



**Возобновляемая и
альтернативная
энергетика
Томской области**

**Борис Владимирович Лукутин
профессор, д.т.н.
Кафедра электроснабжения
промышленных предприятий**

Рассматриваемые темы:

- Тема 1.** Энергетические характеристики ВИЭ, способы их согласования с потребителем.
- Тема 2.** Характеристики процессов энергопреобразования в энергоустановках, использующих ВИЭ.
- Тема 3.** Идеология построения гибридных энергетических комплексов электро- и теплоснабжения .
- Тема 4.** Технико-экономические характеристики возобновляемой энергетики, перспективы её развития.

ВИЭ– это энергоресурсы постоянно существующих природных процессов на планете, а также энергоресурсы продуктов жизнедеятельности биоценозов растительного и животного происхождения.

Характерной особенностью ВИЭ является их неисhaustаемость, либо способность восстанавливать свой потенциал за короткое время – в пределах срока жизни одного поколения людей.



Классификация ВИЭ по видам энергии:



- механическая энергия (*энергия ветра и потоков воды*);
коэффициент использования – 0,3-0,7.
- тепловая и лучистая энергия (*энергия солнечного излучения и тепла Земли*);
коэффициент использования - 0,3-0,35, фотоэлектрическое преобразование – 0,15-0,3.
- химическая энергия (*энергия, заключенная в биомассе*)
коэффициент использования – 0,3.

Потенциал ВИЭ:

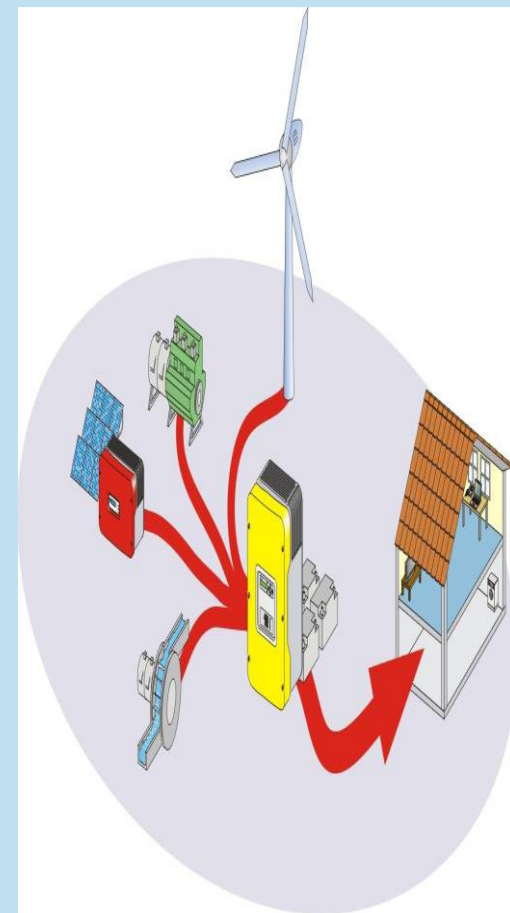
- **Валовый потенциал** – это количество энергии, заключенное в данном виде энергоресурса, при условии ее полного полезного использования;
- **Технический потенциал** – это часть валового потенциала, преобразование которого в полезную энергию целесообразно при соответствующем уровне развития технических средств;
- **Экономический потенциал** – часть технического потенциала, который экономически целесообразно преобразовывать в полезную энергию при конкретных экономических условиях.

Ресурсы ВИЭ в мире и России:

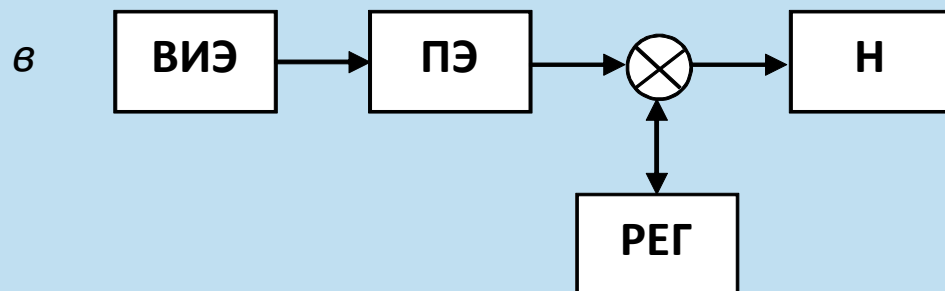
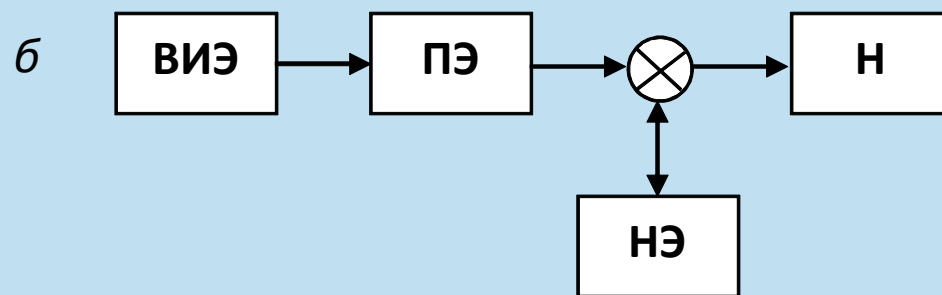
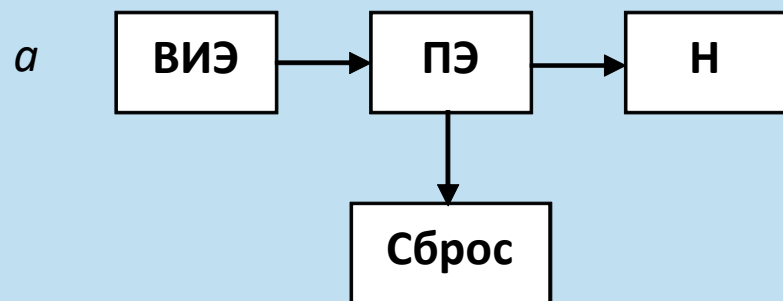
Вид энергии	Теоретические ресурсы, млн., т.у.т.		Технические ресурсы, млн., т.у.т.	
	мир	Россия	мир	Россия
Энергия солнца	$1,3 \cdot 10^8$	$2,3 \cdot 10^6$	$5,3 \cdot 10^4$	$2,3 \cdot 10^3$
Энергия ветра	$2,0 \cdot 10^5$	$2,6 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10^3$
Геотермальная энергия (до глубины 10 км)	$4,8 \cdot 10^9$	-	$1,7 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^2$
Энергия мирового океана	$2,5 \cdot 10^5$	-	-	-
Энергия биомассы	$9,9 \cdot 10^4$	10^4	$9,5 \cdot 10^3$	53
Гидроэнергия	$5,0 \cdot 10^3$	$3,6 \cdot 10^2$	$1,7 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^2$

Условия эффективного использования ВИЭ:

1. Обеспечение максимально эффективного использования возобновляемого энергоресурса.
2. Согласование вырабатываемой и потребляемой электроэнергии, что, в большинстве случаев, требует включения в энергосистему накопителей энергии.
3. Управление режимами работы преобразователей энергии, регулирование параметров генерируемой электроэнергии.



Согласование энергии ВИЭ с потребителем:



- а) система со сбросом энергии;*
- б) система с накопителем энергии;*
- в) система с регулируемой нагрузкой;*

***ВИЭ** – возобн.ист.энергии;
ПЭ – преобразователь энергии;
Н - потребитель;
Сброс – сброс в окружающую среду;
НЭ – накопитель;
РЕГ – регулятор.*

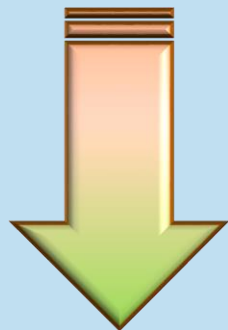
Выводы

- Достоинства ВИЭ:
- Экологичность,
- Неистощаемость,
- Большой энергетический потенциал,
- Повсеместная распространенность,
- Совершенные технологии использования,
- Конкуренентоспособность с топливной энергетикой,
- Недостатки ВИЭ по сравнению с топливной энергетикой:
- Изменчивость энергии, вплоть до исчезновения,
- Низкая энергетическая плотность по сравнению с углеводородным топливом,
- Большая материалоемкость и, соответственно, стоимость.

Себестоимость энергии от ВИЭ:

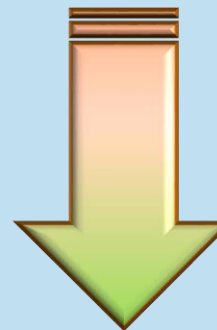
Солнечные электростанции

50 000\$



20 000\$

1,5\$



0,35\$

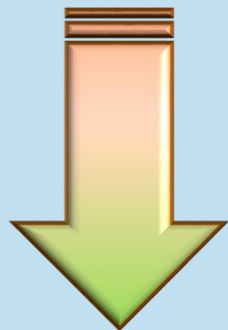
удельная стоимость за **1 кВт**

удельная стоимость за **1 кВт·ч**

Себестоимость энергии от ВИЭ:

Ветровые электростанции

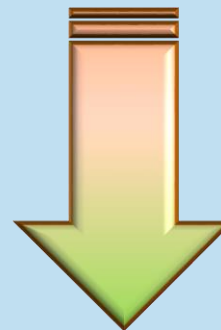
3 000\$



1 750\$

удельная стоимость за **1 кВт**

0,25\$



0,07\$

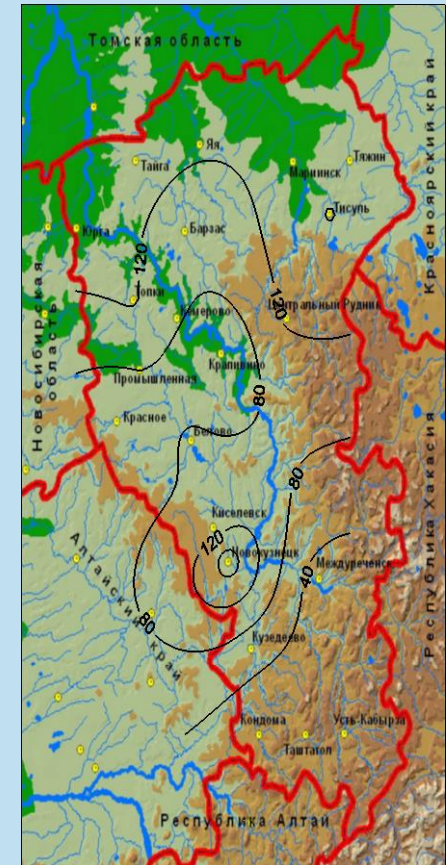
удельная стоимость за **1 кВт·ч**

ЭНЕРГИЯ ВЕТРА



Основные характеристики ветра:

- среднегодовая скорость ветра, годовой и суточный ход ветра;
- повторяемость скоростей, типы и параметры функций распределения скоростей ветра;
- вертикальный профиль средней скорости ветра;
- удельная мощность и удельная энергия ветра;
- ветроэнергетические ресурсы региона.



Среднегодовая скорость ветра :

$$V_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i,$$

где V_i – скорость ветра в интервале измерения i ;
 n – количество интервалов измерений.

Коэффициент вариации средних скоростей ветра :

$$C_v = \frac{S_v}{V_{\text{ср}}},$$

где S_v – среднеквадратичное отклонение текущей скорости ветра от среднего значения;
 $V_{\text{ср}}$ – средняя скорость ветра за исследуемый период времени.

Вертикальный профиль скорости ветра

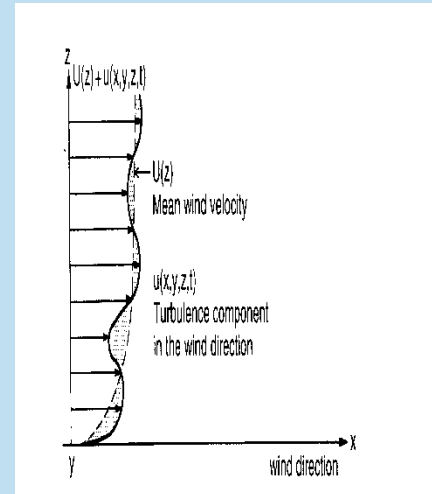
$$V_h = V_{\phi} (h/h_{\phi})^{\alpha},$$

V_h – скорость ветра на высоте h ;

V_{ϕ} – скорость ветра на высоте флюгера;

h_{ϕ} – высота флюгера;

α – коэффициент, зависящий от средней скорости ветра на высоте флюгера.



Зависимость α от скорости ветра V_{ϕ} :

V_{ϕ} , м/с	0...3	3,5...4	4,5...5	5,5	6...11, 5	12...12,5	13...14
α	0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,35	0,13

Среднегодовая скорость ветра

Скорость ветра, м/с	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
0 – 1	28.7	28.3	26.5	23.1	16.4	20.5	30.7	28.3	23.6	19.5	19.2	28.0	24.4
2 – 3	33.6	33.1	32.0	31.0	31.0	31.8	36.0	26.6	36.3	33.2	32.0	34.5	33.4
4 – 5	22.8	23.9	25.4	27.3	31.4	29.8	22.4	23.6	26.0	30.1	28.3	23.6	26.3
6 – 7	10.4	10.4	11.4	12.7	14.2	12.3	7.8	8.0	9.6	12.1	14.2	10.4	11.1
8 – 7	3.6	3.7	4.3	5.4	6.2	4.9	2.8	3.3	4.2	4.6	5.8	3.1	4.3
10 – 11	0.6	0.3	0.2	0.4	0.6	0.4	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
12 – 13	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		0.1	0.1	0.2	0.1	0.1
14 – 15		0.1	0.1			0.2							0.0
16 – 17					0.1					0.1			0.0

Теоретический ветроэнергетический потенциал:

$$P \cong 0,95 \rho_{\text{ср}} (V_{\text{ср}})^3.$$

где P – удельная мощность [Вт/м²];

$\rho_{\text{ср}}$ – средняя плотность воздуха [кг/м³];

$V_{\text{ср}}$ – средняя скорость ветра.

Полная ветровая энергия:

$$W_{\text{В}} = \frac{1}{40} \rho T S \int_0^{\infty} V^3 f(V) dV,$$

где V – скорость ветра. S – площадь территории. T – рассматриваемый период времени.

Мощность ветроэлектростанции :

$$P_{\text{ср}} = \frac{\pi}{8} D^2 \rho \int_0^{\infty} V^3 \eta(V) \cdot f(V) dV.$$

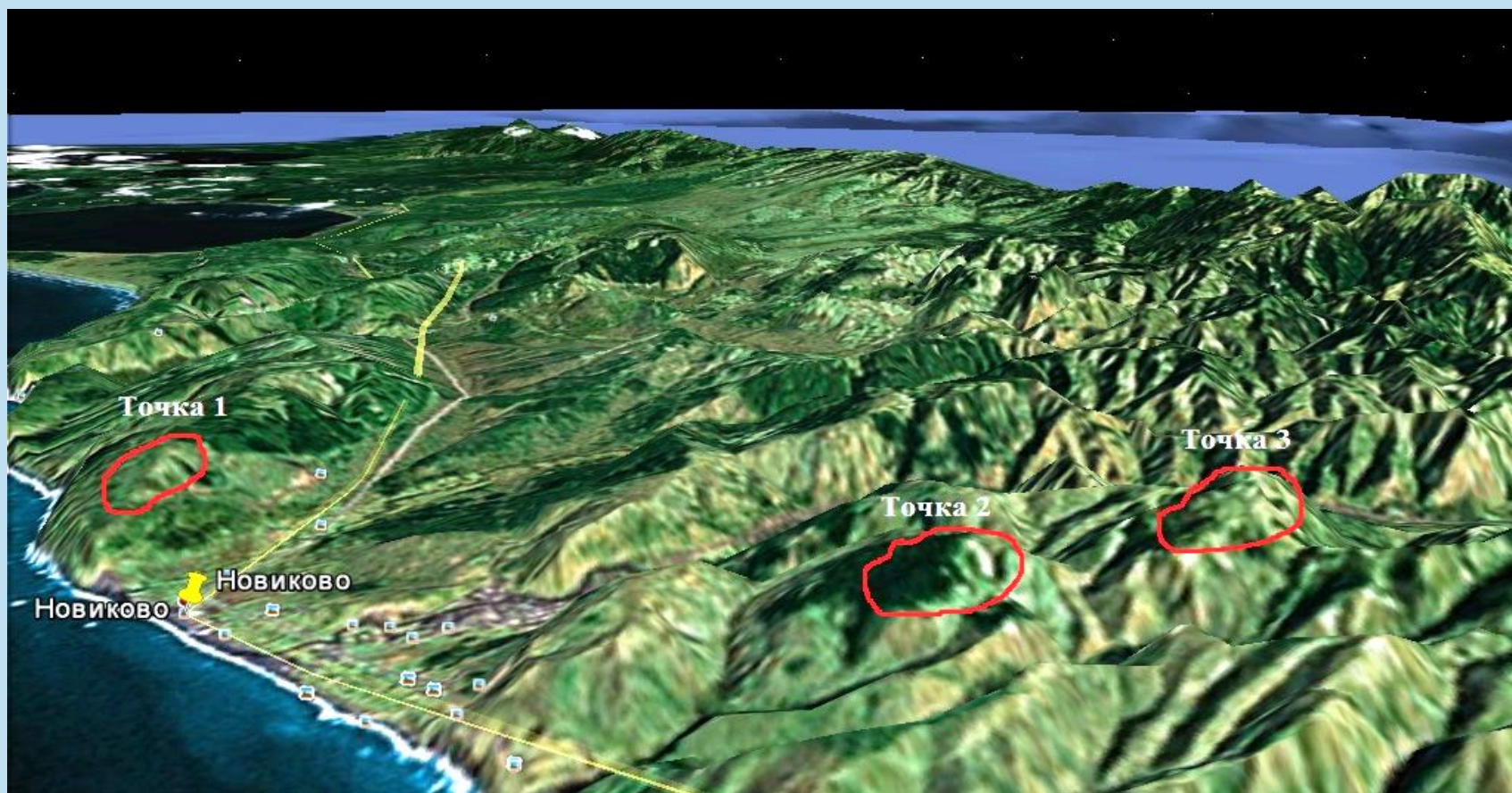
где D – диаметр ветротурбины [м];

$\eta(V)$ – КПД установки для скорости ветра V ;

Полная ветровая энергия (техн.):

$$W_{\text{T}} = \frac{P_{\text{ср}}}{1000} \cdot T \cdot \frac{S_{\text{T}}}{(20D)^2} [\text{кВт} \cdot \text{ч/год}]$$

Размещение ВЭС



ГИДРОЭНЕРГИЯ



Гидроэнергетические ресурсы:

Гидроэнергетические ресурсы – это часть водных ресурсов территории, которая может быть использована для производства энергии.

Мощность водотока P [Вт] :

$$P = \rho g Q H = 9810 Q H \text{ [Вт] ,}$$

где ρ – плотность воды, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

H – разность уровней на длине участка l , м;

Q – средний расход воды, м³/с.

Валовый потенциал энергии водотока:

$$W_l = 9,81QHT$$

где ρ – плотность воды, кг/м³;

l – длина участка реки, м. T – временной интервал.

Расход воды на участке реки [м³/с] :

$$Q_{\text{ср}} = \frac{Q_1 + Q_2}{2},$$

где Q_1 , Q_2 – расходы в начале и конце анализируемого участка водотока.

Продольный профиль русла



Конструкции микроГЭС

Схемы создания напора

1. Деривационная



2. Русловая



Микро – ГЭС мощностью 10 кВт



Карта-схема аномальных уклонов рек ТО



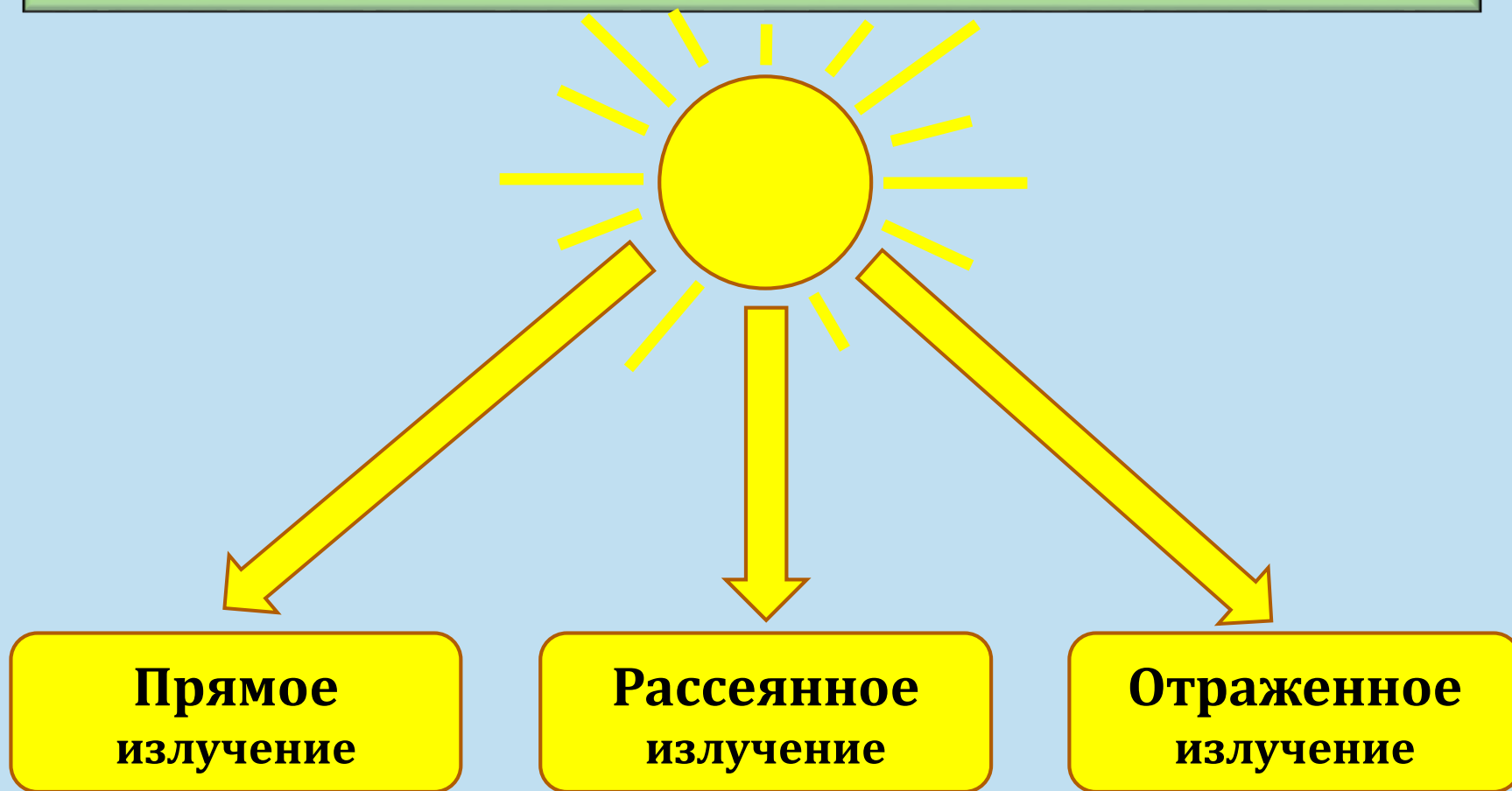
СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ



Основные параметры, оказывающие влияние на гелиоэнергетические ресурсы местности:

- Интенсивность прямого солнечного излучения;
- Величина рассеянного солнечного излучения;
- Величина отраженного солнечного излучения;
- Отражающая способность подстилающей поверхности;
- продолжительность светового дня;
- средняя месячная и годовая продолжительность солнечного сияния;
- средние месячные и годовые характеристики прозрачности атмосферы и ряд других;

Составляющие солнечного излучения:



Уравнение радиационного баланса:

$$B = S' + D + E_0 - R_K - E_3$$

или

$$Q = S' + D,$$

где S' – прямая солнечная радиация на горизонтальную поверхность;

D – рассеянная солнечная радиация;

R_K – отраженная коротковолновая радиация;

E_0 – противоизлучение атмосферы;

E_3 – излучение земной поверхности;

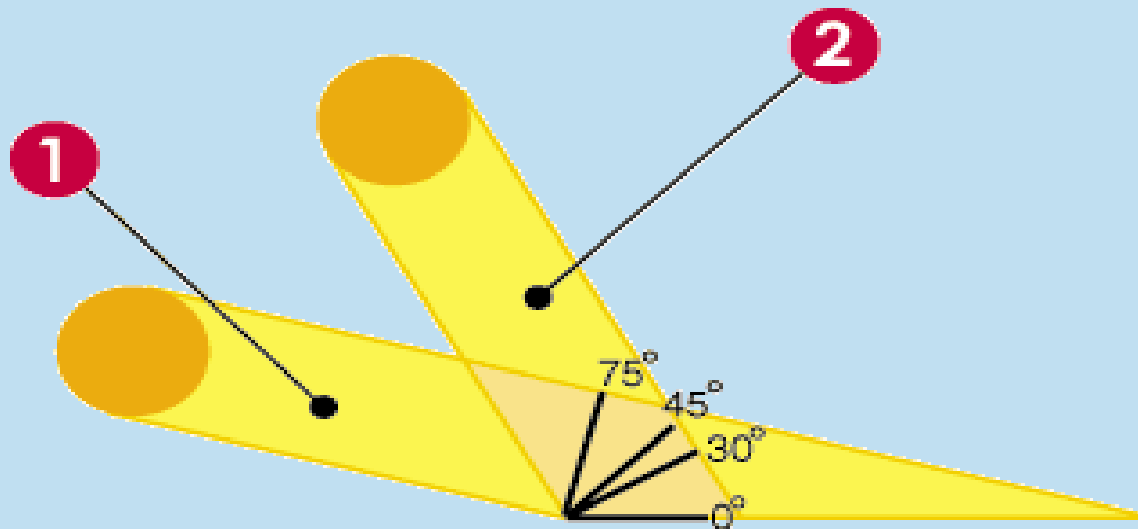
Q – суммарная солнечная радиация;

Прямое солнечное излучение:

– это пучок параллельных лучей, исходящих непосредственно от солнца и околосолнечной зоны радиусом 5° .

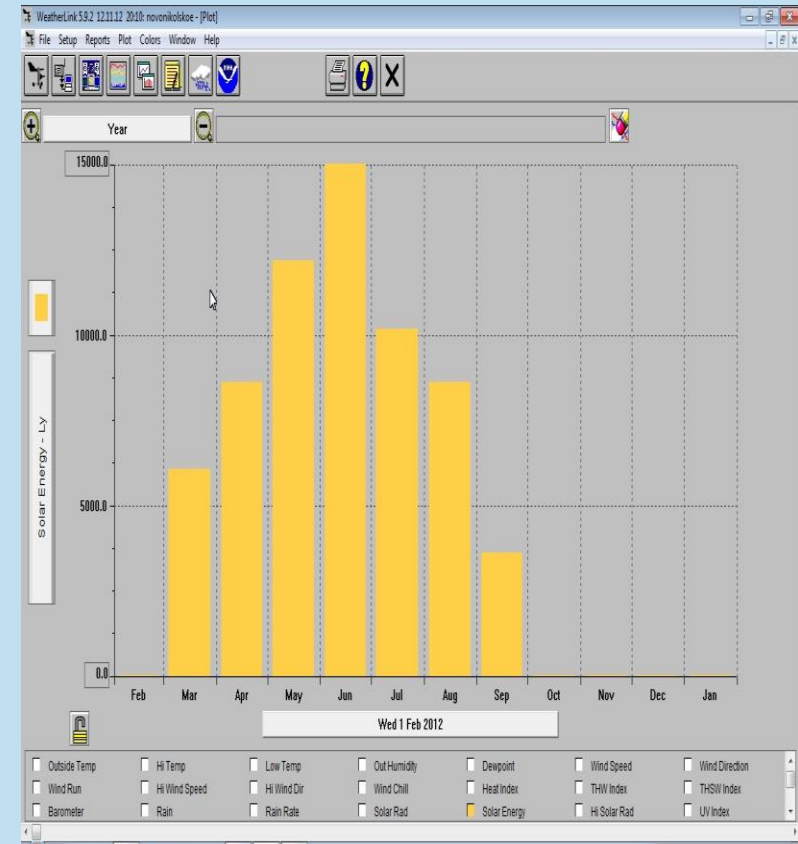
$$S' = S \cdot \sin h,$$

где h – высота солнца над горизонтом.

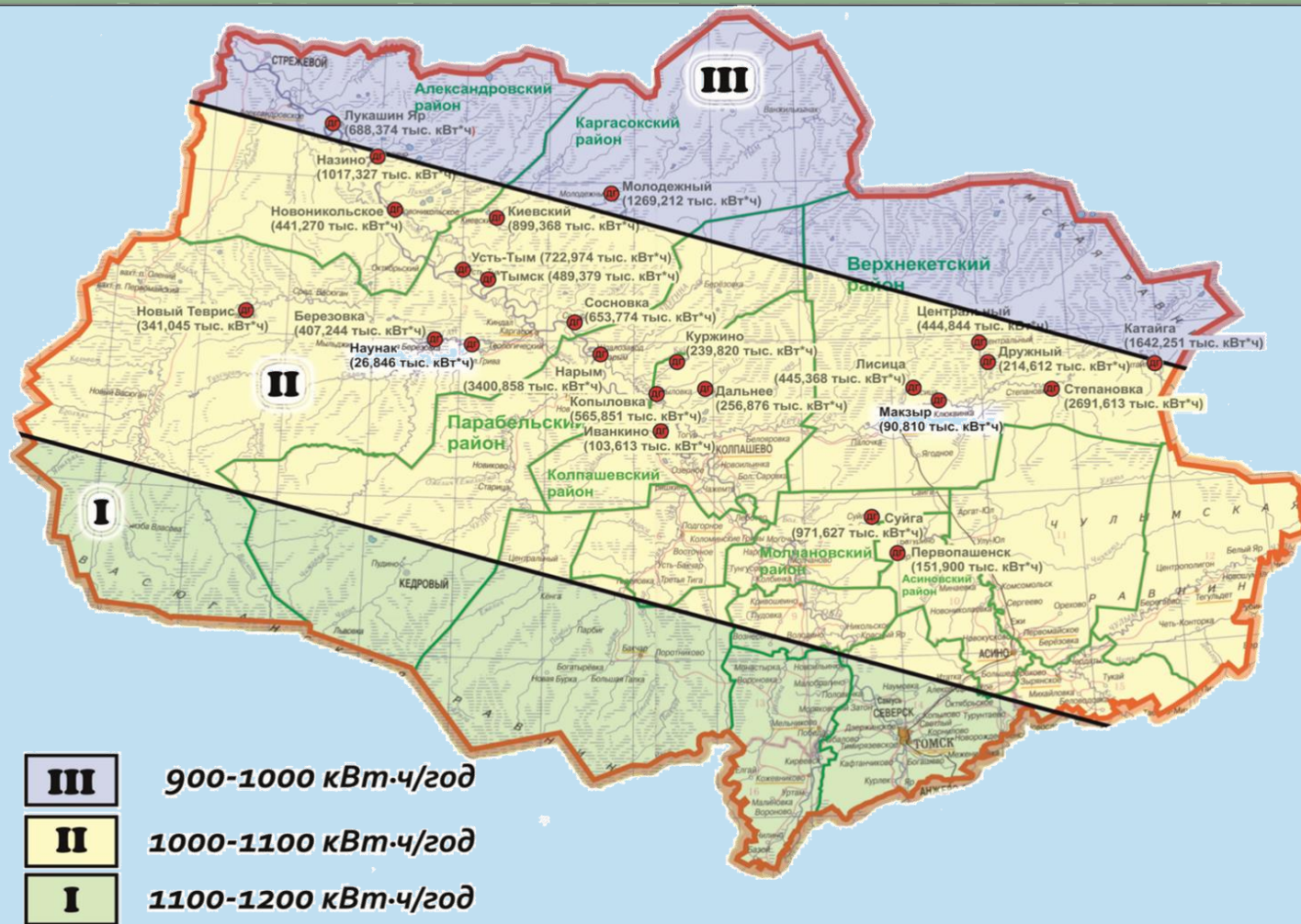


Приход солнечной радиации зависит:

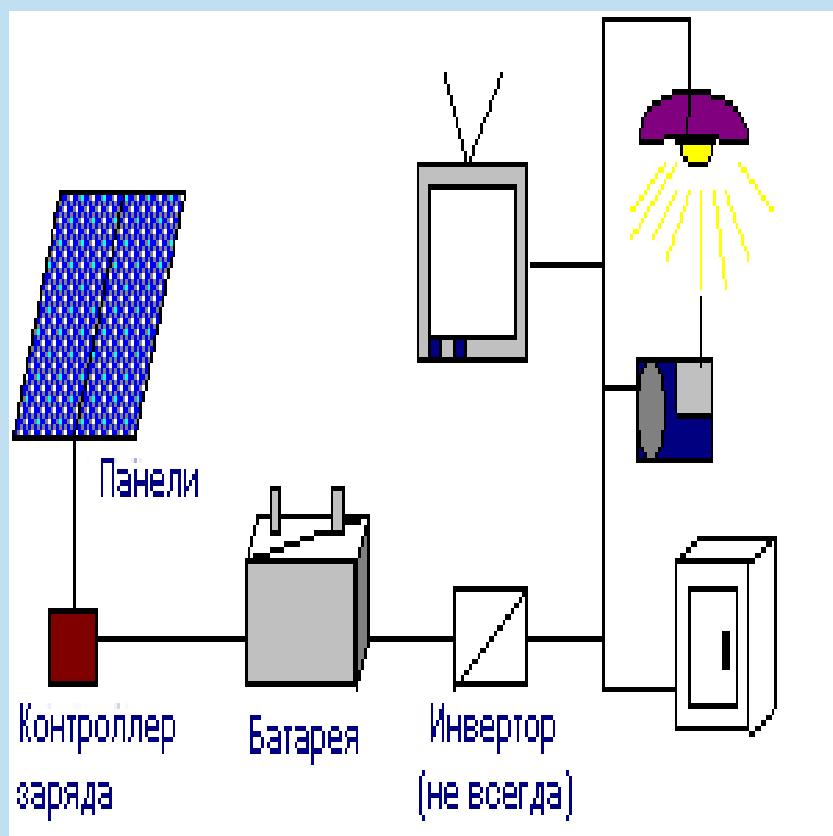
- от широты места;
- от времени года и суток;
- от прозрачности атмосферы;
- от облачности;
- от характера подстилающей поверхности;
- от высоты места над уровнем моря;
- от закрытости горизонта



Распределение гелиоэнергетического потенциала по Томской области:



Фотоэлектростанция

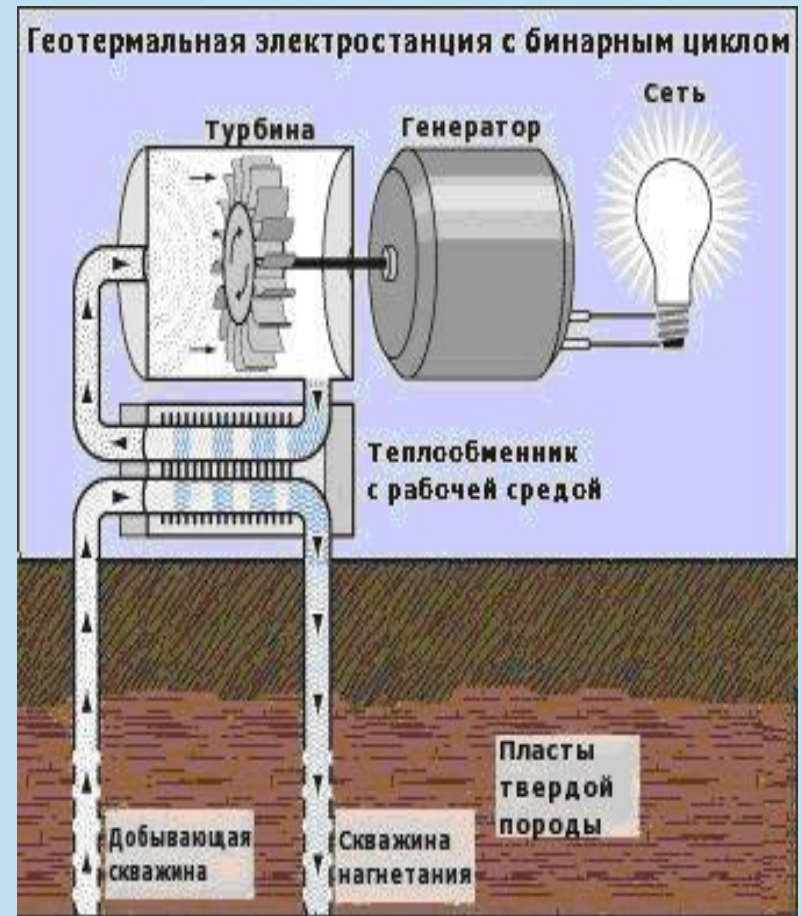


ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ

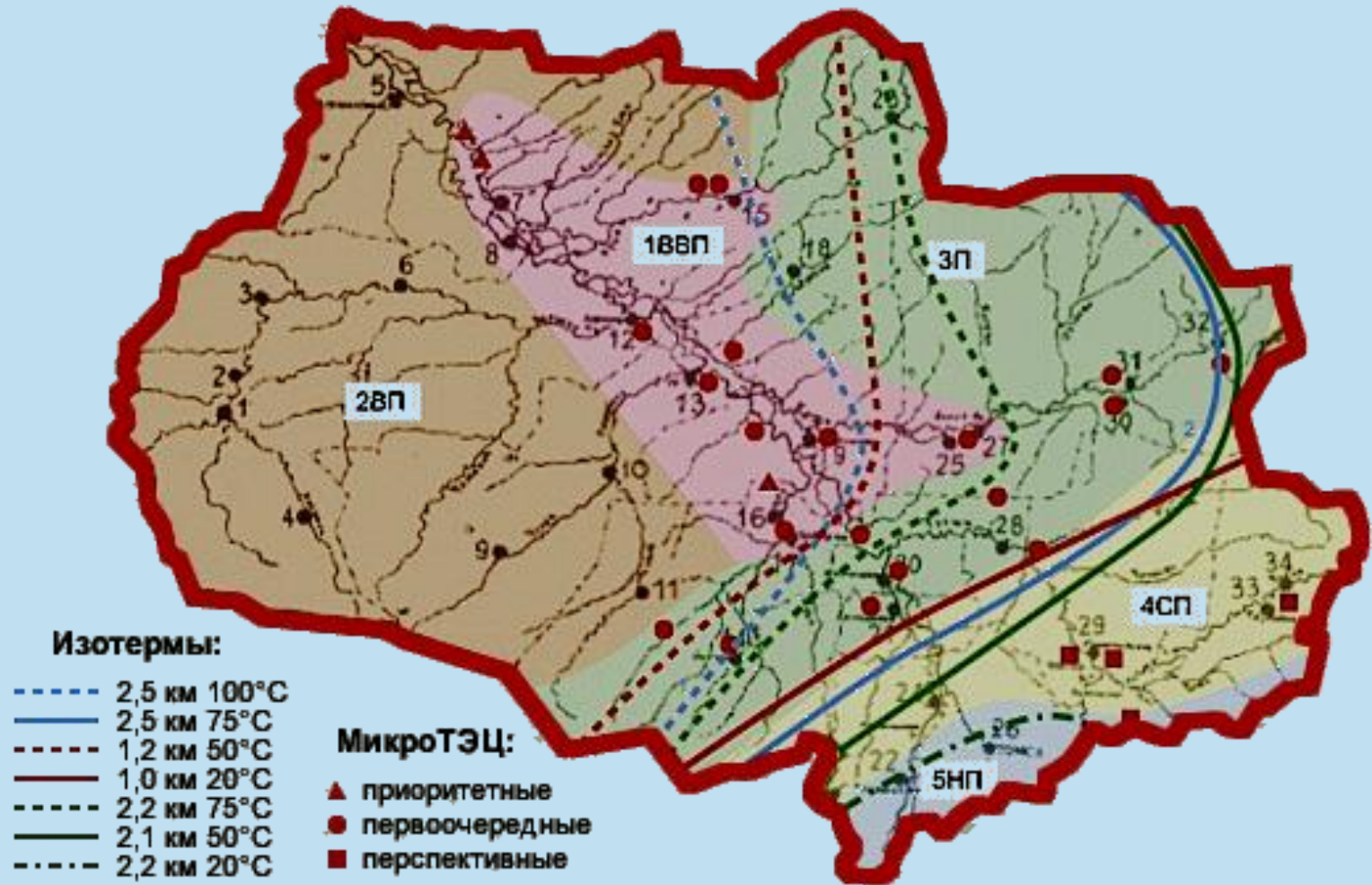


Энергетические характеристики геотермальных вод

- Температура (высокопотенциальные, среднепотенциальные, низкопотенциальные);
- Ресурсный показатель;
- Дебет скважины;
- Давление на устье скважины;
- Степень минерализации;
- Газовый фактор.

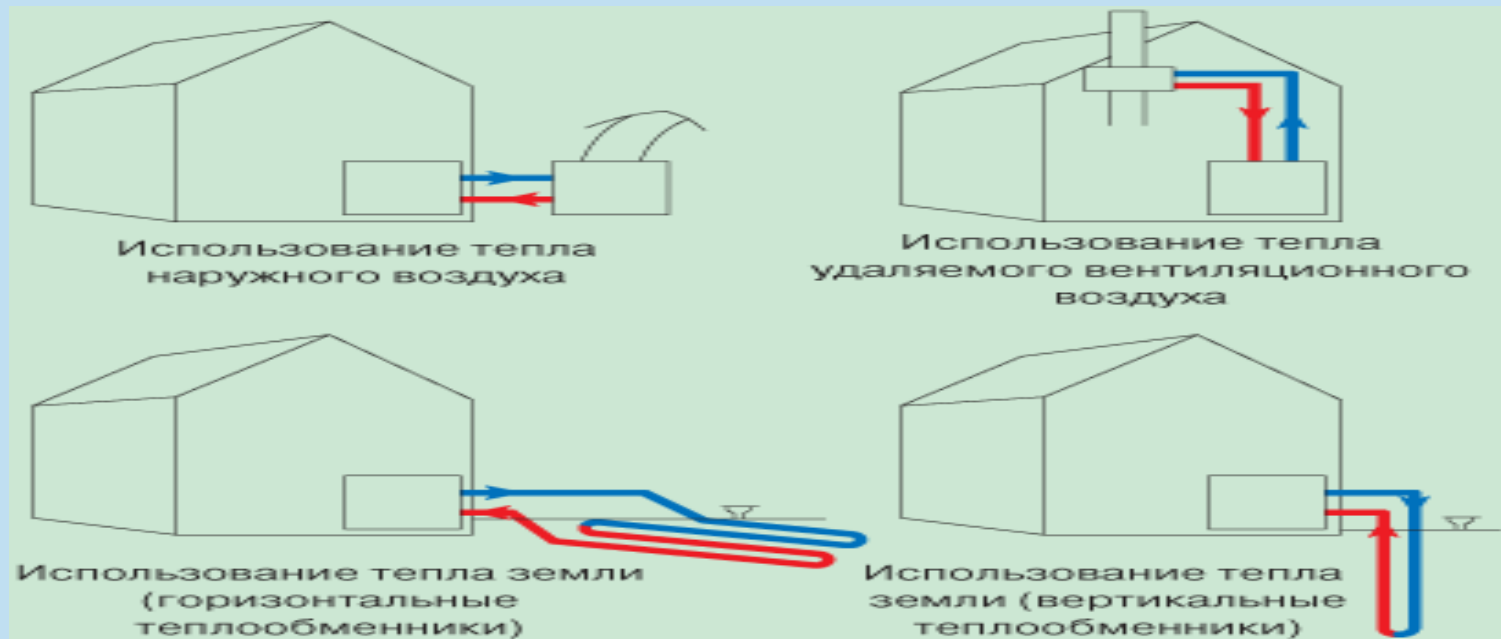


Распределение гидрогеотермальных запасов по Томской области:

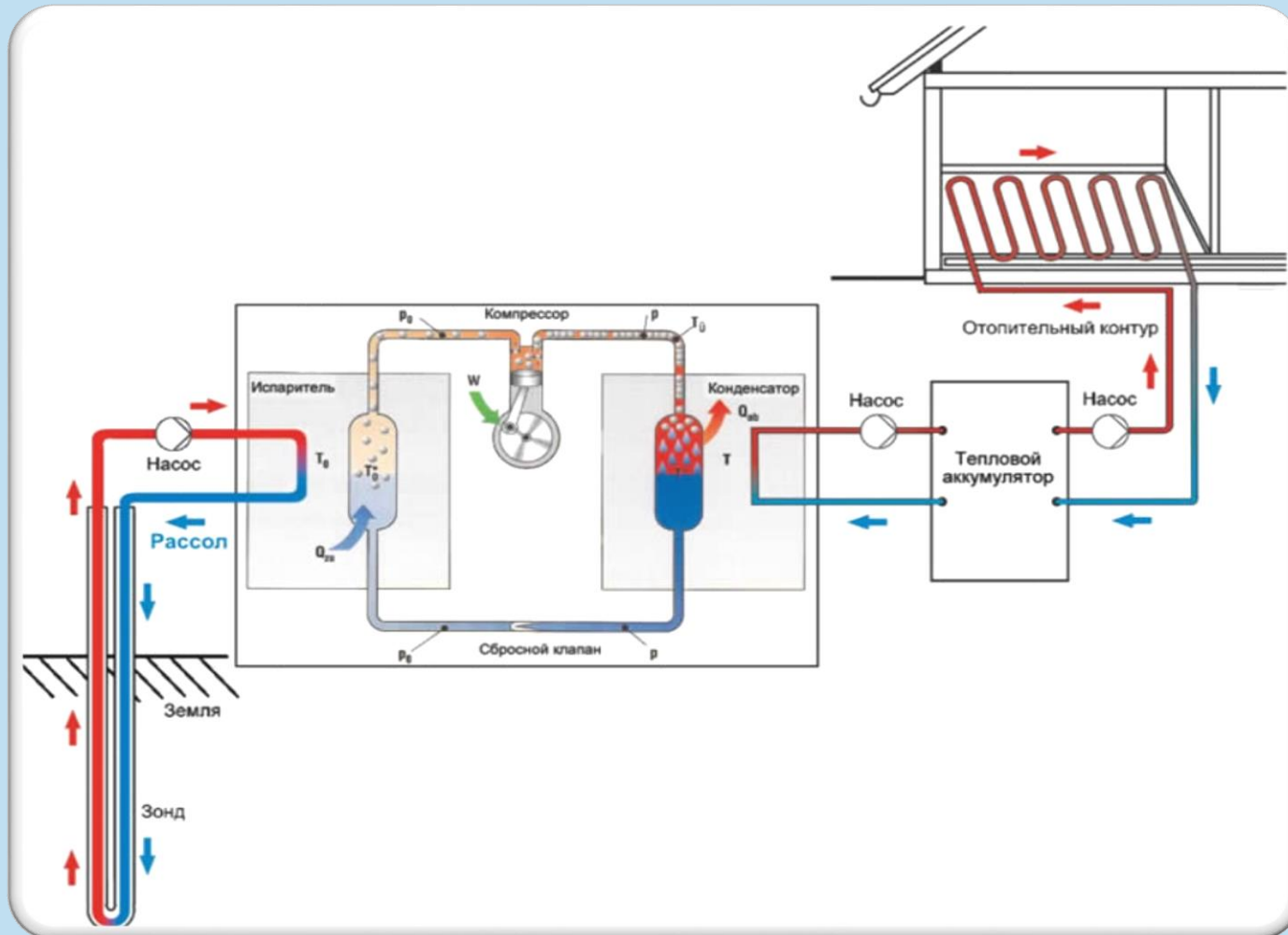


Тепловой насос:

– устройство для переноса тепловой энергии от источника низкопотенциальной тепловой энергии (с низкой температурой) к потребителю (теплоносителю) с более высокой температурой



Принцип работы тепловых насосов:



ЭНЕРГИЯ БИОМАССЫ



Энергетический потенциал биомассы
определяется следующими факторами

- Объем биоресурса, его распределение по территории децентрализованной энергетической зоны
- Теплотворные способности различных видов, биомассы
- Абсолютная и относительная влажность исходного сырья.

Энергетическая оценка ежегодного объема
древесного топлива в Томской области:

Группа пород	Масса топлива, кг	Теплотворная способность, Дж/кг	Общая теплотворная способность, Дж
Хвойные	$10102 \cdot 10^5$	$13523 \cdot 10^3$	$1366 \cdot 10^{13}$
Лиственные	$69656 \cdot 10^5$	$13230 \cdot 10^3$	$9215 \cdot 10^{13}$
Всего	$79758 \cdot 10^5$		$10581 \cdot 10^{13}$

Теплота сгорания топлива:

Топливо	Содержание водорода в горючей массе, %	Содержание в рабочем топливе, %		Теплота сгорания, МДж/кг/ккал/кг	
		влаги	зола		
Бензин	15,0	0	0	47,35/11300	44,00/10501
Антрацит	1,8	5	13	27,65/6599	27,24/6501
Каменный уголь	5,5	13	20	21,45/5119	20,28/4840
Бурый уголь	5,2	17	25	16,88/4029	15,80/3771
Торф:					
фрезерный	6,0	50	6	10,35/2470	8,51/2031
кусковой	6,0	40	7	12,44/2969	10,73/2561
брикет	6,0	20	6	20,53/4899	17,01/4060
Дрова	6,0	40	0,6	12,03/2871	10,22/2439

Котельная на древесных отходах



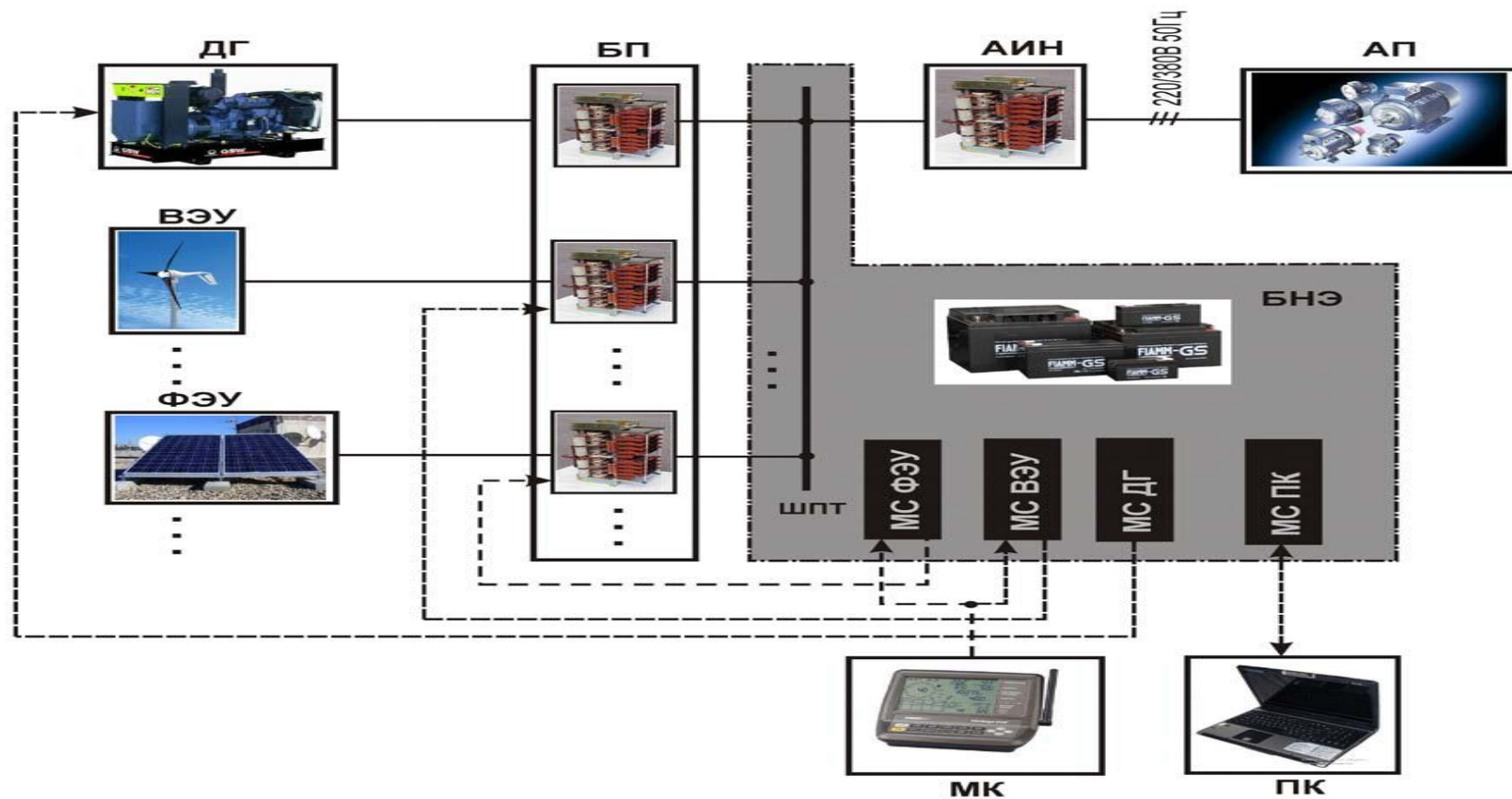


- ✓ Твердое б.т.
- ✓ Жидкое б.т.
- ✓ Газообразное

Достоинства гибридных энергоустановок

1. Гарантированное энергообеспечение автономного потребителя.
2. Обеспечение надежности энергообеспечения.
3. Снижение стоимости электроэнергии.
4. Повышение экологичности энергетического комплекса.
5. Снижение эксплуатационных затрат.

Гибридный энергетический комплекс



ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ



Основные нормативно-правовые документы:

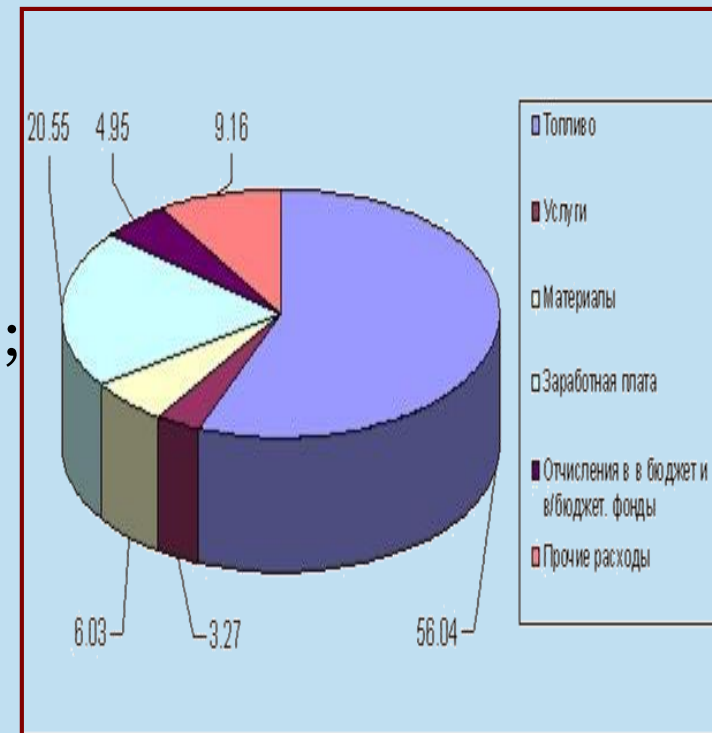
- Федеральный закон об энергосбережении
- Правила пользования электрической энергией
- Типовая инструкция по учету электроэнергии при ее производстве, передаче и распределении
- Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения
- Порядок установления показателей энергопотребления и энергосбережения в документации на продукцию и процессы

Определение условий технико-экономической эффективности использования ВИЭ:

- Комплексный подход к оценке экономической и энергетической эффективности децентрализованных зон с различными типами энергоисточников;
- Региональные, климатические, географические факторы при определении условий экономической и энергетической эффективности функционирования децентрализованных систем энергообеспечения;
- Тенденции развития и изменения зон децентрализованного энергоснабжения;
- Тенденции развития энергоустановок, использующих местные, в том числе возобновляемые энергоресурсы

Возможные варианты электроснабжения автономного объекта:

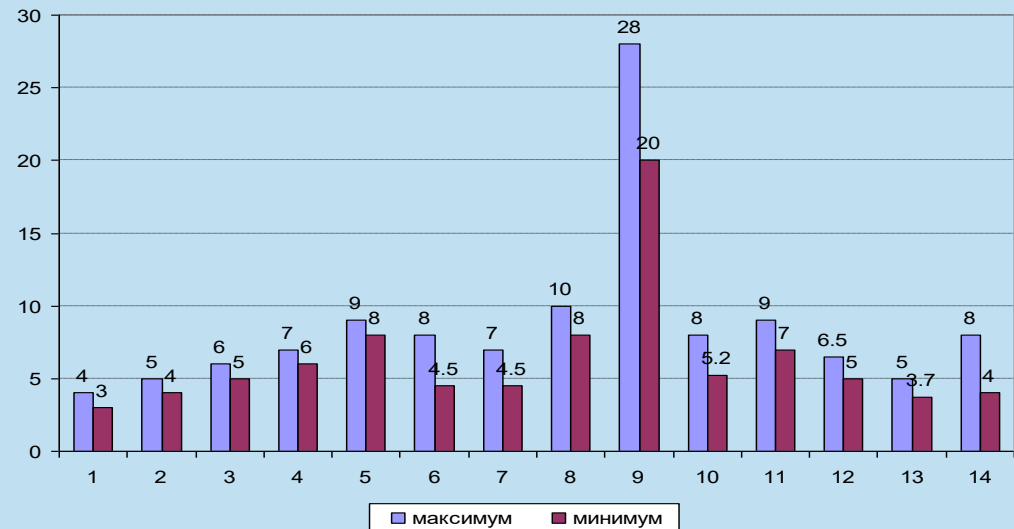
- Централизованное электроснабжение (строительство ЛЭП);
- Дизельные электростанции;
- Микрогидроэлектростанции;
- Ветроэнергетические установки;
- Солнечные электростанции;
- Гибридные электростанции.



Критерии оценки:

- Технические;
- Экономические;
- Социально-экологические

Стоимость электроэнергии



Технические критерии:

В группу технических показателей входит всего один критерий – критерий технической выполнимости проекта.

Исходными данными для определения данного критерия являются сведения об основных технических характеристиках первичного источника энергии.

Критерии экономической эффективности:

$$z = \frac{p_n K + C}{P},$$

где P – установленная мощность объекта электроснабжения (кВт);

K – общие капиталовложения (руб);

C – общие годовые эксплуатационные расходы (руб);

p_n – нормативный коэффициент рентабельности;

Общие капиталовложения:

$$K = K_{\text{уст}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{стр}}$$

где $K_{\text{уст}}$ – стоимость комплектного оборудования (руб);

$K_{\text{пр}}$ – стоимость проектных работ по определению места установки на местности (руб);

$K_{\text{стр}}$ – стоимость строительных и монтажных работ по установке электростанции (подстанции) (руб);

Нормативный коэффициент рентабельности:

$$P_{\text{н}} = \frac{1}{T}$$

где T – экономический срок службы оборудования (лет)

Общие годовые эксплуатационные расходы:

$$C = C_{\text{экс}} + C_{\text{рем}} + C_{\text{топ}} + C_{\text{д.топ}}$$

где $C_{\text{экс}}$ – годовые расходы на эксплуатацию системы электроснабжения (руб);

$C_{\text{рем}}$ – годовые расходы на плановый ремонт (руб);

$C_{\text{топ}}$ – годовые расходы на топливо (руб);

$C_{\text{д.топ}}$ – годовые расходы на доставку топлива (руб).

Стоимость электроэнергии:

$$C_{\text{эл}} = \frac{p_{\text{н}}K + C}{W}$$

где W – общее количество электрической энергии, вырабатываемое электростанцией в течение года.

Социально-экологические критерии:

- Потенциальная угроза жизни людей;
- Наличие топливной составляющей;
- Отчуждение земли;
- Влияние на птиц и животных;
- Акустическое воздействие и вибрация;
- Электромагнитное излучение.

*Спасибо за
внимание!*

*Thank you for
attention!*