

Министерство образования и науки Российской Федерации
Национальный исследовательский университет «МЭИ»

ФЁДОРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ 2020

МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ
С ЭЛЕМЕНТАМИ
НАУЧНОЙ ШКОЛЫ

Москва
17 – 20 ноября
2020 г.

Фёдоровские чтения — 2020: L Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы (Москва, 17—20 ноября 2020 г.) / под общ. ред. Ю.В. Матюниной. — М.: Издательский дом МЭИ, 2020. — 435 с.

ISBN 978-5-383-01439-4

Публикуются материалы Международной научно-практической конференции с элементами научной школы для молодежи «Фёдоровские чтения — 2020», прошедшей в Национальном исследовательском университете «МЭИ» 17—20 ноября 2020 г.

Научная тематика конференции — «Энергосбережение и энергоэффективность технологий передачи, распределения и потребления электрической энергии». Публикации характеризуются охватом широкого круга проблем в областях электроснабжения и энергоэффективности, энергосбережения и энергосберегающих методов, рационализации систем электроснабжения предприятий и организаций, использования собственных источников энергии в системах электроснабжения, нетрадиционных и возобновляемых источники энергии. Сборник предназначен для участников конференции и может быть полезен широкому кругу специалистов, занятых проектированием и эксплуатацией электрического хозяйства, преподавателям, научным сотрудникам, аспирантам и студентам.

Научное издание

ФЁДОРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ — 2020
L Международная научно-практическая конференция
с элементами научной школы

Корректор Г.Ф. Раджабова
Компьютерная верстка М.Н. Маркиной

Подписано в печать с оригинал-макета	16.11.20	
Бумага офсетная	Печать офсетная	Формат 60×90/16
Усл. печ. л. 27,2	Уч.-изд. л. 24,3	

АО «Издательский дом МЭИ», 111024, Москва, ул. 2-я Кабельная, д. 2
Отпечатано в АО «Т8 Издательские Технологии», Москва, Волгоградский пр-т, д. 45, корп. 5

ISBN 978-5-383-01439-4

© Авторы, 2020
© Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2020

тока по обмотке возбуждения генератора, что может негативно сказаться на ее работе вплоть до выхода из строя. Одним из способов поддержания номинального режима работы автоматики при указанном законе регулирования возбуждения является изменение уставки по напряжению.

Литература

1. **Варганова А.В.** Алгоритм внутростанционной оптимизации режимов работы котлоагрегатов и турбогенераторов промышленных электростанций // Промышленная энергетика. 2018. № 1. С. 17—22.
2. **Газизова О.В., Соколов А.П., Малафеев А.В.** К вопросу учета насыщения в математической модели промышленного генератора для расчета переходных режимов в системе электроснабжения сложной конфигурации // Электротехнические системы и комплексы. 2018. № 1 (38). С. 40—47.
3. **Веников В.А.** Сильное регулирование возбуждения. М.: Госэнергоиздат, 1963. 152 с.
4. **Малафеев А.В., Буланова О.В., Кондрашова Ю.Н.** Исследование влияния автоматических регуляторов промышленных генераторов на параметры переходных процессов коротких замыканий и выхода на раздельную работу // Главный энергетик. 2011. № 3. С. 26—29.
5. **Газизова О.В., Соколов А.П.** Исследование влияния АРВ на результирующую и динамическую устойчивость промышленного генератора в режиме трехфазного КЗ с учетом демпферных моментов и насыщения // Федоровские чтения — 2018: Тр. 48-й Межд. научно-практ. конф. М.: Издательский дом МЭИ, 2018. С. 289—296.
6. **Анализ** допустимости режима потери возбуждения синхронного генератора в условиях промышленной системы электроснабжения сложной конфигурации / О.В. Газизова, А.П. Соколов, Н.Т. Патшин, Ю.Н. Кондрашова // Электротехнические системы и комплексы. 2019. № 2 (43). С. 12—18.
7. **Газизова О.В., Соколов А.П., Малафеев А.В.** Учет влияния АРВ при определении переходных сопротивлений промышленных генераторов // Энергетические и электротехнические системы: Междунар. сб. науч. трудов. Магнитогорск, 2017. С. 34—41.

*С.А. Хорьков, horkov_07@mail.ru,
В.К. Преснухин, v.presnukhin@yandex.ru, Т.Ф. Запунков,
t.zaripov98@gmail.com, УдГУ, г. Ижевск*

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ СХЕМЫ ВЫДАЧИ МОЩНОСТИ БЛОКОМ ПГУ-230

Важной задачей электроэнергетики является оценка структурной надежности электрических схем и систем. Для ее решения разработаны методы, позволяющие сначала получать модели электрических цепей и систем, а затем на их основе осуществлять расчет показателей надежности схемы.

Расчет структурной надежности электрических систем, содержащих большое количество различных элементов, выполняют методом пространства состояний. Преимуществами этого метода является возможность применения в большинстве случаев для описания переходов системы из одного состояния в другое модели Маркова [1, 2]. Практический интерес представляет применение таких моделей и методов для исследования структурной надежности находящейся в эксплуатации схемы выдачи мощности блоком ПГУ-230.

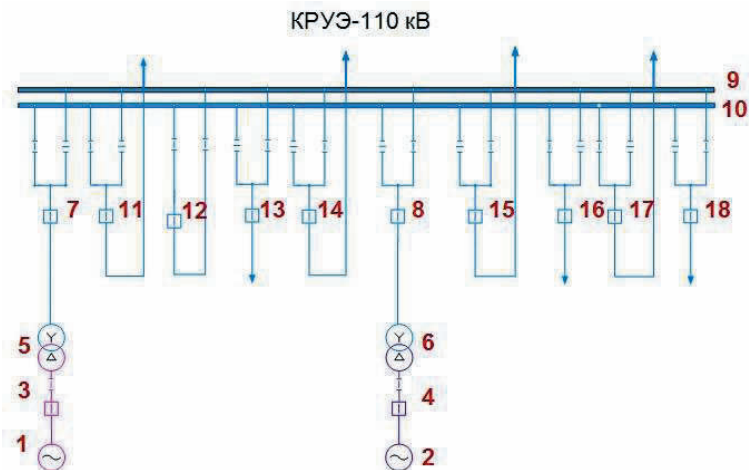


Рис. 1. Схема выдачи мощности блоком ПГУ-230

Блок ПГУ-230 включает два генерирующих агрегата. Один агрегат выполнен на базе газовой турбины, а другой – на базе паровой турбины. Оба агрегата связаны технологически. Вся электрическая мощность, вырабатываемая генераторами, за исключением мощности, необходимой для собственных нужд блока, выдается в энергосистему через комплектное распределительное устройство с элегазовой изоляцией напряжением 110 кВ — КРУЭ 110 кВ.

Особенностью блока ПГУ-230 является невозможность работы парового генерирующего агрегата без газового и наоборот; например, при аварийном отключении газового агрегата паровой незамедлительно отключают.

На рисунке 1 показана схема выдачи мощности блоком ПГУ-230 через КРУЭ с двойной системой шин. КРУЭ имеет 10 ячеек, две из которых работают на прием (обозначены цифрами 7, 8), семь на выдачу энергии (11, 13—18), одна ячейка имеет шинно соединительный выключатель (12). Каждая ячейка схемы включает элегазовый выключатель и два шинных разъединителя. Все ячейки КРУЭ конструктивно идентичны и заключены в единый

общий корпус с разделением на поэлементные отсеки. Выключатели 3, 4 входят в состав элегазовых генераторных распределительных устройств.

Целью статьи является исследование структурной надежности схемы выдачи мощности блоком ПГУ-230, расчет вероятности состояния отказа схемы и среднего параметра потока ее отказов. Одной из задач работы является анализ применения метода пространства состояний для конкретного случая исследования структурной надежности блока ПГУ-230.

Примем методику расчета структурной надежности схемы выдачи мощности блоком ПГУ-230 на основе [2,3]. Чтобы оценить надежность системы методом пространства состояний, необходимо сначала описать систему состояниями и возможными переходами между ними. Состояние системы определяется состоянием каждого ее элемента. Для одного элемента схемы состояния и переходы из одного состояния в другое описывают марковской моделью, показанной на рис. 2.

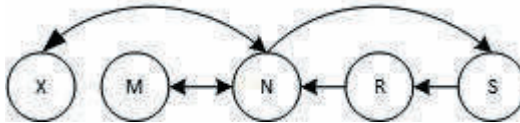


Рис. 2. Диаграмма состояния элемента. Обозначение состояний: N — норма; S — отказ типа короткого замыкания; R — аварийный ремонт (ситуация типа «обрыв цепи»); M — капитальный ремонт, X — текущий ремонт

Эта модель имеет пять состояний и пять переходов. Причем только одно состояние N соответствует нормальной работе элемента, остальные четыре состояния S, R, M, X — отказ типа короткое замыкание, аварийный ремонт, капитальный ремонт, текущий ремонт соответственно — характеризуют состояние его отказа. Очевидно, что диаграмма пространства состояний для двух элементов имеет гораздо большее количество состояний и переходов. Для анализа структурной надежности схемы выдачи мощности блоком ПГУ-230 на основе схемы на рис. 1 составляют расчетный граф, представленный на рис. 3. Нумерация элементов схемы и расчетного графа совпадают. Блок ПГУ-230, блочные трансформаторы и шины КРУЭ обозначены вершинами графа, элегазовые выключатели и разъединители — ребрами.

Следует отметить, что пространство состояний расчетного графа на рис. 3, имеет значительную сложность. Для упрощения пространства состояний схемы будем использовать понятие сечения, базирующегося на понятии отказа, и понятие минимального сечения (МС). Критерием отказа является нарушение связи между генерацией и системой. Под сечением понимают некоторое множество элементов, отказ которых приводит к отказу системы. Под минимальным сечением (МС) понимают такое множество эле-

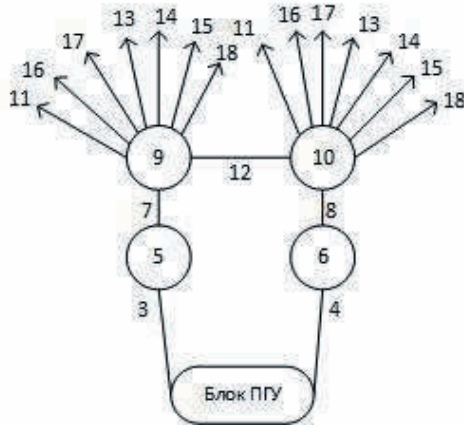


Рис. 3. Расчетный граф

ментов, отказ которых приводит к отказу системы, причем восстановление нормального состояния одного элемента, входящего в это множество, восстанавливает работу системы. Другими словами, понятие сечения позволяет разделить пространство состояний на множество элементов, находящихся в нормальном состоянии и на множество отказавших элементов. Причем минимальное сечение (МС) отличается от сечения тем, что для восстановления работоспособного состояния системы необходимо восстановить работу только одного элемента. По сути, под минимальным сечением (МС) здесь понимают не одно сечение, а некоторый класс сечений.

Важно отметить, что минимальное сечение (МС) относится к оборудованию (элементам) схемы, но оно связано с некоторым минимальным состоянием, в котором находится оборудование (элемент). Некоторый набор оборудования, составляющий минимальное сечение (МС), позволяет разделить пространство состояний на два класса: класс отказавшего оборудования и класс оборудования, находящегося в нормальном состоянии, причем минимальное сечение содержит очевидный путь перехода от состояния отказа к состоянию нормальной работы всей схемы.

На основе методики, изложенной в [2, 3], сформируем классы минимальных сечений (МС), состоящие из одного и двух элементов, для графа, представленного на рис. 3. Результаты поместим в табл. 1. Класс J_2 содержит один элемент, классы J_3, J_4, J_5, J_6 — два элемента.

Из рисунка 3 и табл. 1 видно, что отказ элементов минимального сечения (МС) приводит к отказу всей системы выдачи мощности, а восстановление в работе хотя бы одного элемента класса восстанавливает работу всей системы.

Классы минимальных сечений (МС) схемы выдачи мощности

Класс	Элементы класса
J_2	12
J_3	10-11, 11-8, 7-2, 7-8, 7-6, 5-8, 7-4, 5-6, 3-8, 5-4, 3-6, 3-2, 1-4, 1-2
J_4	1-8, 9-4, 2-7, 10-3
J_5	11-2, 13-1
J_6	5-10, 6-9, 1-6, 2-5

Для минимальных сечений, представленных в табл. 1, задают минимальные состояния отказа:

$$MC(J_2) = \{I_S\}$$

$$MC(J_3) = \{IRKR\}, \{IMKR\}, \{IXKR\}, \{IRKX\}, \{IRKM\}$$

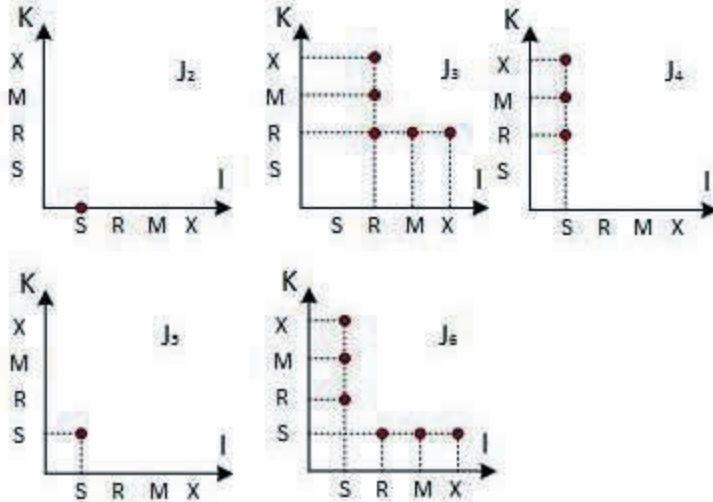
$$MC(J_4) = \{ISKR\}, \{ISKX\}, \{ISKM\}$$

$$MC(J_5) = \{ISK_S\}$$

$$MC(J_6) = \{ISKR\}, \{ISKX\}, \{ISKM\}, \{IRKS\}, \{IXKS\}, \{IMKS\}$$

Запись $MC(J_2) = \{I_S\}$ нужно понимать так: минимальное сечения класса J_2 , в котором элемент I , представляющий множество элементов, находится в состоянии S .

Запись минимальных сечений (МС) всех классов табл. 1 можно интерпретировать графически через соответствующие минимальные состояния. Представленные состояния в графическом виде отображают на рис. 4.

Рис. 4. Графический вид МС-состояний для классов МС-сечений J_2, J_3, J_4, J_5, J_6

Оси координат на рис. 4, обозначенные буквами K и I , соответствуют элементам схемы, а значения, обозначенные буквами X, M, R, S , соответствуют состояниям элементов. Сами рисунки для различных классов поясним на примере класса J_5 , который означает, что элемент K находится в состоянии S и элемент I находится в состоянии S .

Все присоединения выполнены через разъединители, входящие в состав КРУЭ и элегазовых генераторных распределительных устройств, их показатели надежности в расчете не учитывают, они соответствуют абсолютно надежному элементу системы, который дает нулевой вклад в результирующие показатели надежности [3]. Для классов минимальных сечений (МС) табл. 1 рассчитывают вероятность состояний отказа системы P и средний параметр потока отказов f . Информацию о надежности элементов берут из [4, 5, 6] и помещают в табл. 2.

Таблица 2

Принятые исходные данные

Элемент	λ_{NS}	λ_{NM}	λ_{NX}	T_{SR}	T_{RN}	T_{MN}	T_{XN}
Блок ПГУ	0,78	0,236	0,472	2,0	163	54	22
КРУЭ	0,0073	0,0457	0,083	0,2	384	192	22
Трансформатор блочный	0,028	1	2	2	74	30	16
Элегазовый вы- ключатель 10–20кВ	0,003	0,02	0,03	0,2	11	7,6	3
Элегазовый вы- ключатель 110кВ	0,0037	0,0223	0,041	0,2	37	28,9	16

Вклад минимальных сечений (МС) табл. 1 в вероятность состояния отказа системы рассчитывают по выражениям (1)—(5) на основе [2, 3]:

$$P_2(J_2) = P(I_S) = \lambda_{NS}(I)T_{SR}(I); \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
 P_3(J_3) &= \{P(I_R K_M) + P(I_R K_X)\} + P(I_R K_R) + \{P(I_M K_R) + P(I_X K_R)\} = \\
 &= \left\{ \frac{\lambda_{NS}(I)T_{RN}(I)\lambda_{NM}(K)T_{MN}^2(K)}{T_{MN}(K) + T_{RN}(I)} + \frac{\lambda_{NS}(I)T_{RN}(I)\lambda_{NX}(K)T_{XN}^2(K)}{T_{XN}(K) + T_{RN}(I)} \right\} + \\
 &+ \lambda_{NS}(I)T_{RN}(I)\lambda_{NS}(K)T_{RN}^2(K) + \\
 &\left\{ \frac{\lambda_{NM}(I)T_{RN}(K)\lambda_{NS}(K)T_{MN}^2(I)}{(T_{MN}(I) + T_{RN}(K))} + \frac{\lambda_{NX}(I)T_{RN}(K)\lambda_{NS}(K)T_{XN}^2(I)}{(T_{XN}(I) + T_{RN}(K))} \right\}; \quad (2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_4(J_4) &= \{P(I_S K_M) + P(I_S K_X)\} + P(I_S K_R) = \\
&= \left\{ \frac{\lambda_{NS}(I)T_{RS}(I)\lambda_{NM}(K)T_{MN}^2(K)}{(T_{MN}(K) + T_{SR}(I))} + \frac{\lambda_{NS}(I)T_{SR}(I)\lambda_{NX}(K)T_{XN}^2(K)}{(T_{XN}(K) + T_{SR}(I))} \right\} + (3) \\
&+ \lambda_{NS}(I)T_{SR}(I)\lambda_{NS}(K)T_{RN}^2(K);
\end{aligned}$$

$$P_5(J_5) = P(I_S K_S) = \lambda_{NS}(I)T_{SR}(I)\lambda_{NS}(K)T_{SR}(K); \quad (4)$$

$$\begin{aligned}
P_6(J_6) &= \{P(I_S K_M) + P(I_S K_X)\} + P(I_S K_R) + P(I_R K_S) + \\
&+ \{P(I_M K_S) + P(I_X K_S)\} = \\
&= \left\{ \frac{\lambda_{NS}(I)T_{RS}(I)\lambda_{NM}(K)T_{MN}^2(K)}{(T_{MN}(K) + T_{SR}(I))} + \frac{\lambda_{NS}(I)T_{SR}(I)\lambda_{NX}(K)T_{XN}^2(K)}{(T_{XN}(K) + T_{SR}(I))} \right\} + (5) \\
&+ \lambda_{NS}(I)T_{SR}(I)\lambda_{NS}(K)T_{RN}(K) + \lambda_{NS}(I)T_{RN}(I)\lambda_{NS}(K)T_{SR}(K) + \\
&+ \left\{ \frac{\lambda_{NM}(I)\lambda_{NS}(K)T_{SR}(K)T_{MN}^2(I)}{(T_{MN}(I) + T_{SR}(K))} + \frac{\lambda_{NX}(I)\lambda_{NS}(K)T_{SR}(K)T_{XN}^2(I)}{(T_{XN}(I) + T_{SR}(K))} \right\}.
\end{aligned}$$

Вклад минимальных сечений (МС) табл. 1 в средний параметр потока отказов системы рассчитывают по выражениям (6)—(10) на основе [2, 3]:

$$f_2(J_2) = f(I_S) = \lambda_{NS}(I); \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
f_3(J_3) &= \{f(I_R K_M) + f(I_R K_X)\} + f(I_R K_R) + \{f(I_M K_R) + f(I_X K_R)\} = \\
&= \{\lambda_{NS}(I)\lambda_{NM}(K)T_{MN}(K) + \lambda_{NS}(I)\lambda_{NX}(K)T_{XN}(K)\} + \\
&+ \lambda_{NS}(I)\lambda_{NS}(K)(T_{RN}(I) + T_{RN}(K)) + \\
&+ \{\lambda_{NM}(I)\lambda_{NS}(K)T_{MN}(I) + \lambda_{NX}(I)\lambda_{NS}(K)T_{XN}(I)\}; \quad (7)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
f_4(J_4) &= \{f(I_S K_M) + f(I_S K_X)\} + f(I_S K_R) = \\
&= \{\lambda_{NS}(I)\lambda_{NM}(K)T_{MN}(K) + \lambda_{NS}(I)\lambda_{NX}(K)T_{XN}(K)\} + \\
&+ \lambda_{NS}(I)\lambda_{NS}(K)(T_{SR}(I) + T_{RN}(K)); \quad (8)
\end{aligned}$$

$$f_5(J_5) = f(I_S K_S) = \lambda_{NS}(I)\lambda_{NS}(K)(T_{SR}(K) + T_{SR}(I)); \quad (9)$$

$$\begin{aligned}
f_6(J_6) &= \{f(I_S K_M) + f(I_S K_X)\} + f(I_S K_R) + f(I_R K_S) + \\
&+ \{f(I_M K_S) + f(I_X K_R)\} = \\
&= \{\lambda_{NS}(I)\lambda_{NM}(K)T_{MN}(K) + \lambda_{NS}(I)\lambda_{NX}(K)T_{XN}(K)\} + \\
&+ \lambda_{NS}(I)\lambda_{NS}(K)(T_{SR}(I) + T_{RN}(K)) + \\
&+ \lambda_{NS}(I)\lambda_{NS}(K)(T_{RN}(I) + T_{SR}(K)) + \\
&+ \lambda_{NM}(I)\lambda_{NS}(K)T_{MN}(I) + \lambda_{NX}(I)\lambda_{NS}(K)T_{XN}(I).
\end{aligned} \tag{10}$$

В выражениях (1)—(10) для элементов I, K приняты обозначения: λ_{NS} — интенсивность отказов; λ_{NM} — интенсивность капитального ремонта; λ_{NX} — интенсивность текущего ремонта; T_{SR} — среднее время переключений; T_{RN} — среднее время аварийного ремонта; T_{MN} — среднее время капитального ремонта; T_{XN} — среднее время текущего ремонта [2].

Результаты расчета структурной надежности схемы выдачи мощности блоком ПГУ-230 сведены в табл. 3.

Таблица 3

Результирующие показатели надежности блока ПГУ-230

Сумма по классам	$f(1/\text{год})$	P
J_2	7300×10^{-6}	178.082×10^{-6}
J_3	1318.69×10^{-6}	12.9328×10^{-6}
J_4	1194.77×10^{-6}	0.26755×10^{-6}
J_5	1.52794×10^{-6}	0.0000317×10^{-6}
J_6	1300.85×10^{-6}	0.270392×10^{-6}
ИТОГО:	1194.77×10^{-6}	$13.4707317 \times 10^{-6}$

В таблице 3 по строкам указаны минимальные сечения, в столбцах — средний параметр потока отказов схемы f и вероятности состояния отказа схемы P .

На основе представленной методики были получены количественные показатели структурной надежности схемы выдачи мощности блоком ПГУ-230. Вероятность состояния отказа схемы составляет $13.4707317 \times 10^{-6}$, средний параметр потока отказов схемы — 1194.77×10^{-6} . Время безотказной работы составит $1/f \approx 90$ лет, что является высоким показателем надежности и удовлетворяет условиям эксплуатации схемы выдачи мощности блоком ПГУ-230.

Для уменьшения вычислительных затрат расчет структурной надежности схемы выдачи мощности блоком ПГУ-230 требуется автоматизировать.

Значительное влияние на показатели структурной надежности схем выдачи мощности оказывают количество и номинальная мощность генерирующего оборудования, параметр потока отказов которого возрастает с увеличением номинальной мощности.

Литература

1. **Эндрени Дж.** Моделирование при расчетах надежности в электроэнергетических системах: пер. с англ.: под ред. Ю.Н. Руденко. М.: Энергоатомиздат, 1983. 336 с.
2. **Гришкевич А.А.** Комбинаторные методы исследования экстремальных структур математических моделей электрических цепей и систем: Монография. Челябинск: ЮУрГУ, 2004. 258 с.
3. **Степкина Ю.В., Гришкевич А.А.** Надежность систем электроснабжения: учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2005. 91 с.
4. **Руденко Ю.Н.** Надежность систем энергетики и их оборудования. Справочник: В 4-х т. / под общей ред. Ю.Н. Руденко. Т. 2. Надежность электроэнергетических систем. Справочник / под ред. М.Н. Розанова. М.: Энергоатомиздат, 2000. 568 с.
5. **Evaluation of total cycle cost of GIS substation and development of portable diagnosis devise / T. Shimato, H. Yonezava, T. Nakajima. etc.** CIGRE, 2000. P. 23—107.
6. **Report on the second international survey on high voltage gas insulated substations (GIS) service experience / T.M. Cyan, F. Heil, D. Kopejtkova etc.** CIGRE, 2000. P. 23—102.

*В.Д. Костюков, kostyukovvlad@yandex.ru,
Д.А. Кретов, dmitry.kretov@gmail.com,
ФГБОУ ВО «ТГУ», г. Тольятти*

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЕРИОДА ОКУПАЕМОСТИ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Ключевое место в генерации электрической энергии (ЭЭ) занимают тепловые электростанции (ТЭС): согласно отчета СО ЕЭС за 2019 г. [1] на их долю приходится 62,8 % общей выработки ЭЭ по стране. Установленная мощность ТЭС на базе газотурбинных установок составляет 5,15 % суммарной мощности ТЭС ЕЭС России [2].

Промышленность — один из основных потребителей вырабатываемой тепловой и электрической энергии. Рост нагрузок потребителей сопровождается необходимостью увеличения генерирующих мощностей имеющихся электростанций, поиском дополнительных резервов, а также разработкой и реализацией комплекса мероприятий, направленных на эффективное

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

<i>Гальперова Е.В., Мазурова О.В.</i> Методический подход к прогнозированию спроса на электроэнергию с учетом региональных особенностей в условиях роста неопределенности	3
<i>Гнатюк В.И.</i> Комплексная оценка процесса электропотребления техноценоза на основе исследования рангового гиперпараметрического распределения	11
<i>Кивчун О.Р.</i> Управление электропотреблением энергосистемы на основе мониторинга результатов процедур рангового анализа	21
<i>Старкова А.Ю., Чегодаев А.А., Насыров Р.Р.</i> Перспективы развития распределенной энергетики в Российской Федерации	29
<i>Кангожин Б.Р., Даутов С.С., Избасарулы Н.</i> Развитие электрических сетей южного региона Казахстана	36
<i>Хлебцов А.П., Зайнутдинова Л.Х., Шилин А.Н.</i> Анализ современного состояния аварийности силового электрооборудования трансформаторных подстанций на примере Астраханской области	43
<i>Баширов М.Г., Баширова Э.М., Хуснутдинова И.Г.</i> Электромагнитный спектральный метод диагностики генераторов электростанций	50
<i>Соснина Е.Н., Шумский Н.В., Семенов И.И.</i> О разработке ААСУ ИРПМ для распределительных электрических сетей сложной конфигурации	57
<i>Каракулова Ю.Ю.</i> Выравнивание оптовых тарифов на электроэнергию по территории энергосистемы	62
<i>Хорьков С.А.</i> Методология принципа самоподобия в исследовании электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия	65
<i>Исаев А.С., Фатюшина Е.Ю.</i> Методические проблемы организации учебных курсов в СДО	72
Секция 2. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МЕТОДЫ, ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ	
<i>Гнатюк В.И., Иващенко А.А.</i> Методика МС-прогнозирования в оценке эффективности расходования энергетических ресурсов организационно-технических систем западного сектора Арктики России	79
<i>Птицын Д.В., Птицына Е.В., Кувалдин А.Б.</i> Эффективные режимы систем обогрева	91

<i>Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Исаева Т.М.</i> Об оптимальном управлении шунтирующими реакторами линии электропередачи	98
<i>Андреева Е.Г., Семина И.А.</i> Энергоэффективные магнитные системы открытого типа для обработки и управления наножидкостями.....	107
<i>Кувалдин А.Б., Федин М.А., Кулешов А.О., Кондрашов С.С., Чень Б.</i> Структурная модель высокочастотного индукционного нагревателя для синтеза нанопорошков	112
<i>Шураханова С.Е., Жармагамбетова М.С.</i> Энергосбережение и повышение энергоэффективности — ключи для решения проблем в электроэнергетике.....	118
<i>Денисова А.Р., Савин Н.А., Афонина Н.К.</i> Энергоэффективная система автоматического регулирования светового потока светодиодных светильников	121
<i>Иванова Г.С., Егоров М.С.</i> Влияние качества электрической энергии на электрические источники света	127
<i>Саввин Н.Ю.</i> Повышение энергоэффективности пластинчатых теплообменников в инженерном оборудовании зданий	129
<i>Маркелова О.В., Сандаков В.Д.</i> Сравнительный анализ электрических озонаторов для очистки газовых сред промышленных предприятий.....	132
<i>Федин М.А., Кувалдин А.Б., Кулешов А.О., Жмурко И.Е., Кондрашов С.С., Кислов А.П.</i> Разработка методики расчета индукционной установки для оплавления коррозионно-стойких покрытий	139
<i>Лепешкин А.Р., Кувалдин А.Б., Ремизов А.Е., Фетисов М.В.</i> Особенности применения индукционного нагрева при исследованиях элементов теплообменников.....	146
<i>Денисова А.Р., Сидоров А.Е., Закирова З.Р.</i> Перспектива модернизации системы освещения в промышленных отраслях с применением светодиодных источников света	151
<i>Володарский М.В., Семеренко А.А., Муругов И.К., Кошарная Ю.В.</i> Интеллектуальные системы учета электроэнергии — современные требования	156
Секция 3. РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ, ОРГАНИЗАЦИЙ И УЧРЕЖДЕНИЙ	
<i>Ершов М.С., Мелик-Шахназарова И.А., Малахов А.С.</i> Моделирование цифровой защиты промышленной электротехнической системы	160
<i>Ершов М.С., Чернев М.Ю., Чумаченко В.В.</i> Обзор и совершенствование анализа электромагнитной обстановки в системе электроснабжения объекта нефтепереработки	166

<i>Крюков О.В., Саушев А.В.</i> Методология вейвлет-преобразования при анализе автоматизированных электроприводов	174
<i>Вахнина В.В., Горохов И.В.</i> Оценка дополнительных потерь активной мощности в однофазном силовом автотрансформаторе при воздействии квазипостоянных токов.....	178
<i>Вахнина В.В., Бычков А.В., Федяй О.В.</i> Анализ воздействия квазипостоянного тока на блок синхронный генератор — силовой трансформатор	182
<i>Дайнеко А.В.</i> Анализ влияния геоиндуцированного тока на искажение синусоидальной формы кривой напряжения на шинах силового трансформатора.....	187
<i>Белашов В.Ю.</i> К вопросу о дифракции низкочастотного электромагнитного поля на проводящих объектах ЭЭС	191
<i>Старкова А.Ю., Тульский В.Н.</i> Разработка аппаратно-программного комплекса «Система оценки надежности воздушных линий электропередачи»	199
<i>Сергеева М.М., Самойлов А.А.</i> Устройство повышения пропускной способности воздушных линий электропередачи за счет учета термической нагрузки	205
<i>Младзиевский Е.П., Рыжкова Е.Н.</i> Применение комбинированного заземления нейтрали как способ борьбы с перенапряжениями при больших расстройках компенсации	208
<i>Золин Д.С.</i> Анализ перспектив внедрения средств автоматизации в области управления системами заземления нейтрали в сетях среднего напряжения.....	215
<i>Лыков Ю.Ф.</i> Сеть 0,4 кВ с изолированной нейтралью для питания собственных нужд подстанций	222
<i>Бутырин П.А., Гусев Г.Г., Михеев Д.В., Карпунина М.В., Кваснюк А.А., Шакирзянов Ф.Н.</i> Функциональные схемы электротехнических устройств на основе катушки-конденсатора (каткона).....	228
<i>Бутырин П.А., Гусев Г.Г., Михеев Д.В., Карпунина М.В., Кваснюк А.А., Шакирзянов Ф.Н.</i> Проектирование электротехнических устройств на основе каткона	241
<i>Белогловский А.А., Белоусов С.В., Таратонкина К.И.</i> Изучение лавинно-стримерных переходов в воздухе средствами математического моделирования. Часть I: Оценка критического числа электронов в лавинах	255
<i>Белогловский А.А., Глушкова А.Е., Галимова А.В.</i> Изучение лавинно-стримерных переходов в воздухе средствами математического моделирования. Часть II: Исследование процесса перехода	263

<i>Белова О.С., Темников А.Г., Черненский Л.Л.</i> Исследование радиальной стримерной короны разряда между искусственной грозовой ячейкой и землей. Электрические характеристики.....	270
<i>Белова О.С., Темников А.Г., Черненский Л.Л.</i> Исследование влияния радиальной стримерной короны на спектральные характеристики разряда между искусственной грозовой ячейкой и землей	278
<i>Немировский А.Е., Кичигина Г.А., Сергиевская И.Ю., Мищенко Д.Н.</i> Устройство электроосмотической сушки изоляции обмоток электродвигателей 0,4 кВ для экспериментальных исследований.....	285
<i>Денисова А.Р., Фархутдинов А.Р.</i> Внедрение систем АСКУЭ на подстанциях ПАО «Татнефть» с использованием устройства i-TOR	290
<i>Татевосян А.А.</i> Расчет и проектирование тихоходного синхронного магнитоэлектрического двигателя в составе привода длинноходового одноступенчатого поршневого компрессора	294
<i>Жабборов Т.К., Исмоилов И.К.</i> Анализ статической и динамической устойчивости электроэнергетических систем с использованием системы математического моделирования и описание исследуемого объекта в среде Simulink.....	302
<i>Гараев И.З., Иванова В.Р.</i> Технические аспекты применения частотных преобразователей	303
<i>Абубьярова Д.И., Сандаков В.Д.</i> Сравнительный анализ линейных шаговых двигателей для промышленных предприятий	308
<i>Тимонин А.С.</i> Способ защиты систем электроснабжения TN—С—S путем трансформации в систему TT с помощью защитного вводного разнономинального коммутационного аппарата.....	315
<i>Булычева Е.А., Янченко С.А.</i> Генератор трюичной импульсной последовательности для определения источников несинусоидальности в электрических сетях.....	319
<i>Мейсам И.</i> Предпосылки для использования электропередач постоянного тока в Сирии	325
<i>Кузнецова А.М., Вихров М.Е.</i> Классификация приемников электроэнергии по характеру функционирования на постоянном токе.....	326
<i>Записочный Е.Д., Кулага М.А.</i> Мероприятия по улучшению качества электроэнергии в сети объекта с дуговыми сталеплавильными печами.....	328
<i>Кутейников П.Д., Кулешова Г.С.</i> Уточнение значений поправочного коэффициента при выборе сечений проводников	336

**Секция 4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОБСТВЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ
ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.
НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**

<i>Анисимова Н.А., Варганова А.В.</i> Прогнозирование оптимальных режимов работы промышленных энергоузлов с собственными тепловыми электростанциями и потреблением мощности из энергосистемы	341
<i>Газизова О.В., Соколов А.П.</i> Особенности регулирования напряжения на промышленных электростанциях при различной реактивной нагрузке генератора	346
<i>Хорьков С.А., Преснухин В.К., Зарипов Т.Ф.</i> Исследование структурной надежности схемы выдачи мощности блоком ПГУ-230.....	351
<i>Костюков В.Д., Кретов Д.А.</i> Техничко-экономический анализ периода окупаемости газотурбинных установок	359
<i>Аверьянов Д.А., Бурмейстер М.В., Булатов Р.В., Ильин С.В.</i> Влияние мобильных газотурбинных электрических станций на условия динамической устойчивости энергообъединения	367
<i>Ковалев А.А., Панченко В.А.</i> Комбинированное использование возобновляемых источников энергии для производства энергоносителей.....	371
<i>Зиновьев В.В., Бартенов О.А.</i> Модельно-экспериментальное исследование солнечных фотоэлектрических преобразователей на основе W-функции Ламберта для прямой и обратной ветви вольт-амперной характеристики	378
<i>Шестакова В.В.</i> Изучение последствий производства и эксплуатации солнечных фотоэлектрических панелей.....	387
<i>Рудаков А.И., Спиридонов Р.Р., Киселев И.Н.</i> Современное состояние и перспективы развития двигателей внешнего сгорания (машин Стирлинга).....	392
<i>Саввин Н.Ю., Гарбузов Д.Д., Калашиников Д.А., Роцубкин П.В., Сингатулин Р.С., Сапрыка В.А.</i> Перспективы использования ротора Савониуса при создании компактных генераторных установок	398
<i>Сангов Х.С., Исмоилов Ф.О.</i> Обеспечение электроэнергией труднодоступных, малонаселенных и удаленных регионов Республики Таджикистан	403
<i>Титова Г.Р., Байбиченков А.Р.</i> Применение гибридных электротехнических комплексов для электроснабжения инфраструктуры Крайнего Севера	413
<i>Эльбазуров А.Р., Титова Г.Р.</i> Критерии оценки использования ветроэнергетики в системе электроснабжения в селе Каргалинская Чеченской Республики	419
<i>Шалухо А.В., Эрдили Н.И., Власов А.С.</i> Разработка мультиагентного подхода для управления системой с распределенной генерацией.....	425
<i>Семеренко А.А., Муругов И.К., Володарский М.В., Кошарная Ю.В.</i> Оценка условий функционирования активных энергетических комплексов	428