировых запасов торфа. По существующим оценкам ежегодный прирост торфа в нашей стране оценивается в 260...280 млн. тонн, и только 1,1...1,2% от этого количества добывается и используется. Ресурсы торфа в России превышают суммарные запасы нефти и газа и уступают только запасам каменного угля.

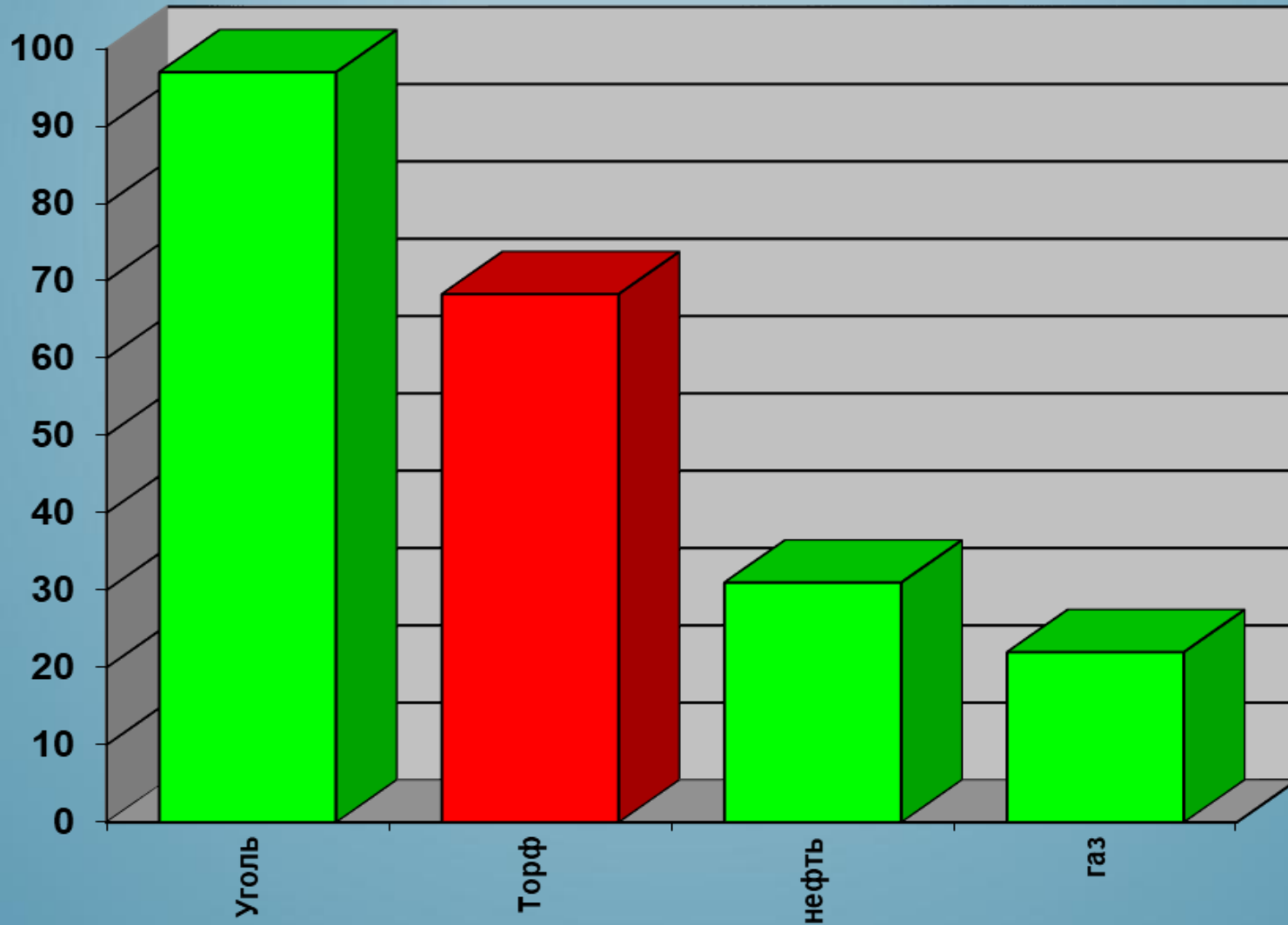


РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИРОВЫХ ЗАПАСОВ ТОРФА, МЛРД. Т





РАЗВЕДАННЫЕ ЗАПАСЫ ИСКОПАЕМЫХ ТОПЛИВ В РОССИИ (МЛРД Т У.Т.).





**КОНВЕРСИЯ БИОМАССЫ С
ПОЛУЧЕНИЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
ГАЗА С ПОВЫШЕННЫМИ
ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**



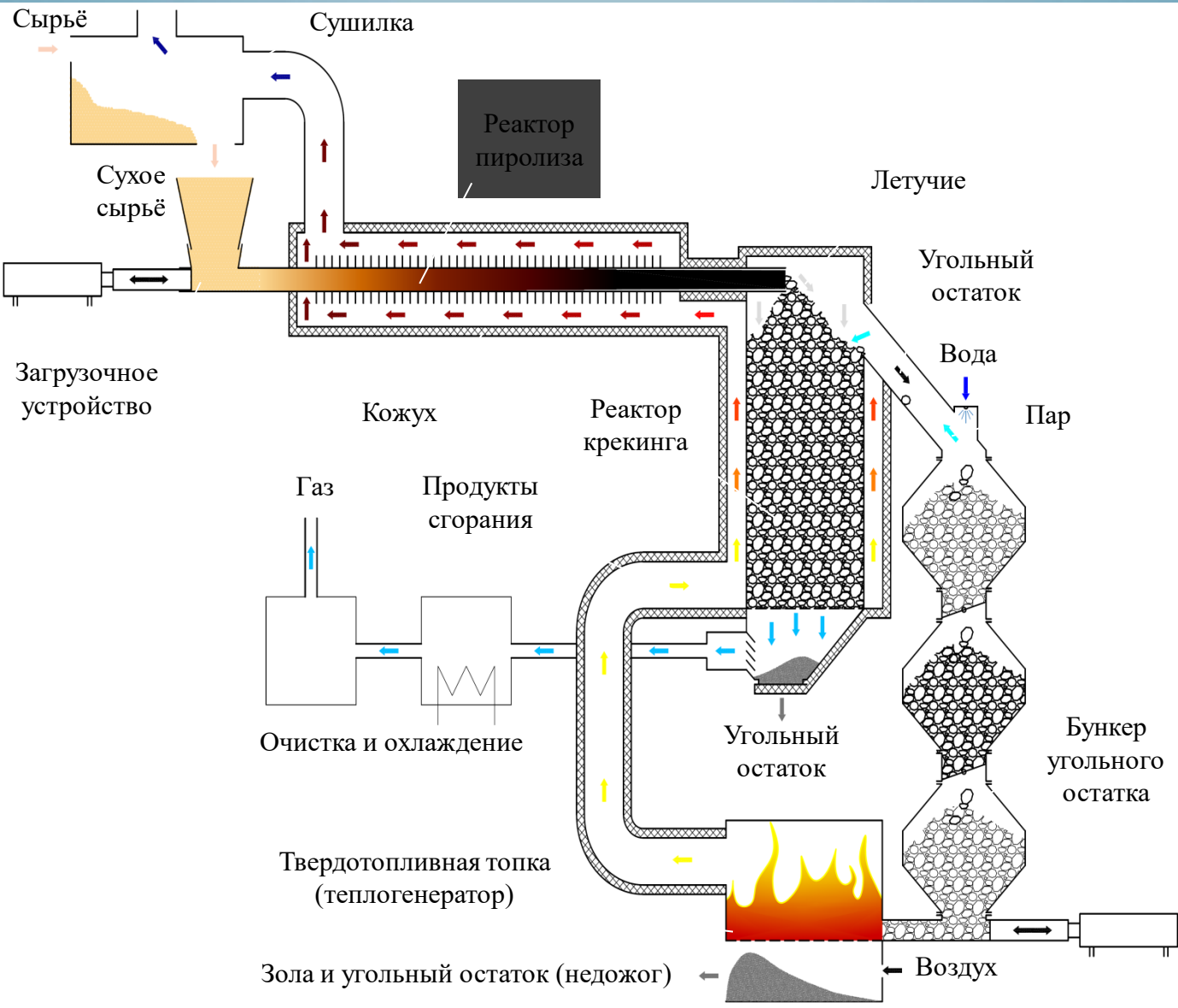
ЗАДАЧИ, ТРЕБУЮЩИЕ НЕЗАМЕДЛИТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Для создания автономных источников энергии, работающих с использованием биомассы, т.е. на местных топливно-энергетических ресурсах: древесные и сельскохозяйственные отходы, торф, отходы жизнедеятельности различных видов необходима отработка процессов термохимической переработки указанных видов топлива с получением высококалорийного энергетического газа (теплота сгорания не менее 2800 ккал/нм^3).

Получаемое газовое топливо не должно содержать жидкой фракции, в противном случае его использование в газопоршневых и газотурбинных установках для выработки электроэнергии будет невозможным.



СХЕМА НОВОГО МЕТОДА КОНВЕРСИИ БИОМАССЫ С ПОЛУЧЕНИЕМ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА



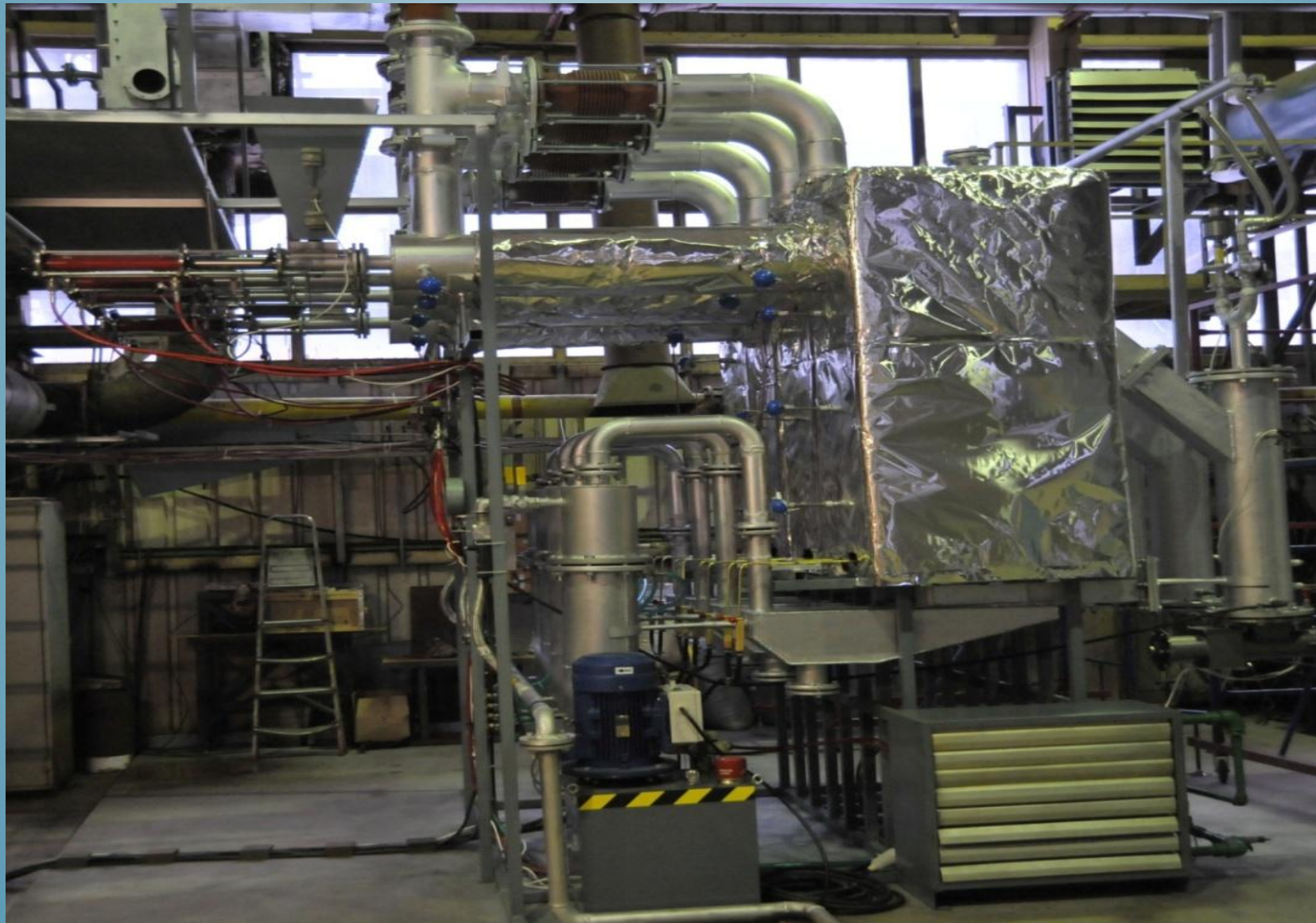


Характеристики газообразного топлива - 2

1. В разрабатываемом процессе перерабатываются углеродсодержащие материалы: древесные и сельскохозяйственные отходы, уголь, торф, отходы жизнедеятельности в газовое топливо с повышенными теплотехническими характеристиками.
2. Жидкая фаза в продуктах реакции отсутствует.
3. Получаемый газ состоит на ~90% из водорода и окиси углерода и является идеальной смесью для синтеза жидких моторных топлив.



Установка ОИВТ РАН по отработке режимных параметров технологии конверсии местных топливно-энергетических ресурсов в газовое топливо. Мощность - 50 кВт эл.





СТЕНД ОИВТ РАН ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И МИНИ-ТЭЦ НА БАЗЕ ГАЗОПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ





ПРИМЕНЕНИЕ СИНТЕЗ-ГАЗА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОНЕНТОВ ЖИДКИХ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ

Сырье для производства синтез-газа	Свойства синтез-газа	
	H ₂ +CO, %	H ₂ /CO
Древесные пеллеты	92	1
Торфяные пеллеты	90	1,2
Соломенные пеллеты	78	1
Пеллеты из лузги подсолнечника	80	1,2
Помётно-подстилочная масса	83	1,2
Осадки сточных вод	95	1,8
Опил (отходы целлюлозно-бумажного производства)	96	1
Кора древесная	92	1,6

Синтез метанола: $\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$

✓ оптимальное отношение H₂/CO – 1,5-2



Создание нового поколения реакторов для получения из синтез-газа смеси жидких углеводородов



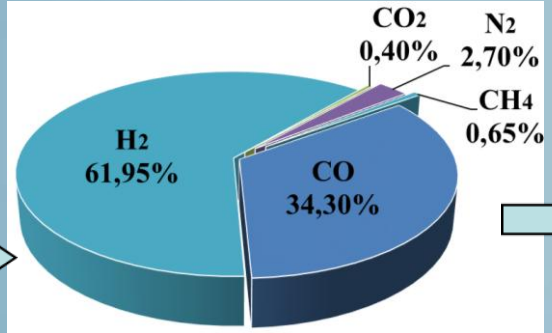


ПОЛУЧЕНИЕ ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД (ОСВ)

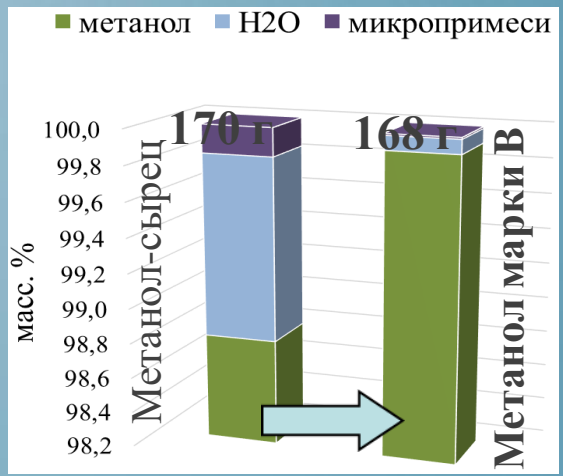
1 кг ОСВ
(влажность 3,3%)

Реактор двухстадийной пиролизической конверсии

1,07 нм³ синтез-газа
 $H_2/CO=1,8$



Реактор синтеза метанола на металл-оксидном катализаторе (однопроходная схема)
P=5 МПа
T=205-225°C



В лабораторных условиях из газообразных продуктов пиролизической конверсии ОСВ получен метанол марки В и бензин экологического класса ЕВРО-5. Использование каскадной схемы из трех последовательных реакторов синтеза метанола позволит увеличить выход конечного продукта в 2,3 раза.

67 г бензина
с октановым числом 91,7
(по исследовательскому методу)

Реактор синтеза бензина на цеолитном катализаторе
P=0,3 МПа
T=350°C





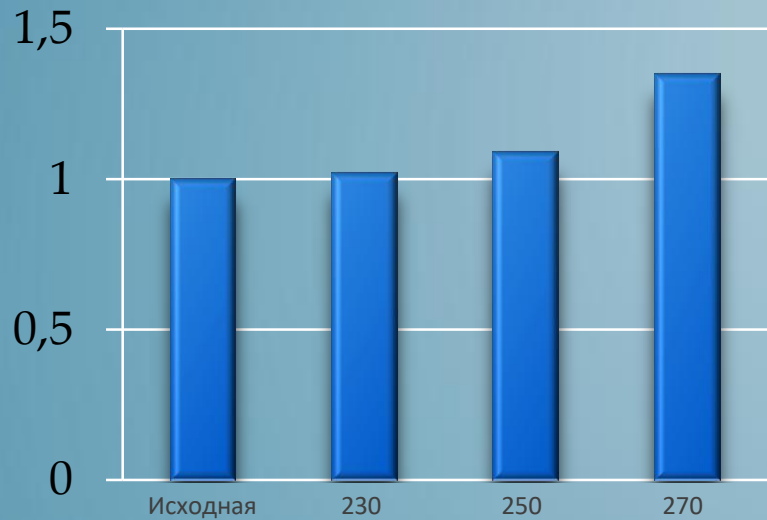
Торрефикация

Термохимическая обработка биомассы при температурах 250–300°C без доступа кислорода с целью увеличения теплоты сгорания, снижения гигроскопичности и увеличения насыпной плотности.

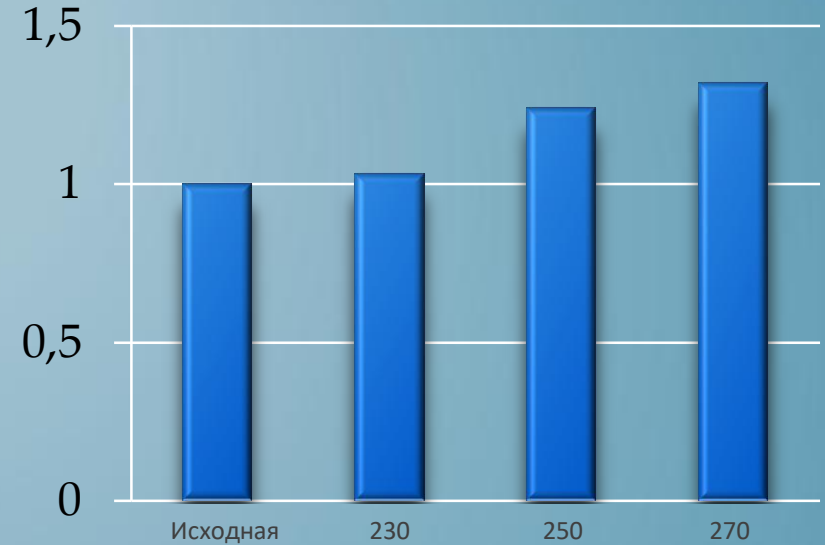


Зависимость теплоты сгорания от температуры торрефикации

Древесная пеллета



Соломенная пеллета



Торфяная пеллета



Теплота сгорания с ростом температуры торрефикации увеличивается



Зависимость гигроскопичности от температуры торрефикации

Древесная пеллета



Соломенная пеллета



Торфяная пеллета



С увеличением температуры торрефикации снижается гигроскопичность (влагоёмкость). Торрефицированные пеллеты впитывают меньше влаги по сравнению с исходными



ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УТИЛИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОТХОДОВ

В России собирается ежегодно около 40 млн. тонн соломы озимых культур. Эта солома не используется в качестве корма скота, а частично вносится в почву для поддержания её плодородия и идёт на подстилку скоту. Ежегодное количество соломы озимых культур, которое может быть использовано без ущерба для животноводства и земледелия в качестве топлива в стране, составляет порядка 24,0 млн. тонн (13,8 млн. тонн условного топлива).

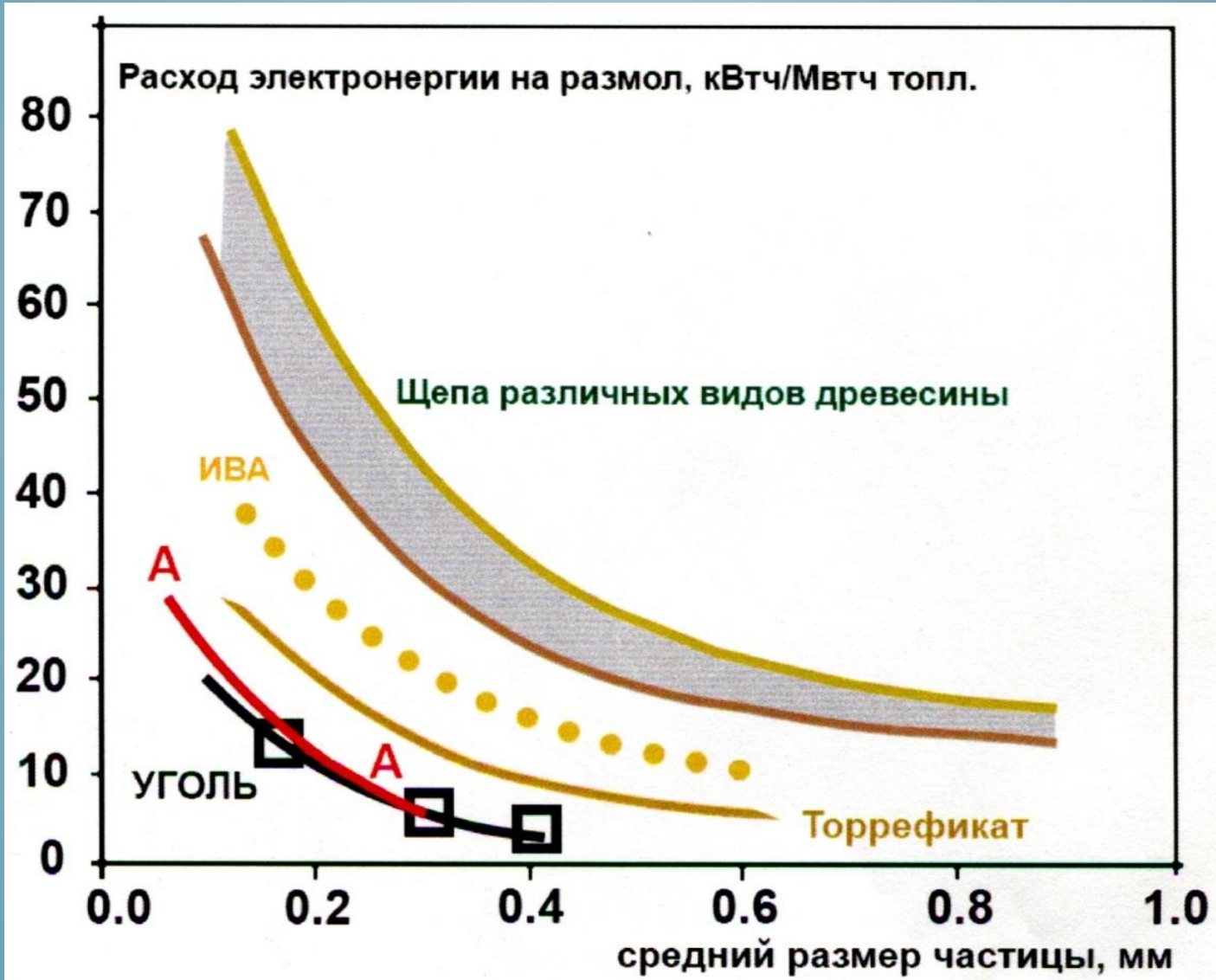


Торрефицированные пеллеты
из ППМ.

Теплота сгорания исходных пеллет
 $Q = 17,5$ МДж/кг. Торрефикация позволяет
увеличить значение Q на 30–40%.



Котёл для сжигания
гранулированного топлива с
низкой температурой плавления
золы. Мощность 300 кВт.

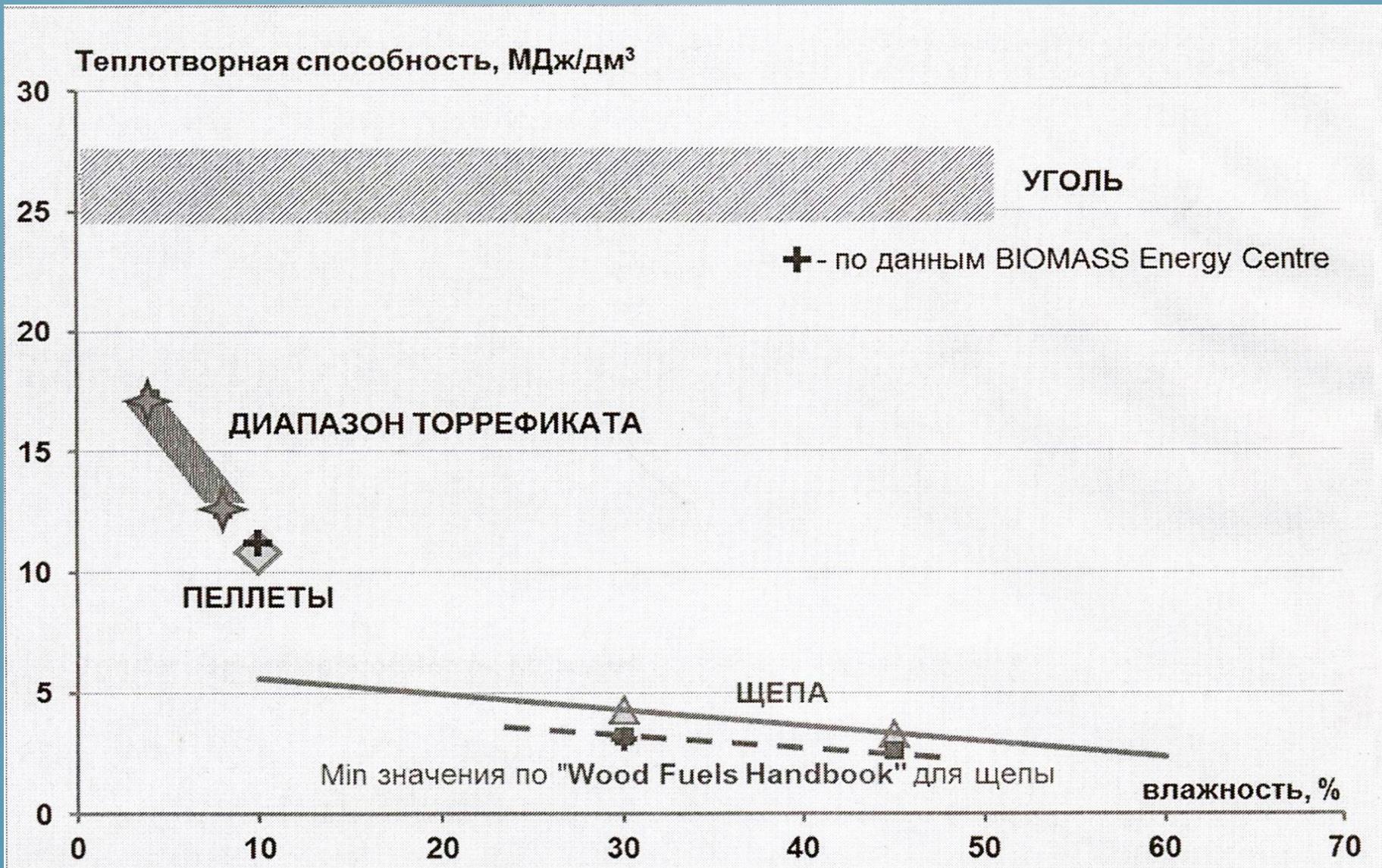


Расход энергии на размол топлива.

Источник: A. Dutta, Mathias A. Leon «PROS AND CONS OF TORREFACTION OF WOODY BIOMASS» University of Guelph. 2012

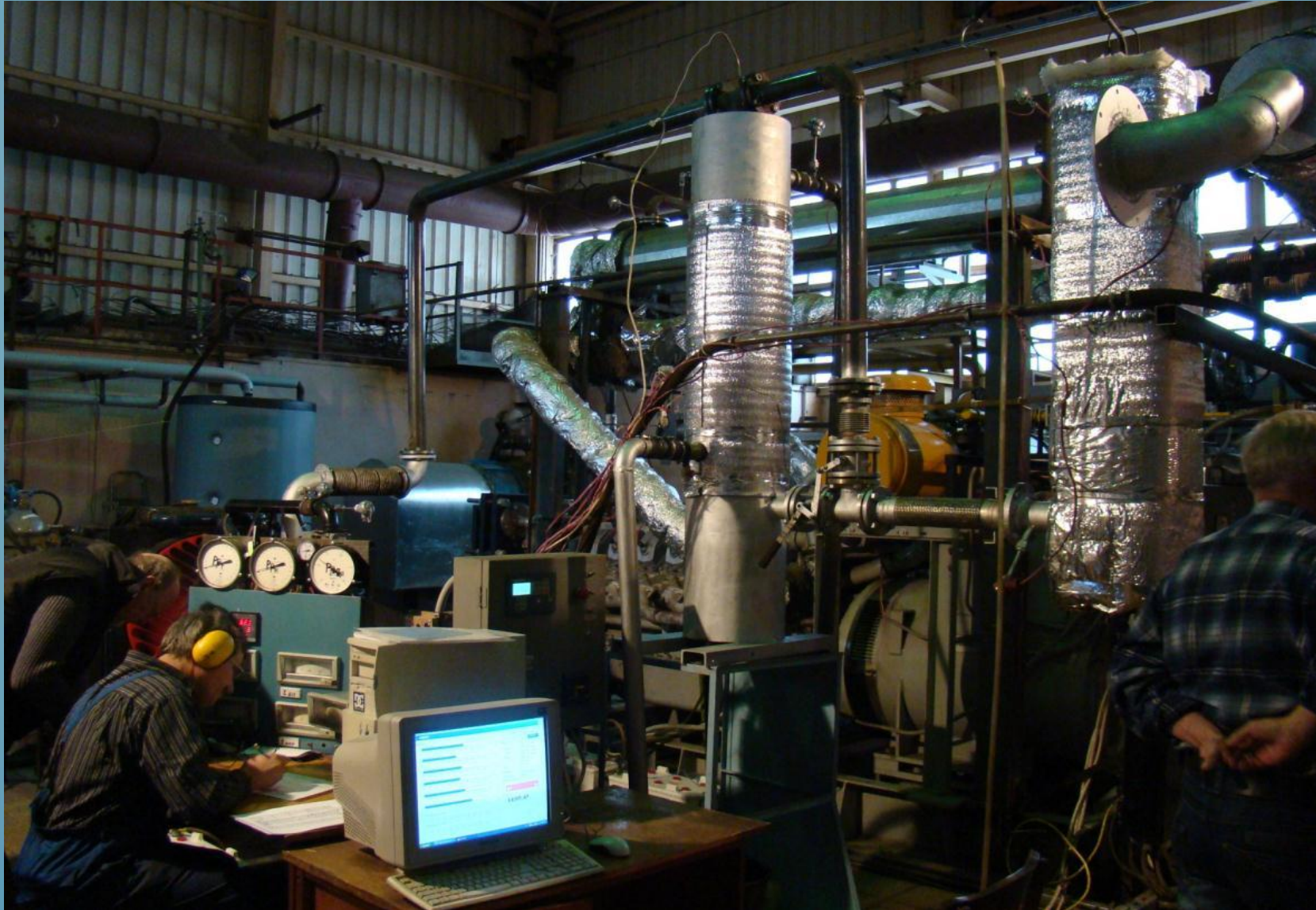


ТЕПЛОТВОРНАЯ СПОСОБНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ТОПЛИВ



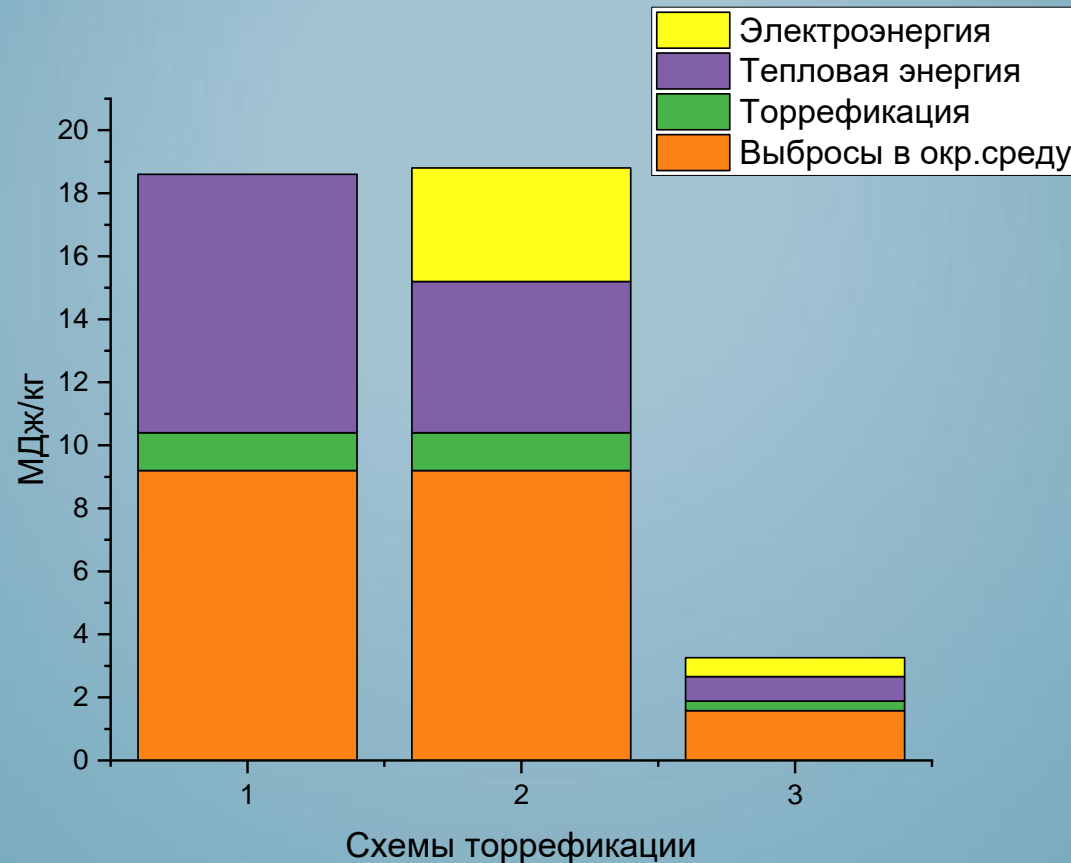


Установка ОИВТ РАН для отработки режимных параметров процесса торрефикации





БАЛАНС ЭНЕРГИИ ПОЛУЧЕНИЯ 1 КГ ТОРРЕФИКАТА ДЛЯ ТРЕХ СХЕМ ТОРРЕФИКАЦИИ



1 – Стандартная схема с прямым сжиганием природного газа

2 – Когенерционная схема ОИВТ РАН с использованием выхлопных газов ГПУ в качестве теплоносителя для торрефикации и получением электроэнергии

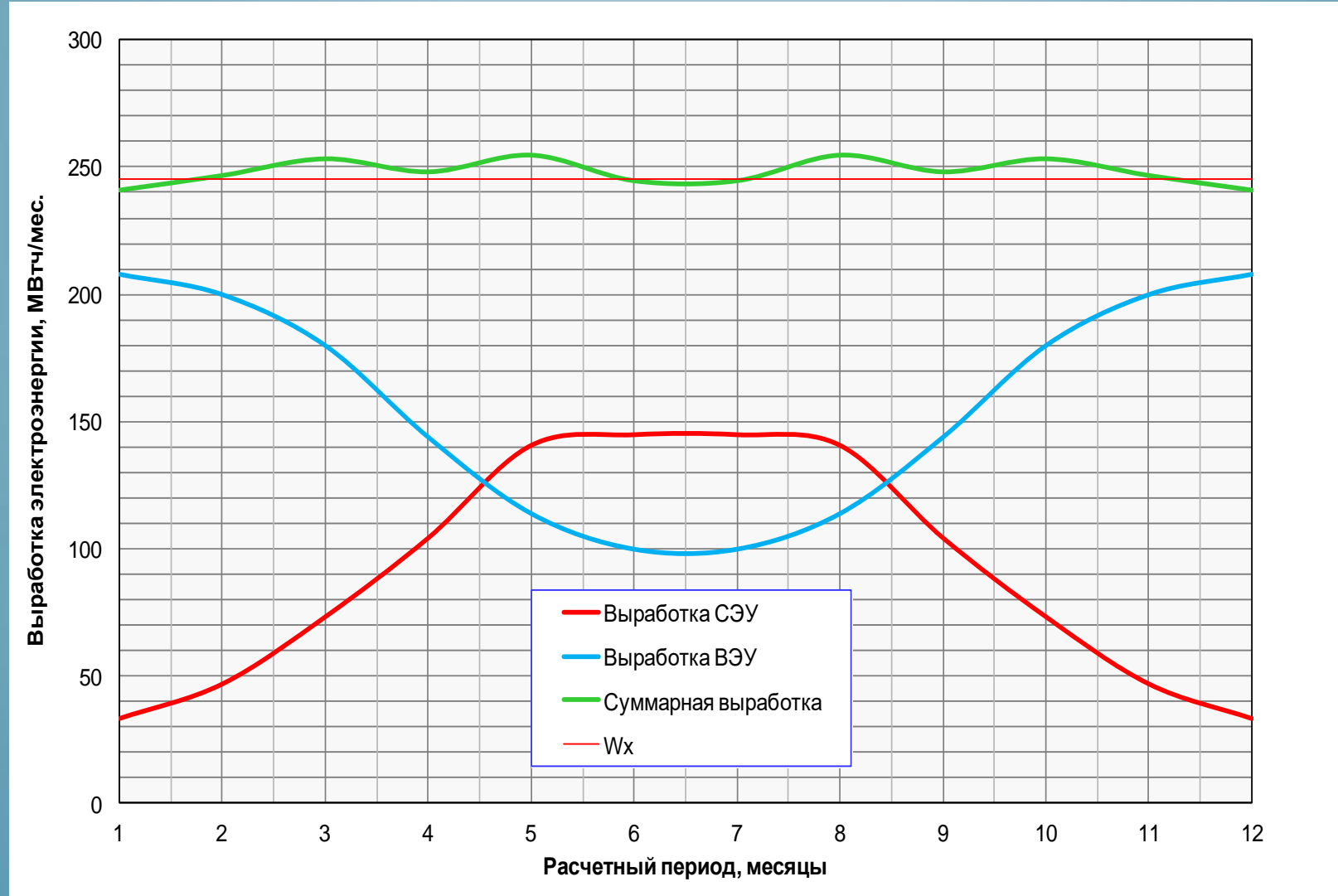
3 – Когенерационная схема ОИВТ РАН с использованием тепла экзотермической реакции



О создании полигона новых энергетических технологий

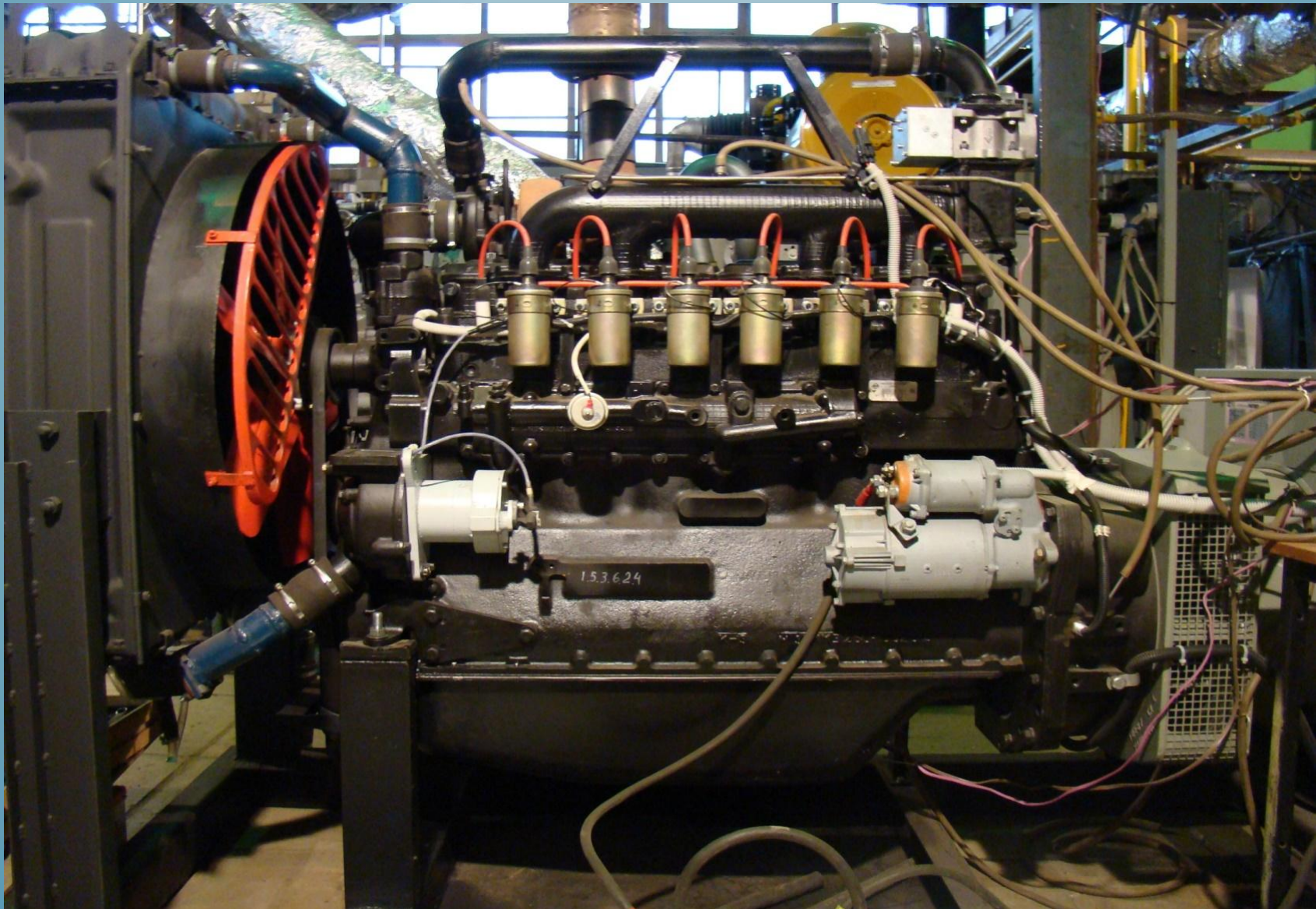


Выработка электроэнергии комбинированной ветро-солнечной установкой расположенной на широте города Махачкала





Газопоршневая мини-ТЭЦ на водороде





ВЫВОДЫ

- Использование средств распределённой энергетики с экономической точки зрения является более выгодным по отношению к традиционной стационарной энергетике.
- Использование местных источников сырья, включая технологические, сельскохозяйственные, бытовые отходы и отходы жизнедеятельности, является одним из основных направлений создания новых энергетических мощностей, обеспечивающих экологически чистое и экономически выгодное получение электрической и тепловой энергии.
- К настоящему времени создан значительный задел по формированию научных основ новых методов распределённой энергетики. Следующим этапом должно явиться проведение опытно-промышленных испытаний, при проведении которых будет создана техническая документация, необходимая для промышленного производства оборудования для распределённой генерации.