

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 (2026)

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/BGQF1934>

**Бас редакторы – главный редактор**

Талипов О. М.

*доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)*

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

**Редакция алқасы – Редакционная коллегия**

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошекков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Шерьязов С. К.	<i>т.ғ.д., профессор (Российская Федерация)</i>
Искакова З. С.	<i>технический редактор</i>

---

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

**А. С. Барукин<sup>1</sup>, \*А. Ж. Динмуханбетова<sup>2</sup>,  
Р. М. Машрапова<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5969-4030>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4538-9672>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9509-5767>

\*e-mail: [ardi100909@mail.ru](mailto:ardi100909@mail.ru)

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАМЕНЫ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ В СХЕМАХ ОРУ ПОДСТАНЦИЙ 500 КВ**

*Обсуждаются особенности применения таблично-логического метода для количественной оценки надёжности схем открытых распределительных устройств (ОРУ) электрических подстанций напряжением 500 кВ. В качестве основного показателя надёжности рассматривается аварийный недоотпуск электроэнергии ( $W$ ), отражающий потери, возникающие при отказах оборудования и в период его последующего восстановления. В работе анализируются схемы подстанций «Екибастузская» и «Алма» с различными типами выключателей – воздушными и элегазовыми. Приводится методика построения расчётных режимов функционирования схем ОРУ, определения кодов отказов, а также формирования таблиц логических связей, связывающих неисправности с последствиями в виде потерь мощности. Используются статистические данные по частоте отказов, длительности восстановления и вероятности планового ремонта для каждого элемента схемы. Дополнительно учитываются особенности функционирования устройств автоматического повторного включения, а также возможные последствия отказов выключателей при коротких замыканиях. Особое внимание уделено влиянию типа выключателя на величину показателя  $W$ . Анализ проведён с учётом различных режимов работы подстанций: нормального, планового и аварийного ремонтов. Представленный подход может быть использован для технико-экономического обоснования реконструкции схем ОРУ, выбора оборудования при*

*проектировании новых подстанций и повышения надёжности электроснабжения потребителей.*

*Ключевые слова: электрическая подстанция, схема ОРУ, таблично-логический метод, недоотпуск электроэнергии, надёжность электроснабжения, выключатель, реконструкция подстанций.*

## **Введение**

Электрические подстанции высокого напряжения играют ключевую роль в обеспечении надёжного и бесперебойного электроснабжения потребителей. Их основная функция заключается в приёме, преобразовании и передаче электроэнергии от источников генерации к распределительным сетям и крупным промышленным объектам. Ключевым элементом подстанций остаются открытые распределительные устройства (ОРУ), от конструктивных и схемных решений которых в значительной степени зависит надёжность работы всей энергосистемы [1].

Среди элементов, оказывающих существенное влияние на надёжность схем ОРУ, особое место занимают высоковольтные выключатели. Их отказ способен привести к отключению нескольких присоединений, каскадному развитию аварий и значительным потерям электроэнергии [2; 3]. В связи с этим важной задачей является выбор таких выключателей и схем, которые сводят к минимуму риски отказов. Опыт эксплуатации показывает, что в последние десятилетия всё чаще возникает вопрос замены устаревших воздушных выключателей (ВВ) на более надёжные элегазовые (ЭВ), обладающие лучшими эксплуатационными характеристиками, в том числе по числу отказов и времени восстановления [4].

Одним из количественных критериев оценки надёжности схем ОРУ является показатель аварийного недоотпуска электроэнергии ( $W$ ), отражающий ожидаемые потери при отказах и последующих ремонтах. Данный показатель позволяет учитывать не только частоту отказов, но и их последствия в виде снижения отпускаемой мощности, продолжительности перерывов и недоиспользования установленной мощности. Применение показателя  $W$  позволяет оценивать технические решения с точки зрения как надёжности, так и потенциального экономического ущерба.

Существуют различные методы оценки  $W$ , включая имитационный, графоаналитический и таблично-логический методы [5]. Последний отличается наглядностью, возможностью учёта всех режимов работы схемы (нормального, плановых и аварийных ремонтов) и применим как на этапе проектирования, так и при обосновании реконструкции действующих

объектов. В предыдущих исследованиях таблично-логический метод успешно применялся нами для оценки надёжности схем ОРУ электрических станций [6; 7; 8], однако его применение к подстанциям с различными типами выключателей требует отдельного анализа.

Целью настоящей работы является проведение сравнительной оценки надёжности схем ОРУ подстанций 500 кВ с использованием воздушных и элегазовых выключателей на основе расчёта аварийного недоотпуска электроэнергии с помощью таблично-логического метода. В качестве объектов исследования выбраны две крупные подстанции Казахстана – «Екибастузская» и «Алма», для которых выполнено моделирование отказов и расчёт показателя  $W$  в различных режимах работы.

### Материалы и методы

Ниже представлены результаты расчетов аварийного недоотпуска электроэнергии ( $W$ ) для схем ОРУ электрических подстанций «Екибастузская» и «Алма», полученные на основе использования известного таблично-логического метода [5].

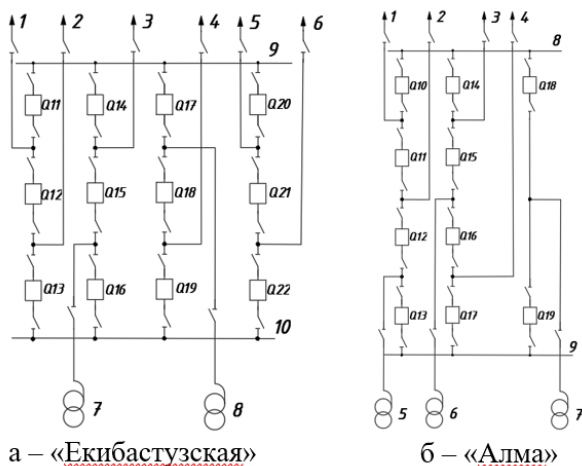


Рисунок 1 – Схемы ОРУ электрических подстанций напряжением

В качестве примера рассмотрим работу схемы ОРУ подстанции «Екибастузская» (рисунок 1, а) с вводными 1–4 и отходящими 5–8 присоединениями с мощностью 300–600 МВт.

В нормальном режиме выключатели схемы Q11–Q22 включены, и ОРУ работает следующим образом:

– при коротком замыкании (КЗ) на вводном присоединении 1 (через которое осуществляется подача мощности на подстанцию) от действия его релейной защиты (РЗ) отключаются выключатели Q11 и Q12, что приводит к потере мощности ( $\Delta P$ ) присоединения 1 на время  $t_1$  его аварийного ремонта. При КЗ на присоединениях 2-4 все аналогично;

– при КЗ на отходящем присоединении 5 (предназначенном для передачи мощности потребителям) от действия его РЗ отключаются выключатели Q20 и Q21. При неустойчивом КЗ через время  $t_2$  срабатывания устройства автоматического повторного включения (АПВ) выключатели Q20 и Q21 включаются обратно, и присоединение 5 подключается к схеме. После отключения устойчивого КЗ присоединение 5 выводится в ремонт. В обоих случаях происходит кратковременное и длительное отключение присоединения 5, соответственно, со снижением  $\Delta P$ . При КЗ на присоединениях 6–8 схема работает аналогично;

– при КЗ на сборной шине 9 от действия ее РЗ отключаются выключатели Q11, Q14, Q17 и Q20. При этом не происходит потери мощности. Аналогично при КЗ на сборной шине 10.

– при отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя Q11 от действия РЗ присоединения 1 отключаются выключатели Q12, Q14, Q17 и Q20, что приводит к отключению этого присоединения с кратковременной потерей  $\Delta P$ . После отключения выключателя Q11 от схемы, включаются выключатели Q12, Q14, Q17 и Q20, и присоединение 1 подключается к схеме. При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателей Q12- Q22 схема работает аналогично;

– отказ выключателя Q12 в отключении КЗ на вводном присоединении 1 приводит к потере двух вводных присоединений 1 и 2, так как от действия устройства резервирования отказа выключателя отключается выключатель Q13 (выключатель Q11 был отключен РЗ присоединения 1). После соответствующих оперативных переключений присоединение 1 и выключатель Q12 выводятся в ремонт на время  $t_1$  (длительная потеря  $\Delta P$ ), а выключатели Q11 и Q13 персоналом включаются обратно, и присоединение 2 подключается к схеме (кратковременная потеря  $\Delta P$ ). При КЗ на присоединениях 2-8 и отказах в отключении выключателей Q11-22 схема работает аналогично.

Принцип работы схемы ОРУ при нахождении в ремонте любого из её элементов аналогичен рассмотренному выше.

В таблице 1 приведены исходные статистические данные [9; 10] присоединений и элементов схемы рассматриваемой ОРУ-500 кВ подстанции «Екибастузская». При этом для неустойчивых КЗ коэффициент

АПВ  $k_{\text{АПВ}}=0,25$  [11] и вероятность отказа выключателей при отключениях

КЗ  $Q_{\text{КЗ}}^{\text{аб}}=0,043$  ( $Q_{\text{КЗ}}^{\text{бб}}=0,061$ ) [12].

Таблица 1 – Исходные данные

Присоединение и элемент	Обозначение	Частота отказа $\lambda$ , 1/год	Длительность восстановления $\tau$ , $10^{-3}$ год	Вероятность планового ремонта $Q_{\text{пл}}$ , $10^{-3}$ о.е.
Вводное присоединение	1-4	0,03	57	6,85
Отходящее присоединение	5-8	1,2	1,94	12,32
Сборные шины	9, 10	0,004	2,87	
ЭВ	11-22	0,14	5,5	8,33
ВВ		0,13	10,27	2,05

Таблица 2 – Расчетно-логические связи схемы ОРУ подстанции «Екибастузская»

Отказ присоединения или элемента (КЗ на нем)	Вид отказов	Код аварии				
		$q_j$	0,85	$10,3 \cdot 10^{-3}$	$2,32 \cdot 10^{-3}$	....
		n	1	2	2	....
		j	j0	j1	j2	....
1	КЗ	-/1Т		-	-	....
2				-/1Т		
3		2Т/1Т		-		
4				1Т1Л/1Т		
11 (1)	ОВКЗ	-				
12 (2)		2Т/1Т		-		
15 (3)		1Т1Л/1Т				
18 (4)						

Коды аварий: «-/1Т» – длительная потеря присоединения Т (трансформатора) с потерей мощности  $\Delta P$ ; «2Т/1Т» – кратковременное отключение двух присоединений Т с переходом в длительный характер аварии с отключением одного присоединения Т и потерей мощности  $\Delta P$ ; «1Т1Л/1Т» – кратковременное отключение двух присоединений Т и Л (линии) с переходом в длительный характер аварии с отключением одного присоединения Т

Расчетные режимы: нормальный без ремонтов – j0; плановый (проводимый с плановым ремонтом выключателей Q11 и Q12) и аварийный вводного присоединения 1 – j1 и j2, соответственно; то же для вводного

присоединения 3 с выключателями Q14 и Q15 – j3 и j4; то же для отходящего присоединения 5 – j5 и j6; то же для отходящего присоединения 7 – j7 и j8; то же для сборных шин 9 с выключателями Q11, Q14, Q17, Q20 – j9 и j10; аварийный ремонт выключателей Q11, Q12, Q14, Q15, Q16 и Q20 – j11, j12, j13, j14, j15 и j16, соответственно; плановый и аварийный ремонт выключателя Q21 – j17 и j18, соответственно.

Расчетная относительная длительность режимов:  $q_{j,пл} = q_{пл,i}$ ;  
 $q_{j,ав} = \lambda_i \tau_i$ ;  $q_{j0} = 1 - \sum_{j=1}^m q_j$

Фрагмент расчетно-логических связей с кодами аварий в режимах j0-j2 представлен в таблице 2.

В таблице 3 представлены результаты расчетов.

Таблица 3 – Ожидаемые надежности схемы ОРУ с ВВ (ЭВ)

Код	Частота аварии $\Lambda$ , $10^{-3}$ 1/год	Длительность ликвидации аварии, год		Теряемая мощность, МВт		Аварийный недоотпуск электроэнергии $W$ , кВт·ч/год $10^6$
		$\tau_{ко.п.}$ , $10^{-5}$	$\tau_{кв.р.}$ , $10^{-3}$	$\Delta P_{о.п.}$	$\Delta P_{в.р.}$	
				$10^2$		
-/1Т	60,4 (33)	–	1,94	–	3	0,308 (0,169)
2Т/1 Т	1,6 (1,06)	5,7	10,27(5,55)	6		0,044 (0,0156)
1Т1Л /1Т	0,9 (0,51)			3		0,0244 (0,0074)
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Итого						123,6 (105,2)

### Результаты и обсуждение

Аналогично был проведен расчет аварийного недоотпуска электроэнергии для подстанции «Алма» (рисунок 1, б) напряжением 500 кВ. Используя  $W$ , для рассматриваемых схем ОРУ электрических подстанций можно определить эффективность в уменьшении  $\Delta W$  при реконструкции путем замены воздушных выключателей на элегазовые, согласно формуле

$$\Delta W = \frac{W^{ВВ} - W^{ЭВ}}{W^{ВВ}} \times 100\%. \quad (1)$$

Результаты расчетов  $W$  и  $\Delta W$  для подстанций «Екибастузская» и «Алма» сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты расчетов  $W$  и  $\Delta W$ 

Подстанция	$W^{BB}$	$W^{ЭВ}$	$\Delta W, \%$
	$\times 10^6 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год}$		
«Екибастузская»	123,6	105,2	15
«Алма»	46,6	37,7	19

Полученные значения показателя  $W$  демонстрируют, что при использовании элегазовых выключателей наблюдается значительное снижение потерь электроэнергии по сравнению с вариантами с воздушными выключателями.

### **Информация о финансировании**

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP27511017).

### **Выводы**

Проведённое исследование позволило выполнить количественную оценку надёжности схем открытых распределительных устройств (ОРУ) электрических подстанций напряжением 500 кВ на основе анализа аварийного недоотпуска электроэнергии  $W$ . Результаты расчетов показали, что замена воздушных выключателей на элегазовые позволит снизить  $W$  в рассматриваемых схемах ОРУ на 15% и 19%, соответственно. Это подтверждает эффективность модернизации выключателей с целью повышения надёжности электроснабжения. Результаты исследования могут быть использованы при технико-экономическом обосновании реконструкции высоковольтных подстанций.

### **Список использованных источников**

1 **Vianna, E.** Substations SF6 circuit breakers : Reliability evaluation based on equipment condition // Electric Power Systems Research, 2017. – Vol. 142. – P. 36–46.

2 **Dong, J., Koval, D., Zuo, M.** Impact of circuit breaker failure modes on the reliability of the gold book standard network // Proc. of 2004 International Conference on IEEE Industrial and Commercial Power Systems Technical, 2004. – P. 102–108.

3 **Lu, Y., Li, Y.** A novel fault diagnosis method for circuit breakers based on optimized affinity propagation clustering // *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2020. – Vol. 118. – P. 105651.

4 **Zhang, X.** Reliability estimation of high voltage SF6 circuit breakers by statistical analysis on the basis of the field data // *Electric power systems research*, 2013. – Vol. 103. – P. 105–113.

5 **Гук, Ю. Б., Карпов, В. В., Лapidус, А. А.** Теория надежности. Введение. – Санкт-Петербург : Изд-во Политехн. Ун-та, 2009. – 171 с.

6 **Клецель, М. Я., Барукин, А. С., Динмуханбетова, А. Ж., Әмірбек Д. Ә.** Влияние надежности элементов кольцевых схем электрических станций на недоотпуск электроэнергии. // *Вестник Торайғыров университет. Энергетическая серия*, 2022. – № 1. – С. 99–110.

7 **Барукин, А. С., Клецель, М. Я., Динмуханбетова, А. Ж., Әмірбек Д. Ә.** Ввод дополнительного выключателя в блок генератор-трансформатор для энергосбережения в схемах ОРУ электростанций // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*, 2023. – Т. 66, № 4. – С. 333–343.

8 **Dinmukhanbetova, A.** Reduction of Energy Underdelivery at Nuclear Power Plants by Enhancing the Reliability of 3/2 Schemes // *International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM*, 2025. – P. 327–332.

9 **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.

10 **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* – Иркутск : ИСЭМ СО РАН, 2011. – С. 93–97.

11 **Андреев, В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : Учебник для вузов. – М. : Высш. шк., 2006 – 639 с.

12 **Непомнящий, В. А., Дарьян, Л. А.** Надежность оборудования электрических сетей 220–750 кВ энергосистем. – М. : НТФ «Энергопрогресс», 2018. – 124 с.

## References

1 **Vianna, E.** Substations SF6 circuit breakers: Reliability evaluation based on equipment condition // *Electric Power Systems Research*, 2017. – Vol. 142. – P. 36–46.

2 **Dong, J., Koval, D., Zuo, M.** Impact of circuit breaker failure modes on the reliability of the gold book standard network // *Proc. of 2004 International Conference on IEEE Industrial and Commercial Power Systems Technical*, 2004. – P. 102–108.

3 **Lu, Y., Li, Y.** A novel fault diagnosis method for circuit breakers based on optimized affinity propagation clustering // *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2020. – Vol. 118. – P. 105651.

4 **Zhang, X.** Reliability estimation of high voltage SF6 circuit breakers by statistical analysis on the basis of the field data // *Electric power systems research*, 2013. – Vol. 103. – P. 105–113.

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

6 **Kletsel, M. Ya, Barukin, A. S., Dinmukhanbetova, A. Zh., Amirbek, D. A.** Vliianie nadezhnosti elementov kol'tsevykh skhem elektricheskikh stantsii na nedootpusk elektroenergii [Influence of the reliability of ring circuit elements at power plants on the energy not supplied] // *Bulletin of Toraighyrov University. Series: Energetics*, 2022. – No. 1. – P. 99–110.

7 **Barukin, A. S., Kletsel, M. Ya, Dinmukhanbetova, A. Zh., Amirbek, D. A.** Vvod dopolnitel'nogo vykliuchatelya v blok generator-transformator dlia energosberezheniia v skhemakh ORU elektrostantsii [Introduction of an auxiliary breaker into the generator-transformer block for energy saving in open switchgear circuits of power plants] // *Energetika. Proceedings of CIS higher education institutions and power engineering associations*. – Vol. 66, No. 4. – P. 333–343.

8 **Dinmukhanbetova, A.** Reduction of Energy Underdelivery at Nuclear Power Plants by Enhancing the Reliability of 3/2 Schemes // *International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM*, 2025. – P. 327–332.

9 **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.

10 **Abdurakhmanov, A. M., Misrikhanov, M. Sh., Fedorov, V. E., Shuntov, A. V.** O nadezhnosti jacheek elegazovykh vykljuchatelej 110-750 kV

podstantsij. Metodicheskie voprosy issledovanija nadezhnosti bol'shih sistem energetiki. Вып 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]. – Irkutsk : ISEM SO RAN, 2011. P. 93–97.

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

12 **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.

Поступило в редакцию 01.08.25.

Поступило с исправлениями 05.11.25.

Принято в печать 27.02.26.

*А. С. Барукин<sup>1</sup>, \*А. Ж. Динмуханбетова<sup>2</sup>, Р. М. Маишрапова<sup>3</sup>*

<sup>1,2,3</sup>Торайғыров университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

01.08.25 ж. баспаға түсті.

05.11.25 ж. түзетулерімен түсті.

27.02.26 ж. басып шығаруға қабылданды.

## **500 КВ ҚОСАЛҚЫ СТАНЦИЯЛАРДЫҢ АШЫҚ ТАРАТУ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫ СХЕМАЛАРЫНДА АЖЫРАТҚЫШТАРДЫ АУЫСТЫРУДЫҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ**

*500 кВ кернеулі электрлік қосалқы станциялардың ашық тарату құрылғылары (АТҚ) схемаларының сенімділігін сандық бағалау үшін кестелік-логикалық әдісті қолдану ерекшеліктері қарастырылады. Негізгі сенімділік көрсеткіші ретінде – жабдықтардың істен шығуы мен оны қалпына келтіру кезеңінде пайда болатын шығындарды сипаттайтын апаттық электр энергиясын жеткізбеу ( $W$ ) алынады. Жұмыста «Екібастұз» және «Алма» қосалқы станцияларының әртүрлі типтегі ажыратқыштары бар схемалары – ауа және элегазды – талданады. АТҚ схемаларының жұмыс режимдерін есептеу, ақау кодтарын анықтау және қуат шығындары түріндегі*

*салдармен байланысты логикалық байланыстар кестесін құру әдістемесі келтіріледі. Схема элементтері үшін ақаулар жиілігі, қалпына келтіру ұзақтығы және жоспарлы жөндеу ықтималдығы бойынша статистикалық деректер қолданылады. Сонымен қатар автоматты қайта қосу құрылғыларының жұмыс ерекшеліктері мен қысқа тұйықталу кезіндегі ажыратқыштардың істен шығу салдарлары ескеріледі. Ажыратқыш түрінің  $W$  көрсеткішіне әсеріне ерекше назар аударылады. Талдау қосалқы станциялардың түрлі жұмыс режимдерін: қалыпты, жоспарлы және апаттық жағдайларын ескере отырып жүргізілді. Ұсынылған тәсіл АТҚ схемаларын реконструкциялауды техникалық-экономикалық негіздеу, жаңа қосалқы станцияларды жобалау кезінде жабдықтарды таңдау және тұтынушыларды электрмен жабдықтаудың сенімділігін арттыру үшін пайдаланылуы мүмкін.*

*Кілтімі сөздер: электрлік қосалқы станция, ашық тарату құрылғылары схемасы, кестелік-логикалық әдіс, электр энергиясын жеткізбеу, электрмен жабдықтаудың сенімділігі, ажыратқыш, қосалқы станцияларды қайта жаңарту.*

*A. S. Barukin<sup>1</sup>, \*A. Zh. Dinmukhanbetova<sup>2</sup>, R. M. Mashrapova<sup>3</sup>*

*<sup>1,2,3</sup>Toraighyrov University,*

*Republic of Kazakhstan, Pavlodar.*

*Received 01.08.25.*

*Received in revised form 05.11.25.*

*Accepted for publication 27.02.26.*

## **ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF CIRCUIT BREAKER REPLACEMENT IN 500 KV SUBSTATION SWITCHYARD SCHEMES**

*The paper discusses the application features of the tabular-logical method for the quantitative assessment of the reliability of 500 kV substation open switchyard (OSY) schemes. The primary reliability indicator considered is the emergency energy not supplied ( $W$ ), which reflects the losses occurring due to equipment failures and the subsequent recovery period. The study analyzes the schemes of the “Ekibastuz” and “Alma” substations with different types of circuit breakers – air-insulated and gas-insulated ( $SF_6$ ). A methodology is presented for constructing operating regimes, identifying failure codes, and generating logical dependency*

*tables linking faults with power loss consequences. Statistical data on failure frequency, recovery duration, and the probability of scheduled maintenance are used for each component of the scheme. Additionally, the behavior of automatic reclosing devices and the impact of circuit breaker malfunctions during short circuits are considered. Particular attention is paid to the influence of circuit breaker type on the W indicator. The analysis accounts for various operational modes of substations: normal, scheduled maintenance, and emergency repairs. The proposed approach can be applied for the techno-economic justification of OSY scheme modernization, equipment selection for new substations, and enhancing the reliability of power supply to consumers.*

*Keywords: electrical substation, switchyard scheme, tabular-logical method, energy not supplied, power supply reliability, circuit breaker, substation reconstruction.*

Теруге 13.03.2026 ж. жіберілді. Басуға 31.03.2026 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

28.54 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: З. Ж. Шокубаева

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4523

Сдано в набор 13.03.2026 г. Подписано в печать 31.03.2023 г.

Электронное издание

28.54 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: З. Ж. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4523

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

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

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

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

67-36-69

E-mail: [kereku@tou.edu.kz](mailto:kereku@tou.edu.kz)

[www.vestnik-energy.tou.edu.kz](http://www.vestnik-energy.tou.edu.kz)