

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

МАЗМҰНЫ

Говорун В. Ф., Марковский В. П., Шапкенов Б. К., Бурцев П. В., Аябаев А. С.	
Шағын сызықты емес тұтынушылар бар электр беру жүйелеріндегі қуат факторын түзету	9
Диханбаев А. Б., Диханбаев Б. И., Кошумбаев М. Б., Ыбрай С. Б.	
Фазалық инверсиялық реактордың пайдаланылған газдарын жасанды газға айналдыру мәселесіне	28
Достияров А. М., Садыкова С. Б., Картджанов Н. Р.	
Газтурбиналарының жану камерасындағы ағын параметрлерінің NOx эмиссиясына әсері	43
Дробинский А. В., Уразалимова Д. С., Кириченко Л. Н.	
Мобильді гидроэнергетикалық қондырғы	56
Исабеков Ж. Б., Исабекова Б. Б., Жантілесова А. Б., Ақаев А. М.	
Бейтарап режимдердің сипаттамалық белгілері	67
Қадыржан А. Б.	
Ауа бассейніне экологиялық мониторинг жүргізу жүйесінде қолданылатын ұшқышсыз ұшу аппаратын құрастыру	78
Карманов А. Е., Арипова Н. М., Нуркина Ш. М., Приходько Е. В., Танырбергенев Н. М.	
ТКШ объектілері үшін жылу энергиясын ала отырып, жапырақты қоқысты кәдеге жарату технологиясын әзірлеу	88
Клецель М. Я., Барукин А. С., Динмуханбетова А. Ж., Әмірбек Д. Ә.	
Электр станцияларының сақиналы сұлбаларының элементтерінің сеңімділігінің электр энергиясының жеткіліксіздігіне әсері	99
Коломийцева А. В.	
Жылу энергиясын жинақтау үшін фазалық ауысуы бар заттарды пайдалану	111
Машрапов Б. Е., Мусаев Ж. Б., Талипов О. М.	
Фазалық-экрандалған ток өткізгіштің қабықшасының экрандаушы қасиеттерін анықтау	121
Новожилов А. Н., Садыкова А. К., Новожилов Т. А.	
Оқшауланған бейтарабы қосылумен желілердегі бір фазалық жерге тұйықталу токтарын жанама әдісін іс жүзінде жүзеге асыру	131
Нурсеитов Б. А.	
Matlab Simulink бағдарламасында күн радиациясының имитациялық моделі	144
Сериков Т. Г., Мирзакулова Ш. А., Хамзина Б. Е., Айсин Ж. А.	
Уақыттық қатарды қолдана отырып, желілік трафикті болжау үшін модельдеу	157
Төлебай Н. Ж., Азимбаев Ж. Р., Мерғалимова А. К., Онгар Б.	
Көмірді жағу технологиясының аз мөлшерде қоршаған ортаға әсері	167

Хацевский В. Ф., Гоненко Т. В.

Құрамдастырылған жел энергетикалық қондырғыны
қолдану тиімділігін талдау.....177

**Долгов М. В., Баубек А. А., Жумагулов М. Г.,
Грибков А. М., Глазырин С. А.**

Су-мазутты эмульсияны жағу мүмкіндігі мәселесіне186

Авторлар туралы ақпарат201

Авторлара арналған ережелер215

Жарияланым этикасы226

СОДЕРЖАНИЕ

Говорун В. Ф., Марковский В. П., Шапкенов Б. К., Бурцев П. В., Аябаев А. С.	
Коррекция коэффициента мощности в системах электроснабжения с мелкими нелинейными потребителями.....	9
Диханбаев А. Б., Диханбаев Б. И., Кошумбаев М. Б., Ыбрай С. Б.	
К вопросу преобразования отходящих газов реактора инверсии фаз в искусственный газ	28
Достияров А. М., Садыкова С. Б., Картджанов Н. Р.	
Влияние параметров потока в камере сгорания газовых турбин на эмиссию NOx. Часть 1	43
Дробинский А. В., Уразалимова Д. С., Кириченко Л. Н.	
Мобильная гидроэнергетическая установка	56
Исабеков Ж. Б., Исабекова Б. Б., Жантлесова А. Б., Акаев А. М.	
Характерные особенности режимов работы нейтрали	67
Кадыржан А. Б.	
Разработка беспилотного летательного аппарата в системе экологического мониторинга воздушного бассейна г. Алматы	78
Карманов А. Е., Арипова Н. М., Нуркина Ш. М., Приходько Е. В., Танырбергенев Н. М.	
Разработка технологии утилизации листового мусора с получением тепловой энергии для объектов ЖКХ.....	88
Клецель М. Я., Барукин А. С., Динмуханбетова А. Ж., Әмірбек Д. Ә.	
Влияние надежности элементов кольцевых схем электрических станций на недоотпуск электроэнергии	99
Коломийцева А. В.	
Использование веществ с фазовым переходом для аккумулирования тепловой энергии.....	111
Машрапов Б. Е., Мусаев Ж. Б., Талипов О. М.	
Определение экранирующих свойств оболочки пофазно-экранированного токопровода	121
Новожилов А. Н., Садыкова А. К., Новожилов Т. А.	
Практическая реализация метода косвенного измерения тока однофазного замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью....	131
Нурсеитов Б. А.	
Имитационная модель солнечной радиации в среде Matlab Simulink.....	144
Сериков Т. Г., Мирзакулова Ш. А., Хамзина Б. Е., Айсин Ж. А.	
Моделирование для прогнозирования сетевого трафика с применением временных рядов	157
Толебай Н. Ж., Азимбаев Ж. Р., Мергалимова А. К., Онгар Б.	
Технология сжигания углей со сниженным воздействием на окружающую среду	167

Хацевский В. Ф., Гоненко Т. В.

Анализ эффективности применения комбинированной
ветроэнергетической установки.....177

Долгов М. В., Баубек А. А., Жумагулов М. Г.,

Грибков А. М., Глазырин С. А.

К вопросу возможности сжигания водо-мазутной эмульсии186

Сведения о авторах.....201

Правила для авторов215

Публикационная этика226

CONTENT

Govorun V. F., Markovsky V. P., Shapkenov B. K., Burtsev P. V., Ayabayev A. S.	
Power factor correction in power supply systems with small non-linear consumers	9
Dikhanbaev A. B., Dikhanbaev B. I., Koshumbaev M. B., Ybray S. B.	
To the issue of converting waste gases of a reactor inversion phase into artificial gas	28
Dostiyarov A. M., Sadykova S. B., Kartjanov N. R.	
Effect of flow parameters in gas turbine combustion chamber on NO _x emission	43
Drobinskiy A. V., Urazalimova D. S., Kirichenko L. N.	
Mobile hydropower plant	56
Issabekov J. B., Issabekov B. B., Zhantlessova A. B., Akaev A. M.	
Characteristic features of neutral operating modes.....	67
Kadyrzhan A. B.	
Development of an unmanned aerial vehicle in the air basin environmental monitoring system	78
Karmanov A. E., Aripova N. M., Nurkina Sh. M., Prikhodko E. V., Tanyrbergenov N. M.	
Development of technology for the disposal of deciduous waste with the production of thermal energy for housing and communal services	88
Kletsel M. Ya., Barukin A. S., Dinmukhanbetova A. Zh., Amirbek D. A.	
Influence of reliability of elements of ring circuits of electric power stations on the under-output of electricity.....	99
Kolomiitseva V.	
Use of substances with phase transition for the accumulation of thermal energy	111
Mashrapov B. Ye., Musaev Zh. B., Talipov O. M.	
Determination of shielding properties of the shell of a phase-shielded current line	121
Novozhilov A. N., Sadykova A. K., Novozhilov T. A.	
Practical implementation of the method of indirect measurement of single-phase earth fault current in a network with an isolated neutral.....	131
Nurseitov B. A.	
Simulation modeling of solar irradiance on Matlab Simulink	144
Serikov T. G., Mirzakulova Sh. A., Khamzina B. E., Aisin Zh. A.	
Modeling for network traffic forecasting using time series.....	157
Tolebay N. Zh., Azimbayev Zh. R., Mergalimova A. K., Ongar B.	
Coal combustion technology with reduced environmental impact	167
Khatsevskiy V. F., Gonenko T. V.	
Analysis of combined wind power plant application efficiency	177

**Dolgov M. V., Baubek A. A., Zhumagulov M. G.,
Gribkov A. M., Glazyrin S. A.**

Possibility of water-oil emulsion combustion	186
Information about the authors.....	201
Rules for authors	215
Publication ethics	226

<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:

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

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

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

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

работоспособности схемы к длительному; $\Delta P(k_{o.p.})$ 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:

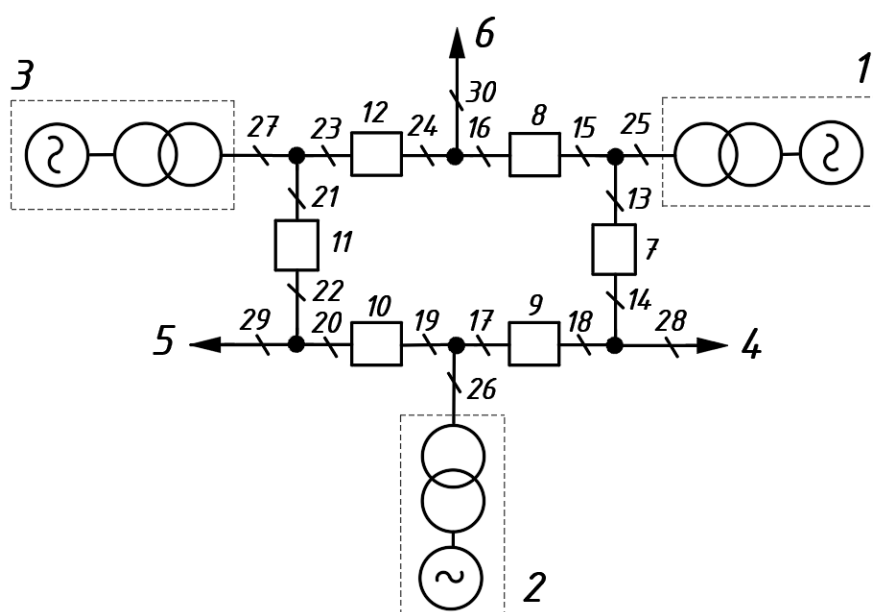


Рисунок 1 – Традиционная схема ОРУ шестиугольника

1) При коротком замыкании (КЗ) в блоке 1 от действия его релейной защиты (РЗ) отключаются выключатели 7 и 8, после чего оперативный персонал отключает разъединитель 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 разъединитель 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	9·10 ⁻³ /3	9·10 ⁻²	0,3·10 ⁻²	1,6·10 ⁻²	7,7·10 ⁻²
		λБЛ	0,4/1	9·10 ⁻² /3	/3	/3	/3	/6
		j_0	j_1	j_4	j_7	j_{10}	j_{13}	
1	КЗБЛ	-/1Г		–	-/1Г		-/1Г	
2		-/1Г			1Г1Л/1Г			
3		-/1Г		-/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 $W_{НЭ}$, кВт·ч/год 106
		$\tau_{ко.п.}$, 10^{-5}	$\tau_{кв.р.}$, 10^{-3}	$\Delta P_{о.п.}$	$\Delta P_{в.р.}$	
				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 $W_{НЭ}$ для кольцевых схем ОРУ рассчитываются аналогично при исходных данных из [7, 8, 10] при наличии ВВ и ЭВ. Результаты расчетов $W_{НЭ}$ представлены в таблице 4. Там же – результаты уменьшения $W_{НЭ}$ 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 $W_{НЭ}$ (из-за ненадежности

схемы) блоков, выключателей и линий и уменьшение частоты отказов блока при $0,1\lambda_{БЛ}$ и $\lambda_{БЛ}$ 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} WНЭ		WЭВ WНЭ		$\Delta W, \%$	Уменьшение в % частоты отказов блока при замене ВВ на ЭВ	Доля (в процентах) от W _{НЭ} из-за ненадежности элементов схемы ОРУ												
			λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}		λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}				Блоков		Выключателей		Линий								
			λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}	λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}	λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}	λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}			ВВ	ЭВ	ВВ	ЭВ	ВВ	ЭВ	ВВ	ЭВ					
Четырёхугольник (2БЛ, 2Л)	1200	293	2263	286	2237	2,4	1,1	3,1	1,2	84	86	95,1	8,2	5,1	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	95,3	7	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	95,4	7	5	4	5	0,6	5,1	0,6		
	500	100	792	94	768	6,5	3	8,5	3,2	77,7	89,5	92,3	15,6	9,8	7	6,7	0,7	7,1	0,7		
330	300	39	336	37	325	5,1	3,3	6,8	3,3	81,3	89,1	92	15,2	10,5	10	7,6	3,5	0,4	3,7	0,4	
Пятиугольник (2БЛ, 3Л)	1200	46	333	43	322	6,5	3,3	9,2	4	67,5	87,2	72	90,7	11,2	14	7,7	13,2	1,6	14	1,6	
	1000	274	2293	269	2268	1,8	1,1	2,4	1,1	91,4	94,8	93,3	95,9	7,8	5,1	4	0,8	0,1	0,8	0,1	
	800	221	1867	217	1846	1,8	1,1	2,2	1,1	92,4	95	94	96	7,6	5	4	0	0	0	0	
	500	800	173	1460	170	1444	1,7	1,1	2,2	1,1	92,4	95	94	96	7,6	5	4	0	0	0	0
Шестиугольник (3БЛ, 3Л)	1000	258	1917	241	1866	6,6	2,7	9,4	2,8	78	91	83,7	93,5	16	8,4	9,6	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
	330	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
Шестиугольник (3БЛ, 3Л)	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	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	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	0,8	0,1	0,8	0,1	
	500	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
330	300	57	511	54	492	5,3	3,7	6,8	3,7	83,5	87,8	88	91,1	15,7	12	10,4	8,7	1,5	0,2	1,6	0,2
330	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 бóльшие 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 №AP09058249).

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 raspreditel'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 raspreditel'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'shih 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. Клещель¹, *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 негұрлым 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. Kletsel¹, *A. S. Barukin², A. Zh. Dinmukhanbetova³, D. A. Amirbek⁴*

^{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 elegaz 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