



# ***Как развивать ВИЭ на Урале?***

Велькин Владимир Иванович

(кафедра «Атомные станции и возобновляемые источники энергии»)

г.Екатеринбург, 2015

# Целевые показатели ВИЭ РФ до 2030 г.

## Энергетическая стратегия России на период до 2030 года.

(утверждена распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009г. №1715-р)

Этапы реализации	2010 (факт)	I 2013-2015	II 2020-2022	III 2030
Производство электрической энергии (млрд. кВтч)	1137	1059-1245	1350-1550	1800-2210
в том числе на базе ВИЭ (без крупных ГЭС) (млрд. кВтч)	0,8% 7,8	2,5% 26-30	4,5% 60-70	7% 126-155

### Потенциальные потребители ВИЭ в РФ

Численность жителей в населенном пункте (чел)	Сельские жители (оценка 2011 г)	Вахтовые поселки (оценка 2011 г)	Жители Малых городов Севера	Охотники, рыбаки, пастухи, геологи, строители ЛЭП, т/проводов, мостов
до 50	<u>2640</u> 61.800	<u>2260</u> 60.800		<u>8000</u> 52.000
от 51-500	<u>10.187</u> 2.094.805	<u>490</u> 109.600		<u>160</u> 8.000
501-3000	<u>5.315</u> 5.368.160	<u>76</u> 55.800		
3001-10 тыс	<u>338</u> 1.882.835	<u>40</u> 119.600	<u>146</u> 373.000	
Всего	<u>9.407.600</u>	<u>345.800</u>	<u>373.000</u>	<u>60.000</u>

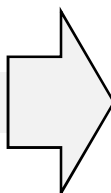
Числитель – кол-во населенных пунктов

Знаменатель – число жителей

Виды ВИЭ	Базовый вариант			
	2015 год		2020 год	
	Установленная мощность, МВт	Выработка, млн кВт-ч	Установленная мощность, МВт	Выработка, млн кВт-ч
ВЭС	586,2	1636,6	2006,2	5661,8
МГЭС	809,6	3328,1	1163,4	5110,4
БиоТЭС (э)	520,0	2600,0	984,0	4919,8
ГеоТЭС	147,2	849,0	167,2	952,0
ПЭС	13,1	51,6	13,1	51,6
СЭС	0,0	0,0	44,0	58,9
Всего	2076,1	8465,3	4377,9	16654,5

	Потенциальный рынок комплексных систем ВИЭ (технологических кластеров ВИЭ)	Показатель
1	По охвату территории (%%)	70 %
2	По охвату населения (млн. чел.)	12-15
3	По суммарной установленной мощности (МВт)	900 -1200
4	По количеству (млн.ед.)	0,7-2,5
5	По объему инвестиций (млрд.руб.)	45-80

### Особенности РФ при внедрении ВИЭ



- |  |                    |
|--|--------------------|
| 1.Отсутствие централизованного энергоснабжения                 | 70 % территории РФ |
| 2.Обширные территории и расстояния РФ                          | 9 часовых поясов   |
| 3.Низкопотенциальный ветер на 75% территории                   | 3-5 м/с            |
| 4.Относительная низкая инсоляция на 65 % территории            | 200-400 Вт/м²;     |
| 5.Рассредоточенность объектов энергопотребления                | сотни и тысячи км  |
| 6.Суровый климат   | 5000-6000 ГСОП     |
| 7.Закон и подзаконные акты о ВИЭ                               | отсутствуют        |
| 8.Неконкурентоспособность с.стоимости выработки 1 кВт-ч на ВИЭ | ВИЭ дороги         |

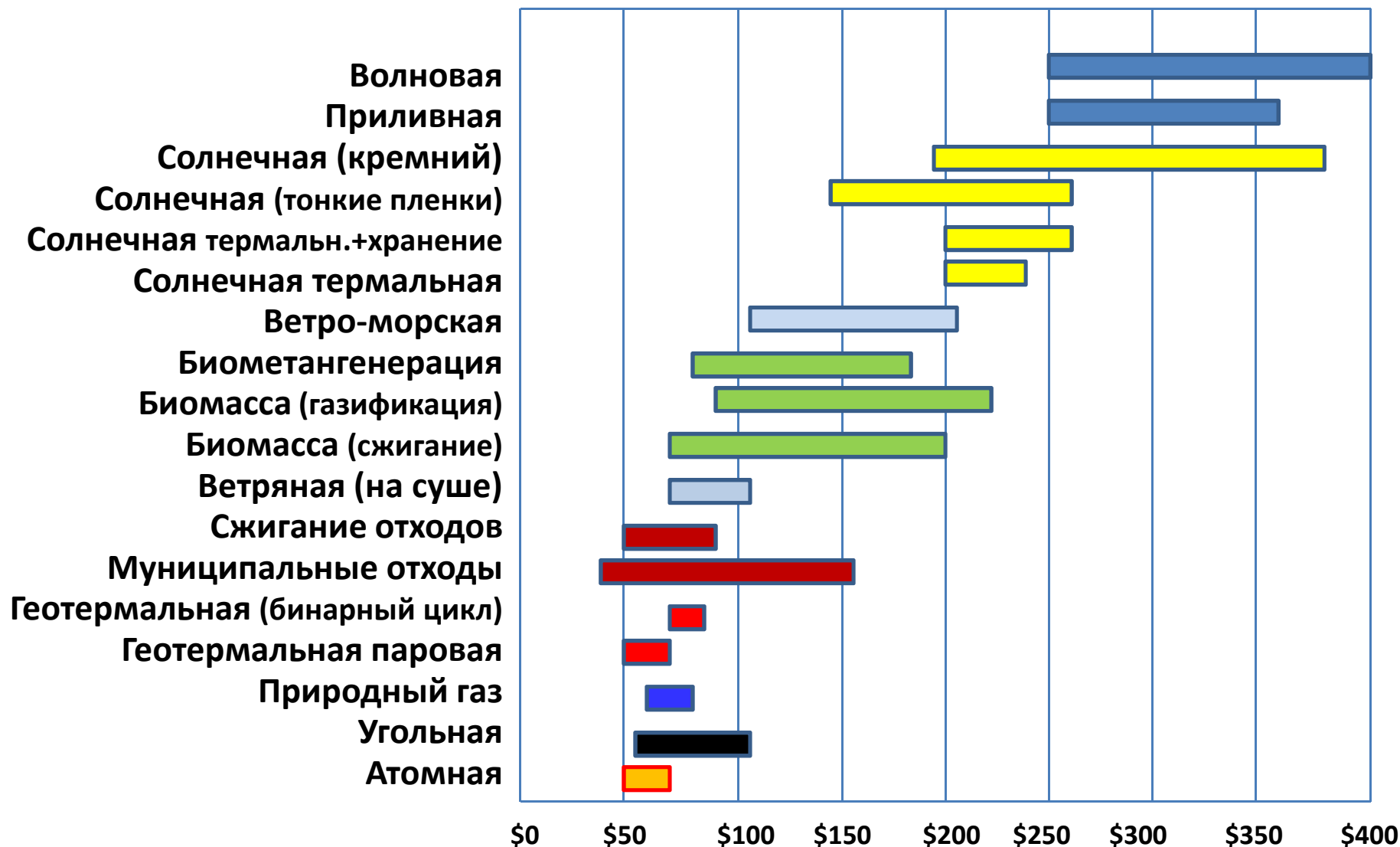
# Целевые показатели величин объемов ввода и локализации

Постановление Правительства № 449 от 28.05.2013

Технологии ВИЭ	Показатель	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Всего
Ветер	МВт	100	250	250	500	750	750	1000	<b>3 600</b>
	Локализация	35	55	65	65				
МГЭС	МВт	18	26	124	124	141	159	159	751
	Локализация	20	20	45	45				
СЭС	МВт	120	140	200	250	270	270	270	<b>1.520</b>
	Локализация	50	50	70	70				
<b>Всего:</b>	<b>МВт</b>	<b>238</b>	<b>416</b>	<b>574</b>	<b>874</b>	<b>1161</b>	<b>1179</b>	<b>1429</b>	<b>5.871</b>
		<b>2102</b>							

ОАО «АТС» опубликована информация, необходимая для проведения конкурсных отборов инвестиционных проектов по строительству генерирующих объектов, функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии, на 2014, 2015, 2016 и 2017 годы.

# Стоимость производства электроэнергии (2011г.)



# Особенности использования солнечной энергии по территориям в РФ



## Уровень и влияние ГСОП по России

**Цель:** исследование возможностей использования солнечной энергии ФЭП и СК в составе КС ВИЭ

$$\text{ГСОП} = (t_b - t_c) Z \quad (\text{СПИП 12-02-2003})$$

$t_b$  – температура воздуха в помещении, °C

$t_c$  – ср. темп. отопительного периода, °C

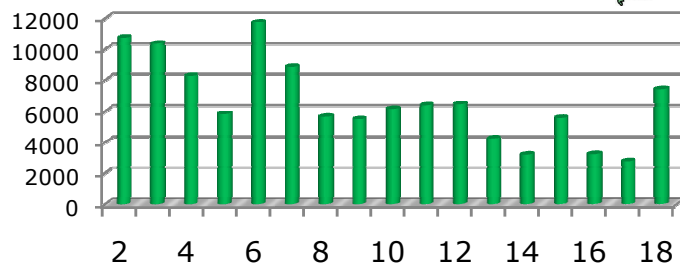
$Z$  – продолжит. отопит. периода, сут.

Помесячный уровень градусо-суток отопительного периода



Сравнение потенциалов солнечной энергии

Уровень градусо-суток отопительного периода по регионам РФ



Климатические зоны РФ

	Москва	Екатерин-бург	Ново-сибирск	Якутия (Челбу)	Омск	Иркутск	Краснодар
Янв.	846	1008	1048	1668	1094	1141	561
Фев.	720	846	882	1341	977	972	504
Март	626	701	781	1094	812	787	406
Апр.	366	420	480	633	438	498	186
Май	152	220	192	353	192	270	37
Июнь	42	63	33	111	9	90	0
Июль	0	0	0	28	0	16	0
Авг.	50	90	53	140	59	90	0
Сент.	210	255	243	357	225	279	3
Окт.	400	515	474	784	505	530	205
Нояб.	576	708	768	1254	765	792	390
Дек.	747	908	980	1612	1004	1054	533
Сум.	4735	5733	5934	9375	6082	6518	2825







# Создание объекта для экспериментальных исследований комплексных систем ВИЭ (КС ВИЭ)



Заброшенная ферма КРС  
Состояние на **01.07.2001 г.**



**Цель:** создание экспериментального энергоэффективного дома на основе реконструкции (реабилитации) заброшенных объектов сельских хозяйств или военных городков.



**Этапы реализации:**

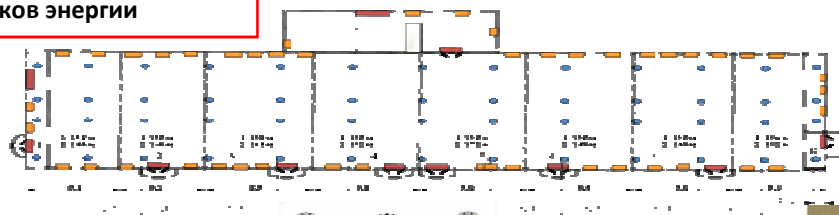
- Экспертиза СЭС
- Экспертиза Госархстройнадзора
- Разработка ТЗ
- Проектирование
- Монтаж дома
- Монтаж нетрадиционных Источников энергии

**Основные характеристики:**

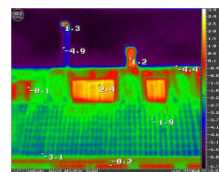
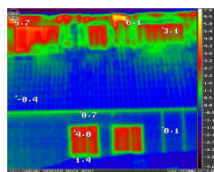
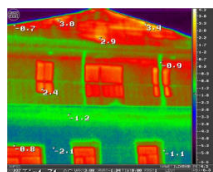
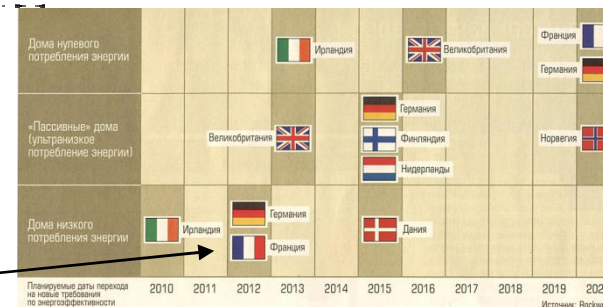
- Общая площадь 2400 кв.м
- Кол-во квартир 8-16
- Энергообеспеченность
- Независимыми источниками
- Стоимость стр-ва 4,0 тыс.руб кв.м (без отделочных работ)

**• Решаемые задачи:**

- Энергонезависимость
- Энергоэффективность
- Низкая стоимость строительства
- Быстрый ввод жилья
- Комфортность



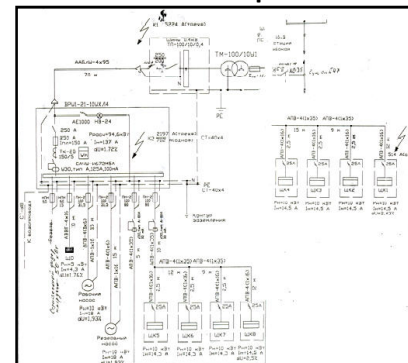
Начата реконструкция  
Состояние на **01.02.2002 г.**



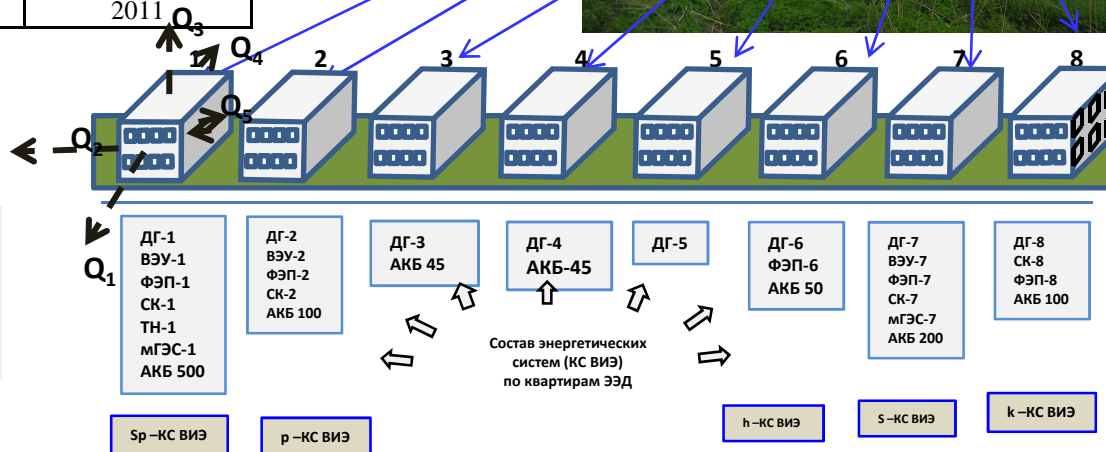
# Состав оборудования НВИЭ на объекте

№	Оборудование НВИЭ	Мощность	Кол-во	Год ввода в эксплуатацию
1	2	3	4	5
1	Ветроустановка ВЭУ 4-5	4 кВт	1	2002
2	Ветронасос ВН-300	300 л/сут	1	2002
3	Микропроцессорная система управления подключением тепловой нагрузки от ВЭУ	шаг 0,5 кВт	1	2003
4	Солнечные фотоэлектрические преобразователи (ФЭП)	2,4 кВт (пик)	80	2004
5	Солнечные коллекторы (СК)	24 кВт (т)	16	2005
6	Ветроустановка ВЭУ 4-5	4 кВт	1	2006
7	Биогазовая установка с 4-х стадийной очисткой и полем фильтрации	8 м <sup>3</sup>	1	2006
8	Ветроустановка ВЭУ-0,3	0,3 кВт	1	2007
9	Крышная станция ФЭП	0,45 (пик)	1	2007
10	Станция солнечных ФЭП	0,15 кВт	3	2008
11	Механический гелиотроп	0,15 кВт (пик)	1	2008
12	Усовершенствованные СК КУМЗ	3,0 кВт (т)	2	2009
13	Солнечный концентратор	2 кВт (т)	1	2009
14	Тепловой насос «Vaillant-5,5»	5,5 кВт (т)	1	2010
15	Микро ГЭС с турб. «Банки»	1,5 кВт	1	2011

Схема централизованного электроснабжения ЭЭД



Реальные объекты для исследований КС ВИЭ



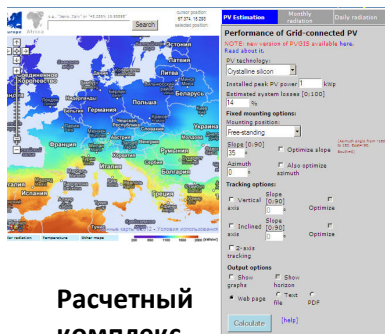
**Высокий уровень подобию** каждого из объектов, содержащих в себе различные КС ВИЭ (**высота потолков, площади и объем помещений, теплозащитные характеристики, расположение отопительных приборов, окон и т.д.**) способствовал хорошей сопоставимости полученных экспериментальных данных и достоверности сравнения с расчетными показателями.





## RETScreen -Программа расчета ВИЭ

**предназначена** для анализа  
и принятия решений по  
проектам экологически  
чистой энергии



# Расчетный комплекс «СИТИС» Солярис 5,0

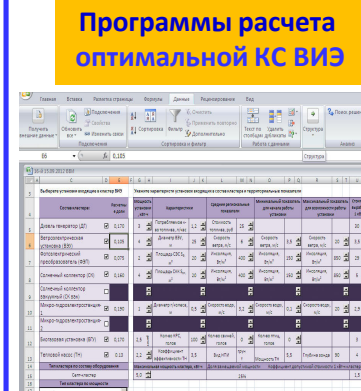
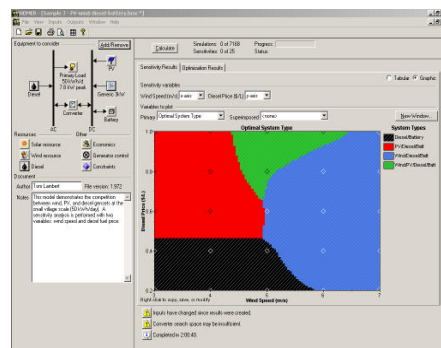
Программа предназначена для расчета продолжительности инсоляции жилых зданий и территорий в соответствии с методикой расчета инсоляции, приведенной в СанПиН



## Программа расчета и расстановки ФЭП

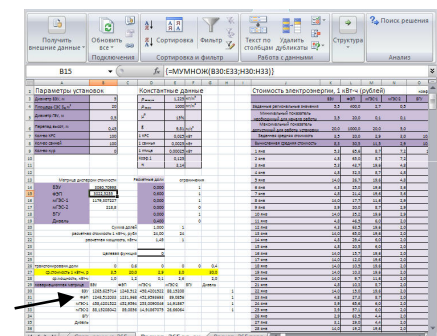
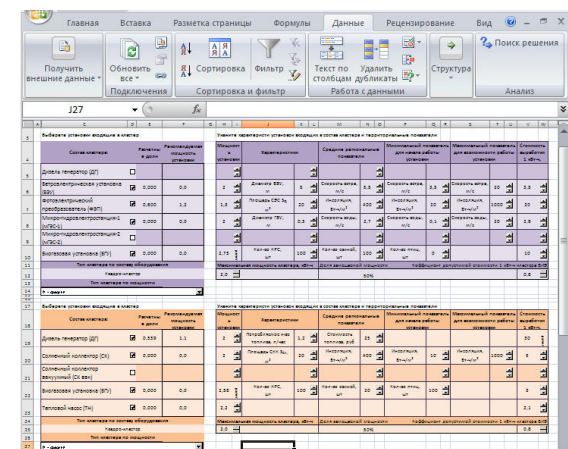


## Программа оптимизации Гибридной чистой энергии

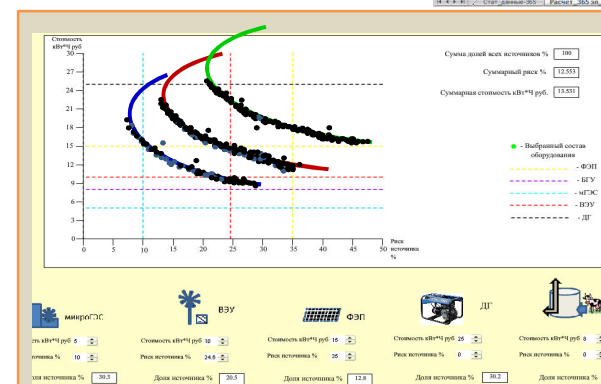


Программа оптимизации  
КС ВИЭ на основе  
стохастических характеристик  
**«АРК-ВИЭ»**

**Результат анализа около 100 программ расчета ВИЭ:**  
**стохастические характеристики непосредственно не включаются в расчеты по выбору оптимального состава оборудования комплексных систем ВИЭ (КС ВИЭ)**  
 (а как правило – первый момент распределения)



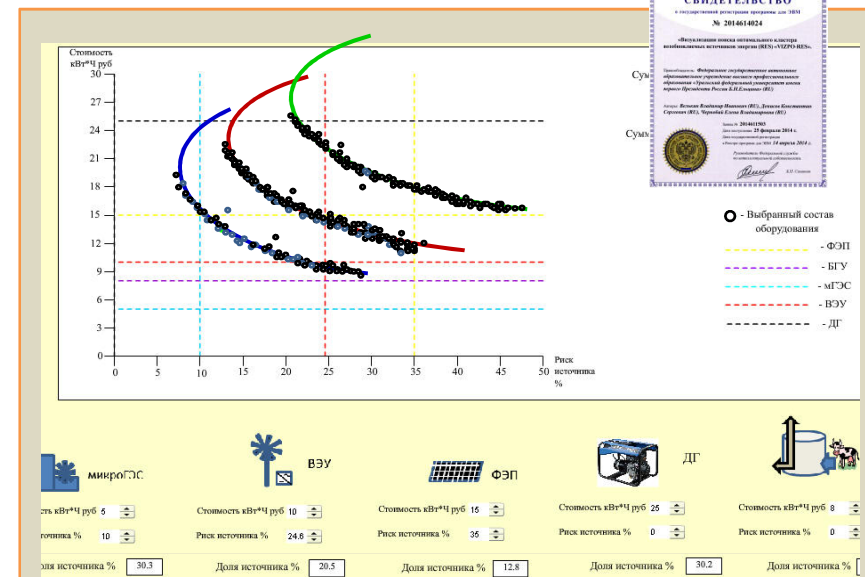
### Ковариационная матрица



Стохастические  
данные для  
«АРК-ВИЭ»  
ДГ+ВЭУ+ФЭП+МГЭС

Программа поиска и визуализации  
оптимального КС ВИЭ  
**«VIZPO RES»**

**Уральский  
Федеральный  
университет**  
имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина

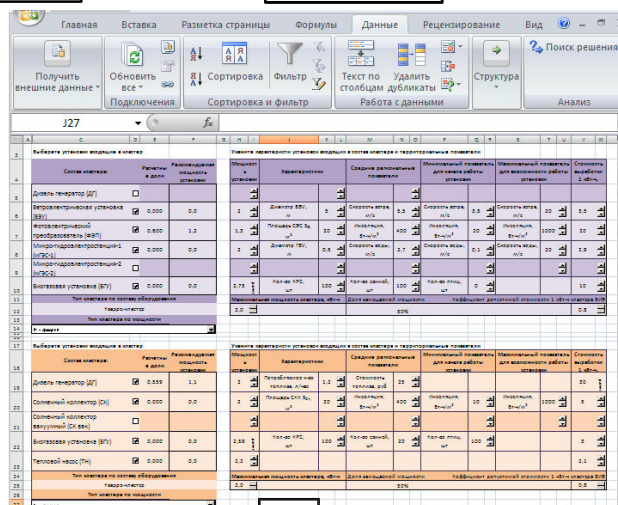


**«VIZPO-RES»**

### Формулы для расчета оптимальной КС ВИЭ

	Источник энергии	Параметр	Размерность	Коэфф. полезного действия	Определяющая величина	Мощность	Примерная стоимость 1 кВт·ч (руб.)
1	ДГ	Цена 1 л	Руб.				Факт 15 -50
2	ВЭУ	Скорость ветра V	м/с		D- диаметр ВЭУ (м)	$1/8 \rho \pi D^2 c v^3$ Вт	3,5-8
3	ФЭП	Инсоляция J	Вт/м²	$\mu^{\Phi} = 15\%$	S-площадь ФЭП (м²)	$J \cdot S \cdot \mu^{\Phi}$ (Вт)	20-40
4	СК (плоск)	Инсоляция J	Вт/м²	$\mu^{СК} = 40\%$	S - площадь СК (м²)	$J \cdot S \cdot \mu^{СК}$ (Вт)	5-7
5а	МГЭС 1, река	Скорость течения	м/с		$\rho(\text{воды}) = 1000 \text{ кг/м}^3$	$1/8 \rho \pi D^2 V^3$ (Вт)	2-5
5б	МГЭС 2 плотина	Разность ниж. и верх.бьефов $\Delta h$	м		Q –расход $Q = V (\text{м/с}) \cdot S (\text{м}^2)$	$\rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta h$ (Вт) $\rho \cdot g \cdot V \cdot S \cdot \Delta h$	2-5
6	БГУ	Количество голов	ед.				3-6
		КРС	1			25 Вт	
		Свиней	1			2,5 Вт	
		Птица (кура)	1			0,25 Вт	
7	ТН	Температура НПИ	(2-30) °С	$\xi = 2-6$ – коэфф. эффективности ТН			2-8
8	СК (вакуум)	Инсоляция J для вак СК	Вт/м²	$\mu^{\text{в}} = 88\%$	S - площадь СК(м²)	$J \cdot S \cdot \mu^{\text{в}}$ (Вт)	4-10

Расчетная модель КС ВИЭ позволяет оптимизировать состав оборудования (доли мощностей оборудования ВИЭ  $x_i$ ) по критерию «min стоимость 1 кВт·ч».



# Исследования ВЭУ на объекте «Энергоэффективный дом»

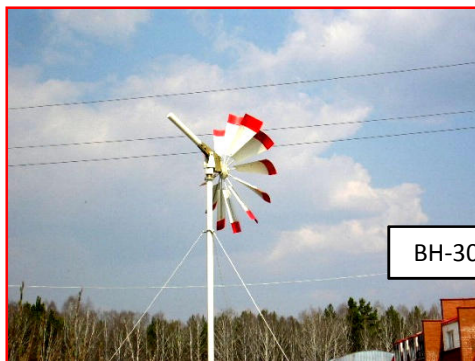
**Цель:** исследование возможностей использования ВЭУ различных классов в составе КС ВИЭ



## Ветроэнергетика на объекте :

ВЭУ 4 кВт с генератором переменного тока  
ВЭУ 4 кВт с генератором постоянного тока  
ВЭУ-0,3 кВт  
ВН-300 – ветронасос производит. 300 л/сут

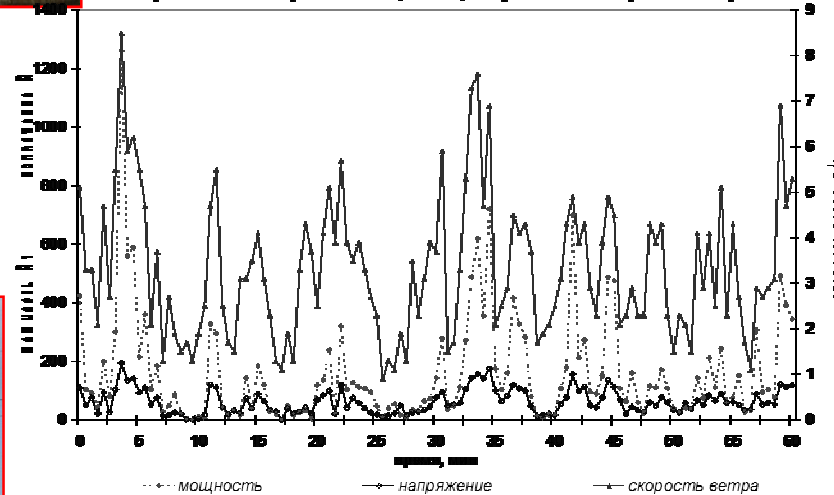
Диаметр ВК 5 м  
Число лопастей 18-24  
Диапазон рабочих скоростей 3.5...25 м/с  
Расчетная скорость ветра 10 м/с  
высота до оси ВК 8.5 м



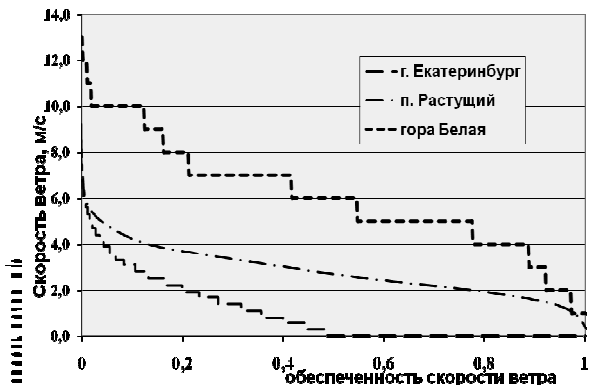
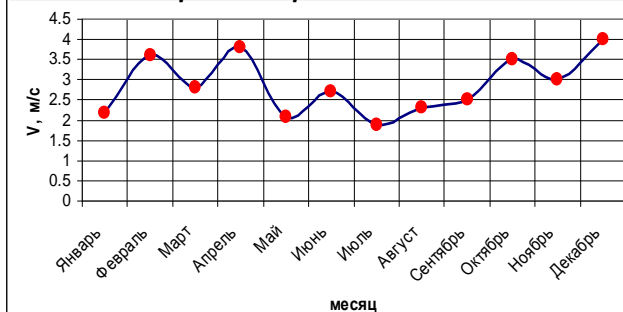
ВН-300

Диаметр ВК 1 м  
Число лопастей 12  
Диапазон рабочих скоростей 2.5...25 м/с  
Расчетная скорость ветра 8 м/с  
высота до оси ВК 7 м

## Распределение по осям мощности, напряжения и скорости ветра.



## Годовой график изменения средней скорости ветра по Свердловской области

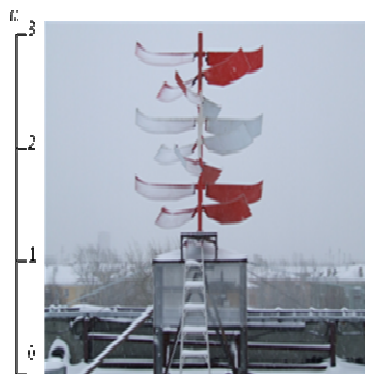
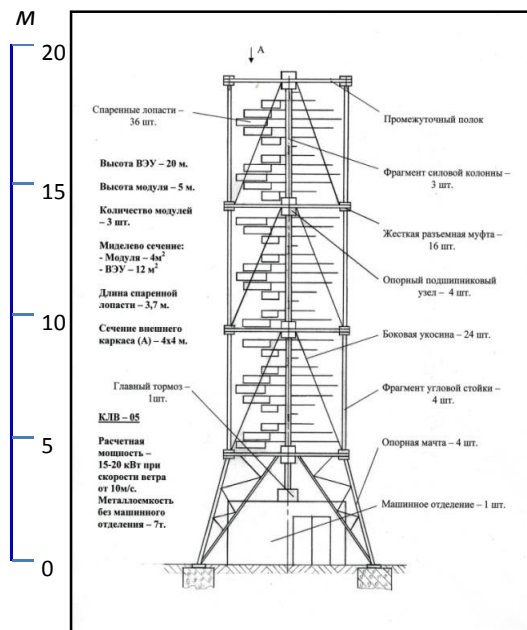


Обеспеченность скорости ветра для тихоходных ВЭУ ( $z < 2$ ) составляет в районе расположения «Энергоэффективного дома» (для 3-5 м/с) **0,15-0,2**, а в зонах вершин Уральского хребта (для ветров 5-6 м/с) – **0,5-0,6**.





# Исследования вертикально-роторной ВЭУ «Кардэя»



- 1.Эфф. давления
2. Аэродин.св-ва

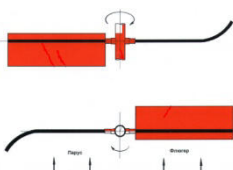
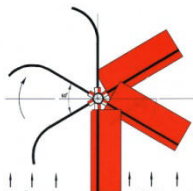
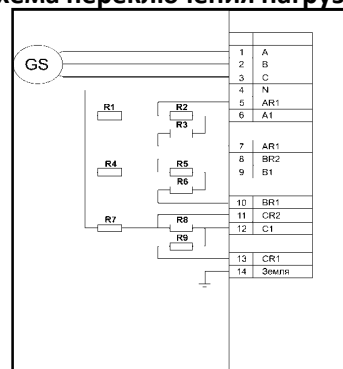


Схема переключения нагрузки



- Режим 1:  $V < 5 \text{ м/с}$ ,  $U = 138 \text{ В}$
- Режим 2:  $5 < V < 7 \text{ м/с}$ ,  $U$  от 130 до 180 В
- Режим 3:  $7 < V < 9 \text{ м/с}$ ,  $U$  от 180 до 220 В
- Режим 4:  $V > 9 \text{ м/с}$ ,  $U > 220 \text{ В}$

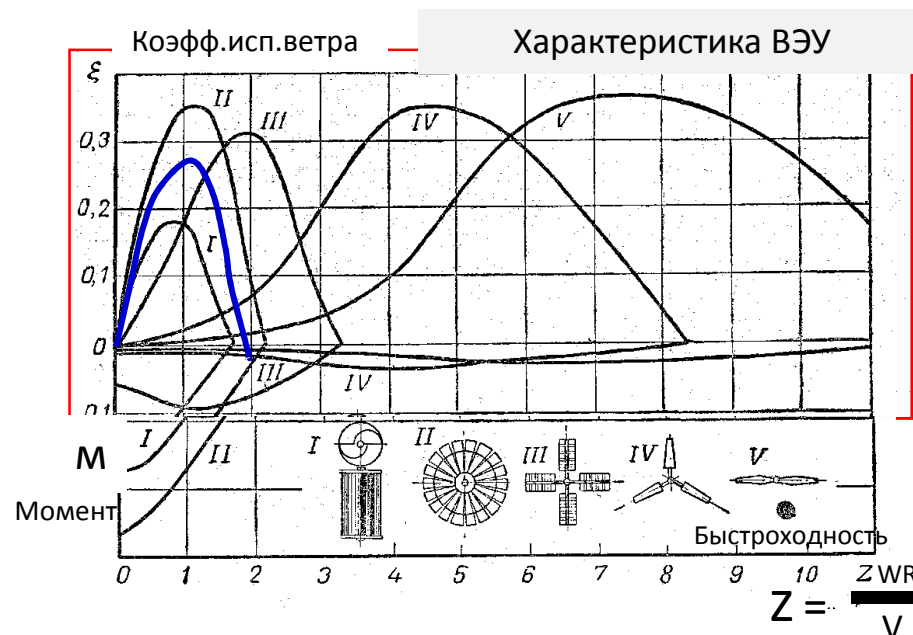
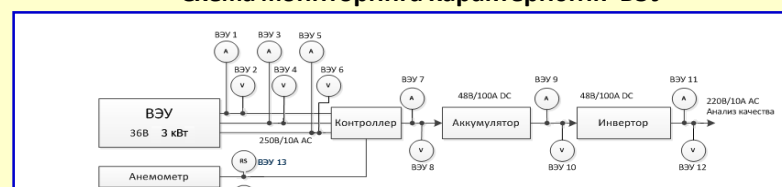
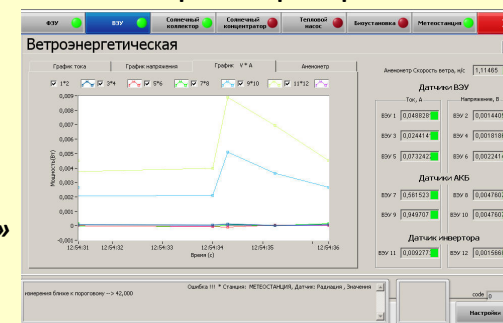


Схема мониторинга характеристик ВЭУ



Окно меню дистанционного мониторинга характеристик ВЭУ

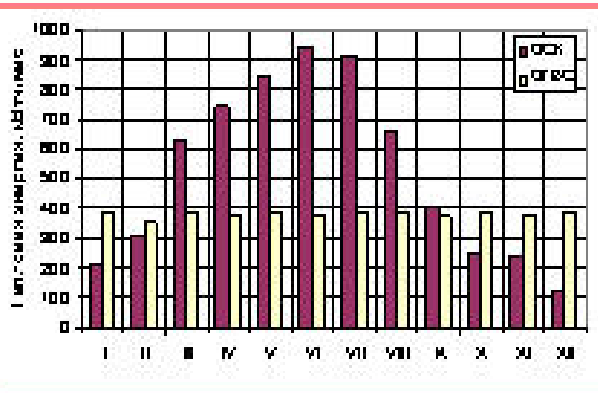


Комплекс дистанционного мониторинга характеристик ВИЭ на базе оборудования «National Instruments»

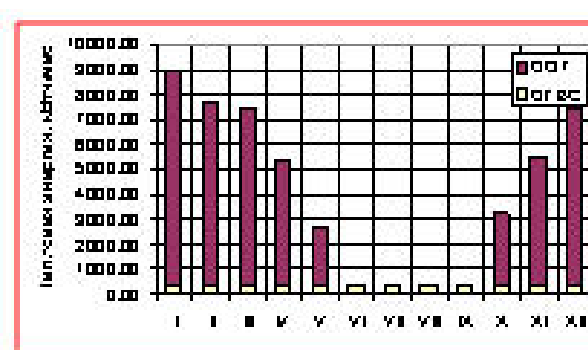
# Солнечные коллекторы в составе КС ВИЭ



Дневная производительность на широте  $55^{\circ}$ — $2 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$   
 Температура воды в баке аккумулятора— $60-70^{\circ}$   
 КПД установки—40% Область применения СК:  
 отопление жилых помещений; горячее водоснабжение;

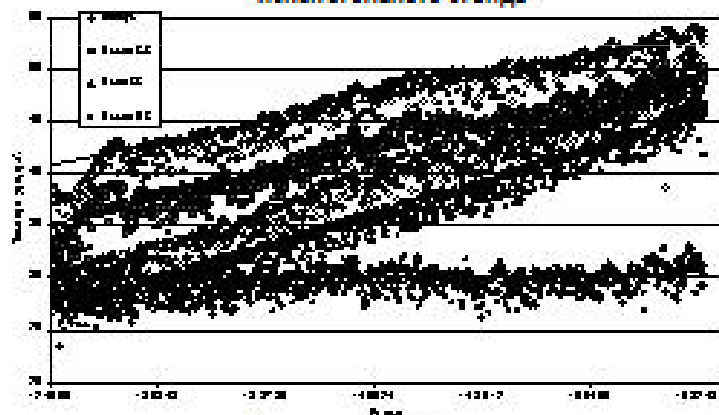


Тепловая энергия, отпущенная СК и необходимая для покрытия нагрузки ГВС

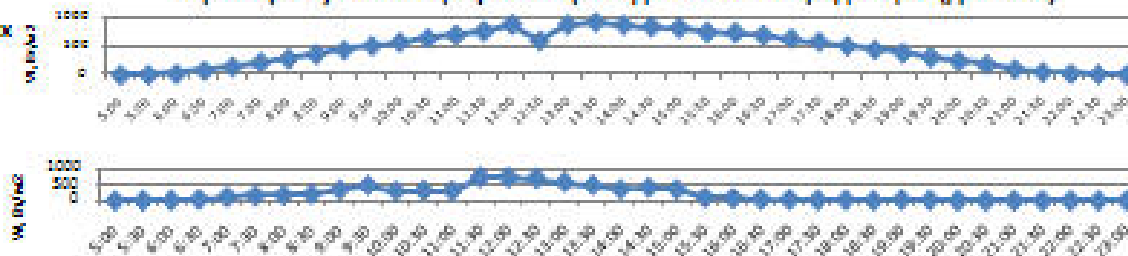


Суммарная тепловая нагрузка системы

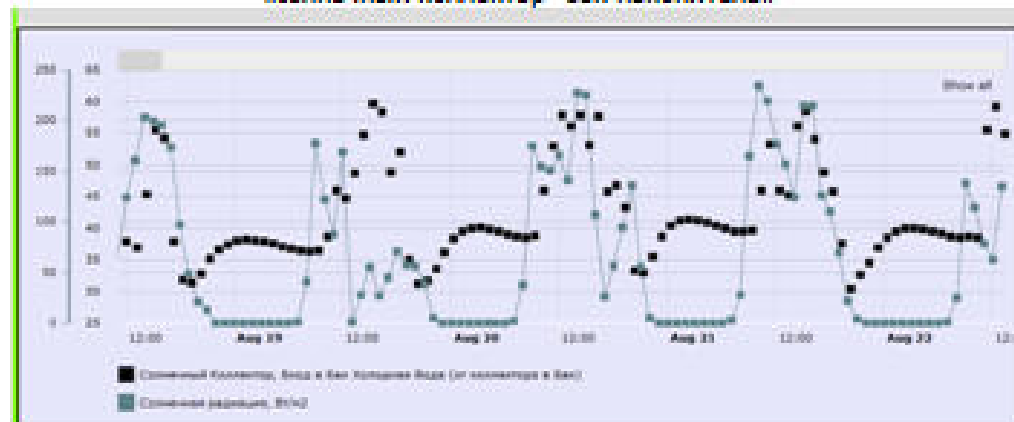
Суточный график изменения температур в характерных точках испытательного стенда



Примеры суточных графиков прихода солнечной радиации (для мая)

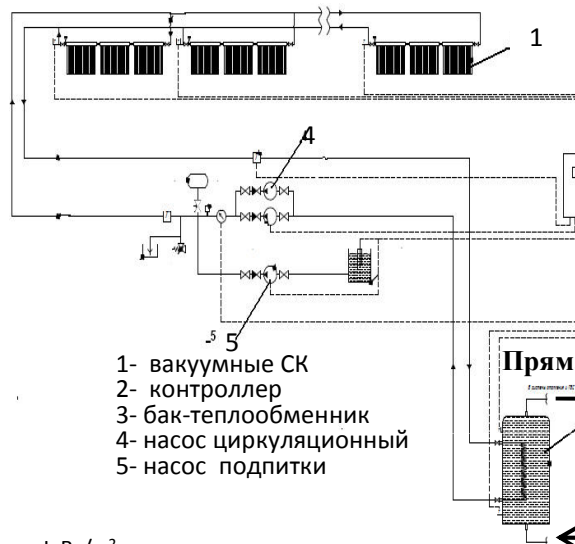


Суточный график изменения температур в системе «солнечный коллектор – бак-накопитель»

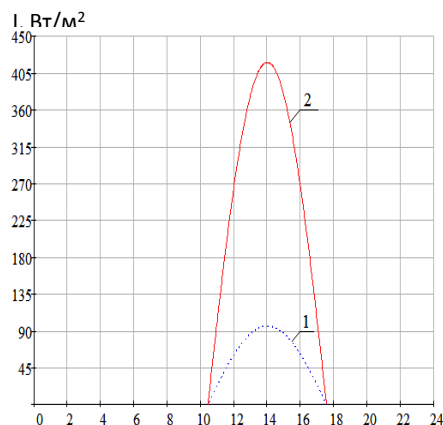


# Исследования эффективности вакуумных солнечных коллекторов на многоэтажном доме в мегаполисе (Екатеринбург)

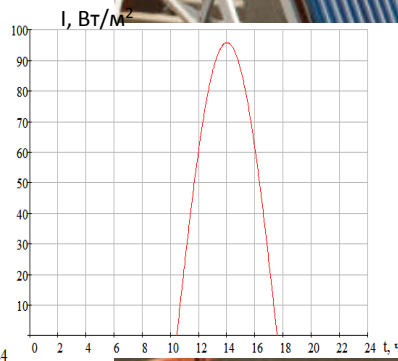
Схема подключения вакуумных СК к штатной системе отопления и ГВС многоквартирного дома.



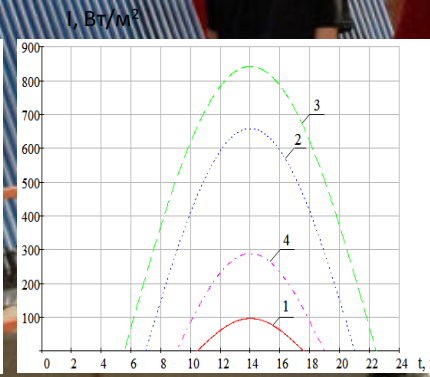
- 1- вакуумные СК
- 2- контроллер
- 3- бак-теплообменник
- 4- насос циркуляционный
- 5- насос подпитки



Расчетная зависимость мощности потока солнечной радиации от времени суток (для января месяца)  
1 – на горизонтальную поверхность;  
2 – на наклонную поверхность



Расчетная зависимость мощности потока солнечной радиации на горизонтальную поверхность от времени суток (для января месяца)

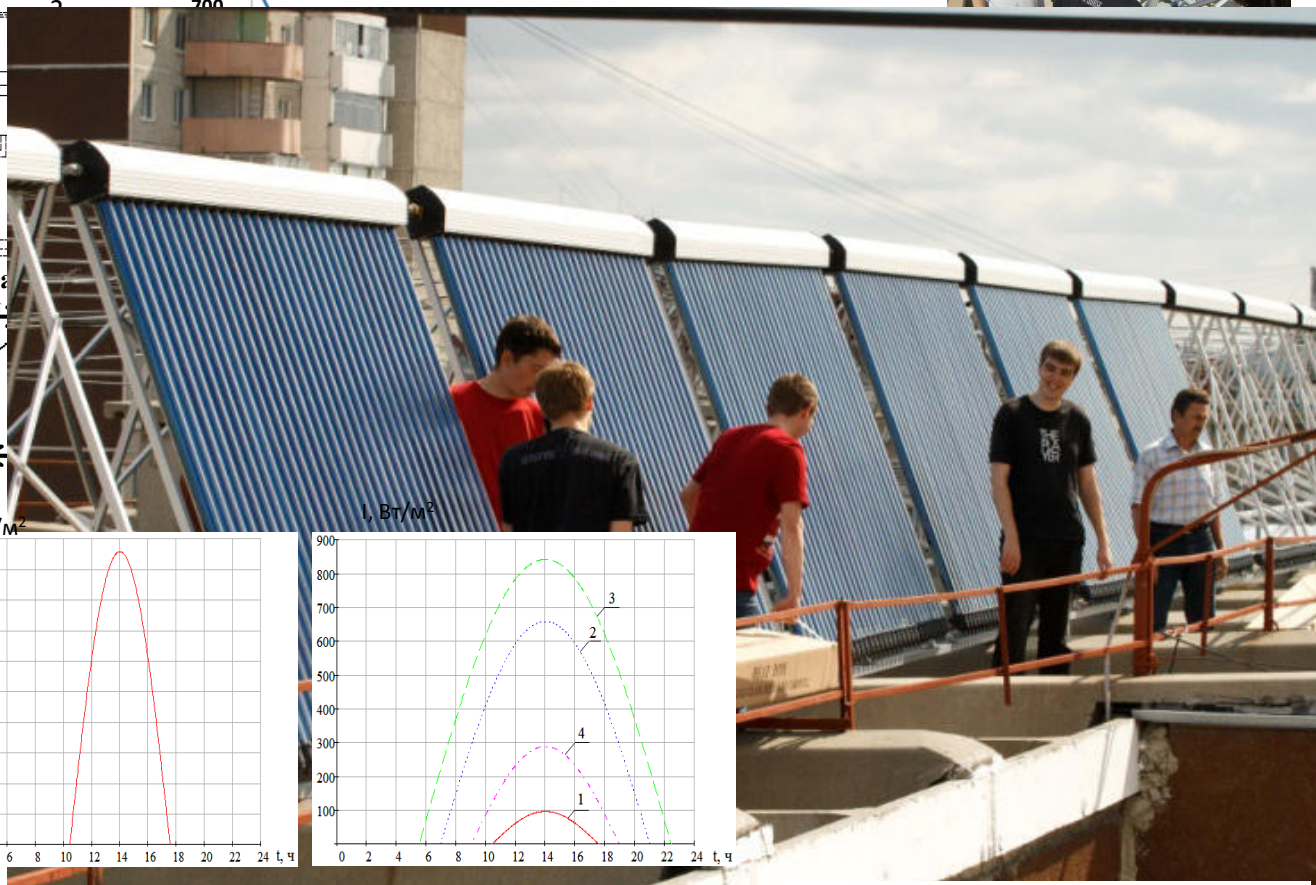


Расчетная зависимость мощности потока солнечной радиации от времени суток,  
1 – январь, 2- апрель, 3 – июль, 4 – октябрь

Затраты ТСЖ,  
тыс.руб.

800  
700

Суммарные затраты



Группа студентов УрФУ (каф.АСиВИЭ) на монтаже вакуумных солнечных коллекторов на кровле многоэтажного дома (Екатеринбург, Родонитовая, 8)



# Исследование гидроэнергетического потенциала Свердловской области

Гидро ПОТЕНЦИАЛ  
СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ  
Количество рек ок.18000  
Существующих ГЭС 320  
ГЭС, готовых к монтажу малых ГЭС 80  
ГЭС, определённые для монтажа ГЭС 14

## Данные о расходах наиболее крупных рек Свердловской области

№	Река	Расход воды в устье реки, м <sup>3</sup> /сек
1	Бисерть	20,8
2	Исеть	66,5
3	Каква	12,9
4	Ляля	15,7
5	Межевая Утка	10,5
6	Пелым	54,2
7	Пышма	28,8
8	Салда	10,4
9	Серга	13,4
10	Сосьва	106,2
11	Тавда	462
12	Тагил	36,9
13	Тура	177
14	Уфа	351
15	Чусовая	226

Распоряжение ПСО  
№ 261-РП от 02.04.2004  
«О развитии малой гидроэнергетики»

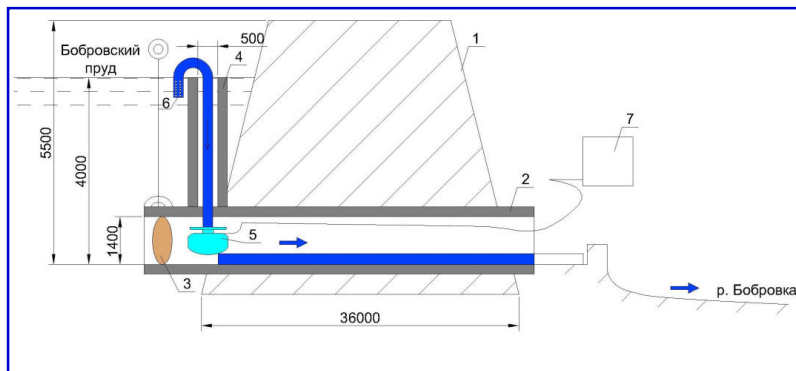
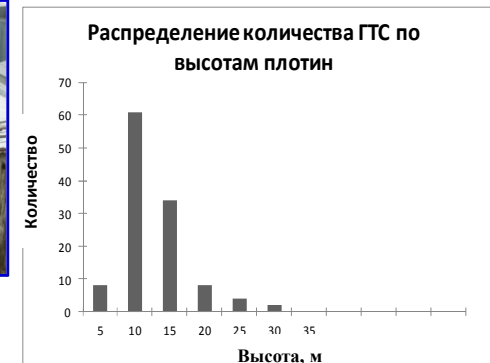
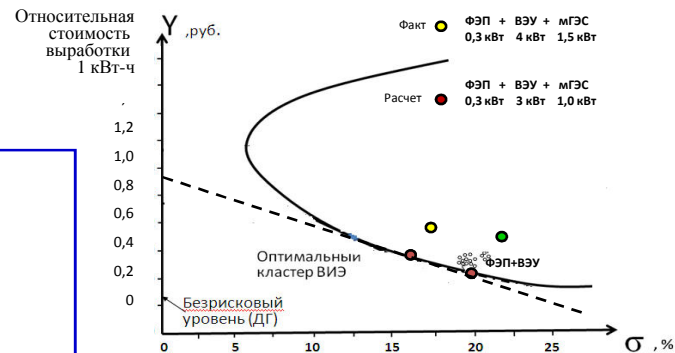
$$E_{\text{пол}} = g\rho\Delta h \int F(h) dh, \text{ Дж}$$

где:  $\Delta h$  - перепад высоты между уровнями верхнего и нижнего бьефов



Фото в день пуска Киселёвской мГЭС N=200 кВт  
(Свердловская область, г.Серов)

## Микро ГЭС в составе КС ВИЭ ЭЭД



## Схема микро-гидроэлектростанции с сифонным водозабором

1-плотина В-Бобровского пруда; 2- сливной ствол трубы D<sub>y</sub> 1400 мм; 3- гидрозатвор регулирующего сброса; 4- Труба-сифон поддержания уровня зеркала пруда; 5- микро ГЭС; 6- сифонный рукав водозабора; 7-аппаратура КИП.

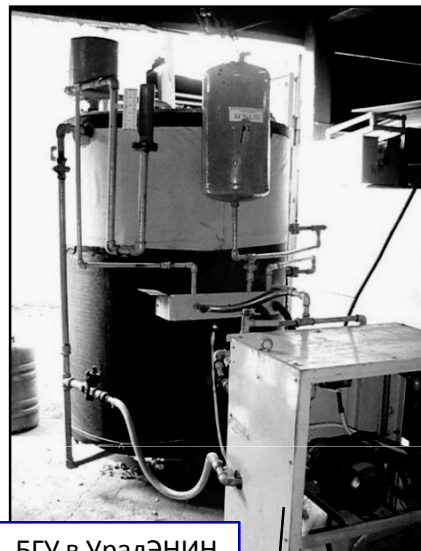
Исследование микро-ГЭС в составе КС ВИЭ было осуществлено на Бобровской пруду (Свердловская область, Белоярский район, пос.Растущий), расположенном рядом с «Энергоэффективным домом».

# Применение биогазовой установки в составе КС ВИЭ

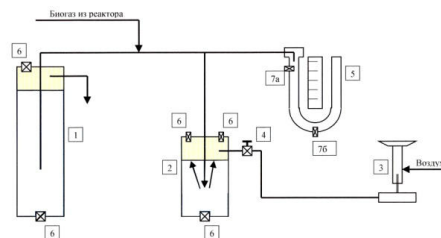
**Цель:** исследование возможностей использования БГУ в составе КС ВИЭ



БГУ в ЭЭД

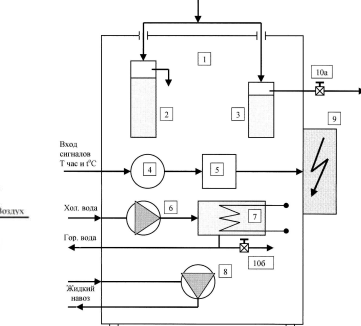


БГУ в УралЭНИН



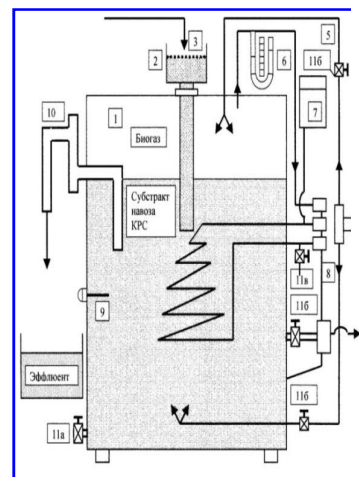
**Схема газоснабжения БГУ-1,5**

1 – гидрозатвор; 2 – огнепреградитель; 3 – газовая горелка; 4 – вентиль подачи биогаза; 5 – манометр; 6 – пробки для залива (а) и слива (б) воды из манометра.



**Схема блока вспомогательных устройств.**

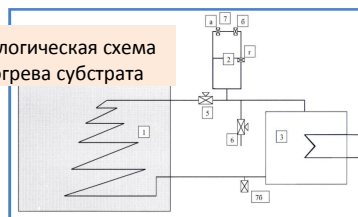
1 – корпус блока; 2 – гидрозатвор биогаза; 3 – огнепреградитель; 4 – реле времени; 5 – тепловое реле; 6 – насос водяной; 7 – электродвигатель; 8 – насос перемешивания навоза; 9 – электропитание; 10 – вентили биогаза (а) и слива воды (б).



**Схема БГУ-1,5**

1 – метантенк; 2 – загрузочная воронка; 3 – фильтр-сито; 4 – спиральный теплообменник; 5 – система трубопроводов перемешивания; 6 – манометр; 7 – расширительный бак; 8 – разъемное устройство; 9 – датчик температуры; 10 – система трубопроводов удаления эфлюента; 11 – вентили опорожнения (а), перемешивания (б).

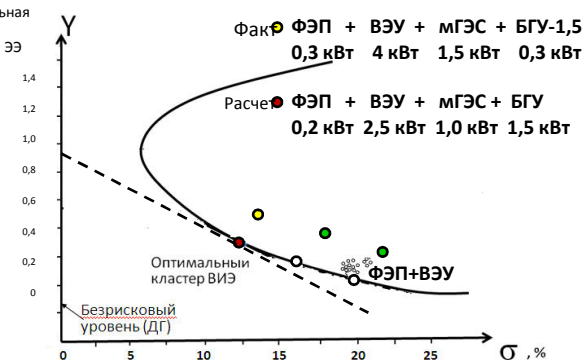
**Технологическая схема подогрева субстрата**



**Схема водоподогрева БГУ-1,5**

1 – спиральный теплообменник; 2 – бак для воды; 3 – электродвигатель; 4 – насос; 5 – вентиль подачи воды; 6 – вентиль продувки; 7 – пробки для залива (а) и слива (б), удаления воздуха (в), уровня (г).

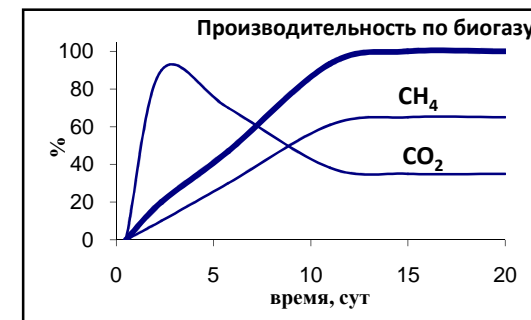
Относительная стоимость выработки ЭЭ



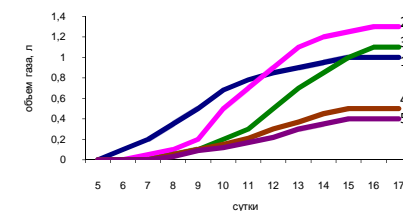
При наличии с/х фермы, БГУ выступает в роли безрискового источника энергии

**Режимы метангенерации**

Психрофильный	15-20 °С
Мезофильный	30-40 °С
Термофильный	52-56 °С



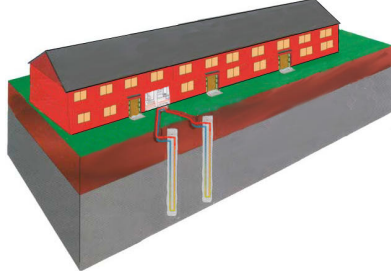
**Зависимость выхода CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> от продолжительности сбраживания навоза**



1, 2, 3, 4, 5 – влажность субстрата соответственно 80%, 85%, 88%, 90%, 92%

# Применение теплового насоса в составе КС ВИЭ

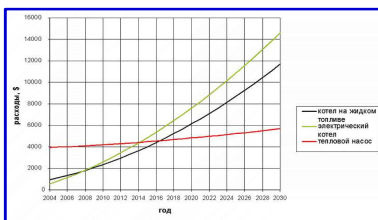
**Цель:** исследование эффективности использования теплового насоса в составе КС ВИЭ



## Расчет ТН для 1 кв. ЭЭД

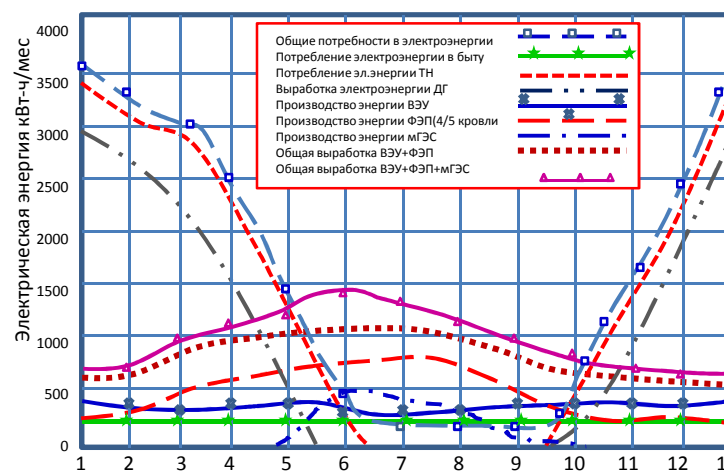
- Глубина скважины для зонда - 67 м.
- Количество скважин - 2
- Расстояние между скважинами - 6 м.
- Теплосъем - 40 Вт/м
- Теплосъем со 100 м зонда - 4-5 кВт/ч

## Ход годового изменения температуры окружающей среды

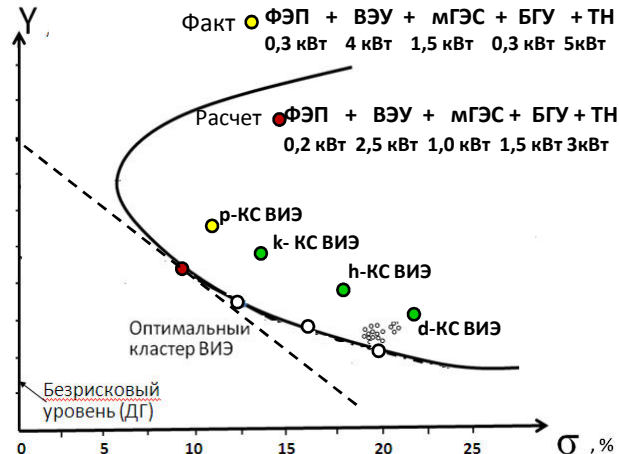


Технические характеристики	Установка для обогрева помещения			
	Газовый котел	Котел на жидком топливе	Электрический котел	Тепловой насос
Стоимость	Средняя	Средняя	Низкая	Высокая
Отаплив. площадь, м2	150	150	150	150
Мощность установки, кВт	15	15	15	15
Расход электрической энергии в час, кВт.ч	0,5	0,8	15	5,0
Источн. тепловой энергии	Газ	Диз.топливо	Электр.ток	Тепло земли
Расход эн.носителя в год	4000 м³	8500 литров	30000 кВт.ч	Бесплатно
Срок службы	5-10 лет	5-7 лет	5-10 лет	20-30 лет
Пожароопасность	Опасен (постоянный огонь)	Опасен (постоянный огонь)	Опасен	Безопасен
Взрывоопасность	Опасен	Опасен	Опасен	Безопасен
Стоимость агрегата и (тыс.руб.)	30,0	20,0	10,0	50,0
Стоимость комплекса монтажных работ (тыс. руб.)	140,0 (с подводкой газопроводом)	25,0 (с системой резервирования)	15,0 (с разводкой эл.системы)	160,0 (с грунтовым зондом)
Уровень экологической опасности	Вреден (выделяет CO и NO <sub>2</sub> )	Вреден (выделяет CO и NO <sub>2</sub> )	Безвреден	Безвреден
Годовые затраты на отопление (тыс. руб.)	15,0	20	65,0	10,0

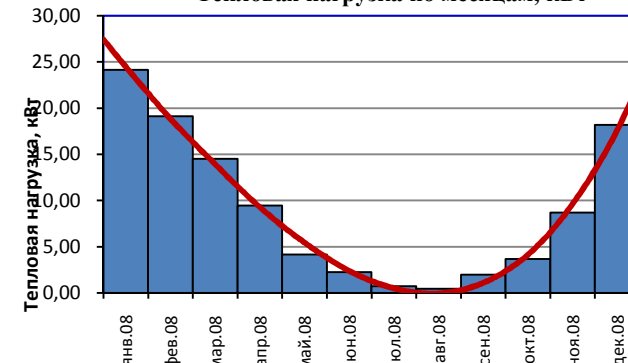
## Баланс потребления и производства электрической энергии пента – КС ВИЭ (ДГ+ ВЭУ+ФЭП+ мГЭС+ТН)



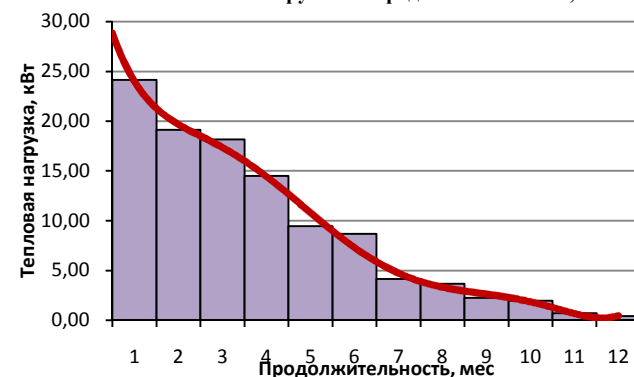
Относительная стоимость выработки



## Тепловая нагрузка по месяцам, кВт

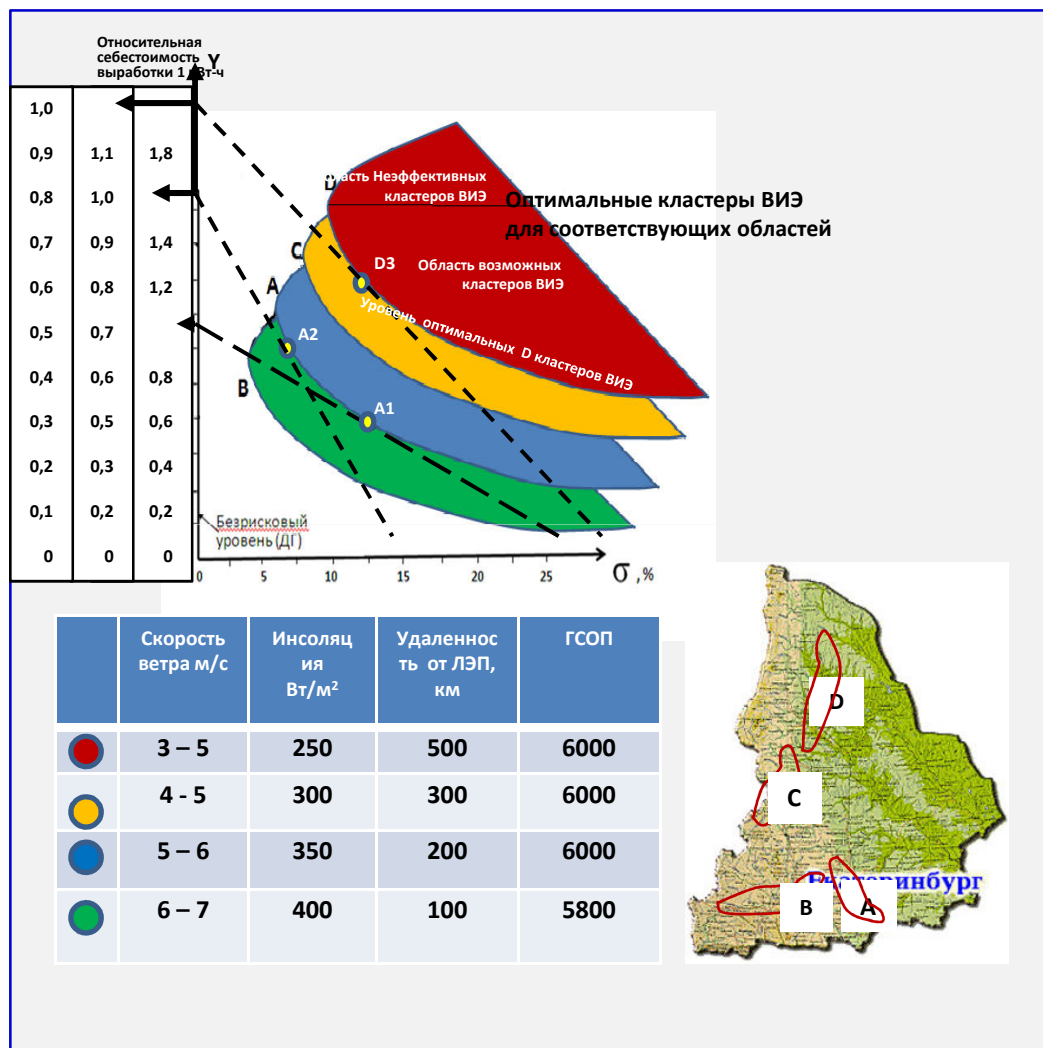


## Тепловая нагрузка по продолжительности, кВт





## Области определений оптимальных КС ВИЭ для различных территорий Свердловской области

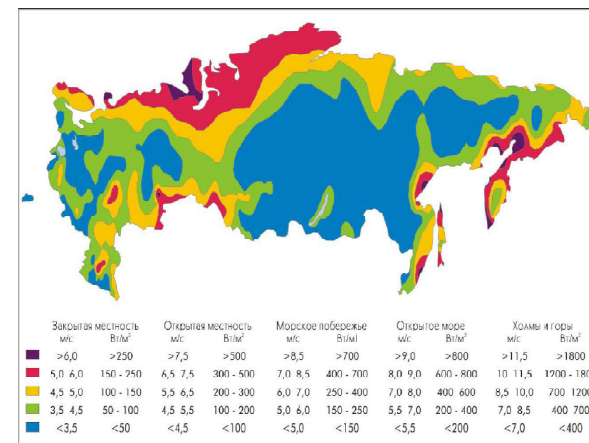


## Гипотететическая декомпозиция актинометрических характеристик и их интеграция с использованием методологии оптимальных КС ВИЭ

Карта ветров России



Карта солнечного потенциала России



## ***ВЫВОДЫ***

1. Возобновляемая энергетика для условий РКК России –дорогое удовольствие
2. Урал –не место для широкого внедрения ВИЭ, но место широкого **развертывания производства** лучшего оборудования ВИЭ для Мира.
3. **Импортозамещение ВИЭ** – при поддержке государственных программ и грантов.
4. Внедрение **Комплексных систем** ВИЭ – вектор для ВИЭ в РФ (Минобороны, МЧС, Минздрав, Мин ЖКиЭ).
5. Темпы развития ВИЭ на Урале – не должны быть ниже темпов, заложенных в программу развития энергетики РФ