

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

Кафедра	Електричні станції
Спеціальність	141 – Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка, 176 – Мікро- та наносистемна техніка
Освітня програма	Стала та відновлювана енергетика: електрична та мікроелектронна інженерія
Форма навчання	Денна
Навчальна дисципліна	Оптимізаційні задачі енергетики
Семестр	2

**НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ**  
**ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.**  
**ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ**

## РАСЧЕТНОЕ ЗАДАНИЕ

### Комплексная оптимизации режима энергосистемы с ТЭС и ГЭС

В соответствии с вариантом, решите задачу комплексной оптимизации суточного режима гидротепловой энергосистемы, используя надстройку «Поиск решения» MS Excel:

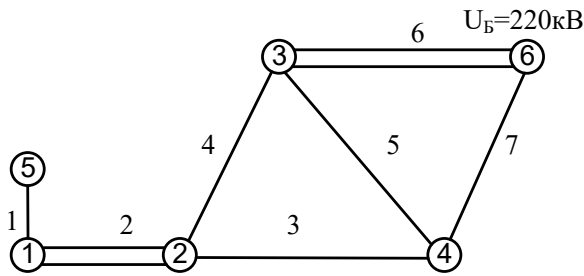
- составьте математическую модель задачи;
- определите наиболее экономное распределение активной и реактивной нагрузки в гидротепловой энергосистеме при условии ограничения расхода воды ГЭС для заданного суточного графика загрузки;
- постройте графики суточной загрузки электростанций энергосистемы.

#### Литература:

1. В.М. Горштейн, Б.П. Мирошниченко, А.В. Пономарев. Методы оптимизации режимов энергосистем. М.; Энергия, 1981. – 336 с [Электронный ресурс: djvu файл]
2. В.А. Веников, В.Г. Журавлев, Т.А. Филипова. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем: Учебник для вузов.– М: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с. [Электронный ресурс: djvu файл]
3. Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg, Gerald B. Sheble. Power Generation, Operation, and Control. 3<sup>rd</sup> Edition. IEEE, WILEY, 2014. – 632 p. [Электронный ресурс: pdf файл]

### Вариант 1

Определите оптимальный суточный режим трех параллельно работающих электростанций: газовой ТЭС 900 МВт (пять блоков по 180 МВт) в узле 1, угольной ТЭС 240 МВт (четыре блока по 60 МВт) в узле 4 и ГЭС 1100 МВт в узле 6. ГЭС является балансирующей станцией.



Расходные характеристики блоков ТЭС:  
 $H_1(P_1) = 153,16 + 9,92P_1 + 0,00302P_1^2$  [ГДж/ч]  
 $P_{ТЭС1min} = 200$  МВт,  $P_{ТЭС1max} = 900$  МВт.

На ТЭС1 сжигается ПГ с  $Q^r = 37,98$  ГДж/м<sup>3</sup>.

Стоимость ПГ 197 у.е./т.

$H_4(P_4) = 14,38 + 2,97P_4 + 0,00909P_4^2$  [Гкал/ч]

$P_{ТЭС4min} = 60$  МВт,  $P_{ТЭС4max} = 240$  МВт,

На ТЭС4 сжигается уголь с  $Q_H^r = 6149$  ккал/кг

Стоимость уголь 89 у.е./т.

Расходные характеристики ГЭС:

$$q_{ГЭС} = \begin{cases} 113,07 + 1,703P_{ГЭС} [\text{м}^3/\text{с}], & 0 \leq P_{ГЭС} \leq 1000 \text{ МВт}; \\ 1816 + 4,112(P_{ГЭС} - 1000) + 0,017(P_{ГЭС} - 1000)^2 [\text{м}^3/\text{с}], & 1000 < P_{ГЭС} < 1100 \text{ МВт} \end{cases}$$

Суточный расход воды водохранилища ГЭС не должен превышать 78,117 млн. м<sup>3</sup>.  
 Естественный приток воды в водохранилище – 2,02 млн. м<sup>3</sup>/ч.

Установленная мощность нагрузки составляет 79,8% установленной мощности энергосистемы.

Активная нагрузка задана в узлах 2, 3 и 5 и распределяется следующим образом:

узел 2 – 40%, узел 3 – 56%, узел 5 – 4% от суммарной мощности нагрузки в каждый момент времени.

Потребление реактивной мощности рассчитывается по формуле  $Q_{Hi} = P_{Hi} \cdot \tan \varphi_{Hi}$ , где  $\tan \varphi_{Hi}$  равен:

– в часы больших суточных нагрузок (с 7-00 до 23-00) – 0,5;

– в часы низких суточных нагрузок (с 23-00 до 7-00) – 0,84.

Потери активной мощности в ЛЭП определяются по формуле  $\Delta P_i = (P_i^2 + Q_i^2)R_i / U_i^2$ , потери реактивной мощности – по формуле  $\Delta Q_i = (P_i^2 + Q_i^2)X_i / U_i^2$ , где  $U_i$  – напряжение в  $i$ -й линии, принимается равным  $U_б$ .

Определите оптимальный режим гидротепловой энергосистемы при следующих условиях:  $0,54 < \tan \varphi_{Г1} < 0,64$ ,  $0,55 < \tan \varphi_{Г4} < 0,65$ ,  $0,4 < \tan \varphi_{Г6} < 0,68$ . Найдите необходимую величину компенсации реактивной мощности в энергосистеме.

Длина ЛЭП, км

L1 (240/32-1)	L2(240/32-2)	L3(240/32-1)	L4(240/32-1)	L5(240/32-1)	L6(240/32-2)	L7(240/32-1)
8	55	65	50	70	60	80

Характеристики провода ВЛ (на 1 км)

Номинальное сечение провода, мм <sup>2</sup>	Количество проводов в фазе	$r_0$ , Ом при +20 °С	220 кВ		
			$x_0$ , Ом	$b_0$ , мкСм (Ом)	$q_0$ , кВАр
240/32	1	0,121	0,435	2,6	139
240/32	2	0,06	0,435	2,6	139

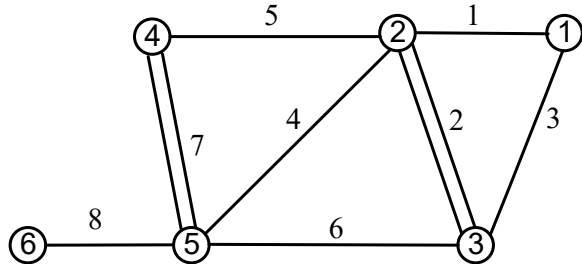
Почасовая нагрузка потребителей

Час суток	1 <sup>00</sup>	2 <sup>00</sup>	3 <sup>00</sup>	4 <sup>00</sup>	5 <sup>00</sup>	6 <sup>00</sup>	7 <sup>00</sup>	8 <sup>00</sup>	9 <sup>00</sup>	10 <sup>00</sup>	11 <sup>00</sup>	12 <sup>00</sup>
Нагрузка, % $P_{нагр}$ уст	51	48	47	49	53	62	74	81	79	78	79	80

Час суток	13 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	15 <sup>00</sup>	16 <sup>00</sup>	17 <sup>00</sup>	18 <sup>00</sup>	19 <sup>00</sup>	20 <sup>00</sup>	21 <sup>00</sup>	22 <sup>00</sup>	23 <sup>00</sup>	24 <sup>00</sup>
Нагрузка, % $P_{нагр}$ уст	78	79	80	82	84	86	90	91	87	75	63	56

## Вариант 2

Определите оптимальный суточный режим трех параллельно работающих электростанций: двух угольных ТЭС – в узле 3 ТЭС 720 МВт (6 блоков по 120 МВт) и в узле 6 ТЭС 300 МВт (пять блоков по 60 МВт), – и ГЭС 576 МВт (восемь гидроагрегатов по 72 МВт) в узле 4. ГЭС является балансирующей станцией,  $U_6=221$  кВ.



Расходные характеристики блоков ТЭС:

$$H_3(P_3) = 21,41 + 1,717P_3 + 0,00539P_3^2 \text{ [Гкал/ч]}$$

$$H_6(P_6) = 14,38 + 2,97P_6 + 0,00909P_6^2 \text{ [Гкал/ч]}$$

На ТЭС сжигается уголь с  $Q_H^r = 6149$  ккал/кг

Диапазоны маневренности энергоблоков:

$$P_{3\min} = 30 \text{ МВт}, P_{3\max} = 120 \text{ МВт} \text{ – для блока ТЭС3;}$$

$$P_{6\min} = 18 \text{ МВт}, P_{6\max} = 60 \text{ МВт} \text{ – для блока ТЭС6.}$$

Расходные характеристики гидроагрегата ГЭС:

$$q_{\text{ГЭС}} = \begin{cases} 63 + 7,35P_{\text{ГА}} \text{ [м}^3/\text{с}], & 0 < P_{\text{ГА}} \leq 64 \text{ МВт} \\ 533,4 + 9,28(P_{\text{ГА}} - 64) + 0,029(P_{\text{ГА}} - 64)^2, \text{ [м}^3/\text{с}], & 64 < P_{\text{ГА}} \leq 72 \text{ МВт} \end{cases}$$

Объем водохранилища – 1361,5462 млн. м<sup>3</sup>. Естественный приток воды в водохранилище в данный период составляет 2,966 тыс. м<sup>3</sup>/с.

Установленная мощность нагрузки составляет 79,2% суммарной установленной мощности энергосистемы.

Активная нагрузка распределяется следующим образом: узел 1 – 15%, узел 2 – 38%, узел 5 – 47% от суммарной мощности нагрузки в каждый момент времени.

Потребление реактивной мощности в узлах нагрузки рассчитывается по формуле  $Q_{Ni} = P_{Ni} \cdot \tan \varphi_{Ni}$ , где  $\tan \varphi_{Ni}$  равен:

– в часы больших суточных нагрузок (с 7-00 до 23-00) – 0,56;

– в часы низких суточных нагрузок (с 23-00 до 7-00) – 0,82.

Потери активной мощности в ЛЭП определяются по формуле  $\Delta P_i = (P_i^2 + Q_i^2)R_i / U_i^2$ , потери реактивной мощности – по формуле  $\Delta Q_i = (P_i^2 + Q_i^2)X_i / U_i^2$ , где  $U_i$  – напряжение в  $i$ -й линии, в расчетах принимается равным  $U_6$ .

Определите оптимальный режим гидротепловой энергосистемы при следующих условиях: в начале 24-часового периода объем воды в водохранилище составляет 84% номинального, в конце 24-часового периода объем воды в водохранилище должен быть поднят до 87%;  $\tan \varphi_{\Gamma}$  меняются в диапазонах:  $0,54 < \tan \varphi_{\Gamma 3} < 0,64$ ;  $0,4 < \tan \varphi_{\Gamma 4} < 0,7$ ;  $0,5 < \tan \varphi_{\Gamma 6} < 0,65$ .

Определите необходимую величину компенсации реактивной мощности в энергосистеме.

Длина ЛЭП (провод 240/32), км

L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
41	32	27	63	56	60	25	19

Расчетные данные на ВЛ 220 кВ со сталеалюминиевыми проводами (на 1 км)

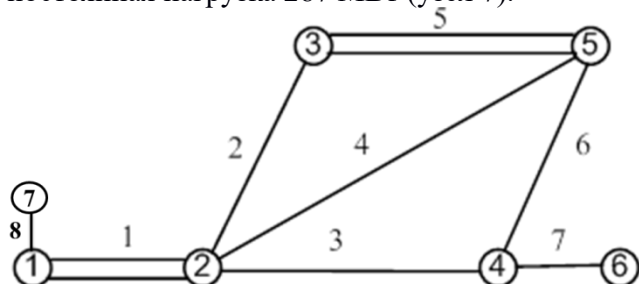
Номинальное сечение провода, мм <sup>2</sup>	Количество проводов в фазе	$r_0$ , Ом при +20 °С	220 кВ		
			$x_0$ , Ом	$b_0$ , мкСм (Ом)	$q_0$ , кВАр
300/39	1	0,098	0,429	2,64	141
300/39	2	0,048	0,429	2,64	141

Почасовая нагрузка потребителей

Час суток	1 <sup>00</sup>	2 <sup>00</sup>	3 <sup>00</sup>	4 <sup>00</sup>	5 <sup>00</sup>	6 <sup>00</sup>	7 <sup>00</sup>	8 <sup>00</sup>	9 <sup>00</sup>	10 <sup>00</sup>	11 <sup>00</sup>	12 <sup>00</sup>
Нагрузка, % $P_{\text{нагр}}_{\text{уст}}$	51	47	46	45	49	61	70	79	78	77	77	78
Час суток	13 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	15 <sup>00</sup>	16 <sup>00</sup>	17 <sup>00</sup>	18 <sup>00</sup>	19 <sup>00</sup>	20 <sup>00</sup>	21 <sup>00</sup>	22 <sup>00</sup>	23 <sup>00</sup>	24 <sup>00</sup>
Нагрузка, % $P_{\text{нагр}}_{\text{уст}}$	79	78	77	78	79	84	87	89	85	76	63	56

### Вариант 3

Определите оптимальный суточный режим трех параллельно работающих электростанций: двух угольных ТЭС 1050 МВт (семь блоков по 150 МВт) – в узле 5 и ТЭС 300 МВт (шесть блоков по 50 МВт) в узле 6, и ГЭС 990 МВт (девять гидроагрегатов по 110 МВт) в узле 1. ГЭС является балансирующей станцией,  $U_6=221$ кВ. К ГЭС через одноцепную ЛЭП 8 (L8=9 км) присоединена постоянная нагрузка 287 МВт (узел 7).



Расходные характеристики блоков ТЭС:

$$H_5(P_5) = 148,31 + 8,93P_5 + 0,0041P_5^2 \text{ [ГДж/ч]}$$

$$H_6(P_6) = 49,92 + 10,06P_6 + 0,0103P_6^2 \text{ [ГДж/ч]}$$

На ТЭС сжигается уголь  $Q_H^r = 24,97$  МДж/кг

Диапазоны маневренности блоков ТЭС:

$$P_{5\min} = 45 \text{ МВт}, P_{5\max} = 150 \text{ МВт} \text{ – блок ТЭС5;}$$

$$P_{6\min} = 15 \text{ МВт}, P_{6\max} = 50 \text{ МВт} \text{ – блок ТЭС6.}$$

Расходные характеристики гидроагрегата ГЭС:

$$q_{\text{ГЭС}} = \begin{cases} 62,99 + 5,65P_{\text{ГА}} \text{ [м}^3\text{/с]}, & 0 < P_{\text{ГА}} \leq 70 \text{ МВт} \\ 458,49 + 8,01(P_{\text{ГА}} - 70) + 0,0185(P_{\text{ГА}} - 70)^2, \text{ [м}^3\text{/с]}, & 70 < P_{\text{ГА}} \leq 95 \text{ МВт} \\ 670,3025 + 9,18(P_{\text{ГА}} - 95) + 0,00056(P_{\text{ГА}} - 95)^2, \text{ [м}^3\text{/с]}, & 95 < P_{\text{ГА}} \leq 110 \text{ МВт} \end{cases}$$

Установленная мощность нагрузки составляет 77,9% суммарной установленной мощности энергосистемы.

Активная нагрузка распределяется следующим образом: в узле 7 – нагрузка 287 МВт, которая не меняется в течение суток; оставшаяся нагрузка распределяется в каждый момент времени между узлом 2 – 39%, узлом 3 – 33% и узлом 4 – 28%.

Потребление реактивной мощности в узлах нагрузки рассчитывается по формуле  $Q_{\text{Н}} = P_{\text{Н}} \cdot \tan \varphi_{\text{Н}}$ , где  $\tan \varphi_{\text{Н}}$  равен:

– в часы больших суточных нагрузок (с 7-00 до 22-00) – 0,62;

– в часы низких суточных нагрузок (с 23-00 до 6-00) – 0,9.

Потери активной мощности в ЛЭП определяются по формуле  $\Delta P_i = (P_i^2 + Q_i^2)R_i/U_i^2$ , потери реактивной мощности – по формуле  $\Delta Q_i = (P_i^2 + Q_i^2)X_i/U_i^2$ , где  $U_i$  – напряжение в  $i$ -й линии, принимается равным  $U_6$ .

Определите оптимальный режим данной гидротепловой энергосистемы при следующих условиях:

– общий объем водохранилища – 9,37 км<sup>3</sup>, полезный объем водохранилища – 3,7 км<sup>3</sup>. В настоящий момент в начале 24-часового периода 35% полезного объема воды сработано. Естественный приток воды в водохранилище в данный период составляет 7112 м<sup>3</sup>/с. Необходимо за текущие сутки увеличить объем водохранилища до 71% полезного объема;

–  $\tan \varphi_{\Gamma}$  меняются в диапазонах:  $0,45 < \tan \varphi_{\Gamma 1} < 0,7$ ;  $0,56 < \tan \varphi_{\Gamma 5} < 0,64$ ;  $0,54 < \tan \varphi_{\Gamma 6} < 0,64$ .

Определите необходимую величину компенсации реактивной мощности в энергосистеме.

Длина ЛЭП, км

L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
80	60	75	100	70	50	40

Расчетные данные на ВЛ 220 кВ со сталеалюминиевыми проводами (на 1 км)

Номинальное сечение провода, мм <sup>2</sup>	$r_0$ , Ом при +20 °С	220 кВ		
		$x_0$ , Ом	$b_0$ , мкСм (Ом)	$q_0$ , кВАр
400/51	0,075	0,42	2,7	144
400/51	0,0375	0,42	2,7	144

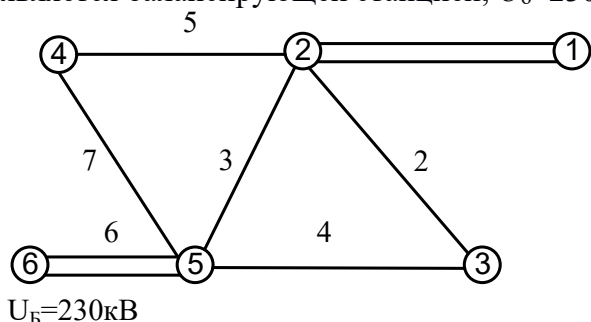
Почасовая нагрузка потребителей

Час суток	1 <sup>00</sup>	2 <sup>00</sup>	3 <sup>00</sup>	4 <sup>00</sup>	5 <sup>00</sup>	6 <sup>00</sup>	7 <sup>00</sup>	8 <sup>00</sup>	9 <sup>00</sup>	10 <sup>00</sup>	11 <sup>00</sup>	12 <sup>00</sup>
Нагрузка, % $P_{\text{нагр уст}}$	58	56	53	54	62	74	79	84	82	83	83	84

Час суток	13 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	15 <sup>00</sup>	16 <sup>00</sup>	17 <sup>00</sup>	18 <sup>00</sup>	19 <sup>00</sup>	20 <sup>00</sup>	21 <sup>00</sup>	22 <sup>00</sup>	23 <sup>00</sup>	24 <sup>00</sup>
Нагрузка, % $P_{\text{нагр уст}}$	85	84	83	86	89	91	94	93	88	71	64	61

### Вариант 4

Определите оптимальный суточный режим трех параллельно работающих электростанций: угольной ТЭС 1000 МВт (четыре блока по 250 МВт) в узле 1, газовой ТЭС 300 МВт (пять блоков по 60 МВт) в узле 4 и ГЭС 672 МВт (четыре гидроагрегата по 168 МВт) в узле 6. ГЭС является балансирующей станцией,  $U_6=230$  кВ.



Расходные характеристики энергоблоков ТЭС:  
 $H_{ТЭС1}(P_{ТЭС1}) = 227,53 + 8,44P_1 + 0,0017P_1^2$  [ГДж/ч];  
 $P_{ТЭС6min} = 200$  МВт,  $P_{ТЭС6max} = 1000$  МВт  
 Теплотворная способность топлива ТЭС 1 – 26,01 ГДж/т. Стоимость топлива 89 у.е./т.  
 $H_4(P_4) = 55,14 + 10,27P_4 + 0,00904P_4^2$  [ГДж/ч]  
 $P_{ТЭС4min} = 60$  МВт,  $P_{ТЭС4max} = 300$  МВт  
 Теплотворная способность топлива ТЭС – 37,98 ГДж/т. Стоимость топлива 211 у.е./т.

Расходные характеристики гидроагрегата ГЭС:

$$q_{ГЭС} = \begin{cases} 52,3 + 3,733P_{ГА} [\text{м}^3/\text{с}], & 0 < P_{ГА} \leq 150 \text{ МВт} \\ 612,25 + 4,273P_{ГА} + 0,0056(P_{ГА} - 150)^2, [\text{м}^3/\text{с}], & 150 < P_{ГА} \leq 168 \text{ МВт} \end{cases}$$

Объем водохранилища – 712,6743 млн. м<sup>3</sup>. Естественный приток воды в водохранилище в данный период составляет 5,872 млн. м<sup>3</sup>/ч. В начале 24-часового периода объем воды в водохранилище составляет 97% номинального, в конце 24-часового периода объем воды в водохранилище может быть снижен до 95%.

Установленная мощность нагрузки составляет 78,4% установленной мощности энергосистемы. Нагрузка в узлах 2, 3 и 5 распределяется следующим образом:

– активная нагрузка: узел 2 – 41%, узел 3 – 12%, узел 5 – 47% от суммарной мощности нагрузки в каждый момент времени.

Потребление реактивной мощности рассчитывается по формуле  $Q_{Hi} = P_{Hi} \cdot \tan \varphi_H$ , где  $\tan \varphi_H$  равен:

- в часы больших суточных нагрузок (с 7-00 до 23-00) – 0,62;
- в часы низких суточных нагрузок (с 23-00 до 7-00) – 0,88.

Потери активной мощности в ЛЭП определяются по формуле  $\Delta P_i = (P_i^2 + Q_i^2)R_i / U_i^2$ , потери реактивной мощности – по формуле  $\Delta Q_i = (P_i^2 + Q_i^2)X_i / U_i^2$ , где  $U_i$  – напряжение в  $i$ -й линии.

Узлы энергосистемы соединены ЛЭП 220 кВ.

Определите оптимальный режим работы данной гидротепловой энергосистемы при следующих условиях:  $0,5 \leq \tan \varphi_{Г1} \leq 0,64$ ,  $0,5 \leq \tan \varphi_{Г4} \leq 0,65$ ,  $0,4 \leq \tan \varphi_{Г6} \leq 0,7$ . Определите необходимую величину компенсации реактивной мощности в энергосистеме.

Длина ЛЭП (провод 500/64), км

L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
70	55	105	60	50	65	75

Расчетные данные на ВЛ 220 кВ со сталеалюминиевыми проводами (на 1 км)

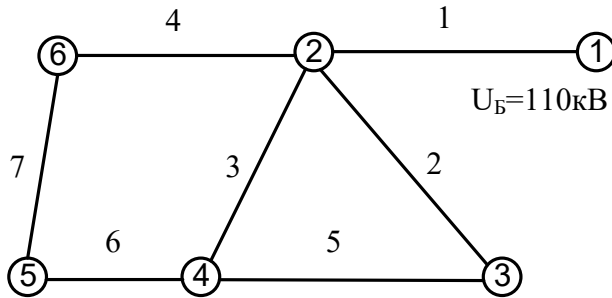
Номинальное сечение провода, мм <sup>2</sup>	Количество проводов в фазе	$r_0$ , Ом при +20 °С	220 кВ		
			$x_0$ , Ом	$b_0$ , мкСм (Ом)	$q_0$ , кВАр
500/64	1	0,06	0,413	2,74	146
500/64	2	0,03	0,413	2,74	146

Почасовая нагрузка потребителей

Час суток	1 <sup>00</sup>	2 <sup>00</sup>	3 <sup>00</sup>	4 <sup>00</sup>	5 <sup>00</sup>	6 <sup>00</sup>	7 <sup>00</sup>	8 <sup>00</sup>	9 <sup>00</sup>	10 <sup>00</sup>	11 <sup>00</sup>	12 <sup>00</sup>
Нагрузка, % $P_{нагр\_уст}$	56	53	52	55	63	72	75	79	76	75	74	75
Час суток	13 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	15 <sup>00</sup>	16 <sup>00</sup>	17 <sup>00</sup>	18 <sup>00</sup>	19 <sup>00</sup>	20 <sup>00</sup>	21 <sup>00</sup>	22 <sup>00</sup>	23 <sup>00</sup>	24 <sup>00</sup>
Нагрузка, % $P_{нагр\_уст}$	74	76	77	79	84	89	94	95	90	78	64	59

### Вариант 5

Определите оптимальный суточный режим двух параллельно работающих электростанций: ГЭС 1100 МВт в узле 1 и ТЭС 600 МВт (двенадцать блоков по 50 МВт) в узле 5. ГЭС является балансирующей станцией,  $U_6=110\text{кВ}$ .



Расходные характеристики энергоблоков ТЭС:  
 $H_5(P_5) = 48,53 + 10,02P_5 + 0,0107P_5^2$  [ГДж/ч]  
 Ограничения на генерируемые мощности ТЭС составляют  
 $P_{ТЭС5\min} = 50$  МВт,  $P_{ТЭС5\max} = 500$  МВт.  
 На ТЭС сжигается уголь с  $Q'_H = 25,88$  МДж/кг.

Расходная характеристика ГЭС имеет точку излома на мощности  $P_H=1000$  МВт:

$$q_{ГЭС} = \begin{cases} 113,07 + 1,703P_{ГЭС} \text{ [м}^3/\text{с]}, & 0 \leq P_{ГЭС} \leq 1000 \text{ МВт}; \\ 1816 + 4,112(P_{ГЭС} - 1000) + 0,0171(P_{ГЭС} - 1000)^2 \text{ [м}^3/\text{с]}, & 1000 < P_{ГЭС} < 1100 \text{ МВт} \end{cases}$$

Суточный расход воды водохранилища ГЭС не должен превышать 81,693 млн. м<sup>3</sup>. Естественный приток воды в водохранилище – 2,111 млн. м<sup>3</sup>/ч.

Установленная мощность нагрузки составляет 81% установленной мощности энергосистемы. Активная нагрузка распределяется следующим образом: узел 2 – 39%, узел 3 – 15%, узел 4 – 14% и узел 6 – 32%, от суммарной мощности нагрузки в каждый момент времени.

Потребление реактивной мощности рассчитывается по формуле  $Q_{Hi} = P_{Hi} \cdot \tan \varphi_{Hi}$ , где  $\tan \varphi_{Hi}$  равен:

- в часы больших суточных нагрузок (с 7-00 до 23-00) – 0,58;
- в часы низких суточных нагрузок (с 23-00 до 7-00) – 0,86.

Потери активной мощности в ЛЭП определяются по формуле  $\Delta P_i = (P_i^2 + Q_i^2)R_i / U_i^2$ , потери реактивной мощности – по формуле  $\Delta Q_i = (P_i^2 + Q_i^2)X_i / U_i^2$ , где  $U_i$  – напряжение в  $i$ -й линии, принимается равным  $U_6$ .

Определите оптимальный режим данной гидротепловой энергосистемы при следующих условиях:  $0,4 \leq \tan \varphi_{Г1} \leq 0,66$ ,  $0,5 < \tan \varphi_{Г5} < 0,64$ . Определите необходимую величину компенсации реактивной мощности в энергосистеме.

Длина ЛЭП, км

L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
21	52	95	78	109	24	49

Расчетные данные на ВЛ 110 кВ со сталеалюминиевыми проводами (на 1 км)

Номинальное сечение провода, мм <sup>2</sup>	$r_0$ , Ом при +20 °С	110 кВ		
		$x_0$ , Ом	$b_0$ , мкСм (Ом)	$q_0$ , кВАр
185/29	0,162	0,414	2,739	37

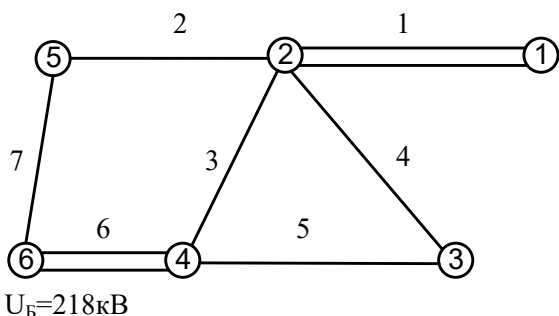
Почасовая нагрузка потребителей

Час суток	1 <sup>00</sup>	2 <sup>00</sup>	3 <sup>00</sup>	4 <sup>00</sup>	5 <sup>00</sup>	6 <sup>00</sup>	7 <sup>00</sup>	8 <sup>00</sup>	9 <sup>00</sup>	10 <sup>00</sup>	11 <sup>00</sup>	12 <sup>00</sup>
Нагрузка, % $P_{нагр\_уст}$	59	56	53	54	58	67	77	78	79	83	82	83

Час суток	13 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	15 <sup>00</sup>	16 <sup>00</sup>	17 <sup>00</sup>	18 <sup>00</sup>	19 <sup>00</sup>	20 <sup>00</sup>	21 <sup>00</sup>	22 <sup>00</sup>	23 <sup>00</sup>	24 <sup>00</sup>
Нагрузка, % $P_{нагр\_уст}$	81	80	84	86	87	89	91	93	90	74	65	61

### Вариант 6

Определите оптимальный суточный режим трех параллельно работающих электростанций: в узле 1 – ТЭС 900 МВт (шесть блоков по 150 МВт), в узле 6 – ТЭС 1000 МВт (десять блоков по 100 МВт), в узле 3 – ГЭС 432 МВт (шесть гидроагрегатов по 72 МВт).



Расходные характеристики энергоблоков ТЭС:

$$H_1(P_1) = 139,5 + 9,18P_1 + 0,0041P_1^2 \text{ [ГДж/ч];}$$

$$H_6(P_6) = 107,88 + 9,79P_6 + 0,0072P_6^2 \text{ [ГДж/ч].}$$

Ограничения на генерируемые мощности ТЭС:

$$P_{\text{ТЭС1min}} = 80 \text{ МВт}, \quad P_{\text{ТЭС1max}} = 900 \text{ МВт},$$

$$P_{\text{ТЭС6min}} = 60 \text{ МВт}, \quad P_{\text{ТЭС6max}} = 1000 \text{ МВт}.$$

На станциях сжигается каменный уголь с  $Q_H^r = 26,09 \text{ МДж/кг}$ .

ГЭС (шесть гидроагрегатов по 72 МВт)

$$q_{\text{ГЭС}} = \begin{cases} 63 + 7,35P_{\text{ГА}} \text{ [м}^3/\text{с]}, & 0 < P_{\text{ГА}} \leq 64 \text{ МВт} \\ 533,4 + 9,28(P_{\text{ГА}} - 64) + 0,029(P_{\text{ГА}} - 64)^2, \text{ [м}^3/\text{с]}, & 64 < P_{\text{ГА}} \leq 72 \text{ МВт} \end{cases}$$

Объем водохранилища – 1361,5462 млн. м<sup>3</sup>. Естественный приток воды в водохранилище в данный период составляет 2,819 тыс. м<sup>3</sup>/с.

Установленная мощность нагрузки составляет 77,2% суммарной установленной мощности энергосистемы.

Активная нагрузка распределяется следующим образом:

узел 2 – 39%, узел 4 – 50% и узел 5 – 11% от мощности нагрузки в каждый момент времени.

Потребление реактивной мощности рассчитывается по формуле  $Q_{Hi} = P_{Hi} \cdot \tan \varphi_H$ , где  $\tan \varphi_H$  равен:

– в часы больших суточных нагрузок (с 7-00 до 23-00) – 0,58;

– в часы низких суточных нагрузок (с 23-00 до 7-00) – 0,89.

Потери активной мощности в ЛЭП определяются по формуле  $\Delta P_i = (P_i^2 + Q_i^2)R_i / U_i^2$ , потери реактивной мощности – по формуле  $\Delta Q_i = (P_i^2 + Q_i^2)X_i / U_i^2$ , где  $U_i$  – напряжение в  $i$ -й линии, принимается равным  $U_6$ .

Определите оптимальный режим гидротепловой энергосистемы при следующих условиях: в начале 24-часового периода объем воды в водохранилище составляет 84% номинального, в конце 24-часового периода объем воды в водохранилище должен быть поднят до 87%;

$\tan \varphi_{Г1}$  меняются в диапазонах:  $0,4 < \tan \varphi_{Г1} < 0,68$ ,  $0,52 < \tan \varphi_{Г3} < 0,65$ ,  $0,54 < \tan \varphi_{Г6} < 0,64$ .

Определите необходимую величину компенсации реактивной мощности в энергосистеме.

Длина ЛЭП, км

L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
43	65	95	51	68	39	32

Расчетные данные на ВЛ 220 кВ со сталеалюминиевыми проводами (на 1 км)

Номинальное сечение провода, мм <sup>2</sup>	Количество проводов в фазе	$r_0$ , Ом при +20 °С	220 кВ		
			$x_0$ , Ом	$b_0$ , мкСм (Ом)	$q_0$ , кВАр
300/39	1	0,097	0,429	2,64	141
300/39	2	0,048	0,429	2,64	141

Почасовая нагрузка потребителей

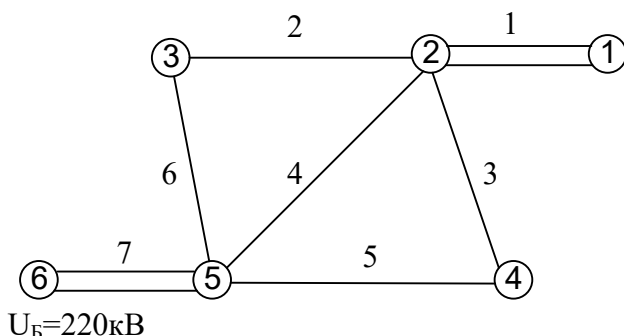
Час суток	1 <sup>00</sup>	2 <sup>00</sup>	3 <sup>00</sup>	4 <sup>00</sup>	5 <sup>00</sup>	6 <sup>00</sup>	7 <sup>00</sup>	8 <sup>00</sup>	9 <sup>00</sup>	10 <sup>00</sup>	11 <sup>00</sup>	12 <sup>00</sup>
Нагрузка, % $P_{\text{нагр. уст}}$	51	50	49	52	55	59	67	77	75	70	70	71

Час суток	13 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	15 <sup>00</sup>	16 <sup>00</sup>	17 <sup>00</sup>	18 <sup>00</sup>	19 <sup>00</sup>	20 <sup>00</sup>	21 <sup>00</sup>	22 <sup>00</sup>	23 <sup>00</sup>	24 <sup>00</sup>
Нагрузка, % $P_{\text{нагр. уст}}$	72	70	71	73	76	78	83	86	84	67	58	54



### Вариант 7

Определите оптимальный суточный режим двух параллельно работающих электростанций: в узле 1 – ТЭС 1500 МВт (три блока по 500 МВт), в узле 6 – ГЭС 1008 МВт (шесть гидроагрегатов по 168 МВт). ГЭС является балансирующей станцией.



Расходная характеристика энергоблоков ТЭС:  
 $H_1(P_1) = 407,03 + 8,57P_1 + 0,00104P_1^2$  [ГДж/ч].

Ограничения на генерируемые мощности:  
 $P_{ТЭС1min} = 250$  МВт,  $P_{ТЭС1max} = 1500$  МВт.

На станциях сжигается природный газ с  $Q' = 38,76$  МДж/м<sup>3</sup>.

Расходные характеристики гидроагрегата ГЭС:

$$q_{ГЭС} = \begin{cases} 52,3 + 3,733P_{ГА} \text{ [м}^3/\text{с]}, & 0 < P_{ГА} \leq 150 \text{ МВт} \\ 612,25 + 4,273P_{ГА} + 0,0056(P_{ГА} - 150)^2, \text{ [м}^3/\text{с]}, & 150 < P_{ГА} \leq 168 \text{ МВт} \end{cases}$$

Объем водохранилища – 1065,0711 млн. м<sup>3</sup>. Естественный приток воды в водохранилище в данный период составляет 5,872 млн. м<sup>3</sup>/ч.

Установленная мощность нагрузки составляет 76,9% установленной мощности энергосистемы. Активная нагрузка распределяется следующим образом: узел 2 – 29%, узел 3 – 19%, узел 4 – 18% и узел 5 – 34% от суммарной мощности нагрузки в каждый момент времени.

Потребление реактивной мощности рассчитывается по формуле  $Q_{Hi} = P_{Hi} \cdot \tan \varphi_{Hi}$ , где  $\tan \varphi_{Hi}$  равен:

- в часы больших суточных нагрузок (с 7-00 до 23-00) – 0,51;
- в часы низких суточных нагрузок (с 23-00 до 7-00) – 0,88.

Потери активной мощности в ЛЭП определяются по формуле  $\Delta P_i = (P_i^2 + Q_i^2)R_i / U_i^2$ , потери реактивной мощности – по формуле  $\Delta Q_i = (P_i^2 + Q_i^2)X_i / U_i^2$ , где  $U_i$  – напряжение в  $i$ -й линии, принимается равным  $U_б$ .

Определите оптимальный режим гидротепловой энергосистемы при следующих условиях: в начале 24-часового периода объем воды в водохранилище составляет 97% номинального, в конце 24-часового периода объем воды в водохранилище может быть снижен до 94%.

Реактивные мощности генераторов определяются по формуле  $Q_{Gi} = P_{Gi} \cdot \tan \varphi_{Gi}$ , где  $0,4 < \tan \varphi_{G1} < 0,68$ ,  $0,5 < \tan \varphi_{G6} < 0,66$ .

Определите необходимую величину компенсации реактивной мощности в энергосистеме.

Длина ЛЭП, км

L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
34	68	52	76	65	51	27

Расчетные данные на ВЛ 220 кВ со сталеалюминиевыми проводами (на 1 км)

Номинальное сечение провода, мм <sup>2</sup>	Количество проводов в фазе	$r_0$ , Ом при +20 °С	220 кВ		
			$x_0$ , Ом	$b_0$ , мкСм (Ом)	$q_0$ , кВАр
240/32	1	0,121	0,435	2,6	139
240/32	2	0,06	0,435	2,6	139

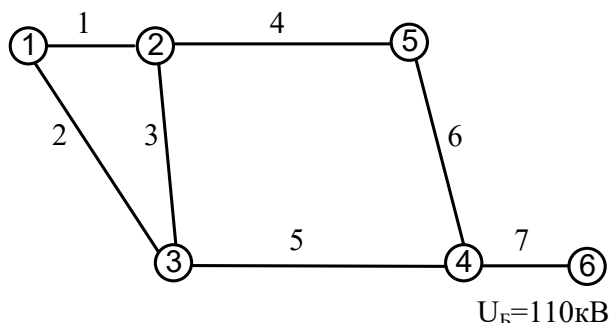
Почасовая нагрузка потребителей

Час суток	1 <sup>00</sup>	2 <sup>00</sup>	3 <sup>00</sup>	4 <sup>00</sup>	5 <sup>00</sup>	6 <sup>00</sup>	7 <sup>00</sup>	8 <sup>00</sup>	9 <sup>00</sup>	10 <sup>00</sup>	11 <sup>00</sup>	12 <sup>00</sup>
Нагрузка, % $P_{нагр\_уст}$	50	45	45	45	52	63	78	80	75	73	73	75

Час суток	13 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	15 <sup>00</sup>	16 <sup>00</sup>	17 <sup>00</sup>	18 <sup>00</sup>	19 <sup>00</sup>	20 <sup>00</sup>	21 <sup>00</sup>	22 <sup>00</sup>	23 <sup>00</sup>	24 <sup>00</sup>
Нагрузка, % $P_{нагр\_уст}$	77	75	74	79	86	90	91	92	89	72	66	54

### Вариант 8

Определите оптимальный суточный режим двух параллельно работающих электростанций: в узле 1 – ТЭС 600 МВт (двенадцать блоков по 50 МВт), в узле 6 – ГЭС 660 МВт (шесть гидроагрегатов по 110 МВт).



Расходная характеристика энергоблоков ТЭС:

$$H_1(P_1) = 121,24 + 5,87P_1 + 0,0373P_1^2 \text{ [ГДж/ч]}$$

На ТЭС сжигается уголь с  $Q_H' = 25,72 \text{ МДж/кг}$ .

Ограничения на генерируемые мощности:

$$P_{ТЭС1\min} = 120 \text{ МВт}, P_{ТЭС1\max} = 600 \text{ МВт}.$$

Расходные характеристики гидроагрегата ГЭС:

$$q_{ГЭС} = \begin{cases} 62,99 + 5,65P_{ГА} \text{ [м}^3/\text{с}], & 0 < P_{ГА} \leq 70 \text{ МВт} \\ 458,49 + 8,01(P_{ГА} - 70) + 0,0185(P_{ГА} - 70)^2, \text{ [м}^3/\text{с}], & 70 < P_{ГА} \leq 95 \text{ МВт} \\ 670,3025 + 9,18(P_{ГА} - 95) + 0,00056(P_{ГА} - 95)^2, \text{ [м}^3/\text{с}], & 95 < P_{ГА} \leq 110 \text{ МВт} \end{cases}$$

Общий объем водохранилища – 9,37 км<sup>3</sup>, полезный объем водохранилища – 3,7 км<sup>3</sup>.

Установленная мощность нагрузки составляет 79,7% установленной мощности энергосистемы.

Активная нагрузка распределяется следующим образом: узел 2 – 35%, узел 3 – 25%, узел 4 – 28% и узел 6 – 22%, от суммарной мощности нагрузки в каждый момент времени.

Потребление реактивной мощности рассчитывается по формуле  $Q_{Hi} = P_{Hi} \cdot \tan \varphi_H$ , где  $\tan \varphi_H$  равен:

– в часы больших суточных нагрузок (с 7-00 до 23-00) – 0,53;

– в часы низких суточных нагрузок (с 23-00 до 7-00) – 0,88.

Потери активной мощности в ЛЭП определяются по формуле  $\Delta P_i = (P_i^2 + Q_i^2)R_i / U_i^2$ , потери реактивной мощности – по формуле  $\Delta Q_i = (P_i^2 + Q_i^2)X_i / U_i^2$ , где  $U_i$  – напряжение в  $i$ -й линии, принимается равным  $U_б$ .

Определите оптимальный режим работы гидротепловой энергосистемы при следующих условиях: в начале 24-часового периода 30% полезного объема воды сработано. Естественный приток воды в водохранилище в данный период составляет 7112 м<sup>3</sup>/с. Необходимо за текущие сутки увеличить объем водохранилища до 72% полезного объема.

Реактивные мощности генераторов определяются по формуле  $Q_{Gi} = P_{Gi} \cdot \tan \varphi_{Gi}$ , где  $0,54 < \tan \varphi_{G1} < 0,64$ ,  $0,4 < \tan \varphi_{G6} < 0,68$ .

Определите необходимую величину компенсации реактивной мощности в энергосистеме.

Длина ЛЭП, км

L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
21	38	61	74	82	47	16

Расчетные данные на ВЛ 110 кВ со сталеалюминиевыми проводами (на 1 км)

Номинальное сечение провода, мм <sup>2</sup>	$r_0$ , Ом при +20 °С	110 кВ		
		$x_0$ , Ом	$b_0$ , мкСм (Ом)	$q_0$ , кВАр
205/27	0,143	0,411	2,762	37,5

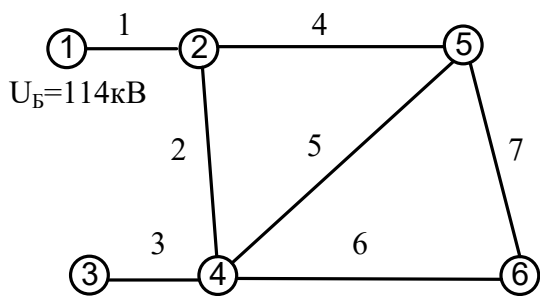
Почасовая нагрузка потребителей

Час суток	1 <sup>00</sup>	2 <sup>00</sup>	3 <sup>00</sup>	4 <sup>00</sup>	5 <sup>00</sup>	6 <sup>00</sup>	7 <sup>00</sup>	8 <sup>00</sup>	9 <sup>00</sup>	10 <sup>00</sup>	11 <sup>00</sup>	12 <sup>00</sup>
Нагрузка, % $P_{нагр\_уст}$	63	59	56	57	60	69	76	83	82	80	77	78

Час суток	13 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	15 <sup>00</sup>	16 <sup>00</sup>	17 <sup>00</sup>	18 <sup>00</sup>	19 <sup>00</sup>	20 <sup>00</sup>	21 <sup>00</sup>	22 <sup>00</sup>	23 <sup>00</sup>	24 <sup>00</sup>
Нагрузка, % $P_{нагр\_уст}$	79	77	79	80	82	85	89	91	86	74	71	67

### Вариант 9

Определите оптимальный суточный режим трех параллельно работающих электростанций: в узле 1 – ГЭС 720 МВт (десять гидроагрегатов по 72 МВт), в узле 3 – ТЭС 500 МВт (десять блоков по 50 МВт), в узле 6 – ТЭС 600 МВт (десять блоков по 60 МВт).



Расходные характеристики блоков ТЭС:

$$H_3(P_3) = 49,92 + 10,06P_3 + 0,0103P_3^2 \text{ [ГДж/ч]}$$

$$H_6(P_6) = 61,24 + 9,67P_6 + 0,0077P_6^2 \text{ [ГДж/ч]}$$

Ограничения на генерируемые мощности ТЭС:

$$P_{ТЭС3\min} = 50 \text{ МВт}, P_{ТЭС3\max} = 500 \text{ МВт},$$

$$P_{ТЭС6\min} = 40 \text{ МВт}, P_{ТЭС6\max} = 600 \text{ МВт}.$$

На ТЭС сжигается каменный уголь с  $Q'_H = 24,97 \text{ МДж/кг}$ .

Расходные характеристики гидроагрегата ГЭС:

$$q_{ГЭС} = \begin{cases} 63 + 7,35P_{ГА} \text{ [м}^3/\text{с]}, & 0 < P_{ГА} \leq 64 \text{ МВт} \\ 533,4 + 9,28(P_{ГА} - 64) + 0,029(P_{ГА} - 64)^2, \text{ [м}^3/\text{с]}, & 64 < P_{ГА} \leq 72 \text{ МВт} \end{cases}$$

Полезный объем водохранилища – 1761,8436 млн. м<sup>3</sup>. Естественный приток воды в водохранилище в данный период составляет 3,628 тыс. м<sup>3</sup>/с.

Установленная мощность нагрузки составляет 77,5% суммарной установленной мощности энергосистемы.

Активная нагрузка распределяется следующим образом: узел 2 – 36%, узел 4 – 31%, узел 5 – 33% от суммарной мощности нагрузки в каждый момент времени.

Потребление реактивной мощности рассчитывается по формуле  $Q_{Hi} = P_{Hi} \cdot \tan \varphi_H$ , где  $\tan \varphi_H$  равен:

– в часы больших суточных нагрузок (с 7-00 до 23-00) – 0,54;

– в часы низких суточных нагрузок (с 23-00 до 7-00) – 0,89.

Потери активной мощности в ЛЭП определяются по формуле  $\Delta P_i = (P_i^2 + Q_i^2)R_i / U_i^2$ , потери реактивной мощности – по формуле  $\Delta Q_i = (P_i^2 + Q_i^2)X_i / U_i^2$ , где  $U_i$  – напряжение в  $i$ -й линии, принимается равным  $U_6$ .

Определите оптимальный режим работы гидротепловой энергосистемы при следующих условиях: в начале 24-часового периода объем воды в водохранилище составляет 83% номинального, в конце 24-часового периода объем воды в водохранилище должен быть поднят до 84%.

Реактивные мощности генераторов определяются по формуле  $Q_{Gi} = P_{Gi} \cdot \tan \varphi_{Gi}$ ,  $\tan \varphi_{Gi}$  меняются в диапазонах:  $0,4 < \tan \varphi_{G1} < 0,67$ ,  $0,53 < \tan \varphi_{G3} < 0,64$ ,  $0,54 < \tan \varphi_{G6} < 0,65$ .

Определите необходимую величину компенсации реактивной мощности в энергосистеме.

Длина ЛЭП, км

L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
18	62	26	56	70	52	41

Расчетные данные на ВЛ 110 кВ со сталеалюминиевыми проводами (на 1 км)

Номинальное сечение провода, мм <sup>2</sup>	$r_0$ , Ом при +20 °С	110 кВ		
		$x_0$ , Ом	$b_0$ , мкСм (Ом)	$q_0$ , кВАр
240/32	0,121	0,405	2,800	37,5

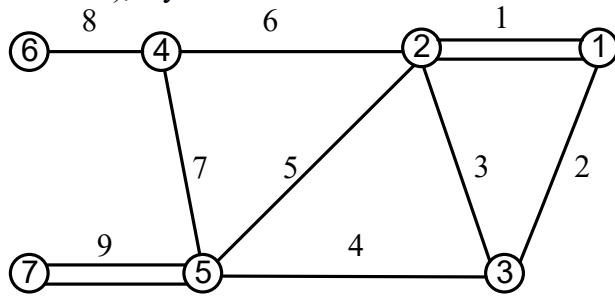
Почасовая нагрузка потребителей

Час суток	1 <sup>00</sup>	2 <sup>00</sup>	3 <sup>00</sup>	4 <sup>00</sup>	5 <sup>00</sup>	6 <sup>00</sup>	7 <sup>00</sup>	8 <sup>00</sup>	9 <sup>00</sup>	10 <sup>00</sup>	11 <sup>00</sup>	12 <sup>00</sup>
Нагрузка, % $P_{нагр\_уст}$	55	51	50	53	59	64	76	81	75	74	74	75

Час суток	13 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	15 <sup>00</sup>	16 <sup>00</sup>	17 <sup>00</sup>	18 <sup>00</sup>	19 <sup>00</sup>	20 <sup>00</sup>	21 <sup>00</sup>	22 <sup>00</sup>	23 <sup>00</sup>	24 <sup>00</sup>
Нагрузка, % $P_{нагр\_уст}$	76	74	75	76	79	82	88	91	85	73	67	61

### Вариант 10

Определите оптимальный суточный режим трех параллельно работающих электростанций: в узле 1 – ТЭС 1500 МВт (шесть блоков по 250 МВт), в узле 6 – ТЭС 500 МВт (пять блоков по 100 МВт), в узле 7 – ГЭС 1100 МВт. ГЭС является балансирующей станцией.



$U_6 = 224 \text{ кВ}$

Расходная характеристика ГЭС имеет излом при  $P_{\text{ГЭС}} = 1000 \text{ МВт}$ :

$$q_{\text{ГЭС}} = \begin{cases} 113,07 + 1,703P_{\text{ГЭС}} [\text{м}^3/\text{с}], & 0 \leq P_{\text{ГЭС}} \leq 1000 \text{ МВт}; \\ 1816 + 4,112(P_{\text{ГЭС}} - 1000) + 0,0171(P_{\text{ГЭС}} - 1000)^2 [\text{м}^3/\text{с}], & 1000 < P_{\text{ГЭС}} < 1100 \text{ МВт} \end{cases}$$

Полезный объем воды в водохранилище – 4812 млн.  $\text{м}^3$ . За сутки полезный объем можно сработать не более чем на 1%. Естественный приток воды в водохранилище – 4,012 млн.  $\text{м}^3/\text{ч}$ . Установленная мощность нагрузки составляет 82% суммарной установленной мощности энергосистемы.

Активная нагрузка распределяется следующим образом: узел 2 – 30%, узел 3 – 16%, узел 4 – 19%, узел 5 – 35% от суммарной мощности нагрузки в каждый момент времени.

Потребление реактивной мощности рассчитывается по формуле  $Q_{\text{Н}i} = P_{\text{Н}i} \cdot \tan \varphi_{\text{Н}i}$ , где  $\tan \varphi_{\text{Н}i}$  равен:

- в часы больших суточных нагрузок (с 7-00 до 23-00) – 0,53;
- в часы низких суточных нагрузок (с 23-00 до 7-00) – 0,88.

Потери активной мощности в ЛЭП определяются по формуле  $\Delta P_i = (P_i^2 + Q_i^2)R_i / U_i^2$ , потери реактивной мощности – по формуле  $\Delta Q_i = (P_i^2 + Q_i^2)X_i / U_i^2$ , где  $U_i$  – напряжение в  $i$ -й линии, принимается равным  $U_6$ .

Определите оптимальный режим работы гидротепловой энергосистемы при следующих условиях: реактивные мощности генераторов определяются по формуле  $Q_{\text{Г}i} = P_{\text{Г}i} \cdot \tan \varphi_{\text{Г}i}$ , где  $0,5 < \tan \varphi_{\text{Г}1} < 0,66$ ,  $0,52 < \tan \varphi_{\text{Г}6} < 0,65$ ,  $0,51 < \tan \varphi_{\text{Г}7} < 0,64$ .

Определите необходимую величину компенсации реактивной мощности в энергосистеме.

#### Длина ЛЭП, км

L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
41	55	63	70	88	61	59	29	35

#### Расчетные данные на ВЛ 220 кВ со сталеалюминиевыми проводами (на 1 км)

Номинальное сечение провода, $\text{мм}^2$	Количество проводов в фазе	$r_0$ , Ом при $+20 \text{ }^\circ\text{C}$	220 кВ		
			$x_0$ , Ом	$b_0$ , мкСм (Ом)	$q_0$ , кВАр
400/51	1	0,075	0,42	2,7	144
400/51	2	0,0375	0,42	2,7	144

#### Почасовая нагрузка потребителей

Час суток	1 <sup>00</sup>	2 <sup>00</sup>	3 <sup>00</sup>	4 <sup>00</sup>	5 <sup>00</sup>	6 <sup>00</sup>	7 <sup>00</sup>	8 <sup>00</sup>	9 <sup>00</sup>	10 <sup>00</sup>	11 <sup>00</sup>	12 <sup>00</sup>
Нагрузка, % $P_{\text{нагр уст}}$	52	49	46	47	60	69	79	85	84	82	83	81

Час суток	13 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	15 <sup>00</sup>	16 <sup>00</sup>	17 <sup>00</sup>	18 <sup>00</sup>	19 <sup>00</sup>	20 <sup>00</sup>	21 <sup>00</sup>	22 <sup>00</sup>	23 <sup>00</sup>	24 <sup>00</sup>
Нагрузка, % $P_{\text{нагр уст}}$	80	81	82	84	88	91	93	92	90	79	61	57