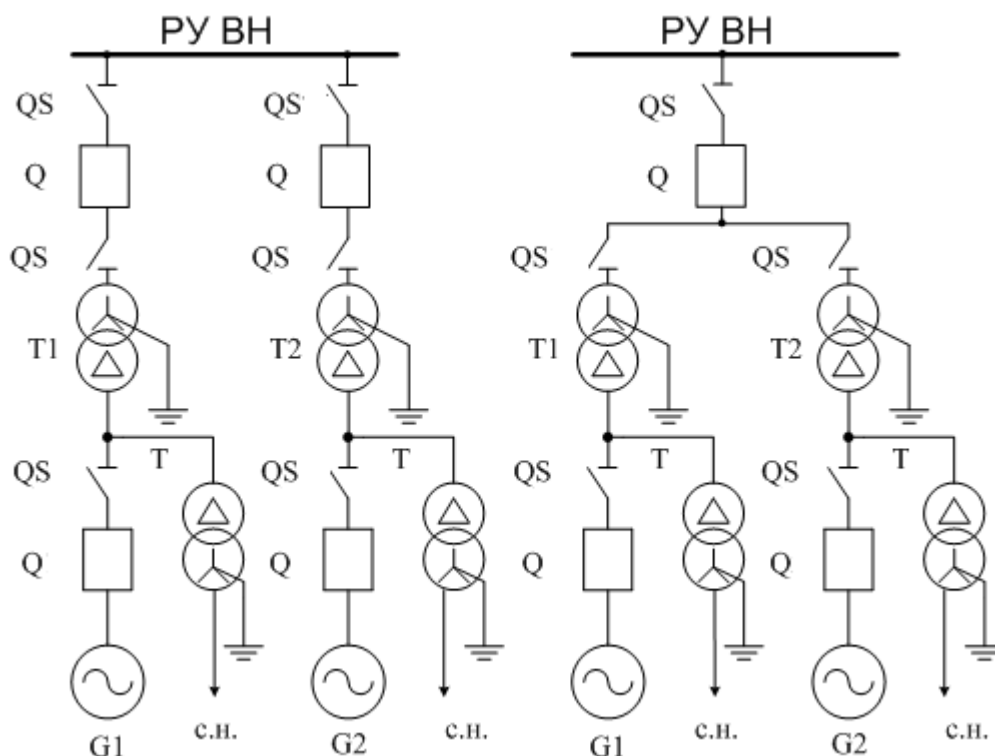


Теоретическая справка по технико-экономическому сопоставлению схем ГЭС

Различают 3 варианта энергоблоков:

1. Моноблоки
2. Объединенные блоки
3. Укрупненные блоки



Слева – моноблоки, справа – объединенный блок (рис.1)

Эффективность капиталовложений в ГЭС закладывается на стадии ее проектирования и обеспечивается тем, что каждое проектное техническое решение должно иметь технико-экономическое обоснование исходя из сравнительной оценки и сопоставления нескольких вариантов, отвечающих современному уровню развития техники и технологий с целью выбора наиболее оптимального.

В настоящее время расчет ведут по методу «минимума приведенных затрат»

$$Zi = E_n \cdot K + I + M(Y)$$

где: E_n – Нормативный коэффициент окупаемости капиталовложений, принимается равным 0,12;

K – Капиталовложения в оборудование;

I – Годовые издержки;

$M(Y)$ – Математическое ожидание ущерба от недоотпуска электроэнергии.

Определение приведенных затрат варианта структурной схемы

Определим капиталовложения варианта структурной схемы:

$$K = n_{\text{яч}} K_{\text{яч.РУВН}} + n_{\text{Т}} K_{\text{Т}} \alpha_{\text{Т}},$$

где $K_{\text{яч.РУВН}}$ - стоимость ячейки РУВН (укрупненная);

$n_{\text{яч}}$ - количество присоединений РУВН;

$K_{\text{Т}}$ - стоимость трансформатора блока;

$n_{\text{Т}}$ - количество блоков;

$\alpha_{\text{Т}}$ - коэффициент увеличения стоимости за счет расходов на доставку.

Укрупненные показатели стоимости ячеек РУ принимать по СТО 56947007-29.240.014-2008 (выложен на сайте ПАО «ФСК ЕЭС» в свободном доступе) или Справочнику¹ с коэффициентом приведения цен 50.

Годовые эксплуатационные издержки (И)

$$И = И_{\text{ОБСЛ}} + И_{\text{АМ}} + И_{\text{ПОТ.ЭЭ}}$$

Издержки на обслуживание

$$И_{\text{ОБСЛ}} = b_{\text{ОБС}} * K_{\Sigma} \approx 0,03 * K_{\Sigma}$$

Издержки на амортизацию

$$И_{\text{АМ}} = b_{\text{АМ}} * K_{\Sigma} \approx 0,058 * K_{\Sigma}$$

Издержки на потери электроэнергии (учитываются по потерям ЭЭ в силовых трансформаторах)

$$И_{\text{ПОТ.ЭЭ}} = b_{\text{ПОТ}} * W_{\text{ПОТ}}$$

Потери электроэнергии имеют две составляющие: потери холостого хода и короткого замыкания

$$W_{\text{ПОТ}} = W_{\text{ПОТ.ХХ}} + W_{\text{ПОТ.КЗ}}$$

Потери холостого хода

$$W_{\text{ПОТ.ХХ}}^{\text{СУТ}} = \sum_{i=1}^m n_i * \Delta t_i * \Delta P_{\text{ХХ}}$$

$$W_{\text{ПОТ.ХХ}} = \sum_{j=\text{зима}}^{\text{лето, наводок}} N_j * W_{\text{ПОТ.ХХ}}^{\text{СУТ}.j}$$

¹ Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. Энергоатомиздат, 1989. – 608.; ил.

Потери короткого замыкания

$$W_{ПОТ.КЗ}^{СУТ} = \sum_{j=1}^{n_{Tp}} \Delta P_{КЗ.j} * \sum_{i=1}^m \left[\left(\frac{S_i}{S_{Tp.ном}} \right)^2 * \Delta t_i \right]$$

$$W_{ПОТ.КЗ} = \sum_{j=зима}^{лето, наводок} N_j * W_{ПОТ.КЗ}^{СУТ.j}$$

Удельная стоимость потерь электроэнергии

$T_{НБ}$, ч	2500	3000	4000	5000	6000	7000
$b_{ном}$, 10^{-2} о.е./кВт*ч	4,3	3,6	2,8	2,4	2,1	1,9

Число часов использования наибольшей мощности ГЭС (рассчитывается по графику выработки ГЭС)

$$T_{НБ} = \frac{\left(\sum_i P_{Г.и} * \Delta t_i \right) * N_{ЗИМА} + \left(\sum_i P_{Г.и} * \Delta t_i \right) * N_{ЛЕТО} + \left(\sum_i P_{Г.и} * \Delta t_i \right) * N_{ПАВОДОК}}{P_{УСТ}}$$

Математическое ожидание ущерба от недоотпуска ЭЭ

$$M Y = n_{бл} * y_0 * 10^3 * (\Delta P * \left(\frac{T_{нб}}{8760} \right) * (\omega_T * T_{ВТ} + \omega_B * T_{ВВ}))$$

где $n_{бл}$ – количество блоков;

y_0 – удельная стоимость ущерба от недоотпуска ЭЭ, о.е./кВт*ч;

ΔP – мощность, теряемая в результате отказа трансформатора блока или выключателя в присоединении блока к РУВН, МВт; принимается равной установленной мощности энергоблока;

$T_{нб}$ – число часов использования наибольшей мощности;

ω_T , ω_B – параметр потока отказов силового трансформатора блока и выключателя в РУВН, 1/год;

$T_{ВТ}$, $T_{ВВ}$ – время восстановления силового трансформатора и выключателя РУВН после отказа, ч.

Таблица 4.4. Показатели надежности элементов

Элементы	ω , 1/год	T_B , ч/1	μ , 1/год	T_{RP} , ч/1
Энергоблоки 500 МВт	11	120	1	600
Линии 500 кВ	0,25 на 100 км	20	10	10,0
Трансформаторы с $U_{BH}=500$ кВ	0,04	200	1,0	70
Выключатели воздушные 500 кВ	0,14	160	0,33	450
Выключатели воздушные 20 кВ	0,04	20	0,33	60
Сборные шины 500 кВ на дно присоединение	0,01	6	0,167	30

Источник²

По результатам расчета выбирается вариант структурной схемы, который имеет меньшие приведенные затраты.

Качественный пример технико-экономического сопоставления двух вариантов схем ГЭС

Первым делом предоставим все необходимые исходные данные, в также схемы обеих структурных схем ГЭС:



Число зимних дней в году (N_3) – 175

Число летних дней в году (N_L) – 125

Число дней паводка – 65

² Околович М.Н. Проектирование электрических станций: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 400 с., ил.

Четыре укрупнённых блока

В этом варианте рассмотрим структурную схему ГЭС с укрупнёнными блоками (4 укрупнённых блока по 2 генератора в каждом).

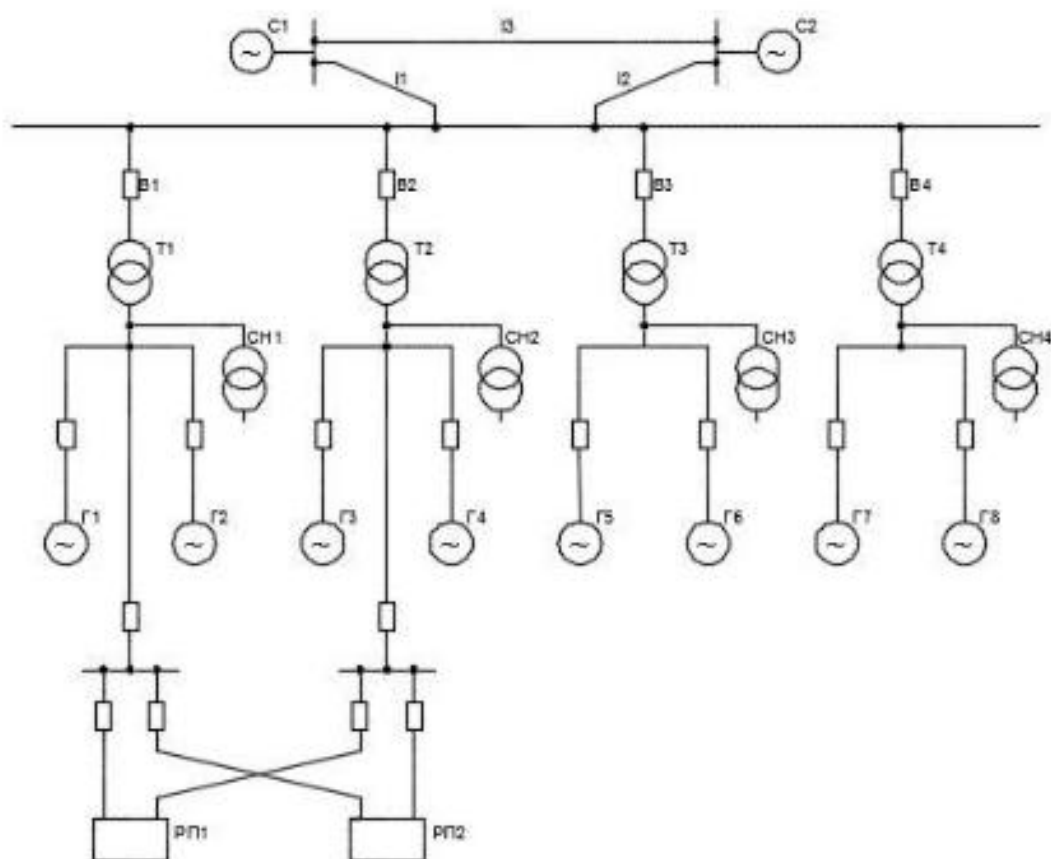


рис. 1. - 1 вариант структурной схемы ГЭС – 4 укрупнённых блока

Два объединённых блока

В этом варианте рассмотрим схему ГЭС с объединёнными блоками (2 объединённых блока по 4 генератора)

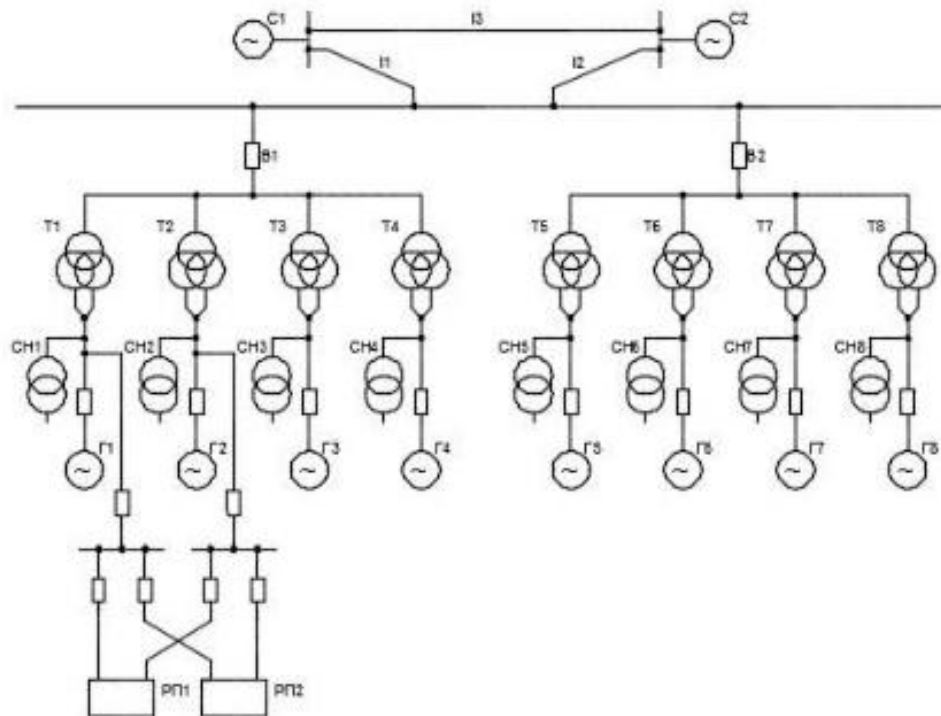


рис. 2 - 2 вариант структурной схемы ГЭС - 2 объединённых блока

Δt (ч)	0-8	8-16	16-22	22-24	Зима
$P_{\text{нн}}$ (МВт)	2,03	2,32	2,9	2,32	
$Q_{\text{нн}}$ (Мвар)	1,52	1,74	2,18	1,74	
Δt (ч)	0-8	8-16	16-24		Лето
$P_{\text{нн}}$ (МВт)	1,45	1,74	2,03		
$Q_{\text{нн}}$ (Мвар)	1,09	1,31	1,52		

таблица 1 – Нагрузка ГЭС на НН

В первом варианте питание нагрузки НН осуществляется через первый и второй блок. Оба блока принимают участие в поставке электрической энергии 50:50. То же самое касается и второго варианта. На основании этого можем составить ниже указанные таблицы.

Δt (ч)	0-8	8-16	16-22	22-24	Зима
$P_{\text{ннБ}}$ (МВт)	1,02	1,16	1,45	1,16	
$Q_{\text{ннБ}}$ (Мвар)	0,76	0,87	1,09	0,87	
Δt (ч)	0-8	8-16	16-24		Лето
$P_{\text{ннБ}}$ (МВт)	0,73	0,87	1,02		
$Q_{\text{ннБ}}$ (Мвар)	0,54	0,65	0,76		

таблица 2 – Нагрузка НН на первый и второй энергоблок (1 вариант)

Δt (ч)	0-8	8-16	16-22	22-24	Зима
$P_{\text{ннБ}}$ (МВт)	1,02	1,16	1,45	1,16	
$Q_{\text{ннБ}}$ (Мвар)	0,76	0,87	1,09	0,87	
Δt (ч)	0-8	8-16	16-24		Лето
$P_{\text{ннБ}}$ (МВт)	0,73	0,87	1,02		
$Q_{\text{ннБ}}$ (Мвар)	0,54	0,65	0,76		

таблица 3 - Нагрузка НН на первый и второй энергоблок (2 вариант)

Δt (ч)	0-6		6-12		12-18		18-22		22-24	
Генератор	Г1	Г2	Г1	Г2	Г1	Г2	Г1	Г2	Г1	Г2
Б1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Б2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Б3	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-
Б4	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-

таблица 4 - Карта загрузки генераторов, зима (1 вариант)

Δt (ч)	0-6		6-12		12-18		18-22		22-24	
Генератор	Г1	Г2	Г1	Г2	Г1	Г2	Г1	Г2	Г1	Г2
Б1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Б2	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-
Б3	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-
Б4	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-

таблица 5 - Карта загрузки генераторов, лето (1 вариант)

Δt (ч)	0-6		6-12		12-18		18-22		22-24	
Генератор	Г1	Г2	Г1	Г2	Г1	Г2	Г1	Г2	Г1	Г2
Б1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Б2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Б3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Б4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

таблица 6 - Карта загрузки генераторов, паводок (1 вариант)

Δt (ч)	0-6	6-12	12-18	18-22	22-24
Генератор	Г1	Г1	Г1	Г1	Г1
Б1	+	+	+	+	+
Б2	+	+	+	+	+
Б3	+	+	+	+	+
Б4	+	+	+	+	+
Б5	-	+	-	+	-
Б6	-	+	-	+	-
Б7	-	+	-	+	-
Б8	-	+	-	+	-

таблица 7 - Карта загрузки генераторов, зима (2 вариант)

Δt (ч)	0-6	6-12	12-18	18-22	22-24
Генератор	Г1	Г1	Г1	Г1	Г1
Б1	+	+	+	+	+
Б2	+	+	+	+	+
Б3	-	+	-	+	-
Б4	-	+	-	+	-
Б5	-	+	-	+	-
Б6	-	+	-	+	-
Б7	-	+	-	+	-
Б8	-	+	-	+	-

таблица 8 - Карта загрузки генераторов, лето (2 вариант)

Δt (ч)	0-6	6-12	12-18	18-22	22-24
Генератор	Г1	Г1	Г1	Г1	Г1
Б1	+	+	+	+	+
Б2	+	+	+	+	+
Б3	+	+	+	+	+
Б4	+	+	+	+	+
Б5	+	+	+	+	+
Б6	+	+	+	+	+
Б7	+	+	+	+	+
Б8	+	+	+	+	+

таблица 9 - Карта загрузки генераторов, паводок (2 вариант)

Δt (ч)		0-6	6-8	8-12	12-16	16-18	18-22	22-24
Б1	Рв (МВт)	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
	Qв (Мвар)	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
	РннБ (МВт)	1,02	1,02	1,16	1,16	1,45	1,45	1,16
	QннБ (Мвар)	0,76	0,76	0,87	0,87	1,09	1,09	0,87
	Ртр (МВт)	79,24	79,24	79,13	79,13	78,91	78,91	79,13
	Qтр (Мвар)	59,24	59,24	59,13	59,13	58,91	58,91	59,13
	Стр (МВ.А)	98,93	98,93	98,78	98,78	98,48	98,48	98,78
Б2	Рв (МВт)	48,00	80,00	80,00	48,00	48,00	80,00	48,00
	Qв (Мвар)	36,00	60,00	60,00	36,00	36,00	60,00	36,00
	РннБ (МВт)	1,02	1,02	1,16	1,16	1,45	1,45	1,16
	QннБ (Мвар)	0,76	0,76	0,87	0,87	1,09	1,09	0,87
	Ртр (МВт)	47,24	79,24	79,13	47,13	46,91	78,91	47,13
	Qтр (Мвар)	35,24	59,24	59,13	35,13	34,91	58,91	35,13
	Стр (МВ.А)	58,93	98,93	98,78	58,78	58,48	98,48	58,78
Б3	Рв (МВт)	0,00	80,00	80,00	0,00	0,00	80,00	0,00
	Qв (Мвар)	0,00	60,00	60,00	0,00	0,00	60,00	0,00
	РннБ (МВт)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	QннБ (Мвар)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ртр (МВт)	0,00	80,00	80,00	0,00	0,00	80,00	0,00
	Qтр (Мвар)	0,00	60,00	60,00	0,00	0,00	60,00	0,00
	Стр (МВ.А)	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00
Б4	Рв (МВт)	0,00	80,00	80,00	0,00	0,00	80,00	0,00
	Qв (Мвар)	0,00	60,00	60,00	0,00	0,00	60,00	0,00
	РннБ (МВт)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	QннБ (Мвар)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ртр (МВт)	0,00	80,00	80,00	0,00	0,00	80,00	0,00
	Qтр (Мвар)	0,00	60,00	60,00	0,00	0,00	60,00	0,00
	Стр (МВ.А)	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00

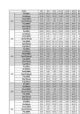
таблица 10 - График нагрузки трансформаторов блоков, зима (1 вариант)

Δt (ч)		0-6	6-8	8-12	12-16	16-18	18-22	22-24
Б1	Рв (МВт)	64,00	80,00	80,00	64,00	64,00	80,00	64,00
	Qв (Мвар)	48,00	60,00	60,00	48,00	48,00	60,00	48,00
	РннБ (МВт)	0,73	0,73	0,87	0,87	1,02	1,02	1,02
	QннБ (Мвар)	0,54	0,54	0,65	0,65	0,76	0,76	0,76
	Ртр (МВт)	63,46	79,46	79,35	63,35	63,24	79,24	63,24
	Qтр (Мвар)	47,46	59,46	59,35	47,35	47,24	59,24	47,24
	Стр (МВ.А)	79,24	99,24	99,09	79,09	78,93	98,93	78,93
Б2	Рв (МВт)	0,00	80,00	80,00	0,00	0,00	80,00	0,00
	Qв (Мвар)	0,00	60,00	60,00	0,00	0,00	60,00	0,00
	РннБ (МВт)	0,73	0,73	0,87	0,87	1,02	1,02	1,02
	QннБ (Мвар)	0,54	0,54	0,65	0,65	0,76	0,76	0,76
	Ртр (МВт)	-0,54	79,46	79,35	-0,65	-0,76	79,24	-0,76
	Qтр (Мвар)	-0,54	59,46	59,35	-0,65	-0,76	59,24	-0,76
	Стр (МВ.А)	0,77	99,24	99,09	0,92	1,08	98,93	1,08
Б3	Рв (МВт)	0,00	80,00	80,00	0,00	0,00	80,00	0,00
	Qв (Мвар)	0,00	60,00	60,00	0,00	0,00	60,00	0,00
	РннБ (МВт)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	QннБ (Мвар)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ртр (МВт)	0,00	80,00	80,00	0,00	0,00	80,00	0,00
	Qтр (Мвар)	0,00	60,00	60,00	0,00	0,00	60,00	0,00
	Стр (МВ.А)	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00
Б4	Рв (МВт)	0,00	80,00	80,00	0,00	0,00	80,00	0,00
	Qв (Мвар)	0,00	60,00	60,00	0,00	0,00	60,00	0,00
	РннБ (МВт)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	QннБ (Мвар)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ртр (МВт)	0,00	80,00	80,00	0,00	0,00	80,00	0,00
	Qтр (Мвар)	0,00	60,00	60,00	0,00	0,00	60,00	0,00
	Стр (МВ.А)	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00

таблица 11 - График нагрузки трансформаторов блоков, лето (1 вариант)

Δt (ч)		0-6	6-8	8-12	12-16	16-18	18-22	22-24
Б1	Рв (МВт)	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
	Qв (Мвар)	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
	РннБ (МВт)	1,02	1,02	1,16	1,16	1,45	1,45	1,16
	QннБ (Мвар)	0,76	0,76	0,87	0,87	1,09	1,09	0,87
	Ртр (МВт)	79,24	79,24	79,13	79,13	78,91	78,91	79,13
	Qтр (Мвар)	59,24	59,24	59,13	59,13	58,91	58,91	59,13
	Стр (МВ.А)	98,93	98,93	98,78	98,78	98,48	98,48	98,78
Б2	Рв (МВт)	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
	Qв (Мвар)	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
	РннБ (МВт)	1,02	1,02	1,16	1,16	1,45	1,45	1,16
	QннБ (Мвар)	0,76	0,76	0,87	0,87	1,09	1,09	0,87
	Ртр (МВт)	79,24	79,24	79,13	79,13	78,91	78,91	79,13
	Qтр (Мвар)	59,24	59,24	59,13	59,13	58,91	58,91	59,13
	Стр (МВ.А)	98,93	98,93	98,78	98,78	98,48	98,48	98,78
Б3	Рв (МВт)	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
	Qв (Мвар)	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
	РннБ (МВт)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	QннБ (Мвар)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ртр (МВт)	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
	Qтр (Мвар)	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
	Стр (МВ.А)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Б4	Рв (МВт)	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
	Qв (Мвар)	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
	РннБ (МВт)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	QннБ (Мвар)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ртр (МВт)	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
	Qтр (Мвар)	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
	Стр (МВ.А)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

таблица 12 - График нагрузки трансформаторов блоков, паводок (1 вариант)



Б7	Рв (МВт)	0,00	40,00	40,00	0,00	0,00	40,00	0,00
	Qв (Мвар)	0,00	30,00	30,00	0,00	0,00	30,00	0,00
	РннБ (МВт)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	QннБ (Мвар)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ртр (МВт)	0,00	40,00	40,00	0,00	0,00	40,00	0,00
	Qтр (Мвар)	0,00	30,00	30,00	0,00	0,00	30,00	0,00
	Стр (МВ.А)	0,00	50,00	50,00	0,00	0,00	50,00	0,00
Б8	Рв (МВт)	0,00	40,00	40,00	0,00	0,00	40,00	0,00
	Qв (Мвар)	0,00	30,00	30,00	0,00	0,00	30,00	0,00
	РннБ (МВт)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	QннБ (Мвар)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ртр (МВт)	0,00	40,00	40,00	0,00	0,00	40,00	0,00
	Qтр (Мвар)	0,00	30,00	30,00	0,00	0,00	30,00	0,00
	Стр (МВ.А)	0,00	50,00	50,00	0,00	0,00	50,00	0,00

таблица 13 - График нагрузки трансформаторов блоков, зима (2 вариант)

Δt (ч)		0-6	6-8	8-12	12-16	16-18	18-22	22-24
Б1	Рв (МВт)	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
	Qв (Мвар)	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
	РннБ (МВт)	0,73	0,73	0,87	0,87	1,02	1,02	1,02
	QннБ (Мвар)	0,54	0,54	0,65	0,65	0,76	0,76	0,76
	Ртр (МВт)	39,46	39,46	39,35	39,35	39,24	39,24	39,24
	Qтр (Мвар)	29,46	29,46	29,35	29,35	29,24	29,24	29,24
	Стр (МВ.А)	49,24	49,24	49,09	49,09	48,93	48,93	48,93
Б2	Рв (МВт)	24,00	40,00	40,00	24,00	24,00	40,00	24,00
	Qв (Мвар)	18,00	30,00	30,00	18,00	18,00	30,00	18,00
	РннБ (МВт)	0,73	0,73	0,87	0,87	1,02	1,02	1,02
	QннБ (Мвар)	0,54	0,54	0,65	0,65	0,76	0,76	0,76
	Ртр (МВт)	23,46	39,46	39,35	23,35	23,24	39,24	23,24
	Qтр (Мвар)	17,46	29,46	29,35	17,35	17,24	29,24	17,24
	Стр (МВ.А)	29,24	49,24	49,09	29,09	28,93	48,93	28,93
Б3	Рв (МВт)	0,00	40,00	40,00	0,00	0,00	40,00	0,00
	Qв (Мвар)	0,00	30,00	30,00	0,00	0,00	30,00	0,00
	РннБ (МВт)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	QннБ (Мвар)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ртр (МВт)	0,00	40,00	40,00	0,00	0,00	40,00	0,00
	Qтр (Мвар)	0,00	30,00	30,00	0,00	0,00	30,00	0,00
	Стр (МВ.А)	0,00	50,00	50,00	0,00	0,00	50,00	0,00
Б4	Рв (МВт)	0,00	40,00	40,00	0,00	0,00	40,00	0,00
	Qв (Мвар)	0,00	30,00	30,00	0,00	0,00	30,00	0,00
	РннБ (МВт)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	QннБ (Мвар)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ртр (МВт)	0,00	40,00	40,00	0,00	0,00	40,00	0,00
	Qтр (Мвар)	0,00	30,00	30,00	0,00	0,00	30,00	0,00
	Стр (МВ.А)	0,00	50,00	50,00	0,00	0,00	50,00	0,00

Б5	Рв (МВт)	0,00	40,00	40,00	0,00	0,00	40,00	0,00
	Qв (Мвар)	0,00	30,00	30,00	0,00	0,00	30,00	0,00
	РннБ (МВт)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	QннБ (Мвар)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ртр (МВт)	0,00	40,00	40,00	0,00	0,00	40,00	0,00
	Qтр (Мвар)	0,00	30,00	30,00	0,00	0,00	30,00	0,00
	Стр (МВ.А)	0,00	50,00	50,00	0,00	0,00	50,00	0,00
Б6	Рв (МВт)	0,00	40,00	40,00	0,00	0,00	40,00	0,00
	Qв (Мвар)	0,00	30,00	30,00	0,00	0,00	30,00	0,00
	РннБ (МВт)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	QннБ (Мвар)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ртр (МВт)	0,00	40,00	40,00	0,00	0,00	40,00	0,00
	Qтр (Мвар)	0,00	30,00	30,00	0,00	0,00	30,00	0,00
	Стр (МВ.А)	0,00	50,00	50,00	0,00	0,00	50,00	0,00
Б7	Рв (МВт)	0,00	40,00	40,00	0,00	0,00	40,00	0,00
	Qв (Мвар)	0,00	30,00	30,00	0,00	0,00	30,00	0,00
	РннБ (МВт)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	QннБ (Мвар)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ртр (МВт)	0,00	40,00	40,00	0,00	0,00	40,00	0,00
	Qтр (Мвар)	0,00	30,00	30,00	0,00	0,00	30,00	0,00
	Стр (МВ.А)	0,00	50,00	50,00	0,00	0,00	50,00	0,00
Б8	Рв (МВт)	0,00	40,00	40,00	0,00	0,00	40,00	0,00
	Qв (Мвар)	0,00	30,00	30,00	0,00	0,00	30,00	0,00
	РннБ (МВт)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	QннБ (Мвар)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ртр (МВт)	0,00	40,00	40,00	0,00	0,00	40,00	0,00
	Qтр (Мвар)	0,00	30,00	30,00	0,00	0,00	30,00	0,00
	Стр (МВ.А)	0,00	50,00	50,00	0,00	0,00	50,00	0,00

таблица 14 - - График нагрузки трансформаторов блоков, зима (2 вариант)

Δt (ч)		0-6	6-8	8-12	12-16	16-18	18-22	22-24
Б1	Рв (МВт)	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
	Qв (Мвар)	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
	РннБ (МВт)	1,02	1,02	1,16	1,16	1,45	1,45	1,16
	QннБ (Мвар)	0,76	0,76	0,87	0,87	1,09	1,09	0,87
	Ртр (МВт)	39,24	39,24	39,13	39,13	38,91	38,91	39,13
	Qтр (Мвар)	29,24	29,24	29,13	29,13	28,91	28,91	29,13
	Стр (МВ.А)	48,93	48,93	48,78	48,78	48,48	48,48	48,78
Б2	Рв (МВт)	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
	Qв (Мвар)	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
	РннБ (МВт)	1,02	1,02	1,16	1,16	1,45	1,45	1,16
	QннБ (Мвар)	0,76	0,76	0,87	0,87	1,09	1,09	0,87
	Ртр (МВт)	39,24	39,24	39,13	39,13	38,91	38,91	39,13
	Qтр (Мвар)	29,24	29,24	29,13	29,13	28,91	28,91	29,13
	Стр (МВ.А)	48,93	48,93	48,78	48,78	48,48	48,48	48,78

Б3	Рв (МВт)	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
	Qв (Мвар)	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
	РннБ (МВт)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	QннБ (Мвар)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ртр (МВт)	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
	Qтр (Мвар)	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
	Стр (МВ.А)	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Б4	Рв (МВт)	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
	Qв (Мвар)	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
	РннБ (МВт)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	QннБ (Мвар)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ртр (МВт)	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
	Qтр (Мвар)	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
	Стр (МВ.А)	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Б5	Рв (МВт)	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
	Qв (Мвар)	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
	РннБ (МВт)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	QннБ (Мвар)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ртр (МВт)	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
	Qтр (Мвар)	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
	Стр (МВ.А)	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Б6	Рв (МВт)	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
	Qв (Мвар)	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
	РннБ (МВт)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	QннБ (Мвар)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ртр (МВт)	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
	Qтр (Мвар)	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
	Стр (МВ.А)	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Б7	Рв (МВт)	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
	Qв (Мвар)	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
	РннБ (МВт)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	QннБ (Мвар)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ртр (МВт)	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
	Qтр (Мвар)	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
	Стр (МВ.А)	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Б8	Рв (МВт)	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
	Qв (Мвар)	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
	РннБ (МВт)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	QннБ (Мвар)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ртр (МВт)	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
	Qтр (Мвар)	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
	Стр (МВ.А)	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00

таблица 15 - График нагрузки трансформаторов блоков, паводок (2 вариант)

Приведённые затраты можно вычислить по формуле

$$Z_{\text{прив}} = E_n \cdot K_{\Sigma} + И + M(Y)$$

где

E_n коэффициент окупаемости, $E_n = 0,12$

K_{Σ} суммарные капиталовложения

$И$ издержки

$M(Y)$ ожидаемость ущерба

Во всех ниже приведенных расчётах учитываем цены 1984 года умноженные на 50.

1) Вариант «Четыре укрупнённых блока»

а) Капиталовложения

Выбираем выключатель ВВД-330Б-40/3200У1, стоимость одной ячейки 9 210 000 Р. Цена одного трансформатора ТДЦ-125000/330 составляет 16 200 000 Р.

$$K_{\Sigma} = K_{\text{яч.вн}} + K_T$$

$$K_{\text{яч.вн}} = n_{\text{яч.вн}} \cdot C_{\text{яч.вн}} = 4 \cdot 9\,210\,000 = 36\,840\,000 \text{ Р}$$

$$K_T = n_T \cdot \alpha_T \cdot C_T = 4 \cdot 1,3 \cdot 25\,800\,000 = 84\,240\,000 \text{ Р}$$

$$K_{\Sigma} = K_{\text{яч.вн}} + K_T = 36\,840\,000 + 84\,240\,000 = 121\,080\,000 \text{ Р}$$

б) Издержки

$$И = И_{\text{ам}} + И_{\text{об}} + И_{\text{пот.э}}$$

$$И_{\text{ам}} = 0,058 \cdot K_{\Sigma} = 0,058 \cdot 121\,080\,000 = 7\,022\,640 \text{ Р}$$

$$И_{\text{об}} = 0,03 \cdot K_{\Sigma} = 0,03 \cdot 121\,080\,000 = 3\,632\,400 \text{ руб}$$

$$И_{\text{пот.э}} = b_{\text{пот}} \cdot W_{\text{пот}}$$

$$W_{\text{пот,х}} = N^3 \cdot W_{\text{пот,х,сут}}^3 + N^3 \cdot W_{\text{пот,х,сут}}^2 + N^3 \cdot W_{\text{пот,х,сут}}^1$$

$$W_{\text{пот,х,сут}}^3 = \Delta P_x \cdot \sum n_{Ti} \cdot \Delta t_i = 125 \cdot (2,6 + 4,6 + 2,6 + 4,4 + 2,2) = 8500 \text{ кВт.ч}$$

$$W_{\text{пот,х,сут}}^2 = \Delta P_x \cdot \sum n_{Ti} \cdot \Delta t_i = 125 \cdot (1,6 + 4,6 + 1,6 + 4,4 + 1,2) = 6750 \text{ кВт.ч}$$

$$W_{\text{пот,х,сут}}^1 = \Delta P_x \cdot \sum n_{Ti} \cdot \Delta t_i = 125 \cdot (4,24) = 12000 \text{ кВт.ч}$$

$$W_{\text{пот,х}} = N^3 \cdot W_{\text{пот,х,сут}}^3 + N^{\text{л}} \cdot W_{\text{пот,х,сут}}^{\text{л}} + N^{\text{п}} \cdot W_{\text{пот,х,сут}}^{\text{п}} \\ = 175.8500 + 125.6750 + 65.12000 = 3111.10^3 \text{ кВт.ч}$$

$$W_{\text{пот,к}} = N^3 \cdot W_{\text{пот,к,сут}}^3 + N^{\text{л}} \cdot W_{\text{пот,к,сут}}^{\text{л}} + N^{\text{п}} \cdot W_{\text{пот,к,сут}}^{\text{п}}$$

$$W_{\text{пот,к,сут}}^3 = W_{\text{пот,к,сут,бл1}}^3 + W_{\text{пот,к,сут,бл2}}^3 + W_{\text{пот,к,сут,бл3}}^3 + W_{\text{пот,к,сут,бл4}}^3 \\ = \Delta P_{\text{к}} \cdot \sum \left(\frac{S_i}{S_{\text{ном}}} \right)^2 \cdot \Delta t_i \\ = 380 \cdot \left(6 \cdot \left(\frac{98,93}{125} \right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{98,93}{125} \right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{98,78}{125} \right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{98,78}{125} \right)^2 \right. \\ + 2 \cdot \left(\frac{98,48}{125} \right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{98,48}{125} \right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{98,78}{125} \right)^2 + 6 \cdot \left(\frac{58,93}{125} \right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{98,93}{125} \right)^2 \\ + 4 \cdot \left(\frac{98,78}{125} \right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{58,78}{125} \right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{58,48}{125} \right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{98,48}{125} \right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{58,78}{125} \right)^2 \\ + 2 \cdot \left(\frac{100}{125} \right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{100}{125} \right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{100}{125} \right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{100}{125} \right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{100}{125} \right)^2 \\ \left. + 2 \cdot \left(\frac{100}{125} \right)^2 \right) = 9189 \text{ кВт.ч}$$

$$W_{\text{пот,к,сут}}^{\text{л}} = 7621 \text{ кВт.ч}$$

$$W_{\text{пот,к,сут}}^{\text{п}} = 380 \cdot 4 \cdot 24 = 14\,942 \text{ кВт.ч}$$

$$W_{\text{пот,к}} = N^3 \cdot W_{\text{пот,к,сут}}^3 + N^{\text{л}} \cdot W_{\text{пот,к,сут}}^{\text{л}} + N^{\text{п}} \cdot W_{\text{пот,к,сут}}^{\text{п}} = 175.9\,189 + 125.7\,621 + \\ 65.14\,942 = 3\,532.10^3 \text{ кВт.ч}$$

$$W_{\text{пот}} = W_{\text{пот,х}} + W_{\text{пот,к}} = 3111.10^3 + 3\,532.10^3 = 6\,643.10^3 \text{ кВт.ч}$$

$$T_{\text{нб}} = \frac{1}{P_{\text{уст}}} \left(\left(\sum P_{\text{в}}^3 \cdot \Delta t_i \right) \cdot N^3 + \left(\sum P_{\text{в}}^{\text{л}} \cdot \Delta t_i \right) \cdot N^{\text{л}} + \left(\sum P_{\text{в}}^{\text{п}} \cdot \Delta t_i \right) \cdot N^{\text{п}} \right) \\ = \frac{1}{320} \left((128.6 + 320.6 + 128.6 + 320.4 + 128.2) \cdot 175 \right. \\ \left. + (64.6 + 320.6 + 64.6 + 320.4 + 64.2) \cdot 125 + 320.24 \cdot 65 \right) = 5890 \text{ ч}$$

Удельная стоимость потер электроэнергии (независимо от $T_{\text{нб}}$)

$$b_{\text{пот}} = 2,2 \text{ Р/кВт.ч}$$

$$И_{\text{пот,ээ}} = b_{\text{пот}} \cdot W_{\text{пот}} = 2,2 \cdot 6\,643.10^3 = 14\,614\,600 \text{ Р}$$

$$И = И_{\text{ам}} + И_{\text{об}} + И_{\text{пот,ээ}} = 7\,022\,640 + 3\,632\,400 + 14\,614\,600 = 25\,269\,640 \text{ Р}$$

с) Ущерб

Определим среднегодовой недоотпуск электроэнергии в систему (из-за отказа трансформатора блока), равный:

$$\Delta W_{\Gamma} = n_{\text{бл}} \cdot \frac{T_{\text{нб}}}{8760} \cdot \Delta P_{\text{бл}} \cdot (w_{\Gamma} \cdot T_{\text{в.т}} + w_{\text{в}} \cdot T_{\text{в.в}}) = 2 \cdot \frac{5890}{8760} \cdot 40\,000 \cdot (0,04 \cdot 250 + 0,03 \cdot 48) \\ = 615\,357 \text{ кВт.ч/год}$$

Ущерб от ненадёжности схемы составит:

$$Y = y_{0,c} \cdot W_{\Gamma}$$

где

$y_{0,c}$ — удельный ущерб, $y_{0,c} = 7 \text{ Р/кВт.ч}$

$$Y = y_{0,c} \cdot W_{\Gamma} = 7 \cdot 615\,357 = 4\,307\,500 \text{ Р}$$

Приведённые затраты для варианта 1

$$Z_{\text{прив}} = E_{\text{в}} \cdot K_{\Sigma} + И + М(Y) = 0,12 \cdot 121\,080\,000 + 25\,269\,640 + 3\,010\,035 \\ = 42\,809\,275 \text{ Р}$$

2) Вариант «Два объединённых блока»

а) Капиталовложения

Выбираем выключатель ВВД-330Б-40/3200У1, стоимость одной ячейки 9 210 000 Р. Цена одного трансформатора ТРДЦН-63000/330 составляет 10 750 000 Р.

$$K_{\Sigma} = K_{\text{яч.вн}} + K_{\Gamma}$$

$$K_{\text{яч.вн}} = n_{\text{яч.вн}} \cdot C_{\text{яч.вн}} = 2 \cdot 9\,210\,000 = 18\,420\,000 \text{ Р}$$

$$K_{\Gamma} = n_{\Gamma} \cdot \alpha_{\Gamma} \cdot C_{\Gamma} = 8 \cdot 1,3 \cdot 10\,750\,000 = 111\,800\,000 \text{ Р}$$

$$K_{\Sigma} = K_{\text{яч.вн}} + K_{\Gamma} = 18\,420\,000 + 111\,800\,000 = 130\,220\,000 \text{ Р}$$

б) Издержки

$$И = И_{\text{ам}} + И_{\text{об}} + И_{\text{пот.э}}$$

$$И_{\text{ам}} = 0,058 \cdot K_{\Sigma} = 0,058 \cdot 130\,220\,000 = 7\,552\,760 \text{ Р}$$

$$I_{об} = 0,03 * K_E = 0,03.130\,220\,000 = 3\,906\,600 \text{ Р}$$

$$I_{пот.э} = b_{пот} \cdot W_{пот}$$

$$W_{пот,х} = N^3 \cdot W_{пот,х,сут}^3 + N^A \cdot W_{пот,х,сут}^A + N^n \cdot W_{пот,х,сут}^n$$

$$W_{пот,х,сут}^3 = \Delta P_x \cdot \sum n_{Ti} \cdot \Delta t_i = 100 \cdot (4.6 + 8.6 + 4.6 + 8.4 + 4.2) = 15\,200 \text{ кВт.ч}$$

$$W_{пот,х,сут}^A = \Delta P_x \cdot \sum n_{Ti} \cdot \Delta t_i = 100 \cdot (2.6 + 8.6 + 2.6 + 8.4 + 2.2) = 10\,800 \text{ кВт.ч}$$

$$W_{пот,х,сут}^n = \Delta P_x \cdot \sum n_{Ti} \cdot \Delta t_i = 100 \cdot (8.24) = 19\,200 \text{ кВт.ч}$$

$$\begin{aligned} W_{пот,х} &= N^3 \cdot W_{пот,х,сут}^3 + N^A \cdot W_{пот,х,сут}^A + N^n \cdot W_{пот,х,сут}^n \\ &= 175 \cdot 15\,200 + 125 \cdot 10\,800 + 65 \cdot 19\,200 = 5258 \cdot 10^3 \text{ кВт.ч} \end{aligned}$$

$$W_{пот,к} = N^3 \cdot W_{пот,к,сут}^3 + N^A \cdot W_{пот,к,сут}^A + N^n \cdot W_{пот,к,сут}^n$$

$$W_{пот,к,сут}^3 = 11\,364 \text{ кВт.ч}$$

$$W_{пот,к,сут}^A = 9\,183 \text{ кВт.ч}$$

$$W_{пот,к,сут}^n = 380 \cdot 4.24 = 17\,802 \text{ кВт.ч}$$

$$\begin{aligned} W_{пот,к} &= N^3 \cdot W_{пот,к,сут}^3 + N^A \cdot W_{пот,к,сут}^A + N^n \cdot W_{пот,к,сут}^n = 175 \cdot 11\,364 + 125 \cdot 9\,183 + \\ &65 \cdot 17\,802 = 4\,294 \cdot 10^3 \text{ кВт.ч} \end{aligned}$$

$$W_{пот} = W_{пот,х} + W_{пот,к} = 5\,258 \cdot 10^3 + 4\,294 \cdot 10^3 = 9\,552 \cdot 10^3 \text{ кВт.ч}$$

$$\begin{aligned} T_{об} &= \frac{1}{P_{уст}} \left(\left(\sum P_u^3 \cdot \Delta t_i \right) \cdot N^3 + \left(\sum P_u^A \cdot \Delta t_i \right) \cdot N^3 + \left(\sum P_u^n \cdot \Delta t_i \right) \cdot N^n \right) \\ &= \frac{1}{320} \left((128.6 + 320.6 + 128.6 + 320.4 + 128.2) \cdot 175 \right. \\ &\quad \left. + (64.6 + 320.6 + 64.6 + 320.4 + 64.2) \cdot 125 + 320 \cdot 24 \cdot 65 \right) = 5890 \text{ ч} \end{aligned}$$

Удельная стоимость потер электроэнергии (независимо от $T_{об}$)

$$b_{пот} = 2,2 \text{ Р/кВт.ч}$$

$$I_{пот.э} = b_{пот} \cdot W_{пот} = 2,2 \cdot 9\,552 \cdot 10^3 = 21\,014\,400 \text{ Р}$$

$$I = I_{ам} + I_{об} + I_{пот.э} = 7\,552\,760 + 3\,906\,600 + 21\,014\,400 = 32\,473\,760 \text{ Р}$$

с) Ущерб

Определим среднегодовой недоотпуск электроэнергии в систему (из-за отказа трансформатора блока, или выключателя), равный:

$$\begin{aligned}\Delta W_T &= n_{\text{бл}} \cdot \frac{T_{\text{нб}}}{8760} \cdot \Delta P_{\text{бл}} \cdot (w_T \cdot T_{\text{в.т}}) + n_{\text{бл}} \cdot \frac{T_{\text{нб}}}{8760} \cdot \Delta P_{\text{бл}} \cdot (w_{\text{в}} \cdot T_{\text{в.в}}) \\ &= 1 \cdot \frac{5890}{8760} \cdot 40\,000 \cdot (0,04 \cdot 250) + 4 \cdot \frac{5890}{8760} \cdot 40\,000 \cdot (0,03 \cdot 48) \\ &= 423\,865 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}\end{aligned}$$

Ущерб от ненадёжности схемы составит:

$$Y = y_{0,c} \cdot W_T$$

где

$y_{0,c}$ — удельный ущерб, $y_{0,c} = 7 \text{ Р/кВт} \cdot \text{ч}$

$$Y = y_{0,c} \cdot W_T = 7 \cdot 423\,865 = 2\,967\,054 \text{ Р}$$

Приведённые затраты для варианта 2

$$\begin{aligned}Z_{\text{прив}} &= E_{\text{н}} \cdot K_{\Sigma} + И + М(Y) = 0,12 \cdot 130\,220\,000 + 32\,473\,760 + 2\,967\,054 \\ &= 51\,067\,214 \text{ Р}\end{aligned}$$

Вариант	Приведённые затраты
Четыре укрупнённых блока	42 809 275 Р
Два объединённых блока	51 067 214 Р

Для последующих расчётов выбираем вариант «Четыре укрупнённых блока», так как приведённые затраты для этого варианта ниже.

\