

УДК 621.321

**ВЫБОР СХЕМЫ С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ С ПОМОЩЬЮ  
ТАБЛИЧНО-ЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА  
SELECTION CONTROL SYSTEM SCHEME TAKING INTO  
ACCOUNT RELIABILITY USING THE TABULAR-LOGICAL METHOD**

М.В. Дехтерёнок, П.Г. Барановский

Научный руководитель – А.Л. Старжинский, к.т.н, доцент  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
alexeystminsk@gmail.com

M. Dekhterenok, P. Baranovsky

Supervisor – A. Starzhinsky, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** *Распределительные устройства (РУ) являются весьма ответственным звеном электрических сетей и в значительной мере определяют надёжность электроснабжения потребителей. В данной работе рассматривается выбор схемы РУ ВН и вычисление ее надёжности с помощью таблично-логического метода.*

**Abstract:** *Switchgears (switchgears) are a very important part of electrical networks and largely determine the reliability of power supply to consumers. In this paper, we consider the choice of the LV control system scheme and the calculation of its reliability using tabular-logical method.*

**Ключевые слова:** *выбор распределительного устройства, расчет надёжности, таблично-логический метод, надёжность электроснабжения.*

**Keywords:** *switchgear selection, reliability calculation, tabular logic method, power supply reliability.*

### **Введение**

Выбор схемы РУ ВН неоднозначен, поскольку с одной стороны установка выключателей на стороне высшего напряжения в связи с дороговизной кажется экономически необоснованной, но с другой стороны применение их в электроснабжении промышленных предприятий приводит к снижению экономических потерь во много раз при авариях и перерывах электроснабжения. Так как в схеме с выключателем время восстановления напряжения значительно ниже, то происходят меньшие нарушения технологического процесса, а также предотвращается развитие аварий технологических установок. Особенно это важно в нефтеперерабатывающей и химической промышленности, т. к. перерывы в электроснабжении могут привести к значительному экономическому ущербу в технологии [1].

### **Основная часть**

При выборе схем распределительных устройств должна учитываться надёжность электроснабжения потребителей различных категорий [3]. Для этого используется таблично-логический метод, его применяют при сравнении вариантов схем распределительных устройств различного напряжения по комплексному показателю надёжности – среднегодовому недоотпуску

электроэнергии в систему электростанций из-за отказов элементов распределительных устройств [2].

Рассмотрим выбор распределительных устройств на стороне высшего напряжения на примере КЭС 1280 МВт с напряжением на высшей стороне 500 кВ и генераторным напряжением 20 кВ. На рисунке 1 представлена структурная схема станции с распределением потоков активной мощности.

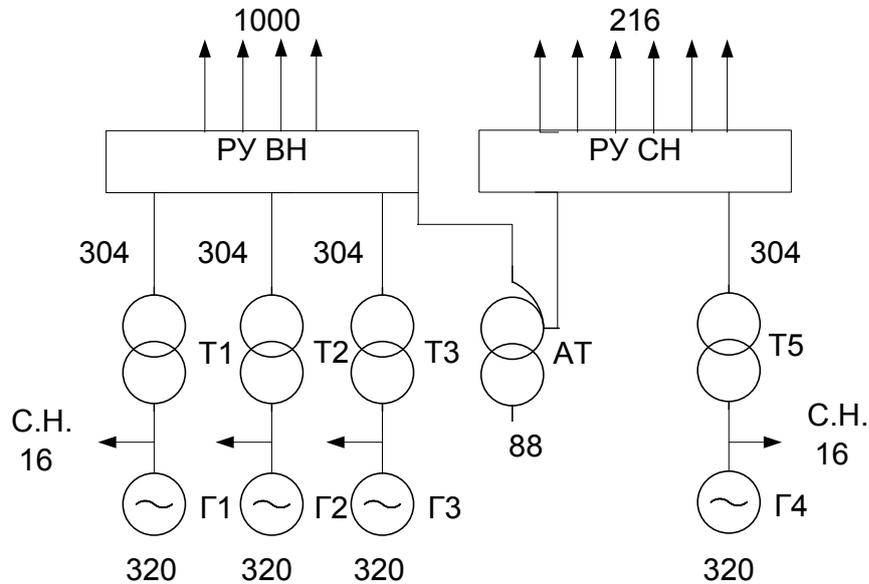


Рисунок 1 – Структурная схема КЭС

Выбор РУ ВН будем производить из трех представленных ниже вариантов.

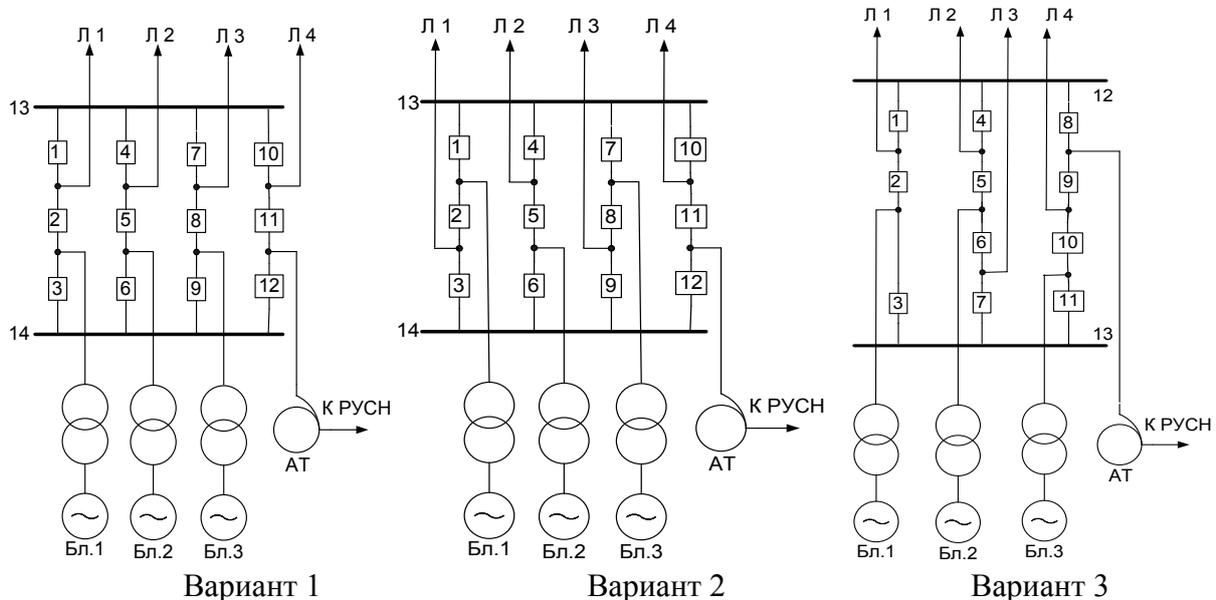


Рисунок 2 – Варианты схем РУ ВН

Все высоковольтные выключатели на подстанции одного типа – ВГУ-500. Представим характеристики оборудования схем в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики оборудования

Объект	$\omega$ , 1/год	$T_B$ , ч	$\mu_{nl}$ , 1/год	$T_{пл}$ , ч
Выключатели	0,01	38,5	0,05	300
Шины (на 1 присоединение)	0,013	5	0,166	5

Произведем расчет показателей надежности схемы 3/2 (вариант 1).

Блоки мощностью по 320 МВт (без учета собственных нужд), от РУ СН системе передается мощность 88 МВт.

1)  $t_p=1$  год=8760 ч.

2) Каждому элементу зададим свой номер,  $i=1 \dots 14$ .

3) Зададим расчетные режимы:  $j=0$  – нормальный режим,  $j=1 \dots 14$  – режим планового ремонта.

Определим  $\tau_j$  – относительную продолжительность существования режима с номером  $j$  (вероятность застать объект в состоянии режима с номером  $j$ ).

$$\tau_j = \frac{t_j}{t_p}, \quad (1)$$

где  $t_j$  - продолжительность режима  $j$  в часах.

$$t_j = \mu_{nl.k} T_{nl.k}, \quad (2)$$

где  $\mu_{nl.k}$  - частота плановых ремонтов,

$T_{nl.k}$  - средняя продолжительность планового ремонта.

$$\tau_{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12} = \frac{\mu_{nl1} \cdot T_{nl1}}{t_p} = \frac{0,05 \cdot 300}{8760} = 1,71 \cdot 10^{-3},$$

$$\tau_{13,14} = \frac{\mu_{nl11} \cdot T_{nl11}}{t_p} = \frac{5 \cdot 4 \cdot 0,166}{8760} = 3,79 \cdot 10^{-4},$$

$$\tau_0 = 1 - \sum_{j=1}^{11} \tau_j = 1 - (1,71 \cdot 10^{-3} \cdot 12 + 3,79 \cdot 10^{-4} \cdot 2) = 0,98. \quad (3)$$

4) Расчетные виды аварии. Будем принимать во внимание только те виды аварии, которые в конечном результате приводят к недоотпуску электроэнергии.

В рассматриваемом случае от РУ ВН отходят линии 4\*АС-400/51 (допустимый ток 825 А). При отключении одной или двух линий, передача мощности не прерывается. При отключении трех линий, максимальная мощность, которую мы можем передать по одной линии равна:

$$P = 0,825 \cdot \sqrt{3} \cdot 500 \cdot 0,8 = 571 \text{ МВт}. \quad (4)$$

Расчетные виды аварии ( $\cos \varphi_T = \cos \varphi_H = \cos \varphi_{СН}$ ):

I. Отключен один блок.  $\Delta P = 320 - 0,05 \cdot 320 = 304 \text{ МВт}$ .

II. Отключены два блока.  $\Delta P = 608 \text{ МВт}$ .

III. Отключен АТ связи.  $\Delta P = 88 \text{ МВт}$ .

IV. Отключен блок и АТ связи.  $\Delta P = 304 + 88 = 392 \text{ МВт}$ .

5) Определим времена существования каждого из недоотпусков. Время оперативных переключений примем равным 0,5 часа.  $T_c = 3$  ч.

$$T_{B3,2} = T_{B3} - \frac{T_{B3}^2}{2T_{P2}} = 38,5 - \frac{38,5^2}{2 \cdot 300} = 36 \text{ ч},$$

$$T_{B2,3} = T_{B2} - \frac{T_{B2}^2}{2T_{P3}} = 38,5 - \frac{38,5^2}{2 \cdot 300} = 36 \text{ ч},$$

$$T_{B14,2} = \frac{T_{B14}}{2} = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ ч},$$

$$T_{B6,5} = T_{B6} - \frac{T_{B6}^2}{2T_{P5}} = 38,5 - \frac{38,5^2}{2 \cdot 300} = 36 \text{ ч},$$

$$T_{B5,6} = T_{B5} - \frac{T_{B5}^2}{2T_{P6}} = 38,5 - \frac{38,5^2}{2 \cdot 300} = 36 \text{ ч},$$

$$T_{B14,5} = \frac{T_{B14}}{2} = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ ч},$$

$$T_{B9,8} = T_{B9} - \frac{T_{B9}^2}{2T_{P8}} = 38,5 - \frac{38,5^2}{2 \cdot 300} = 36 \text{ ч},$$

$$T_{B8,9} = T_{B8} - \frac{T_{B8}^2}{2T_{P9}} = 38,5 - \frac{38,5^2}{2 \cdot 300} = 36 \text{ ч},$$

$$T_{B11,12} = T_{B12,11} = 36 \text{ ч},$$

$$T_{B14,8} = T_{B14,11} = 2,5 \text{ ч},$$

$$T_{B2,14} = T_{B5,14} = T_{B8,14} = T_{B11,14} = \frac{38,5}{2} = 19,25 \text{ ч},$$

6) Для каждого из расчетных видов аварий определим коэффициент вынужденного простоя (вероятность заставить объект в состоянии данной аварии).

$$k_{el} = \frac{1}{t_p} \left( \tau_0 \sum_{i=1}^{12} \omega_i T_{li0} x_{li0} + \tau_1 \sum_{i=1}^{12} \omega_i T_{li1} x_{li1} + \dots + \tau_{12} \sum_{i=1}^{12} \omega_i T_{li12} x_{li12} \right), \quad (5)$$

$$k_{elI} = 2,628 \cdot 10^{-5}, k_{elII} = 4,099 \cdot 10^{-8}, k_{elIII} = 1,594 \cdot 10^{-6}, k_{elIV} = 5,856 \cdot 10^{-9}.$$

7) Математическое ожидание недоотпущенной электроэнергии из-за отказа элемента.

$$M[\Delta W] = \sum_{l=I}^{l=IV} (k_{el} \cdot \Delta W_{ysl}), \quad (6)$$

где  $\Delta W_{ysl}$  - условная недоотпущенная электроэнергия в состоянии аварии вида  $l$  ( $\Delta W_{ysl} = \Delta P_l \cdot t_p$ ).

$$\Delta W_{yslI} = 304 \cdot 8760 = 2663040 \text{ МВт} \cdot \text{ч}, \Delta W_{yslII} = 608 \cdot 8760 = 5326080 \text{ МВт} \cdot \text{ч},$$

$$\Delta W_{yslIII} = 88 \cdot 8760 = 770880 \text{ МВт} \cdot \text{ч}, \Delta W_{yslIV} = 392 \cdot 8760 = 3433920 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

$$M[\Delta W] = \sum_{l=I}^{l=IV} (k_{el} \cdot \Delta W_{ysl}) = 71,443 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

8) Определяется математическое ожидание ущерба из-за ненадежности.

$$M[Y] = Y_0 \cdot M[\Delta W], \quad (7)$$

где  $Y_0$  - удельный ущерб (70 у.е./кВт·ч).

$$M[Y] = 70 \cdot 70,883 \cdot 10^3 = 5001000 \text{ у.е.}$$

9) Определение затрат.

$$E_H = 0,15, K_{яч} = 23400 \text{ тыс.у.е.}, K = 12 \cdot K_{яч} = 280800 \text{ тыс.у.е.}$$

$$I = I' + I'' = 4,9\% \cdot K + 15\% \cdot K \quad (8)$$

$$З = E_H \cdot K + I + M[Y] \quad (9)$$

$$З = 0,15 \cdot 280800 + (0,049 \cdot 280800 + 0,15 \cdot 280800) + 5001 = 103000 \text{ тыс.у.е.}$$

$$З = 103 \cdot 10^6 \text{ у.е.}$$

Аналогично рассчитаем показатели надежности вариантов 2 и 3. Результаты расчета сведем в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов

Вариант	$M[\Delta W]$ , МВт·ч.	$M[Y]$ , у.е.	З, у.е.
1	71,443	5001000	$103 \cdot 10^6$
2	71,323	4993000	$103 \cdot 10^6$
3	69,613	4873000	$94,71 \cdot 10^6$

Отдаем предпочтение самому экономичному варианту, схеме 4/3– вариант №3.

### Заключение

Таблично-логический метод является достаточно простым и удобным для расчета надежности различных схем. По результатам расчета можно сказать, что в нашем случае оптимальной схемой РУ ВН будет схема 4/3, так как она обеспечивает необходимую надежность и является наиболее экономичной из рассматриваемых вариантов.

### Литература

1. Розанов, М. Н. Надежность электроэнергетических систем – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 200с
2. Основы надежности систем электроснабжения / В.А. Анищенко и И.В. Колосова; кол. авт. Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Электроснабжение". - Минск: БНТУ, 2007. - 150 с.: ил.
3. Электротехнический справочник: В 4 т. Т.3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИВ.Г. Герасимова и др. (гл. редактор А.И. Попов). – 9-е изд. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 964 с.