

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

Кафедра	Електричні станції
Спеціальність	141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітня програма	Електроенергетика (141-01 «Електричні станції»)
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:

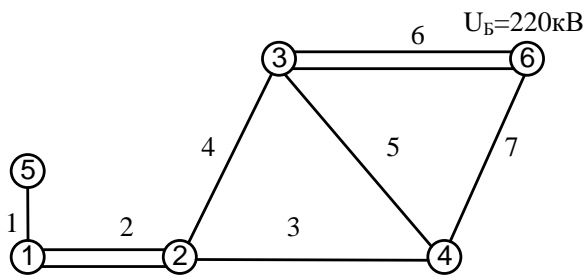
- составьте математическую модель задачи;
- определите наиболее экономное распределение активной и реактивной нагрузки в гидротепловой энергосистеме при условии ограничения расхода воды ГЭС для заданного суточного графика загрузки;
- постройте графики суточной загрузки электростанций энергосистемы.

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. 3rd 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/м³.

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:

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

Суточный расход воды водохранилища ГЭС не должен превышать 78,117 млн. м³. Естественный приток воды в водохранилище – 2,02 млн. м³/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 $Q_{Hi} = P_{Hi} \cdot \tan \varphi_H$, где $\tan \varphi_H$ 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 ²	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

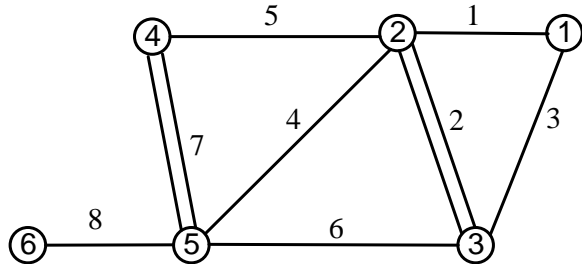
Почасовая нагрузка потребителей

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

Час суток	13 ⁰⁰	14 ⁰⁰	15 ⁰⁰	16 ⁰⁰	17 ⁰⁰	18 ⁰⁰	19 ⁰⁰	20 ⁰⁰	21 ⁰⁰	22 ⁰⁰	23 ⁰⁰	24 ⁰⁰
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. м³. Естественный приток воды в водохранилище в данный период составляет 2,966 тыс. м³/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 ²	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

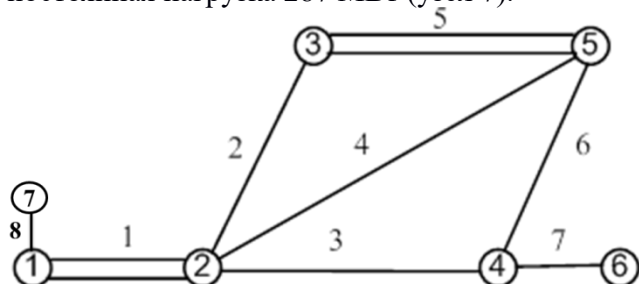
Почасовая нагрузка потребителей

Час суток	1 ⁰⁰	2 ⁰⁰	3 ⁰⁰	4 ⁰⁰	5 ⁰⁰	6 ⁰⁰	7 ⁰⁰	8 ⁰⁰	9 ⁰⁰	10 ⁰⁰	11 ⁰⁰	12 ⁰⁰
Нагрузка, % $P_{\text{нагр_уст}}$	51	47	46	45	49	61	70	79	78	77	77	78

Час суток	13 ⁰⁰	14 ⁰⁰	15 ⁰⁰	16 ⁰⁰	17 ⁰⁰	18 ⁰⁰	19 ⁰⁰	20 ⁰⁰	21 ⁰⁰	22 ⁰⁰	23 ⁰⁰	24 ⁰⁰
Нагрузка, % $P_{\text{нагр_уст}}$	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 $Q_{\text{Нi}} = P_{\text{Нi}} \cdot \tan \varphi_{\text{Н}}$,

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 км³, полезный объем водохранилища – 3,7 км³. В настоящий момент в начале 24-часового периода 35% полезного объема воды сработано. Естественный приток воды в водохранилище в данный период составляет 7112 м³/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 ²	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

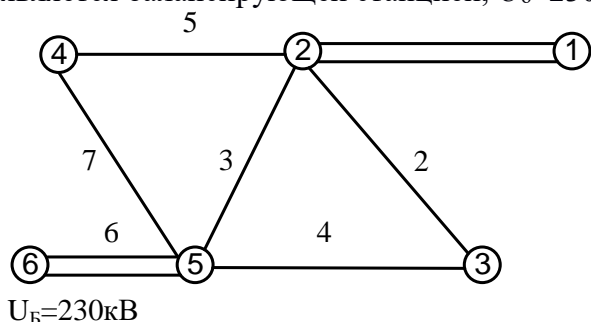
Почасовая нагрузка потребителей

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

Час суток	13 ⁰⁰	14 ⁰⁰	15 ⁰⁰	16 ⁰⁰	17 ⁰⁰	18 ⁰⁰	19 ⁰⁰	20 ⁰⁰	21 ⁰⁰	22 ⁰⁰	23 ⁰⁰	24 ⁰⁰
Нагрузка, % $P_{\text{нагр}} \text{ уст}$	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. м³. Естественный приток воды в водохранилище в данный период составляет 5,872 млн. м³/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)

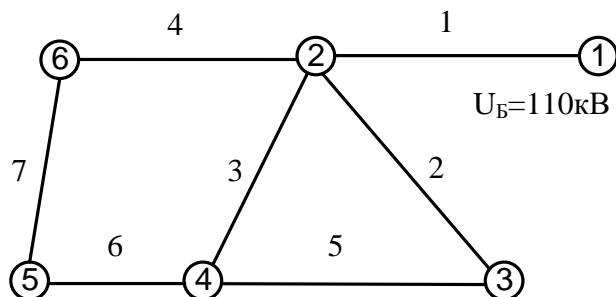
Номинальное сечение провода, мм ²	Количество проводов в фазе	r_0 , Ом при +20 °С	220 кВ		
			x_0 , Ом	b_0 , мкСм (Ом)	q_0 , кВАр
500/64	1	0,06	0,413	2,74	146
500/64	2	0,03	0,413	2,74	146

Почасовая нагрузка потребителей

Час суток	1 ⁰⁰	2 ⁰⁰	3 ⁰⁰	4 ⁰⁰	5 ⁰⁰	6 ⁰⁰	7 ⁰⁰	8 ⁰⁰	9 ⁰⁰	10 ⁰⁰	11 ⁰⁰	12 ⁰⁰
Нагрузка, % $P_{нагр_уст}$	56	53	52	55	63	72	75	79	76	75	74	75
Час суток	13 ⁰⁰	14 ⁰⁰	15 ⁰⁰	16 ⁰⁰	17 ⁰⁰	18 ⁰⁰	19 ⁰⁰	20 ⁰⁰	21 ⁰⁰	22 ⁰⁰	23 ⁰⁰	24 ⁰⁰
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 $Q_H^r = 25,88$ МДж/кг.

Расходная характеристика ГЭС имеет точку излома на мощности $P_{И}=1000$ 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^3 . Естественный приток воды в водохранилище – 2,111 млн. $\text{м}^3/\text{ч}$.

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 $Q_{Hi} = P_{Hi} \cdot \tan \varphi_H$, 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) – 0,86.

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^2	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

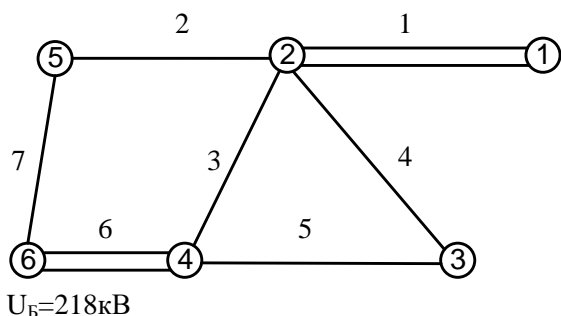
Почасовая нагрузка потребителей

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

Час суток	13 ⁰⁰	14 ⁰⁰	15 ⁰⁰	16 ⁰⁰	17 ⁰⁰	18 ⁰⁰	19 ⁰⁰	20 ⁰⁰	21 ⁰⁰	22 ⁰⁰	23 ⁰⁰	24 ⁰⁰
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:

$$P_{ТЭС1\text{min}} = 80 \text{ МВт}, \quad P_{ТЭС1\text{max}} = 900 \text{ МВт},$$

$$P_{ТЭС6\text{min}} = 60 \text{ МВт}, \quad P_{ТЭС6\text{max}} = 1000 \text{ МВт}.$$

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

ГЭС (шесть гидроагрегатов по 72 МВт)

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

Объем водохранилища – 1361,5462 млн. м³. Естественный приток воды в водохранилище в данный период составляет 2,819 тыс. м³/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%;

$\tan \varphi_r$ меняются в диапазонах: $0,4 < \tan \varphi_{r1} < 0,68$, $0,52 < \tan \varphi_{r3} < 0,65$, $0,54 < \tan \varphi_{r6} < 0,64$.

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 ²	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

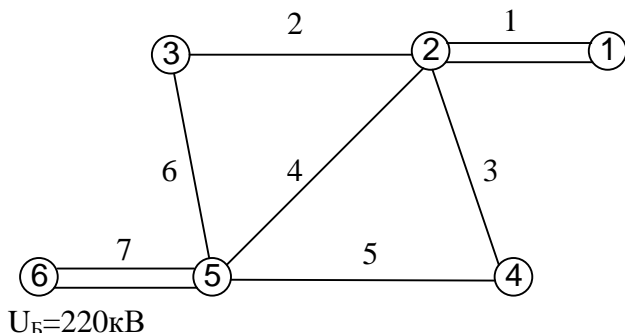
Почасовая нагрузка потребителей

Час суток	1 ⁰⁰	2 ⁰⁰	3 ⁰⁰	4 ⁰⁰	5 ⁰⁰	6 ⁰⁰	7 ⁰⁰	8 ⁰⁰	9 ⁰⁰	10 ⁰⁰	11 ⁰⁰	12 ⁰⁰
Нагрузка, % $P_{нагр_уст}$	51	50	49	52	55	59	67	77	75	70	70	71

Час суток	13 ⁰⁰	14 ⁰⁰	15 ⁰⁰	16 ⁰⁰	17 ⁰⁰	18 ⁰⁰	19 ⁰⁰	20 ⁰⁰	21 ⁰⁰	22 ⁰⁰	23 ⁰⁰	24 ⁰⁰
Нагрузка, % $P_{нагр_уст}$	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/м³.

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. м³. Естественный приток воды в водохранилище в данный период составляет 5,872 млн. м³/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 $Q_{Hi} = P_{Hi} \cdot \tan \varphi_H$, где $\tan \varphi_H$ 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_6 .

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 ²	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

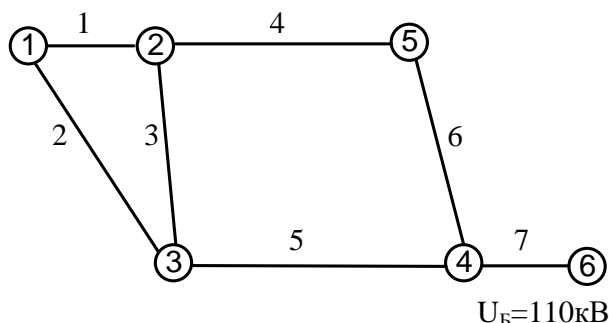
Почасовая нагрузка потребителей

Час суток	1 ⁰⁰	2 ⁰⁰	3 ⁰⁰	4 ⁰⁰	5 ⁰⁰	6 ⁰⁰	7 ⁰⁰	8 ⁰⁰	9 ⁰⁰	10 ⁰⁰	11 ⁰⁰	12 ⁰⁰
Нагрузка, % $P_{нагр_уст}$	50	45	45	45	52	63	78	80	75	73	73	75

Час суток	13 ⁰⁰	14 ⁰⁰	15 ⁰⁰	16 ⁰⁰	17 ⁰⁰	18 ⁰⁰	19 ⁰⁰	20 ⁰⁰	21 ⁰⁰	22 ⁰⁰	23 ⁰⁰	24 ⁰⁰
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:
 $H_1(P_1) = 121,24 + 5,87P_1 + 0,0373P_1^2$ [ГДж/ч]

На ТЭС сжигается уголь с $Q_H^r = 25,72$ МДж/кг.

Ограничения на генерируемые мощности:
 $P_{ТЭС1min} = 120$ МВт, $P_{ТЭС1max} = 600$ 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 км³, полезный объем водохранилища – 3,7 км³.

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_6 .

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 м³/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 ²	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

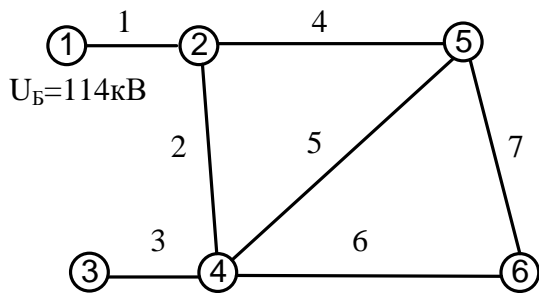
Почасовая нагрузка потребителей

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

Час суток	13 ⁰⁰	14 ⁰⁰	15 ⁰⁰	16 ⁰⁰	17 ⁰⁰	18 ⁰⁰	19 ⁰⁰	20 ⁰⁰	21 ⁰⁰	22 ⁰⁰	23 ⁰⁰	24 ⁰⁰
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 $Q_H^r = 24,97 \text{ МДж/кг}$.

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. м³. Естественный приток воды в водохранилище в данный период составляет 3,628 тыс. м³/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 ²	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

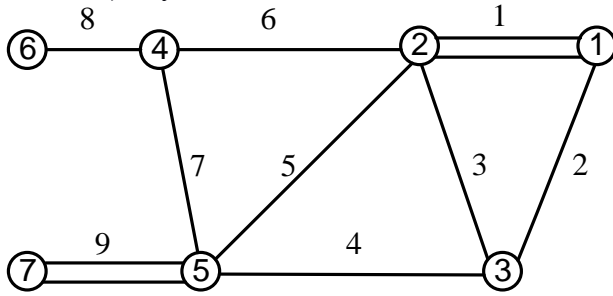
Почасовая нагрузка потребителей

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

Час суток	13 ⁰⁰	14 ⁰⁰	15 ⁰⁰	16 ⁰⁰	17 ⁰⁰	18 ⁰⁰	19 ⁰⁰	20 ⁰⁰	21 ⁰⁰	22 ⁰⁰	23 ⁰⁰	24 ⁰⁰
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.



$U_B = 224 \text{ кВ}$

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

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

Полезный объем воды в водохранилище – 4812 млн. 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 $Q_{Hi} = P_{Hi} \cdot \tan \varphi_H$, 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_B .

Определите оптимальный режим работы гидротепловой энергосистемы при следующих условиях: реактивные мощности генераторов определяются по формуле $Q_{Gi} = P_{Gi} \cdot \tan \varphi_{Gi}$, где $0,5 < \tan \varphi_{G1} < 0,66$, $0,52 < \tan \varphi_{G6} < 0,65$, $0,51 < \tan \varphi_{G7} < 0,64$.

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, мм^2	Количество проводов в фазе	r_0 , Ом при +20 °С	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 ⁰⁰	2 ⁰⁰	3 ⁰⁰	4 ⁰⁰	5 ⁰⁰	6 ⁰⁰	7 ⁰⁰	8 ⁰⁰	9 ⁰⁰	10 ⁰⁰	11 ⁰⁰	12 ⁰⁰
Нагрузка, % $P_{\text{нагр_уст}}$	52	49	46	47	60	69	79	85	84	82	83	81

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