

## Практическое занятие 9

### Экономическая эффективность дублирования элементов

#### Задача 5

Структурная схема надежности проектируемой системы электроснабжения показана на рис 1 (практика 1). В схеме каждая из дублируемых ветвей системы пропускает одинаковую мощность. Данные о надежности и графике работы предприятия взять из задачи 4. Аппроксимирующие формулы для расчета капитальных и эксплуатационных затрат приведены в табл. 12, где  $P$  – номинальная мощность элемента в МВт.

Экономические данные элементов

Таблица 12

Элементы	1	2	3	4	5
Срок службы (год)	10	15	15	8	5
Кап. затраты (млн. руб.)	$2 + 2 \cdot P$	$1 + 1 \cdot P$	$1 + 1,5 \cdot P$	$5 + 0,2 \cdot P$	$3 + 0,1 \cdot P$
Эксплуат. затраты (тыс. руб. в год)	$40 + 100 \cdot P$	$80 + 20 \cdot P$	$80 + 20 \cdot P$	$20 + 10 \cdot P$	$50 + 20 \cdot P$

Данные о предприятии и снабжающей организации приведены в табл. 13.

Данные предприятия и снабжающей организации

Таблица 13

Мощность, МВт	10
Часть средств снабжающей организации на проект	1/3
Тариф на транспорт электроэнергии (руб./кВт ч)	0,1
Удельный ущерб от внезапности (руб./кВт )	80
Ущерб от аварийного простоя производства (руб./кВт*ч)	40
Ущерб от планового простоя производства (руб./кВт*ч)	4
Категория по надежности электроснабжения	2

Требуется оценить экономическую целесообразность дублирования элементов в структурной схеме (сравнить не менее 3 наиболее целесообразных вариантов). Расчеты провести на период 10 лет, считая норму дисконта 0,1, а прогнозируемый уровень инфляции 5 % в год.

#### Пример к задаче 5

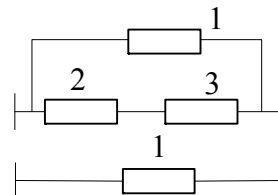
В условиях примера к задаче 4 оценить целесообразность дублирования функций элементов в структурной схеме на рис. 12 (сравнить 2 варианта).

#### Решение

##### 1. Данные о надежности сравниваемых вариантов

Согласно структурной схеме надежности элемент 1 и элементы 2,3 взаимно резервируют функции друг друга. Для предприятий 2-ой категории по надежности электроснабжения наличие дублирования обосновывается при технико-экономическом сравнении вариантов. Поэтому можно рассматривать схемы:

вариант 1 – с взаимным резервированием;



вариант 2 – только с ветвью 1.

Из решения задачи 4 выберем необходимые данные о надежности сравниваемых вариантов.

#### Вариант 1

Частота отказов системы  $\omega = 4,2 \cdot 10^{-3} \pm 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$ .

Коэффициент вынужденного простоя  $K_{\text{в}} = 5 \cdot 10^{-6} \pm 5 \cdot 10^{-6}$ .

Коэффициент плановых ремонтов не учитывается.

#### Вариант 2

Частота отказов системы  $\omega_1 = 0,5 \pm 0,5 \text{ год}^{-1}$ .

Коэффициент вынужденного простоя  $K_{\text{в1}} = 5,7 \cdot 10^{-4} \pm 5,7 \cdot 10^{-4}$ .

Коэффициент плановых ремонтов  $K_{\text{пл}} = 1,7 \cdot 10^{-3}$ .

## 2. Экономические показатели сравниваемых вариантов

#### Вариант 1

##### 2.1. Капитальные затраты

По каждой ветви потребителю поставляется по 5 МВт. Чтобы предприятие получало энергию в полном объеме при аварийном или плановом отключении одной из ветвей, необходимо, чтобы номинальная мощность элементов СЭС была более 7,2 МВт. Тогда в аварийном режиме нагрузка элементов не превысит 140 % от номинальной мощности  $P_n = 10 \cdot 7,2 \cdot 1,4 = 10 \text{ МВт}$ . Таким образом, начальные капитальные вложения

$$K_{(0)} = K_{1(0)} + K_{2(0)} + K_{3(0)} = 2 + 2P_n + 1 + 1P_n + 1 + 1,5P_n = \\ = 2 + 2 \cdot 7,2 + 1 + 1 \cdot 7,2 + 1 + 1,5 \cdot 7,2 = 16,4 + 8,2 + 11,8 = 36,4 \text{ млн.руб.}$$

Здесь и далее индекс в скобках указывает на год реализации проекта, индекс без скобок – на номер элемента.

Поскольку нормативные сроки службы элементов  $T_1 = 10$  лет и  $T_2 = T_3 = 15$  лет, то замены элементов в ходе проекта не требуется. К моменту окончания проекта ( $T_{\text{пр}} = 10$  лет) элементы 2 и 3 выработали  $T_{\text{пр}} / T_{2,3} = 10 / 15 = 2 / 3$  ресурса, а элемент 1 выработал весь ресурс. Остаточная стоимость элементов 2 и 3 к моменту окончания проекта с учетом 5% инфляции

$$K_{2(10)} = \frac{1}{3} K_{2(0)} \cdot 1,05^9 = 4,2 \text{ млн. руб. и } K_{3(10)} = \frac{1}{3} K_{3(0)} \cdot 1,05^9 = 6,1 \text{ млн. руб.}$$

После пересчета на момент начала проекта с учетом нормы дисконта в 10 % стоимость элементов

$$K_{2(10)}^{\text{прив}} = \frac{K_{2(10)}}{1,1^9} = 1,8 \text{ млн. руб. и } K_{3(10)}^{\text{прив}} = \frac{K_{3(10)}}{1,1^9} = 2,6 \text{ млн. руб.}$$

Вносим все затраты в таблицу денежных потоков (табл. 14).

## 2.2. Эксплуатационные расходы

Годовые эксплуатационные затраты для выбранной номинальной мощности элементов в 7,2 МВт

$$Z_{(0)} = Z_{1(0)} + Z_{2(0)} + Z_{3(0)} = 0,04 + 0,1P_n + 0,08 + 0,02P_n + 0,08 + 0,02P_n =$$

$$0,04 + 0,1 \cdot 7,2 + 0,08 + 0,02 \cdot 7,2 + 0,08 + 0,02 \cdot 7,2 = 0,76 + 0,22 + 0,22 = 1,2 \text{ млн. руб.}$$

Приведенные эксплуатационные расходы в течении к-го года реализации проекта с учетом 5% инфляции и 10% нормы дисконта составляют  $Z_{(0)} \cdot \frac{1,05^{k-1}}{1,1^{k-1}}$ .

Приведенные расходы за 10 лет

$$Z^{прив} = \sum_{k=1}^{10} Z_{(0)} \cdot \frac{1,05^{k-1}}{1,1^{k-1}} = 9,8 \text{ млн. руб.}$$

Вносим все затраты в таблицу денежных потоков (табл. 14).

## 2.3. Затраты на возмещение ущерба

Среднегодовой ущерб предприятию состоит из ущерба от внезапности отключения и ущерба от ограничения электроснабжения при аварийных и плановых отключениях

$$Y = y_0 \omega \cdot P + (y_{w1} K_{\text{с}} + y_{w2} K_n) \cdot PT = 80 \text{ руб./кВт} \cdot 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot 10^4 \text{ кВт} +$$

$$+ (40 \text{ руб./кВт ч} \cdot 5 \cdot 10^{-6} + 0) \cdot 10^4 \text{ кВт} \cdot 8760 \text{ ч} = 3,4 + 17,5 = 21 \text{ т.руб.}$$

За счет высокой надежности в страховании ущерба нет необходимости, а по сравнению с остальными расходами затраты на возмещение ущерба можно не учитывать.

Поскольку коэффициент загрузки оборудования в послеаварийном режиме меньше 1,4, то ущерб от ограничений по мощности оценивать не нужно. Если номинальная мощность элементов принята меньше 7,2 МВт, то необходимо оценивать ущерб от ограничений по мощности, возникающие при аварийных и плановых ремонтах.

## 2.4. Доходы

Доходы от проекта заключаются в доходах от транспорта электроэнергии и в 1-й год составляют  $D_{(0)} = 0,1 \cdot P \cdot T = 0,1 \text{ руб./кВт} \cdot \text{ч} \cdot 10^4 \text{ кВт} \cdot 8760 \text{ ч} = 8,7 \text{ млн. руб.}$

Приведенные эксплуатационные расходы в течении к-го года реализации проекта с учетом 5% инфляции и 10% нормы дисконта составляют  $D_{(0)} \cdot \frac{1,05^{k-1}}{1,1^{k-1}}$ .

Приведенные расходы за 10 лет

$$D^{прив} = \sum_{k=1}^{10} D_{(0)} \cdot \frac{1,05^{k-1}}{1,1^{k-1}} = 71,2 \text{ млн. руб.}$$

Вносим все доходы в таблицу денежных потоков (табл. 14).

## 2.5. Приведенные денежные потоки

Приведенные денежные потоки по варианту 1 сведены в табл. 14. Чистый дисконтированный доход от реализации проекта  $71,2 - 32 - 9,8 = 29,4 \text{ млн. руб.}$

ЧДД положителен, следовательно, реализация проекта экономически целесообразна.

Приведенные денежные потоки для варианта (млн. руб.)

Таблица 14

год	Капитальные затраты	Эксплуатационные затраты	Затраты на ущерб	Доходы
1	36,4	1,2	–	8,7
2	–	1,15	–	8,3
3	–	1,09	–	7,9
4	–	1,04	–	7,6
5	–	0,99	–	7,2
6	–	0,95	–	6,9
7	–	0,91	–	6,6
8	–	0,87	–	6,3
9	–	0,83	–	6,0
10	–4,4	0,79	–	5,7
ИТОГО	32	9,8	–	71,2

## Вариант 2

### 2.1. Капитальные затраты

По ветви (элементу 1) потребителю поставляется 10 МВт. В этом случае номинальные мощности элемента также равна 10 МВт. Таким образом, начальные капитальные вложения

$$K_{(0)} = K_{1(0)} = 2 + 2 \cdot 10 = 22 \text{ млн. руб.}$$

Поскольку нормативные срок службы  $T_1 = 10$  лет, то замены элементов в ходе проекта не требуется. К моменту окончания проекта ( $T_{np} = 10$  лет) элемент 1 выработал весь ресурс. Вносим затраты в таблицу денежных потоков (табл. 15).

### 2.2. Эксплуатационные расходы

Годовые эксплуатационные затраты

$$Z_{(0)} = Z_{1(0)} = 0,04 + 0,1P = 0,04 + 0,1 \cdot 10 = 1,04 \text{ млн. руб.}$$

Приведенные эксплуатационные расходы в течении  $k$ -го года реализации проекта с учетом 5% инфляции и 10% нормы дисконта составляют  $Z_{(0)} \cdot \frac{1,05^{k-1}}{1,1^{k-1}}$ .

Приведенные расходы за 10 лет

$$Z_{npив} = \sum_{k=1}^{10} Z_{(0)} \cdot \frac{1,05^{k-1}}{1,1^{k-1}} = 8,5 \text{ млн. руб.}$$

### 2.3. Затраты на возмещение ущерба

Среднегодовой ущерб предприятию состоит из ущерба от внезапности отключения и ущерба от ограничения электроснабжения при аварийных и плановых отключениях

$Y_{(0)} = y_0 \omega \cdot P + (y_{w1} K_e + y_{w2} K_n) \cdot PT = 80 \text{руб./кВт} \cdot 0,5 \cdot 10^4 \text{кВт} +$   
 $+ (40 \text{руб./кВт} \cdot 5,7 \cdot 10^{-4} + 4 \text{руб./кВт} \cdot 1,7 \cdot 10^{-3}) \cdot 10^4 \text{кВт} \cdot 8760 \text{ч} = 0,4 + 2 + 0,6 = 3 \text{млн.руб.}$   
 Ущерб от плановых отключений составляет 0,6 млн. руб., от аварийных отключений – 2,4 млн. руб.

Приведенные расходы на возмещение ущерба в течении к-го года реализации проекта с учетом 5% инфляции и 10% нормы дисконта составляют

$$Y_{(0)} \cdot \frac{1,05^{k-1}}{1,1^{k-1}} \cdot \text{Приведенные расходы за 10 лет}$$

$$Y^{прив} = \sum_{k=1}^{10} Y_{(0)} \cdot \frac{1,05^{k-1}}{1,1^{k-1}} = 19,6 \text{ млн. руб.}$$

от аварийных отключений и

$$Y^{прив} = \sum_{k=1}^{10} Y_{(0)} \cdot \frac{1,05^{k-1}}{1,1^{k-1}} = 4,9 \text{ млн. руб.}$$

от плановых отключений.

Дисперсия ущерба определяется ущербом от внезапности и ущербом от аварийных отключений

$$\varepsilon_Y = \sqrt{(b_\omega \varepsilon_\omega)^2 + (b_K \varepsilon_K)^2} = \sqrt{(y_0 \omega P)^2 + (y_w K_e PT)^2} = \sqrt{0,4^2 + 2^2} = 2,04 \text{ млн. руб.}$$

Цена риска при экспоненциальном законе распределения ущерба и уровне значимости 0,95 принимается равной  $\alpha = 4$ . С учетом того, что ресурсы предприятия в три раза больше средств на реализацию проекта цена риска составляет

$$C_p = \alpha \sqrt{\frac{1}{3}} = 2,3$$

Затраты на обеспечение риска (например страховку)

$$Z_{(0)} = \varepsilon_Y C_p = 2,3 \cdot 2 = 4,6 \text{ млн.руб.}$$

Приведенные затраты на обеспечение риска в течении к-го года реализации проекта с учетом 5% инфляции и 10% нормы дисконта составляют  $Z_{(0)} \cdot \frac{1,05^{k-1}}{1,1^{k-1}}$ .

Приведенные расходы за 10 лет

$$Z^{прив} = \sum_{k=1}^{10} Z_{(0)} \cdot \frac{1,05^{k-1}}{1,1^{k-1}} = 37,6 \text{ млн. руб.}$$

## 2.4. Доходы

Доходы от проекта заключаются в доходах от транспорта электроэнергии и не зависят от варианта реализации системы электроснабжения потребителя.

## 2.5. Приведенные денежные потоки

Приведенные денежные потоки по варианту 2 сведены в табл. 15. Чистый дисконтированный доход от реализации проекта с учетом средних затрат на компенсацию ущерба  $71,2 - 22 - 8,5 - 19,6 - 4,9 = 16,2$  млн. руб. При этом весь риск того, что реальные затраты на возмещение ущерба будут больше средних берет на себя предприятие. Если часть этого риска (95%) переложить на страховую

компанию, то чистый дисконтированный доход от реализации проекта составит 71,2–22–8,5–37,5=3,2 млн. руб.

Приведенные денежные потоки (млн. руб.)

Таблица 14

год	Капитальн ые затраты	Эксплуата цион. затраты	Ущерб от аварий	Ущерб от план. рем.	Затраты на риск	Доходы
1	22	1,04	2,4	0,6	4,6	8,7
2	–	0,99	2,29	0,57	4,39	8,3
3	–	0,95	2,19	0,55	4,19	7,9
4	–	0,91	2,09	0,52	4,0	7,6
5	–	0,86	1,99	0,5	3,82	7,2
6	–	0,82	2,38	0,48	3,65	6,9
7	–	0,79	1,9	0,45	3,48	6,6
8	–	0,75	1,73	0,43	3,32	6,3
9	–	0,72	1,65	0,41	3,17	6,0
10	–	0,68	1,58	0,4	3,03	5,7
ИТОГО	22	8,5	19,6	4,9	37,5	71,2

### 3. Сравнение вариантов

Вариант 1 как наиболее технически сложная система требует наибольших капитальных и эксплуатационных затрат. Однако надежность такой системы высока и затратами на компенсацию ущерба и связанные с этим экономические риски можно пренебречь.

Вариант 2 более прост. В связи с этим уменьшаются капитальные и эксплуатационные затраты. Надежность системы при этом также уменьшается. Поэтому существенную долю затрат составляет компенсация экономического ущерба и связанные с этим экономические риски. Риск того, что реальный ущерб от аварии будет больше среднегодового может взять на себя энергоснабжающая организация (вариант 2.1) или застраховать этот риск (вариант 2.2).

Во всех вариантах чистый дисконтированный доход положителен. Все варианты имеют одинаковую доходность, поэтому необходимо выбрать вариант с наименьшим ЧДД. Для сравнения вариантов 1 и 2.1 необходимо вычислить относительную ошибку

$$\frac{29,4 - 16,2}{29,4} = 0,45.$$

Относительная ошибка более 5 процентов, следовательно, более предпочтителен вариант 1.

Варианты	доходы	Кап. затраты	Экспл. затраты	Ущерб	Затраты на риск	ЧДД
1	71,2	32	9,8	--	--	29,4
2.1	71,2	22	8,5	19,6+4,9	--	16,2
2.2	71,2	22	8,5	4,9	37,5	3,2