



# Практическая работа №1

## Выбор параметров ДЭС и буферного накопителя энергии

**Митрофанов Сергей  
Владимирович**

к.т.н., доцент кафедры СЭСП



# Часть первая. Выбор мощности и числа агрегатов ДЭС



Более 50 000  
автономных  
энергоустановок  
(более 85% - ДЭС)



ДЭУ 0,4 кВ, 200 кВт

Бензиновые

Дизельные

Газовые



ДЭУ 0,4 кВ, 5 кВт

Без накопителя



$$P_{ДЭС} \geq 1,25 P_{\max \text{ нагр}}$$

С накопителем



1. Ёмкость накопителя соизмерима с суточным потреблением

$$P_{\text{номДЭС}} = \frac{W_{\text{сут}}}{t}$$

2. Ёмкость накопителя не соизмерима с суточным потреблением

$$k_{\text{узм}} = \frac{\sum \frac{P_i}{P_{\text{уст}}}}{24}$$

# Методика определения мощности ДЭС

- Для крупных потребителей мощность и количество генерирующих установок определяется исходя из:

## 1. Экономичного покрытия графика нагрузки

- При наличии ВИЭ:

$$W_{ВИЭ} \rightarrow \max$$

(Используем накопитель, чтобы максимально вытеснить ДЭС)

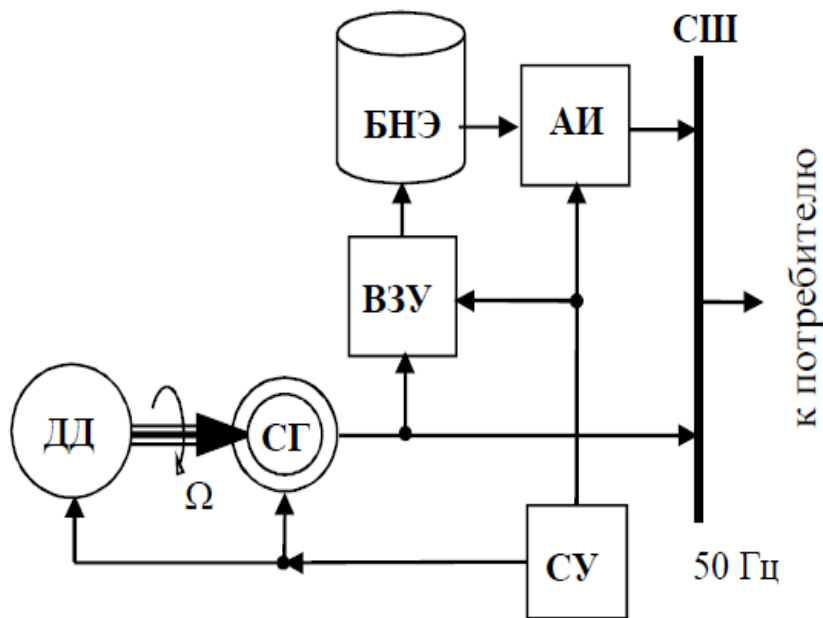
- При отсутствии ВИЭ:

$$q_{ДЭУ}(P) \rightarrow \min$$

(Срезаем пики, заполняем провалы)



# Схема ДЭС с накопителем энергии



ДД – дизельный двигатель  
СГ – синхронный генератор  
ВЗУ – выпрямитель  
БНЭ – буферный накопитель  
АИ – автономный инвертор  
СУ – система управления

## Рекомендации для выбора ДЭС

1) Генераторы ДЭС должны быть одинакового типоразмера, что позволит облегчить монтаж и обслуживания оборудования

2) Для обеспечения надежности электроснабжения при выводе в ремонт и обслуживании агрегатов ДЭС, их количество должно быть избыточным

$$\begin{aligned} n_{\text{ДЭС}} &= n_{\text{ДЭУ}}(P_{\text{max}}) + 1 \\ n_{\text{ДЭУ}} &\geq 2 \end{aligned}$$

3) При выборе и эксплуатации ДЭС должны быть учтены климатические характеристики местности.

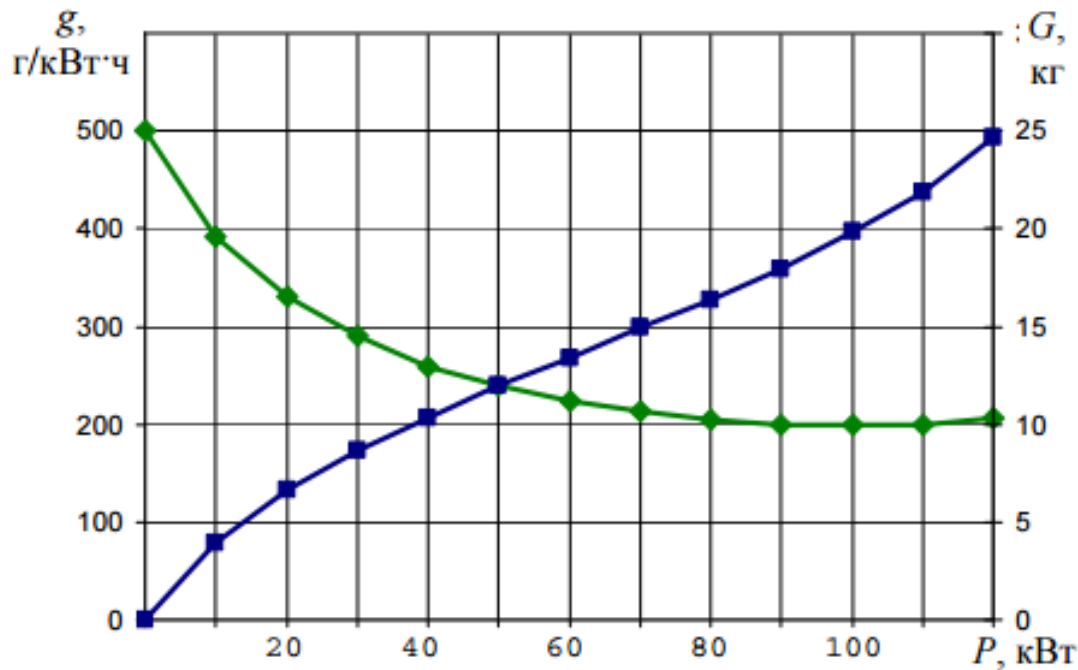


Рис.2.6. Нагрузочная характеристика ДЭС АД-100

$$k_3 = \frac{P_i}{P_{\text{НОМ}}}$$

Долговременная работа при нагрузке менее 40% запрещена

$$k_3 \geq 0,4 \rightarrow \text{нес}$$

При загрузке менее 60% работа ДЭС становится неэффективной

$$k_3 \geq 0,7 \rightarrow \text{opt}$$



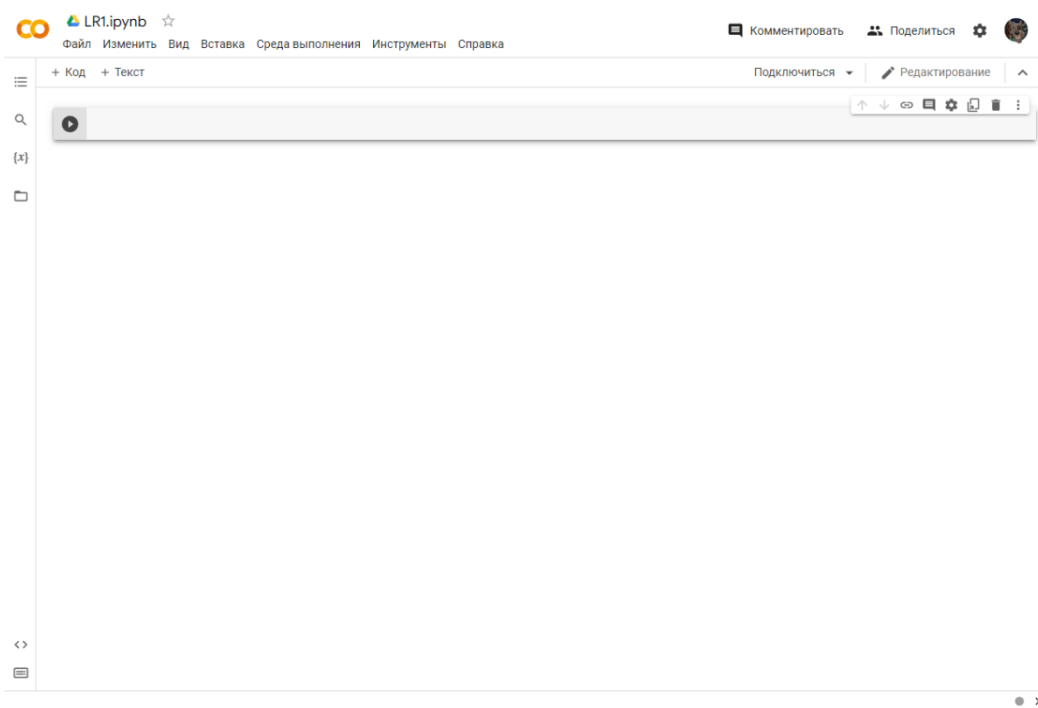
Python — это высокоуровневый язык программирования общего назначения

Главные преимущества данного языка:

1. Простота синтаксиса
2. большое количество модулей и библиотек самого разнообразного функционала





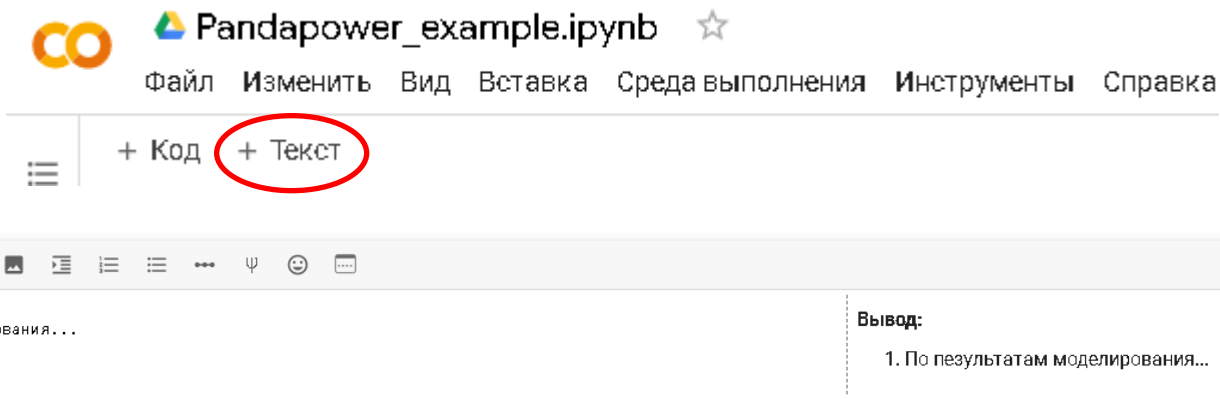


## Основные достоинства:

1. Работа в онлайн формате на основе вычислительных ресурсов Google;
2. Хранение блокнотов с кодом на облачном диске;
3. Возможность обмениваться блокнотами и работать над одним проектом совместно с коллегами.

# Среда разработки Google.Colab

В Colab можно создавать блоки с кодом Python, которые можно запустить, нажав на клавишу “Play” (треугольник в кружке), а также текстовые блоки с пояснениями, дополнениями, заголовками и т.д.



```
[1] a = 4 # переменная, содержащая целое число
    b = 1.2 # переменная, содержащая дробное число
    c = 1+2j # переменная, содержащая комплексное число
    d = 'The quick brown fox jumps over the lazy dog' # переменная, содержащая текст
    e = "Съешь ещё этих мягких французских булок, да выпей чаю" # так тоже можно
    f = [a, b, c, d, e] # список, о нем позже
    g = (a, b, c, d, e) # кортеж, о нем позже
    h = {a:'целое число', b:'дробное число', c:'комплексное число', d:'строка',
        e:'строка', g:'кортеж'} # это словарь, о нем позже
```

```
[ ] print('a+b =', a+b)
    print('a*c =', a*c)
    print('a/b =', a/b)
    print('a//b =', a//b)
    print('a%b =', a%b)
    print('a**b =', a**b)
    print('a is b =', a is b)
    print('a in f =', a in f)
    print("'a'*8 =", 'a'*8)
```

```
a+b = 5.2
a*c = (4+8j)
a/b = 3.3333333333333335
a//b = 3.0
a%b = 0.400000000000000013
a**b = 5.278031643091577
a is b = False
a in f = True
'a'*8 = aaaaaaaaa
```

## Встроенные функции для работы со списками

**my\_list.append(x)** - добавляет **x** в конец списка

**my\_list.clear()** - очищает список

**my\_list.count(x)** - возвращает кол-во элементов со значением **x**

**my\_list.extend(x)** - добавляет элементы списка **x** к концу списка **my\_list**

**my\_list.index(x, start, end)** - возвращает индекс первого найденного **x**, можно задать промежуток для поиска (опционально)

**my\_list.insert(index, x)** - вставляет **x** на заданную позицию

**my\_list.pop(index)** - возвращает элемент с указанным индексом и удаляет его, если индекс не указан - возвращается и удаляется последний элемент

**my\_list.remove(x)** - удаляет первый элемент со значением **x**

**my\_list.reverse()** - инвертирует порядок элементов в списке

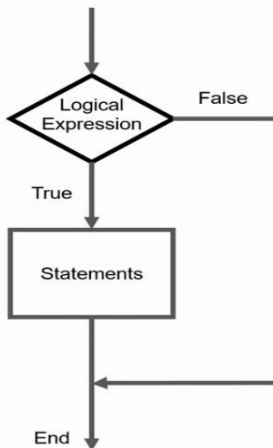
**my\_list.sort(key=x)** сортирует список на основе функции

## Условный оператор if

### The if Statement

```
if logical expression(s)  
  statement(s)  
end
```

Relational operator	Meaning
<	Less than.
<=	Less than or equal to.
>	Greater than.
>=	Greater than or equal to.
==	Equal to.
~=	Not equal to.



## Цикл for





## Цикл for



```
for i in range(0,10,1): # цикл for повторно выполняет описанные после ":" команды N раз, согласно условию, описаному перед ":"  
    print(i)
```

0  
1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9

# Условный оператор if

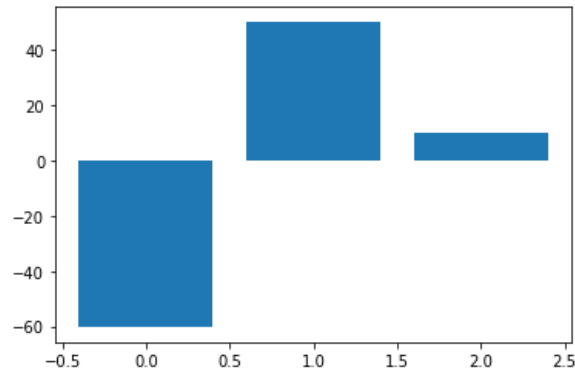
```
[ ] for i in range(10): # цикл for повторно выполняет описанные после ":" команды N раз, согласно условию, описанному перед ":"
    if i >= 7: # условие if при выполнении условия, описанного до ":", выполняет команду, описанную после ":"
        print(i, 'i>7')
    elif i >= 5: # условие elif при выполнении условия, описанного до ":", выполняет команду, описанную после ":"
        print(i, 'i>5')
    else:
        print(i, 'i<5') # условие else выполняет команду, описанную после ":", при невыполнении всех условий

0 i<5
1 i<5
2 i<5
3 i<5
4 i<5
5 i>5
6 i>5
7 i>7
8 i>7
9 i>7
```

# Вывод графических результатов

```
[ ] import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
x = net.res_bus.p_mw.index
y = net.res_bus.p_mw
plt.bar(x,y)
```

<BarContainer object of 3 artists>



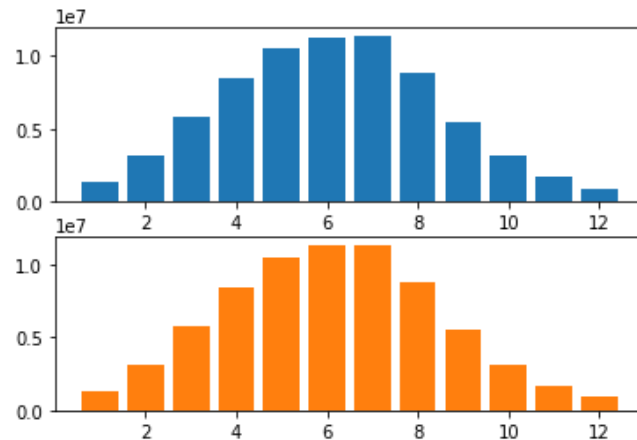
# Вывод графических результатов

```
[ ] W_month_PV= Graphs.iloc[0,:]*W_pv  
W_month_WT= Graphs.iloc[1,:]  
print(W_month_PV)
```

```
1    1.353999e+06  
2    3.159330e+06  
3    5.808458e+06  
4    8.496832e+06  
5    1.053764e+07  
6    1.128332e+07  
7    1.138144e+07  
8    8.830426e+06  
9    5.514111e+06  
10   3.139707e+06  
11   1.667969e+06  
12   9.026658e+05  
Name: Wмес, dtype: float64
```

```
import matplotlib.pyplot as plt  
x1=np.arange(1,13,1)  
y1=W_month_PV  
x2=np.arange(1,13,1)  
y2=W_month_WT  
fig, axes = plt.subplots(2, 1)  
axes[0].bar(x1, y1)  
axes[1].bar(x2, y2)
```

↳ <BarContainer object of 12 artists>



# Вывод графических результатов

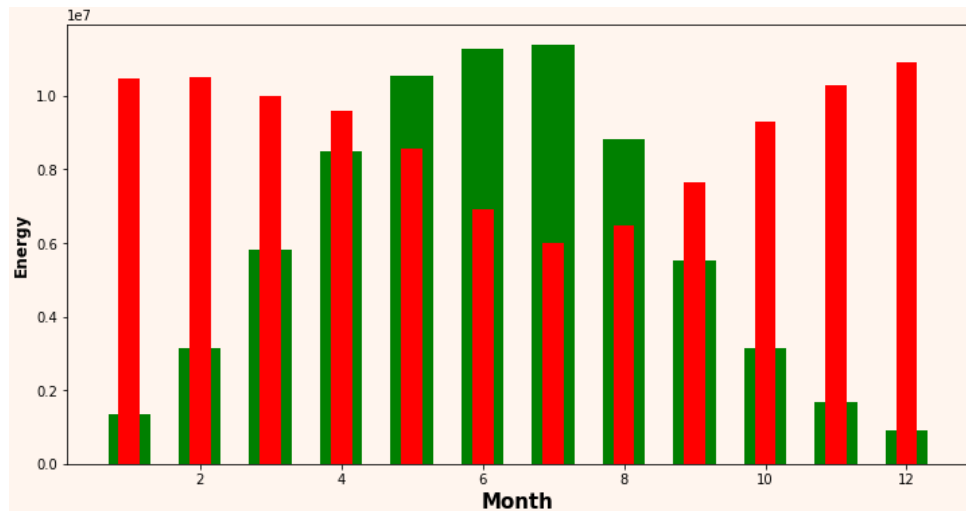
```
import matplotlib.pyplot as plt
x1=np.arange(1,13,1)
y1=W_month_PV
x2=np.arange(1,13,1)
y2=W_month_WT

fig, ax = plt.subplots( )

U1 = ax.bar(x1, y1, color = 'g', width = 0.6)
U2 = ax.bar(x1, y2, color = 'r', width = 0.3)

ax.set_facecolor('seashell')
fig.set_figwidth(12)    # ширина Figure
fig.set_figheight(6)    # высота Figure
fig.set_facecolor('seashell')
plt.xlabel("Month", fontweight = 'bold', fontsize = 15)
plt.ylabel("Energy", fontweight = 'bold', fontsize = 12)

plt.show()
```



Мощность и форма графика нагрузки определяются исходя из номера варианта

$$P_{МГЭС} = 80 \text{ _кВт}$$

(на данном этапе)

## Варианты мощности и числа агрегатов ДЭС

$$n = 2 \rightarrow P_{\text{ДЭУ}} = 0,5P_{\text{max нагр}}$$

$$n = 3 \rightarrow 2 \text{ агр. } (P_{\text{ДЭУ}} = 0,4P_{\text{max нагр}}) + 1 \text{ агр. } (P_{\text{ДЭУ}} = 0,2P_{\text{max нагр}})$$

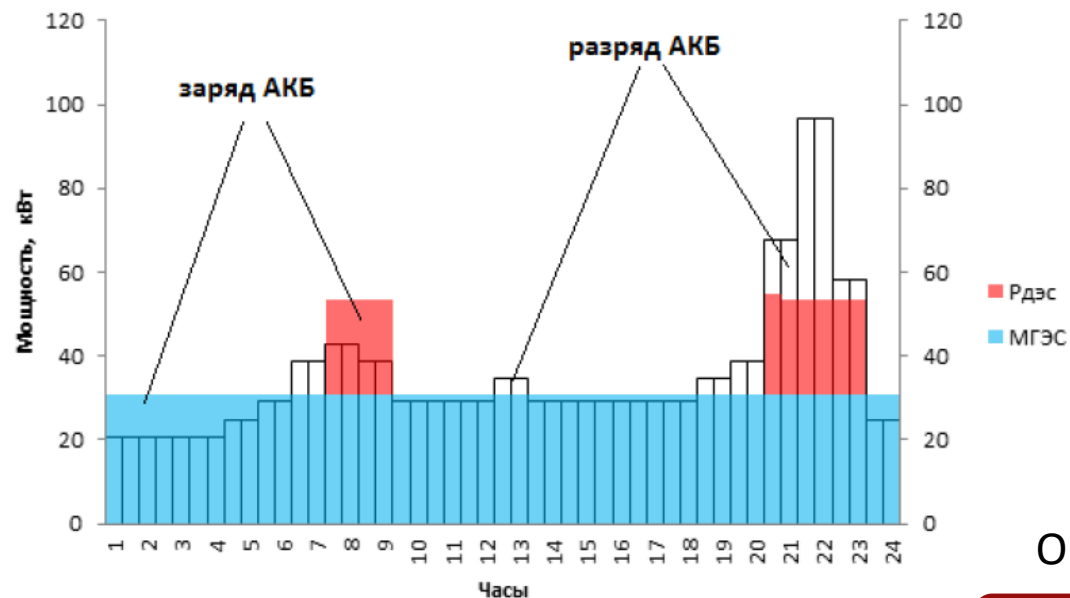
- Произвести расчёт графика нагрузки потребителей
- Используя возможности языка Matlab и файл с базой данных ДЭУ, размещенную гугл.диске, написать программу автоматического выбора типа дизельных установок для двух вариантов компоновки ДЭС:
  1. Две установки по 50% от мощности потребителей;
  2. Три установки в пропорции (40%, 40%, 20%);
- Результат расчёта необходимо вывести в командную строку.



# Часть вторая. Выбор параметров СНЭ и расчёт режима работы системы



# Покрывтие графика нагрузки



Приоритет:

$$W_{\text{зар\_АКБ}} = \sum (P_{\text{МГЭС}} - P_{\text{нагр}})$$

Разряд АКБ для покрытия пиков:

$$W_{\text{раз\_АКБ}} = \sum (P_{\text{МГЭС}} + P_{\text{дэс}} - P_{\text{нагр}})$$

Ограничения ДЭС:

$$k_z \geq 0,5$$

$$P_{\text{дэу}} \rightarrow idem$$

Ограничения АКБ:

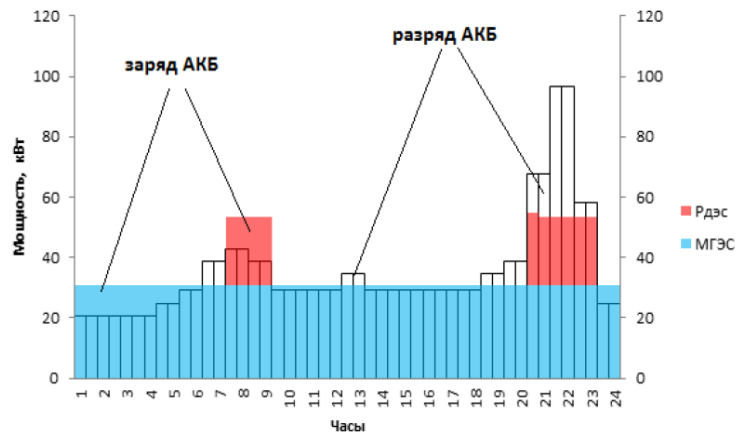
$$W_{\text{зар\_АКБ}} = W_{\text{раз\_АКБ}}$$

$$P_{\text{АКБ}} \rightarrow idem$$

$$P_{\text{АКБ}} \leq P_{\text{max\_инв}}$$

- Режим покрытия графика нагрузки определяется балансовыми уравнениями
- Условия работы ДЭС и АКБ логическими операторами
- Приоритет покрытия нагрузки и заряда АКБ принадлежит ВИЭ (МГЭС)
- Правильность работы алгоритма определяется равенством суммарной генерации и потребления на суточном интервале с учётом переменного режима работы АКБ

# Принципы покрытия графика нагрузки



$$\text{if } P_{\text{МГЭС}} = P_{\text{нагр}} \rightarrow P_{\text{ген}} = P_{\text{МГЭС}}$$

$$\text{if } P_{\text{МГЭС}} > P_{\text{нагр}} \rightarrow P_{\text{ген}} + P_{\text{з.АКБ}} = P_{\text{МГЭС}}$$

$$\text{if } P_{\text{МГЭС}} < P_{\text{нагр}} \rightarrow \text{выбор доп. источника } \downarrow$$

$$\text{if } (P_{\text{нагр}} - P_{\text{МГЭС}}) < 0,4P_{\text{ДЭС}} \rightarrow P_{\text{ген}} = P_{\text{МГЭС}} + P_{\text{р.АКБ}}$$

$$\text{if } (P_{\text{нагр}} - P_{\text{МГЭС}}) > 0,4P_{\text{ДЭС}} \rightarrow P_{\text{ген}} = P_{\text{МГЭС}} + P_{\text{ДЭС}}$$

$$\text{if } P_{\text{нагр}} > (P_{\text{нагр}} - P_{\text{МГЭС}} - P_{\text{ДЭС}}) \rightarrow P_{\text{ген}} = P_{\text{МГЭС}} + P_{\text{ДЭС}} + P_{\text{р.АКБ}}$$

$$\text{if } \sum(P_{\text{р.АКБ.}i} \cdot t_i) > \sum(P_{\text{з.АКБ.}i} \cdot t_i) \rightarrow P_{\text{з.АКБ.}i} = P_{\text{ДЭС}} - (P_{\text{нагр}} + P_{\text{МГЭС}}) \leftarrow P_{\text{ДЭС}} < P_{\text{ДЭС.ном}}$$

$$\text{if } \sum(P_{\text{р.АКБ.}i} \cdot t_i) < \sum(P_{\text{з.АКБ.}i} \cdot t_i) \rightarrow \downarrow P_{\text{з.АКБ.}i} (P_{\text{ДЭС}})$$

$$\text{if } P_{\text{з.АКБ.}i}(P_{\text{ДЭС}}) = 0 \rightarrow \downarrow P_{\text{з.АКБ.}i} (P_{\text{МГЭС}})$$

# Цикл while

```
1 - P_nagr = [150, 100];
2 - P_mges=50;
3 - for j = 1:1:2
4 -     i=1;
5 -     P_gen(j) =0;
6 -     while P_nagr(j) ~= P_gen(j)
7 -         i = i+1;
8 -         P_des(j)=i;
9 -         P_gen(j) = P_mges + P_des(j);
10 -    end;
11 -     A = ['мощность ДЭС в данном интервале времени равна ', num2str(P_des(j))];
12 -     disp(A)
13 - end
14
15
```

>> exmpl2

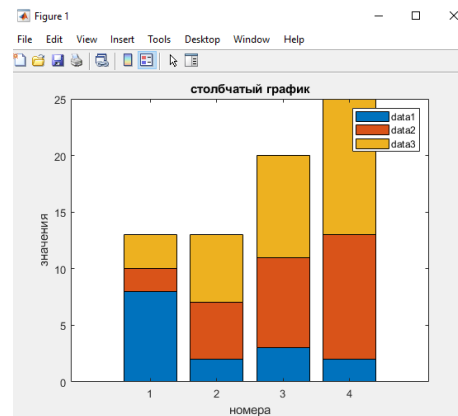
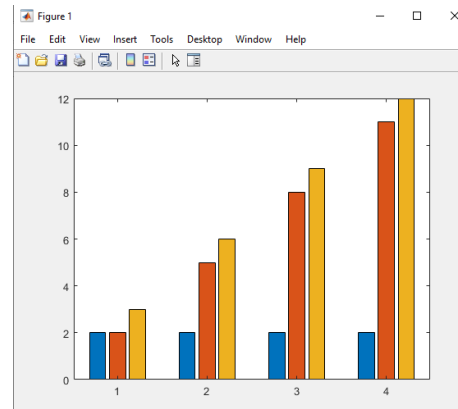
мощность ДЭС в данном интервале времени равна 100

мощность ДЭС в данном интервале времени равна 50

Workspace	
Name ▲	Value
A	'мощность ДЭС в да...
i	50
j	2
P_des	[100,50]
P_gen	[150,100]
P_mges	50
P_nagr	[150,100]

# Построение графиков с различным числом рядов

```
1 %Многорядный столбчатый график
2 - y = [2 2 3; 2 5 6; 2 8 9; 2 11 12];
3 - bar(y)
4 %Многорядный сложенный столбчатый график
5 - y = [8 2 3; 2 5 6; 3 8 9; 2 11 12];
6 - bar(y, 'stacked')
7 - title('столбчатый график')
8 - ylabel('значения')
9 - xlabel('номера')
```



# Потребление топлива на ДЭС

$$q_{\text{факт}} = K_{\text{ХХ}} \cdot q_{\text{н}} + (1 - K_{\text{ХХ}}) \cdot q_{\text{н}} \cdot \frac{P_{\text{ДЭУ}}}{P_{\text{номДЭУ}}}$$

$q_{\text{н}}$  – номинальный удельный расход топлива,

$q_{\text{факт}}$  – фактический удельный расход топлива,

$P_{\text{ДЭУ}}$  – фактическое значение мощности дизельного генератора,

$K_{\text{ХХ}}$  – коэффициент, характеризующий потребление топлива на холостом ходу.

$$K_{\text{ХХ}} = 0,3$$

$$V_{\text{ДЭС}} = \sum_{i=1}^m n \cdot q_{\text{факт}} \cdot P_{\text{ДЭУ}} \cdot t_i$$

$n$  – число дизельных генераторов,

$t$  – количество часов в рассматриваемом временном интервале

$m$  – количество временных интервалов.

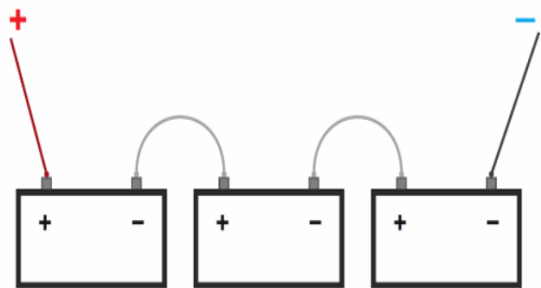
# Расчёт параметров блока АКБ

Вводная часть

Классификация

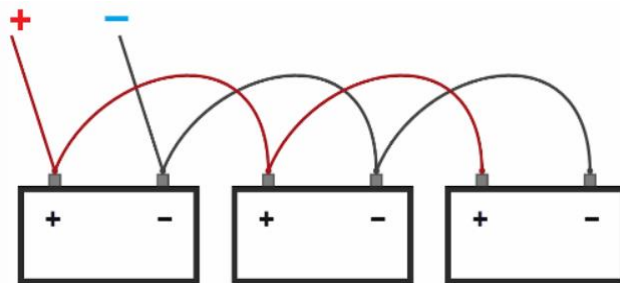
Особенности работы

Условия выбора



$12\text{В } 200\text{А} \cdot \text{ч} \times 2\text{шт.} = 24\text{В } 200\text{А} \cdot \text{ч}$   
(последовательное соединение)

$$\begin{aligned}U_{\text{АКБ}} &= \sum U_{Ai} \\I_{\text{АКБ}} &= \text{const} \\C_{\text{АКБ}} &= \text{const}\end{aligned}$$



$12\text{В } 200\text{А} \cdot \text{ч} \times 2\text{шт.} = 12\text{В } 400\text{А} \cdot \text{ч}$   
(параллельное соединение)

$$\begin{aligned}U_{\text{АКБ}} &= \text{const} \\I_{\text{АКБ}} &= \sum I_{Ai} \\C_{\text{АКБ}} &= \sum C_{Ai}\end{aligned}$$

$$C_{\sum \text{АКБ}} = \frac{W_{\text{зар(разр)}}}{U_{\text{ном}} \cdot k_{\text{раз}} \cdot \eta_{\text{АКБ}}}$$

$$n_{\text{АКБнар}} = \frac{C_{\sum \text{АКБ}}}{C_i}$$

$$n_{\text{АКБносл}} = \frac{U_{\text{ном}}}{U_i}$$

$$n_{\text{АКБ}} = n_{\text{АКБносл}} \cdot n_{\text{АКБнар}}$$

$$\eta_{\text{li-ion}} = 0,96$$

$$\eta_{\text{Pb-PbO}} = 0,80$$



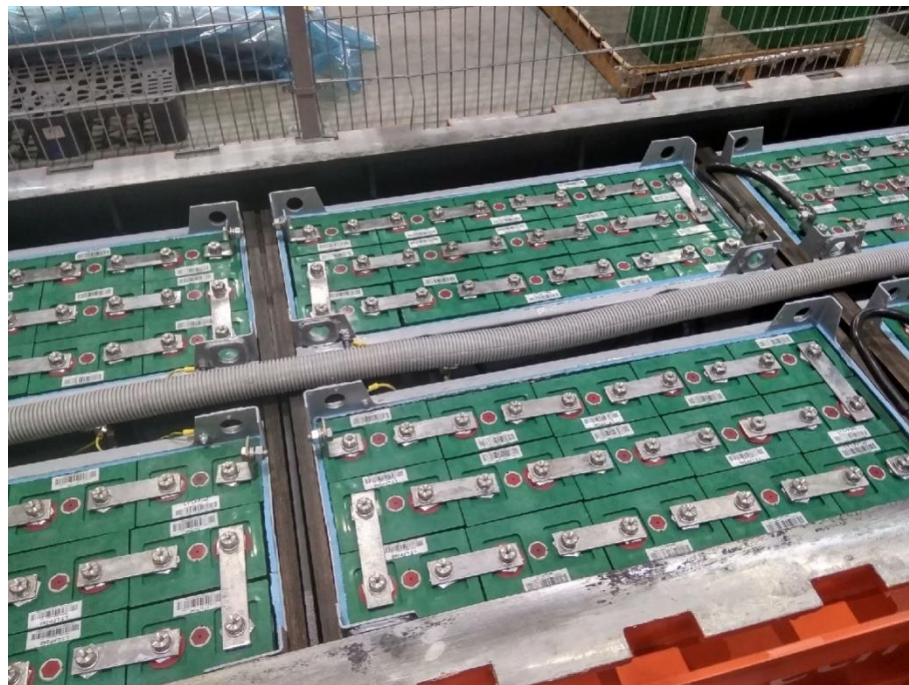
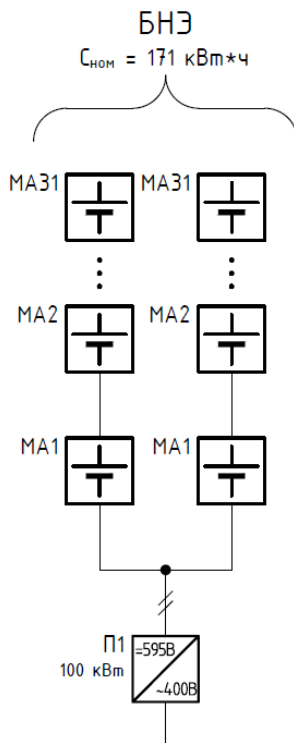
# Схема соединения ячеек АКБ

Вводная часть

Классификация

Особенности работы

Условия выбора



Параметры аккумуляторных батарей фирмы «Лиотех»

Тип литий-ионных аккумуляторов	$U_{ном}$ В	$C_{ном}$ Ач	Удельная энергия $\frac{Вт \cdot ч/кг}{Вт \cdot ч/л}$	Габариты, мм			Масса, кг	Цена руб.
				Длина	Ширина	Высота		
LT-LYP200	3,2	200	66 / 99.2	163	117	337	9,95	14 000
LT-LYP240	3,2	240	79.2 / 119.1	163	117	337	9,95	16 800
LT-LYP300	3,2	300	80.5 / 126.1	167	163	337	14,80	21 000
LT-LYP380	3,2	380	82.2 / 132.2	167	163	337	14,80	26 600
LT-LYP700	3,2	700	84.5 / 140.2	289	163	337	26,50	49 000
LT-LYP770	3,2	770	93 / 154.2	289	163	337	26,50	53 900
LT-LFP300	3,2	300	107 / 160	162	114	349	9,50	21 000

## Условие выбора параметров инвертора и АКБ

$$P_i \leq P_{ном}$$

Номинальная мощность инвертора не должна превышать максимальную забираемую от АКБ мощность

$$P_{вых} = P_{вх} \cdot \eta_{инв}$$

Мощность инвертора на выходе зависит от кпд инвертора (0,95) и его мощности на входе

$$U_{н.сети} = U_{вых}$$

Напряжение инвертора должно соответствовать напряжению сети и аккумуляторной батареи

$$U_{АКБ} = U_{вх}$$

$$C_{\sum АКБ} \leq C_{max}$$

Емкость АКБ не должна превышать максимального значения на которое рассчитан инвертор

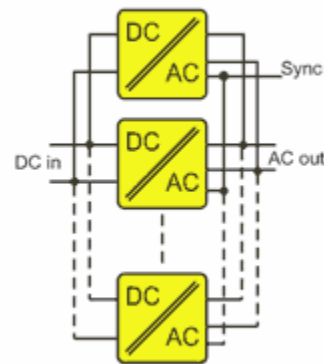
## Аккумуляторные инверторы

Тип	$P_{ном}$ кВт	$P_{max}$ кВт	$P_{пик}$ кВт	$U_{вк}$ В	$U_{в\backslash вк}$ В	$C_{max}$ Ач	Цена Руб.
МАПsin hybrid 1,3кВт	0,8	1,3	2,5	12	220/380	600	30 900
МАПsin hybrid 2 кВт	1,4	2	3,5	12/24		1000	39 500
МАПsin pro3кВт	2	3	5	12/24/48		1200	46 900
МАПsinpro4,5кВт	3	4,5	7	24/48		2000	61 300
МАПsinpro6кВт	4	6	9	24/48		2400	71 900
МАПsinpro9кВт	6	9	13	48		3200	86 000
МАПsinpro12кВт	8	12	17	48		3200	105 000
МАПsinpro15кВт	10	15	19	48		3200	124 500
МАПsinpro18кВт	12	18	22	48		4000	137 000
МАПsinpro20кВт	13,5	20	25	48		4000	150 700

# Выбор инвертора для АКБ



Параллельное включение инверторов



Если единичной мощности инвертора не достаточно для обеспечения требуемой выдачи мощности в сеть, то устанавливают параллельную установку нескольких инверторов.

# Выбор инвертора для АКБ

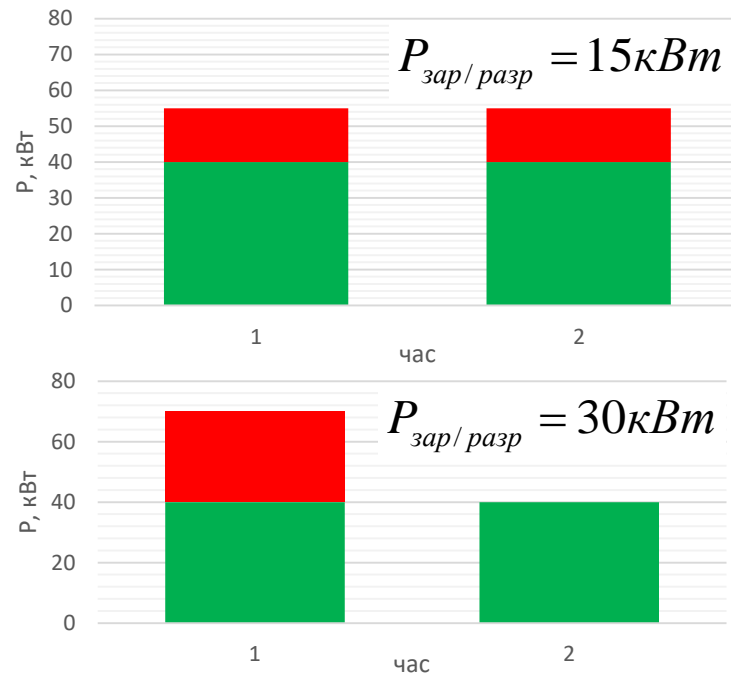
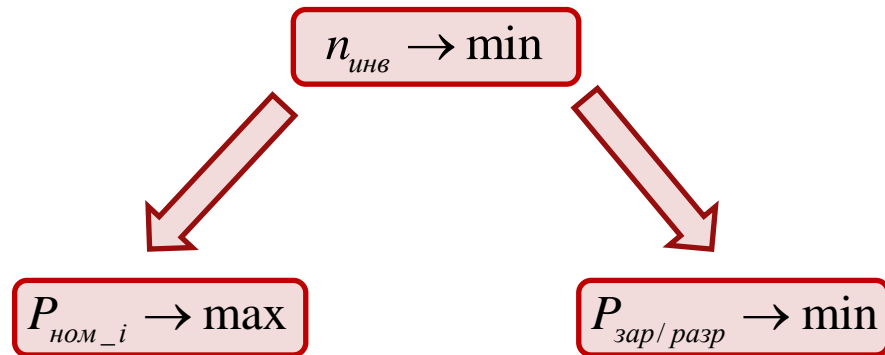
Термины и определения

Принцип действия

Классификация

Условия выбора

При необходимости установки нескольких инверторов на параллельную работу:



# Сводная таблица

Параметр	Суточный интервал																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$P_{\text{нагр}}$																								

Режим работы МГЭС

$P_{\text{мгэс ном}}$																								
$P_{\text{мгэс факт}}$																								

Режим работы ДЭС

$P_{\text{дэс ном}}$																								
$P_{\text{дэс факт}}$																								
$n_{\text{дэу}}$																								
$P_{\text{дэу факт}}$																								
$K_{\text{дэу факт}}$																								
$q_{\text{дэу ном}}$																								
$q_{\text{дэу факт}}$																								
$V_{\text{дэс}}$																								

Режим работы накопителя энергии

$P_{\text{АКБ зар}}$																								
$P_{\text{АКБ разр}}$																								
$W_{\text{АКБ зар}}$																								
$W_{\text{АКБ разр}}$																								
$P_{\text{АКБ max}}$																								



На паре:

- спланировать режим покрытия графика нагрузки для одного варианта компоновке ДЭС
- Результаты расчёта представить в виде графика
- Определить объем потребляемого топлива. Результат вывести в командную строку
- Дома: дописать в программе модули автоматического расчёта числа АКБ и инверторов



Дома:

дописать в программе модули автоматического расчёта числа АКБ и инверторов

В РГЗ:

спланировать режим покрытия графика нагрузки для второго варианта компоновке ДЭС