



Кафедра

Автоматизированные  
Электрические Системы



Уральский  
федеральный  
университет

имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина

Уральский  
энергетический  
институт

# **«ПРИМЕНЕНИЕ МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ УРАЛА»**

---

**Докладчики:**

**В.О. Самойленко**

**С.А. Ерошенко**

**Инженеры кафедры Автоматизированных электрических систем**

**Семинар «Проблемы подключения и эксплуатации малой генерации»**

**Екатеринбург, 27.11.2015**



## О ПРЕДПОСЫЛКАХ РАБОТЫ

**1. Развитие ВИЭ и степень их востребованности на Урале.** Основные потенциальные энергоузлы под размещения ВИЭ:

- Удаленные потребители северных районов Пермского края и Свердловской области;
- Энергодефицитные и проблемные сельские узлы нагрузки по всему Уралу;
- «Коммерческая» генерация – 10+ фотоэлектростанций в Башкирии и Оренбургской области;

**2. Опыт НИР и деятельность в научном направлении «Малая генерация».** Тематики:

- Электроснабжение удаленных потребителей;
- Все тематики в рамках Семинара «Проблемы подключения и эксплуатации малой генерации».

**3. Образовательный аспект.** Создание актуализированной учебной программы «Электрические станции»:

- Дисциплина «Технологии выработки и хранения электрической энергии»;
- Требования работодателей в среднесрочной перспективе.

**4. Отсутствие прямой конкуренции с другими кафедрами, учебными программами**

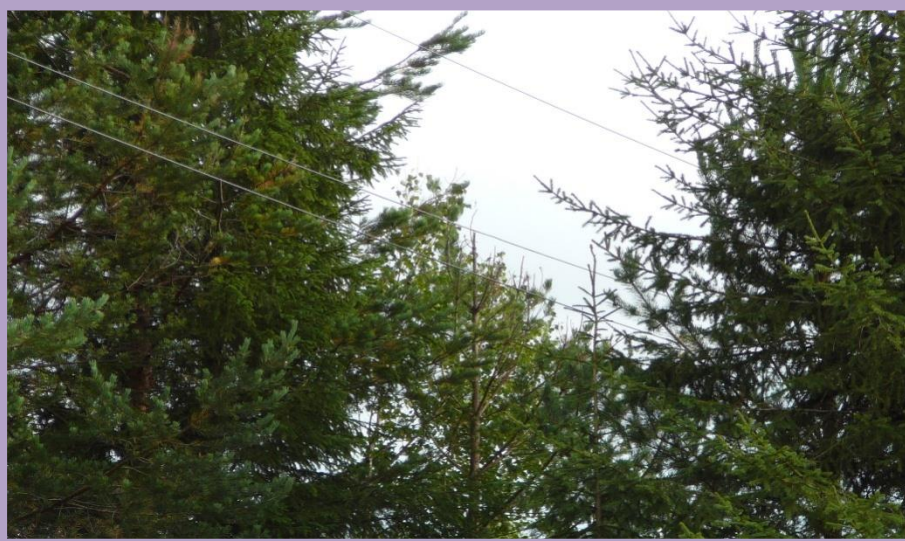
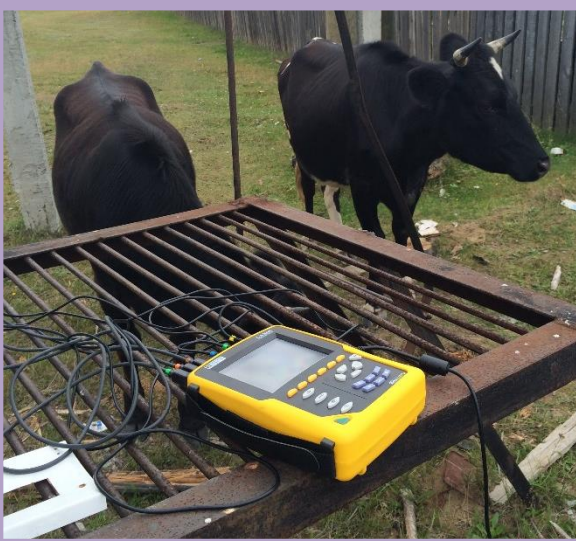
- Ориентация не на технику и технологию первичных преобразователей энергии, а на системную энергетику – подходы к обеспечению надежного и эффективного электроснабжения.

Далее в докладе «Урал» – без Предуралья и Зауралья, т.е. следующие Субъекты РФ: Пермский край, Свердловская и Челябинская области.



# **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ (ЦЕЛЕВЫХ) ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ВИЭ**









## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ (ЦЕЛЕВЫХ) ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ВИЭ

1. Средняя мощность потребительской нагрузки около **100 кВт**;
2. Длина фидера **более 10 км, частые отключения**;
3. Удаленность от районных электрических сетей, затрудненная эксплуатация;
4. **Отсутствие резервирования** при наличии потребителей, подключение которых целесообразно **по II категории** надежности электроснабжения;
5. Наличие **достаточного потенциала** возобновляемых источников энергии;
6. Наличие проблем с транспортной инфраструктурой.



# НЕКОТОРЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЦЕЛЕВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА УРАЛЕ

## 1. Электрические параметры

Параметр	Значение	Характеристика
Максимальная мощность, кВт	50 - 450	-
Максимальная протяженность ЛЭП по трассе, км	63	!!!
Средняя токовая загрузка ЛЭП, %	39,2	Низкая
Среднее напряжение в конце ВЛ (без РПН), кВ	9,35	Допустимое
Среднее напряжение в сети 0,4 кВ (ПБВ +2), В	226	Номинальное
Средний резерв трансформаторной мощности, %	51,6	Высокий
Отношение нагрузки зима/лето, о.е.	2,28	-

## 2. Надежность электроснабжения

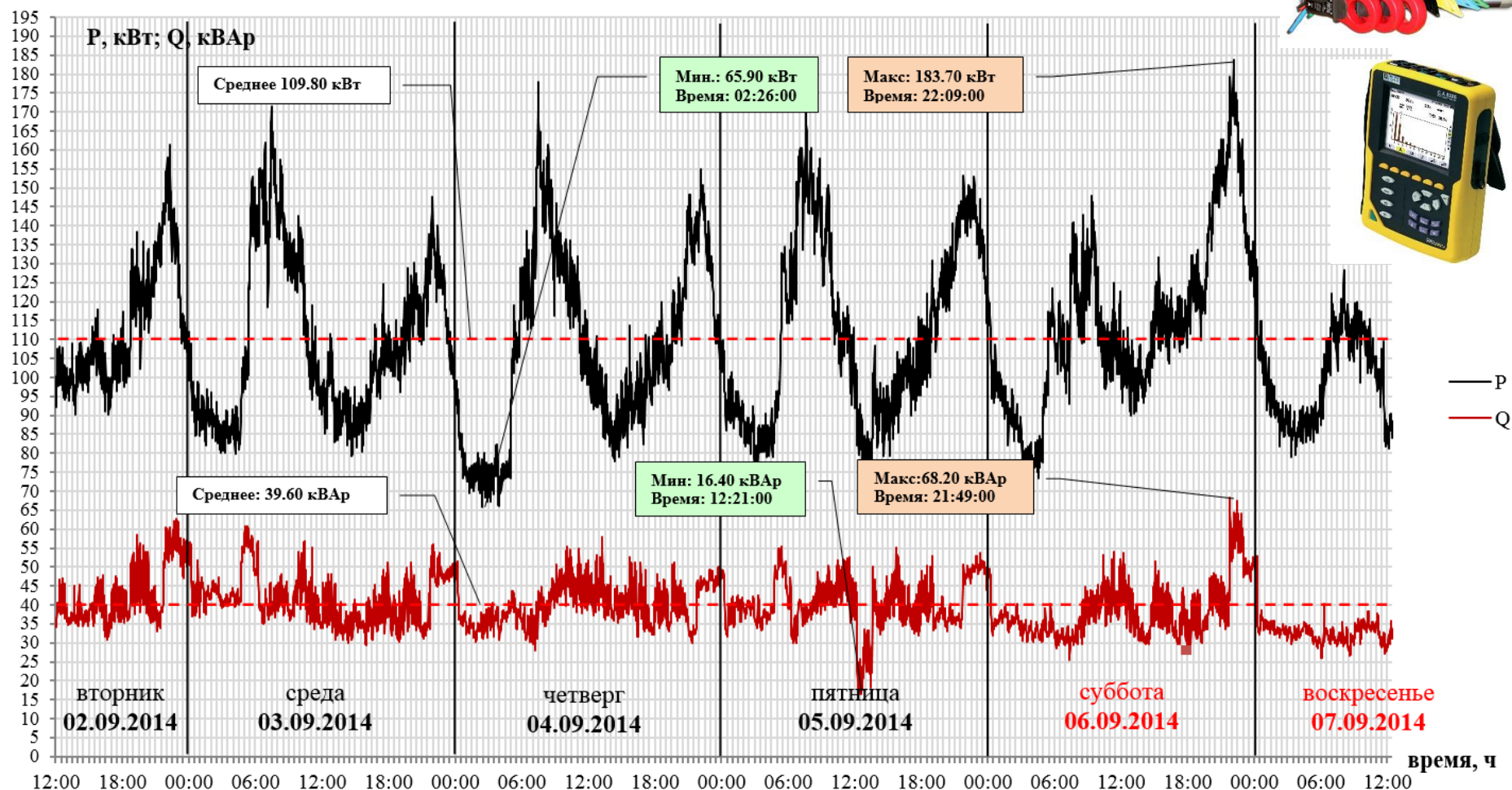
Параметр	Значение
Преобладающая категория надежности электроснабжения по ПУЭ	III
Максимальная/суммарная длительность отключения, ч	6,02 / 72
Среднее время отключения за год, ч	0 - 3
Наиболее аварийный период, мес.	ноябрь-январь
Частота плановых отключений в разветвленных и протяженных сетях	Ежемесячно

Потенциальные потребители II категории: сельские административные здания, детские сады, школы, почты, ФАПы, отделения Сбербанка России.



# ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ. ПРОВЕДЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

(ГОСТ Р 53333-2008, ГОСТ 13109-97)





# СРЕДНИЕ ПАРАМЕТРЫ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЦЕЛЕВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

## Сеть 10 кВ

Параметр	Значение	Характеристика
<i>Равномерность суточного графика нагрузки</i>		
Средний $\alpha$ , %	35,9	Допустимый
<i>Скорость набора/снижения нагрузки</i>		
Макс., % / мин	13,1	Низкий
Средняя, % / мин	1,6	Низкий
<i>Потребление реактивной мощности нагрузкой</i>		
Минимальный $\cos \phi$	0,851	Высокий
Средний $\cos \phi$	0,937	Высокий
<i>Несимметрия линейных напряжений сети</i>		
Максимальный $K_{U2}$ , %	0,62	Низкий
Средний $K_{U2}$ , %	0,92	Низкий
<i>Несимметрия фазных токов нагрузки</i>		
Максимальный $I_2$ , %	14,2	Допустимый
Средний $I_2$ , %	9,5	Допустимый
<i>Несинусоидальность линейных напряжений сети</i>		
Максимальный $K_U$ , %	6,45	Допустимый
Средний $K_U$ , %	4,26	Низкий
<i>Несинусоидальность фазных токов нагрузки</i>		
Максимальный $K_I$ , %	11,4	Низкий
Средний $K_I$ , %	6,35	Низкий

## Сеть 0,4 кВ

Параметр	Значение	Характеристика
<i>Равномерность суточного графика нагрузки</i>		
Минимальный $\alpha$ , %	18,3	Низкий
Средний $\alpha$ , %	20,7	Допустимый
<i>Величина быстрого наброса/сброса нагрузки</i>		
Максимальная, %	20,8	Допустимый
Средняя, %	2,1	Низкий
<i>Потребление реактивной мощности нагрузкой</i>		
Минимальный $\cos \phi$	0,802	Допустимый
Средний $\cos \phi$	0,953	Высокий
<i>Несимметрия фазных напряжений сети</i>		
Максимальный $K_{U2}$ , %	6,23	Допустимый
Средний $K_{U2}$ , %	1,19	Низкий
<i>Несимметрия фазных токов нагрузки</i>		
Максимальный $I_2$ , %	58,2	Высокий
Средний $I_2$ , %	35,6	Высокий
<i>Несинусоидальность фазных напряжений сети</i>		
Максимальный $K_U$ , %	18,0	Допустимый
Средний $K_U$ , %	3,88	Низкий
<i>Несинусоидальность фазных токов нагрузки</i>		
Максимальный $K_I$ , %	31,6	Допустимый
Средний $K_I$ , %	14,1	Низкий





Кафедра

Автоматизированные  
Электрические Системы



Уральский  
федеральный  
университет

имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина

Уральский  
энергетический  
институт

9

# ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ



## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- Международная база данных Atmospheric Science Data Center;
- Метеорологические данные с открытых ресурсов Meteoblue, Weatheronline, др.;
- Росгидромет – Гидрометцентр России;
- Государственный водный реестр, Федеральное агентство водных ресурсов.

### Почему не применимы СНиПы, «Строительная климатология», карты ПУЭ?

- Не предназначены для расчета совокупности энергетических режимов, предназначены для расчета максимально неблагоприятного атмосферного воздействия;
- Ориентированы на конкретную проектную методику;
- Предоставляют данные на уровне 10 м над поверхностью земли;
- Не учитывают даже крупных особенностей рельефа и ландшафта.

→ Необходимость собственного районирования и составления карт для генерации на базе ВИЭ промышленного масштаба.



# ОБОРУДОВАНИЕ

## для оценки технических и экономических параметров

Дивизион производителей	Примеры
<i>Промышленные горизонтально-осевые ветрогенераторы мощностью 0,3 - 1 МВт</i>	
Первый	Siemens, GE Wind
Второй	Vestas, Enercon, Gameza, Nordex
Третий	Goldwing
<i>Фотоэлектрические модули</i>	
Первый	Sharp, Canadian Solar
Второй	Хевел
Третий	Yingli Solar, Trina Solar
<i>Накопители энергии (АКБ Pb-Ac)</i>	
Первый	Groe
Второй	Varta (локализованные)
<i>Поршневые многотопливные генераторы 10 кВ контейнерного исполнения</i>	
Первый	MWM, MAN, Cummins USA
Второй	Caterpillar, Jenbacher





Кафедра

Автоматизированные  
Электрические Системы



Уральский  
федеральный  
университет

имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина

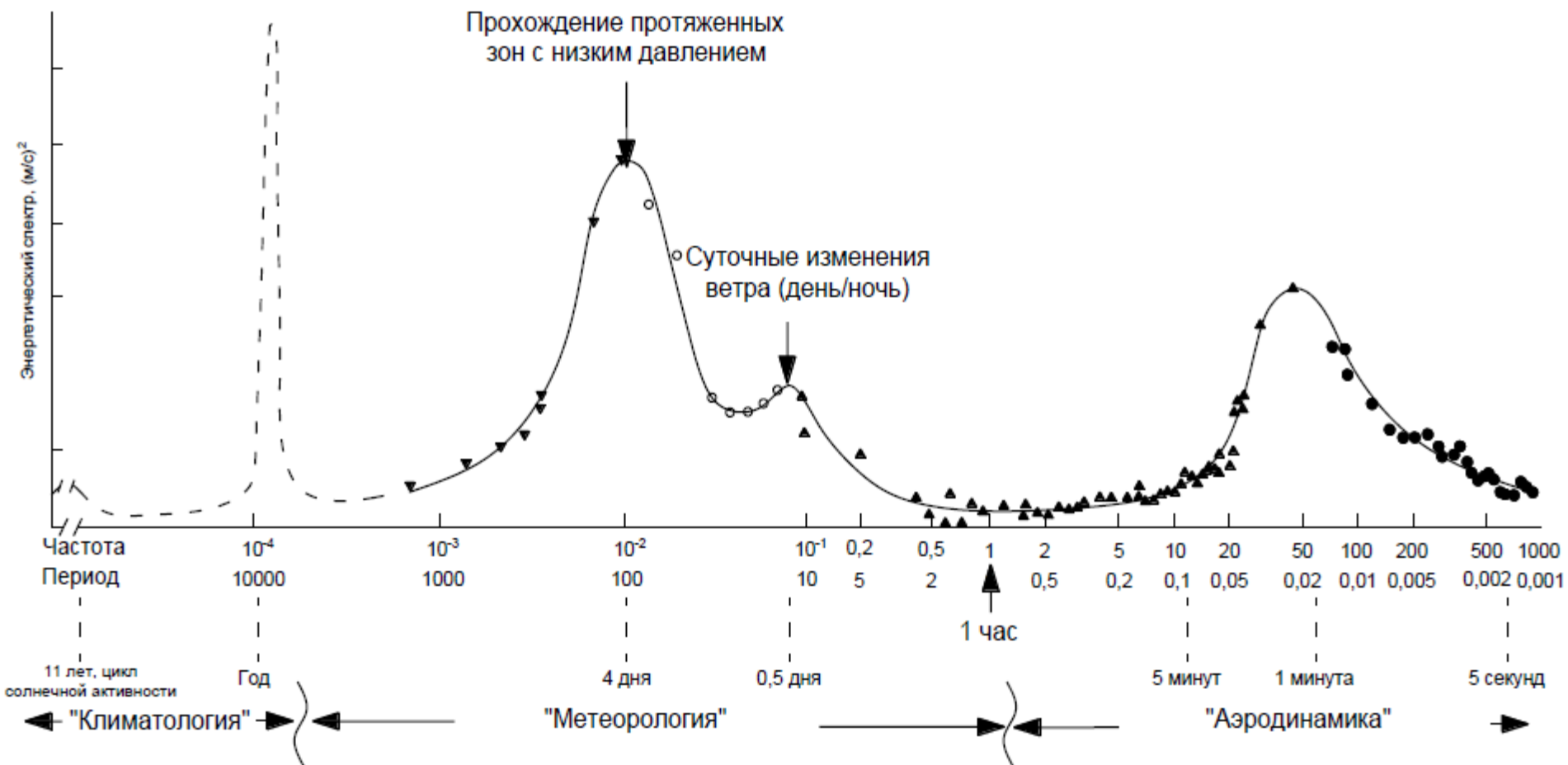
Уральский  
энергетический  
институт

12

# ПОТЕНЦИАЛ ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГИИ



# ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР ВЕТРА ПО ВАН ДЕР ХОВЕНУ



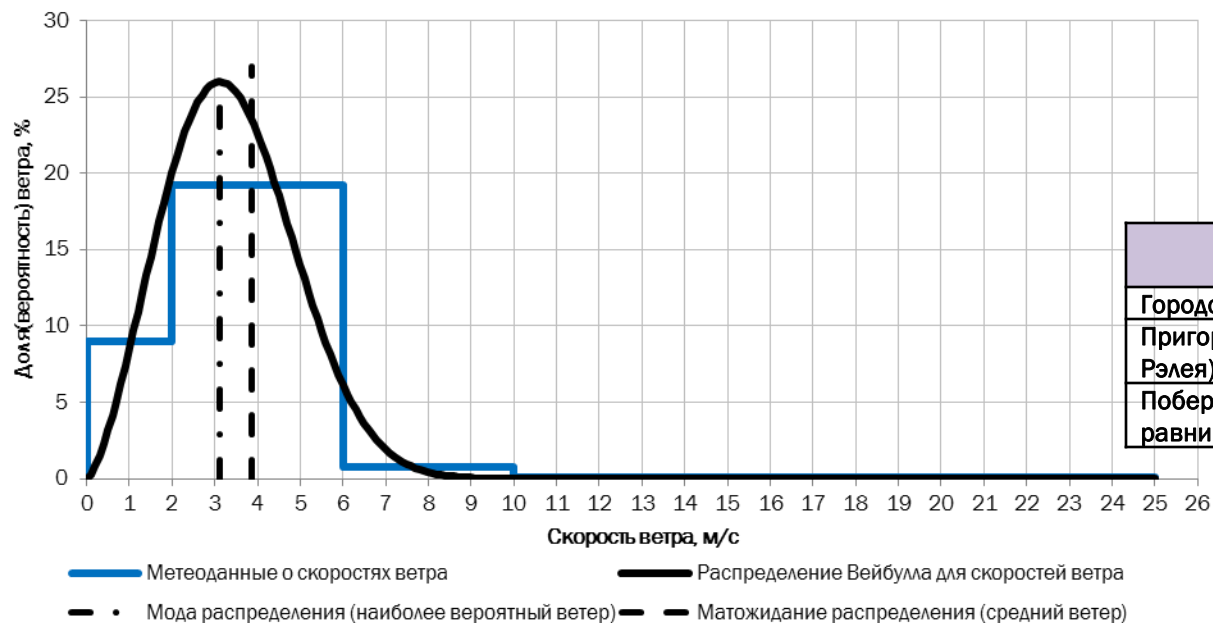


## РАСЧЁТ ВЕТРОВОЙ МОЩНОСТИ

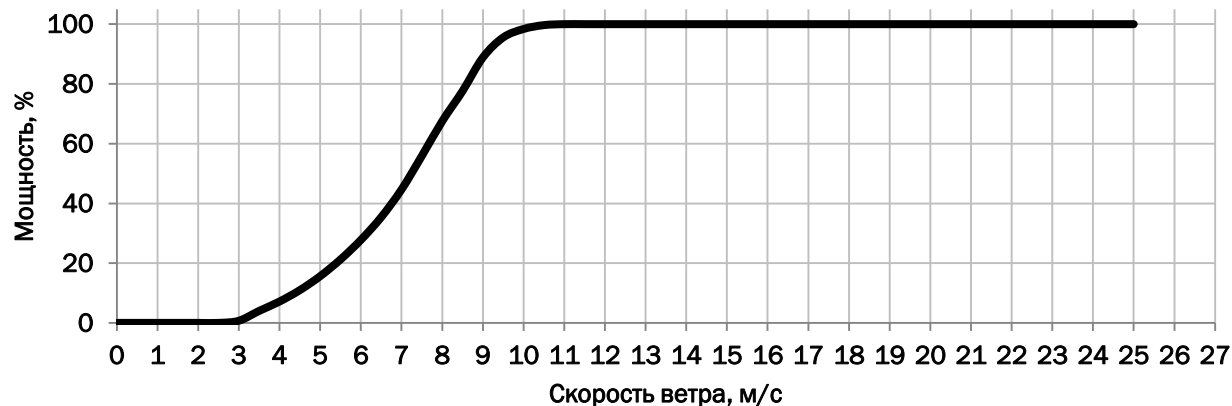
### Обеспеченность ветра

$$p(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp \left[ -\left(\frac{v}{c}\right)^k \right],$$

Тип местности	Коэффициент k	«Порывистость» ветра σ, %
Городская	1,260	80,0
Пригородная (распределение Рэлея)	2,000	52,0
Побережья морей, пустыни, равнинные леса	2,700	40,0

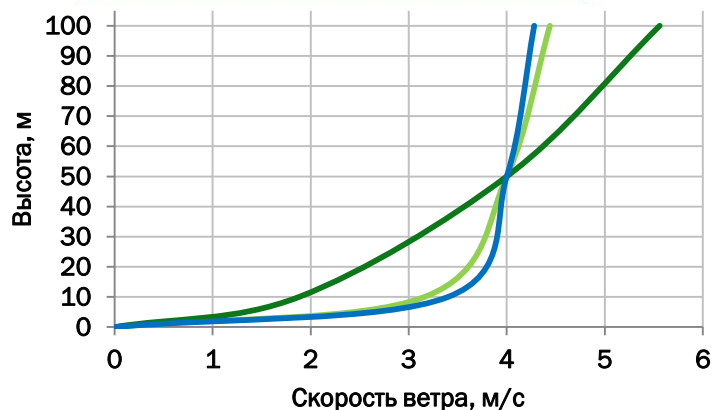


### Характеристика ветрогенератора



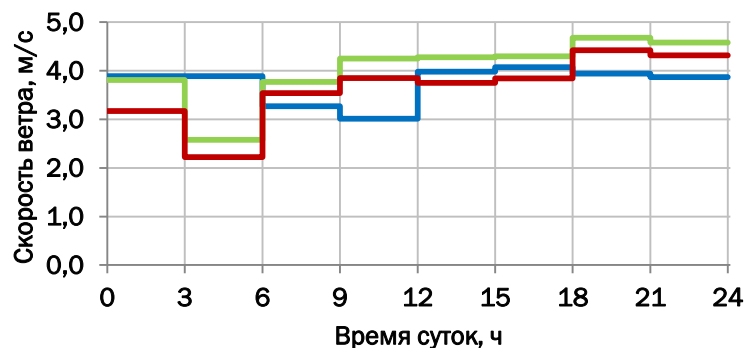


# КАРТА РАЙОНИРОВАНИЯ ПО ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГИИ

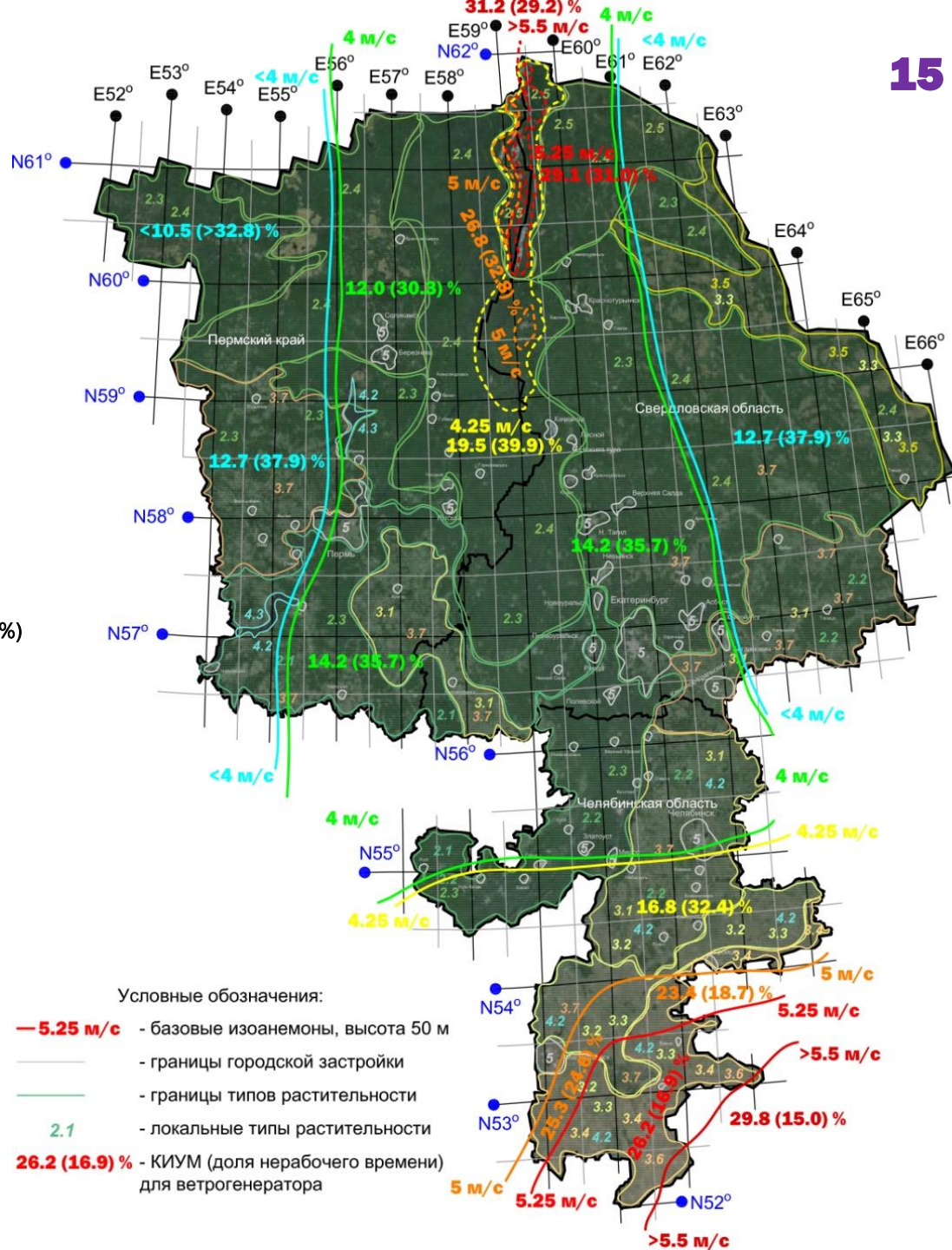


- «Аэропорт»: невысокая ровная трава
- 35 м широколиственные и вечнозеленые леса (густота 70 %)
- Открытые водные пространства

К базовым величинам скорости ветра, КИУМ и доле нерабочего времени применяются поправочные коэффициенты из таблиц.



- Январь (самый холодный)
- Май (самый ветренный)
- Июль (самый тёплый и безветренный)





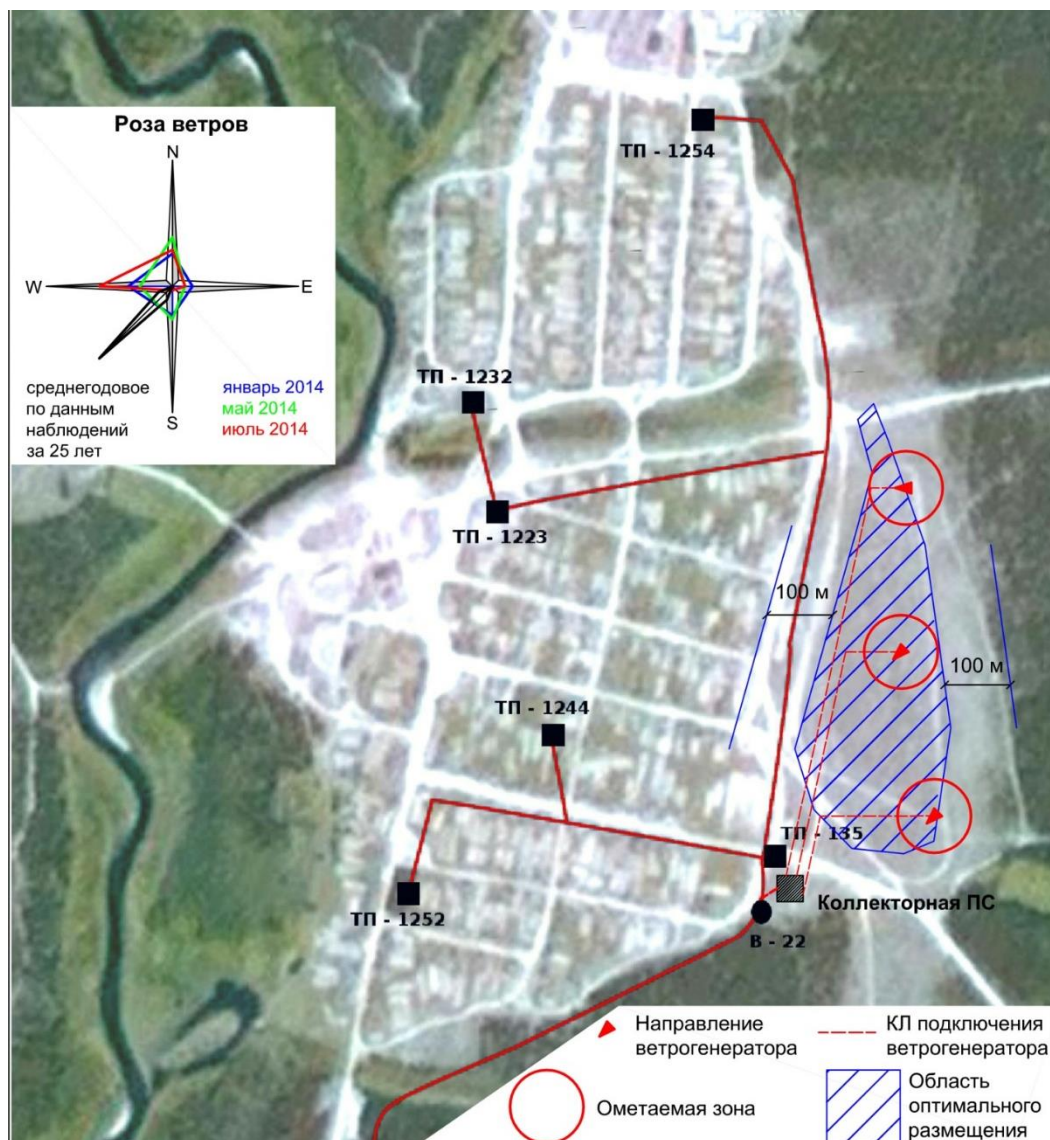
# КАРТА РАЙОНИРОВАНИЯ ЭЗ МРСК УРАЛА ПО ВЕТРУ

Обозначение		Тип ландшафта и растительности	Поправочные коэффициенты к КИУМ для преобладающего / островного типа на высоте, м		
№	Цвет		10	50	100
1. Базовое покрытие					
1		«Аэропорт»: невысокая ровная трава	-	1,00 / 1,00	1,33 / 1,33
2. Леса					
2.1		35 м широколиственные и вечнозеленые леса (густота 70 %)	-	- / 1,00	- / 2,50
2.2		20 м широколиственные и мелколиственные леса (густота 75 %)	-	- / 1,00	- / 1,95
2.3		20 м широколиственные и хвойные леса (густота 75 %)	-	1,00 / 1,00	2,50 / 2,20
2.4		17 м хвойные и вечнозеленые леса (густота 75 %)	-	1,00 / 1,00	2,20 / 1,95
2.5		14 м хвойные и мелколиственные леса (густота 50 %)	-	- / 1,00	- / 1,95
3. Лесостепи, степи, болота и тундры					
3.1		Лесостепь: 18 м широколиственные леса (густота 30 %) и травяной покров	-	1,00 / 1,00	1,40 / 1,40
3.2		0,6 м многолетний травяной или кустарниковый покров (густота 100 %)	0,25 / 0,30	1,00 / 1,00	1,52 / 1,42
3.3		0,5 м кусты (переменная густота) и травяной покров	0,25 / 0,30	1,00 / 1,00	1,52 / 1,42
3.4		0,5 м кусты (густота до 10 %) и почва без растительного покрова	0,25 / 0,30	1,00 / 1,00	1,52 / 1,42
3.5		Болота и тундра: 0,6 м карликовые деревья и кусты (переменная густота) и травяной покров	-	1,00 / 1,00	- / 1,42
3.6		Почва без растительного покрова	0,25 / 0,30	1,00 / 1,00	1,52 / 1,42
3.7		Сельскохозяйственные земли: 20 м широколиственные и мелколиственные леса (густота до 10 %) + посевы	-	1,00 / 1,00	1,40 / 1,40
4. Снега, льды и водные пространства					
4.1		Неровный и талый снег или лед	-	- / 1,00	- / 1,30
4.2		Гладкий протяженный снег или лед	0,53 / 0,58	1,00 / 1,00	1,26 / 1,21
4.3		Открытые водные пространства	0,55 / 0,60	1,00 / 1,00	1,26 / 1,21
4. Пригородная зона					
5		Пригородная зона	-	1,00 / 1,00	1,25 / 1,25





## ПРИМЕРЫ ИЗ РАСЧЁТА МОЩНОСТИ ВЭС ДЛЯ ТОЧКИ 61° С.Ш.



Параметр	Значение	Характеристика
Коэффициент использования установленной ветровой мощности зима/лето, %	6,0 / 2,4	нецелесообразность применения ветрогенерации
Установленная ветровая мощность единичная/суммарная, кВт	2500 / 7500	нецелесообразность применения ветрогенерации
Средняя мощность при прямом ветре, %	7,0	нецелесообразность применения ветрогенерации
Доля нерабочего времени ниже скорости включения, %	41,7	нецелесообразность применения ветрогенерации
Годовая выработка электроэнергии, млн. кВтч	3,99	низкая целесообразность, избыток ветрогенерации
Повышение надёжности, %	0	низкая целесообразность применения ветрогенерации
Инфраструктура для доставки ветрогенераторов	нет	нецелесообразность применения ветрогенерации
Габариты площадки для размещения ветропарка, м	700 × 400	целесообразность применения ветрогенерации





Кафедра

Автоматизированные  
Электрические Системы



Уральский  
федеральный  
университет

имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина

Уральский  
энергетический  
институт

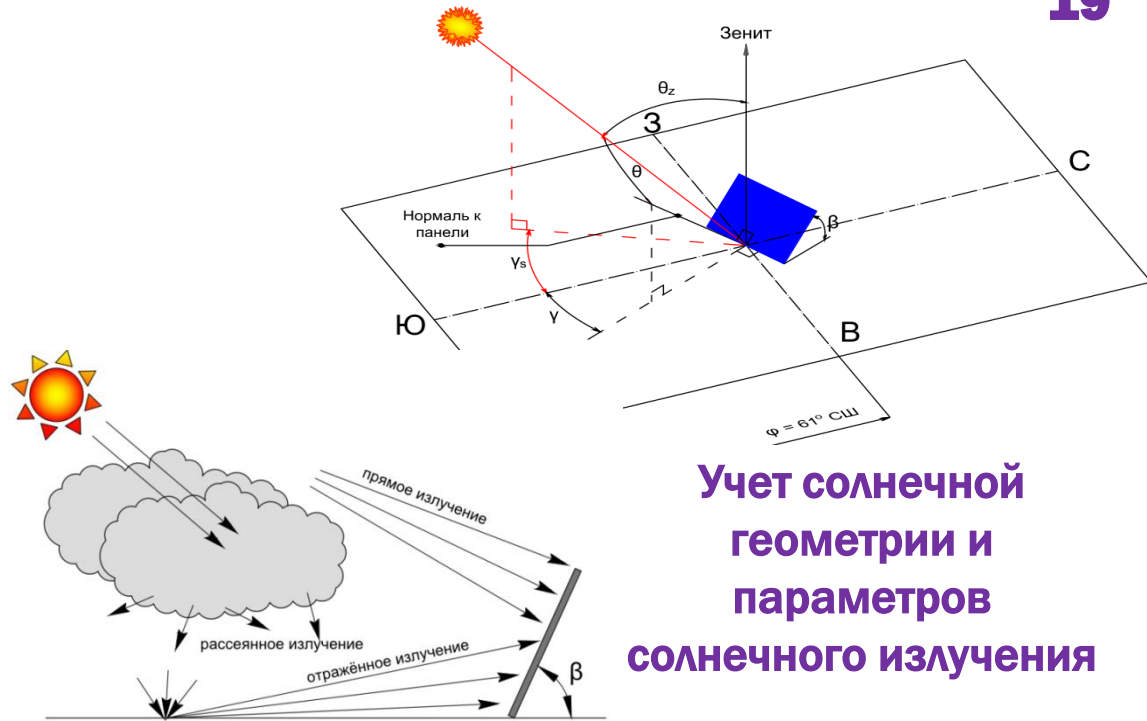
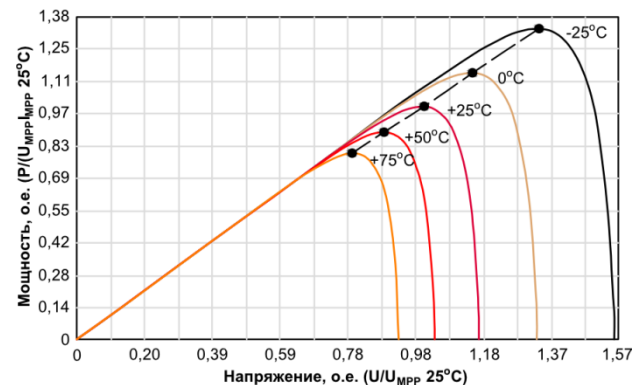
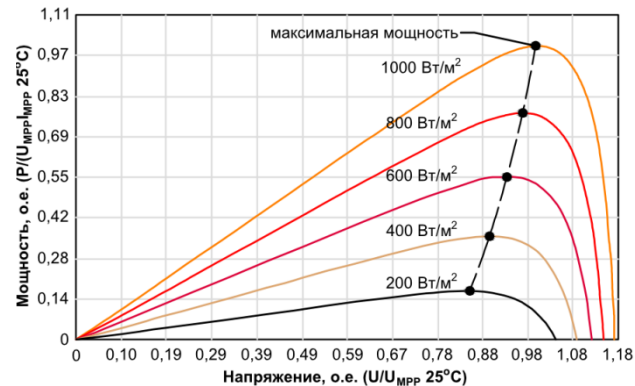
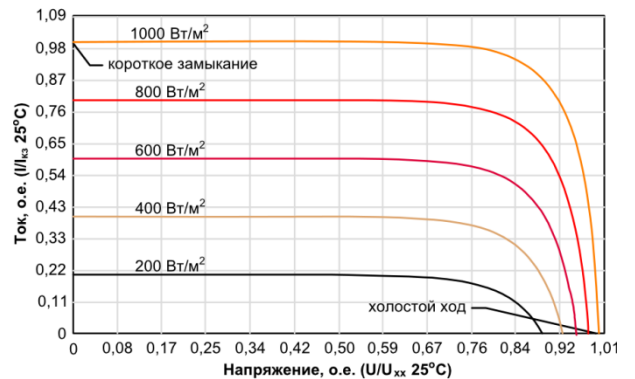
18

# ПОТЕНЦИАЛ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

# РАСЧЁТ МОЩНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

19

## Учет характеристик фотоэлектрических модулей



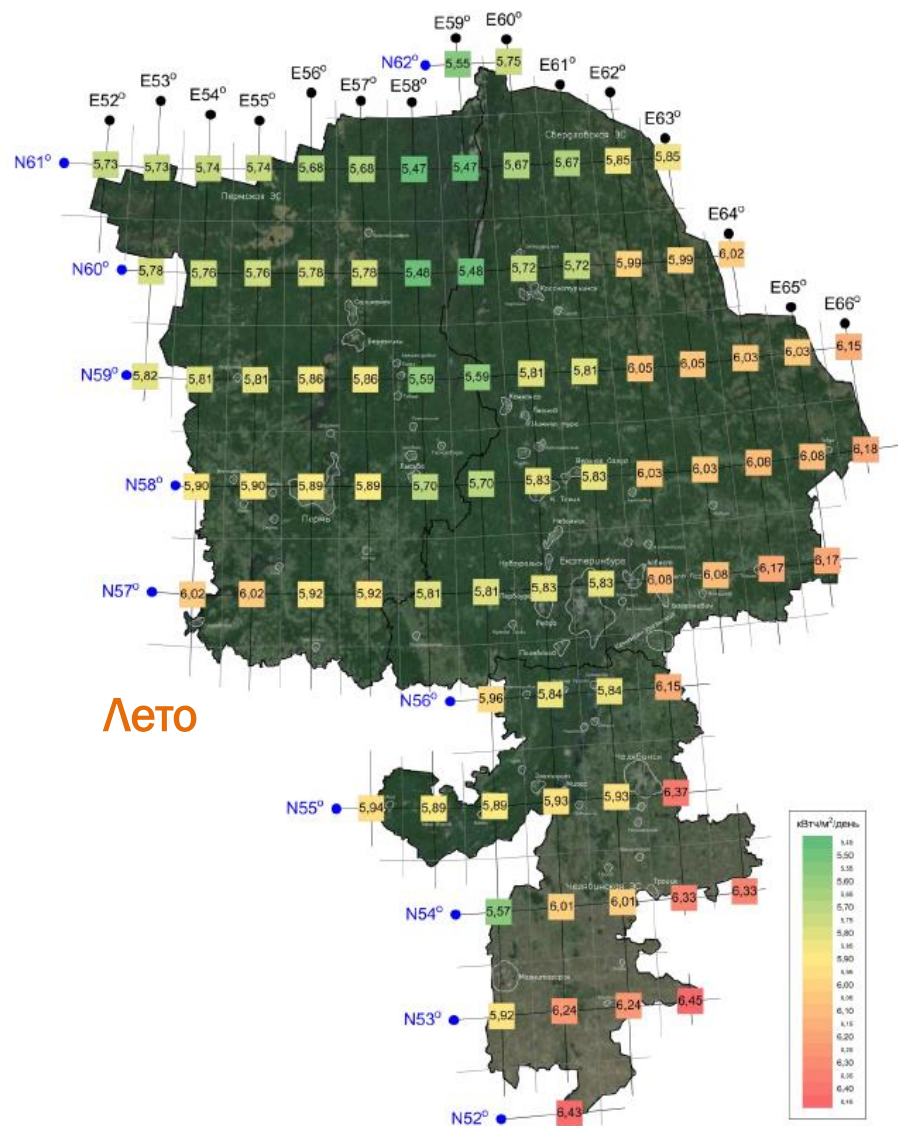
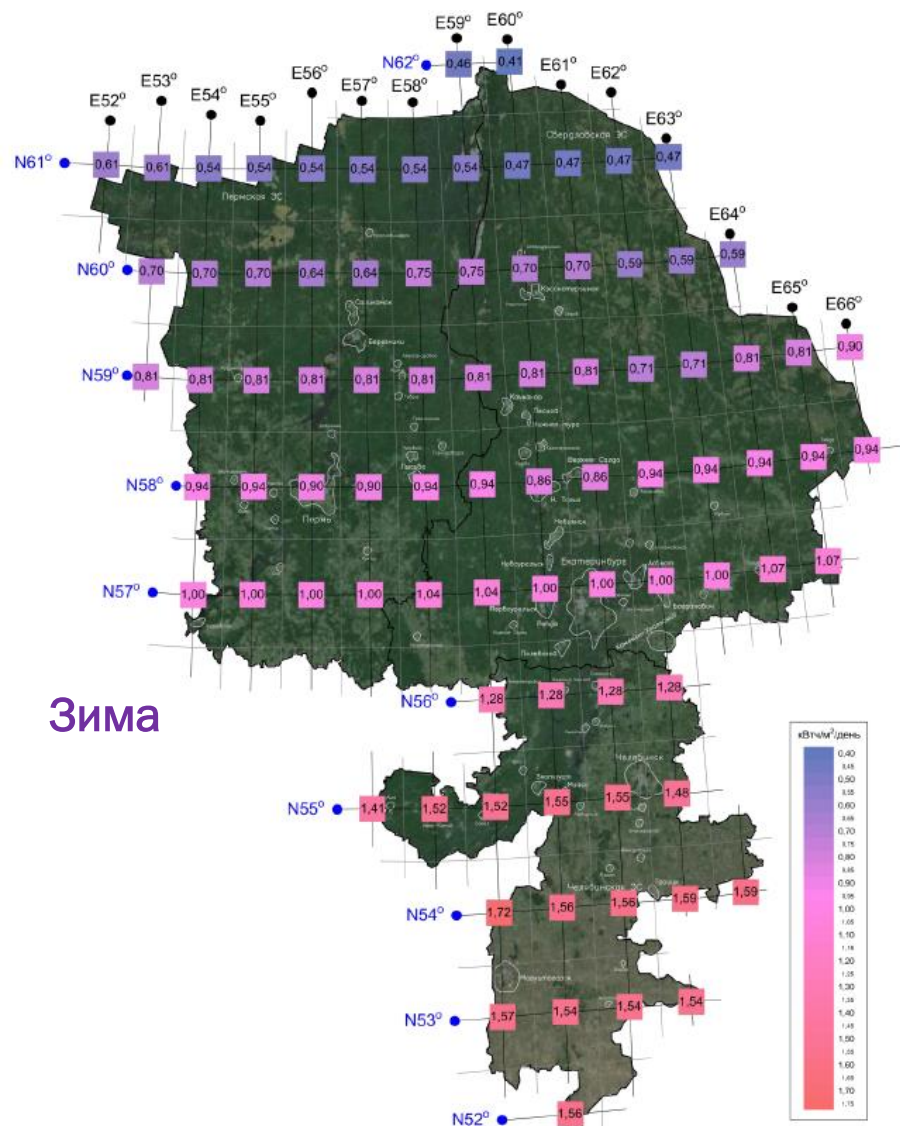
## Учет солнечной геометрии и параметров солнечного излучения

Фактор	Значение	Диапазон
Номинальное напряжение (2-48 В)	0,950	0,80 - 1,05
Потери в инверторе и трансформаторе	0,920	0,88 - 0,98
Несоответствие панелей заявленным характеристикам	0,980	0,97 - 0,995
Токи утечек диодов и потери в контактных соединениях	0,955	0,99 - 0,997
Потери в основных КЛ постоянного тока	0,980	0,97 - 0,99
Потери в основных КЛ переменного тока	0,990	0,98 - 0,993
Загрязнение поверхности солнечных панелей	0,950	0,30 - 0,995
Готовность системы к приему мощности	0,980	0,00 - 0,995
Затенение панелей	1,000	0,00 - 1,00
Точность работы трекера (при наличии)	1,000	0,95 - 1,00
Деградация характеристик панелей со временем (1 %/год)	0,980	0,70 - 1,00
КПД накопителя	0,820	0,75-0,95
Общий коэффициент потерь	<b>0,594</b>	—

КПД ФЭ модуля в расчетах 15%



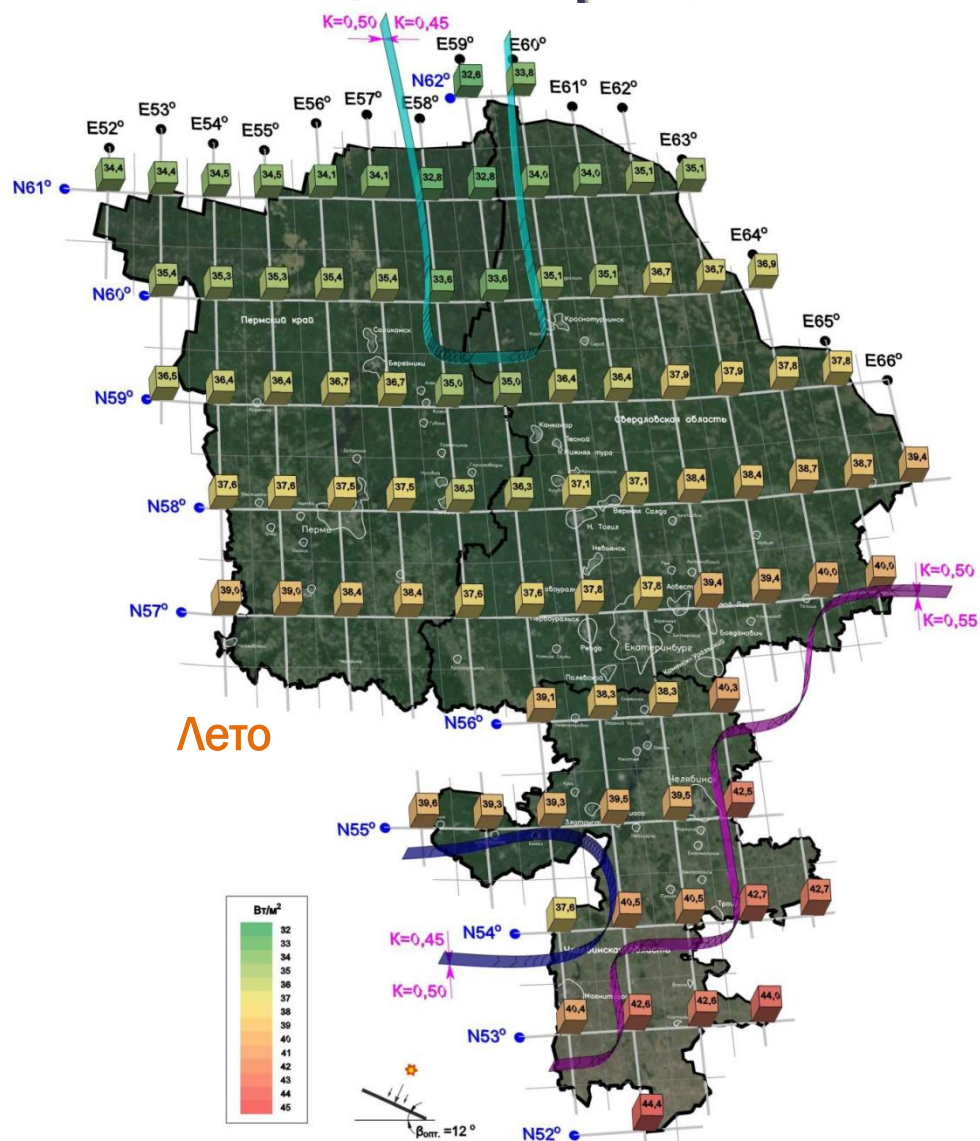
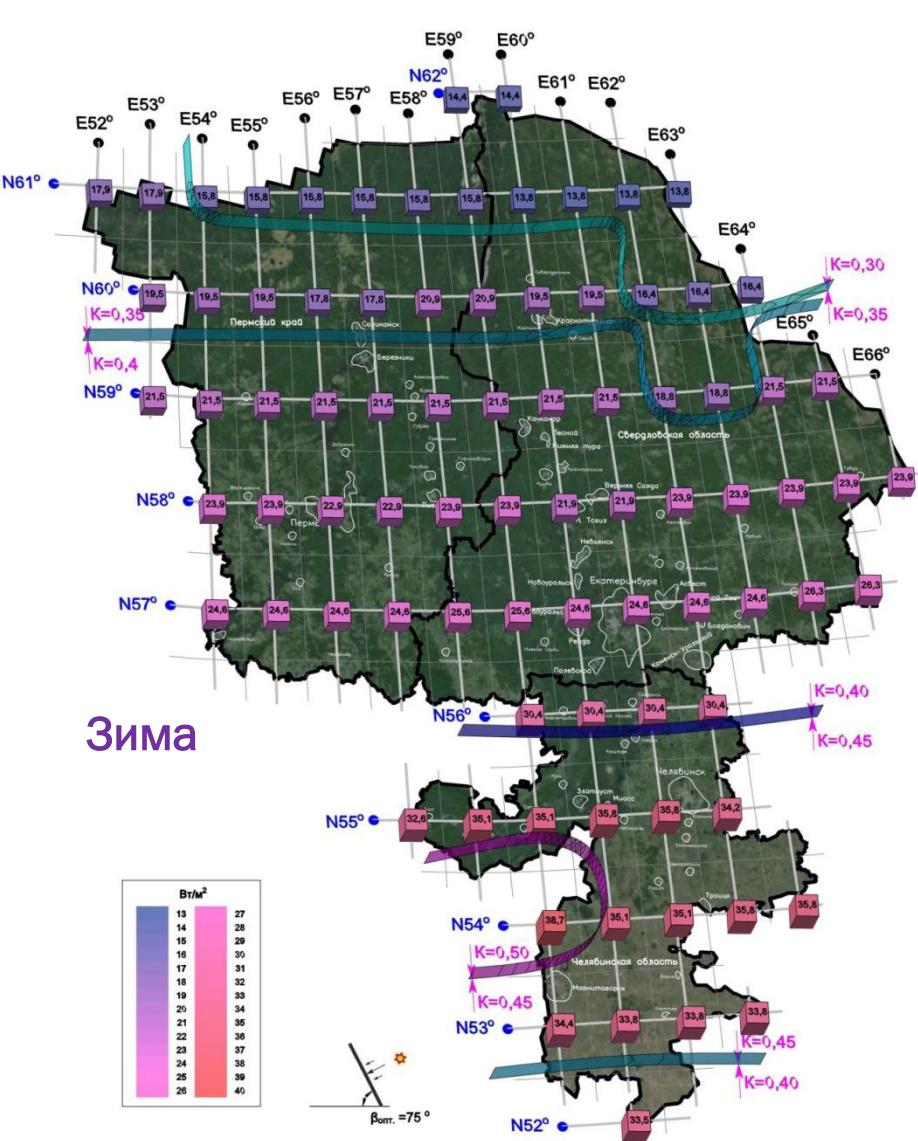
# КАРТА РАЙОНИРОВАНИЯ УРАЛА ПО ФЭ ЭНЕРГИИ





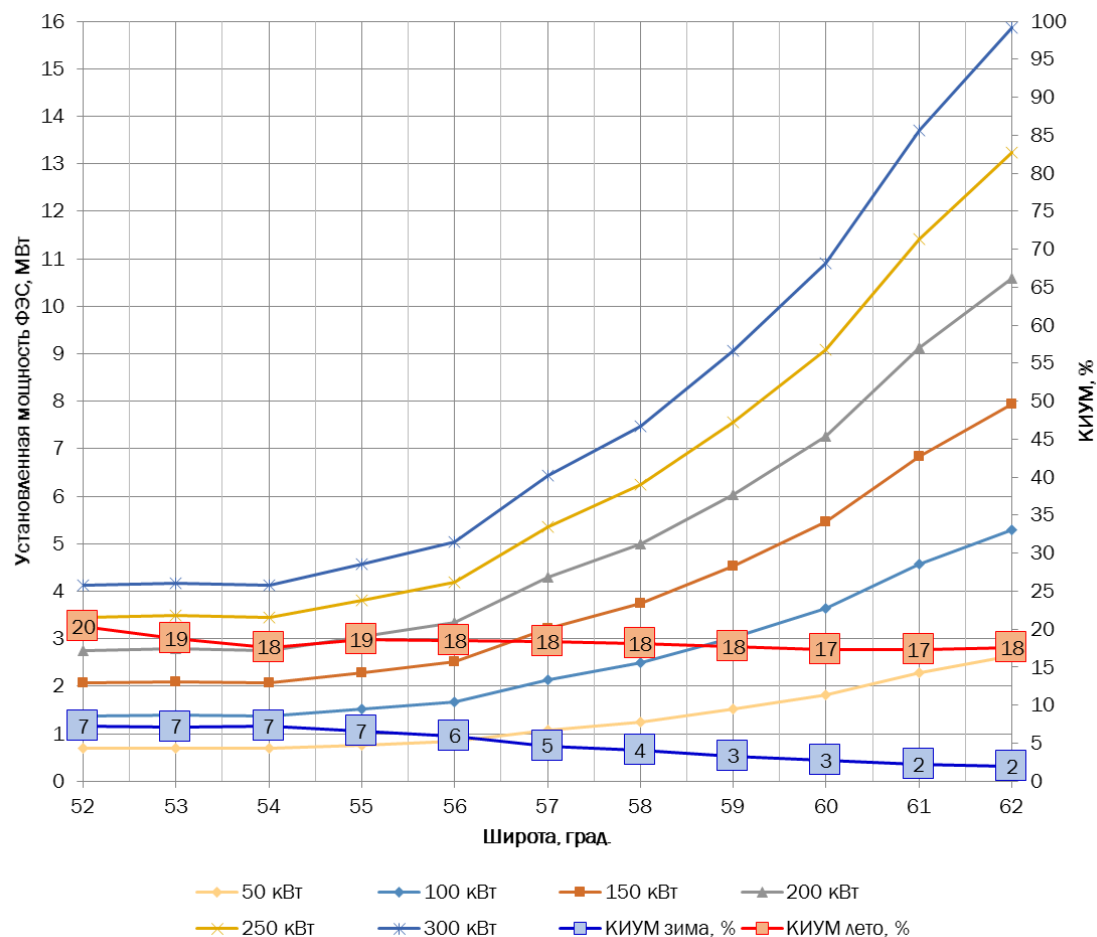


# КАРТА РАЙОНИРОВАНИЯ УРАЛА ПО ФЭ МОЩНОСТИ





## КАРТА РАЙОНИРОВАНИЯ УРАЛА ПО ФЭ ЭНЕРГИИ

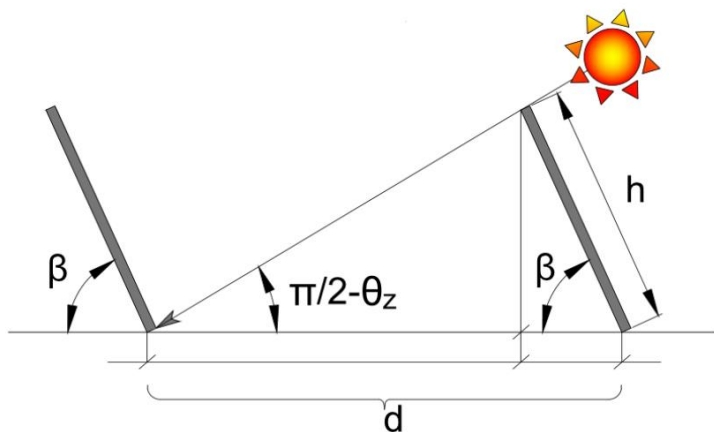


Шир.	Энергия, кВт*ч/м <sup>2</sup> /день		Мощность, Вт/м <sup>2</sup>	
	Зима	Лето	Зима	Лето
62	0,41	5,75	14,4	32,6
52	1,56	6,43	33,5	44,4

Резкий рост установленной мощности и снижение КИУМ солнечных панелей при их размещении на Северном Урале.

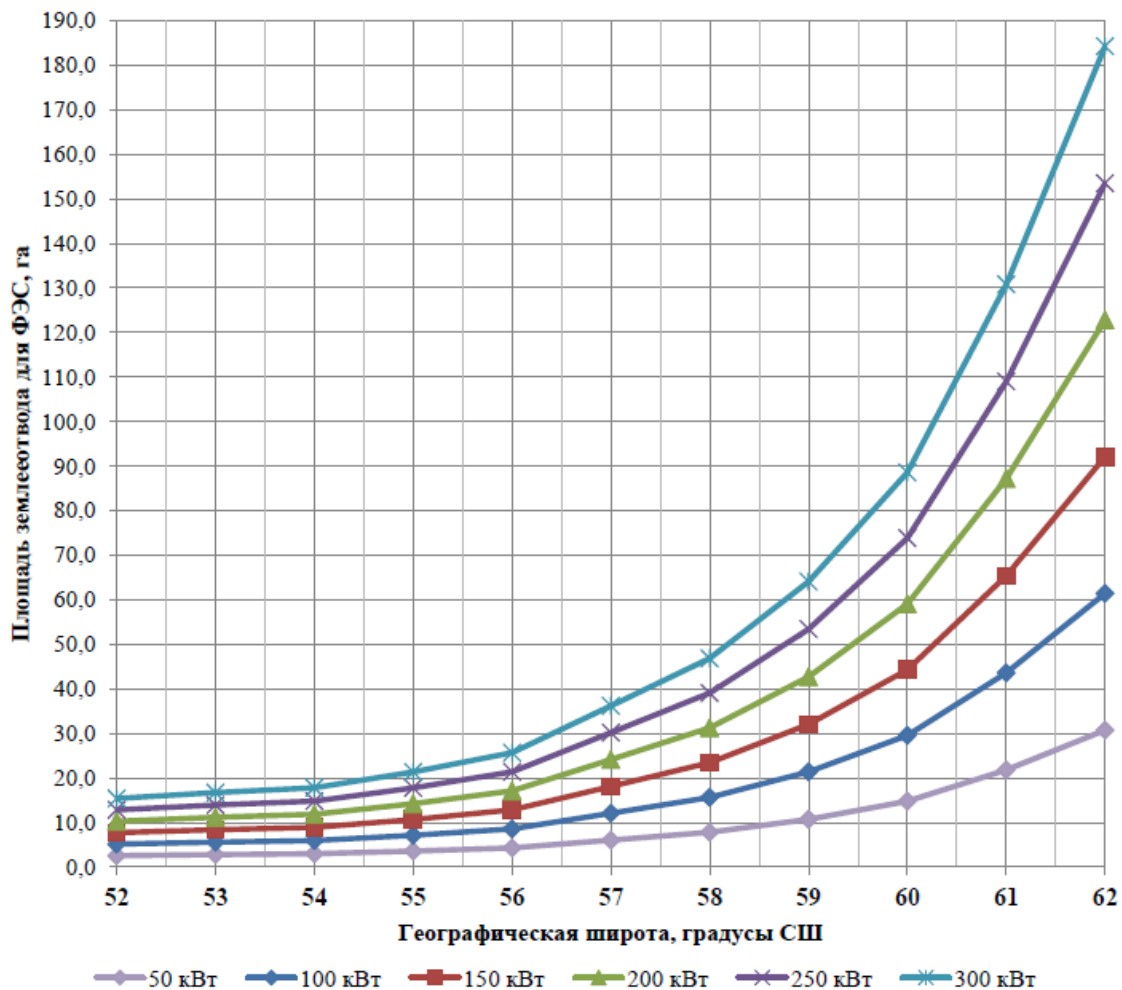


## КАРТА РАЙОНИРОВАНИЯ УРАЛА ПО ФЭ ЭНЕРГИИ



+ не менее 200 м полоса вырубki леса  
для исключения затенения панелей с юга

Протяженность цепочек З-В ограничивается  
падением напряжения в струне ФЭС и  
необходимостью строительства  
дополнительных коллекторных ПС СН/НН

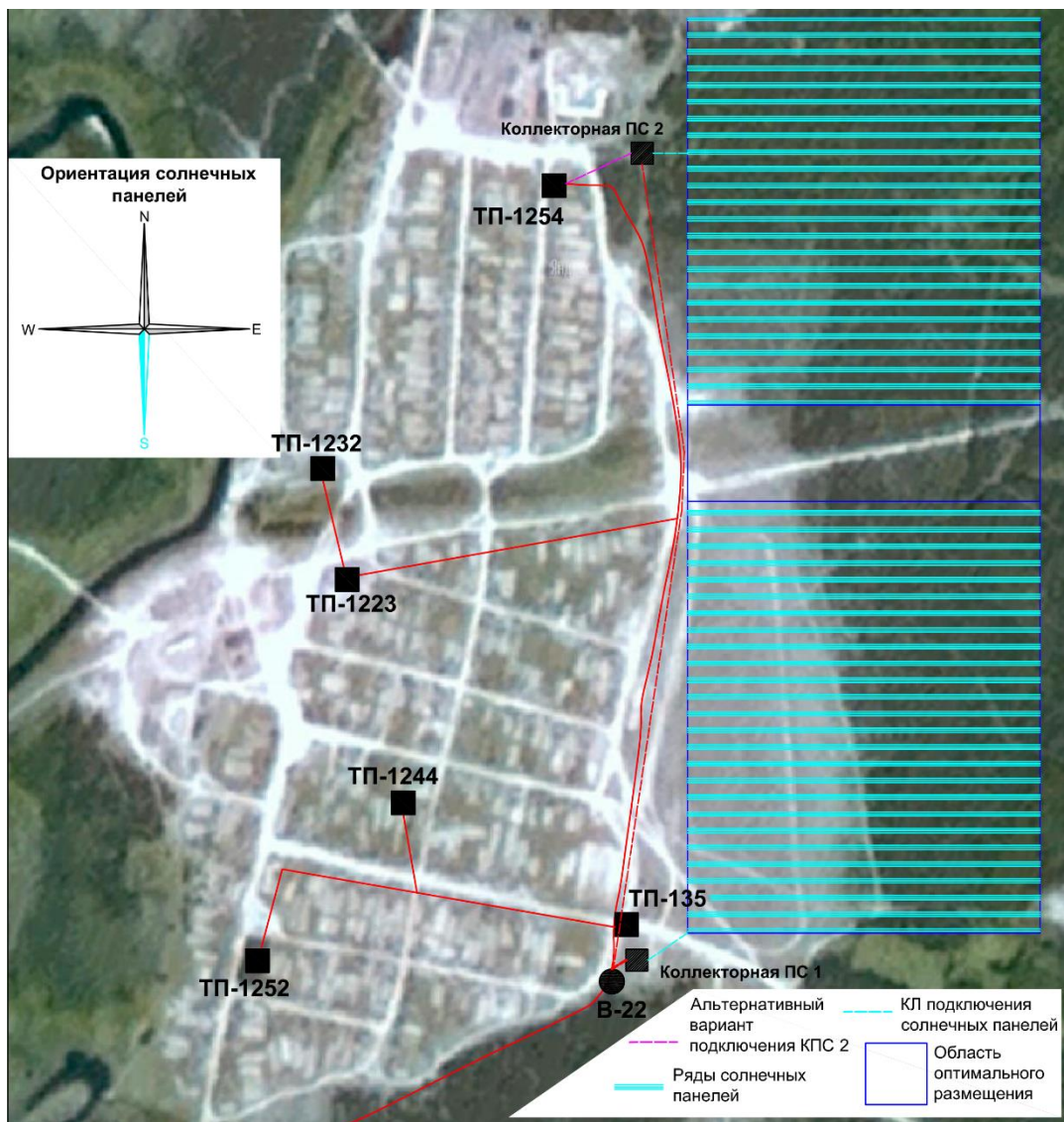


Резкий рост площади землеотвода для исключения взаимного затенения солнечных панелей при их размещении на Северном Урале.





## ПРИМЕРЫ ИЗ РАСЧЁТА МОЩНОСТИ СЭС ДЛЯ ТОЧКИ 61° С.Ш.



Параметр	Значение	Характеристика
Установленная солнечная мощность суммарная, кВт	12000	нецелесообразность применения ФЭП
Мощность солнечных панелей при нахождении солнца в самой высокой точке зима/лето, кВт	2800 / 7900	низкая целесообразность применения ФЭП
Наименьшая мощность в пасмурный день, % / период	40 / 1 день	целесообразность применения ФЭП
Средняя пониженная мощность в пасмурный день, % / период	56,6 / 6,06 дней	целесообразность применения ФЭП
Эквивалентное количество дней пониженной мощности, шт. / период	6,06 / 14 дней	целесообразность применения ФЭП
Доля отключаемых солнечных панелей при переполнении накопителя летом, %	75	низкая целесообразность применения ФЭП
Площадь и количество солнечных панелей, м <sup>2</sup> /шт.	75000 / 50000	нецелесообразность применения ФЭП
Оптимальный угол наклона солнечных панелей к горизонтали, °	77	—
Расстояние между рядами для исключения затенения, м	9,5	—
Размер площадки под размещение солнечных панелей, м	600 × 1400	нецелесообразность применения ФЭП





## РЕЙТИНГ РАЙОНОВ УРАЛА ПО ПОТЕНЦИАЛУ ВИЭ

### Ветер

Место	Вариант (ы)
1.	Брединский, Карталинский, Варненский Челябинской области
2.	Кизильский, Агаповский, Нагайбакский и Чесменский Челябинской области
3.	Горные северо-восточные территории Красновишерского Пермского края
4.	Горные западные территории Ивдельского ГО Свердловской области
5.	Большая часть Урала

### Солнце

Место	Вариант (ы)
1.	Брединский, Карталинский, Варненский, Кизильский, Агаповский, Нагайбакский и Чесменский Челябинской области
2.	Центральная часть Челябинской области
3.	Большая часть Урала



Кафедра

Автоматизированные  
Электрические Системы



Уральский  
федеральный  
университет

имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина

Уральский  
энергетический  
институт

26

# СТРОИТЕЛЬСТВО МАЛЫХ ГЭС



## ПАРАМЕТРЫ МАЛЫХ ГЭС НА РЕКАХ

### 1. Параметры рек

Параметр	Значение	Характеристика
Уровень воды паводок/лето/ мин, м	2,5 / 1,5 / 1	-
Средний уклон, м/км	0,2	Низкий
Средняя скорость, м/сек	30	Низкая
Среднегодовой сток, м <sup>3</sup> /сек	17-22	Низкий
Средняя глубина промерзания, м	0,35	Средняя
Максимальная глубина промерзания, м	1	Высокая
Напор воды, м	0,19	Низкий

### 1. Параметры ГЭС

Параметр	Значение	Характеристика
Минимальный напор, м	2	-
Эффективный напор, м	3	-
Вариант 1: Протяженность подводящих сооружений, км	4	Большая
Вариант 2: Минимальная высота плотины, м	2,2	Большая
Мощность, кВт	316	Средняя

→ Недостаток напора. Большой объем гидротехнического строительства, непостоянная мощность.



Кафедра

Автоматизированные  
Электрические Системы



Уральский  
федеральный  
университет

имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина

Уральский  
энергетический  
институт

28

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОГО БИОТОПЛИВА



# ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОТОПЛИВА

## ❌ 1. Биореактор (биометан) + газопоршневые установки.

- Отсутствие растениеводства или его отходов на удаленных территориях, эффективные биореакторы для поголовья КРС от 50 голов (а ещё необходимо обеспечивать «производительность» КРС!);
- Экспоненциальная зависимость скорости химических реакций в биореакторе с пороговым эффективным значением порядка  $+25^{\circ}\text{C}$ . Необходимость установки биореактора в помещении, или промышленной теплоизоляции, или подогрева.



## ❌ 2. Установка гидролиза (биоэтанол) + многотопливные поршневые установки.

- Социальные риски на удаленных территориях.

## ✅ 3. Газогенератор (синтез-газ из древесных отходов) + многотопливные поршневые установки.

- Опилки, щепа, стружка, дрова, топливные брикеты, пеллеты и гранулы.

Усредненные параметры для расчета генерации на синтез-газе	Значение	Характеристика
Плотность газа, кг/м <sup>3</sup>	1,125	Двукратный разброс в зависимости от качества древесины
Выход газа, м <sup>3</sup> /кг древесины	2,0	
Теплотворная способность древесины, кВт*ч/кг	1,54	
Отношение параметров древесины: опилки (стружка, щепа)	1,2 : 1	
Средняя плотность дерева, кг/м <sup>3</sup>	500	
Доля опилок (стружки, щепы) в лесозаготовочном производстве, %	12	Низкая
Теплотворная способность древесного газа, ккал/кг (кВт*ч/м <sup>3</sup> )	3000 (3,086)	
КПД генерирующей установки, %	30	Низкий
Масса древесины для годового недоотпуска 72 ч - III категория - 100 кВт, кг	18 680	Высокая
Пиковый расход древесины при мощности 100 кВт, кг/час	260	Низкий

→ Резервирование электроснабжения при наличии лесозаготовочного производства, его отходов, производственного цикла с древесиной или древесного топлива в лесистой части Урала.





Кафедра

Автоматизированные  
Электрические Системы



Уральский  
федеральный  
университет

имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина

Уральский  
энергетический  
институт

30

# **ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ВИЭ**



## ВЫБОР ВАРИАНТОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Оценка энергетического  
потенциала и/или  
целесообразности  
отдельных источников

ВЭС

ФЭС

Мини-ГЭС

...

Техническая  
эффективность  
автономных  
систем

ВЭС + АКБ

ФЭС+АКБ

ВЭС + ДЭС + АКБ

Техническая  
эффективность  
систем  
резервирования

АКБ

ФЭС + АКБ

ВЭС + АКБ

2×ВЛ 10 кВ

Экономическая оценка эффективности различных  
вариантов для периода планирования 25 лет

Уход от расчета методом дисконтирования по следующим причинам:

1. Необходимость детального учета затрат на эксплуатацию;
2. Ставка рефинансирования 2014-2015 непостоянна;
3. Предварительные расчеты срока окупаемости методом дисконтирования показали сроки окупаемости более 11 лет – неэффективность привлечения частных бизнеса, инвестиций и банковского капитала. Варианты целевого выделения средств на социальные проекты по освоению удаленных территорий, госгарантии и т.д.

→ Смена постановки задачи. Переход к методу кумулятивных затрат



# ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ

## Пример целевой функции затрат

$$Z_{ACЭ} = K_{ДГУ} + \frac{c_{ДГУ\%} K_{ДГУ}}{100} \int_{t=0}^T [(1+\mu)^t dt] + \frac{C_{0диз} V_{диз}}{10^6} \int_{t=0}^T [[(1+\delta)(1+\alpha)]^t dt] + \sum_t [N_{кап.рем.t} \cdot c_{кап.рем.} \cdot (1+\psi)^t] + K_{АКК} + \frac{c_{АКК\%} K_{АКК}}{100} \int_{t=0}^T [(1+\mu)^t dt] + K_{ВЭС} + \frac{c_{ВИЭ\%} K_{ВЭС}}{100} \int_{t=0}^T [(1+\mu)^t dt],$$

$Z_{ДГУ}$  - суммарные приведённые затраты на строительство АСЭ на этапе  $t$ , млн.руб.;

$T$  - горизонт планирования, лет;

$K_{ДГУ}$  - капиталовложения на дизель-генераторную установку, млн.руб.;

$K_{АКК}$  - капиталовложения на накопитель электрической энергии, млн.руб.;

$K_{ВЭС}$  - капиталовложения на ветропарка, млн.руб.;

$c_{ДГУ\%}$  - удельные издержки на обслуживание дизель-генераторной установки, %;

$c_{кап.рем.}$  - стоимость капитального ремонта одной дизель-генераторной установки, млн.руб.;

$c_{АКК\%}$  - удельные издержки на обслуживание накопителя электрической энергии, %;

$c_{ВИЭ\%}$  - удельные издержки на эксплуатацию ветропарка, %;

$\delta$  - рост электропотребления п. Керос, %/год;

$\mu$  - рост стоимости обслуживания, %/год;

$\alpha$  - рост стоимости дизельного топлива, %/год;

$\psi$  - рост стоимости капитального ремонта дизель-генераторной установки, %/год;

$C_{0диз}$  - текущая стоимость дизельного топлива, руб./л;

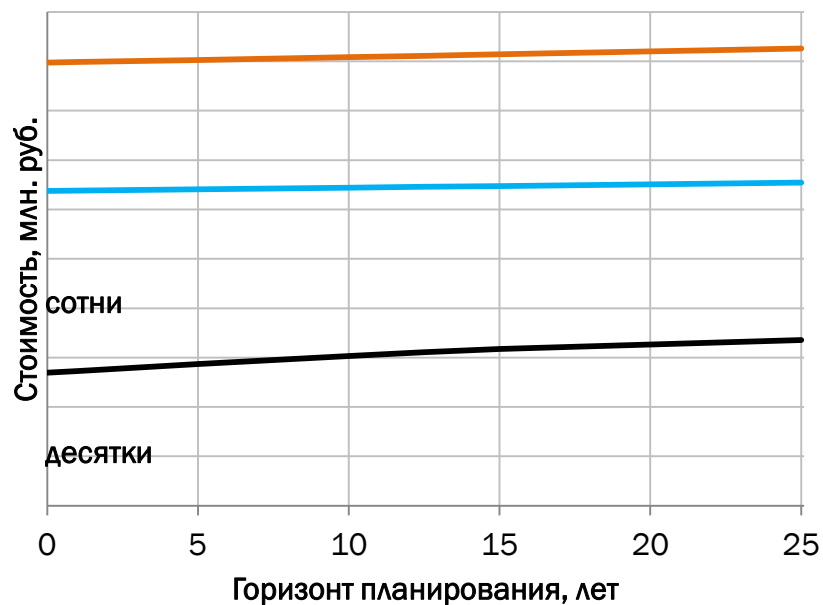
$V_{диз}$  - годовой объём дизельного топлива, л;

$N_{кап.рем.t}$  - количество капитальных ремонтов дизельных генераторов учтённых на этапе  $t$ , шт.



# ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ

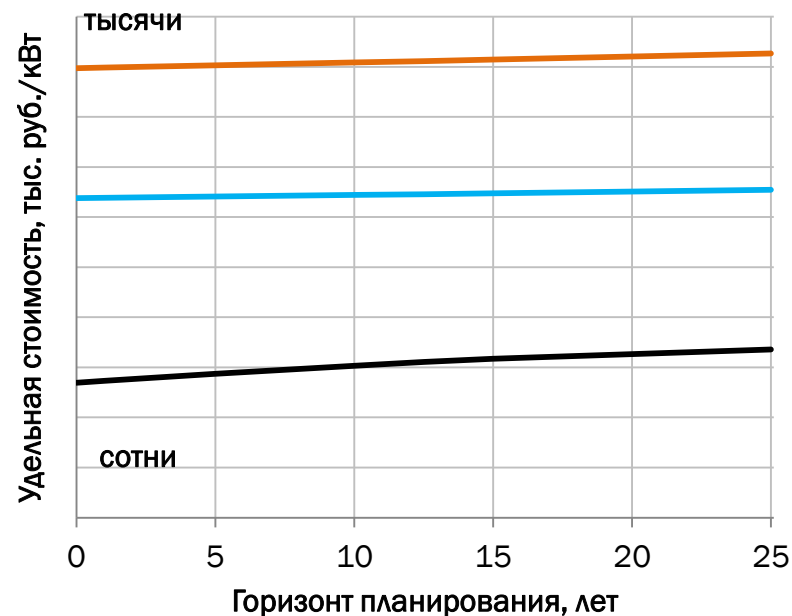
## Графики затрат для простых вариантов электроснабжения



— Вариант 1 - Одна линия

— Вариант 2 - Ветрогенерация на полную мощность

— Вариант 3 - Солнечная генерация на полную мощность



— Вариант 1 - Одна линия

— Вариант 2 - Ветрогенерация на полную мощность

— Вариант 3 - Солнечная генерация на полную мощность

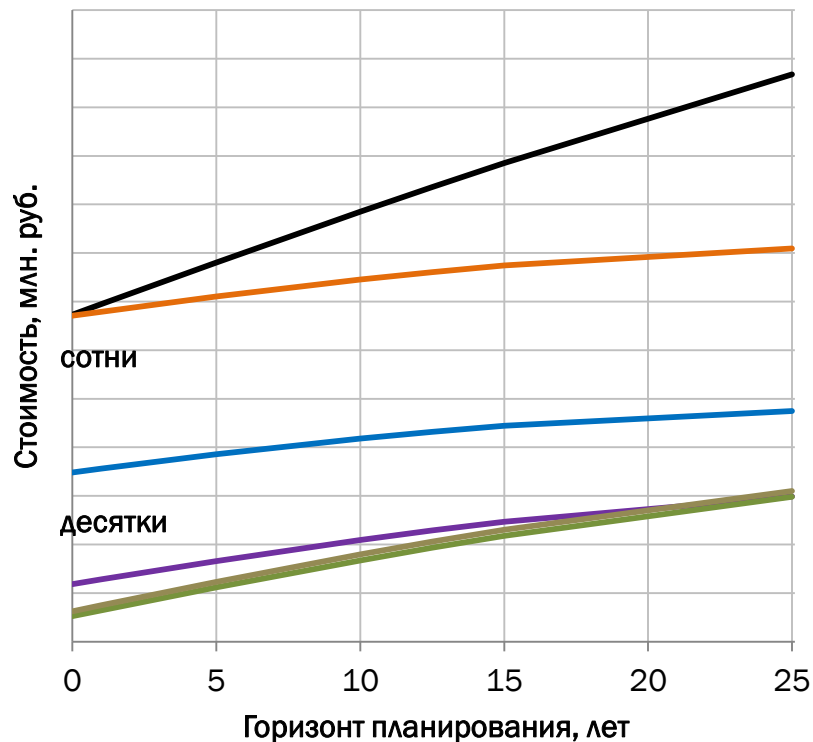
**Удаленный на 60 км по трассе ВЛ-10  
потребитель мощностью 450 кВт, 61° С.Ш.**



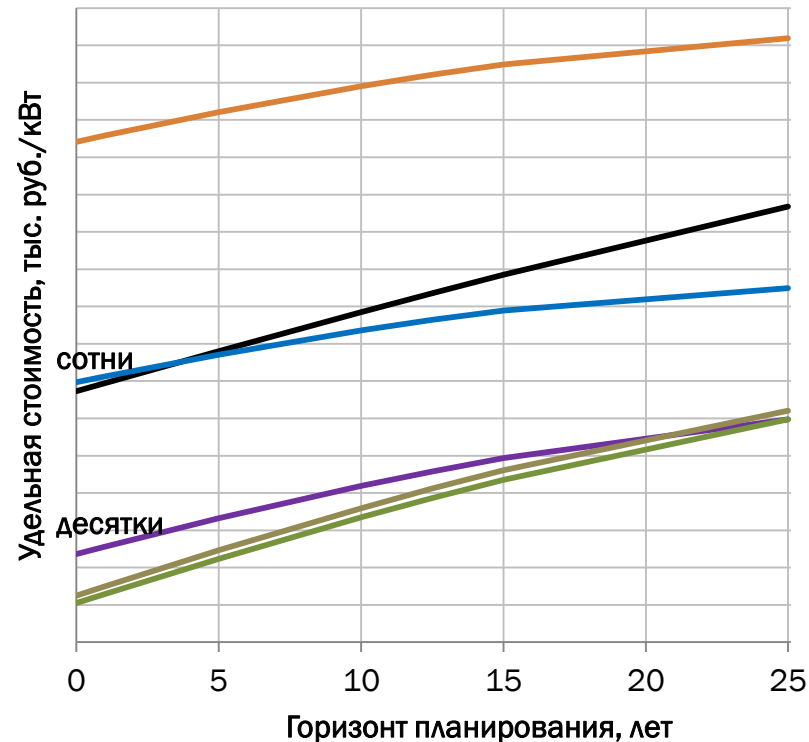


# ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ

## Графики затрат для систем резервирования



- Вариант 1 - Вторая ВЛ
- Вариант 2 - Резервирование с помощью накопителя
- Вариант 3 - Резервирование с помощью накопителя и ветрогенерации
- Вариант 4 - Резервирование с помощью накопителя и фотоэлектрической генерации
- Вариант 5 - Резервирование с помощью дизельного генератора

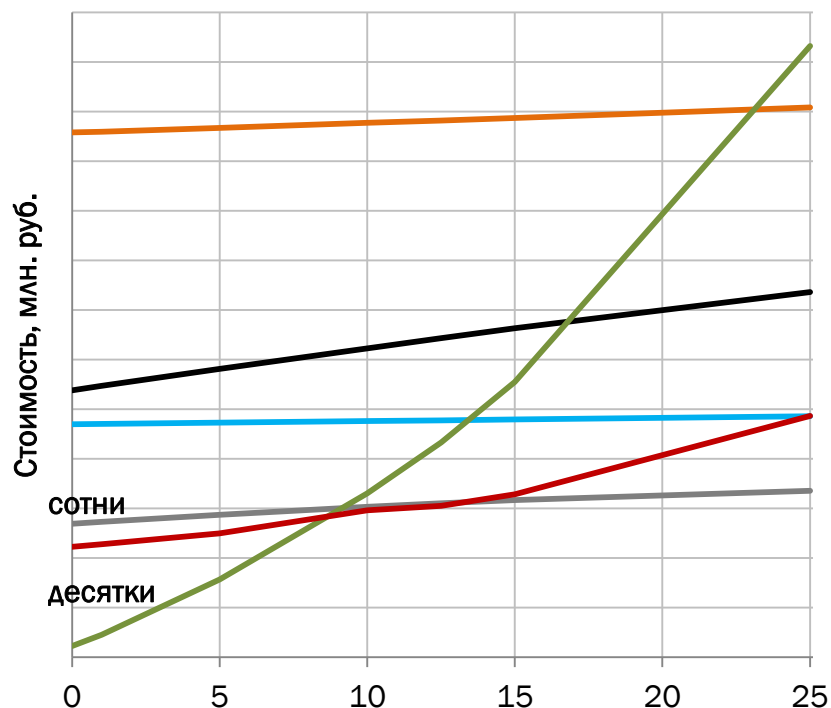


- Вариант 1 - Вторая ВЛ
- Вариант 2 - Резервирование с помощью накопителя
- Вариант 3 - Резервирование с помощью накопителя и ветрогенерации
- Вариант 4 - Резервирование с помощью накопителя и фотоэлектрической генерации
- Вариант 5 - Резервирование с помощью дизельного генератора
- Вариант 6 - Резервирование с помощью многоотопливного генератора с топливом из древесных опилок



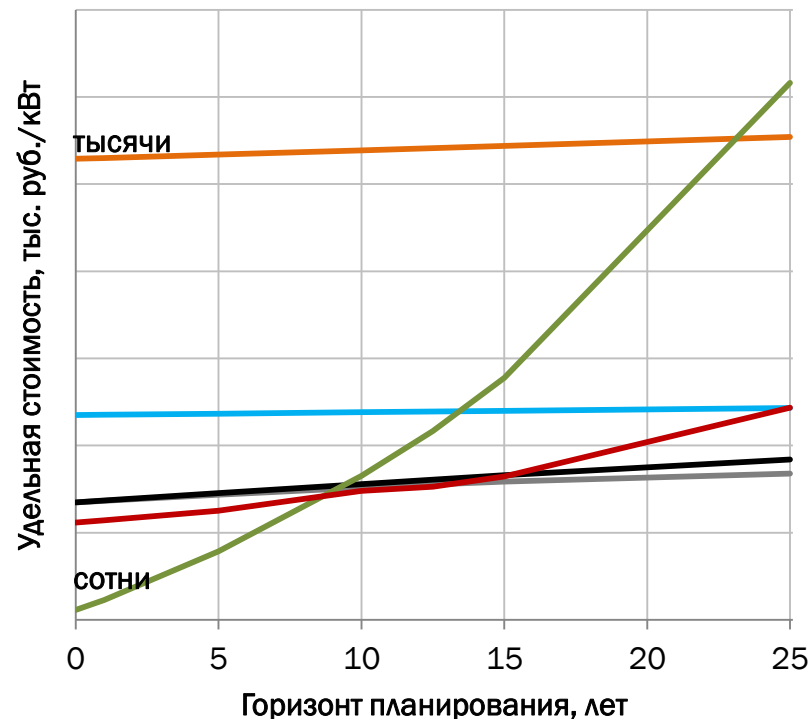
# ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ

## Графики затрат для альтернативных систем электроснабжения



Горизонт планирования, лет

- Вариант 1 - Одна ВЛ
- Вариант 2 - Две ВЛ
- Вариант 3 - АСЭ на основе ветрогенерации и накопителей
- Вариант 4 - АСЭ на основе фотоэлектрической станции
- Вариант 5 - АСЭ на основе дизелей
- Вариант 6 - Комбинированная АСЭ



Горизонт планирования, лет

- Вариант 1 - Одна ВЛ
- Вариант 2 - Две ВЛ
- Вариант 3 - АСЭ на основе ветрогенерации и накопителей
- Вариант 4 - АСЭ на основе фотоэлектрической станции
- Вариант 5 - АСЭ на основе дизелей
- Вариант 6 - Комбинированная АСЭ



## ПРИМЕР РЕЗУЛЬТАТ ВЫБОРА СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Место	Вариант резервирования электроснабжения
1.	Дизель-генерация или генерация на опилках
2.	Накопитель энергии на основе АКБ
3.	Накопитель энергии на основе АКБ с ветрогенерацией
4.	Вторая ВЛ 10 кВ
5.	Накопитель энергии на основе АКБ с фотоэлектрической генерацией

Место	Вариант альтернативных систем электроснабжения
1.	Комбинированная АСЭ на основе ветропарка с АКБ, дизель-генераторов
2.	Одна ВЛ 10 кВ (при небольшом ущербе от недоотпуска и III категории)
3.	Ветропарк с накопителем энергии на основе АКБ
4.	Две ВЛ 10 кВ
5.	Фотоэлектрическая станция
6.	Дизель-генерация



Кафедра

Автоматизированные  
Электрические Системы



Уральский  
федеральный  
университет

имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина

Уральский  
энергетический  
институт

37

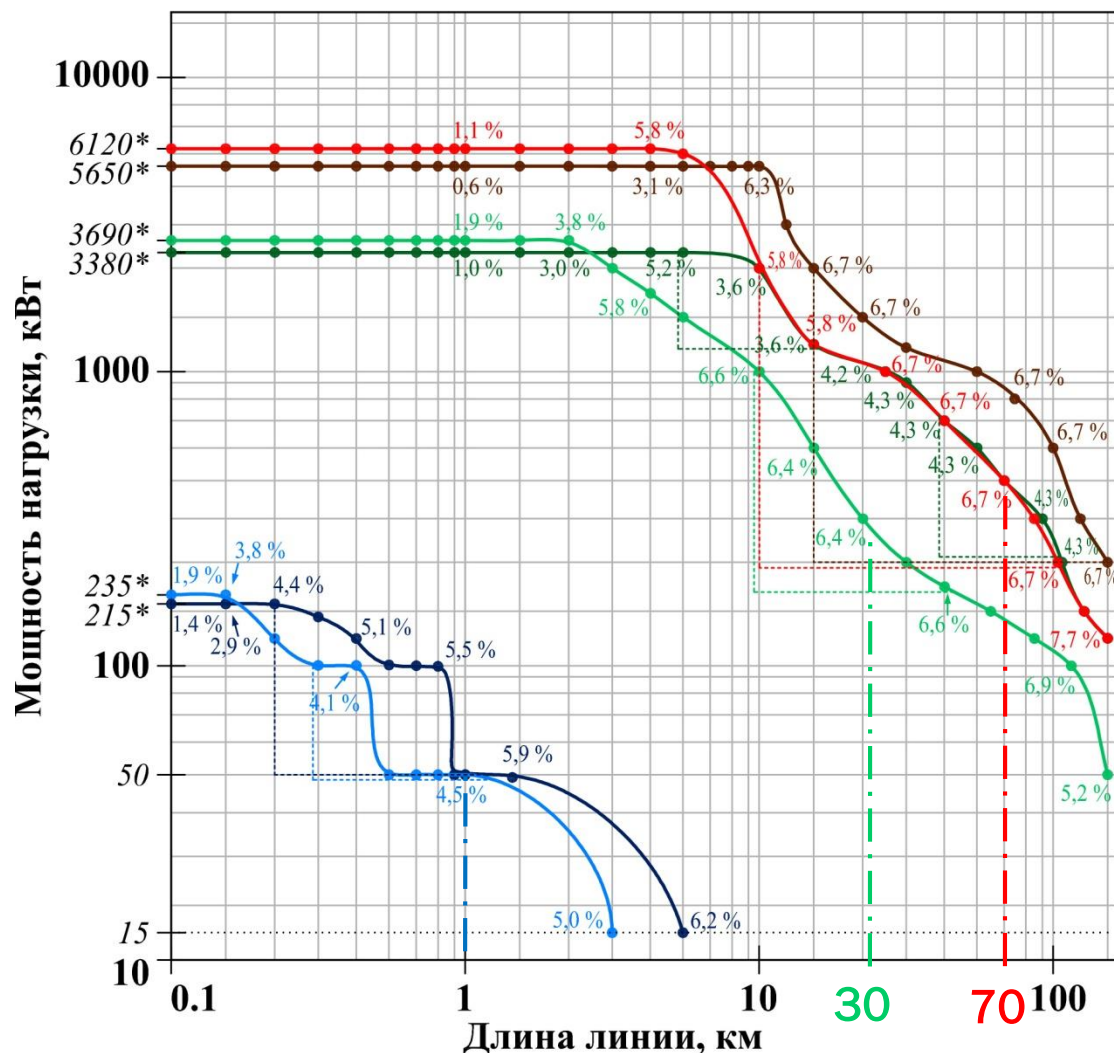
# **ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**





## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА

### Максимальная дальность передачи мощности по ВЛ 0,4 - 6 (10) кВ



### Условные обозначения

Провод АС-95

- 0,4 кВ
- 6 кВ
- 10 кВ

СИП, сечение 120 мм. кв.

- 0,4 кВ
- 6 кВ
- 10 кВ

Границы эффективных сочетаний "мощность-длина" для каждого из вариантов

5,5 % Величины нагрузочных потерь активной мощности

6120\* Максимальные длительно допустимые мощности нагрузки по линии по условию термической стойкости

### Примечания

1. Приведены параметры в расчете на одну цепь.
2. Мощности по линии включают мощности нагрузочных потерь.
3. Для ВЛ, выполненных неизолированным проводом, дополнительно необходимо учесть величину потерь, обусловленных токами утечки по изоляции, из расчета  $0,01 \div 0,05$  % на 1 км ВЛ. При этом большие значения соответствуют высокой влажности климатической зоны прохождения ВЛ, более высокому классу напряжения и длительному сроку эксплуатации ВЛ.
4. Коэффициент мощности нагрузки принят равным 0,9.
5. Напряжение на шинах центра питания принято для классов напряжения: 0,4 - 0,4 кВ; 6 - 6,3 кВ; 10 - 10,5 кВ.
6. На конце ВЛ с учетом падения напряжения обеспечивается не менее 0,95 Уном на НН, в том числе для СН при использовании в конце ВЛ трансформаторов СН/НН с ПБВ 2х2,5%.



## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА

### Зоны централизованного и автономного электроснабжения на Урале

#### Затраты на строительство и эксплуатацию ВЛ-10

$$Z_{\text{ВЛ}} = K_{\text{ВЛ}} + \frac{c_{\text{ВЛ}}\% K_{\text{ВЛ}}}{100} \int_{t=0}^t [(1+\mu)^t dt] + \frac{W_{\Delta P} c_{\Delta P}}{10^6} \int_{t=0}^t [[(1+\delta)(1+\mu)]^t dt] +$$

$$+ \frac{W_{\text{ENS}} c_{1\text{cm}}}{10^6} \int_{t=0}^t [[(1+\delta)(1+\beta)]^t dt] + \frac{W_{\text{Кер}} c_{2\text{cm}, \Delta P}}{10^6} \int_{t=0}^t [[(1+\delta)(1+\beta)]^t dt] +$$

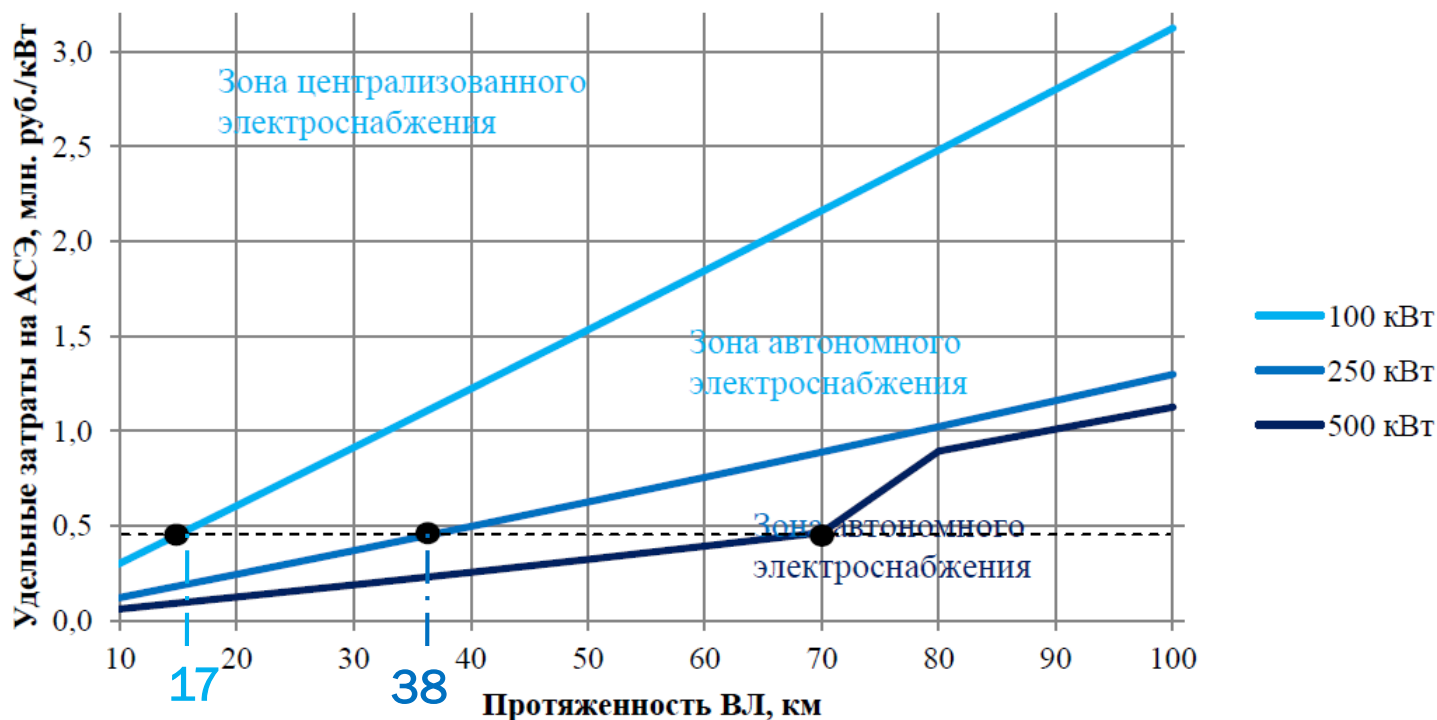
$$+ \frac{W_{\text{Кер}} c_{2\text{cm}, \text{сему}}}{744 \cdot 10^6} \int_{t=0}^t [[(1+\delta)(1+\beta)]^t dt],$$

#### Затраты на строительство и эксплуатацию АСЭ

$$Z_{\text{АСЭ}} = K_{\text{ДГУ}} + \frac{c_{\text{ДГУ}}\% K_{\text{ДГУ}}}{100} \int_{t=0}^t [(1+\mu)^t dt] + \frac{P_{0\text{диз}} V_{\text{диз}}}{10^6} \int_{t=0}^t [[(1+\delta)(1+\alpha)]^t dt] +$$

$$\sum_t [N_{\text{кап.рем.т}} \cdot c_{\text{кап.рем.}} \cdot (1+\psi)^t] + K_{\text{АКК}} + \frac{c_{\text{АКК}}\% K_{\text{АКК}}}{100} \int_{t=0}^t [(1+\mu)^t dt] +$$

$$+ K_{\text{ВЭС}} + \frac{c_{\text{ВИЭ}}\% K_{\text{ВЭС}}}{100} \int_{t=0}^t [(1+\mu)^t dt],$$





## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА

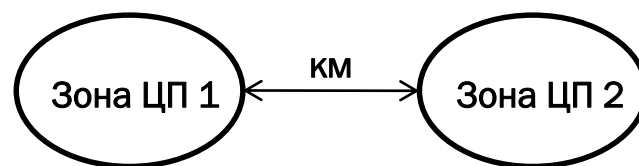
### Перспективные зоны централизованного и автономного электроснабжения

Предельная дальность передачи мощности по ВЛ	
Класс напряжения, кВ	Протяженность ВЛ, км
0,4	1
6	30
10	70

Граница эффективности АСЭ, км	
Мощность потребителя, кВт	Удаленность от ЦП, км
100	17
250	38
500	70

Средняя протяженность территорий, не охваченных централизованным электроснабжением	
Регион	Расстояние, км
Челябинская область	15
Пермский край	25
Свердловская область	40

По данным карты  
<http://www.mrsk-ural.ru/client/map/>



Массовое внедрение автономных систем электроснабжения на данном этапе развития неэффективно – степень покрытия зонами ЦП достаточная.



Кафедра

Автоматизированные  
Электрические Системы



Уральский  
федеральный  
университет

имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина

Уральский  
энергетический  
институт

41

# ВЫВОДЫ





1. Для эффективной реализации проектов с современными технологиями необходимо **проведение обследования и электрических измерений** на объекте.
2. Текущая степень охвата Свердловской области, Пермского края и особенно Челябинской области, а также **качество и надежность электроснабжения** можно оценить как **хорошие (достаточные)**. Наиболее распространенные проблемы для новых и реконструируемых сетей – отсутствие резервирования электроснабжения при наличии потенциальных потребителей II категории, несинусоидальность и несимметрия в сетях 0,4 кВ.
3. Текущая стоимость компонентов автономных систем электроснабжения и достаточная степень покрытия сетями зоны Урала (15-30 км от ЦП) **не приводят к необходимости массового внедрения** автономных систем электроснабжения. На данном этапе ставка может быть сделана на сеть + устройства резервирования.



4. На территории Урала **потенциал ВИЭ по солнцу** технически эффективен для использования южнее г. Челябинск. Среднегодовой КИУМ составляет 11,5%. При этом типовое значение КИУМ, соответствующее порогу экономической эффективности в международной практике (отсутствует на рассматриваемых территориях), составляет 50%. Основной проблемой для обеспечения надежного электроснабжения остается значительная разница между количеством фотоэлектрической энергии зимой (дефицит) и летом (многократный избыток).

5. На территории Урала **потенциал ВИЭ по ветру** **технически** эффективен для использования южнее г. Челябинск и восточнее г. Магнитогорск. По ветру также эффективны отдельные области на хребте Северного Урала. При этом порогу **технической эффективности** 5 м/с соответствует КИУМ 25%. Порогу **экономической эффективности** 7 м/с (отсутствует на рассматриваемых территориях) соответствовал бы КИУМ порядка 50%. Не решены проблемы с доставкой неразборных лопастей крупных ветрогенераторов.



6. Ввиду отсутствия значительного объема отходов сельского хозяйства на удаленных территориях получение **биометана** в должном количестве **затруднительно**, а необходимость поддержания стабильной высокой температуры ведет к удорожанию установки. Установки получения **биоэтанола** из древесных отходов ведут **к возникновению социальных рисков** на удаленных территориях.

7. Ввиду объема расхода древесины наибольшее распространение в лесной части Урала могли бы получить установки **резервирования на синтез-газе** при наличии древесных отходов (стружка, щепа), побочных продуктов комплексного производственного цикла. При средних показателях качества древесины для выработки 100 кВт\*ч необходимо **250-300 кг** древесины.

8. **Строительство новых малых ГЭС на реках** для надежного электроснабжения комплексной нагрузки **малоэффективно**. Малые ГЭС эффективны для снижения затрат на электроэнергию при наличии существующих плотин на водохранилищах.



9. Развитие возобновляемых источников энергии должно быть **увязано с социально-экономической стратегией** развития удаленных территорий. Подобные «социальные» проекты с большим сроком окупаемости могут быть не интересны частному бизнесу и требовать административного ресурса на муниципальном и региональном уровнях для успешного внедрения.

10. **Метод кумулятивных затрат** позволяет отследить, что эксплуатационные затраты на электроснабжение практически любым вариантом от 40 % до десятков раз выше, чем начальные капвложения.



# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

---

## Докладчики:

**В.О. Самойленко**

**[vsamoylenko@yandex.ru](mailto:vsamoylenko@yandex.ru)**

**С.А. Ерошенко**

**[stas\\_ersh@mail.ru](mailto:stas_ersh@mail.ru)**

**Семинар «Проблемы подключения и эксплуатации малой генерации»**

**Екатеринбург, 27.11.2015**