

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 1 (2022)

Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/WRIX7218>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*
Шокубаева З. Ж. *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/OQFL4909>

М. Я. Клецель¹, *А. С. Барукин², А. Ж. Динмуханбетова³, Д. Ә. Әмірбек⁴

^{1,2,3}Торайгыров университет,

Республика Казахстан, г. Павлодар;

⁴Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск

ВЛИЯНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОЛЬЦЕВЫХ СХЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ НА НЕДООТПУСК ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Констатируется, что целесообразность замены воздушных выключателей более совершенными для уменьшения недоотпуска электроэнергии (НЭ) из-за ненадежности главных схем электростанций, до сих пор, математически не доказывалась. Рассматриваются двадцать кольцевых схем напряжением 330–750 кВ с блоками генератор-трансформатор мощностью 300–1200 МВт с воздушными и элегазовыми выключателями отдельно. Приводятся основные используемые формулы и таблицы расчетных логических связей метода, а также таблицы с результатами расчетов. Излагаются фрагменты расчета НЭ в традиционной схеме шестиугольника напряжением 500 кВ с блоками мощностью 500 МВт. Представляются результаты расчетов недоотпуска таблично-логическим методом Ю.Б. Гука для кольцевых схем. Перед расчетами анализируются режимы, приводящие к НЭ из-за ненадежности схемы, а после – долевое участие в этом недоотпуске каждого элемента схемы и его уменьшение в результате замены воздушного выключателя на элегазовый. Так, участие блоков оценивается в 67,5–94 %, а указанное уменьшение НЭ составляет не более, чем 8 %. Делается вывод о нецелесообразности замены воздушных выключателей на элегазовые в схемах 750 кВ при отсутствии генераторных выключателей и малой эффективности при наличии.

Ключевые слова: схема, открытое распределительное устройство, таблично-логический метод, расчет, недоотпуск электроэнергии, выключатель.

Введение

Основным способом уменьшения недоотпуска электроэнергии (НЭ) из-за ненадежности главных схем электростанций считается замена воздушных выключателей на более надежные. Имеются предложения [1–3] повышать надежность открытых распределительных устройств (ОРУ) путем их расширения. Однако, целесообразность использования этих способов для всех главных схем, насколько нам известно, математически не доказывалась. Не оценивалась и та доля энергии, которую теряет электростанция из-за ненадежности каждого элемента схемы. В данной работе сделана попытка восполнить этот пробел в отношении двадцати кольцевых схем ОРУ напряжением 330–750 кВ при наличии на электростанции блоков генератор-трансформатор мощностью 300–1200 МВт. Расчеты осуществляются таблично-логическим методом Ю. Б. Гука [4, 5].

Таблично-логический метод и расчеты недоотпуска электроэнергии из-за ненадежности схемы шестиугольника.

В методе используются специальные таблицы (рассмотренные далее) и следующие формулы:

$$W_{НЭ} = 8760 \sum_k \Lambda(k_{о.п.}) \Delta P(k_{о.п.}) \tau(k_{о.п.}) + 8760 \sum_k \Lambda(k_{в.р.}) \Delta P(k_{в.р.}) \tau(k_{в.р.}) + 8760 \sum_k \Lambda(k_{о.п.} / k_{в.р.}) \{ \Delta P(k_{о.п.}) \tau(k_{о.п.}) + \Delta P(k_{в.р.}) [\tau(k_{в.р.}) - \tau(k_{о.п.})] \}, \quad (1)$$

$$\Lambda(k) = \sum_{j=0}^m \sum_{i=1}^n q_j \lambda_{ji} L(j, i, k), \quad (2)$$

$$\tau(k_{в.р.}) = \left[\sum_{j=0}^m \sum_{i=1}^n q_j \lambda_{ji} \tau(j, i, k_{в.р.}) \right] / \Lambda(k_{в.р.}), \quad (3)$$

где $W_{НЭ}$ – суммарный аварийный годовой недоотпуск электроэнергии, кВт·ч/год; $\lambda(k)$ – частота k -ой аварии, 1/год; $\tau(k_{в.р.})$ – среднее время восстановительного ремонта схемы с кодом $k_{в.р.}$, год; $\tau(k_{о.п.}) = 5,7 \cdot 10^{-5}$ год [6]; $k_{о.п.}$ и $k_{в.р.}$ – кратковременные и длительные аварии (индексы «о.п.» и «в.р.» означают оперативные переключения и восстановительный ремонт); $k_{о.п.} / k_{в.р.}$ – переход после переключений от кратковременного нарушения

работоспособности схемы к длительному; $\Delta P(k_{o.п.})$ и $\Delta P(k_{в.р.})$ – аварийные снижения мощности при отключениях в схеме.

Приведем расчет $W_{нэ}$ для электростанции с традиционной схемой ОРУ шестиугольника (рисунок 1) с тремя блоками 1, 2, 3 генератор-трансформатор мощностью 500 МВт и тремя линиями 4, 5, 6 длиной 400 км напряжением 500 кВ с воздушными и элегазовыми выключателями (ВВ и ЭВ).

Если электростанция выдает запланированную мощность при отсутствии ремонтов в ОРУ (режим j0, см. таблицу 2), то:

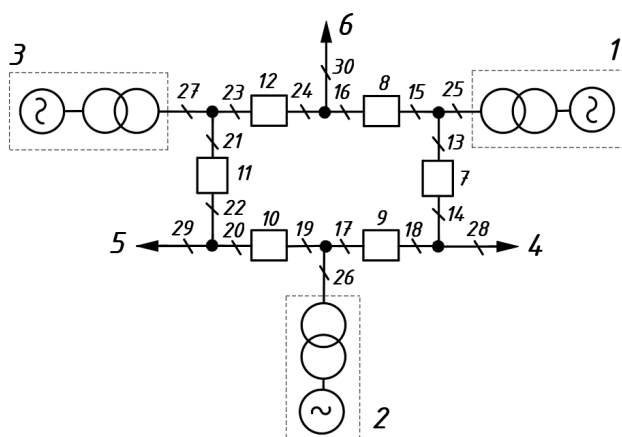


Рисунок 1 – Традиционная схема ОРУ шестиугольника

1) При коротком замыкании (КЗ) в блоке 1 от действия его релейной защиты (РЗ) отключаются выключатели 7 и 8, после чего оперативный персонал отключает разьединитель 25. Происходит потеря мощности блока $\Delta P_{БЛ}$ на время t_1 его аварийного ремонта и пуска из холодного состояния. При КЗ в блоках 2 и 3 все аналогично.

2) При КЗ на линии 4 электропередач (ЛЭП) от действия ее РЗ отключаются выключатели 7 и 9. Если КЗ неустойчивое и срабатывает устройство автоматического повторного включения (УАПВ), то через время t_2 срабатывания УАПВ выключатели 7 и 9 включаются обратно, и восстанавливается нормальный режим работы. Если КЗ на линии 4 устойчивое, то после отключения этих выключателей оперативный персонал отключает разьединитель 28, и линия выводится в ремонт. При этом в

первом и во втором случае происходит, соответственно, кратковременная и длительная потеря линии 4. При КЗ на линиях 5 и 6 все аналогично.

3) При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя 7 от действия РЗ блока 1 и линии 4 отключаются выключатели 8 и 9. После отсоединения выключателя 7 от схемы разъединителями 13 и 14 (для ремонта), выключатели 8 и 9 включаются персоналом. ЛЭП 4 подключается к схеме, и осуществляется пуск блока 1 через время t_3 из состояния горячего резерва. При отказах типа «КЗ в обе стороны» выключателей 8–12 все действия РЗ и персонала аналогичны.

4) При отказе выключателя 7 в отключении КЗ на линии 4 от действия ее РЗ и устройства резервирования отказа выключателей отключаются выключатели 9 и 8, соответственно. При этом, если КЗ на линии 4 неустойчивое, то через время t_2 выключатель 9 включается обратно от УАПВ, а выключатель 8 – персоналом (выключатель 7 из-за отказа оставался включенным). Восстанавливается нормальный режим работы. При устойчивом КЗ на линии 4 она отключается РЗ и выводится в аварийный ремонт разъединителем 28. Разъединителями 13 и 14 от схемы отсоединяются выключатель 7 (для ремонта) и 9 (для профилактического осмотра), а выключатель 8 включается персоналом, и блок 1 запускается. При КЗ на линиях 4, 5, 6 или при КЗ в блоках 1, 2, 3, совпадающих с отказами в отключении выключателей 7-12, действия РЗ и персонала рассматриваются аналогично.

При нахождении в ремонте одного из элементов схемы все операции подобны рассмотренным.

Исходные данные для расчетов взяты из [7, 8] и приведены в таблице 1. При наличии генераторного выключателя частота отказа блока принимается $0,1\lambda_{\text{БЛ}}$, при отсутствии – $\lambda_{\text{БЛ}}$ [6]. Коэффициент неуспешных АПВ $k_{\text{АПВ}}=0,25$ [9]. Вероятность отказа ЭВ (ВВ) в отключении короткого замыкания $Q_{\text{КЗ}}^{\text{ЭВ}} = 0,048$ ($Q_{\text{КЗ}}^{\text{ВВ}} = 0,067$).

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

Элементы схемы ОРУ напряжением 500 кВ	Номер на схеме	Частота отказа λ , 1/год	Длительность восстановления τ , 10^{-3} год	Вероятность планового ремонта $q_{\text{пл}}$, 10^{-3} о.е.
Энергоблок 500 МВт	1; 2	0,8	11,4	91
ЛЭП	3; 4	6,4	2	16
ЭВ	5-12	0,14	5,5	8
ВВ		0,2	10,3	30,8

Далее в таблицах обычно представляются все расчетные режимы. В режимах используются коды и обозначения.

Режимы: j_0 – нормальный; j_1 (j_2, j_3) – аварийный ремонт блока генератор-трансформатор 1 (2, 3); j_4 (j_5, j_6) – плановый ремонт этого блока, совмещаемый с плановым ремонтом выключателей 7 и 8 (9 и 10, 11 и 12); j_7 (j_8, j_9) и j_{10} (j_{11}, j_{12}) – аварийный и плановый ремонт линии 4 (5, 6); j_{13} , ($j_{14}-j_{18}$) – аварийный ремонт выключателя 7 (8-12). Их относительные длительности: для аварийных ремонтов $q_j = \lambda_i \tau_i$, для плановых $q_j = q_{пл,i}$, для нормального режима $q_0 = 1 - \sum_{j=1}^m q_j$.

Коды: 1Г – потеря одного генератора; 1Г1Л – тоже и одной линии; 3Г1Л – уменьшение выработки мощности двумя генераторами и потеря одного и одной линии; «-1Г» означает отсутствие кратковременной потери мощности (прочерк в числителе) и длительный характер аварии, ведущей к потере одного генератора (запись 1Г в знаменателе). Расчетные аварии: «КЗБЛ» – короткое замыкание (КЗ) на блоке, «ОВКЗБЛ» – отказ выключателя в отключении КЗ на блоке.

В таблице 2 для иллюстрации представлены расчетно-логические связи и коды в рассматриваемой схеме шестиугольника с ЭВ при $0,1\lambda_{БЛ}$ для отказов вида «КЗБЛ» и «ОВКЗБЛ», а в таблице 3 – промежуточные результаты расчетов величин $W_{НЭ}, \Lambda(k), \tau(k_{в.р.})$, определяемых по (1)-(3) для кодов аварий при этих отказах.

Таблица 2 – Расчетно-логические связи схемы ОРУ шестиугольник

№ отказавшего элемента (КЗ на элементе)	Вид отказов	Код аварии в режиме j при q_j / n						
		0,1λБЛ	0,6/1	$9 \cdot 10^{-3}/3$	$9 \cdot 10^{-2}$	$0,3 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$7,7 \cdot 10^{-2}$
		λБЛ	0,4/1	$9 \cdot 10^{-2}/3$	/3	/3	/3	/6
		j_0	j_1	j_4	j_7	j_{10}	j_{13}	
1	КЗБЛ	-			-1Г			-1Г
2		-1Г			1Г1Л/1Г			
3		-1Г			-1Г			
7 (1)	ОВКЗБЛ	-			-			
8 (1)		1Г1Л/1Г	3Г1Л/1Г		1Г1Л/1Г			
9 (2)		1Г1Л/1Г			-	-1Г1Л		
11 (3)		1Г1Л/1Г		3Г1Л/1Г		1Г1Л/1Г		

Таблица 3 – Промежуточные результаты расчетов

К о д аварии	Частота аварии Λ , 1/год	Длительность ликвидации аварии, год		Теряемая мощность, МВт		Аварийный недоотпуск электроэнергии $W_{н.Э}$, кВт ч/год 106
				$\Delta P_{о.п.}$	$\Delta P_{в.р.}$	
				102		
-/1Г	1,7	–	12,5	–	5	93
-/1Г1Л	0,01	–		–		0,55
1Г1Л/1Г	0,6	5,7		5		31
3Г1Л/1Г	$6,7 \cdot 10^{-3}$			6		0,4

Результаты и обсуждение

Недоотпуски электроэнергии ВНЭ для кольцевых схем ОРУ рассчитываются аналогично при исходных данных из [7, 8, 10] при наличии ВВ и ЭВ. Результаты расчетов ВНЭ представлены в таблице 4. Там же – результаты уменьшения ВНЭ в процентах при замене ВВ в ОРУ на ЭВ ($\Delta W = \frac{W_{НЭ}^{ВВ} - W_{НЭ}^{ЭВ}}{W_{НЭ}^{ВВ}} \cdot 100\%$), доля недоотпуска от ВНЭ (из-за ненадежности схемы) блоков, выключателей и линий и уменьшение частоты отказов блока при $0,1\lambda_{\text{БЛ}}$ и $\lambda_{\text{БЛ}}$ для того, чтобы добиться такого же уменьшения НЭ, которое дает замена ВВ на ЭВ.

Таблица 4 – Результаты расчетов ΔW кольцевых схем ОРУ электрических станций при замене ВВ на ЭВ

Схема ОРУ	U, кВ	P _{БЛ} , МВт	W _{ВВ} _{НЭ}		W _{ЭВ} _{НЭ}		$\Delta W, \%$	Уменьшение в % частоты отказов блока при		Доля (в процентах) от W _{НЭ} из-за ненадежности элементов схемы											
			λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}		λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}			λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}	выключателей		ОРУ										
			× 10 ⁶ кВт·ч/год		замена ВВ на ЭВ				ВВ	ЭВ	ВВ	ЭВ	ВВ		ЭВ						
			λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}	λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}	λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}	λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}							λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}	λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}	λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}	λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}					
ЧЕТЫРЕХТОЛЬНИК (2БЛ, 2Л)	1200	293	2263	286	2237	2,4	1,1	3,1	1,2	84	94	86	95,1	8,2	5,1	6,1	4	7,8	0,9	7,9	0,9
	1000	233	1879	229	1858	1,7	1,1	2,2	1,1	88	94,3	89,2	95,3	7	5	5,5	4	5	0,7	5,3	0,7
	800	182	1469	178,9	1453	1,7	1,1	2,2	1,1	88	94,4	89,3	95,4	7	5	5,6	4	5	0,6	5,1	0,6
	500	100	792	94	768	6,5	3	8,5	3,2	77,7	89,5	83,1	92,3	15,6	9,8	9,8	7	6,7	0,7	7,1	0,7
ЧЕТЫРЕХТОЛЬНИК (2БЛ, 3Л)	300	39	336	37	325	5,1	3,3	6,8	3,3	81,3	89,1	86,3	92	15,2	10,5	10	7,6	3,5	0,4	3,7	0,4
	300	46	333	43	322	6,5	3,3	9,2	4	67,5	87,2	72	90,7	19,3	11,2	14	7,7	13,2	1,6	14	1,6
	1200	274	2293	269	2268	1,8	1,1	2,4	1,1	91,4	94,8	93,3	95,9	7,8	5,1	5,9	4	0,8	0,1	0,8	0,1
	1000	221	1867	217	1846	1,8	1,1	2,2	1,1	92,4	95	94	96	7,6	5	6	4	0	0	0	0
ПЯТИТОЛЬНИК (2БЛ, 3Л)	800	173	1460	170	1444	1,7	1,1	2,2	1,1	92,4	95	94	96	7,6	5	6	4	0	0	0	0
	1000	258	1917	241	1866	6,6	2,7	9,4	2,8	78	91	83,7	93,5	16	8,4	9,6	5,9	6	0,6	6,7	0,6
	800	187	1510	177,6	1473	5	2,5	6,1	2,5	85,6	91,7	90	94	13,1	8,1	8,7	5,8	1,3	0,2	1,3	0,2
	500	92	792	87	769	5,4	2,9	5,9	3	85,5	90,3	90,2	93	14,1	9,6	9,4	6,9	0,4	0,1	0,4	0,1
ШЕСТИТОЛЬНИК (3БЛ, 3Л)	300	38	335	36	323	5,3	3,6	6,3	3,7	84	89,4	88,8	92,8	15	10,5	10,1	7,1	1	0,1	1,1	0,1
	1200	433	3559	422	3497	2,5	1,7	3,3	1,8	86,8	91,7	89,2	93,3	9,8	7,9	7,3	6,3	3,4	0,4	3,5	0,4
	1000	348	2895	339	2846	2,6	1,7	3,1	1,7	88,1	91,8	90,3	93,4	9,5	7,9	7,2	6,3	2,4	0,3	2,5	0,3
	800	266	2257	260	2220	2,3	1,6	2,7	1,7	90,1	92,1	92,2	93,6	9,1	7,8	7	6,3	0,8	0,1	0,8	0,1
ШЕСТИТОЛЬНИК (3БЛ, 3Л)	800	315,6	2243	290,3	2159	8	3,7	11,7	3,9	72	87,2	78,3	90,6	18	12,2	11	8,8	10	0,6	10,7	0,6
	500	143	1224	134	1179	6,3	3,7	6,9	3,7	82,8	87,8	88	91,1	15,7	12	10,4	8,7	1,5	0,2	1,6	0,2
	300	57	511	54	492	5,3	3,7	6,8	3,7	83,5	87,8	89	91,2	16,5	12,2	11	8,8	0	0	0	0
	300	63	506	59	484	6,3	4,3	7,8	4,4	74,5	86,8	79,4	90,7	17,8	12,4	12,4	8,5	7,7	0,8	8,2	0,8

Анализ результатов, представленных в таблице 4, показывает, что:

1 В рассмотренных двадцати кольцевых схемах напряжением 750–330 кВ с блоками 1200–300 МВт замена воздушных выключателей на элегазовые позволит уменьшить недоотпуск электроэнергии (НЭ) на электрических станциях на 1,7–8 %, если есть генераторный выключатель, и 1,1–4,3 %, если нет. Причем, 1,7 % в схеме четырехугольника 750 кВ с блоками мощностью 1000–800 МВт, и 8 % – в схеме шестиугольника 500 кВ с блоками 800 МВт, 1,1 % для четырехугольника и пятиугольника 750 кВ с блоками 1200–800 МВт и 4,3 % для шестиугольника 330 кВ с блоками 300 МВт.

2 Доля недоотпуска электроэнергии (из-за ненадежности схемы) при установке ЭВ (ВВ) составляет для блоков 72–94 % (67,5–92,4 %), для линии 0–14 % (0–13,2 %) и для выключателей 5,5–14 % (7–19,3 %), если есть генераторный выключатель, а если нет, то 90,6–96 % (86,8–95 %), 0–1,6 % (0–1,6 %) и 4–8,8 % (5–12,4 %), соответственно.

Отметим следующее. Замена выключателей в кольцевых схемах ОРУ напряжением 750 кВ дает незначительный эффект 1,7–2,6 %. Она достаточно эффективна (при наличии в блоке генераторных выключателей) в схемах напряжением 500 и 330 кВ (уменьшение НЭ более 5 %). При отсутствии таких выключателей доля линий в НЭ очень мала (до 0,9 %). При этом большие расхождения в долях объясняются величиной мощности, которую пропускает линия.

Для того, чтобы добиться такого же уменьшения НЭ, которое дает замена ВВ на ЭВ, необходимо было бы уменьшить частоту отказов блоков с генераторными выключателями на большие величины (при 5,1% на 6,8 %, а при 8 % на 11,7 %). На наш взгляд, осуществление такого уменьшения частоты отказов блоков, явно, менее целесообразно, чем замена ВВ на ЭВ.

Выводы

Анализ результатов расчетов по таблично-логическому методу позволил количественно оценить уменьшение недоотпуска электроэнергии в результате замены воздушных выключателей на элегазовые в кольцевых схемах ОРУ напряжением 330–750 кВ и выявить долю недоотпуска каждым элементом схемы из-за ее ненадежности. Эти оценки дают основание полагать:

1 В схемах 750 кВ с блоками без генераторных выключателей такая замена не имеет смысла, а с выключателями мало эффективна.

2 Частота отказов линии практически не влияет на недоотпуск электроэнергии из-за ненадежности кольцевой схемы, если в ее блоках нет генераторного выключателя.

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант №АР09058249).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Клецель, И. Я., Клецель, М. Я., Эмирбек, Д. Э., Мельников, В. Ю.** Открытое распределительное устройство электрической станции с тремя блоками генератор-трансформатор, пятью линиями и автотрансформатором связи / Пат. №2739971 РФ. МПК H02B 5/00 ; опубл. 30.12.20, Бюл. №1. – 11 с.
- 2 **Богдан, В. А., Клецель, М. Я., Барукин, А. С., Динмуханбетова, А. Ж.** Открытое распределительное устройство электрической станции с двумя блоками генератор-трансформатор / Пат. 2713447 РФ. МПК H02B 5/00, H02J 3/00, H02B 13/065. ; опубл. 05.02.20, Бюл. №4. – 9 с.
- 3 **Богдан, А. В., Клецель, М. Я., Барукин, А. С., Динмуханбетова, А. Ж., Амирбек, Д. А.** / Пат. №2744255 РФ. МПК H02B 5/00, H02J 3/00, H02B 13/065. Открытое распределительное устройство электрической станции с шестью блоками генератор-трансформатор, семью линиями и автотрансформатором связи; опубл. 04.03.21, Бюл. №7. – 14 с.
- 4 **Гук, Ю. Б.** Теория надежности в электроэнергетике. – Л. : Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.
- 5 **Гук, Ю. Б., Карпов, В. В., Лapidус, А. А.** Теория надежности. Введение. – Санкт-Петербург : Изд-во Политехн. Ун-та, 2009. – 171 с.
- 6 **Околович, М. Н.** Проектирование электрических станций : Учебник для вузов. – М. : Энергоиздат, 1982. – 400 с.
- 7 **Абдурахманов, А. М., Мисриханов, М. Ш., Федоров, В. Е., Шунтов, А. В.** О надежности ячеек элегазовых выключателей 110-750 кВ подстанций. Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Вып 61. Проблемы исследования и обеспечение надежности систем энергетики / Отв. ред. Воропай Н.И., Тевяшев А.Д. – Иркутск : ИСЭМ СО РАН, 2011. С. 93-97.
- 8 **Балаков, Ю. Н., Мисриханов, М. Ш., Шунтов, А. В.** Проектирование схем электроустановок. Электронный ресурс : учебное пособие для вузов. – М. : Издательский дом МЭИ, 2016. – 288 с.
- 9 **Андреев, В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : Учебник для вузов. – М. : Высш. шк., 2006 – 639 с.
- 10 **Непомнящий, В. А., Дарьян, Л. А.** Надежность оборудования электрических сетей 220-750 кВ энергосистем. – М. : НТФ «Энергопрогресс», 2018. – 124 с.

REFERENCES

- 1 **Kletsel, I. Ya., Kletsel, M. Ya., Emirbek, D. E., Melnikov, V. Yu.** Otkrytoe raspredelitel'noe ustrojstvo elektricheskoy stantsii s tremja blokami generator-

transformator, pjat'ju linijami i avtotransformatorom svjazi [An open switchgear of an electric station with three generator-transformer blocks, five lines and an autotransformer] / Pat. No. 2739971 of the Russian Federation. IPC H02B 5/00. publ. 30.12.20, Bul. No. 1. – 11 p.

2 **Bogdan, V. A., Kletsel, M. Ya., Barukin, A. S., Dinmukhanbetova, A. Zh.** Otkrytoe raspredelitel'noe ustrojstvo elektricheskoy stantsii s dvumja blokami generator-transformator [An open switchgear of an electric station with two generator-transformer units] / Pat. No.2713447 of the Russian Federation., IPC H02B 5/00, H02J 3/00, H02B 13/065. publ. 05.02.20, Bul. No.4. – 9 p.

3 **Bogdan, A. V., Kletsel, M. Ya., Barukin, A. S., Dinmukhanbetova, A. Zh., Amirbek, D. A.** Otkrytoe raspredelitel'noe ustrojstvo elektricheskoy stantsii s shest'ju blokami generator-transformator, sem'ju linijami i avtotransformatorom svjazi [An open switchgear of an electric station with six generator-transformer blocks, seven lines and an autotransformer] / Pat. No. 2744255 of the Russian Federation. IPC H02B 5/00, H02J 3/00, H02B 13/065. publ. 04.03.21, Bul. No. 7. – 14 p.

4 **Guk, Yu. B.** Teoriya nadezhnosti v elektroenergetike. [Theory of reliability in the electric power industry]. – L. : Energoatomizdat, 1990. – 208 p.

5 **Guk, Yu. B., Karpov, V. V., Lapidus, A. A.** Teoriya nadezhnosti. Vvedenie [Theory of reliability. Introduction]. – St. Petersburg : Publishing House of the Polytechnic University. Un-ta, 2009. – 171 p.

6 **Okolovich, M. N.** Proektirovanie elektricheskikh stantsij: Uchebnik dlja vuzov [Design of power plants: Textbook for universities]. – M. : Energoizdat, 1982. – 400 p.

7 **Abdurakhmanov, A. M., Misrikhanov, M. Sh., Fedorov, V. E., Shuntov, A. V.** O nadezhnosti jacheek elegazovyh vykljuchatelej 110-750 kV podstantsij. Metodicheskie voprosy issledovanija nadezhnosti bol'shix sistem `energetiki. Vyp 61. Problemy issledovanija i obespechenie nadezhnosti sistem energetiki [On the reliability of the cells of gas switches 110-750 kV substations. Methodological issues of reliability research of large energy systems. Issue 61. Problems of research and ensuring the reliability energy systems] / Ed. Voropai N. and Tevyashev A. D. – Irkutsk: ISEM SO RAN, 2011. P. 93-97.

8 **Balakov, Yu. N., Misrikhanov, M. S., Shunts, A. V.** Proektirovanie shem elektroustanovok : uchebnoe posobie dlja vuzov [Designing of electrical circuits : textbook for universities]. – M. : Publishing house MPEI, 2016. – 288 p.

9 **Andreev, V. A.** Relejnaja zaschita i avtomatika sistem elektrosnabzhenija: Uchebnik dlja vuzov [Relay protection and automation of power supply systems: Textbook for universities]. – M. : Higher School, 2006 – 639 p.

10 **Nepomnyashchy, V. A., Daryan, L. A.** Nadezhnost oborudovanija elektricheskikh setej 220-750 kV energosistem [Reliability of the equipment of

electric networks of 220-750 kV power systems]. – М. : NTF «Energoprogress», 2018 – 124 p.

Материал поступил в редакцию 28.02.22.

М. Я. Клецель¹, *А. С. Барукин², А. Ж. Динмуханбетова³, Д. Ә. Әмірбек⁴

^{1,2,3}Торайғыров университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

⁴Дәулет Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.

Материал 28.02.22 баспаға түсті.

ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ САҚИНАЛЫ СҰЛБАЛАРЫНЫҢ ЭЛЕМЕНТТЕРІНІҢ СЕҢІМДІЛІГІНІҢ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫНЫҢ ЖЕТКІЛІКСІЗДІГІНЕ ӘСЕРІ

Электр станцияларының басты сұлбаларының сенімсіздігіне байланысты электр энергиясын жеткіліксіздігін (ЭЖ) азайту үшін әуелік ажыратқыштарын неғұрлым жетілдірілген түріне ауыстырудың орындылығы әлі күнге дейін математикалық тұрғыдан дәлелденбегені айтылады. Кернеуі 330–750 кВ, қуаты 300–1200 МВт генератор – трансформатор блоктары бар жиырма сақиналы сұлбалар әуелік және элегазды ажыратқыштарға жеке-жеке қарастырылады. Негізгі қолданылатын формулалар және әдістің есептік логикалық байланыстарының кестелері, сондай-ақ есептеу нәтижелері бар кестелер келтірілген. Қуаты 500 МВт блоктары бар кернеуі 500 кВ дәстүрлі алтыбұрыш сұлбасындағы ЭЖ есептеу фрагменттері келтірілген. Сақиналы сұлбалар үшін ЭЖ-н Ю. Б. Гуктың кестелік-логикалық әдісімен есептелген нәтижелері ұсынылады. Есептеулер алдында сұлбаның сенімсіздігіне байланысты ЭЖ-не әкелетін режимдер, ары қарай сұлбаның әрбір элементінің осы жеткіліксіздікке әсерінің мөлшері және оның әуелік ажыратқышты элегаздыға ауыстыру нәтижесінде төмендеуі талданады. Сонымен, блоктардың әсері 67,5–94 % бағаланады, ал көрсетілген ЭЖ төмендеуі 8 % аспайды. 750 кВ сұлбаларда генераторлық ажыратқыштар болмаған кезде әуелік ажыратқыштарды элегаздыларға ауыстырудың тиімсіздігі, және бар болған кезде - тиімділігі төмен болатындығы туралы қорытынды жасалады.

Кілтті сөздер: сұлба, ашық тарату құрылғысы, кестелік-логикалық әдіс, есептеу, электр энергиясының жеткіліксіздігі, ажыратқыш.

*M. Ya. Kletsel*¹, **A. S. Barukin*², *A. Zh. Dinmukhanbetova*³, *D. A. Amirbek*⁴

^{1,2,3}Toraighyrov University,

Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

⁴D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,

Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk.

Material received on 28.02.22.

INFLUENCE OF RELIABILITY OF ELEMENTS OF RING CIRCUITS OF ELECTRIC POWER STATIONS ON THE UNDER-OUTPUT OF ELECTRICITY

It is stated that the expediency of replacing air switches with more advanced ones to reduce the under-output of electricity (UE), due to the unreliability of the main circuits of power plants, has not yet been mathematically proven. Twenty ring circuits with a voltage of 330–750 kV with generator-transformer units with a capacity of 300–1200 MW with air and gas switches separately are considered. The main formulas used and tables of calculated logical connections of the method, as well as tables with calculation results, are given. Fragments of the calculation of the UE in the traditional 500 kV hexagon circuit with 500 MW power units are presented. The results of calculations of under-output by the tabular-logical method of Yu. B. Guk for ring circuits are presented. Before the calculations, the modes leading to UE due to the unreliability of the circuit are analyzed, and after that, the share of each element of the circuit in this under-output and its reduction as a result of replacing the air switch with an elegant one. Thus, the participation of blocks is estimated at 67,5–94 %, and the indicated decrease in UE is no more than 8 %. It is concluded that it is impractical to replace air switches with gas-operated ones in 750 kV circuits in the absence of generator switches and low efficiency if available.

Keywords: circuit, outdoor switch gear, tabular-logical method, calculation, under-output of electricity, switch.

Теруге 28.02.2022 ж. жіберілді. Басуға 18.03.2022 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

3,77 Мб RAM

Шартты баспа табағы 13,12. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: З. С. Исакова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3883

Сдано в набор 28.02.2022 г. Подписано в печать 18.03.2022 г.

Электронное издание

3,77 Мб RAM

Усл. печ. л. 13,12. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: З. С. Исакова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3883

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

8 (7182) 67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz