

Распределенная энергетика в парадигме развития электроэнергетики

Ф.Л. Бык, Л.С. Мышкина

Новосибирский государственный
технический университет НЭТИ

Положения к обсуждению

1. В современных условиях развития электро- и теплоэнергетики основным направлением является снижение энергоемкости производства, передачи и потребления электроэнергии.
2. Конкурентные рыночные механизмы в сочетании с регулированием со стороны государства обеспечат управляемость, прогнозируемость, регулируемость повышения энергоэффективности и энергосбережения в электроэнергетике.
3. Эффективность электроэнергетики определяется сочетанием свойств надежности, экономичности и экологичности ЕЭС России, проявляющиеся бесперебойностью, доступностью, углеродным следом электроснабжения.
4. Необходимость изменения парадигмы развития электроэнергетики обусловлена изменениями в ресурсной достаточности, экономической доступности и технологической допустимости в регионах, что обуславливает переход к распределенной энергетике.
5. В изменившихся условиях и с появлением новых вызовов, предлагается изменить структуру ЕЭС России для увеличения количества нормальных схемно-режимных состояний систем энергоснабжения отдельных территорий.
6. Свойства ЛИЭС позволяют выполнять системные функции и получать соответствующие эффекты, что требует изменений правил и порядка работы розничного рынка.
7. Трансформация ЕЭС России в направлении децентрализации, декарбонизации и цифровизации при условии сохранения ее целостности, требует комплексного подхода, увязывающего социальную, экономическую и техническую политики развития электроэнергетики.
8. Рост числа и мощности объектов распределенной энергетики носит объективный характер, несмотря на существующие ограничения, технологические барьеры и административные препятствия.

Энергоемкость энергетики



Рисунок 1 – Баланс энергоресурсов за 2021 г. (Минэнерго России)

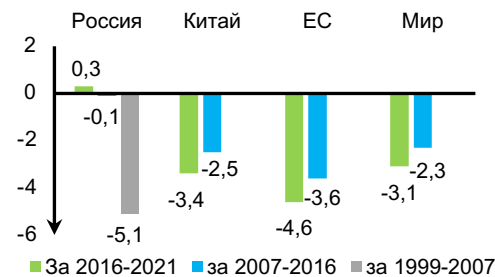
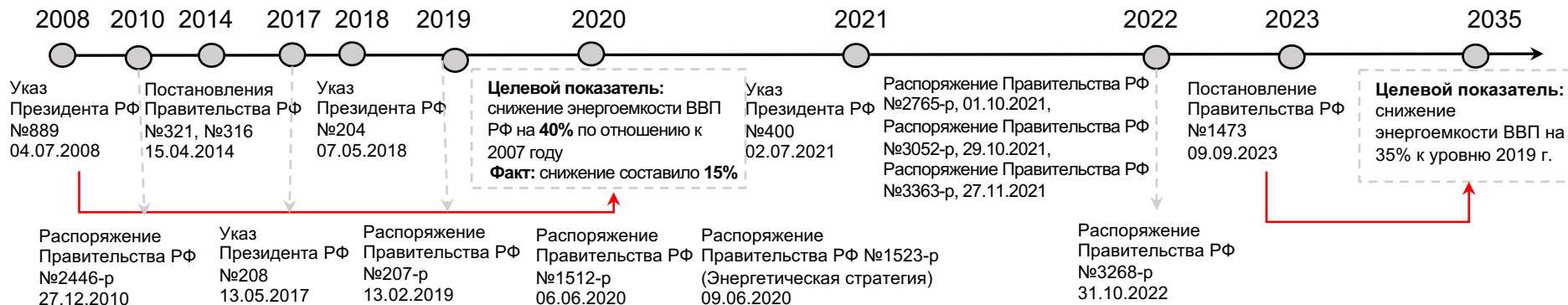


Рисунок 2 – Энергоемкость в мире (%)

$$\text{Энергоэффективность} = \frac{\text{Объем произведенной продукции, руб.}}{\text{Объем затраченных энергоресурсов, т.у.т.}}$$

$$\text{Энергоемкость} = \frac{\text{Объем затраченных энергоресурсов, т.н.э.}}{\text{Объем произведенной продукции, руб.}}$$

Необходимо создание **отраслевых программ** повышения энергоэффективности производства **электро- и теплоэнергии**



Способы и средства повышения энергоэффективности

1. Повышение доли производства на ВИЭ

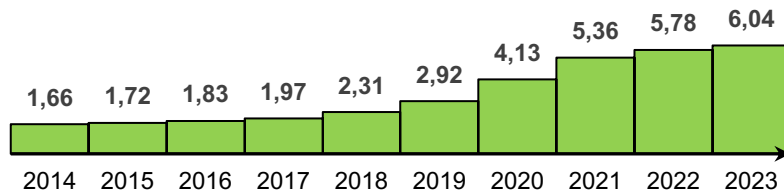


Рисунок 3 – Совокупная установленная мощность электростанций на основе ВИЭ в России (ГВт) без учета крупных ГЭС, установленная мощность которых в 2023 году – 50,1 ГВт

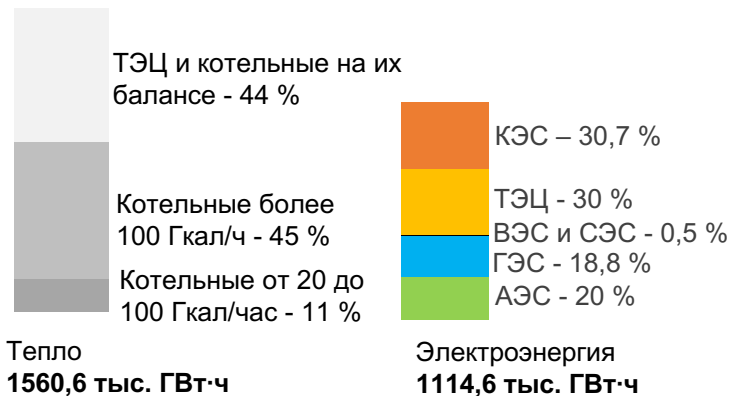


Рисунок 4 – Структура производства тепловой и электрической энергии

2. Повышение топливной эффективности

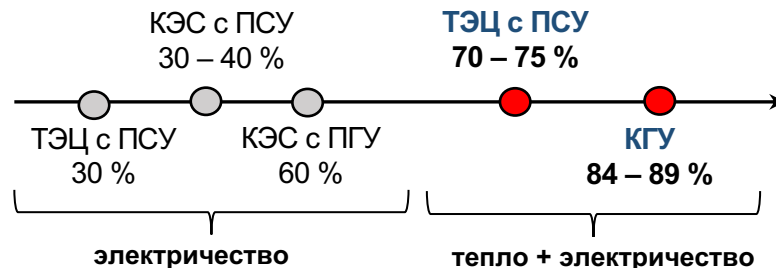


Рисунок 5 – Коэффициент полезного действия различных источников, %

Первостепенная задача – **повышение доли комбинированного производства тепла и электричества** на современных технологиях.

Повышение топливной эффективности позволит **снизить количество выбросов** в окружающую среду, что сопоставимо с эффектом производства энергии на ВИЭ



Современные условия повышения топливной эффективности

1. Перевод крупных ПСУ на ПГУ

- + КПД (э)= 60 %
- отсутствие серийного производства отечественных ГТУ большой мощности
- программой ДПМ-2 предусмотрен перевод на ПГУ лишь 7,2 ГВт генерирующих мощностей.

2. Внедрение ГТУ и ГПУ малой мощности

- + КПД (э)= 34...45 %
- + наличие отечественных производителей ГТУ и ГПУ

Удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении различных энергоустановок

№ п/п	Тип энергоустановки	кВт·ч/Гкал
1	Паровые турбины Р	80-120
2	Паровые турбины П	160-240
3	Паровые турбины Т Работа на сверхкритических параметрах	230-420 440-560
4	ГТУ	650-850
5	ГПУ	950-1150
6	ПГУ	1800

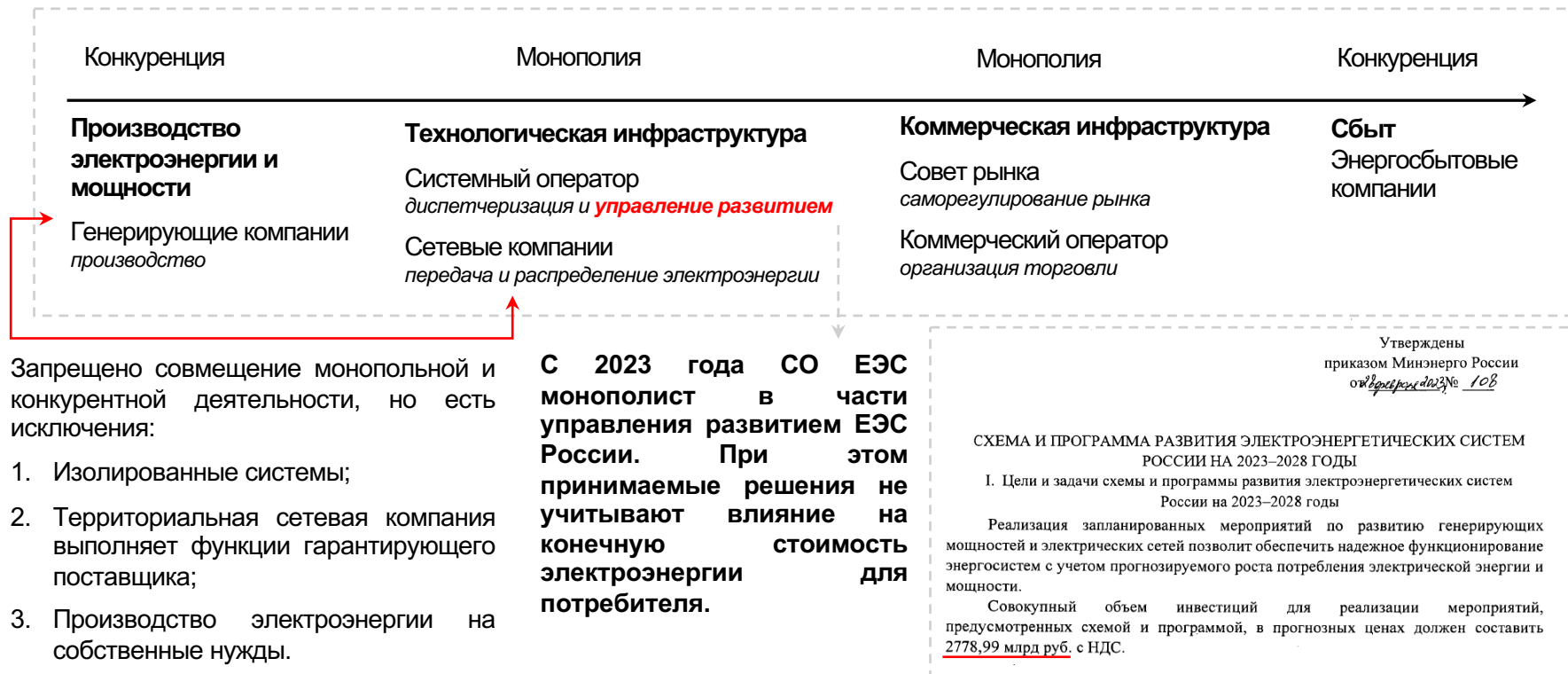
Выводы:



1. Необходим переход к формированию отраслевых программ энергоэффективности.
2. Энергоэффективность производства энергии должна иметь приоритеты относительно других показателей.
3. Потенциал повышения энергоэффективности сосредоточен в малых и средних городах, где доминирует раздельное производство тепловой и электрической энергии.

Рыночная организация электроэнергетики

Рыночные отношения построены в интересах монополистов, противоречащих интересам потребителей



Основной принцип: «Потребитель за все заплатит»

Основная нагрузка на развитие электроэнергетики и осуществлении социальной политики ложится на хозяйствующих субъектах различных отраслей экономики

На уровне стран и регионов стимулируется **только энергосбережение у потребителей**, повышение энергоэффективности при производстве не стимулируются рыночными механизмами (за исключением зеленых сертификатов).

Программа	Инвестиции , трлн руб.	Возврат от потребителей , трлн руб.
ДПМ-1	1,3	2,6
ДПМ-ВИЭ	1,160	2,325
ДПМ-ТБО	0,127	0,290

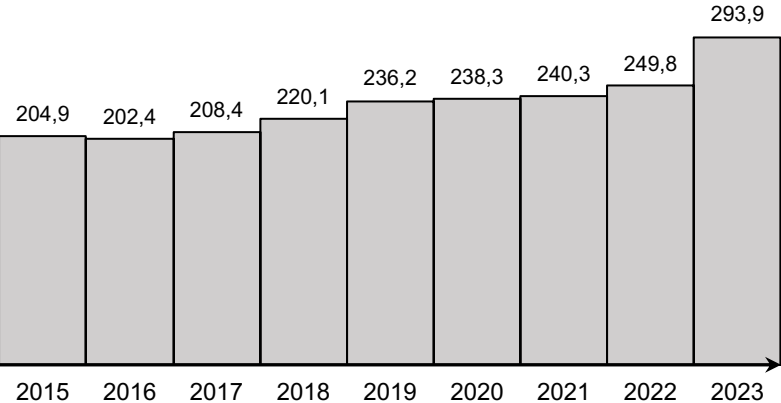


Рисунок 6 – Динамика изменения перекрестного субсидирования, млрд руб.

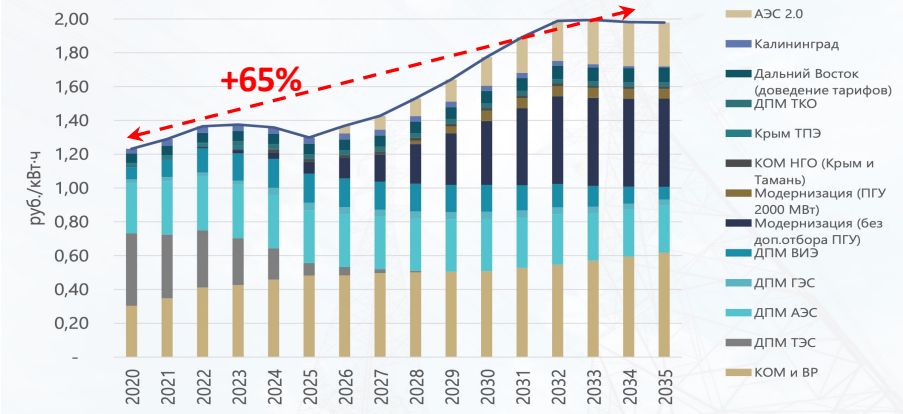


Рисунок 7 – Надбавки в стоимости электроэнергии

Противоречия вызывают реакцию потребителей

РАЗРЕШЕНИЕ ПРОТИВОРЕЧИЙ:

1. Рост дебиторской задолженности

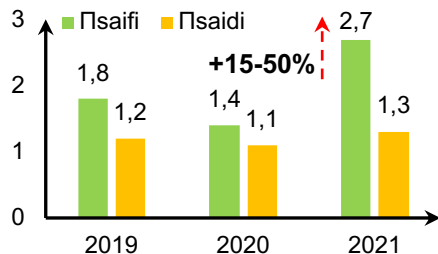


Рисунок 8 – Изменение бесперебойности электроснабжения



Рисунок 9 – Изменение среднеотпускной цены электроэнергии для конечных потребителей

2. Уход на собственный источник

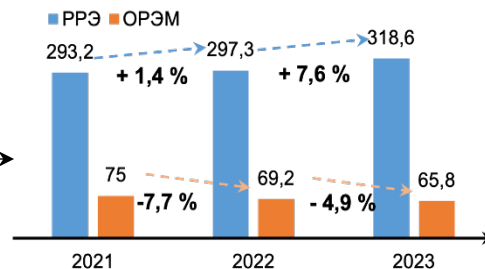


Рисунок 10 – Задолженность на ОРЭМ и РРЭ на конец июня 2023, млрд руб.



Мини-ТЭЦ в системе электроснабжения предприятия

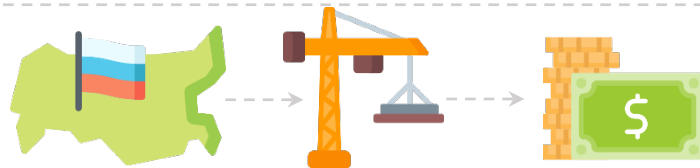
Выводы:

1. Рынок должен стимулировать повышение энергоэффективности субъектами электроэнергетики, но не через оплату потребителями.
2. Коммерческие и промышленные потребители вынуждены самостоятельно решать задачу повышения надежности и доступности электроснабжения.
3. Конкурентные рыночные механизмы в сочетании с регулированием со стороны государства обеспечат управляемость, прогнозируемость и регулируемость повышения энергоэффективности и энергосбережения.



Характеристика существующей технической политики

Ориентация действующей технической политики – **рост концентрированной генерации, строительства объектов сетевого комплекса** высокого и сверхвысокого напряжения для сокращения зон свободного перетока и снятия сетевых ограничений.



Политика направлена на поддержание балансовой и режимной надежности ЕЭС России, не учитывает бесперебойность электроснабжения в регионах



Резервы электрической мощности

Европейская часть ЕЭС России					ОЭС Сибири	ОЭС Востока
17 %						
ОЭС Северо- Запада	ОЭС Центра	ОЭС Юга	ОЭС Средне й Волги	ОЭС Урала		
15 %	32%	10 %	11 %	32 %	12 %	22 %



Резерв распределительных электрических сетей 40-50%

Инвестиции для реализации мероприятий, предусмотренных схемой и программой развития ЕЭС России 2023-2028 составят **2778 млрд. руб.**, из которых **567 млрд. руб.** – на развитие сетевого комплекса.

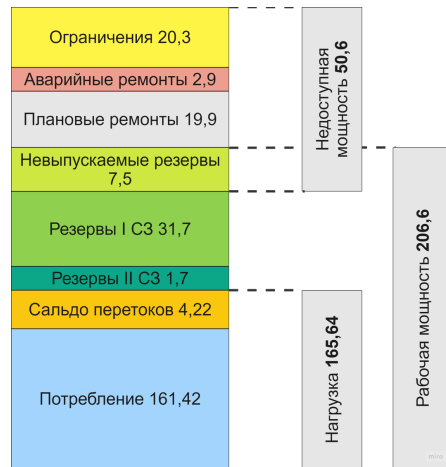


Рисунок 11 – Баланс мощности в часы прохождения максимума потребления

Схема и программа развития ЭЭС России. Детализация технических решений:

- Электрические сети 110 кВ и выше синхронных зон ЭЭС России
- Электрические сети 35 кВ и выше
- Объекты по производству электрической энергии 5 МВт и выше

Регионы? Тарифы? Цены?

Решение противоречий - региональные программы развития распределенной энергетики

В СИПР не рассматриваются вопросы важные для потребителей:

- Какие альтернативные варианты решений существуют?
- Как предлагаемые мероприятия скажутся на доступности электроснабжения?
- Как изменится бесперебойность электроснабжения и качество электроэнергии?



Развитие региональной системы электроснабжения

Дефицитный энергорайон, где доступны природный газ, вторичные энергоресурсы или ВИЭ

тепло электричество



Развитие
распределенной
генерации



Сетевое
строительство

Выводы:



1. Потребитель заинтересован не только в надежности, но ему важны экономичность и экологичность
2. Переход на новую систему планирования ограничил региональные власти в формировании системы энергоснабжения территории, необходимой для социально-экономического развития субъектов федерации.
3. «Ключ» к решению проблемы – Региональные программы развития распределенной энергетики, направленные на развитие энергоэффективной малой распределенной генерации

Факторы, определяющие развитие распределенной энергетики

Ресурсная достаточность

Обеспеченность первичными и вторичными энергоресурсами, разветвленность логистических систем, природный и технический потенциал использования ВИЭ, специфика климата территории.

Технологическая допустимость

Особенности структуры генерирующего и электросетевого комплексов, уровень развития собственной материально-технической базы, развитие технологий, достижения научно-технического прогресса, ограничения на использование определенных техники и технологий, уровень цифровизации и наблюдаемости, обеспеченность соответствующими кадрами.

Экономическая доступность

Особенности организации и порядка рыночных отношений, инвестиционный климат территории, стоимость электрической и тепловой энергии для промышленных и коммунально-бытовых потребителей.

Уровень газификации по итогам 2023 года ожидается в 74-75%, план к 2035 г. - 82,9 %

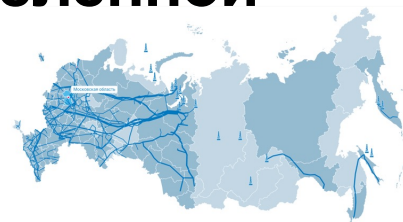


Рисунок 12 – Карта газификации России

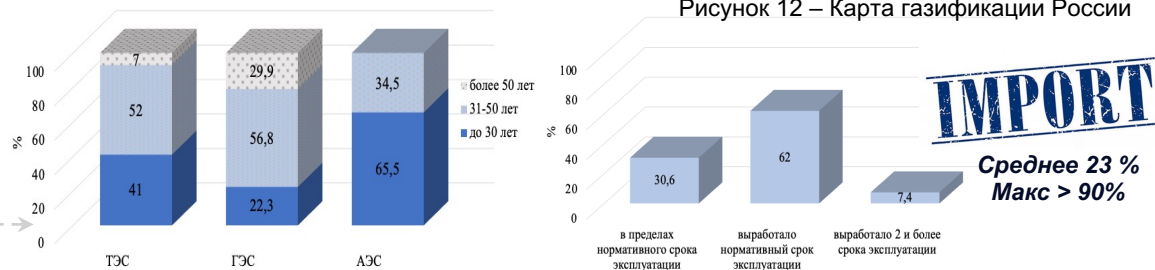


Рисунок 13 – Возрастная структура генерирующего оборудования и распределительного сетевого комплекса

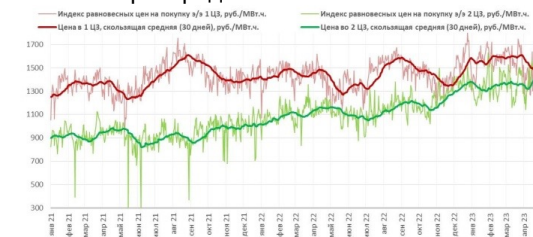


Рисунок 14 – Изменения индексов равновесных цен



Отсутствие прогнозируемости, высокая доля сетевой составляющей

Процесс развития распределенной генерации

Триггер развития распределенной энергетики – ужесточение **экологических требований** к утилизации попутного-нефтяного газа (ПНГ) и штрафы за их невыполнение требования утилизации не менее 95% ПНГ.

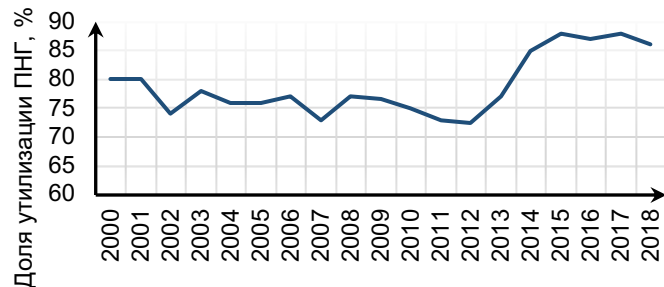


Рисунок 15 – Утилизация ПНГ в технологических процессах, в т.ч. для производства электричества и тепла

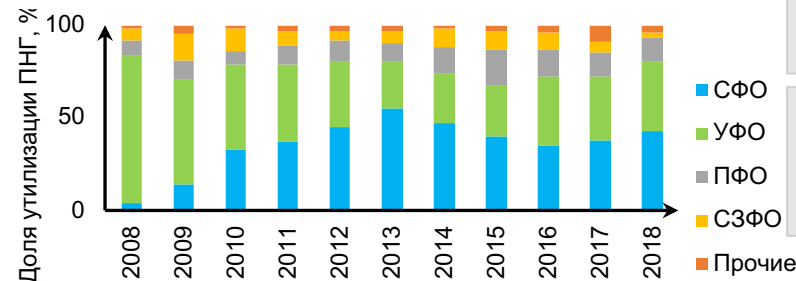


Рисунок 16 – Утилизация ПНГ по округам

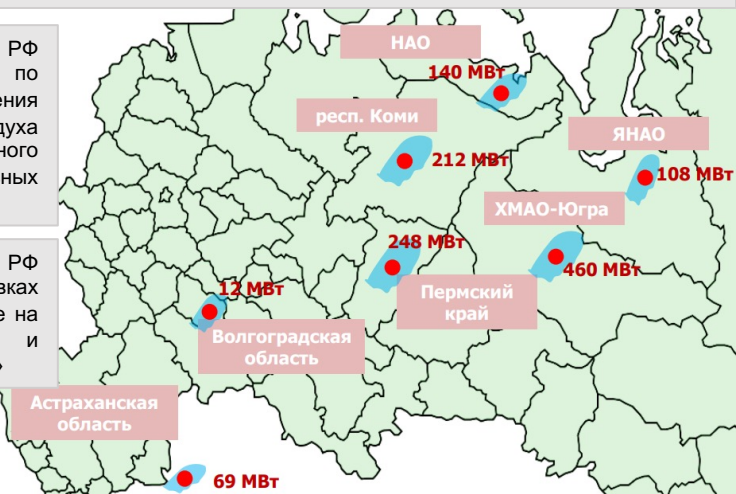
Пример: **ЛУКОЙЛ**

Мощность распределенной генерации малой мощности, относящейся к обеспечивающей, составляет **1250 МВт**.

Выработка данной генерации за 2022 г. составила **7781 млн кВт·ч**, что составляет 36% от общего объема производственного потребления электроэнергии

Постановление Правительства РФ от 08.01.2009 N 7 «О мерах по стимулированию сокращения загрязнения атмосферного воздуха продуктами сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках»

Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 N 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах»



Свойства распределенной генерации

Недостатки централизованного электроснабжения	Достоинства распределенной генерации
Экономичность	
- Внерыночные надбавки и перекрестное субсидирование - Опережающий инфляцию темп роста стоимости электроэнергии - Ограничения на технологическое присоединение - высокие сроки и стоимость	- Сокращение затрат на электроснабжение - Снижение нагрузки перекрестного субсидирования - Исключение волатильности стоимости электроэнергии - Сокращение себестоимости продукции
Надежность	
- Отсутствие нормативов по бесперебойности электроснабжения 80% потребителей относятся к III категории надежности	- Резервирование собственным источником - Двустороннее питание
Экологичность	
- Несоответствие ESG стандартам - Системные ограничения на использование ВИЭ - Необходимость мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду	- Высокая энергоэффективность - Возможность создания гибридных энергетических комплексов - Снижение углеродного следа - Повышением конкурентоспособности

По экспертным оценкам в России распределенная энергетика составляет не менее **17 ГВт**, вырабатывает **5% электроэнергии**.

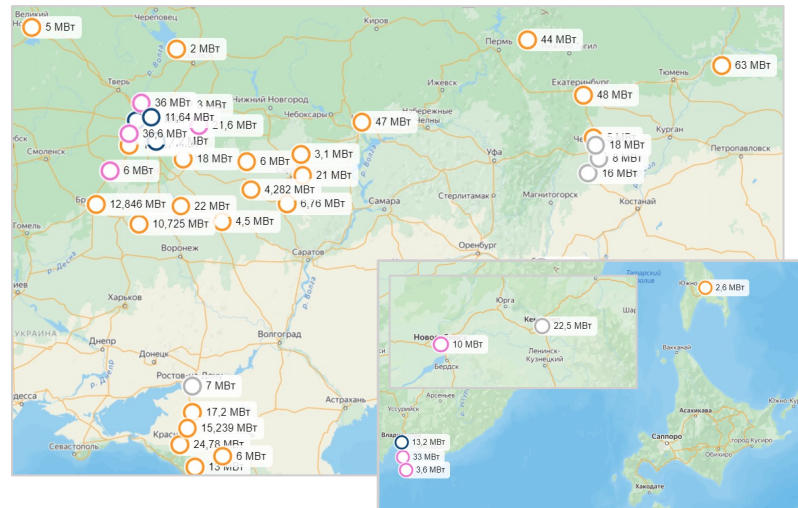


Рисунок 17 – Отдельные примеры мини-ТЭЦ для энергоснабжения **сельско-хозяйственных, коммерческих, коммунальных и промышленных потребителей**

Противодействие со стороны монополистов

Со стороны крупных субъектов электроэнергетики **данная тенденция находит противодействие:**



- Запреты на выдачу энергии и мощности из системы потребителя
- Предложения по переводу станций выше 5 МВт на ОРЭМ
- Предложения по оплате за сетевых резервов для предприятий с РГ
- Ограничения на участие розничной генерации в управлении спросом
- Неполнота нормативной базы для включения РГ на параллельную работу с ЕЭС России

Несмотря на противодействие наблюдается массовое появление ГПУ и ГТУ в системах электроснабжения потребителей как ответная реакция потребителей для удовлетворения своих интересов.



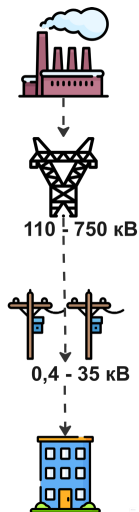
Выводы:



1. Естественная реакция предприятий на низкую доступность электроснабжения и возросшие экологические требования, проявляется возросшим интересом к распределенной генерации.
2. В существующих условиях газификации территорий, производства малой генерации сформируется новый технологический базис для создания локальных энергосистем с нужными для потребителя свойствами.
3. Распределенную генерацию как дополнение к ЕЭС России обеспечит повышение энергоэффективности

Несоответствие структуры современным вызовам

Иерархическая структура



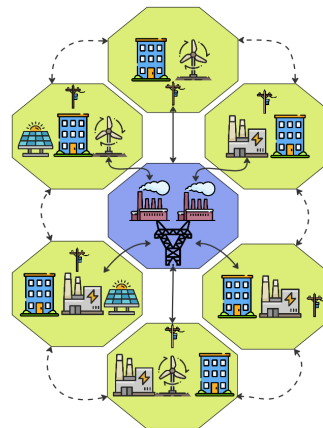
1. Высокая концентрация генерации при распределенном характере нагрузок.
2. Протяженная и сложная по конфигурации, различная по классам напряжения электрическая сеть.
3. Наличие локальных дефицитов и запертых мощностей генерации.
4. При ограниченном количестве станций (около 100 мощностью более 1 ГВт) существует наблюдаемость, предполагающая централизованную систему управления как наиболее эффективную, что требует цифровизацию и интеллектуализацию.
5. Отличительная особенность – одно нормальное схемно-режимное состояние в единой синхронной зоне.
6. Структура уязвима к современным вызовам

Энергетика из локомотива экономики превратилась в тормоз



Матричная структура

Альтернатива – сбалансированная матричная система



1. Предполагает наличие ядра, в качестве которого может быть ЕНЭС с крупной генерацией, что обеспечивает целостность системы, но предполагает децентрализованные системы управления.
2. Масштабное использование в ячейках матрицы когенерационных установок обеспечат энергоэффективность в сочетании с бесперебойностью и доступностью энергоснабжения, обеспечивая декарбонизацию.
3. Обеспечивается несколько нормальных схемно-режимных состояний, что обеспечивает энергонезависимость и энергобезопасность локальных территорий и обуславливает цифровизацию.

Выводы:



1. Структурная перестройка в направлении перехода к распределенной энергетике свойственна всем большим энергосистемам мира.
2. Отличие - необходимость обеспечения согласованных решений по трансформации ЕЭС России, то есть наличие новой технической политики.

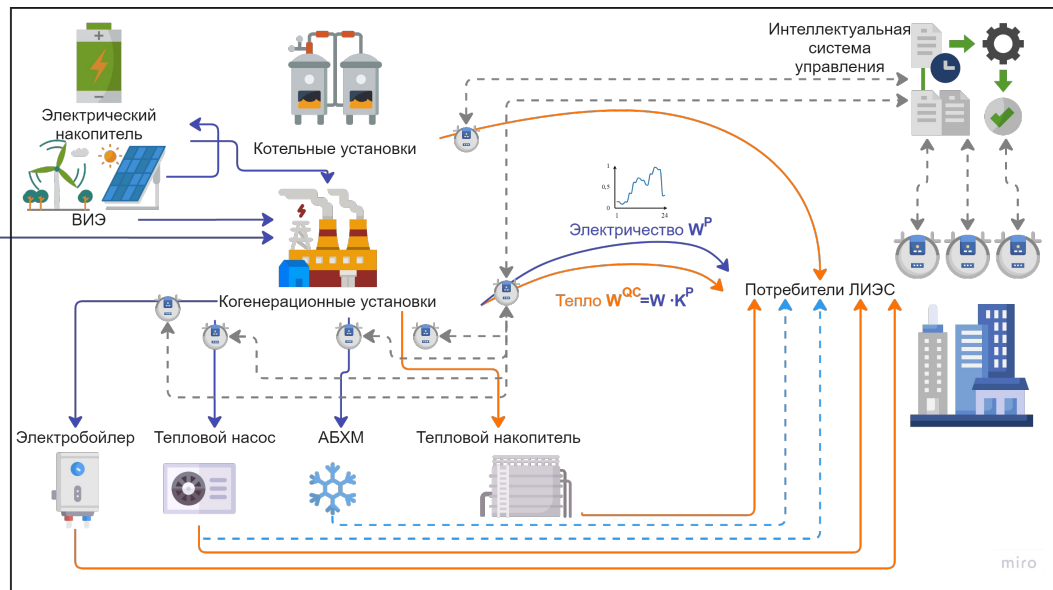
Центральное звено – активный потребитель

1. В центре внимания системы – **активный потребитель**, участник рыночных и технологических отношений.
2. При трансформации ЕЭС России в первую очередь должны учитываться интересы потребителя, но он не должен «оплачивать» трансформацию.
3. ЕЭС России должна быть открытой для согласованного взаимодействия всех уровней энергосистемы, что обеспечивается созданием гибких локальных систем, включающих инновационные технологии.
4. Локальная энергосистема должна быть сбалансированной и создаваться в энергорайонах, запитанных от шин 10 кВ районных подстанций.
5. Формирование таких систем возможно на когенерационных установках, созданных в результате строительства новых мини-ТЭЦ или реконструкции существующих котельных.



Локальная интеллектуальная энергосистема

Локальная интеллектуальная энергосистема (ЛИЭС) - сбалансированный по электрической и тепловой генерации и нагрузке минигрид, способный функционировать как в режиме параллельной работы с ЕЭС России, так и в изолированном, островном и автономном режимах с заданным уровнем балансовой и режимной надежности, обеспечивая поддержание заданных показателей надежности энергоснабжения потребителей и качество электроэнергии.

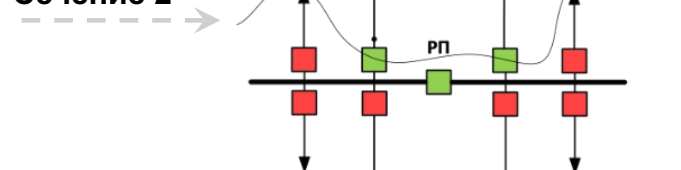


Интеллектуальная система управления ЛИЭС

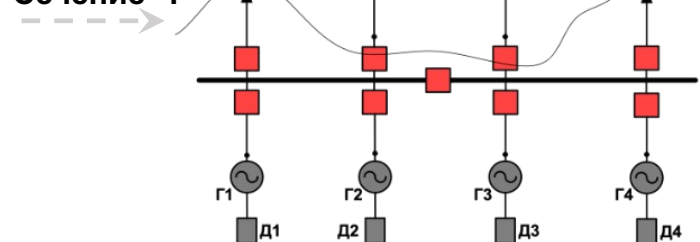
Сечение 3



Сечение 2



Сечение 1



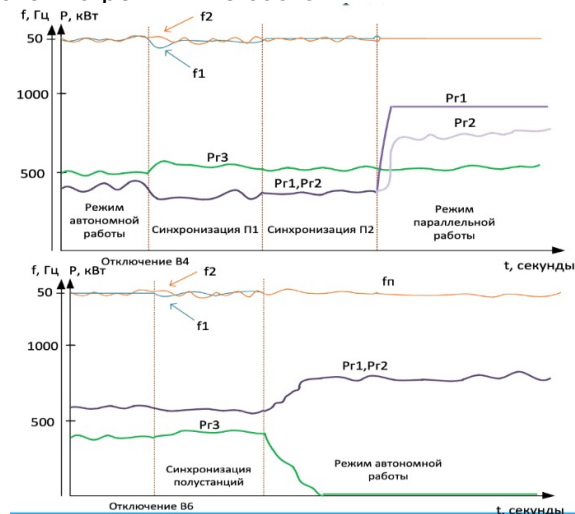
Сечения 3 для регулирования выдачи мощности из ЛИЭС в распределительную сеть

Сечение 2 для отделения ЛИЭС в островной режим (обеспечение надежности электроснабжения потребителей при работе на условии самобаланса)

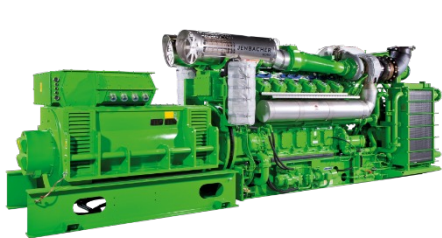
Сечение 1 для отделения объекта распределенной генерации по технологическим условиям, с обеспечением питания потребителей ЛИЭС от распределительной сети

Рисунок 18 – Контролируемые и управляемые сечения в ЛИЭС

Интеллектуальная децентрализованная система управления построена на принципах мультиагентного управления, включающего опережающее сбалансированное отделение. Обеспечивает работу в автономном режиме и при параллельной работе с ЕЭС России, обмен мощностью, переход в различные схемно-режимные состояния.



Основной источник электроэнергии ЛИЭС



Газопоршневая установка



Газотурбинная установка

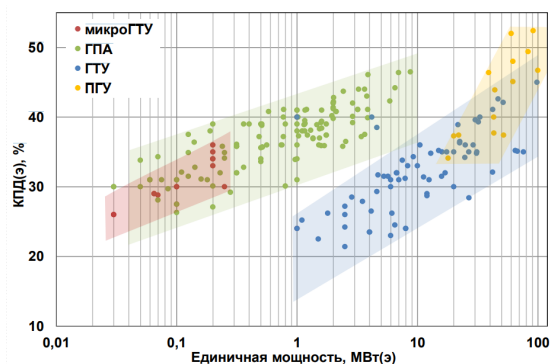
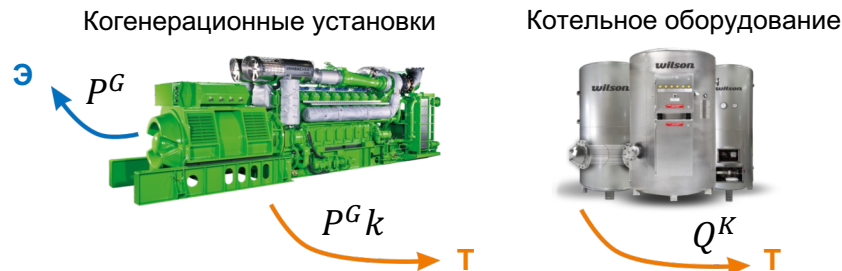


Рисунок 19 – Зависимость КПД от единичной мощности

Показатель	ГПУ	ГТУ
Электрический КПД, %	36-45	32-39
КПИТ, %	87-90	85-90
Удельный расход топлива, г.у.т./ кВт·ч	170–190	220 – 300
Срок службы, лет	25	15
Моторесурс, часы	60 000 - 90 000	30 000 - 55 000
Ремонтопригодность (кап.ремонт)	на месте	на заводе-изготовителе
Зависимость от внешних факторов	отсутствует	Увеличение температуры приводит к уменьшению КПД
Уровень шума, дБ	низкий	90-100
Влияние переменной нагрузки	Нежелательна работа на нагрузках менее 50%	Работа на нагрузках менее 50% не влияет на состояние турбины
Удельная стоимость установки, \$/кВт	300-500	800-1000

Выбор типа когенерационной установки определяется назначением ЛИЭС и основным потребителем

Структура генерации - структура потребления



Топливный эффект определяет энергоэффективность мини-ТЭЦ

$$W_G = W_P + W_H$$

$$B^G = B^P + B^H = W_G / \eta^G$$

$$B^H = \delta \cdot W_H / \eta^K$$

$$B^P = W_G (1 / \eta^G - \delta / \eta^K)$$

$$B^P / W_P = b^P$$

$$\Delta B = W_P (b^{\text{ТЭС}} - b^P)$$

Условие обеспечения максимальной энергоэффективности
Полное полезное использования тепла от КГУ в системе теплоснабжения

Модель мини-ТЭЦ:

$$Q^\Sigma = P^G k (1 + \lambda) \quad \lambda = Q^K / Q^G$$

$$W_Q = k \cdot W_P (\delta + \tau \cdot \lambda) \quad \tau = T^K / T^G$$

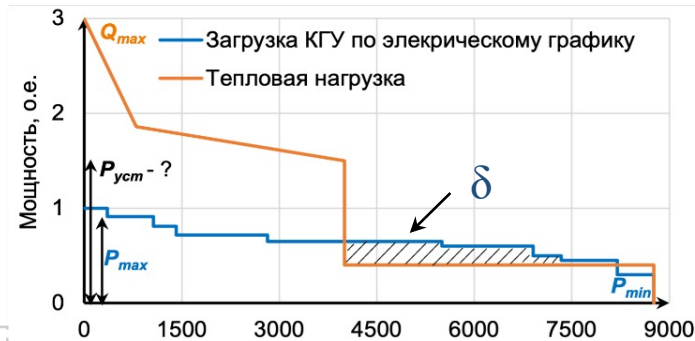


Рисунок 20 – Годовой график нагрузки потребителей ЛПЭС

B^H и B^P – энергия топлива для производства тепловой (W_H) и электрической (W_P) энергии на ГПУ МВт·ч; B^K – энергия топлива на котельном оборудовании для производства тепловой энергии, о.е.; k – коэффициент когенерации, δ – доля полезного использования тепла, о.е.; η^G и η^K – КПД ГПУ и котельного оборудования, Q^Σ – суммарная тепловая мощность мини-ТЭЦ, МВт; Q^K – мощность котельного оборудования, МВт; P^G – электрическая мощность ГПУ, МВт; Q^G – тепловая мощность ГПУ, МВт; T^K и T^G – КИУМ котельного и когенерационного оборудования, ч. W_Q – тепловая энергия произведенная на котельном и когенерационном оборудовании, МВт·ч.

Инвестиционная привлекательность ЛИЭС

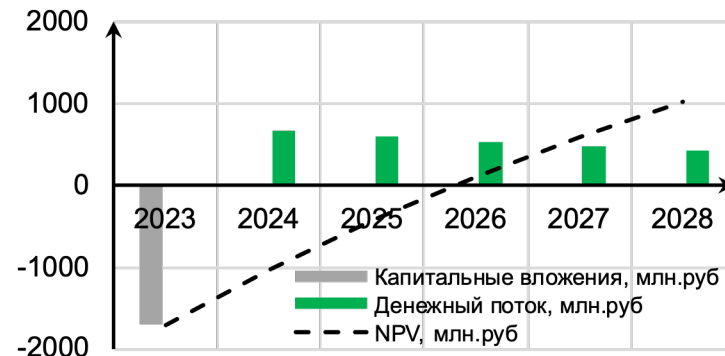


$$NPV = \sum_{i=1}^n [CF_i / (1 + e)^i] \geq 0$$

$$CF_i = E_i - CAPEX_i$$

$$E_i = \left[\sum_{P_j} W_{P_j} \cdot c_{P_j}^P + \sum_{Q_j} W_{Q_j} \cdot c_{Q_j}^Q \right] - [(B^G + B^K) \cdot 1/q \cdot c^b + A + MC]$$

B^G – энергия топлива для производства тепловой и электрической энергии на ГПУ, МВт·ч; B^K – энергия топлива на котельном оборудовании для производства тепловой энергии, МВт·ч; e – ставка дисконтирования, W_{P_j} – электрическая энергия, МВт·ч, выработанная на ГПУ и проданная j -му потребителю по цене $c_{P_j}^P$, руб/МВт·ч; W_{Q_j} – тепловая энергия, МВт·ч, выработанная на ГПУ и котельном оборудовании, и проданная j -му потребителю по цене $c_{Q_j}^Q$, руб/МВт·ч; q – удельная теплота сгорания топлива, МВт·ч/тыс. м³; c^b – стоимость топлива тыс. руб./тыс. м³; A – амортизация основного оборудования, тыс.руб.; MC – затраты, связанные с обслуживанием оборудования, тыс.руб.



ЛИЭС на базе мини-ТЭЦ 24,4 МВт, КИУМ = 58 %.

Себестоимость производства:

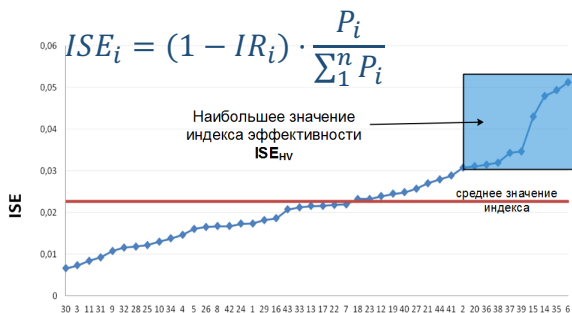
электричества – 1,1 руб./кВт·ч

тепла – 100 руб./Гкал

Срок окупаемости – 4 года при продаже электроэнергии по тарифу для Населения (НСО, 3,36 руб./кВт·ч).

Выбор мест создания ЛИЭС в регионе

Определение приоритетных энергорайонов для создания ЛИЭС



	IR_{LV}	IR_{AV}	IR_{HV}
ISE_{HV}	ЛИЭС	ЛИЭС или ТПИР	ТОиР
ISE_{AV}	ЛИЭС или ТПИР	ТПИР	ТОиР
ISE_{LV}	ТОиР	ТОиР	ТОиР



ISE – индекс эффективности, о.е.; IR – индекс готовности, о.е.; K – коэффициент готовности, о.е.; P – мощность энергорайона в региональной энергосистеме, МВт.

Определение приоритетных котельных для трансформации

Критерии выбора:

- назначение котельной
- используемое топливо
- отношение котельной к ЕТО
- баланс энергорайона



Эффекты создания гибридной ЛИЭС



Создание гибридной ЛИЭС позволяет **повысить энергоэффективность производства энергии, повысить экологичность, выровнять график нагрузки для КГУ.**

ЛИЭС позволяют **исключить негативное влияние стохастичной генерации на ЕЭС России, нивелируя все влияние внутри ЛИЭС.**

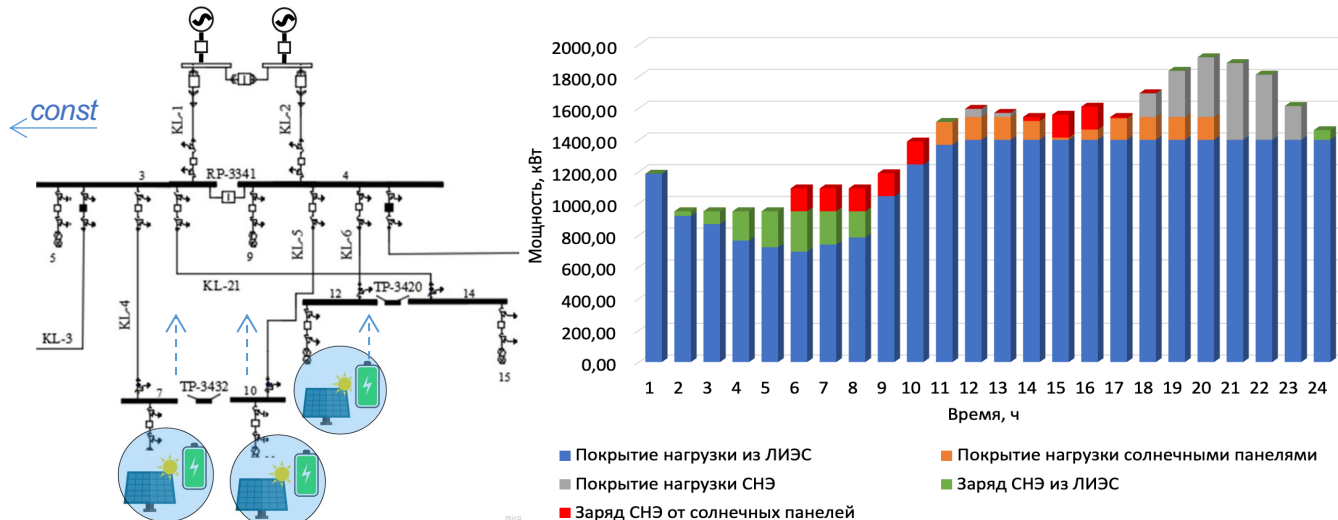


Рисунок 21 – Заполнение суточного графика нагрузки потребителей ЛИЭС

$$\alpha = \frac{P_{min}}{P_{max}}$$

+80%

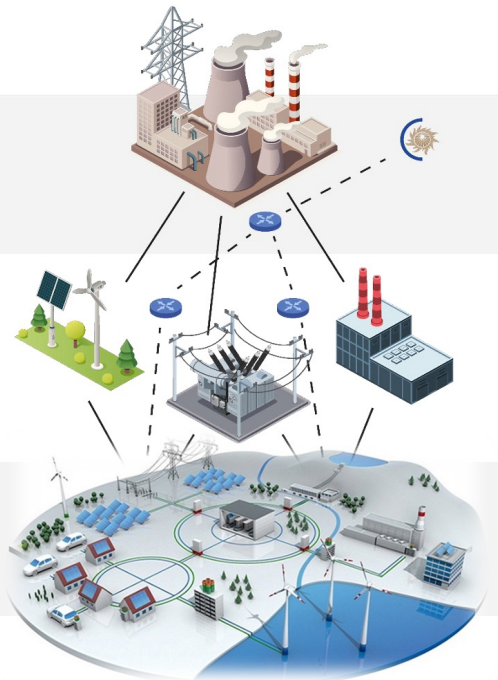
$$\beta = \frac{P_{cp}}{P_{max}}$$

+23%

Реализовать управление в такой системе позволяет к примеру внедрение концепции **интернета энергии** и соответствующей автоматики, в которой реализовано **интеллектуальное распределенное управление**

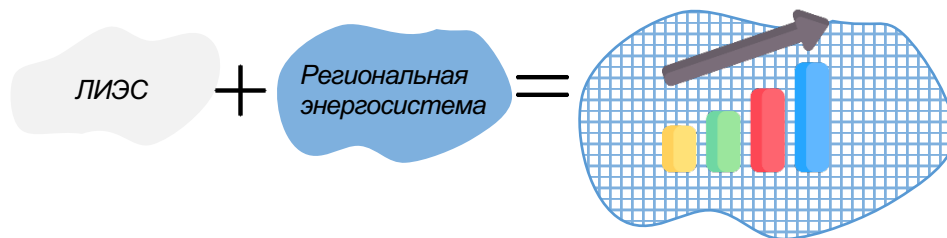
Свойства ЛИЭС и их проявления при интеграции

Свойство	Чем обеспечивается?	Эффекты
Надежность 	Параллельная работа с внешней электрической сетью	Повышение бесперебойности энергоснабжения потребителей
	Цифровизация энергорайона обеспечения согласованности взаимодействия централизованной и децентрализованных систем управления	Повышение управляемости и наблюдаемости энергорайона
Экономичность 	Близость источника энергии к месту потребления	Снижение сетевой составляющей в тарифе на электроэнергию Снижение затрат на развитие сети для подключения новых потребителей
	Использование инновационных технологий	Инвестиционная привлекательность
	Срок окупаемости не более 3 – 5 лет	
Экологичность 	Исключение перекрёстного субсидирования на территории	Повышение доступности энергоснабжения
	Высокая энергоэффективность производства энергии Снижение углеродного следа	Ресурсосбережение Энергоэффективность



Условия выполнения системных функций

Объединение энергосистем как известно дает **системные эффекты** за счет выполнения **системных функций**.



НО существуют **ограничения** на выполнения системных функций, вытекающие из технологических регламентов работы в ЕЭС России и правил рынков

ОГРАНИЧЕНИЯ:

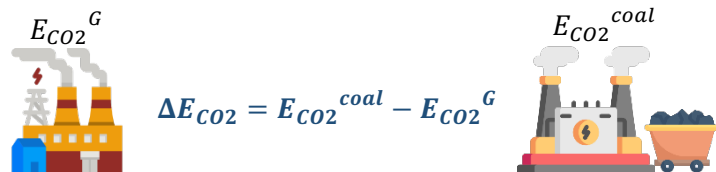
1. Ограничения на межсистемные перетоки (между ЛИЭС и региональной системой) и установленную мощность в 25 МВт для генерации ЛИЭС – ограничивают возможность и размер выполняемых системных функций.
2. Интеграция в энергорайон и функционирование требуют повышения интеллектуализации и цифровизации сетей среднего и низкого напряжения.
3. Условия функционального разделения снижают эффективность работы. Отсутствие единого субъекта в составе субъектов РРЭ ограничивает взаимодействие с субъектами.

- Поставка электроэнергии на розничный рынок
- Выполнение функции агрегатора управления спросом
- Предоставление управляемого ресурса
- Оказание услуги повышения бесперебойности электроснабжения
- Оказание услуги по повышению качества электроэнергии
- Оказание услуги по снижению неравномерности нагрузки на шинах центра питания
- Снижение углеродного следа



Повышение экологичности

Максимальная величина экологического эффекта достигается за счет сокращения производства электроэнергии на угольных тепловых электростанциях:



где $E_{CO_2}^{coal}$ – выбросы CO_2 от производства электроэнергии в объеме ΔW на угольных электростанциях; $E_{CO_2}^G$ – выбросы CO_2 от производства электроэнергии в объеме ΔW на ГПУ.

Расчет объема выбросов CO_2 , с учетом всех используемых видов топлива для производства электроэнергии, выполним по выражению:

$$E_{CO_2} = \sum_1^z (EF_{CO_2,z} \cdot Y_z \cdot b_z \cdot 29308) / 1000$$

где E_{CO_2} – величина выбросов CO_2 от сжигания топлива z , тонн CO_2 /ГДж; z – вид используемого топлива; b_z – коэффициент перевода топлива z в условное топливо; Y_z – расход топлива z в натуральном выражении, тонн.

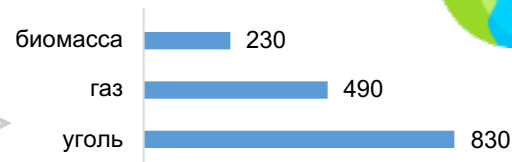


Рисунок 22 – Выбросы CO_2 на 1 от источников энергии

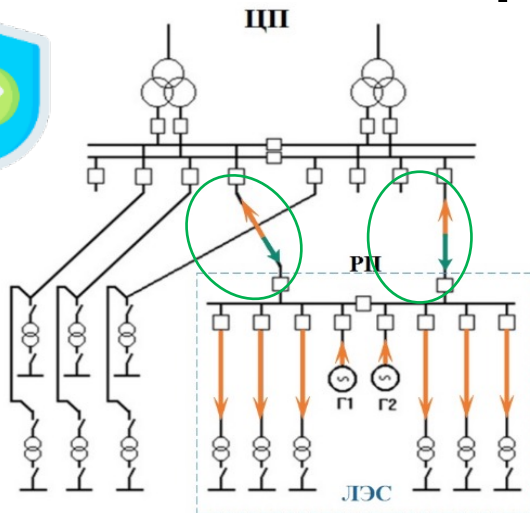
Аналогичное сокращение выбросов CO_2 возможно от выработки электроэнергии на солнечной электростанции



**Мини-ТЭС 24,4 МВт
КИУМ = 58%**

**СЭС 50 МВт
КИУМ = 16%**

Повышение бесперебойности электроснабжения



$$\Delta SAIDI = \left(\frac{\sum T_i \times N_i}{N_{max}} \right)'' - \left(\frac{\sum T_i \times N_i}{N_{max}} \right)'$$

Средняя продолжительность отключений по системе на одного потребителя

5 – 7 %

$$\Delta SAIFI = \left(\frac{\sum \lambda_i \times N_i}{N_{max}} \right)'' - \left(\frac{\sum \lambda_i \times N_i}{N_{max}} \right)'$$

Средняя частота отключений по системе на одного потребителя

6 – 10 %

где «''» – индексация прогнозного состояния системы электроснабжения; «'» – индексация текущего состояния системы электроснабжения; λ_i – интенсивность отказов i -ого критического элемента системы электроснабжения, ч; N_i – количество точек поставки отключаемых в результате технологического нарушения из-за отказа i -ого критического элемента системы, шт; N_{max} – количество точек поставки в системе электроснабжения, шт; T_i – время нахождения в неработоспособном состоянии i -ого критического элемента системы электроснабжения;

Дополнительный доход ТСО F^{Nun} от повышения бесперебойности электроснабжения:

$$F^{Nun} = D^r \cdot u - F^{un}$$

где u – корректирующий коэффициент к тарифу на передачу электрической энергии, %; D^r – доход сетевой компании от оказания услуг по передаче электрической энергии, тыс.руб



Экономический эффект оператора ЛИЭС F^{un} от выполнения функции резервирования:

$$F^{un} = P^{un} \cdot c^{un}$$

где P^{un} – суммарная мощность резервируемых в энергорайоне потребителей, МВт; c^{un} – стоимость оказания услуг по резервирования потребителей, тыс.руб./МВт

Повышение надежности и качества электроэнергии

Снижение неравномерности графика загрузки ЦП

Рост долговечности и безотказности электросетевого оборудования

Снижение затрат ТСО на техническое обслуживание и ремонт

Эффект для ЛИЭС – F^{load}

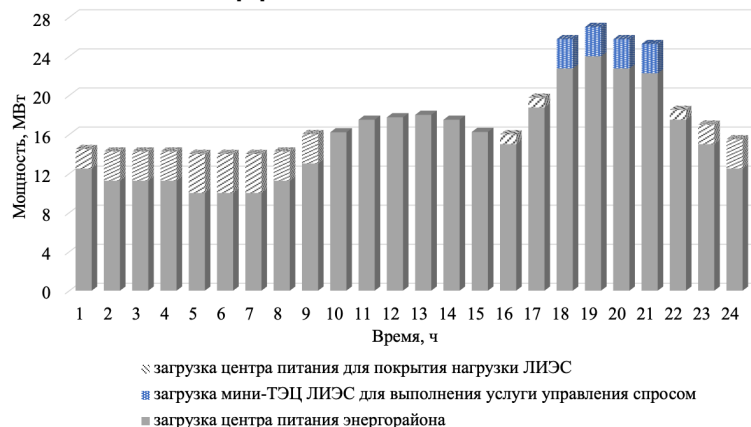


Рисунок 23 – Выравнивание графика загрузки центра питания

Регулирование узловых напряжений и снижение потерь

Изменение потерь в сетях 10 кВ и в сетях 110 кВ достигается за счет перераспределения потоков энергии

Эффект для ТСО – $F^{NI} = c^{net-l} \cdot [(W_{is} - W_{int}) + \partial W_{110}] - F^l$,

Эффект для ЛИЭС – F^l

где F^{NI} – эффект ТСО от снижения потерь, тыс.руб.; c^{net-l} – затраты ТСО на компенсацию потерь в сетях, тыс.руб./МВт·ч; W_{is} – потери энергии в сети 10 кВ в режиме изолированной работы ЛИЭС, МВт·ч; W_{int} – потери энергии в исследуемой схеме при интеграции и выполнении заданных функций, МВт·ч; ∂W_{110} – изменение потерь в сети 110 кВ при параллельной работе ЛИЭС и выполнении заданных функций, МВт·ч; F^l – дополнительный доход оператора ЛИЭС от выполнения услуги повышения качества, тыс.руб.

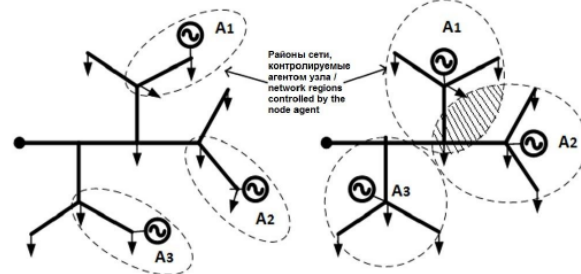


Рисунок 24 – Мультиагентное регулирование напряжения

Повышение экономичности: поставка электроэнергии на розничный рынок

Дополнительный доход S^r от поставки электрической энергии на розничный рынок:



$$S^r = \Delta W \cdot c^r$$

где ΔW – объем поставляемой на розничный рынок электроэнергии, МВт·ч; c^r – цена продажи электроэнергии на розничном рынке, руб./МВт·ч.

Дополнительная энергия топлива ΔB^r , необходимая для производства электроэнергии для поставки на РРЭ:



$$\Delta B^r = \Delta B^G - \delta \cdot \Delta W \cdot k / \eta^K$$

где ΔB^G – энергия топлива на ГПУ при производстве дополнительной электрической энергии на РРЭ и соответствующего объема тепловой энергии с учетом коэффициента когенерации k , МВт·ч; δ – доля полезного использования тепловой энергии в системе теплоснабжения ЛИЭС, η^K – КПД котельного оборудования.

Допустимый объем производства электроэнергии ΔW^{max} для поставки на РРЭ :



$$\Delta W^{max} = P \cdot (T_{max}^G - T^G)$$

где P – электрическая мощности ГПУ, МВт; T_{max}^G – максимально допустимый КИУМ ГПУ из условия технического обслуживания, ч.; T^G – КИУМ ГПУ, определенный исходя из работы в ЛИЭС, ч.

Эффект F^r от поставки электрической энергии на РРЭ:



$$F^r = S^r - \Delta B^r \cdot 1/q \cdot c^b$$



Повышение экономичности: участие в работе агрегатора управления спросом на электроэнергию

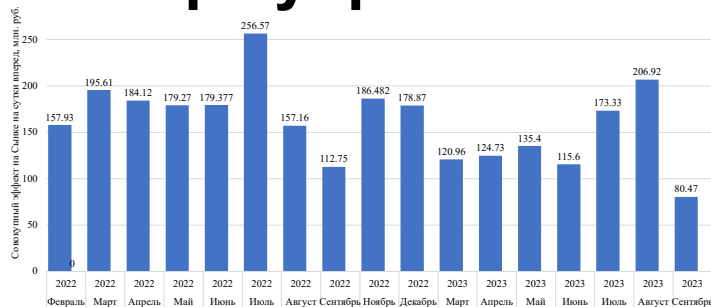


Рисунок 25 – Эффект управления спросом в энергосистеме в 2022-2023 гг.

Предоставление управляемого ресурса агрегатору управления спросом на электрическую энергию в ЕЭС России

$$F^{DRr} = \sum_{j=1}^{12} m_j \cdot t^{DR} \cdot p^{DRr} \cdot c^{DRr}$$

$$\begin{aligned} p^{DRr} &\leq P\phi - p^{Smax} \\ p^{Smax} &= p^{max} + p^r \end{aligned}$$

где: m_j – количество дней в j -ом месяце, шт.; t^{DR} – число часов готовности к оказанию услуги по управлению спросом в сутки, час; c^{DRr} – цена оказания услуги по передаче управляющего ресурса, определяется договором, тыс.руб./МВт·ч; p^{DRr} – мощность управляемого ресурса, МВт; P – установленная мощность ГПУ, МВт·ч; p^{Smax} – максимальная мощность загрузки ГПУ по совмещенному графику, включая нагрузку потребителей ЛИЭС (p^{max}) и выдаваемую мощность на розничный рынок (p^r), МВт; x – количество месяцев выполнения услуги, шт.; ϑ – коэффициент учета объема услуг, $\vartheta = 1$ $t^{DR} = 4$, $\vartheta = 0,5$ при $t^{DR} = 2$ ч., c^{DR} – цена оказания услуги по управлению спросом агрегатором, определяемая конкурсным отбором, тыс.руб./МВт; p^{DRA} – управляемая мощность агрегатора, МВт.



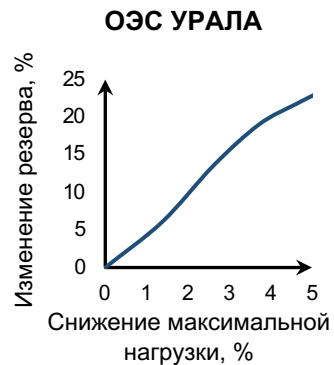
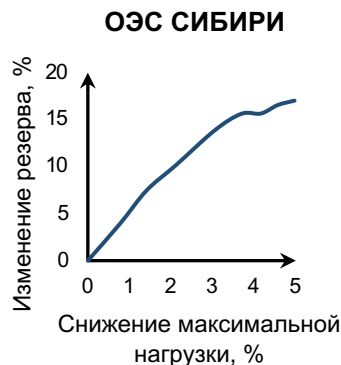
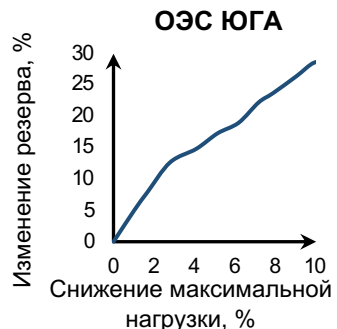
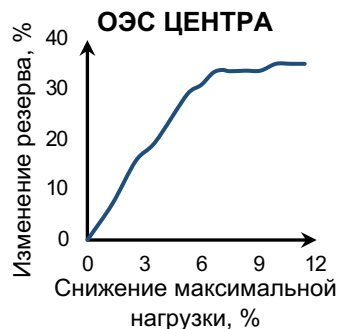
Рисунок 26 – Снятие пиковых нагрузок при управлении спросом

Выполнение функции агрегатора управления спросом на электрическую энергию в ЕЭС России

$$F^{DRA} = x \cdot p^{DRA} \cdot \vartheta \cdot c^{DRr}$$

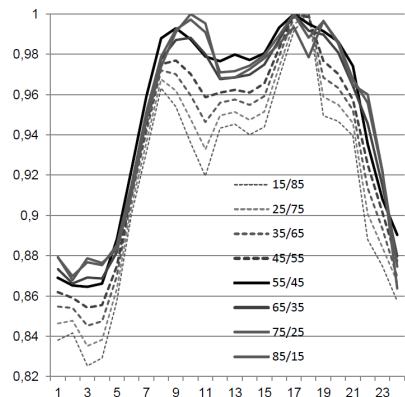
$$\begin{aligned} p^{DRA} &\geq 1 \text{ MB} \\ p^{DRA} &\leq P - p^{max} - p^r \end{aligned}$$

Влияние участия ЛИЭС в управлении спросом на требования к величине резерва



ОЭС Центра		ОЭС Сибири		ОЭС Урала		ОЭС Юга	
Резерв, %	Заполнение графика, %	Резерв, %	Заполнение графика, %	Резерв, %	Заполнение графика, %	Резерв, %	Заполнение графика, %
5,429	0,87368	9,57	0,94159	8,989	0,92343	7,961	0,87028
6,089	0,88527	10,048	0,94899	9,743	0,93638	8,585	0,87942
6,874	0,89646	10,476	0,95519	10,671	0,94834	8,942	0,88527
7,222	0,9061	10,801	0,96206	11,34	0,95906	9,524	0,89544
8,093	0,9221	11,253	0,97142	11,677	0,96812	9,791	0,90765
8,254	0,92903	11,465	0,97792	11,875	0,9745	10,094	0,91768
8,481	0,93535	11,468	0,98276	11,883	0,97935	10,302	0,92789
8,531	0,94008	11,578	0,9869	11,933	0,98358	10,7	0,93777
8,509	0,94418	11,634	0,98276	12,014	0,98773	10,884	0,94507
8,519	0,95249	12,132	0,99948	12,271	0,99608	11,217	0,95717
8,519	0,96092	12,132	0,99998	12,415	0,99997	11,484	0,96646
8,643	0,96953	12,132	0,99997	12,415	0,99997	11,484	0,97456
8,643	0,9779	12,132	0,99997	12,415	0,99997	11,787	0,98273
8,643	0,9861	12,132	0,99998	12,415	0,99997	12,292	0,99111
8,77	0,99393	12,132	0,99997	12,415	0,99997	12,292	0,99956
9,153	0,99998	12,132	0,99997	12,415	0,99997	12,381	0,99997

Влияние ЛИЭС на величину резерва в ЕЭС России



Снижение доли промышленной нагрузки на 10% в связи с появлением промышленных ЛИЭС.

Снижение оперативного резерва мощности:

0,42 % = 155 МВт

Снижение доли прочей нагрузки на 10% в связи с появлением коммунальных ЛИЭС.

Повышение оперативного резерва мощности:

0,26 % = 100 МВт

Рисунок 27 – Графики нагрузки при различном соотношении доли промышленной и коммунально-бытовой нагрузки

Соотношение нагрузок		Оперативный резерв		Коэффициенты	
промыш- ленная	коммунально- бытовая	МВт	% от максимума нагрузки	α	β
15	85	3560	9,52	0,911	0,829
25	75	3585	9,59	0,918	0,835
35	65	3645	9,75	0,926	0,845
45	55	3740	10,0	0,935	0,854
55	45	3895	10,42	0,947	0,863
65	35	3995	10,68	0,956	0,868
75	25	4030	10,78	0,958	0,870
85	15	4020	10,75	0,956	0,868

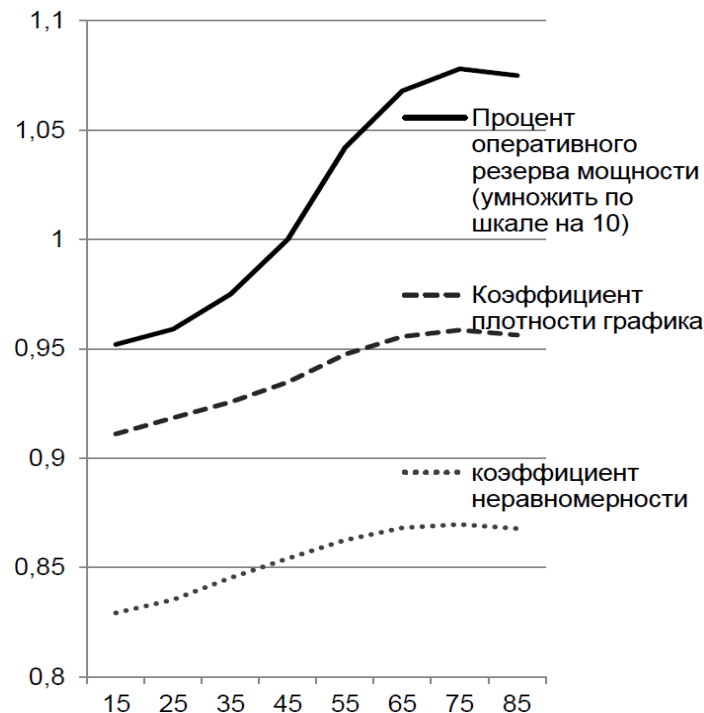


Рисунок 28 – Изменение показателей при росте доли промышленной нагрузки

Приоритет формирования коммунальных ЛИЭС для снижения нагрузки перекрестного субсидирования

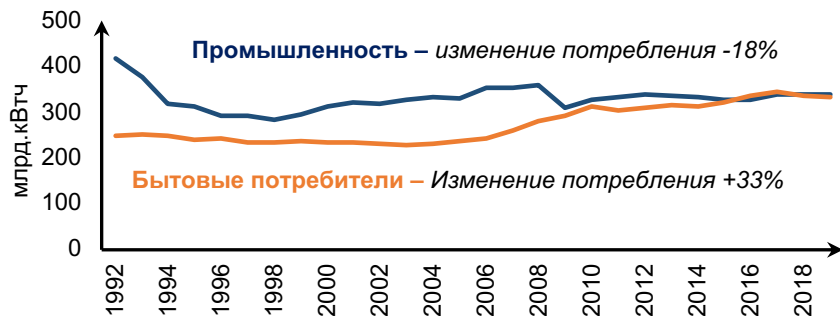


Рисунок 29 – Динамика электропотребления

Величина перекрестного субсидирования:

$$\Delta C^{\text{пер}} = C_{\text{н}} \cdot \lambda_{\text{н}} \cdot (1 - \varphi) / \varphi$$

$C_{\text{н}}$ – тариф для населения и приравненных категорий; $\lambda_{\text{н}}$ – доля населения в структуре электропотребления; φ – соотношение стоимости электроэнергии для населения и промышленных потребителей

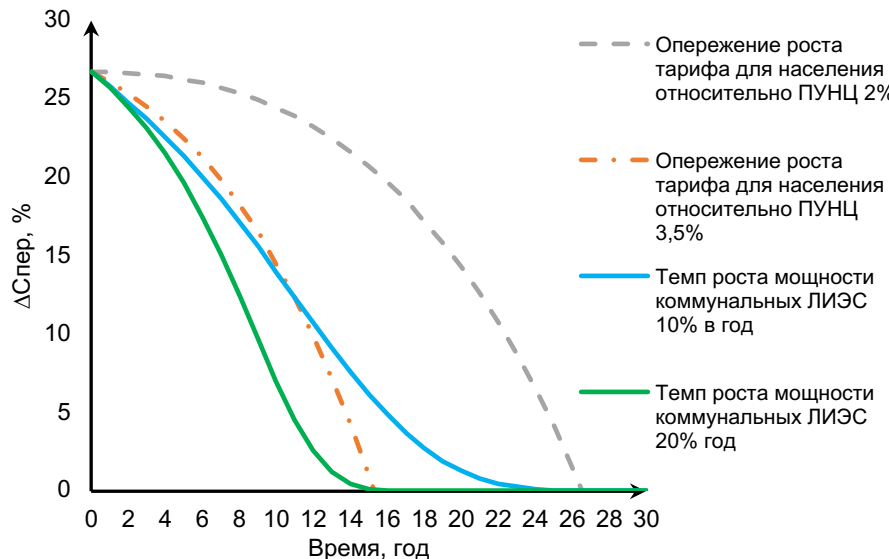
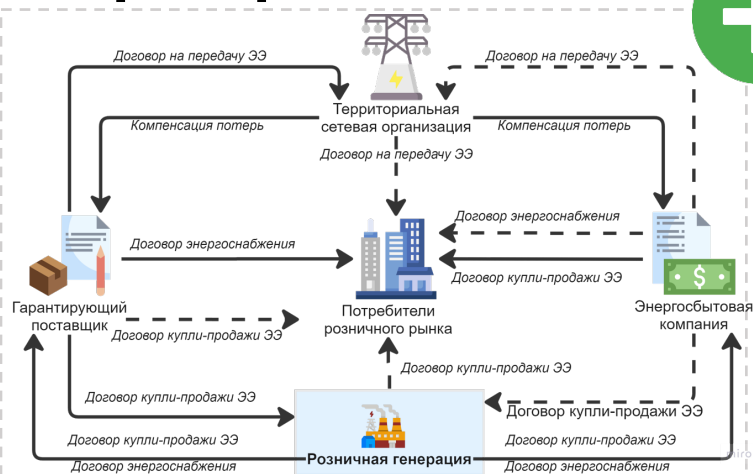


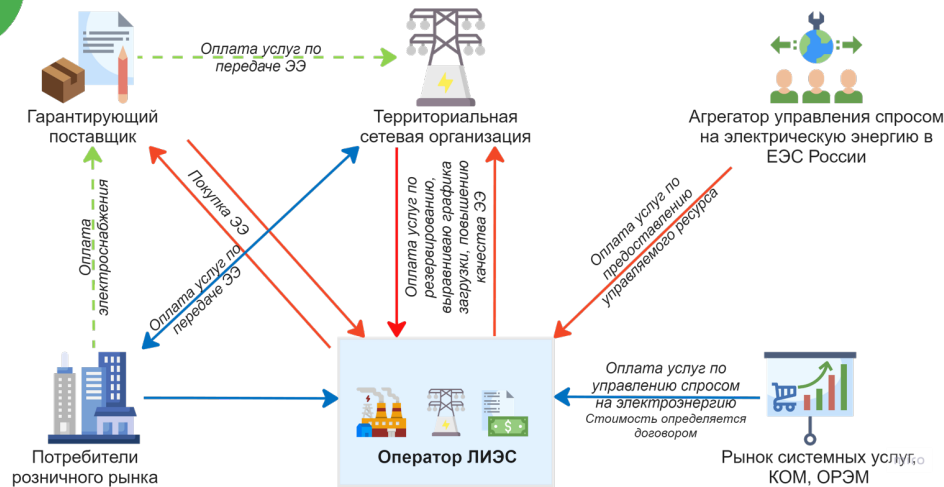
Рисунок 30 – Сокращение перекрестного субсидирования между группами потребителей от выбора разных стратегий

Коммунальные ЛИЭС обуславливают повышение надежности и экономичности, могут рассматриваться как одно из решений в борьбе с перекрестным субсидированием

Модель взаимодействия вертикально-интегрированного оператора ЛИЭС



Существующий порядок и правила розничного рынка, антимонопольного регулирования существенно ограничивают и усложняют организационно-экономические взаимоотношения и деятельность субъектов региональной энергетики, порождают внутренние противоречия, исключают возможность выполнения некоторых системных функций, например по управлению и формированию спросом и других.



Предложено дополнить состав субъектов розничного рынка и включить в их число новую вертикально-интегрированную организацию – **оператора ЛИЭС**, осуществляющую производство, передачу и поставку тепловой и электрической энергии субъектам розничного рынка и обеспечивающую взаимовыгодное взаимодействие с субъектами рынка.

Дополнительные экономические эффекты от выполнения системных функций

Функционирование вертикально-интегрированной организации оператора ЛИЭС в благоприятной институциональной среде позволит коммерциализировать системные эффекты, получение которых в существующих условиях ограничено, либо невозможно, а также обеспечить рост инвестиционной привлекательности объектов распределенной энергетики, повышение доступности и надежности электроснабжения потребителей.

Повышение экономичности		
Поставка электроэнергии на розничный рынок	F^r	
Выполнение функции агрегатора	F^{DRA}	
Предоставление управляемого ресурса	F^{DRr}	

Повышение надежности		
Оказание услуги повышения бесперебойности электроснабжения	F^{un}	
Оказание услуги по повышению качества электрической энергии	F^l	
Оказание услуги по снижению неравномерности нагрузки на шинах ЦП	F^{load}	

Повышение экологичности	Снижение углеродного следа	F^{eco}	
-------------------------	----------------------------	-----------	--

Механизм коммерциализации существует

Предмет договорных отношений

Выводы:



1. Распределенная энергетика изменяет структуру ЕЭС России и увеличивает количество нормальных схемно-режимных состояний систем энергоснабжения отдельных территорий.
2. Свойства ЛИЭС позволяют выполнять системные функции и получать соответствующие системные эффекты в дополнение к локальным.
3. Коммерциализация эффектов в существующей институциональной среде ограничена, требуются изменения правил и порядка работы розничного рынка.

Масштабы создания ЛИЭС различного типа

Несмотря на множество барьеров и административных препятствий имеют место примеры ЛИЭС различного типа, работающие в основном изолированно либо с присоединением к системе через АВР.

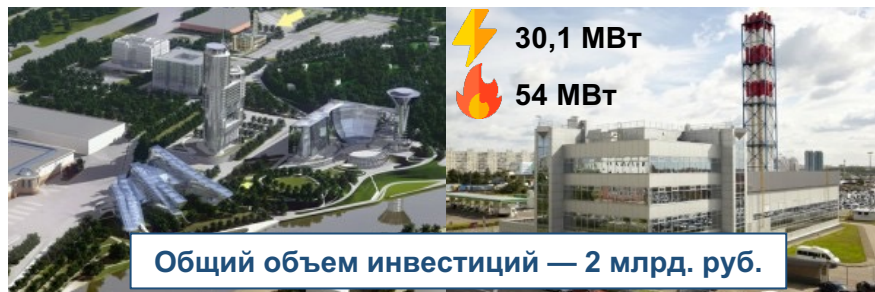
Объект	Мощность мини-ТЭЦ, МВт	Используемое оборудование
Промышленность		
Энергоцентр «НЛМК-Урал»	4,5	MWM
Энергоцентр-1 АО «ЮГК»	18	MWM
Энергоцентр-2 АО «ЮГК»	24,4	Caterpillar, MWM
Энергоцентр СУМЗ	21,5	MWM
Энергоцентр ПАО Лукойл	18	ПАО «ОДК-Сатурн»
Энергоцентр ПАО Лукойл	30	ОАО «Авиадвигатель»
Сельское хозяйство		
Тепличный комплекс «РЯЗАНСКИЕ ОВОЩИ»	18	GE JENBACHER
Тепличный комплекс «Юг-Агро»	16,4	GE JENBACHER
Тепличный комплекс «Зеленая Линия»	17,2	GE JENBACHER
ООО «Новые технологии»	11,8	GE JENBACHER
Коммерческие потребители		
Складской комплекс MLP	7,2	Siemens
Челябинский распределительный центр ПАО «Магнит»	2,4	MWM
Тамбовский распределительный центр ПАО «Магнит»	0,8	MWM
Лермонтовский распределительный центр ПАО «Магнит»	2,5	MWM
Коммунально-бытовая сфера		
мини-ТЭЦ «Центральная»	33	KAWASAKI
энергоцентра «Мякинино»	30	GE JENBACHER
ЛИЭС на базе мини-ТЭЦ в г. Звенигород	18	ОАО «Авиадвигатель»
ЛИЭС на базе мини-ТЭЦ в ЖК Измайлово	3	FG Wilson
ЛИЭС на базе энергоцентра Ольгино	21,6	Solar Turbines
ЛИЭС на базе энергоцентра Лобня-1	36	GE JENBACHER

Коммунальные ЛИЭС

ЛИЭС для комплекса зданий Правительства Московской области

АО «НАТЭК Инвест-Энерго»

Оборудование	Мощность агрегата, МВт	Количество, шт.	Мощность, МВт
КГУ			
GE JENBACHER AG	н/д (электрическая)	н/д	30,1
	н/д (тепловая)		30,1
Котельное оборудование			
HOVAL	н/д	н/д	23,9



ЛИЭС для энергоснабжения микрорайона в г. Южно-Сахалинск

ООО «СКФ «Сфера»

Оборудование	Мощность агрегата, МВт	Кол-во, шт.	Мощность, МВт
КГУ			
ГПУ Caterpillar G3520C	2 (электрическая)	3	6
	2,15 (тепловая)		6,45
ДГУ, Caterpillar 3512B	1,2 (электрическая)	1	1,2
Котельное оборудование			
н/д	2,05	1	2,05



ЛИЭС в промышленности

ЛИЭС предприятия по производству азотных удобрений в г. Кемерово

Оборудование	Мощность агрегата, МВт	Кол-во, шт.	Мощность, МВт
КГУ			
MWM TCG 2032 V16 B	4,5 (электрическая)	5	22,5
	4,48 (тепловая)		22,4



ЛИЭС фольгопрокатного предприятия АО «Уральская фольга» в г. Михайловске

Оборудование	Мощность агрегата, МВт	Кол-во, шт.	Мощность, МВт
КГУ			
Caterpillar G3516H	2 (электрическая)	7	14
	1,9 (тепловая)		13,3
Котельное оборудование			
ROLT HS - W4.0 (БКТП)	18	1	18



Общий объем инвестиций — более 700 млн. руб.

⚡ 14 МВт
 🔥 31,3 МВт

ЛИЭС в сельском хозяйстве

ЛИЭС тепличного комплекса ООО «Солнечная Долина» в Ставропольском край

Оборудование	Мощность агрегата, МВт	Кол-во, шт.	Мощность, МВт
КГУ			
MTU 20V4000L33	1,282 (электрическая)	2	2,564
	1,323 (тепловая)		2,646
MTU 20V4000L64	2,535 (электрическая)	1	2,535
	2,398 (тепловая)		2,398
MTU 20V4000L64	5,07 (электрическая)	1	5,07
	5,07 (тепловая)		5,07



ЛИЭС тепличного комплекса ООО «УГМК-Агро» в Свердловской области

Оборудование	Мощность агрегата, МВт	Кол-во, шт.	Мощность, МВт
КГУ			
Jenbacher 624	4,406 (электрическая)	10	2,564
	4,190 (тепловая)		2,646
Jenbacher 320	1,067 (электрическая)	4	2,535
	1,241 (тепловая)		2,398



ЛИЭС Березовый

Особенность: первая интегрированная в состав региональной энергосистемы ЛИЭС с децентрализованным управлением

Полученные системные эффекты ЛИЭС «Березовый»

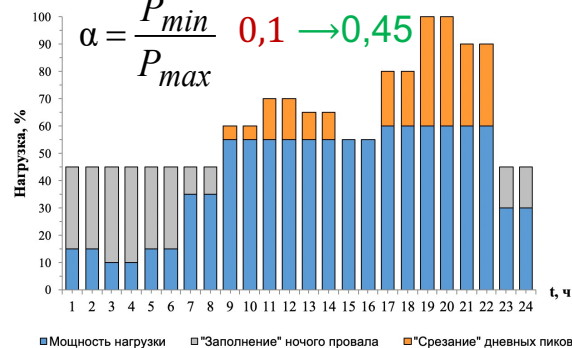
- клиентоориентированное формирование спроса повысило плотность и неравномерность графика нагрузки и загрузки оборудования соответственно;
- увеличена на 20% выработка электроэнергии за счет поставки на РРЭ;
- сократились затраты на приобретение 15% объема природного газа и появилась возможность и для расширения зоны теплоснабжения;
- резервирование со стороны региональной энергосистемы вместо ДГУ;
- оказываются системные услуги региональной ТСО в части мультиагентного управления узловыми напряжениями
- предоставление регулировочного ресурса агрегатору управления спросом на электрическую энергию в ЕЭС России в размере 1,5 МВт .

Оборудование	Мощность агрегата, МВт	Кол-во, шт.	Мощность мини-ТЭЦ, МВт
Электрическое оборудование			
G3520 E Caterpillar	2 (э)	5	10,0
	2,15 (т)		10,75
ДГУ Caterpillar	1,6	2	3,2
Котельное оборудование			
Котлоагрегат Buderus	11,2	2	22,4
Котлоагрегат Buderus	19,2	2	38,4



$$\beta = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\text{max}}} \quad 0,4 \rightarrow 0,7$$

$$\alpha = \frac{P_{\text{min}}}{P_{\text{max}}} \quad 0,1 \rightarrow 0,45$$



Ожидания развития распределенной энергетики

Изолированная работа – снижение эффективности ЕЭС России

Параллельная работа – повышение эффективности ЕЭС России



Рисунок 31 – Объемы нового рынка ЛИСЭ в России

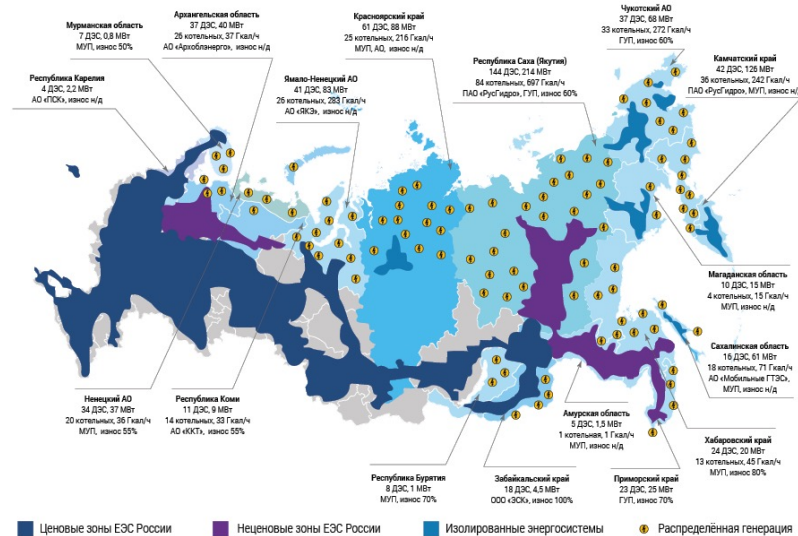


Рисунок 32 – Распределенная генерация в ДВФО и Арктике

Выводы:



1. Рост числа и мощности объектов распределенной энергетики носит объективный характер, несмотря на существующие ограничения, технологические барьеры и административные препятствия.
2. В современных условиях потребитель остается перед выбором: смирение; наращивание неплатежей; переход в в изолированную работу.
3. Распределенную энергетику необходимо рассматривать как дополнение к ЕЭС России, которое снижает энергоемкость, повышает эффективность, энергобезопасность и энергонезависимость.

Трансформация ЕЭС России идет от регионов

Трансформация ЕЭС России начинается с трансформации региональных энергосистем

Перспективное место развития распределенной энергетики – локальные территории, где тепловые и электрические нагрузки сопоставимы с мощностью мини-ТЭЦ:

- Малые и средние города
- Удаленные микрорайоны
- Территории новой застройки
- Особые экономические зоны
- Территории опережающего развития
- Арктика
- Дальний Восток



Максимум нагрузки в ЕЭС России
162,6 ГВт



Усредненно на 1 человека
0,9 - 1,3 кВт



Население в зоне ЕЭС России
136,3 млн. человек

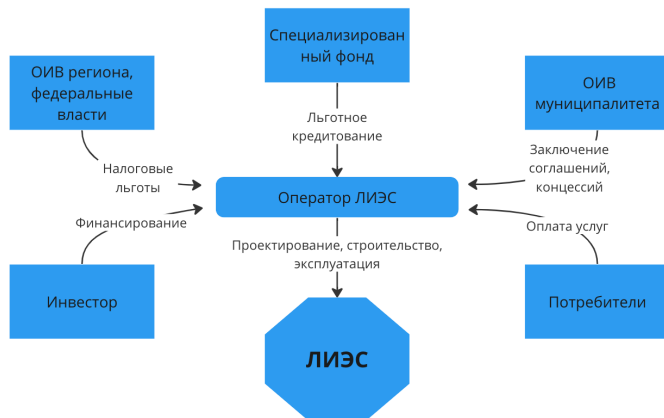


Для ускорения развития распределенной энергетики необходима реализация комплексного подхода

Сонаправленность и сбалансированность технических и экономических политик в области распределенной энергетики обеспечат эффективность реализации региональных программ, повышения энергоэффективности и энергобезопасности

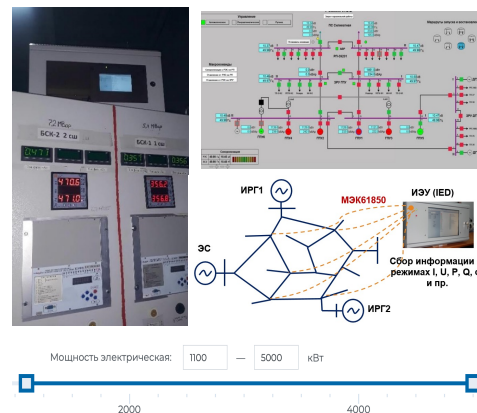
В области экономической политики:

1. Создание региональных специализированных фондов для льготного кредитования распределенной энергетики
2. Определение порядка федеральной поддержки
3. Стимулирование привлечения частных инвестиций в рамках государственно-частного партнерства



В области технической политики:

1. Серийное производство компонентов технических решений на базе единой цифровой платформы
2. Развитие серийного производства и повышения технических характеристик газопоршневых и газотурбинных агрегатов мощностью 1-5 МВт



ЛИЭС - путь к цифровизации и интеллектуализации

ЛИЭС – интеллектуальная система, интеграция которой предполагает реализацию мероприятий по цифровизации и интеллектуализации энергорайона, запитанного от шин 10 кВ районных подстанций .

Интеллектуализация «снизу»



Интеллектуализация «сверху»

Концепция ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ



РОССЕТИ



РусГидро



ИНТЕР
РАО ЕЭС



РОСЭНЕРГОАТОМ
РОСАТОМ



АО «СО ЕЭС»

Усиливают друг друга!

Выводы:



1. Трансформация ЕЭС России в направлении децентрализации, декарбонизации и цифровизации при условии сохранения ее целостности, требует комплексный подход, увязывающий социальную, экономическую и техническую политики развития электроэнергетики
2. Развитие распределенной энергетики на региональном уровне позволяет осуществить два встречных процесса интеллектуализации ЕЭС России, дополняющих и усиливающих друг друга.

Заключение

1. Для снижения энергоемкости отечественной электроэнергетики приоритет имеют повышение доли когенерационного производства энергии в сочетании с ростом установок использующих возобновляемые источники энергии, это должно найти отражение в отраслевой программе повышения энергоэффективности и энергосбережения.
2. Региональные программы развития распределенной энергетики упорядочат процесс, позволят обеспечить социально-экономическое развитие субъектов Российской Федерации, используя механизмы конкуренции на розничном рынке электрической энергии и мощности.
3. Результатом проектирования развития электроэнергетики субъектов Российской Федерации должны стать показатели, характеризующие изменения бесперебойности электроснабжения, стоимости электроэнергии и размера углеродного следа, отражающего уровень энергоэффективности и энергосбережения.
4. Тотальная газификация, доступность вторичных энергоресурсов и производимые промышленностью газопоршневые и газотурбинные установки малой мощности обуславливают необходимость пересмотра существующей парадигмы и создают предпосылки перехода к распределенной энергетике, которая повысит эффективность электроснабжения в малых и средних городах.

Заключение

5. Появление сбалансированных ЛИЭС и их включение в состав региональных энергосистем изменит архитектуру ЕЭС России и обеспечит повышение энергетической независимости и безопасности субъектов Российской Федерации, что может стать ответом на современные вызовы.
6. ЛИЭС в составе региональных энергосистем способны выполнять системные функции, которые сопровождается системными эффектами и их коммерциализация повышает инвестиционную привлекательность трансформации ЕЭС России, но для этого требуется внесение изменений в правила розничного рынка.
7. Для обеспечения согласованной работы централизованного и децентрализованного управления требуется разработка интеллектуальной автоматики, базирующейся на цифровизации распределительных сетей среднего и низкого напряжения, это должно стать составляющей технической и экономической политики развития отечественной электроэнергетики.
8. Причины масштабного внедрения объектов распределенной энергетики носят фундаментальный характер, они обусловлены исчерпанием потенциала существующей централизованной энергетики. Интерес активных потребителей стать участниками рынка электроэнергии носит объективный характер, а создаваемые монополистами барьеры и препятствия не столько тормозят процесс перехода к распределенной энергетике, сколько разрушают целостность энергетической системы России.



**НГТУ
НЭТИ**

Распределенная энергетика в парадигме развития электроэнергетики

**Спасибо за внимание!
Вопросы?**

Ф.Л. Бык, Л.С. Мышкина

felixbyk@hotmail.com

Lsmyshkina@gmail.com

Новосибирский государственный
технический университет НЭТИ