



ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Ежемесячный производственно-технический журнал

УЧРЕДИТЕЛИ:

МИНЭНЕРГО РОССИИ, ПАО "ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЕТЕВАЯ КОМПАНИЯ ЕЭС",
КОРПОРАЦИЯ "ЕДИНЫЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС", НТФ "ЭНЕРГОПРОГРЕСС",
НП "НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ ЕЭС"

11 Ноябрь
2019

Издается с августа 1944 года

Москва, НТФ "Энергопрогресс"

СОДЕРЖАНИЕ

Проекты и исследования		Хорьков С. А. Тратат о ценозе	37
Сазыкин В. Г., Багметов А. А. Оптимизация электрической сети по показателям надежности SAIDI, SAIFI с использованием платформы PSS@SINCAL	2	Альтернативные источники энергии	
Куликов А. Л., Соснина Е. Н., Крюков Е. В., Колесников А. А. Дифференциальная защита системы тиристорного регулятора напряжения с применением метода двойной записи	10	Щербак А. П., Тишков С. В., Каргинова-Губинова В. В. Перспективы развития солнечной энергетики на севере России	43
Ибрагимов Н. Ю. Термическое разрушение силикатного покрытия трубы	21	Охрана труда	
Экономия энергетических ресурсов		Халин Е. В. Требования к системам электронного обучения безопасности производства	47
Карелин А. Н., Карелин Е. Н. Управление режимами электроснабжения судоремонтного предприятия	24	Хроника	
Общая и прикладная ценология		Жуков В. В., Минеев В. Ф. Интеграция цифровизации в электроэнергетику в тематике докладов сессии СИГРЭ 2020 г.	53
Сизганова Е. Ю., Южанников А. Ю. Оценка энергоэффективности крупной торговой сети	30		



ПРОЕКТЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ

Оптимизация электрической сети по показателям надежности SAIDI, SAIFI с использованием платформы PSS®SINCAL

Сазыкин В. Г., доктор техн. наук, Багметов А. А., магистр, аспирант
Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина

Рассмотрена возможность использования платформы PSS®SINCAL на примере поиска решений в повышении основных показателей надежности распределительных электрических сетей для реализации основных направлений концепции “Цифровая трансформация 2030”. Заложенные инструменты позволяют осуществить и автоматизировать расчеты определения места размещения реклоузера в сети по основным количественным показателям надежности электроснабжения. Аппроксимация и оптимизация результатов дают возможность более точно указать место установки реклоузера, добиваясь при этом сокращения времени поиска повреждений. Использование платформы PSS®SINCAL позволяет визуально контролировать оптимальные результаты при варьировании исходных данных.

Ключевые слова: платформа PSS®SINCAL, цифровая трансформация, распределительная электрическая сеть, надежность, показатели SAIDI и SAIFI, реклоузер.

К одному из направлений принятой в ПАО “Россети” концепции “Цифровая трансформация 2030” [1] относится переход к управлению на основе внедрения цифровых технологий, обеспечивающих: наблюдаемость сетевых объектов и показателей их работы; автоматизацию проектирования и ведения технологических процессов; построение цифровой модели сети и информационное взаимодействие с потребителями и субъектами электроэнергетики; интеграцию и объединение различных информационных систем на иерархических уровнях; сокращение сроков проектирования и технологического присоединения. Для реализации подобного направления цифровизации необходимы системы: отображения информации на карте местности; цифрового проектирования электрических сетей; обучения персонала; моделирования режимов работы сетей. Перечисленные требования позволяют реализовать программное обеспечение на платформе PSS®SINCAL (Power System Simulation ® Siemens Network Calculation — Моделирование энергетических систем ® Сетевые вычисления Сименс) [2], не имеющей пока полных отечественных аналогов. Авторами данной статьи осуществляется наработка оптимальных проектных решений распределительных электрических сетей (РЭС) напряжением 6 – 10 кВ для достижения наибольшего уровня надежности на ос-

нове моделирования и расчетов, выполненных с помощью платформы PSS®SINCAL.

К наиболее протяженным РЭС в ПАО “Россети”, а также в его дочерних и зависимых обществах относятся линии электропередачи (ЛЭП) напряжением 6 – 10 кВ, на которые приходится основная масса отказов при электроснабжении потребителей. Подобные РЭС в большинстве случаев представляют собой сложные разветвленные радиальные линии с ответвлениями и подключенными потребителями трансформаторными подстанциями напряжением 6 – 10/0,4 кВ (рис. 1).

В настоящее время одним из эффективных мероприятий при проектировании, эксплуатации и реконструкции РЭС считается установка на воздушных линиях (ВЛ) секционированного реклоузера с целью обеспечения и повышения надежности при сетевых повреждениях [3, 4], поэтому рассматриваемые в статье мероприятия не связаны с операциями повышения режимной надежности. Реклоузер представляет собой высоковольтный вакуумный выключатель, располагаемый на одной-двух опорах, с децентрализованно работающей релейной защитой и автоматикой [5, 6]. Использование реклоузеров повышает надежность распределительной сети за счет:

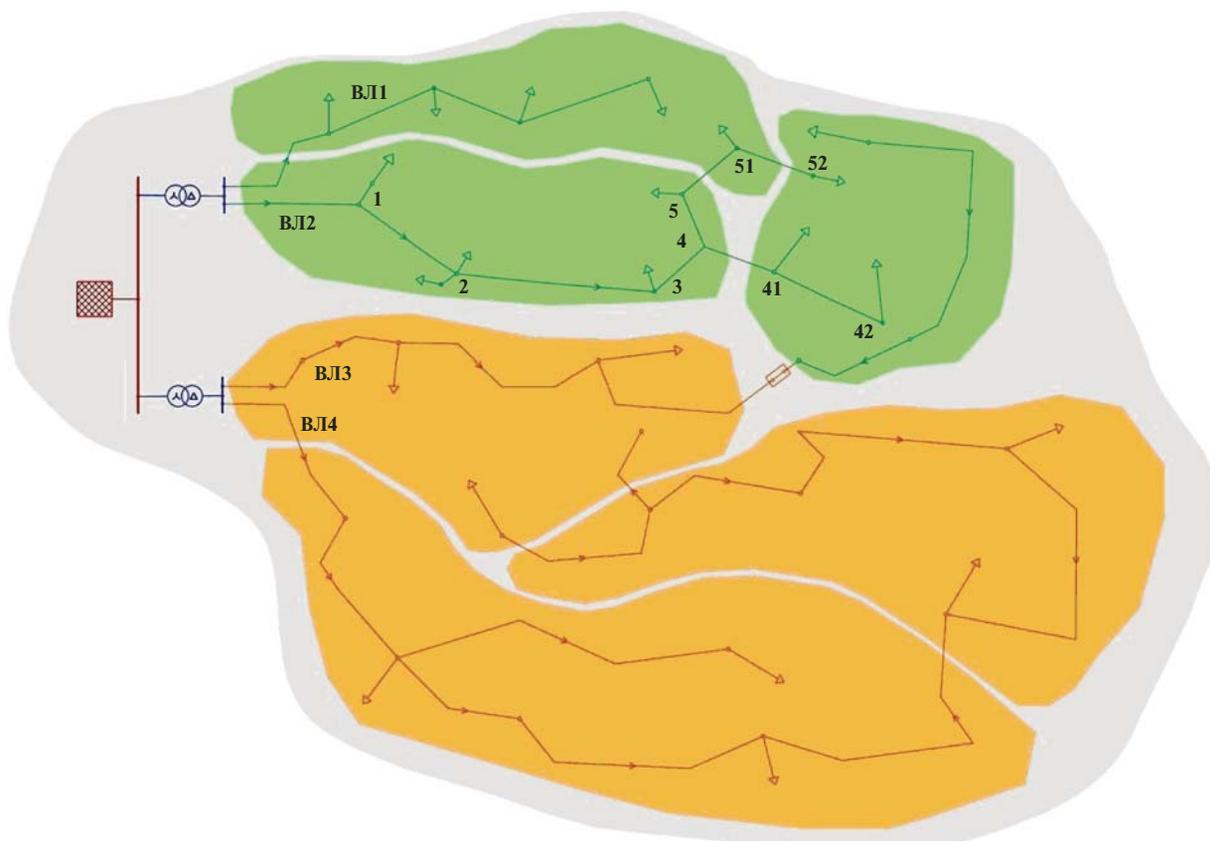


Рис. 1. План разветвленных радиальных линий напряжением 6 – 10 кВ, изображенный с помощью платформы PSS®SINCAL

сокращения числа отключений ВЛ при неустойчивых повреждениях, что позволяет устранить их переход в устойчивые. Практически 80 % повреждений ВЛ начинаются неустойчивыми в виде схлестывания и касания проводов при порывах ветра. Успешность последовательных циклов автоматического повторного включения (АПВ) уменьшает число длительных отключений соответственно на 60, 20 и 5 %;

уменьшения зоны воздействия повреждения, что позволяет отключать только аварийные участки ВЛ, обеспечивая электроснабжение неповрежденных участков;

минимизации продолжительности ликвидации повреждения в процессе выполнения необходимых операций: поиска и выделения аварийного участка; восстановления электроснабжения потребителей неповрежденных участков; поиска места повреждения на отключенном участке; выполнения ремонтных работ и восстановления первоначальной схемы питания.

Большая часть времени восстановления электроснабжения в сети затрачивается на поиск, локализацию, отключение и восста-

новление питания потребителей неповрежденных участков ВЛ. Установка реклоузеров дает возможность автоматизировать этот продолжительный этап, сокращая общее время восстановления первоначальной схемы питания практически на 60 % [7].

Основные положения по определению количества и места установки реклоузеров приведены в стандарте организации [7] и рассмотрены авторами в статье [8].

Обоснованность рассматриваемых технических мероприятий по повышению надежности подтверждается расчетами среднего значения (математического ожидания) количества внезапных отключений конечного потребителя в течение года [9] и практическими результатами, например, на предприятии “Карелэнерго” [10], которое при использовании реклоузеров получило экономический эффект от снижения эксплуатационных расходов и уменьшения недоотпуска электрической энергии. Продолжительность окупаемости реклоузеров составила 7,5 лет. Приведенный в работе [11] расчет капитальных вложений и эксплуатационных затрат для длинных ВЛ, проходящих через лесные массивы и болоти-

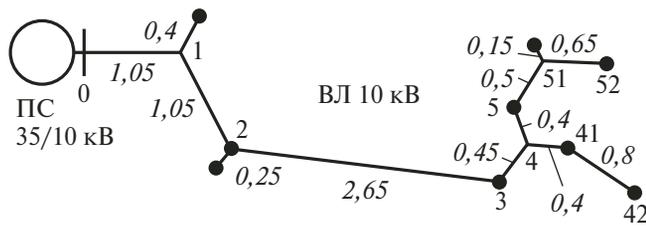


Рис. 2. Схема разветвленной радиальной линии ВЛ10 кВ по плану на рис. 1 (точками показаны места подключения потребительских ТП 10/0,4 кВ; курсивом обозначена длина участков ВЛ; обычным шрифтом обозначены расчетные узлы нагрузки)

стую местность, показывает, что применение реклоузеров в распределительных сетях 6–10 кВ является не только перспективным, но и экономически оправданным мероприятием. При этом в [7] показаны ограничения по средней эффективности применения реклоузеров, требуемых для повышения надежности в общем случае: один-два на радиальном фидере и три-четыре реклоузера на кольцевом фидере.

В связи с переходом отечественной электроэнергетики на рыночные механизмы взаимоотношений осуществлено введение количественных показателей надежности в дополнение к нормативным. Нормативные показатели надежности, закрепленные в Правилах устройства электроустановок [12], предусматривают три категории в зависимости от требований к надежности и времени устранения повреждений, выделяя при этом в первую категорию особую группу электроприемников. Использование количественных показателей надежности расширило возможность для более полного и объективного учета интересов всех участников рынка электроэнергии.

При оценке эффективности работы распределительных сетевых компаний ПАО «Россети» с 2017 г. использует количественные показатели надежности $SAIDI = \Pi_{SAIDI}$ (System Average Interruption Duration Index — системный показатель средней длительности перерывов электроснабжения, ч/год) и $SAIFI = \Pi_{SAIFI}$ (System Average Interruption Frequency Index — системный показатель средней частоты перерывов электроснабжения, год⁻¹) [3, 6, 8]:

$$SAIDI = \Pi_{SAIDI} = \frac{\sum_j T_j \cdot N_j}{N_t}, \quad (1)$$

где T_j — продолжительность j -го прекращения передачи электрической энергии потребителям

при технологическом нарушении, ч; N_j — количество точек поставки (узлов), в которых произошло j -е прекращение передачи электрической энергии при технологическом нарушении, единиц; N_t — максимальное в год число точек поставки (узлов), единиц в год;

$$SAIFI = \Pi_{SAIFI} = \frac{\sum_j N_j}{N_t}. \quad (2)$$

Продолжительность отключения потребителей:

$$T_j = \omega_0 T_L L^2 \cdot 10^{-2}, \quad (3)$$

где ω_0 — удельное количество отключений потребителя, единиц на 100 км в год; T_L — среднее удельное время восстановления ВЛ при повреждении, ч/км; L — длина линии, км.

Количественные показатели перерывов электроснабжения $SAIDI$ и $SAIFI$ являются наиболее объективными для различных классов напряжения электрических сетей, сравнительно показывая эффективность эксплуатации электросетевого оборудования различными компаниями [6, 13].

В протяженных РЭС с множеством ответвлений определение оптимального места расположения секционирующего реклоузера согласуется в большинстве случаев с оптимальными (минимальными) значениями основных количественных показателей надежности. В статьях [14, 15] показан выбор оптимального узла для установки реклоузера в радиальной ВЛ по критерию $SAIDI = \Pi_{SAIDI}$. Однако в большинстве случаев размещение реклоузера в расчетном узле нагрузки не приводит к полной минимизации перерывов электроснабжения. Проанализируем это более подробно, выполняя моделирование и расчеты с помощью платформы PSS@SINCAL.

Рассмотрим разомкнутую ВЛ10 кВ напряжением 10 кВ (рис. 2) с техническими характеристиками, приведенными в [15]: линия питается от районной подстанции ПС; головной выключатель $Q_{ПС}$ отходящего от центра питания фидера оснащен максимальной токовой релейной защитой.

Секционирующий реклоузер Q_R разделяет РЭС на две части (рис. 3). Первая часть ВЛ 10 кВ $L1$ защищается от короткого замыкания KI релейной защитой головного выключателя фидера $Q_{ПС}$, вторая часть ВЛ $L2$ за-

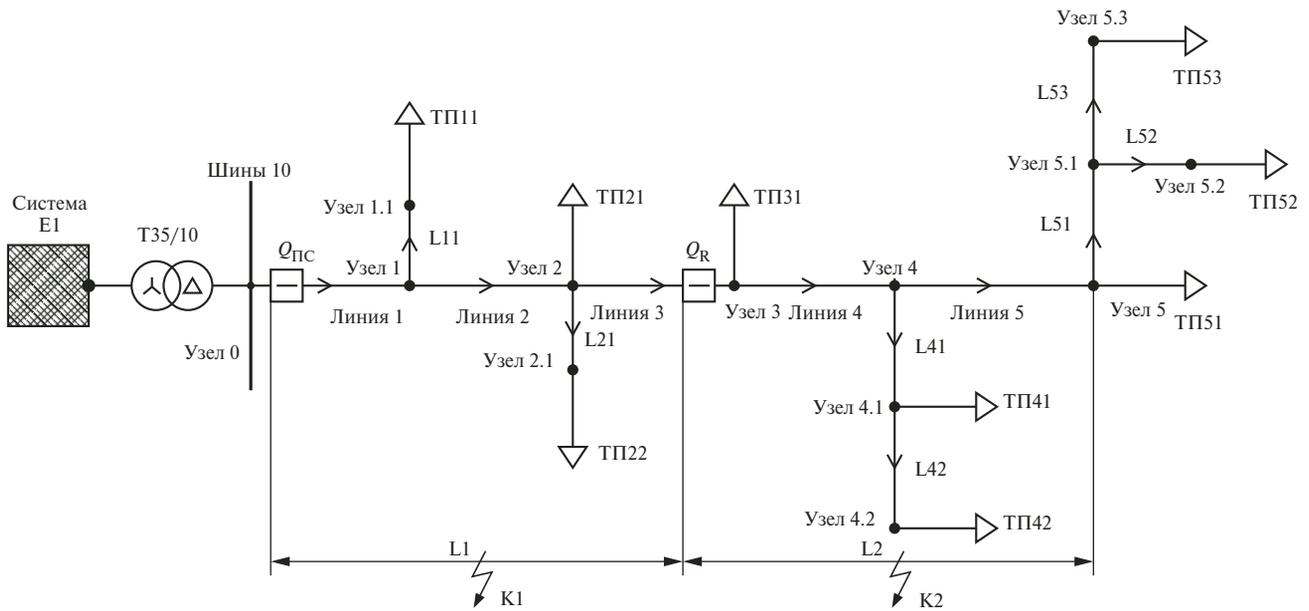


Рис. 3. Расчетная схема ВЛ 10 кВ, выполненная в среде платформы PSS@SINCAL, и зоны действия защит подстанционного выключателя $Q_{ПС}$ и секционирующего реклоузера Q_R

щищается от короткого замыкания $K2$ релейной защитой реклоузера Q_R .

Распределения годовой длительности отключений потребителей на соответствующих участках ВЛ ($L1$ и $L2$) согласно выражению (3) составляют:

$$T_1 = \omega_0 T_L \cdot L_1^2 \quad \text{и} \quad T_2 = \omega_0 T_L \cdot L_2^2.$$

Показатель $SAIDI$ является суммой средней продолжительности прекращения передачи электрической энергии на участках рассматриваемой РЭС:

$$SAIDI = T_1 + T_2. \quad (4)$$

Результаты расчетов показателя $SAIDI$ в узлах возможного расположения реклоузера приведены в табл. 1. По ним построен график зависимости рассчитанных значений

$SAIDI_{L1, L2}$ (рис. 4, кривая 1) от номера узла X (варианта) места установки реклоузера.

В соответствии с полученными результатами “оптимальным” местом расположения реклоузера среди дискретных узлов будет узел нагрузки 3 со значением $SAIDI = 7,27$ ч/год.

В результате аппроксимации кривой 1 и нахождения ее экстремума (например, методом Ньютона – Рафсона [16] с помощью платформы PSS@SINCAL) получена парабола 2 с минимальным значением $SAIDI = 7,1$ ч/год в точке X_{min} . При наличии поопорной схемы рассматриваемой ВЛ можно более точно указать место установки реклоузера, понизив полученное значение $SAIDI$ с целью сокращения времени поиска повреждений.

Аналогично выполняется определение места установки реклоузера для критерия $SAIFI$. По расчетным значениям в табл. 2 по-

Таблица 1

Расчетные показатели ВЛ 10 кВ длиной $L_{\Sigma} = 8,75$ км

L_1/L_2 , км	T_1/T_2 , ч/год	$SAIDI$, ч/год
$L_{01}/L_{15} = 1,45/7,3$	$T_{01}/T_{15} = 0,38/9,59$	9,97
$L_{02}/L_{25} = 2,75/6$	$T_{02}/T_{25} = 1,36/6,48$	7,84
$L_{03}/L_{35} = 5,4/3,35$	$T_{03}/T_{35} = 5,25/2,02$	7,27
$L_{04}/L_{441} = 7,05/1,7$	$T_{04}/T_{441} = 8,95/0,52$	9,47
$L_{05}/L_{551} = 7,45/1,3$	$T_{05}/T_{551} = 9,99/0,3$	10,3

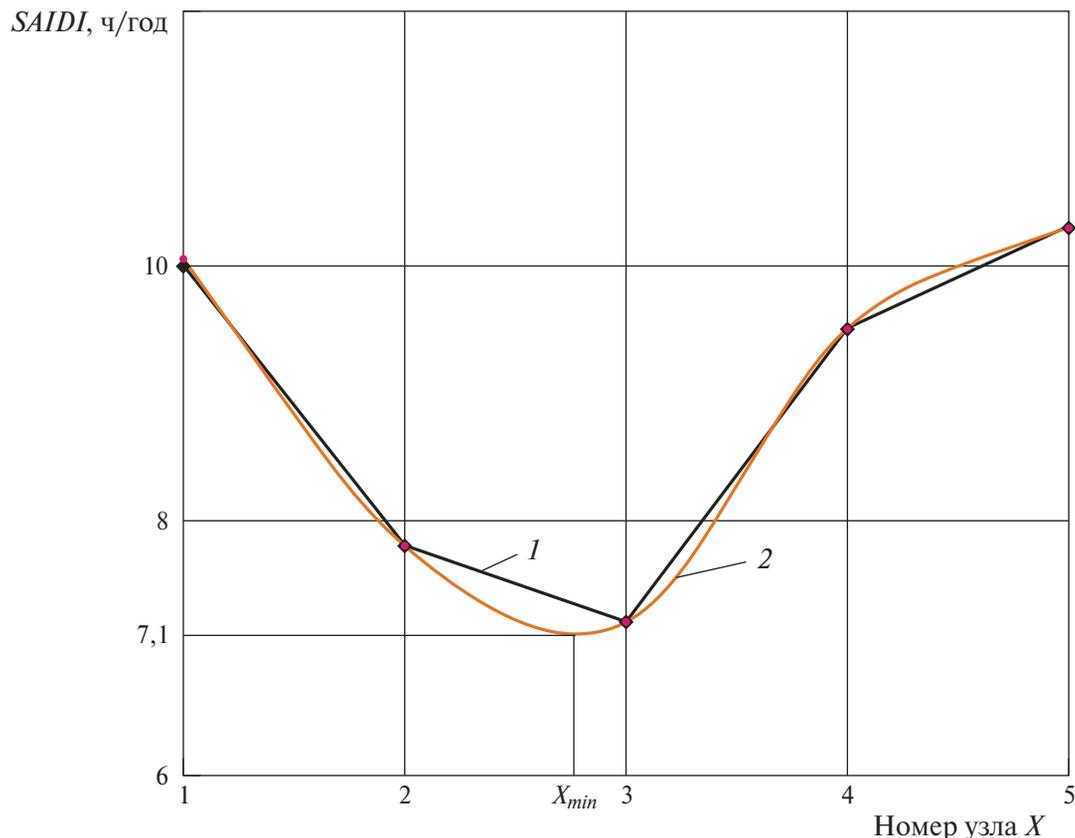


Рис. 4. Графики зависимостей показателя *SAIDI*: 1 — от номера узла X (варианта) места установки реклоузера; 2 — аппроксимированная зависимость

строены и аппроксимированы графики зависимости (рис. 5) и определен вариант места установки реклоузера X_{min} как результат пересечения кривых $SAIFI_{L1, L2}$.

Поскольку в соответствии с выражением (4) показатель *SAIDI* является суммой средней продолжительности прекращения передачи электрической энергии на участках ВЛ, то его значение в ЛЭП (см. рис. 2) для

суммарной длины $L_{\Sigma} = 8,75$ км составляет 13,8 ч/год. Установка реклоузера в точке X_{min} между вторым и третьим узлами нагрузки соответствует значению критерия $SAIDI = 7,1$ ч/год. Таким образом, установка реклоузера в расчетной точке позволяет сократить удельную продолжительность годового отключения потребителей на 48,6 % без учета работы АПВ реклоузера. При этом точка установки X_{min} дает возможность сбалансировать количество отключений потребителей на участках L_1 и L_2 на $0,5 \text{ год}^{-1}$ (см. рис. 5).

Используемая в проводимом исследовании платформа PSS@SINCAL обладает значительными возможностями для оптимизационных расчетов и дружественным интерфейсом, позволяющим визуально контролировать оптимальные результаты при варьировании исходных данных (рис. 6).

Подобный инструмент оптимизации ЛЭП обеспечивает визуализацию различных параметров в области расчетных схем, графически окрашивая их, что важно при обсуждении результатов и обучении персонала. В платформе PSS@SINCAL [2, 16] доступны следующие типы интерполяции: вес зоны

Таблица 2

Изменение показателя надежности *SAIFI* в зависимости от места установки секционирующего реклоузера

Номер узла	Значения $SAIFI_{L1, L2}$	
	Участок L_1	Участок L_2
1	0,166	0,834
2	0,314	0,686
3	0,617	0,383
4	0,806	0,194
5	0,851	0,149

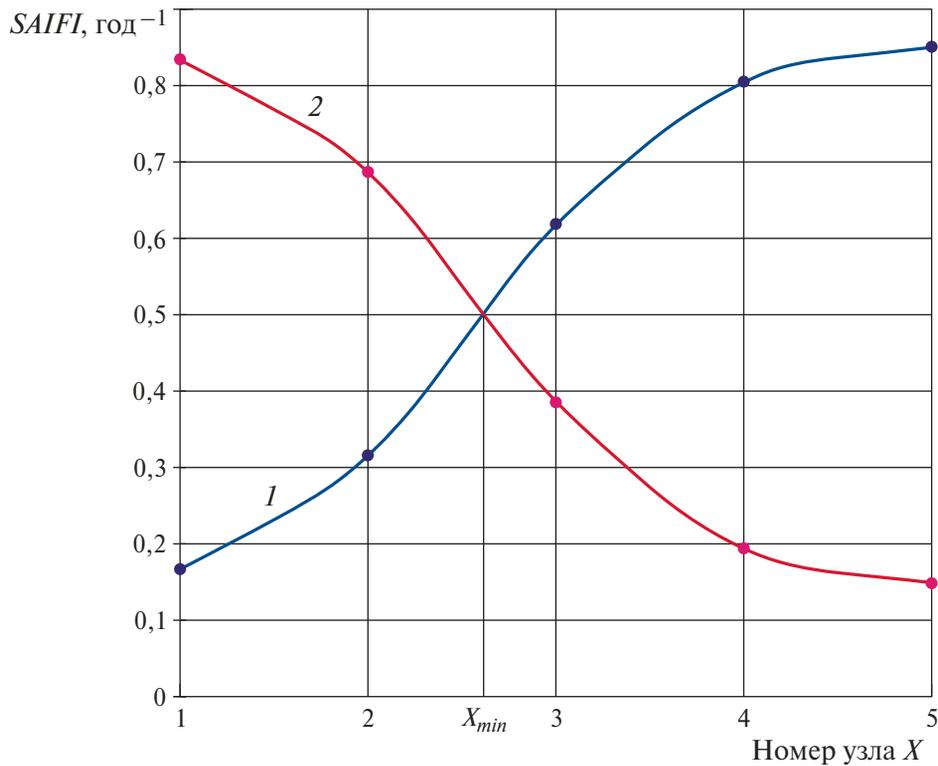


Рис. 5. Графики аппроксимированных зависимостей показателя $SAIFI$ от номера узла X : 1 — $SAIFI_{L_1}$; 2 — $SAIFI_{L_2}$

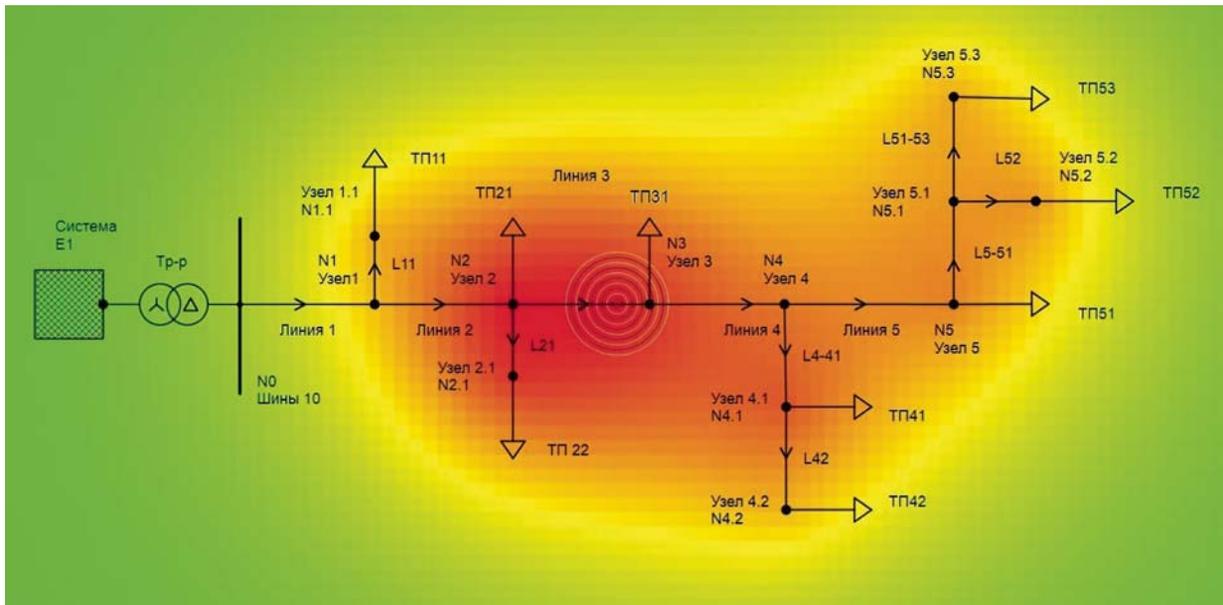


Рис. 6. Цветовая подсветка распределения показателя $SAIDI$ и оптимального места установки реклоузера

(специальный метод визуализации нагрузки); Шепард (местный); Кригинг; квадратичный; квадратичная инверсия; тонкая пластина сплайнов; Лапласа/Пуассона и др.

Выводы

1. Используемая в поиске решений по улучшению основных количественных показателей

надежности РЭС платформа PSS®SINCAL отвечает требованиям направления концепции “Цифровая трансформация 2030”.

2. Платформа PSS®SINCAL, в частности, позволяет осуществить и автоматизировать расчеты по определению места размещения реклоузера в РЭС по основным количественным показателям надежности электроснабжения ВЛ — критериям $SAIDI$ и $SAIFI$, ис-

пользуя возможность построения планов и схем РЭС в собственной среде.

3. Аппроксимация и оптимизация полученных результатов дают возможность более точно указать место установки реклоузера, в котором минимизируются значения *SAIDI* и *SAIFI* в результате сокращения времени поиска повреждений.

4. Платформа PSS@SINCAL позволяет визуально контролировать оптимальные значения при варьировании исходных данных, что упрощает аргументацию при обсуждении результатов и облегчает возможность понимания сложных явлений при обучении персонала.

Список литературы

1. Концепция “Цифровая трансформация 2030”. — М.: ПАО “Россети”, 2018.
2. Платформа PSS@SINCAL. Техническое описание. Siemens AG. — М.: ООО “Сименс”, 2017.
3. Андрикеева, С. А. Оптимизация использования автоматических пунктов секционирования для повышения надежности распределительной сети и электроснабжения потребителей / С. А. Андрикеева, А. М. Гельфанд, В. Р. Дубонос, В. Г. Наровлянский, О. А. Пшеничникова, А. Л. Толмачев // Электрические станции. — 2016. — № 8. — С. 30 – 34.
4. Attari, S. K. A. A Novel Method Based on Teaching-Learning-Based Optimization for Recloser Placement with Load Model Consideration in Distribution System / S. K. A. Attari, M. Bakhshipour, M. Shakarami, F. Namdari // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. — 2016. — Vol. 2. — No. 1. — Pp. 1 – 10.
5. Максимов, Б. К. Оценка эффективности автоматического секционирования воздушных распределительных сетей 6(10) кВ с применением реклоузеров с целью повышения надежности электроснабжения потребителей / Б. К. Максимов, В. В. Воротницкий // Электротехника. — 2005. — № 10. — С. 7 – 22.
6. СТО 34.01-2.2-032–2017. Линейное коммутационное оборудование 6 – 35 кВ — секционирующие пункты (реклоузеры). Т. 1.1 “Общие данные”. — М.: ПАО “Россети”, 2017.
7. СТО 34.01-2.2-033–2017. Линейное коммутационное оборудование 35 кВ — секционирующие пункты (реклоузеры). Т. 1.2 “Секционирующие пункты (реклоузеры)”. — М.: ПАО “Россети”, 2017.
8. Сазыкин, В. Г. Критерии оптимизации места установки реклоузера в распределительной сети 6 – 10 кВ / В. Г. Сазыкин, А. Г. Кудряков, А. А. Багметов // Электротехнические системы и комплексы. — 2018. — № 1(38). — С. 33 – 39.
9. Терешко, О. А. Расчет показателей надежности электроснабжения конечных потребителей / О. А. Терешко // Электроэнергия. Передача и распределение. — 2016. — № 3(36). — С. 48 – 52.
10. Чурсин, В. Реклоузеры: насколько это выгодно? / В. Чурсин // Кабель-News. — 2009. — № 3. — С. 22 – 23.

11. Гришин, Д. А. Экономическая эффективность применения вакуумных реклоузеров серии РВА/TEL / Д. А. Гришин, Т. М. Василькова. В сб.: Труды Костромской государственной сельскохозяйственной академии / ФГБОУ ВО “Костромская ГСХА”. — Каравеево. — 2016. — С. 141 – 147.
12. Правила устройства электроустановок, изд. 7-е. — М.: ЭНАС, 2013.
13. Неганов, Л. Концепция системы мониторинга показателей бесперебойности электроснабжения потребителей МО / Л. Неганов, В. Тульский, Б. Олексюк // Электроэнергия. Передача и распределение. — 2016. — № 1(34). — С. 30 – 35.
14. Zou, K. SAIDI Minimization of a Remote Distribution Feeder / K. Zou, W. W. Keerthipala, S. Perera // Conference Proceedings of the 2007. Australasian Universities Power Engineering Conference: AUPEC 2007. — Pp. 342 – 346.
15. Иваницова, Н. Ю. Схемная оптимизация электрической сети по показателю средней продолжительности прекращения передачи электрической энергии / Н. Ю. Иваницова, В. Г. Сазыкин, А. А. Багметов // Промышленная энергетика. — 2019. — № 3. — С. 12 – 17.
16. PSS@SINCAL 15.0. System Manual. Instructions for the PSS SINCAL User Interface. — Erlangen: Published by SIEMENS AG, 2018. — 825 p.

References

1. Kontseptsiya “Tsifrovaya transformatsiya 2030” (The concept of “Digital Transformation 2030”), Moscow, PJSC Rosseti, 2018.
2. Platforma PSS@SINCAL. Tekhnicheskoe opisanie. Siemens AG (PSS@SINCAL platform. Technical description. Siemens AG), Moscow, Siemens LLC, 2017.
3. Andrikeeva S. A., Gelfand A. M., Dubonos V. R., Narovlyansky V. G., Pshenichnikova O. A., Tolmachev A. L. Elektricheskie stantsii (Electrical stations), 2016, No. 8, pp. 30 – 34.
4. Attari S. K. A., Bakhshipour M., Shakarami M., Namdari F. A Novel Method Based on Teaching-Learning-Based Optimization for Recloser Placement with Load Model Consideration in Distribution System. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 2016, Vol. 2, No. 1, pp. 1 – 10.
5. Maximov B. K., Vоротnitsky V. V. Elektrotehnika (Electrical Engineering), 2005, No. 10, pp. 7 – 22.
6. СТО 34.01-2.2-032–2017. Lineinoe kommutatsionnoe oborudovanie 6 – 35 kV-sektsioniruyushchie punkty (reklouzery) T.1.1 “Obshchie dannye” (STO 34.01-2.2-032–2017. Line switching equipment 6 – 35 kV — sectioning points (reclosers), T. 1.1 “General data”), Moscow, PJSC Rosseti, 2017.
7. СТО 34.01-2.2-033–2017. Lineinoe kommutatsionnoe oborudovanie 35 kV-sektsioniruyushchie punkty (reklouzery) T. 1.2 “Sektzioniruyushchie punkty (reklouzery)” (STO 34.01-2.2-033–2017. 35 kV linear switching equipment - sectioning points (reclosers). T. 1.2 “Sectioning points (reclosers)”), Moscow, PJSC Rosseti, 2017.
8. Sazykin V. G., Kudryakov A. G., Bagmetov A. A. Elektrotehnicheskie sistemy i kompleksy (Electrotechnical systems and complexes), 2018, No. 1(38), pp. 33 – 39.

9. Tereshko O. A. **Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie** (Electricity. Transmission and distribution), 2016, No. 3(36), pp. 48 – 52.
10. Chursin V. **Kabel'-News** (Cable-News), 2009, No. 3, pp. 22 – 23.
11. Grishin D. A., Vasilkova T. M. **Ekonomicheskaya effektivnost' primeneniya vakuumnykh reklozherov serii PBA/TEL. Trudy Kostromskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii** (Economic efficiency of using vacuum reclosers of the PBA/TEL series. Proceedings of the Kostroma State Agricultural Academy), Karavaevo, FGBOU VO "Kostromskaya GSKhA", 2016, pp. 141 – 147.
12. **Pravila ustroystva elektroustanovok, izd. 7-e** (Electrical Installation Rules, ed. 7th), Moscow, ENAS, 2013.
13. Neganov L., Tulsky V., Oleksyuk B. **Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie** (Electricity. Transmission and distribution), 2016, No. 1(34), pp. 30 – 35.
14. Zou K., Keerthipala W. W., Perera S. **SAIDI Minimization of a Remote Distribution Feeder. Conference Proceedings of the 2007. Australasian Universities Power Engineering Conference: AUPEC 2007**, pp. 342 – 346.
15. Ivannikova N. Yu., Sazykin V. G., Bagmetov A. A. **Promyshlennaya energetika** (Industrial power engineering), 2019, No. 3, pp. 12 – 17.
16. **PSS@SINCAL 15.0. System Manual Instructions for the PSS SINCAL User Interface**, Erlangen, publ. SIEMENS AG, 2018, 825 p.

powel@mail.ru

Optimization of the electrical network by SAIDI and SAIFI reliability indicators using the PSS@SINCAL platform

Sazykin V. G., Bagmetov A. A.

The possibility of using the PSS@SINCAL platform is considered by the example of tweaking the solutions providing an increase in the main indicators of the reliability of electrical distribution facilities to implement the main guidelines of the concept "Digital Transformation 2030". The available built-in automatic provisions afford ground for automation of the calculations providing determination of the recloser location in the network according to the main quantitative indicators of the reliability of power supply. Approximation and optimization of the results ensure more accurate localization of the recloser, along with reduction in the time of fault finding. Using of the PSS@SINCAL platform allows visual control of the optimal results when varying the initial data.

Keywords: PSS@SINCAL platform, digital transformation, electrical distribution network, reliability, SAIDI and SAIFI indicators, recloser.

Ориентировочные расценки на информационно-рекламные услуги (без учета НДС)

1-я страница обложки	полноцветная	75 000 руб.
2-я и 3-я страницы обложки	полноцветные	45 000 руб.
4-я страница обложки	полноцветная	50 000 руб.
Одна страница формата А4 внутри журнала	полноцветная	40 000 руб.
	черно-белая	30 000 руб.
1/2 страницы внутри журнала	полноцветная	20 000 руб.
	черно-белая	15 000 руб.
Двухсторонний вкладыш, изготовленный заказчиком	полноцветный или черно-белый	20 000 руб.

Дифференциальная защита системы тиристорного регулятора напряжения с применением метода двойной записи

Куликов А. Л., Соснина Е. Н., доктора техн. наук, Крюков Е. В., канд. техн. наук
Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

Колесников А. А.

ООО “Альтаир”, Нижний Новгород

Тиристорный регулятор напряжения (ТРН) — инновационное интеллектуальное устройство с тиристорным управлением. Он предназначен для оперативного регулирования напряжения и потоков мощности в распределительной электрической сети 6–20 кВ. Для защиты ТРН от токов КЗ предложена система, основанная на дифференциальном принципе с использованием метода двойной записи. Предлагаемый подход к обработке информации о токах, измеряемых на концах защищаемых объектов, позволяет обеспечить надежную работу дифференциальной защиты (ДЗ) и исключить ее излишние действия в случае повреждения трансформатора тока. Статья посвящена исследованию двух возможных вариантов системы защиты: централизованной и распределенной ДЗ. Доказана целесообразность применения системы с централизованной ДЗ.

Ключевые слова: тиристорный регулятор напряжения, регулировочные характеристики, дифференциальная защита, двойная запись, зона защиты, контроль исправности трансформаторов тока, матрица, надежность релейной защиты, теория графов, централизованная защита.

Интеллектуализация распределительных электрических сетей, основанная на широком внедрении технологий Smart Grid, является одной из ключевых задач программ модернизации электроэнергетики [1]. Для успешной реализации данного направления необходима разработка устройств, обладающих функциями активно-адаптивного управления параметрами и конфигурацией электрических сетей.

В частности, таким устройством является тиристорный регулятор напряжения (ТРН), принцип действия которого основан на совместном использовании продольного (изменение значения) и поперечного (изменение фазы) регулирования напряжения [2, 3]. Упрощенная электрическая схема силовой части ТРН приведена на рис. 1. Основные элементы системы ТРН: шунтовой $T1$, силовые трансформаторы $T2–T4$, тиристорные коммутаторы (ТК) модулей продольного ($VS9–VS16$) и поперечного ($VS1–VS8$) регулирования.

Модуль поперечного регулирования вводит в линию изменяемую по значению ЭДС, сдвинутую на $\pm 90^\circ$ относительно фазного напряжения источника, что позволяет изменять поток активной мощности. Модуль продольного регулирования вводит в линию изменяемую по значению ЭДС, совпадающую или находящуюся в противофазе с фазным напряжением источника. Это позволяет изменять поток реактивной мощности или стабилизировать напряжение сети.

Первичные обмотки шунтового трансформатора $T1$ подключены к линейному напряжению сети 6–20 кВ. Его вторичные обмотки через тиристорные коммутаторы модулей поперечного и продольного регулирования подключены к первичным обмоткам силовых трансформаторов $T2–T4$. Вторичные обмотки силовых трансформаторов, включенные в рассечку линии 6–20 кВ, вносят в нее продольно-поперечную составляющую напряжения, регулируемую тиристорными коммутаторами по фазе и значению.

Тиристорные коммутаторы вынесены в цепи вторичных обмоток шунтового трансформатора и находятся под низким напряжением. Кроме того, для работы устройства не требуется наличие заземленной нейтрали на стороне высокого напряжения. Указанное обстоятельство позволяет использовать рассматриваемое схемное решение в сетях среднего напряжения, характеризующихся отсутствием нейтрального провода.

Управление тиристорами ТРН осуществляется импульсно-фазовым способом [4]. Применение данного способа позволяет переводить ТРН в непроводящее состояние, тем самым меняя конфигурацию распределительной сети, а также оптимизировать напряжение в узлах нагрузки. Используется способ двухзонного поочередного управления ТРН, который не требует применения датчика тока. Поэтому регулировочные свойства ТРН

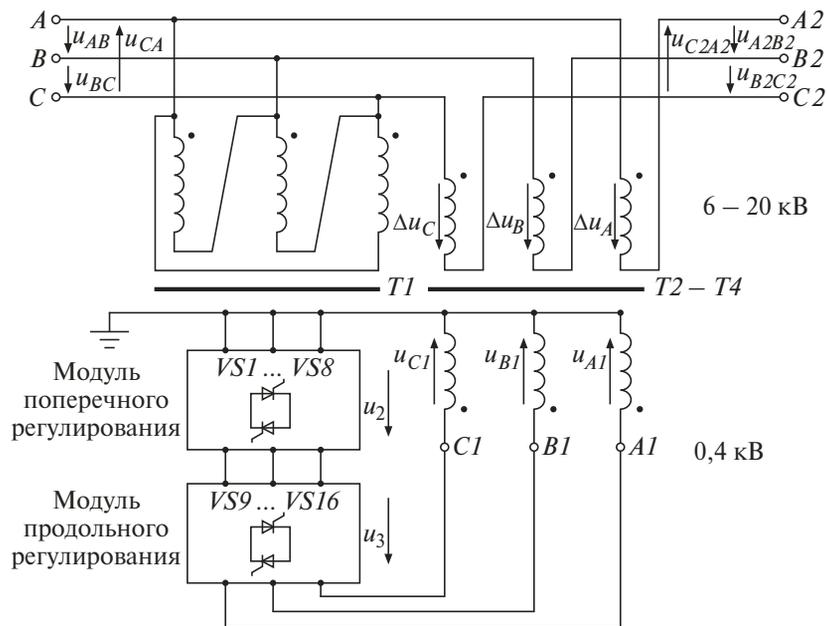


Рис. 1. Упрощенная электрическая схема силовой части ТРН

сохраняются при глубоком изменении значения и фазы тока нагрузки.

При разработке ТРН одна из актуальных задач — реализация релейной защиты его элементов от токов КЗ. В качестве защит, обладающих одновременно чувствительностью, высоким быстродействием и селективностью, применяются дифференциальные защиты [5, 6].

Можно выделить два варианта организации дифференциальной защиты (ДЗ): централизованный (функции ДЗ элементов электроустановки выполнены с помощью одного терминала) и децентрализованный (распределенные ДЗ), когда функции защиты возлагаются на терминалы отдельных элементов.

Дифференциальная защита, в частности, предлагается рядом авторов [7, 8] для реализации защиты фазоповоротных трансформаторов, являющихся близкими по устройству с ТРН. Общие недостатки предлагаемых подходов — сложность их технической реализации и отсутствие эффективного алгоритма контроля неисправности трансформаторов тока, необходимого для корректной работы ДЗ. Также следует отметить, что установка комплектов защиты на каждом элементе — достаточно дорогостоящее решение.

Цель исследования — разработка централизованной дифференциальной защиты (ЦДЗ) ТРН, обладающей более высокими показателями надежности и имеющей большую экономическую целесообразность по сравнению

с распределенными дифференциальными защитами отдельных элементов.

Реализация защиты ТРН

Предлагаемая защита ТРН основана на дифференциальном принципе в сочетании с методом двойной записи [9 – 12]. С помощью организации избыточной обработки информации о токах, измеренных на концах защищаемых объектов и сформированных в специальные матрицы, реализуется надежное функционирование ДЗ с исключением ее излишних действий при повреждениях трансформаторов тока (ТТ). При обнаружении КЗ и отсутствии неисправности ТТ происходит отключение поврежденного участка. При обнаружении неисправности ТТ выдается сигнал о ее возникновении.

Для пояснения принципа выполнения защиты рассмотрим участок электрической сети 10 кВ с ТРН (рис. 2) и построим для него однонаправленный граф (рис. 3) с вершинами и дугами [13, 14], где вершинами $V1 - V6$ представляются шины, трансформаторы, ТК, а дугами $e_1 - e_6$ — ветви ТТ и выключателей. Дуги отображают факты коммутации и имеют вес, представляющий собой информацию о значении протекающего по ветви тока.

Зададимся матричным представлением графа [15, 16]. Каждую вершину V_k (где k — номер вершины) графа будем представлять специальной матрицей $MV_k = \|mvk_{i,j}\|$ размером $p \times 2$, где p — число вершин графа. Ко-

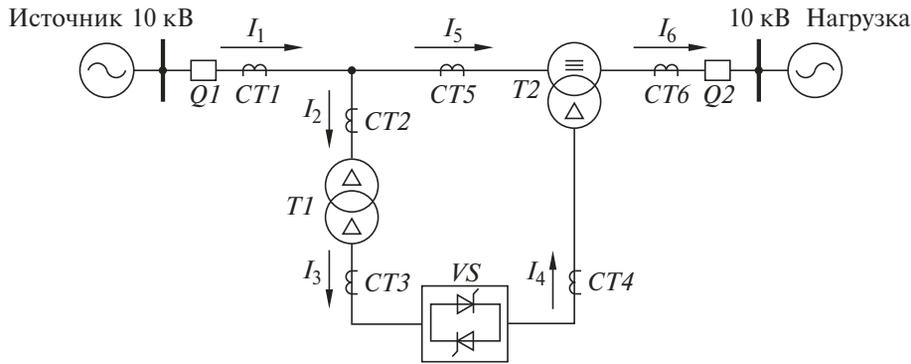
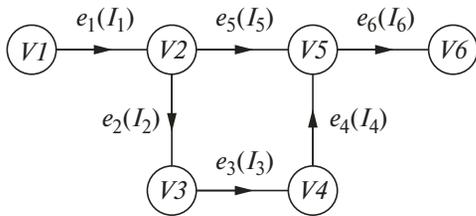


Рис. 2. Однолинейная схема участка сети 10 кВ с ТРН



$$MV4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ I_3 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & I_4 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; MV5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ I_5 & 0 \\ 0 & 0 \\ I_4 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & I_6 \end{bmatrix}; MV6 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ I_6 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Рис. 3. Однонаправленный граф для участка сети 10 кВ с ТРН

личество строк матрицы соответствует числу вершин графа, а в столбцы вносится информация о дугах, смежных данной вершине, как направленных к ней, так и исходящих из нее. В первый (левый) столбец вносится информация о весах дуг, направленных к рассматриваемой вершине, а во второй (правый) — направленных от нее.

Элементы матрицы $mvk_{i,j}$, составленной для вершины V_k , определяются следующим образом:

$$mvk_{ij} = \begin{cases} I_q, & \text{если вершины } V_k \text{ и } V_i \text{ смежные} \\ & \text{и дуга } e_q \text{ весом } I_q \\ & \text{направлена от } V_i \text{ к } V_k \text{ для } j=1; \\ I_q, & \text{если вершины } V_k \text{ и } V_i \text{ смежные} \\ & \text{и дуга } e_q \text{ весом } I_q \\ & \text{направлена от } V_k \text{ к } V_i \text{ для } j=2; \\ 0, & \text{если вершины } V_k \text{ и } V_i \text{ не смежные.} \end{cases} \quad (1)$$

Для схемы на рис. 2 и графа (рис. 3) имеем следующие матрицы токов:

$$MV1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & I_1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; MV2 = \begin{bmatrix} I_1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & I_2 \\ 0 & 0 \\ 0 & I_5 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; MV3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ I_2 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & I_3 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix};$$

Применение двойной записи обеспечивает взаимосвязь между вершинами графа, что позволяет объединить их в единую систему. Каждая дуга графа отражается с одинаковым весом в матрицах токов дважды: как дуга, связанная с вершиной и направленная к ней одной матрицы, и как дуга, связанная с вершиной и направленная от нее другой матрицы. Записывая значение каждого веса дуги для разных матриц дважды, можно осуществить проверку правильности данных о токах.

Для этого составим матрицы входящих CI и исходящих CO токов. Матрица CI размерностью $p \times p$ формируется путем последовательного заполнения по столбцам из левых столбцов матриц токов, а CO — из правых столбцов матриц токов:

$$CI = \sum_{k=1}^p (MV_k \times A_k); \quad (2)$$

$$CO = \sum_{k=1}^p (MV_k \times B_k), \quad (3)$$

где p — число вершин графа; A_k — матрица размером $2 \times p$, служащая для преобразования матрицы MV_k в матрицу размером $p \times p$, в которой $ak_{i,1} = 1$ при $i = k$, а остальные элементы равны нулю; B_k — матрица размером $2 \times p$, служащая для преобразования матрицы MV_k в матрицу размером $p \times p$, в которой $bk_{2,j} = 1$ при $j = k$, а остальные элементы равны нулю.

Для рассматриваемого примера матрица входящих токов:

$$CI = \begin{bmatrix} 0 & I_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I_2 & 0 & I_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

а матрица исходящих токов:

$$CO = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ I_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & I_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & I_5 & 0 & I_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I_6 & 0 \end{bmatrix}.$$

Выражение для CO можно также получить путем транспонирования CI . Тогда в основе проверки правильности данных о токах будет лежать соблюдение равенства

$$CI^T - CO = 0,$$

где 0 — нулевая матрица, размером $p \times p$.

Определение поврежденного элемента реализуется следующим образом. Защитой выполняется сравнение токов по дифференциальному принципу для каждой зоны защиты. Защищаемые элементы представляются вершинами графа и описываются матрицами токов MV_k . В соответствии с дифференциальным принципом при отсутствии повреждения сумма токов, входящих и исходящих из узла, равна нулю. Сумма токов, неравная нулю, свидетельствует о наличии КЗ. Утверждение справедливо для всех вершин графа со степенью > 1 , представляющих зоны защиты. Применительно к рассматриваемой схеме такими вершинами являются $V2$, $V3$, $V4$ и $V5$.

С целью проверки наличия тока КЗ для всех вершин графа, представляющих шины, трансформаторы, ТК, составляются уравнения для суммы токов SMV_k в узле V_k :

$$SMV_k = C \times MV_k \times D = 0, \quad (4)$$

где $C = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$ — вектор размером $1 \times p$, служащий для суммирования токов в различных узлах; $D = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$ — вектор размером 2×1 , служащий для итогового суммирования в узле.

В развернутой форме выражение (4) принимает следующий вид:

$$[1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1] \times MV_k \times \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} = 0. \quad (5)$$

Например, для вершины $V2$ графа (см. рис. 3) сумма токов в узле:

$$SMV2 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1] \times \begin{bmatrix} I_1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & I_2 \\ 0 & 0 \\ 0 & I_5 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} = I_1 - I_2 - I_5.$$

Условиями наличия КЗ в соответствующей зоне действия защиты будут:

на ошиновке 10 кВ, соответствующей вершине графа $V2$,

$$SMV2 = I_1 - I_2 - I_5 \neq 0; \quad (6)$$

на шунтовом трансформаторе, соответствующем вершине графа $V3$,

$$SMV3 = I_2 - I_3 \neq 0; \quad (7)$$

на ТК, соответствующих вершине графа $V4$,

$$SMV4 = I_3 - I_4 \neq 0; \quad (8)$$

на серийном трансформаторе, соответствующем вершине графа $V5$,

$$SMV5 = I_5 + I_4 - I_6 \neq 0. \quad (9)$$

Для корректной работы ЦДЗ необходимо определить, вызвано ли срабатывание пускового органа защиты КЗ либо имеет место неисправность оборудования в контуре измерений токов (трансформаторов тока) или системы коммуникаций (линии связи). При наличии КЗ и сохранении суммы токов для всей сети, равной нулю, определяется неисправность ТТ.

Запишем данное утверждение в матричной форме для вершин, представляющих собой защищаемые элементы ТРН.

Составим матрицу–вектор S размером $n \times 1$, где n — число вершин графа со степенью > 1 . Строки матрицы представляют собой сумму токов в узлах защищаемых элементов сети SMV_k , т. е. $s_{i,1} = SMV_k$ при степени вершины $V_k > 1$.

Применительно к рассматриваемой схеме

$$S = \begin{bmatrix} SMV2 \\ SMV3 \\ SMV4 \\ SMV5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 - I_2 - I_5 \\ I_2 - I_3 \\ I_3 - I_4 \\ I_5 + I_4 - I_6 \end{bmatrix}.$$

При неверных показаниях ТТ, вызванных их неисправностью, сумма токов SMV_k становится неравной нулю.

Таблица 1

Результирующее значение матричной операции					Признаки функционирования дифференциальной защиты
<i>SMV2</i>	<i>SMV3</i>	<i>SMV4</i>	<i>SMV5</i>	<i>SUM</i>	
0	0	0	0	0	Ток КЗ отсутствует, ТТ исправны
≠ 0	0	0	0	≠ 0	Ток КЗ на элементе, соответствующем вершине <i>V2</i> (ошиновке 10 кВ)
0	≠ 0	0	0	≠ 0	Ток КЗ на элементе, соответствующем вершине <i>V3</i> (шунтовом трансформаторе)
0	0	≠ 0	0	≠ 0	Ток КЗ на элементе, соответствующем вершине <i>V4</i> (ТК)
0	0	0	≠ 0	≠ 0	Ток КЗ на элементе, соответствующем вершине <i>V5</i> (сериесном трансформаторе)
≠ 0	≠ 0	0	0	0	Неисправен трансформатор тока <i>CT2</i> (дуга e_2 графа)
0	≠ 0	≠ 0	0	0	Неисправен трансформатор тока <i>CT3</i> (дуга e_3 графа)
0	0	≠ 0	≠ 0	0	Неисправен трансформатор тока <i>CT4</i> (дуга e_4 графа)
≠ 0	0	0	≠ 0	0	Неисправен трансформатор тока <i>CT5</i> (дуга e_5 графа)

Итоговая матрица *SUM*:

$$SUM = E \times S, \quad (10)$$

где *E* — вектор размером $1 \times n$ (где *n* — число вершин графа степени > 1), все элементы которого равны единицам, служащий для суммирования токов в различных узлах.

Применительно к рассматриваемой схеме:

$$SUM = E \times S = [1 \ 1 \ 1 \ 1] \times \begin{bmatrix} SMV2 \\ SMV3 \\ SMV4 \\ SMV5 \end{bmatrix}, \quad (11)$$

т. е.

$$SUM = [1 \ 1 \ 1 \ 1] \times \begin{bmatrix} I_1 - I_2 - I_5 \\ I_2 - I_3 \\ I_3 - I_4 \\ I_5 + I_4 - I_6 \end{bmatrix} = \\ = I_1 - I_2 - I_5 + I_2 - I_3 + I_3 - I_4 + I_5 + I_4 - I_6 = I_1 - I_6.$$

Признаки функционирования ДЗ при различных соотношениях токов и результатах выполнения матричных операций по выражениям (5) и (11) сведены в табл. 1.

Таким образом, в зависимости от соотношения токов на схеме распределительного устройства, а также результатов выполнения операций над матрицами можно реализовать надежное функционирование ДЗ ТРН. При этом обеспечивается не только действие защиты при повреждениях на каждом участке,

но и исключаются ее излишние срабатывания при повреждениях ТТ.

Количественная оценка надежности предлагаемой защиты

Для количественной оценки преимущества предлагаемого технического решения с точки зрения надежности воспользуемся методом Марковских цепей. Этот метод наиболее приемлем для расчета надежности систем релейной защиты [17, 18]. Применим математическую модель функционирования РЗ, представленную в [18]. Статистическое распределение примем экспоненциальным. Расчеты будем вести для трех групп отказов в функционировании: 1) ложные срабатывания; 2) излишние срабатывания; 3) отказы в срабатывании.

На рис. 4 представлены два варианта организации системы защиты: *a* — с применением ДЗ ошиновки 10 кВ — *A*₁, ДЗ шунтового трансформатора — *B*₁, ДЗ ТК — *C*₁, ДЗ сериесного трансформатора — *D*₁ и резервных токовых защит данных элементов — *A*₂, *B*₂, *C*₂, *D*₂; *b* — с применением системы централизованной ДЗ: в качестве основной — *F*₁ и резервной — *F*₂.

Исходные данные для расчетов, полученные на основе [18, 21], а также данных заводов-изготовителей устройств РЗ, указаны в табл. 2. Под неисправностями ТТ понимаются интегрированные неисправности ТТ и их

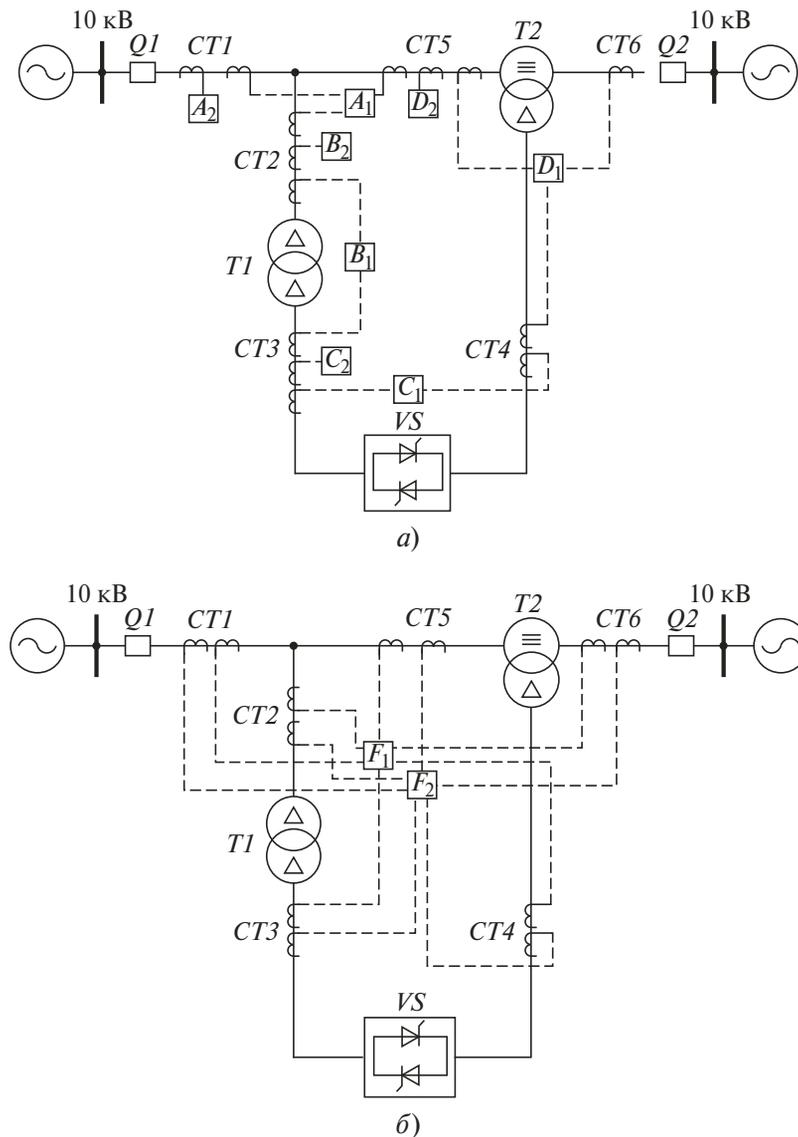


Рис. 4. Схема защиты ТРН с распределением защит по трансформаторам тока: а — система с распределенными защитами; б — система с ЦДЗ

вторичных цепей, способные привести к ложному срабатыванию дифференциальной защиты.

Режим дежурства. На рис. 5 приведены графы состояний и переходов в режиме дежурства. Здесь $E_{и}$ — исправное состояние системы РЗ; $A1_1, A2_1, \dots, F2_1, CT1_1, CT2_1, \dots, CT6_1$ — состояния системы РЗ при наличии дефектов, способных привести к ложному срабатыванию устройств РЗ A, B, \dots, F ; μ_1 и μ_2 — интенсивности восстановления устройств РЗ и ТТ соответственно.

Приведем графы на рис. 5 к виду, изображенному на рис. 6, где E_1 — состояние системы РЗ при наличии повреждения в одном из устройств.

Определим вероятность $P_1(t)$ попадания системы в аварийное состояние E_1 для про-

извольного момента времени t . Составим систему дифференциальных уравнений, описывающих граф:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_{и}(t)}{dt} &= -\lambda_1 P_{и}(t) + P_1(t) \cdot \mu_1; \\ \frac{dP_1(t)}{dt} &= \lambda_1 P_{и}(t) + P_1(t) \cdot \mu_1, \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

где $P_{и}(t)$ — вероятность нахождения системы в исправном состоянии $E_{и}$.

Нормирующее выражение, смысл которого заключается в том, что исследуемая система находится в состоянии либо $E_{и}$, либо E_1 , которые составляют полную группу событий, имеет вид:

$$P_{и}(t) + P_1(t) = 1.$$

Таблица 2

Параметр	Обозначение	Значение
Средняя наработка на отказ устройства защиты, ч	$T_{o.cр}$	100 000
Среднее время восстановления работоспособного состояния устройства защиты, ч	$T_{в.cр}$	2
Время ожидания обслуживания, ч	$T_{o.o}$	2
Интенсивность ложных срабатываний устройства защиты, год ⁻¹	$\lambda_{л}$	0,0307
Интенсивностью отказов в срабатывании устройства защиты, год ⁻¹	λ_o	0,0876
Интенсивностью излишних срабатываний устройства защиты, год ⁻¹	$\lambda_{и}$	0,031
Средняя наработка на отказ ТТ, ч	$T_{o.cрТТ}$	400 000
Интенсивность отказов ТТ, включая вторичные цепи, год ⁻¹	$\lambda_{СТ}$	0,0429
Интенсивность отказов сборных шин 10 кВ, год ⁻¹	$\lambda_{КЗ Ш}$	0,03
Интенсивность отказов трансформатора, год ⁻¹	$\lambda_{КЗ ТР}$	0,016

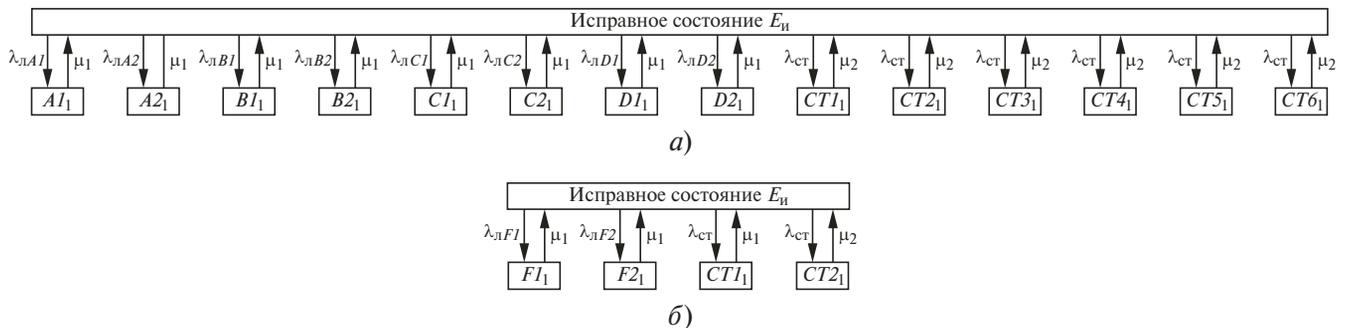


Рис. 5. Графы состояний и переходов для режима дежурства: *а* — система с распределенными защитами; *б* — система с применением ЦДЗ

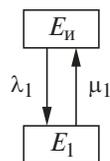


Рис. 6. Преобразованные графы состояний и переходов для режима дежурства

Так как в начальный момент эксплуатации системы при $t = 0$ система находится в работоспособном состоянии, то

$$P_{и}(0) = 1; \quad P_1(0) = 0.$$

В результате решения системы дифференциальных уравнений функция неготовности

$$q(t) = P_1(t) = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \mu_1} \{1 - \exp[-(\lambda_1 + \mu_1)t]\}.$$

Проведем оценку показателей безотказности систем РЗ. Граф для расчета будет выглядеть аналогично графу на рис. 6, но с тем

отличием, что в нем будет отсутствовать возможность перехода из состояния E_1 в состояние $E_{и}$, т. е. исключено восстановление с интенсивностью μ_1 . Такое обстоятельство связано с тем, что при отказе системы (попадании ее в поглощающее состояние E_1) эксперимент прекращается, т. е. система не может выйти из данного состояния.

В связи с отсутствием восстановления вместо системы дифференциальных уравнений (12) результатом будет выражение для вероятности безотказной работы (ВБР) при экспоненциальном законе распределения:

$$R(t) = P_{и}(t) = \exp[-(\lambda_1 \cdot t)]. \quad (13)$$

На рис. 7 построены зависимости функции неготовности систем РЗ и функции ВБР от среднего времени между проверками. Их анализ показывает, что функции неготовности представляют собой прямые, значения которых близки к нулю. Это объясняется тем, что для рассматриваемого случая про-

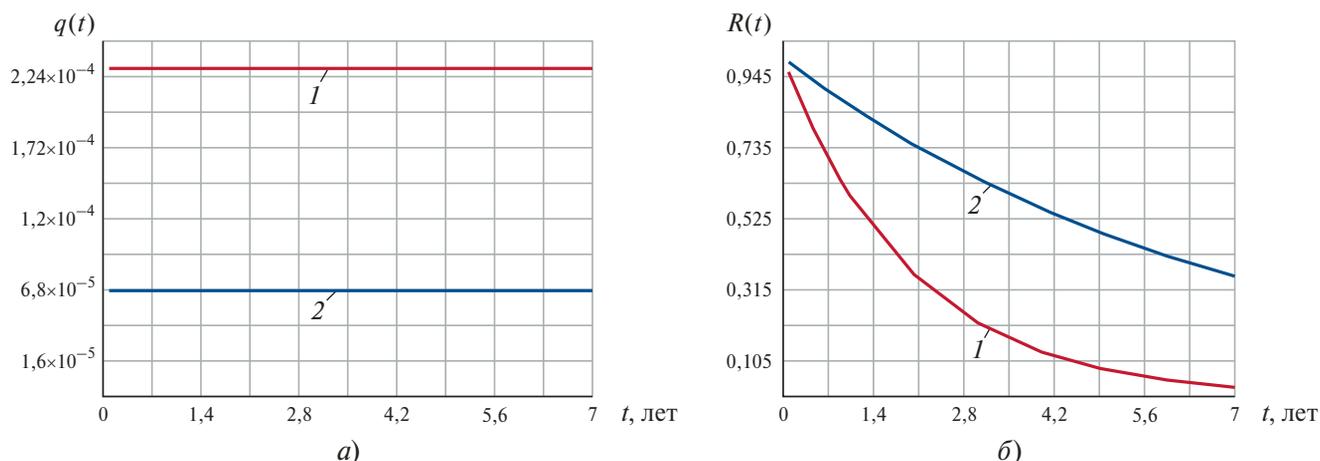


Рис. 7. Функции неготовности (а) и функции ВБР систем защиты (б):

1 — распределенная защита; 2 — ЦДЗ

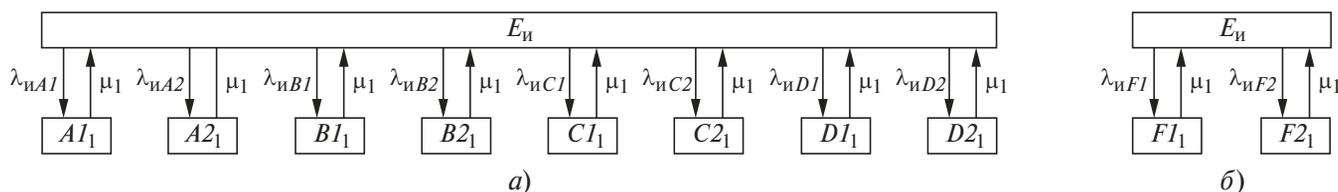


Рис. 8. Графы состояний и переходов для режима внешних КЗ:

а — распределенное построение системы РЗ; б — система с применением ЦДЗ

процесс восстановления можно считать мгновенным. Также благодаря мгновенному восстановлению ВБР системы с применением ЦДЗ имеет достаточно высокие значения на всем рассматриваемом временном промежутке по сравнению с распределенной защитой.

Режим внешних коротких замыканий. На рис. 8 приведены графы состояний и переходов в режиме внешних коротких замыканий.

Приведем графы на рис. 8 к виду, изображенному на рис. 6. Соответственно, системы уравнений и их решения будут аналогичны вышеприведенным.

На рис. 9 построены зависимости функции неготовности систем РЗ и функции ВБР от среднего времени между проверками.

Режим повреждения на защищаемом объекте. На рис. 10 приведены графы состояний и переходов в режиме повреждения на защищаемом объекте. Здесь: E_n — исправное состояние системы РЗ; $A1_1, A2_1, \dots, F2_1$ — состояния системы РЗ при наличии дефектов, способных привести к отказу в срабатывании блока РЗ; $A1_1A2_1, B1_1B2_1, C1_1C2_1, D1_1D2_1, F1_1F2_1$ — состояния с дефектами одновременно в двух блоках РЗ; μ_1, μ_2 — интенсивности восстановления.

Приведем графы на рис. 10 к виду, изображенному на рис. 11. Так как повреждения ТТ и их вторичных кабелей не способны привести к отказу в срабатывании защиты, то они не входят в расчетную схему.

Система дифференциальных уравнений, описывающих граф (рис. 9), определяется выражениями:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_n(t)}{dt} &= -\lambda_1 \cdot P_n(t) + \mu_1 \cdot P_1(t) + \mu_2 \cdot P_2(t); \\ \frac{dP_1(t)}{dt} &= \lambda_1 \cdot P_n(t) - (\lambda_2 + \mu_1) \cdot P_1(t); \\ \frac{dP_2(t)}{dt} &= \lambda_2 \cdot P_1(t) - \mu_2 \cdot P_2(t). \end{aligned} \right\} (14)$$

Согласно данным заводов-изготовителей интенсивности отказов в срабатывании устройств основной и резервной защиты равны (см. табл. 2). Поэтому, решая систему уравнений (14), получаем единую функцию неготовности для обоих случаев:

$$q(t) = P_2(t) = 0,07e^{-0,483t} - 1,066e^{-0,032t} + 1.$$

Вероятность безотказной работы для обеих систем:

$$R(t) = 1 - P_2(t) = 1,066e^{-0,032t} - 0,07e^{-0,483t}.$$

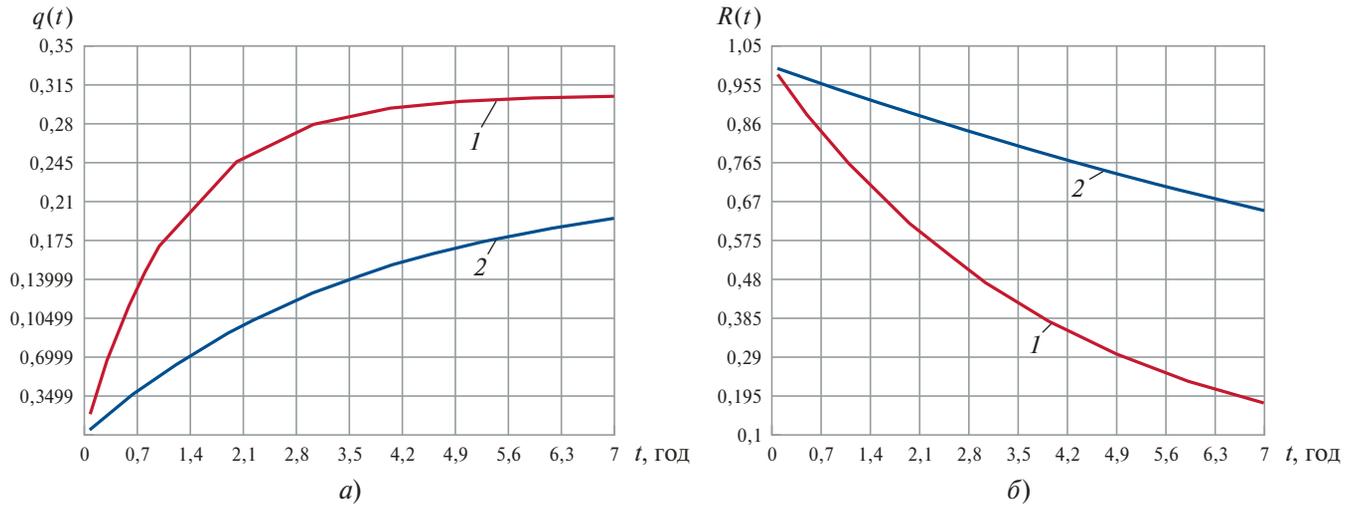


Рис. 9. Функции неготовности (а) и функции ВБР систем защиты (б):

1 — распределенная защита; 2 — ЦДЗ

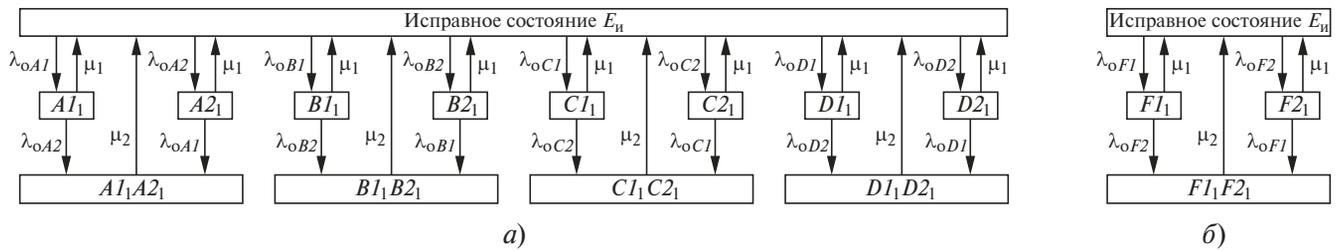


Рис. 10. Графы состояний и переходов для режима повреждения на защищаемом объекте:

а — распределенное построение системы РЗ; б — система с применением ЦДЗ

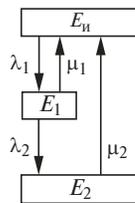


Рис. 11. Преобразованный граф состояний и переходов для режима повреждений на защищаемом объекте

На рис. 12 изображены зависимости функции неготовности систем РЗ и функции ВБР от среднего времени между проверками.

Результаты

В зависимости от соотношения токов, а также от результатов выполнения операций над матрицами токов можно реализовать на-

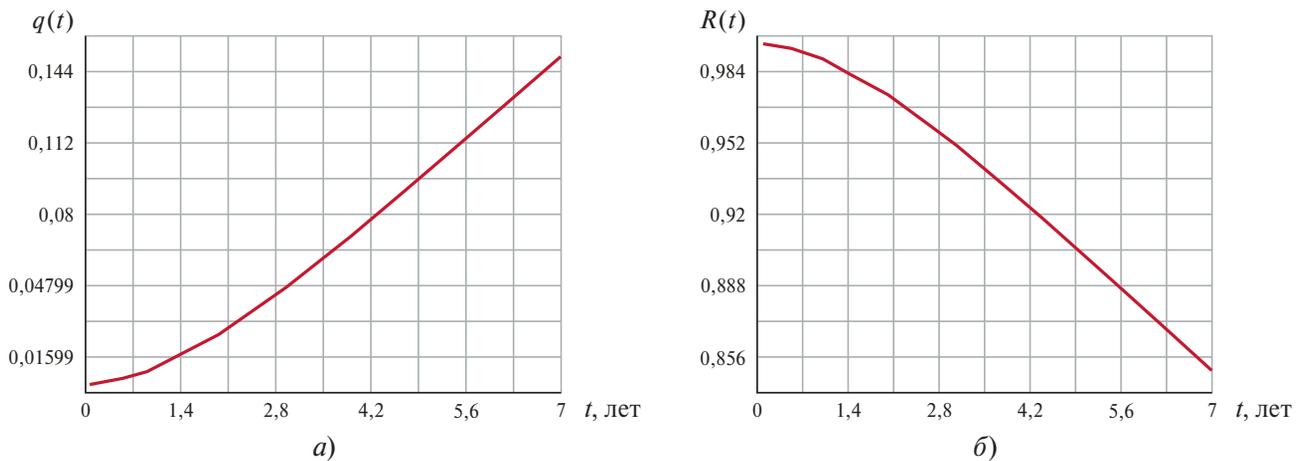


Рис. 12. Функции неготовности (а) и функции ВБР (б) РЗ

дежное функционирование централизованной дифференциальной защиты ТРН. В итоге не только обеспечивается действие защиты при повреждениях на каждом участке, но и исключаются ее излишние действия при повреждениях трансформаторов тока или линий связи.

Анализ численных результатов расчетов показателей надежности РЗ ТРН (см. рис. 7, 9) показывает, что разработанная защита с применением метода двойной записи в режиме дежурства и внешних коротких замыканий значительно превосходит по показателям надежности систему с распределенными защитами. Показатели надежности защиты ТРН с применением метода двойной записи в аварийной ситуации одинаковы (см. рис. 10), как и для системы с распределенными защитами.

Количество используемых терминалов защит (2 против 8) свидетельствует об экономической целесообразности применения системы с ЦДЗ.

Выводы

1. Разработанный принцип организации централизованной дифференциальной защиты ТРН может быть распространен на аналогичные устройства, включающие элементы силовой электроники.

2. Благодаря сочетанию дифференциального принципа и метода двойной записи предлагаемая защита имеет надежную систему проверки исправности трансформаторов тока.

3. Полученные результаты позволяют сделать вывод о перспективности внедрения ДЗ с применением метода двойной записи, обладающей высокими показателями надежности и экономичности.

Список литературы

1. Лоскутов, А. Б. Проблемы перехода электроэнергетики на цифровые технологии / А. Б. Лоскутов // Интеллектуальная электротехника. — 2018. — № 1. — С. 9 – 27.
2. Асабин А. А., Соснина Е. Н., Кралин А. А., Крюков Е. В. Универсальное фазоповоротное устройство для сетей среднего и высокого напряжения // Пат. на полезную модель RU 180964 U1, МПК H03H 7/18 (2006.01). Заявл. № 2017141949 от 01.12.2017; опубл. 02.07.2018. Бюл. № 19.
3. Sosnina E., Asabin A., Kralin A., Kryukov E. Voltage Control with Thyristor-Regulated Booster Transformer // 6th IEEE International Conference on Smart Grid, icSmartGrids 2018. — Nagasaki, Japan, 2019. — с. 202 – 207.

4. Асабин, А. А. Способ управления тиристорным регулятором напряжения трансформатора // Пат. на изобретение RU 2398342 C1, МПК H02M 5/12 (2006.01). Заявл. № 2009123939/09 от 23.06.2009; опубл. 27.08.2010. Бюл. № 24.
5. Циглер, Г. Цифровые устройства дифференциальной защиты, принципы и применение / Г. Циглер. — М.: Энергоиздат, 2005. — 273 с.
6. Шнеерсон, Э. М. Цифровая релейная защита / Э. М. Шнеерсон. — М.: Энергоатомиздат, 2007. — 549 с.
7. Лачугин, В. Ф. Релейная защита фазоповоротного устройства с тиристорным коммутатором для линий электропередачи высокого напряжения / В. Ф. Лачугин, Д. И. Панфилов, И. М. Ахметов, М. Г. Асташев, А. В. Шевелев // Известия академии наук. Энергетика. — 2014. — № 5. — С. 122 – 134.
8. Попов, М. Г. Система релейной защиты управляемой межсистемной электропередачи / М. Г. Попов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. — СПб., 2010. — № 2 – 2(100): Наука и образование. — С. 11 – 19. — (Энергетика и электротехника). — ISSN 1994-2354.
9. Куликов, А. Л. Дифференциальная защита участка сети, состоящего из кабельных заходов линий электропередачи в КРУЭ 110 – 220 кВ и шин 110 – 220 кВ, с применением метода двойной записи / А. Л. Куликов, В. Ю. Вуколов, А. А. Колесников, М. Д. Обалин // Электрические станции. — 2018. — № 1 (1038). — С. 40 – 51.
10. Куликов, А. Л. Централизованная дифференциальная защита распределительных сельских сетей 6 – 35 кВ с применением метода двойной записи / А. Л. Куликов, В. Ю. Вуколов, А. А. Колесников // Вестник НГИЭИ. — 2017. — № 2 (69). — С. 71 – 81.
11. Бачуринская И. Н., Горячих С. П. Элементы метода бухгалтерского учета / И. Н. Бачуринская, С. П. Горячих // Вектор экономики. — 2016. — № 4. — С. 1, 2.
12. Азиева, З. И. Возникновение двойной записи в бухгалтерском учете / З. И. Азиева, Н. В. Еремина, В. В. Абальмаз, К. С. Сюсюра // Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe. — 14 (2016). — № 2. — С. 45 – 51.
13. Bondy, A. Graph Theory / A. Bondy. — Springer-Verlag London, 2008. — Т. 244. — (Graduate Texts in Mathematics). — DOI:10.1007/978-1-84628-970-5. XII, 655.
14. Diestel, R. Graph Theory / R. Diestel. — Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2017. — Т. 173. — (Graduate Texts in Mathematics). — DOI: 10.1007/978-3-662-53622-3. XVIII, 428 p.
15. Гантмахер, Ф. Р. Теория матриц / Ф. Р. Гантмахер. — 5-е изд. — М.: Физматлит, 2004. — 560 с.
16. Андерсон, Дж. А. Дискретная математика и комбинаторика / Дж. А. Андерсон. — М.: Вильямс, 2004. — 960 с.
17. Smeets, V. H. Stochastic modelling of protection systems: comparison of four mathematical techniques / V. H. Smeets, M. H. J. Bollen // EUT report. E, Fac. of Electrical Engineering. Vol. 95-E-291. — Eindhoven: Eindhoven University of Technology, 1995. — 67 p.
18. Шалин, А. И. Надежность и диагностика релейной защиты энергосистем / А. И. Шалин. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. — 549 с.

19. Смирнов, Э. П. Подход к расчету надежности устройств релейной защиты / Э. П. Смирнов // Электричество. — 1965. — № 9. — С. 44 – 49.
20. Khurram, A. **Reliability Analysis of Protective Relays in Power Distribution Systems** / A. Khurram, H. Ali, A. Tariq, O. Hasan // 18th International Workshop on. Formal Methods for Industrial Critical Systems (FMICS-2013), Springer LNCS 8187. — Madrid, Spain, 2013. — P. 169 – 183.
21. Гук, Ю. Б. **Теория надежности в электроэнергетике** / Ю. Б. Гук. — Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. — 208 с.

References

1. Loskutov A. B. **Intellektual'naya elektrotehnika** (Intelligent Electrical Engineering), 2018, No. 1, pp. 9 – 27.
2. Asabin A. A., Sosnina E. N., Kralin A. A., Kryukov E. V. **Universal'noe fazopovorotnoe ustroystvo dlya setei srednego i vysokogo napryazheniya** (Universal phase-shifting device for medium and high voltage networks), Patent RU 180964 U1, IPC H03H 7/18 (2006.01), No. 2017141949, claimed 01.12.2017, publ. 02.07.2018, Bul. No. 19.
3. Sosnina E., Asabin A., Kralin A., Kryukov E. **Voltage regulation with a thyristor adjustable booster transformer**. 6th IEEE Smart Grid International Conference, icSmartGrids 2018, Nagasaki, Japan, 2019, pp. 202 – 207.
4. Asabin A. A. **Sposob upravleniya tiristornym regulatorom napryazheniya transformatora** (A method for controlling a thyristor voltage regulator of a transformer), Patent for the invention RU 2398342 C1, IPC H02M 5/12 (2006.01), No. 2009123939/09, claimed 23.06.2009, publ. 27.08.2010, Bul. No. 24
5. Ziegler G. **Tsifrovye ustroystva differentsial'noi zashchity, printsipy i primeneniye** (Digital differential protection devices, principles and applications of Ziegler), Moscow, Energoizdat, 2005, 273 p.
6. Schneerson E. M. **Tsifrovaya releinaya zashchita** (Digital relay protection), Moscow, Energoatomizdat, 2007, 549 p.
7. Lachugin V. F., Panfilov D. I., Akhmetov I. M., Astashev M. G., Shevelev A. B. **Izvestiya akademii nauk. Energetika** (Izv. of the Academy of Sciences. Power Engineering), 2014, No. 5, pp. 122 – 134.
8. Popov M. G. **Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. Nauka i obrazovanie** (Scientific and Technical statements STU. Science and education), Saint-Petersburg, 2010, No. 2 – 2(100), pp. 11 – 19.
9. Kulikov A. L., Vukolov V. Yu., Kolesnikov A. A., Obalin M. D. **Elektricheskie stantsii** (Electrical stations), 2018, No. 1(1038), pp. 40 – 51.
10. Kulikov A. L., Vukolov V. Yu., Kolesnikov A. A. **Vestnik NGIEI** (Bulletin NGIEI), 2017, No. 2(69), pp. 71 – 81.
11. Bachurinskaya I. N., Goryachykh S. P. **Vektor ekonomiki** (Vector Economy), 2016, No. 4, pp. 1 – 2.
12. Azieva Z. I., Eremina N. V., Abalmaz V. V., Sysyura K. S. **Vostochno-Evropeiskii nauchnyi zhurnal** (East European Science Journal), 14 (2016), No. 2, pp. 45 – 51.
13. Bondi A. **Graph Theory**. Springer-Verlag London, 2008, T. 244 (Graduate of texts in mathematics). DOI: 10.1007/978-1-84628-970-5. XII, 655 p.
14. Distel R. **Graph Theory**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2017, T. 173 (Graduate of texts in mathematics). DOI: 10.1007/978-3-662-53622-3. XVIII, 428 p.
15. Gantmakher F. R. **Teoriya matrits** (Matrix Theory), Moscow, Fizmatlit, 2004, 560 p.
16. Anderson J. A. **Diskretnaya matematika i kombinatorika** (Discrete mathematics and combinatorics), Moscow, Williams, 2004, 960 p.
17. Smeets B. H., Bollen M. H. J. **Stochastic modeling of protection systems: comparison of four mathematical techniques**. EUT report. E, Fac. of Electrical Engineering. Vol. 95-E-291, Eindhoven: Eindhoven University of Technology, 1995, 67 p.
18. Shalin A. I. **Stochastic modelling of protection systems: comparison of four mathematical techniques** (Reliability and diagnostics of relay protection of power systems), Novosibirsk, publ. House of NSTU, 2002, 549 p.
19. Smirnov E. P. **Elektrichestvo** (Electricity), 1965, No. 9, pp. 44 – 49.
20. Khurram A., Ali H., Tariq A., Hasan O. **Reliability Analysis of Protective Relays in Power Distribution Systems**. 18th International Workshop on. Formal Methods for Industrial Critical Systems (FMICS-2013), Springer LNCS 8187, Madrid, Spain, 2013, pp. 169 – 183.
21. Hook Yu. B. **Teoriya nadezhnosti v elektroenergetike** (Reliability Theory in the Electrical Power Engineering), Leningrad, Energoatomizdat, Leningrad Department, 1990, 208 p.

sosnina@nntu.ru

Differential protection of the thyristor voltage regulator system using the double recording method

Kulikov A. L., Sosnina E. N., Kryukov E. V., Kolesnikov A. A.

Thyristor voltage regulator (TVR) is an innovative intelligent device with a thyristor control. It is designed for operative control of the voltage and power flows in 6–20 kV electrical distribution network. To protect TVR against short-circuit currents, a system based on the differential principle using the method of double recording is proposed. The proposed approach to processing information about the currents measured at the ends of protected objects ensure reliable operation of differential protection (DP) and elimination of the unnecessary actions in case of damage to the current transformer. Two possible options of the protection system are considered: centralized and distributed DP. The expediency of using the system with a centralized DP is proved.

Keywords: thyristor voltage regulator, regulating characteristics, differential protection, double recording, protection zone, monitoring of current transformer serviceability, matrix, reliability of relay protection, graph theory, centralized protection.

Термическое разрушение силикатного покрытия трубы

Ибрагимов Н. Ю., доктор техн. наук

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

Рассмотрено термическое напряженное состояние силикатного покрытия трубы. Проведены исследования окружных и продольных термических напряжений на поверхности покрытия. В условиях повышенных давлений и температур разрушения покрытия трубы представляют собой кольцевые и винтовые трещины.

Ключевые слова: силикатное покрытие трубы, разрушение покрытия, термические напряжения покрытий, контактное давление между металлом и покрытием, экспериментальные исследования.

Силикатные покрытия стальных труб находят все более широкое распространение, что объясняется их экономичностью и эффективностью защиты от коррозии и накипи. Опыты показывают, что силикатные покрытия успешно применяют в условиях высоких температур, давлений и высокоминерализованных сред в нефтяной, химической, газовой, теплоэнергетической и других отраслях промышленности [1, 2].

Для обеспечения качественного силикатного покрытия трубы важны технологический режим его нанесения, температуры нанесения и охлаждения, распределение температурного остаточного напряжения. Срок службы покрытия зависит от его гладкости (отсутствия пузырей, макро- и микротрещин).

Следует отметить, что силикатные покрытия подвергаются высоким давлениям (3,0 – 5,0 МПа) и температурам (300 – 600 °С), что может привести к их разрушению (прежде всего — у торцов труб). Разрушения представляют собой кольцевые, винтовые и продольные трещины [2, 3].

С целью анализа состояния покрытий образцы труб подвергаются визуальным осмотрам и микроскопическим обследованиям. С каждого торца формируется по два-три витка трещин на расстоянии $(0,5 - 0,7)d$, где d — средний диаметр покрытия трубы.

После нанесения покрытия на внутреннюю поверхность трубы при его охлаждении закономерность распределения температуры покрытия T определяется как в составных двухслойных цилиндрах по известной формуле [4]

$$T = \frac{\lambda_1 T_1 \ln \frac{d_3}{d_2} + \lambda_2 T_2 \ln \frac{d_2}{d_1}}{\lambda_1 \ln \frac{d_3}{d_2} + \lambda_2 \ln \frac{d_2}{d_1}}, \quad (1)$$

где λ_1 и λ_2 — коэффициенты теплопроводности соответственно покрытия и металла трубы; T_1 и T_2 — температуры на внутренней и наружной поверхностях покрытия; d_1 , d_2 и d_3 — внутренние, граничные и наружные диаметры силикатного покрытия.

Опыты показали, что термические напряжения иногда превосходят допустимое значение напряжения растяжения (сжатия) покрытия. Тогда и наблюдаются трещины, отслоения, разрушения его поверхности.

Прочность силикатного покрытия трубы зависит от этих напряжений, возникающих на поверхности покрытия. Напряжения по образующей поверхности определяются по известной формуле [3, 4]

$$\sigma_1 = \frac{\beta_1 E_1 T}{1 - \mu_1} \text{Vi}, \quad (2)$$

где E и μ — модуль упругости и коэффициент Пуассона покрытия; β_1 — коэффициент линейного расширения покрытия трубы; $\text{Vi} = \alpha_1 \delta / \lambda_1$ — число ВИО; α_1 — коэффициент теплоотдачи покрытия, который при высоких температурах (до 300 °С) изменяется в пределах $8,2 - 13,6 \text{ с}^{-1}$ [5] и значительно влияет на результат вычисления; δ — средняя толщина покрытия трубы.

По окружным направлениям контактное температурное напряжение покрытия определяют по формуле [4, 5]

$$\sigma_2 = \frac{(P_2 - P_1) d_2^2}{d_2^2 - d_1^2} \left(1 + \frac{d_1^2}{\delta^2} \right), \quad (3)$$

где P_2 и P_1 — контактные давления от повышения температуры между металлом и покрытием трубы.

Следует отметить, что эти давления возникают при нанесении покрытия на внут-

Размеры труб, мм	Толщина покрытия труб, мм	Напряжение, МПа		Суммарные напряжения	
		Осевое σ_1	Окружное σ_2	Теоретические значения σ , МПа	Экспериментальные значения σ , МПа
$\varnothing 57 \times 3,5$	0,42	90	20	65	68
$\varnothing 89 \times 4,5$	0,54	84	32	56	62
$\varnothing 108 \times 4,0$	0,58	80	36	44	50
$\varnothing 159 \times 4,5$	0,64	78	38	49	53

ренную поверхность трубы в следующем порядке:

1. Во внутреннюю поверхность трубы помещают герметично запаканный силикатно-эмалевый дрот по форме металлической трубы с зазором 0,5 – 1,0 мм.

2. Металлическую трубу и дрот нагревают до температуры 600 °С. При нагревании воздух внутри дрота расширяется. Он плотно прижимается к внутренней поверхности трубы. В результате и возникают давления между границами покрытия и трубы.

Суммарные напряжения, возникающие под действием термических напряжений σ_1 и σ_2 , определяют исходя из теории прочности:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - 2\mu\sigma_1\sigma_2} \leq [\sigma], \quad (4)$$

где $\mu = 0,5$ — максимальное значение коэффициента Пуассона покрытия трубы; $[\sigma]$ — допустимое напряжение силикатного покрытия в пределах 80 – 100 МПа.

Учитывая значение коэффициента, формула (4) принимает следующий вид:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2} \leq [\sigma]. \quad (5)$$

Следует отметить, что точных справочных данных о торцевых термических остаточных напряжениях для различных видов покрытий не имеется [4, 5].

Когда суммарные напряжения превосходят значения допустимых напряжений, наблюдаются разрушения покрытия трубы.

Для исследования необходимо определить значения T , σ_1 и σ_2 из формул (1), (2) и (3) для покрытий и металлических труб при следующих данных:

$$\alpha_1 = 7 \cdot 10^{-6} \text{ c}^{-1}; \quad \alpha_2 = 12,3 \cdot 10^{-6} \text{ c}^{-1}; \quad E_1 = 2,2 \cdot 10^5 \text{ МПа}; \quad E_2 = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}; \quad \mu_1 = 0,25; \quad \mu_2 = 0,30; \quad \beta = 13,6 \cdot 10^{-6} \text{ c}^{-1}; \quad \delta = 0,4 - 0,65 \text{ мм}; \quad T_1 = 20 - 25 \text{ }^\circ\text{C}; \quad T_2 = 80 - 100 \text{ }^\circ\text{C}; \quad P_1 = 1,5 - 2,0 \text{ МПа}; \quad P_2 = 2,5 - 3,5 \text{ МПа}; \quad d_1 =$$

$$= 49,58 - 149,36 \text{ мм}; \quad d_2 = 50 - 150 \text{ мм}; \quad d_3 = 57 - 159 \text{ мм}; \quad \lambda_1 = 0,82 \text{ Вт/(м} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}; \quad \lambda_2 = 0,9 \text{ Вт/(м} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}.$$

Для исследований разработан экспериментальный стенд с целью определения напряжений и параметров покрытий труб. Анализируются силикатные покрытия трубки длиной 300 – 500 мм с размерами $57 \times 3,5$... $159 \times 4,0$ мм и толщиной покрытия 0,5 – 1,0 мм. Внутри трубки расположен электрический нагреватель. Проволока нагревателя диаметром 0,25 – 0,40 мм намотана на фарфоровую трубку диаметром соответственно 15 – 25 мм. Для измерения температуры на поверхности покрытия закрепляются термопары. При работе установки нагревателя количество тепла, которое выделяется внутри трубки при стационарном режиме, вычисляется по показаниям ваттметра. Средняя температура поверхности силикатного покрытия измеряется термопарами.

С целью измерения температурных деформаций на внутренней поверхности покрытий закреплены проволочные датчики с базовым диаметром до 10 мм сопротивлением 85 – 100 Ом. Деформации измеряются приборами ИСД-3, ИД-50. По значениям этих относительных деформаций рассчитываются окружные и продольные напряжения. В то же время по формулам (2), (3) и (4) можно определить значения суммарных напряжений покрытий труб.

В таблице представлены результаты суммарных напряжений в покрытиях труб при проведении теоретических и экспериментальных исследований.

Анализ технологического процесса получения силикатного покрытия трубы показал, что определение термического напряженного состояния является нелинейной температурной задачей со сложными граничными условиями. Точные теоретические и экспериментальные исследования в по-

давяющим большинстве случаев представляют собой большие инженерные трудности. Теоретические расчеты хорошо согласуются с экспериментальными данными в пределах погрешности 3–5%. Оценка погрешности экспериментальных исследований представлена в работе [6].

Выводы

1. Температурные разрушения, возникающие на поверхности покрытий, в основном зависят от физико-механических свойств, геометрических размеров и контактных давлений покрытий труб.

2. Суммарные напряжения труб не превосходят предела прочности покрытий. Теоретические расчеты хорошо согласуются с экспериментальными значениями в пределах погрешности 3–5%.

Список литературы

1. Ибрагимов, Н. Ю. Влияние коэффициента теплопроводности эмалированного покрытия на термическую стойкость теплообменных труб / Н. Ю. Ибрагимов // Промышленная энергетика. — 2010. — № 4. — С. 44–47.
2. Ибрагимов, Н. Ю. Теплопроводность слоев отложенной накипи и продуктов коррозии на эмалевых покрытиях труб при использовании морской воды / Н. Ю. Ибрагимов, Э. Н. Исмайлова // Энергетик. — 2013. — № 5. — С. 54–56.
3. Руднов, Д. М. Испытание физических методов предотвращения образования накипи / Д. М. Руднов,

- Р. З. Сахобутдинов // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. — 2012. — № 6. — С. 26–30.
4. Петцольд, А. Эмаль и эмалирование / А. Петцольд, Г. Пёшманн. — М.: Metallurgia, 1990. — 572 с.
5. Ибрагимов, Н. Ю. Влияние шероховатости поверхности на перепад температуры в стеклоэмалированных покрытиях труб / Н. Ю. Ибрагимов // Промышленная энергетика. — 2013. — № 4. — С. 33–35.
6. Ибрагимов, Н. Ю. Повышение надежности и тепловой эффективности силикатного покрытия трубы теплообменного аппарата: дис. ... канд. техн. наук. — Баку, 1992. — 127 с.

References

1. Ibragimov N. Yu. *Promyshlennaya energetika* (Industrial power engineering), 2010, No. 4, pp. 44–47.
2. Ibragimov N. Yu., Ismayilova E. N. *Energetik* (Energetik), 2013, No. 5, pp. 54–56.
3. Rudnov D. M., Sakhobutdinov R. Z. *Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa* (Equipment and technologies for the oil and gas complex), 2012, No. 6, pp. 26–30.
4. Petzold A., Peschmann G. *Emal' i emalirovanie* (Enamel and enameling), Moscow, Metallurgy, 1990, 572 p.
5. Ibragimov N. Yu. *Promyshlennaya energetika* (Industrial power engineering), 2013, No. 4, pp. 33–35.
6. Ibragimov N. Yu. *Povyshenie nadezhnosti i teplovoi effektivnosti silikatnogo pokrytiya truby teploobmennogo apparata* (Improving the reliability and thermal efficiency of silicate coating of a pipe of a heat exchanger), dis. Degree of Cand. Of Tech. Scien., Baku, 1992, 127 p.

nazim.ibragimov.2015@mail.ru

Thermal destruction of the pipe silicate coating

Ibragimov N. Yu.

A thermal stress state of the pipe silicate coating is considered. Circumferential and longitudinal thermal stresses on the surface of the coating are studied. Destruction of the pipe coating in conditions of high pressures and temperatures is manifested through formation of annular and screw cracks.

Keywords: silicate coating of a pipe, coating damage, thermal stresses of coatings, contact pressure between metal and coating, experimental studies.



ЭКОНОМИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Управление режимами электроснабжения судоремонтного предприятия

Карелин А. Н., канд. техн. наук, Карелин Е. Н., инж.

**Северный (Арктический) федеральный университет
имени М. В. Ломоносова, г. Архангельск**

Рассмотрены вопросы создания технических систем управления для применения в регулировании режимов крупного судоремонтного промышленного предприятия. На основе анализа тенденций развития современных энергосистем показана целесообразность использования современных систем регулирования электроснабжения. На основе данных запатентованных разработок автора, выполненных базовых проектных работ и конфигурирования базового программного обеспечения компьютеров высшего уровня на крупном судоремонтном предприятии в Северодвинске реализована система учета и концептуально проработана система управления режимами электроснабжения.

Ключевые слова: электроснабжение, промышленное предприятие, режимы, управление, исследование.

При внедрении технической системы управления режимами электроснабжения на крупном судоремонтном предприятии необходимо решить задачу разработки её структуры (рис. 1) [1, 2].

Внедрение систем управления режимами электроснабжения на промышленных предприятиях является актуальной задачей. Ее решение создает уникальные возможности для предприятий организовывать на высоком техническом и организационном уровне эффективные системы управления режимами электроснабжения [3 – 11]. Это позволяет оптимально использовать энергоресурсы промышленного предприятия. Возрастающие технико-экономические требования потребителей электроэнергии определяют расширение применения систем управления режимами электроснабжения.

Повышение экономической эффективности и качества работы энергосистем непосредственно связано с внедрением систем управления режимами электроснабжения судоремонтного предприятия. При внедрении технических систем учета и контроля на промышленных предприятиях перед внедренческой организацией встает задача, связанная с проектированием системы для конкретного объекта и заказчика.

В связи с этим, в техническом и рабочем проектах закладываются основа всей системы, методологическая и концептуальная база, представляется целесообразным для проведе-

ния в дальнейшем качественного монтажа выполнять самостоятельно и проектные работы по системе. Для этого необходимо определиться с основополагающим подходом и собственным видением всей системы в совокупности.

Предлагаемый подход основывается на работах по проектированию и монтажу автоматизированных систем учета и контроля на крупных промышленных предприятиях Государственного Российского центра атомного судостроения (ГРЦАС) в Северодвинске и на объектах Архангельской области. Промышленные системы контроля и учета начали внедрять в конце 90-х годов и они успешно эксплуатируются по настоящее время.

Данная методология прошла практическую апробацию и подтвердила свою эффективность в реальных условиях промышленного производства при внедрении систем внедренческой сторонней организацией на крупных промышленных предприятиях.

С конца 90-х годов в Северодвинске на ГМП “Звездочка” внедренческой организацией проводятся работы по реализации программы управления режимами энергоснабжения промышленного предприятия [1, 2]. При проведении этих работ был выполнен проект разрабатываемой системы на основе комплекса технических средств (КТС) “Энергия” и реализована система контроля и управления энергообеспечением крупного промышленного предприятия [1, 2]. Эффективные ре-

1) разработка рекомендаций по упорядочению данных;

2) выработка решения о режимах работы энергетических объектов в условиях функционирования;

3) разработка мероприятий по подготовке электроэнергетических объектов к внедрению;

4) оценка технико-экономической эффективности, достигаемой при внедрении.

Основными источниками получения информации являются:

плановые и отчетные документы предприятия;

результаты работ, проводившихся на предприятии по изучению и совершенствованию существующей организации электрохозяйства;

результаты опроса работников;

заполненные формы документов, используемых в системе регулирования энергетическими объектами;

генеральный план предприятия;

инструкции и положения в подразделениях;

результаты сбора статистических данных;

нормативно-справочные материалы.

Энергетическое хозяйство предприятия характеризуется следующей информацией:

об электроснабжении;

об электропотреблении;

о надежности питания электроэнергией.

Информацию об электроснабжении составляют:

схемы распределения энергии;

схемы соединения подстанций;

технические характеристики трансформаторов;

данные о средствах регулирования напряжения;

данные об устройствах компенсации реактивной мощности;

технические характеристики синхронных двигателей, установленных на предприятии;

перечень электродвигателей мощностью более 100 кВт.

Информация об электропотреблении включает:

сведения:

о системе тарифов;

о системе учета;

о заявленном и сравнительном максимумах электрических нагрузок по месяцам, кварталам (за предыдущий период и во время обследования);

о фактическом потреблении электроэнергии;

перечень потребителей регуляторов;

удельные нормы и удельные расходы электроэнергии за последние 5 лет по кварталам;

мероприятия по разгрузке в часы максимума нагрузки энергосистемы;

корректировка лимитов по расходу электроэнергии;

типовой график электрической нагрузки за осенне-зимний и весенне-летний периоды;

суточный график активной и реактивной нагрузки, снятый через каждые 30 мин в течение двух недель каждого квартала.

Информация о надежности включает:

сведения о наличии потребителей первой и второй категорий;

количество перерывов в электроснабжении, их причины и последствия.

Техническое задание состоит из следующих основных разделов:

основание проектирования;

краткая характеристика объекта контроля, учета и управления;

цель создания системы управления и прогнозируемые значения параметров, которые должны быть получены;

основные функции и задачи системы контроля, учета и управления;

структура системы управления;

требования к системе управления и возможности модернизации;

требования к подсистемам, входящим в систему управления, о совместимости и взаимодействии;

требования к предприятию-заказчику по подготовке объекта к внедрению системы управления;

организация проектирования, создания системы управления и определения исполнителя работ;

стадии и этапы создания системы управления и порядок ввода в эксплуатацию;

определение показателей экономической эффективности системы управления [3 – 11].

Таким образом, в соответствии с этими документами предусматриваются следующие стадии создания системы управления:

технико-экономическое обоснование (ТЭО);

техническое задание;

проект;

рабочая документация;

промышленная эксплуатация.

При реализации проекта по внедрению системы управления режимами электропотребления на крупном судоремонтном промышлен-

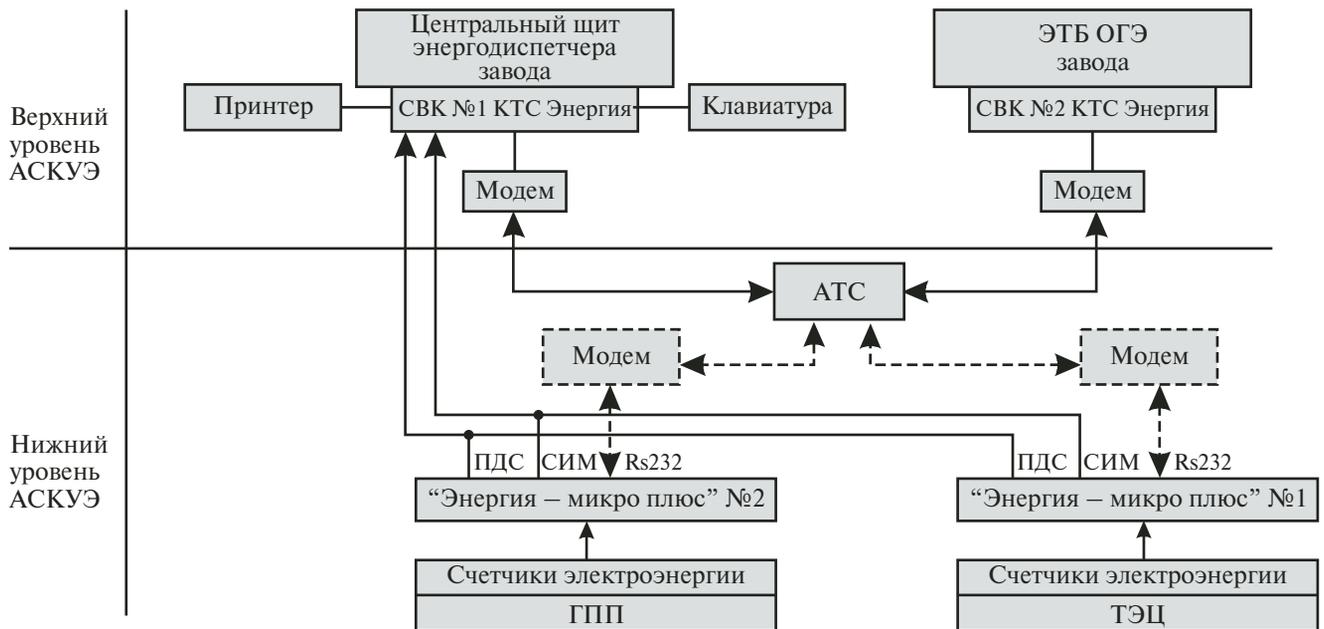


Рис. 2. Система управления режимами электропотребления судоремонтного предприятия

ном предприятии были решены технико-экономические задачи потребления электрической энергии и мощности, прогнозирования потребляемой мощности и передачи данных о потреблении на специализированные вычислительные комплексы (СВК) КТС “Энергия” (рис. 2) [1, 2].

Система управления режимами электропотребления судоремонтного предприятия предназначена для управления расходом электроэнергии и мощности, сбора информации о потреблении электроэнергии и мощности и передачи данных в ОГЭ предприятия с выдачей результатов учета для финансовых расчетов с АО “Архэнерго” и для энергодиспетчера судоремонтного предприятия [4 – 12].

Эти данные обеспечивают:

контроль электроэнергии по тарифу с измерением и регистрацией превышений установленного лимита мощности;

контроль электроэнергии по тарифу, дифференцированному по зонам суток, в выходные и праздничные дни;

информацию о работе в режиме временного ограничения мощности;

хранение информации за текущий и прошедший расчетные периоды.

Реализованная система контроля и управления режимами электропотребления осуществляется:

100 %-ное дублирование данных для защиты от случайных сбоев в процессе модификации;

подсчет контрольной суммы файлов по оригинальному алгоритму для выявления поврежденных файлов.

Она имеет 20 паролей в двух уровнях защиты исходных данных от несанкционированного доступа [3 – 11].

Функциональные задачи системы управления режимами электропотребления по управлению потреблением судоремонтного предприятия разделяются на:

1. Расчетные задачи:

а) определение заявляемого максимума электрической нагрузки;

б) расчет и контроль нормируемых параметров электроэнергии;

в) расчет потерь.

2. Задачи измерения и контроля:

а) измерение текущих параметров электропотребления;

б) контроль максимума нагрузок и графиков нагрузок.

3. Задачи учета:

а) учет электроэнергии, потребляемой от энергосистемы АО “Архэнерго”;

б) учет электроэнергии, потребляемой подразделениями предприятия;

в) учет электроэнергии, потребляемой жилым районом;

г) учет электроэнергии, потребляемой субабонентами.

4. Вывод информации и отчетность:

а) составление сменно-суточных балансов электроэнергии;

б) составление балансов за декаду, месяц, квартал, год;

в) вывод информации на дисплей и печать.

5. Задачи управления:

управление потребителями II категории.

Задачи учета направлены на:

1) определение потребления электрической энергии и мощности судоремонтного предприятия за различные промежутки времени (5 мин, 30 мин, смена, сутки, месяц и т. д.);

2) организацию контроля выполнения планов электропотребления и удельных норм расхода электроэнергии подразделениями судоремонтного предприятия;

3) выдачу и печать учетных документов;

4) оперативное информирование энергодиспетчера о расходе электроэнергии и мощности на указанном интервале времени;

5) передачу данных в систему отображения информации предприятия при ее наличии.

Таким образом, система управления режимами электропотребления позволяет обеспечивать требуемую полноту и достоверность информации, унификацию форм документов, исключение параллельной обработки одной и той же информации, повышение производительности труда при формировании документов, способствует рациональному использованию электроэнергии на предприятии [1, 2].

Список литературы

1. Адаптивная двухуровневая система учета и контроля // Патент RU 68816 U1. Заявка № 2006143145 от 05 декабря 2006 г. Бюлл. № 33. МПК H02P 9/30 (2006.01) ... / Карелин А. Н.
2. Карелин, А. Н. Автоматизированные системы контроля, учета и управления энергопотреблением на базе микропроцессорного комплекса / А. Н. Карелин // Промышленные АСУ и контроллеры. — 2003. — № 8.
3. СНиП 1104—2003. Инструкция о порядке разработки, согласования, экспертизы и утверждения градостроительной документации. — Постановление Госстроя России от 29 октября 2002 г. № 150. Включены в Систему нормативных документов в строительстве (СНиП 11042003) постановлением Госстроя России от 27 февраля 2003 г. № 27. — ГУП ЦПП, 2003.
4. ГОСТ 21.408—2013. Межгосударственный стандарт. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов (введен в действие Приказом Росстандарта от 17.12.2013 № 2293ст). — М.: Стандартинформ, 2014.
5. ВСН 28175 (Минприбор). Временные указания по проектированию систем автоматизации технологических процессов / Министерство приборостроения,

средств автоматизации и систем управления. — М., 1975.

6. СН 21373. Инструкция о порядке проведения экспертизы проектов и смет на строительство (реконструкцию) предприятий, зданий и сооружений. — М.: Стройиздат, 1977.
7. СП 1111099. Авторский надзор за строительством зданий и сооружений (одобрен Постановлением Госстроя РФ от 10.06.1999 № 44). — М.: Госстрой РФ, ГП «ЦЕНТРИНВЕСТпроект», РОИС, ГУП ЦПП, 1999.
8. Правила учета тепловой энергии и теплоносителя. — М.: НЦ ЭНАС, 2003.
9. Правила эксплуатации теплопотребляющих установок и тепловых сетей потребителей. Правила техники безопасности при эксплуатации теплопотребляющих установок и тепловых сетей потребителей (ред. от 25.12.94) (утв. Госэнергонадзором 07.05.92). — М.: Энергоатомиздат, 1992.
10. Правила устройства электроустановок (седьмое издание). — М.: Главгосэнергонадзор, 2003.
11. Правила эксплуатации электроустановок потребителей. — М.: Издательство «Перспектив», 2019.

References

1. Karelin A. N. Adaptivnaya dvukhurovnevaya sistema ucheta i kontrolya (Adaptive two-level system of accounting and control), Patent RU 68816 U1. Application No. 2006143145, claimed 05.12.2006, Bul. No. 33, IPC H02P 9/30 (2006.01).
2. Karelin A. N. Avtomatizirovannye sistemy kontrolya, ucheta i upravleniya energopotrebleniem na baze mikroprotsessornogo kompleksa (Automated control systems, metering and energy management based on a microprocessor complex), Industrial ACS and controllers, 2003, No. 8.
3. SNiP 1104—2003. Instruksiya o poryadke razrabotki, soglasovaniya, ekspertizy i utverzhdeniya gradostroitel'noi dokumentatsii (Instructions on the procedure for the development, approval, examination and approval of urban planning documentation), GUP TsPP, 2003.
4. GOST 21.408—2013. Mezghosudarstvennyi standart. Sistema proektnoi dokumentatsii dlya stroitel'stva. Pravila vpolneniya rabochei dokumentatsii avtomatizatsii tekhnologicheskikh protsessov (State standard. System of design documents for construction. Rules of industrial process automation working documentation execution), Moscow, Standartinform, 2014.
5. ВСН 28175 (Minpribor). Vremennye ukazaniya po proektirovaniyu sistem avtomatizatsii tekhnologicheskikh protsessov. Ministerstvo priborostroeniya, sredstv avtomatizatsii i sistem upravleniya. (Ministry of Instrumentation. Temporary guidelines for the design of process automation systems. Ministry of Instrument Engineering, Automation and Control Systems), Moscow, 1975.
6. СН 21373. Instruksiya o poryadke provedeniya ekspertizy proektov i smet na stroitel'stvo (rekonstruktsiyu) predpriyatii, zdaniy i sooruzhenii (Instruction on the procedure for the examination of projects and estimates for the construction (reconstruction) of enterprises, buildings and structures), Moscow, Stroyizdat, 1977.

7. **SP 1111099.** Avtorskii nadzor za stroitel'stvom zdanii i sooruzhenii (Architectural supervision of the construction of buildings and structures), Moscow, Gosstroy of the Russian Federation, SE "CENTRINVESTproject", ROIS, GUP TsPP, 1999.
8. **Pravila ucheta teplovoi energii i teplonositya** (Rules for accounting for thermal energy and coolant), Moscow, NTs ENAS, 2003.
9. **Pravila ekspluatatsii teplopotreblyayushchikh ustanovok i teplovykh setei potrebitelei. Pravila tekhniki bezopasnosti pri ekspluatatsii teplopotreblyayushchikh ustanovok i teplovykh setei potrebitelei** (Rules for the operation of heat-consuming installations and heat networks of consumers. Safety regulations for the operation of heat-consuming installations and heat networks of consumers), Moscow, Energoatomizdat, 1992.
10. **Pravila ustroystva elektroustanovok** (Rules for the installation of electrical installations), Moscow, Glavgosenergonadzor, 2003.
11. **Pravila ekspluatatsii elektroustanovok potrebitelei** (Rules of operation of electrical installations of consumers), Moscow, Prospect Publishing House, 2019.

super.cascad@yandex.ru

Management of electric power supply modes at a ship-repair enterprise

Karelin A. N., Karelin E. N.

The issues of developing technical control systems to be used in regulation of the power supply modes of a large ship repair industrial enterprise are considered. The feasibility of using modern power supply regulation systems is shown proceeding from analysis of the trends in development of modern energy systems., The system of energy audit implemented at a large ship-repair enterprise in Severodvinsk and conceptually developed system for managing power supply modes were developed using the results of the author's patented developments, completed basic design efforts and configuration of the basic software for top-level computers.

Keywords: power supply, industrial enterprise, modes, management, research.

ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ!

**Редакция информирует о подписке
на I полугодие 2020 г.**

Подписные данные о журнале опубликованы
в объединенном каталоге "Пресса России".

Индекс — 70734.

ОБЩАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ЦЕНОЛОГИЯ

Оценка энергоэффективности крупной торговой сети

Сизганова Е. Ю., Южанников А. Ю., кандидаты техн. наук
Сибирский федеральный университет, Красноярск

Рассмотрены техноценологические исследования потребления электроэнергии объектами крупной торговой сети. По четырём форматам сети потребление электроэнергии превышает 2850 МВт·ч/год. Показана эффективность аппроксимации электропотребления объектов с помощью рангового анализа. Процедура интервального оценивания позволила выявить и проранжировать объекты торговой сети, аномально потребляющие электроэнергию. Рассчитан тренд временных рядов относительного электропотребления для каждого объекта. По результатам расчётов с применением индикатора индекса жизнеспособности по электропотреблению установлены объекты, требующие первоочередного углублённого энергетического обследования.

Ключевые слова: техноценоз, электропотребление, торговые сети, ранговый анализ, индекс жизнеспособности.

Постоянно повышающиеся цены на энергоресурсы влекут за собой рост тарифов на электроэнергию для потребителей. В Российской Федерации энергосбережение и повышение энергетической эффективности во всех отраслях экономики относятся к приоритетным задачам социально-экономического развития на всех уровнях государственного управления. В сокращении затрат на энергоресурсы заинтересованы три стороны: владелец объекта, который стремится снизить расходы на энергопотребление в целом; арендаторы, которые заинтересованы в том, чтобы платить меньше за коммунальные услуги; FM-оператор, который, обладая практическими навыками по эффективному энергопотреблению, способен оптимизировать затраты на обслуживание систем и коммуникаций здания. В целом, вопрос энергоэффективности для торгового центра всегда стоит достаточно остро. Наиболее рациональный подход к расходу энергоресурсов даёт существенную экономию.

Сеть магазинов — это магазины одной зарегистрированной торговой марки, находящиеся под общим владением и контролем, с одним узнаваемым дизайном, размещённые в разных районах города, в разных городах или в разных странах, продающие товары аналогичного ассортимента, имеющие общую службу закупок и сбыта. Координация их работы осуществляется из центра. В них поддерживают единые цены, один уровень сервиса, единую маркетинговую политику. У сетевых магазинов гораздо больше возможностей по перераспределению финансовых ре-

сурсов, поддержанию убыточных, но перспективных точек. Магазины одной сети за счёт единых рекламы, ассортимента и качества обслуживания получают также большой и полезный объём ноу-хау, который они используют в работе.

Таким образом, торговая сеть представляет собой системный объект, отдельные объекты которого (подсистемы), с одной стороны, достаточно независимы и не связаны между собой жёстко (механически, электрически, гидравлически и т. д.), а с другой — объединены слабыми связями, определяемыми единой системой управления, снабжения, эксплуатации, а также общей целью функционирования. Кроме того, эти объекты ограничены в пространстве и времени. Следовательно, **крупную торговую сеть можно классифицировать как техноценоз.**

Исследуемая торговая сеть развивает четыре формата розничной торговли (рис. 1), которые включают 16 гипермаркетов, 54 супермаркета, 92 магазина у дома, 56 дискаун-

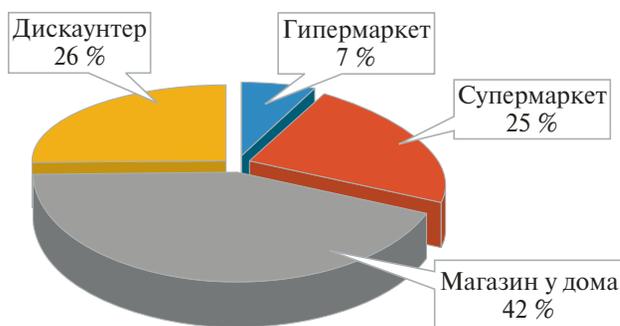


Рис. 1. Форматы розничной торговли исследуемой торговой сети

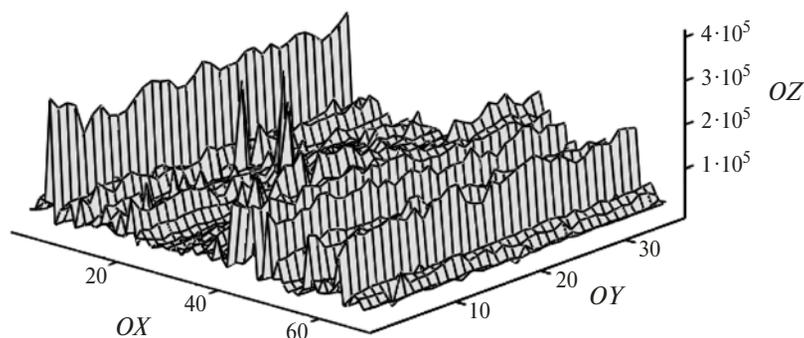


Рис. 2. Динамика электропотребления крупной торговой сети: по оси OX — объекты торговой сети; по оси OY — электропотребление за i -й месяц, кВт·ч; по оси OZ — временной интервал (месяц)

теров. Общая торговая площадь сети — более 250 тыс. м². Количество покупателей — более 200 тыс. в день. Суммарный объём электропотребления — свыше 2850 МВт·ч в год.

Сотрудниками кафедры “Электротехнические комплексы и системы” Сибирского федерального университета был проведён анализ динамики электропотребления объектов крупной торговой сети (рис. 2). Использованы статистические данные по электропотреблению за период с 2015 по 2018 г., за которое сеть ежемесячно расплачивается с гарантирующим поставщиком электроэнергии. Проанализировать и учесть влияние всех прямых и косвенных факторов, которые могут оказывать влияние на уровень электропотребления отдельного объекта торговой сети, практически невозможно из-за отсутствия численных показателей большинства из них. Всё это чрезмерно увеличивает сложность модели.

С точки зрения последующей статистической обработки данных большое значение имеет аппроксимация динамики электропотребления. Её задача заключается в подборе аналитической зависимости, наилучшим образом описывающей совокупность точек. Аппроксимацию можно осуществлять различными

методами, каждый из которых обладает как достоинствами, так и недостатками. В нашем случае аппроксимация выполнена методом наименьших квадратов с использованием трёх функций:

степенной

$$y = b_0 x^{b_1};$$

логарифмической

$$y = b_1 \ln(x) + b_0;$$

полинома шестой степени

$$y = b_6 x^6 + b_5 x^5 + b_4 x^4 + b_3 x^3 + b_2 x^2 + b_1 x + b_0.$$

В табл. 1 приведены результаты аппроксимации динамики электропотребления (январь 2018 г.)

Точность математической модели можно оценить по коэффициенту детерминации (величине достоверности аппроксимации):

$$R = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (W_i - W_{\Phi i})^2}{\sum_{i=1}^N (W_{\Phi i} - W_0)^2}.$$

Таблица 1

Функция	Коэффициенты уравнения	Достоверность аппроксимации
Степенная	$b_0 = 65926 b_1 = -0,073$	0,0096
Логарифмическая	$b_0 = 75314 b_1 = -2529$	0,0016
Полиномиальная	$b_0 = 23141 b_1 = 27020$ $b_2 = -3397,9 b_3 = 161,73$ $b_4 = -3,5055 b_5 = 0,035$ $b_6 = -0,0001$	0,1346

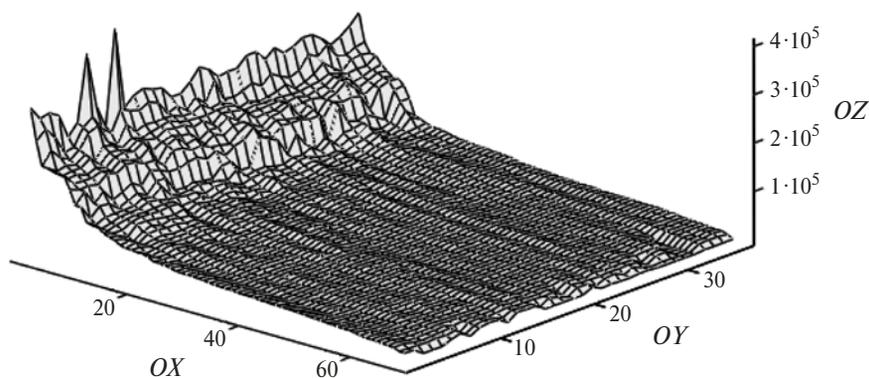


Рис. 3. Ранговая поверхность электропотребления крупной торговой сети: по оси OX — ранг объекта торговой сети; по оси OY — электропотребление за i -й месяц, кВт·ч; по оси OZ — временной интервал (месяц)

Чем ближе R к единице, тем бóльшую часть исходного изменения электропотребления данная модель способна объяснить.

Анализируя значения, представленные в табл. 1, можно сделать вывод, что достоверность аппроксимации низкая, а это не позволяет использовать полученные математические модели для анализа динамики электропотребления с приемлемой точностью.

В то же время, если проранжировать объекты торговой сети по значениям электропотребления в порядке убывания (рис. 3) и применить для анализа полученного рангового распределения тот же математический аппарат, то качество регрессионных моделей существенно повышается, достоверность аппроксимации стремится к единице.

В табл. 2 приведены результаты аппроксимации рангового распределения объектов по значениям электропотребления (январь 2018 г.)

Исследователи, занимающиеся ранговым анализом, по сложившейся традиции в качестве стандартной выбирают двухпараметрическую гиперболическую математическую модель, описанную в [1, 2]:

$$W = \frac{W_1}{r^\beta},$$

где W_1 — максимальное электропотребление; β — ранговый коэффициент.

Безусловно, данная форма далеко не самая совершенная, но её неоспоримым достоинством является определение при аппроксимации всего двух параметров: W_1 и β .

Для объектов торговой сети были вычислены коэффициенты регрессии всех распределений за рассматриваемый период времени. Анализ параметров рангового распределения и характер их изменения являются критериями устойчивости инфраструктуры торговой сети как системы типа техноценоз. По изменению β можно судить о состоянии техноценоза. Анализ временного ряда $\beta(t)$ (рис. 4) даёт возможность определить, является ли выделенная совокупность ценозом, развивающимся сбалансированно и предсказуемо.

Тренд временного ряда рангового коэффициента β отражает тенденцию изменения электропотребления:

1) рост коэффициента β позволяет сделать вывод об увеличении разрыва между крупны-

Таблица 2

Функция	Коэффициенты уравнения	Достоверность аппроксимации
Степенная	$b_0 = 545434b_1 = -0,72$	0,9345
Логарифмическая	$b_0 = 268572b_1 = -61737$	0,9486
Полиномиальная	$b_0 = 304255b_1 = -30553$ $b_2 = 1639,1b_3 = -49,745$ $b_4 = 0,8695b_5 = -0,0081$ $b_6 = 0,00003$	0,982

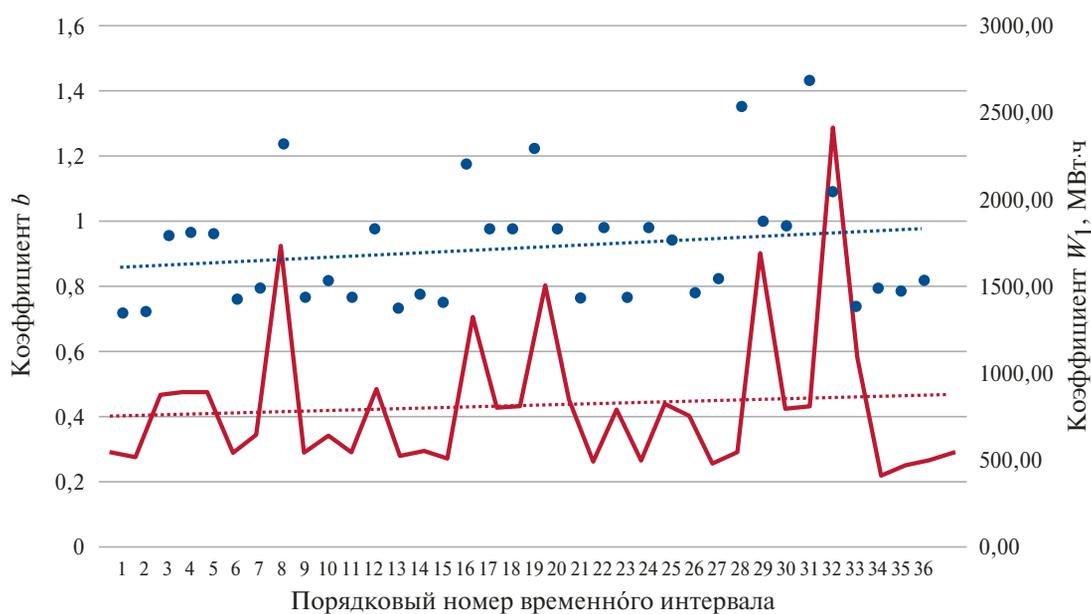


Рис. 4. Динамика изменения параметров рангового распределения

ми и мелкими (с точки зрения электропотребления) объектами торговой сети;

2) постоянство коэффициента β означает сохранение соотношения крупных и мелких объектов торговой сети;

3) уменьшение коэффициента β характеризует сокращение разрыва между крупными и мелкими объектами торговой сети.

В первом и третьем случаях нарушается соотношение между крупными и мелкими элементами техноценоза, что свидетельствует о возможном нарушении его стабильности.

Для большей обоснованности принятия решений, касающихся исследуемой технической системы в целом, необходимо вместе с трендами временных рядов ранговых коэффициентов β исследовать и тренды временных рядов так называемых первых точек (в данном случае — магазинов с максимальным электропотреблением W_1).

Для рассматриваемой торговой сети анализ временных рядов параметров рангового распределения показывает, что значения первой точки и рангового коэффициента хоть и незначительно, но растут (см. рис. 4); увеличивается разрыв по уровню электропотребления между крупными и мелкими объектами торговой сети. Это означает, что у крупных объектов намечена тенденция повышения электропотребления. На них нужно обратить внимание с целью более детального обследования.

Одной из аналитических процедур рангового анализа является интервальное оценивание параметрического распределения [1, 2].

Оно позволяет определить, какие из объектов потребляют ресурс аномально. Применительно к электропотреблению крупной торговой сети: если точка на ранговом распределении входит в доверительный интервал (рис. 5), то в пределах гауссового разброса параметров можно утверждать, что данный объект потребляет электроэнергию нормально; если точка находится ниже доверительного интервала, то это, как правило, свидетельствует о нарушении нормального технологического процесса электропотребления на данном объекте (частые отключения электроэнергии, неплатежи, избыточная экономия и др.); если точка находится выше доверительного интервала, то на соответствующем объекте имеет место аномально большое потребление электроэнергии. Именно на эти объекты в первую очередь должно нацеливаться углублённое энергетическое обследование (энергоаудит). Последовательная на протяжении ряда лет реализация данной методологии позволит каждый раз целенаправленно воздействовать на наиболее “слабые” объекты. При этом средства, нацеленные на проведение энергетических обследований, будут расходоваться наиболее эффективно, а общее электропотребление торговой сети будет постоянно снижаться [2, 3].

Определим количество точек, находящихся выше и ниже доверительного интервала, а также попавших в него, с помощью индикатора, который принимает значения 0, 1 или -1 , если точки соответственно находятся внутри, выше или ниже доверительного ин-

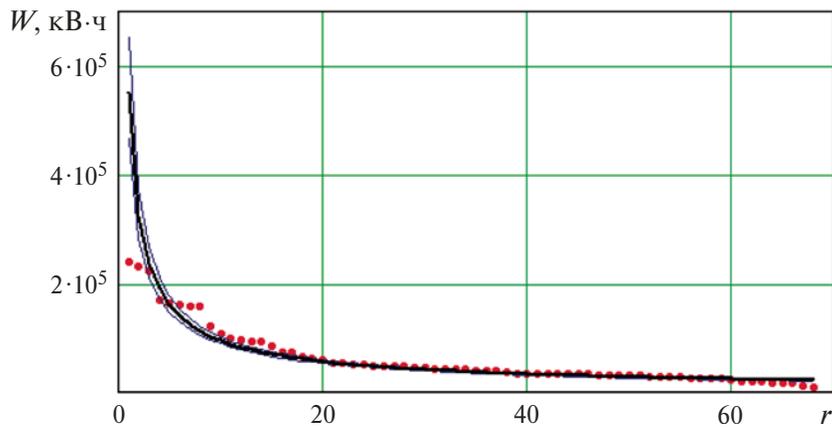


Рис. 5. Доверительный интервал для полного рангового параметрического распределения:

••• — эмпирические данные; — — аппроксимационная кривая; — — верхняя и нижняя доверительные границы

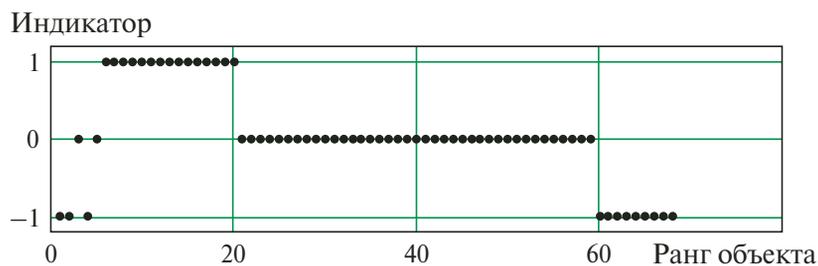


Рис. 6. График, иллюстрирующий попадание точек в доверительный интервал

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
40	43	54	45	52	10	9	48	5	3	6	64	67	19	50	56	66	57	34	53	20	41	59	15	18	25	11

Рис. 7. Список очередности проведения энергоаудита на объектах торговой сети

тервала (рис. 6). Результат: 12 точек лежат ниже доверительного интервала, 41 точка попала в доверительный интервал и 15 точек лежат выше доверительного интервала.

Чтобы получить список очередности проведения энергоаудита на объектах торговой сети (рис. 7), определена относительная величина отклонения точек от границ доверитель-

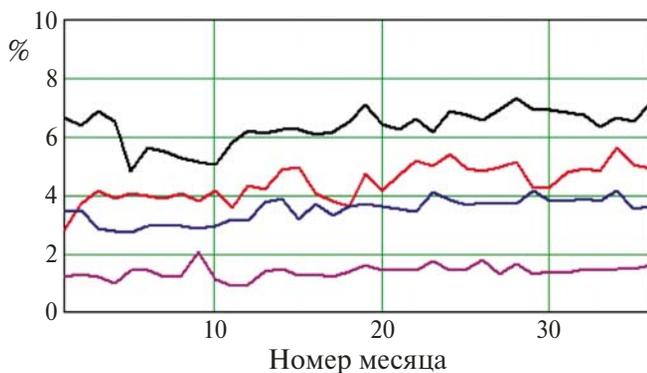


Рис. 8. Временные ряды относительного электропотребления объектов торговой сети

ного интервала. Затем объекты были проранжированы по данному параметру и получены номера объектов в начальной базе данных по электропотреблению.

Таким образом, процедура интервального оценивания позволила выявить и проранжировать объекты торговой сети, anomalно потребляющие электроэнергию. Если таковых оказывается сравнительно много, то требуется дополнительное исследование с целью определения объектов, энергоаудит которых является первоочередной задачей для инфраструктуры в целом.

Одна из ключевых процедур управления техноценозом [1, 2] — своевременное выявление первоочередных объектов для углубленного энергетического обследования. Для этого осуществляется так называемое оценивание жизнеспособности объектов по электропотреблению [2, 4–7]. Кроме того, данная процедура позволяет провести дополнительное исследование объектов и сделать весьма

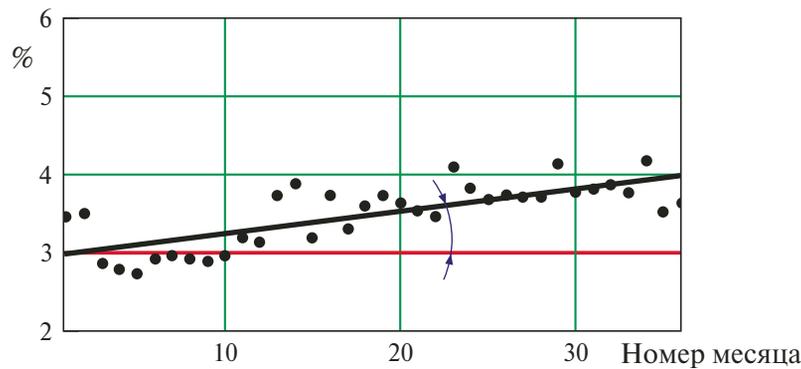


Рис. 9. Макроиндикатор, отражающий динамику электропотребления объекта

плодотворные выводы относительно динамики их развития в целом [4].

В ходе принятия решения по углублённому энергетическому обследованию (энергоаудиту) объектов торговой сети в качестве ключевого макроиндикатора необходимо учесть их индекс жизнеспособности [4]. Это угол между осью абсцисс и линией тренда временного ряда относительного электропотребления объекта, которое определяется как отношение его электропотребления этого объекта к суммарному электропотреблению техноценоза. Как показано в [4], значение и знак индекса жизнеспособности позволяют сделать выводы относительно динамики развития (или стагнации) объекта, а также определить его номер в списке первоочередных объектов для углублённого энергетического обследования.

Вычислены отношения электропотребления каждого из объектов к общему электропотреблению торговой сети. Результаты вычислений на рис. 8 отображены в процентах. Следует отметить, что здесь в качестве иллюстрации построены графики только для объектов с номерами 5, 62, 56 и 9, причём самый верхний (в начале) график соответствует номеру 5, затем номер 62, далее номер 56 и ниже всех номер 9.

Рассчитан тренд временных рядов относительного электропотребления для каждого из объектов торговой сети. Как было отмечено, угол наклона тренда к оси абсцисс отражает динамику изменения доли электропотребления каждого объекта в общем электропотреблении торговой сети и тем самым служит макроиндикатором жизнеспособности объекта по электропотреблению. В качестве тренда используется определяемая методом наименьших квадратов аппроксимирующая прямая $Y = ax + b$. Коэффициент a в уравнении аппроксимирующей прямой тренда равен тан-

генсу угла наклона данной прямой к оси абсцисс. Таким образом, для нахождения угла необходимо рассчитать $\arctg a$.

Результаты расчётов продемонстрированы на примере объекта под номером 56 (рис. 9). Для наглядности иллюстрации угла изображена сопряжённая с трендом (чёрная прямая) горизонтальная красная прямая. В итоге определены вектор индексов жизнеспособности каждого объекта торговой сети и суммарный индекс жизнеспособности всех объектов.

С целью определения первоочередных объектов для углублённого энергетического обследования находят элементы вектора с наибольшим значением угла.

Таким образом, по результатам расчётов с применением в качестве макроиндикатора индекса жизнеспособности по электропотреблению в нашем примере объектами, требующими первоочередного углублённого энергетического обследования, являются объекты с номерами в исходной базе данных 62, 5, 56 и 27. Кроме того, по результатам расчётов можно сделать ряд важных выводов относительно динамики развития (или стагнации) объектов торговой сети.

Список литературы

1. Кудрин, Б. И. Введение в технетику / Б. И. Кудрин. — Томск: Издание ТГУ, 1993. — 552 с.
2. Гнатюк, В. И. Закон оптимального построения техноценозов / В. И. Гнатюк. — М.: Изд-во ТГУ — Центр системных исследований, 2005. — 384 с. (<http://gnatukvi.ru/ind.html>).
3. Кудрин, Б. И. Ценологическое определение параметров электропотребления многономенклатурных производств / Б. И. Кудрин, Б. В. Жилин, О. Е. Лагуткин, М. Г. Ошурков. — Тула: Приок. кн. изд-во, 1994. — 122 с.
4. Гнатюк, В. И. Ранговый анализ техноценозов / В. И. Гнатюк, О. Е. Лагуткин. — Калининград: БНЦ РАЕН — КВИ ФПС РФ, 2000. — 86 с.

5. **Фуфаев, В. В. Ценологическое определение параметров электропотребления, надёжности, монтажа и ремонта электрооборудования предприятий региона / В. В. Фуфаев.** — М.: Центр системных исследований, 2000. — 320 с.
6. **Сизганова, Е. Ю. Техноценозы в электротехнических системах и комплексах: монография / Е. Ю. Сизганова, Т. М. Чупак, А. Ю. Южанников.** — Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. — 272 с.
7. **Антоненков, Д. В. Энергосбережение образовательных учреждений: монография / Д. В. Антоненков, Е. Ю. Сизганова, А. Ю. Южанников.** — Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2015. — 156 с.

References

1. **Kudrin B. I. Vvedenie v tekhnologiyu** (Introduction to technology), Tomsk, TSU Edition, 1993, 552 p.
2. **Gnatyuk V. I. Zakon optimal'nogo postroeniya tekhnotsenozov** (The law of optimal construction of technocenoses), Moscow, TSU Publ. House — Center for System Research), 2005, 384 p., [Electronic resource]. — URL: <http://gnatukvi.ru/ind.html>.
3. **Kudrin B. I., Zhilin B. V., Lagutkin O. E., Oshurkov M. G. Tsenologicheskoe opredelenie parametrov elektro-**
potrebleniya mnogonomenklaturnykh proizvodstv (Cenological determination of power consumption parameters of multinomenclature productions), Tula, Priok. Prince Publ. House, 1994, 122 p.
4. **Gnatyuk V. I., Lagutkin O. E. Rangovyi analiz tekhnotsenozov** (Rank analysis of technocenoses), Kaliningrad, BSC RANS-KVI FPS RF, 2000, 86 p.
5. **Fufaev V. V. Tsenologicheskoe opredelenie parametrov elektropotrebleniya, nadezhnosti, montazha i remonta elektrooborudovaniya predpriyatii regiona** (Cenological determination of parameters of power consumption, reliability, installation and repair of electrical equipment of enterprises in the region), Moscow, Center for System Research, 2000, 320 p.
6. **Sizganova E. Yu., Chupak T. M., Southerners A. Yu. Tekhnotsenozy v elektrotekhnicheskikh sistemakh i kompleksakh** (Technocenoses in electrical systems and complexes), Krasnoyarsk, Sib. Feder. Univ., 2012, 272 p.
7. **Antononkov D. V., Sizganova E. Yu., Southerners A. Yu. Energoberezhenie obrazovatel'nykh uchrezhdenii** (Energy saving of educational institutions), Krasnoyarsk, Sib. Feder. Univ., 2015, 156 p.

ysizganova@sfu-kras.ru

Assessment of the energy efficiency of a large trade network

Sizganova E. Yu., Yuzhannikov A. Yu.

Technocenological studies of the electricity consumption at the objects of a large trade network are presented., electricity consumption exceeds 2850 MW·h/year in four network formats. The efficiency of approximating the power consumption of the objects using rank analysis is shown. The interval assessment procedure allowed us to identify and rank the objects of the trade network with abnormal electricity consumption. A trend in time series of the relative power consumption is calculated for each object. The results of calculations using an indicator of the viability index for electricity consumption revealed three objects that require an urgent insightful energy examination.

Keywords: technocenosis, power consumption, trade networks, rank analysis, vitality index.

Трактат о ценозе

Хорьков С. А., инж.

Удмуртский государственный университет, Ижевск

Общепринятого определения ценоза не существует, поскольку понятие ценоза противоречиво. Противоречие в понятии и модели ценоза возникает потому, что величина распределённого в элементах ресурса конечна и аддитивна, а распределение элементов по степенной зависимости (по гиперболе) мультипликативно и стремится к бесконечности. Работать с противоречивой моделью возможно, если указать на такой реально или идеально существующий объект (форму объекта), который являлся бы моделью и сочетал бы в себе противоположные стороны, т. е. сочетал одновременно и конечное, и бесконечное. Кроме того, такая модель позволяла бы дать такое разъяснение значений и смыслов, придаваемых её элементам, которое без указанной модели получить невозможно. Модель, отвечающая указанным требованиям, названа паранепротиворечивой. Приведены виды паранепротиворечивых статических и динамических моделей ценоза, с которыми работают на практике.

Ключевые слова: ценоз, паранепротиворечивая модель ценоза.

1. Введение в ценозы. Под ценозом понимают сообщество элементов, между которыми установлен некоторый вид связи. Эта связь обусловлена распределением некоторого ресурса между элементами. Ресурс может быть материальным, энергетическим или информационным. Не любое сообщество элементов со связями является ценозом, а лишь такое, элементы которого подобны друг другу и тому целому, которое они образуют. Отсюда: связи порождают иерархическую ветвящуюся и соответствующую ей степенную (гиперболическую) структуру. Элементы ценоза могут быть охарактеризованы тем, что они принимают (воплощают в себе) определённое количество ресурса, а связи показывают, каковы отношения между элементами и каким образом ресурс распределён в ценозе.

Трактат опирается на работы Б. И. Кудрина и его учеников, а также на работы математиков Колмогорова, Хинчина, Гнеденко, Прохорова, Аносова, Громова, Смейла, Леви, Мандельброта, Шредера и многих других. При написании трактата автор решил отказаться от приведения формул.

2. Противоречие в понятии и в модели ценоза. Общепринятого определения ценоза не существует. И это объясняют не только тем, что есть множество дополнительных признаков, которые стараются учесть в одном определении, что подчас сделать чрезвычайно трудно (или даже невозможно), сколько тем, что ценоз в некотором смысле внутренне противоречив. Противоречие возникает потому, что величина распределённого в элементах ценоза ресурса обозрима, т. е. конечна и аддитивна и её можно выразить рациональным числом, а распределение элементов по степенной зависимости (гиперболе) мультипликативно и стремится к бесконечности.

Для математика здесь может и не быть противоречия, он привык работать одновременно как с конечными величинами, так и с бесконечно малыми, с бесконечно большими или с иррациональными величинами. Для инженера и физика модель, объединяющая конечное аддитивное и бесконечное мультипликативное, внутренне противоречива. Однако, если оговорить форму модели и некоторые условия её употребления, то с такой моделью инженер может работать, не испытывая внешних и внутренних неудобств. Для этого необходимо указать на такой реально или идеально существующий объект (форму объекта), который являлся бы моделью и сочетал бы в себе противоположные стороны, т. е. сочетал одновременно и конечное и бесконечное. Кроме того, такая модель должна иметь приемлемую интерпретацию. Другими словами, модель позволяла бы дать такое непротиворечивое разъяснение значений и смыслов, придаваемых её элементам, которое без указанной модели получить невозможно. Модель, отвечающую указанным требованиям, назовём паранепротиворечивой.

3. Виды статических и динамических моделей ценоза. Существуют статические и динамические модели ценозов. Статические модели показывают, как сопряжены ресурсный и структурный уровни ценоза. Эти модели помогают ответить на вопрос: почему при накопленной величине ресурса структура ценоза приобретает строго определённый вид. Динамические модели показывают, как фор-

мируется структура ценоза во времени. Для инженера важно построить такую форму статической модели ценоза, которая позволяла бы приемлемым способом соединить ресурс и его распределение. Такой моделью является паранепротиворечивая модель, объединяющая конечный ресурс и его распределение на теоретически бесконечном пространстве или в теоретически бесконечной сети. Конкретных вариантов таких двухслойных моделей может быть несколько. Их примерами будут: числовая, геометрическая, алгебраическая и термодинамическая модели. Модель динамики ценоза показывает, как формируется иерархическая структура во времени. Очевидно, что и динамических моделей может быть несколько. Наиболее известны из них: вероятностная модель ветвящихся процессов, модель на основе динамических гиперболических систем и фрактальная модель. Поскольку одной из задач ценологии является установление статистической устойчивости ценоза, то к динамическим моделям следует отнести вероятностную модель устойчивых законов распределения.

4. Статические модели ценоза. Паранепротиворечивые статические модели ценоза ориентированы на сопряжение конечного и бесконечного в едином объекте.

В качестве такой модели выступает числовая модель. Поле рациональных чисел может быть расширено при помощи числовых норм в двух и только в двух направлениях. Одно расширение (пополнение) называют полем вещественных чисел, другое — полем p -адических чисел. На поле вещественных чисел получают модель величины конечного ресурса, на поле целых p -адических чисел, интерпретируемом в виде бесконечно ветвящихся деревьев, получают модель распределения ресурса. Обе модели исходят из одного основания — поля рациональных чисел. Заметим, что рациональные числа являются “физическими” числами, поскольку именно в этих числах представляют результаты физических измерений. Числовая модель ценоза позволяет обосновать его степенное (гиперболическое) распределение, а также обосновать закон масштабирования, связывающий через степенной инвариант два различных ресурса на одной и той же иерархической структуре. В этом случае инвариантом является логарифм одного ресурса по основанию другого. Элементы иерархической ветвящейся структуры имеют экспоненциальное распределение.

Уровни иерархической ветвящейся структуры имеют степенное (гиперболическое) распределение ресурса.

Формы, в которых одновременно воплощены конечное и бесконечное, известны в геометрии. Геометрической моделью ценоза является гиперболическая модель. Ортогональные сечения гиперболоида и его асимптотического конуса имеют вид окружности и гиперболы. Количество таких сечений может быть счётным. Площадь окружности сечения позволяет задать конечную величину ресурса, а гипербола соответствует иерархическому распределению ресурса. Гиперболическая модель ценоза является качественной моделью, позволяющей показать, что конечное значение ресурса может быть сопряжено с распределением элементов, имеющим тренд к бесконечности.

Гиперболическое пространство модели ценоза, используя метод крупномасштабной геометрии, представляют иерархическим деревом (сетью) и гиперболической группой. Группа — есть множество элементов с двухместной ассоциативной операцией (два любых элемента группы порождают третий элемент группы), с нульместной операцией (группа имеет единичный элемент), одноместной операцией (каждый элемент группы имеет обратный элемент). Гиперболическая группа — это конечно порождённая группа как гиперболическое метрическое пространство. Метрика на этом пространстве является словарной. Метрика — есть неотрицательная функция двух точек пространства, удовлетворяющая аксиомам тождества, симметрии, треугольника. Её вводят через граф Кэли гиперболической группы.

Установлены следующие свойства гиперболических групп.

1. Гиперболических групп много, гиперболическими являются случайные группы. Конечное групповое представление с большой вероятностью задаёт гиперболическую группу.

2. У гиперболических групп есть границы. Граница — есть функториально построенное компактное пространство, на котором гиперболическая группа действует гомеоморфизмами. Многие свойства группы восстанавливаются по её известной границе. Например, множество Кантора — это граница безгранично делимого иерархического дерева.

3. Гиперболическая граница позволяет построить компактное гиперболическое про-

странство. Отсюда существует выход на структурную устойчивость в смысле Аносова и Смейла.

4. Гиперболической группой является плоскость Лобачевского, которая обладает свойством конформности.

5. Так как тонкий треугольник является симплексом того комплекса, который представляет собой гиперболическое пространство, то гиперболическая группа является комбинаторной группой.

6. Граф Кэли гиперболической группы представляет иерархическое ветвящееся метрическое пространство.

Определив ценоз через гиперболическую группу, переносят известные свойства этой группы на модель ценоза.

В термодинамике задачу поиска распределения ограниченного количества энергии по элементам некоторого сообщества решают вариационным методом. Обычно это задача на условный экстремум. Она включает максимизируемый энтропиеобразный критерий, баланс энергии, представленный через составляющие элементы, и выражение для конечной суммы всех элементов. В этой задаче тренд стремления структурного критерия к максимуму (к бесконечности) и конечное значение ресурса связаны, поэтому она представляет собой одну из форм паранепротиворечивой статической модели ценоза. Решение задачи позволяет получить экспоненциальное распределение элементов в функции от количества принимаемой элементами сообщества энергии. Если количество принимаемой элементами энергии представить через логарифм её величины, то полученное распределение принимает степенной (гиперболический) вид. Так распределены уровни ветвления иерархического дерева.

Все рассмотренные паранепротиворечивые модели ценоза являются двухслойными, соединяющими конечность и бесконечность, аддитивность и мультипликативность, в одной для каждой модели своей форме. От одной паранепротиворечивой статической модели можно перейти к другой модели. Структура моделей — иерархическая ветвящаяся. Ей соответствует степенная (гиперболическая) структура.

1. Модель ценоза может включать лишь часть иерархической сети, но её тренд к бесконечности в любом случае очевиден. Этот тренд затрудняет нахождение границы ценоза. Границу можно найти только в том слу-

чае, если тренд остановлен из-за того, что размер минимальных элементов не может далее делиться. В противном случае границу ценоза устанавливают путём конвенции.

2. Удобным способом работы с бесконечным является совместное рассмотрение операций суммирования и повторяющихся действий (итераций). Суммирование позволяет получить целое из частей, а повтор (итерация), например при гиперболическом распределении элементов, теоретически может быть продолжен до бесконечности или остановлен искусственно. Объединение повторов можно получить через операцию “свёртки”. Совместное рассмотрение операции “суммирования” случайных величин с одинаковым распределением и операции “свёртки” этих же распределений лежит в основе оценки устойчивости гауссовых и негауссовых распределений.

3. Сообщества, объединяющие конечное и бесконечное, могут содержать не только материальный или энергетический ресурс, но и информацию — ресурс информационный. Более того, такая точка зрения позволяет утверждать, что ценозы не только самоорганизуются *без участия человека* и их можно находить в первой или во второй, искусственно созданной природе, но и то, что их можно специально изобретать (проектировать). Примером являются иерархические сети систем электроснабжения (1УР – 6УР).

4. Одним из способов работы с бесконечно большими числами является логарифмирование. Через логарифм определяют энтропию и количество информации. Логарифмирование — есть не только формальное действие, но и другая точка зрения на бесконечность, на нелинейность, на сумму и на произведение чисел. Логарифмирование чисел позволяет перевести операцию “умножения” (повтора) в операцию “суммы”. Логарифмирование степенных (гиперболических) распределений выделяет их периодичность, но на логарифмической шкале. Логарифмическая ось не имеет характерного масштаба, её декады (октавы) имеют один “размер” и для больших, и для малых значений чисел. Логарифмическая ось не имеет нуля, а потому удобна для работы с бесконечностью.

5. P -адичность целых чисел имеет геометрический образ в виде ветвящегося иерархического дерева. Такой же образ имеют некоторые виды фракталов.

6. Структура ценоза может быть сложным иерархическим деревом, состоящим из нескольких p -адических деревьев. Распределение всех элементов (или их размеров) иерархического ветвящегося дерева экспоненциально. Распределения всех уровней ветвления иерархического ветвящегося дерева степенное (гиперболическое).

7. Паранепротиворечивые статические модели ценоза позволяют исследовать его целостность, способы установления границы, гиперболическое H -распределение элементов, слабые (иерархические) связи между элементами.

5. Динамические модели ценоза. Динамические модели ценоза ориентированы на исследование формирования во времени его иерархической структуры. Эти модели могут быть итерационными либо с непрерывным временем. Примем за основу итерационный подход.

Вероятностная динамическая модель позволяет исследовать процесс накопления ресурса и формирования иерархической ветвящейся структуры. Получить такую модель можно, используя теорию ветвящихся процессов.

Способ получения динамической модели такой. Сначала фиксируют этапы ветвления иерархического дерева через накопление событий на них, а затем — через распределение временных промежутков, соответствующих рассматриваемому интервалу времени. Первый и второй подходы формализуют, затем формализованные выражения рассматривают совместно и получают динамическую модель ценоза. Критерием достоверности вероятностной динамической модели являются твёрдо установленные положения теории вероятностей, на которые она опирается, и полученные экспоненциальные и гиперболические распределения (выражения), соответствующие распределениям реальных ценозов (техноценозов). Для некоторых областей практической деятельности статистика, подтверждающая адекватность полученной модели, отсутствует. Этот факт является основной проблемой, препятствующей широкому распространению динамических моделей ценозов.

Вероятностная модель позволяет также оценить статистическую устойчивость ценоза. Распределение ценоза называют статистически устойчивым, если независимые случайные величины, распределённые по этому закону,

в сумме дают такое же распределение, что и его составляющие. Для устойчивого распределения ценоза верно и то, что свёртка характеристических функций слагаемых распределений даёт характеристическую функцию с тем же распределением. Распределение ценоза называют безгранично делимым, если свёртка с любым числом составляющих имеет такое же распределение, как и распределение составляющих. Очевидно, что распределение, полученное на ветвящемся иерархическом дереве ценоза, при числе элементов, стремящихся к бесконечности, является устойчивым безгранично делимым распределением. Такое распределение относят к классу негауссовых распределений. Существенным отличием негауссовой статистики от гауссовой является то, что её дисперсия бесконечна, а распределения с нормальным законом имеют конечную дисперсию.

Модель ценоза на основе динамических гиперболических систем также позволяет оценить структурную устойчивость ценоза. Динамическая система представляет собой множество элементов, для которых задана функциональная зависимость между временем и положением в функциональном пространстве. Гиперболическая динамическая система в качестве функционального имеет гиперболическое пространство. Структурная устойчивость характеризует инвариантность структуры ценоза по отношению к малым деформациям. Для оценки структурной устойчивости гиперболической динамической системы используют гиперболический диффеоморфизм. Он представляет такое отображение гладкого многообразия в себя, у которого касательное пространство в любой точке представляют разложенным на два подпространства, одно из которых является растягивающим, а другое сжимающим. Гиперболическая динамическая система на гладком многообразии имеет такой гиперболический диффеоморфизм, что все неподвижные и периодические точки гиперболически, а периодические точки, кроме того, всюду плотны.

Фрактальную модель ценоза можно рассматривать актуально как законченную конструкцию или потенциально — через итерации. Механизм построения фрактала — итерационный. Он позволяет перейти от одной точки пространства к следующей при помощи рекурсии. Фрактал открыт (придуман) Мандельбротом для того, чтобы измерять такие

объекты, которые ранее считались неизмеримыми. Фрактал имеет свою меру, метрику и размерность. Мера и размерность фрактала — хаусдорфовы. Мера фрактала обладает свойствами монотонности, полуаддитивности, аддитивности, однородности. Размерность фрактала удобно определять через конечную положительную меру. Она, как правило, является дробной. Распределение составляющих фрактала — степенное и обладает скейлингом, т. е. оно масштабно-инвариантно. Однородным функциям, обладающим масштабной инвариантностью, присуще интересное свойство: при изменении масштаба они воспроизводят сами себя. Существуют фракталы, относящиеся к “дендритам” (имеют структуру ветвящегося дерева). Если предположить, что на этой структуре распределён некий ресурс, то на фрактале определяют закон масштабирования. Это закон связывает два ресурса на одном носителе. Такая связь является степенной. Показатель степени этой связи — есть инвариант. Он представляет собой логарифм значения одного ресурса по основанию второго. Если считать, что ресурсы распределены на носителе неоднородно, то имеют дело с мультифракталом. Мультифрактал позволяет получить спектр инвариантов — показателей степеней. Фрактал, зависящий от времени, обладает свойством самоаффинности. Для такого реального фрактала находят показатель Херста, который связан с размерностью фрактала функциональной зависимостью. Реальные фракталы и ценозы имеют ограниченный диапазон существования. Выше и ниже определённых значений элементов закон самоподобия не выполняется, и скейлинг разрушается по объективным причинам.

6. О практике применения ценозов и моделей ценозов.

Ценозы представляют собой сложные системы (сообщества), в которых распределён материальный, энергетический, информационный ресурс. При распределении ресурса в ценозе формируется и эволюционирует иерархическая ветвящаяся структура (дендрит). Во многих случаях такую структуру нельзя наблюдать, но её всегда можно представить и воссоздать. Структура может состоять из нескольких иерархических деревьев. В момент формирования при определённых условиях структура может выродиться. Если считать, что иерархическая структура сформирована и существует, то возможно построить её статисти-

ческую модель. Элементы иерархического дерева распределены по экспоненте, а уровни ветвления имеют степенное (гиперболическое) распределение. Ценозы встречаются в природе, технике, экономике, социологии и других областях науки и практики. Поскольку это так, то следует предположить, что при формировании ценозов присутствуют явления самоорганизации.

1. Термин “ценоз” впервые появился в составе термина “биоценоз” ещё во второй половине XIX века. Понятие “ценоз” как таковое стали употреблять во второй половине XX века. Появлению понятия предшествовали научные исследования сообществ с гиперболическими распределениями в частотной и ранговой формах.

2. Появление понятия “ценоз” обусловлено вовлечением в сферу практики сложных систем (объектов, сообществ), состоящих из множества разновеликих частей (элементов), которые нужно проектировать, эксплуатировать и ремонтировать. Понятие “ценоз” позволяет работать с бесконечным рядом величин и объектов. До его введения понятийный аппарат позволял работать только с единичными и конечными объектами.

3. Практика ценологии связана с негауссовой статистикой. Устойчивость гиперболических H -распределений традиционно обосновывают безгранично делимыми распределениями из теории вероятностей. У гиперболических распределений дисперсия бесконечна. В отличие от них дисперсия нормального закона конечна.

4. Паранепротиворечивые модели ценоза включают конечный ресурс и бесконечно ветвящуюся иерархическую структуру или сложную структуру, состоящую из нескольких деревьев. Для исключения противоречия иерархическая структура должна быть ограничена содержательными условиями. Например, реальным диапазоном ряда мощностей, реальным диапазоном ряда размеров. При разработке модели необходимо учитывать, что конечное удобно суммировать, а бесконечное — повторять (итерировать). В модели ценоза конечное аддитивно и измеримо, бесконечное — мультипликативно, присутствует только в тренде и ограничено содержательными условиями.

5. Примерами паранепротиворечивых статистических моделей ценоза являются: числовая,

геометрическая, алгебраическая и термодинамическая модели.

Примерами динамических моделей ценоза являются: вероятностная модель ветвящихся процессов, модель на основе динамических гиперболических систем и фрактальная модель.

6. Целостность ценоза обусловлена иерархической структурой ветвящегося дерева.

7. Паранепротиворечивые модели ценоза позволяют отвечать на вопросы: о целостности ценоза, об установлении его границы, о самоподобии элементов, о гиперболическом H -распределении, о негауссовой статистике,

о слабых связях между элементами, о пространстве гипербол, о соотношении экспоненциальных и гиперболических распределений, о накоплении ресурса и появлении иерархической структуры, об устойчивости распределений в ценозе, об эволюции ценоза.

8. Ценозы не только находят в окружающем мире, их можно изобретать и проектировать. Для этого необходимо открывать законы ценологии и разрабатывать соответствующие методики.

horkov_07@mail.ru

Treatise on Cenosis

Khor'kov S. A.

There is no universally accepted definition of cenosis due to a contradictory character of the cenosis concept. The contradiction in the concept and model of cenosis arises because the value of the resource distributed in the elements is finite and additive, whereas the distribution of the elements according to the power law (hyperbole) is multiplicative and tends to infinity. It is possible to operate with a contradictory model if you deal with a real or ideally existing object, which would be a model and combine the opposite sides, i.e. both finite and infinite nature simultaneously. Moreover, such a model will make it possible to give such an explanation of the meanings and senses assigned to the model elements that it would be impossible to obtain without this model. A model that meets the specified requirements can be designated as paraconsistent. The types of paraconsistent static and dynamic cenosis models which operate in practice are presented.

Keywords: cenosis, paraconsistent cenosis model.

Вниманию читателей!

Кудрин Б. И. Античность. Символизм. Технетика. Изд. 2-е, испр., перераб. и доп. — СПб.: КСИ-Принт, 2019. — 107 с.

В монографии, написанной в реферативной форме, с технократических позиций и на основе опыта построения и обеспечения функционирования крупных заводов (городов), как техноценозов рассмотрена окружающая техническая реальность, которая начала диктовать свои требования к человеку и которая, по-видимому, уже вышла из-под его контроля. Использована статистика за десятки лет, охватывающая различные показатели деятельности предприятий, миллионы единиц-особей установленного и ремонтируемого оборудования. Исследована структура оборудования заводов, показана устойчивость структуры ценозов любой природы. Предложены основы технетики — науки о технической реальности. Рассмотрены основные законы и закономерности эволюции техники и технологии, показаны общность и специфика энергетического, естественного, информационного, документального и интеллектуального отборов, опирающихся на принцип наименьшего действия. Выделены точки наименьшего научно-технического прогресса. Показано, что современная теория самоорганизации, теория распознавания образов, фрактальные представления лишь повторяют путь, пройденный, в частности, символизмом и импрессионизмом. Предложены постулаты развития технической реальности, отличные от привычных постулатов классической физики. Строго определены на примере электрики ранговые и видовые гиперболические H -распределения, используемые для описания сложных нелинейных самоорганизующихся систем. Развита представления о простых числах как основе всего сущего.

Для студентов, научных работников, специалистов технического и гуманитарного направлений, интересующихся проблемами философского осмысления технической реальности, глобального эволюционизма, практическими вопросами управления и развития больших систем, в частности, систем, изучаемых по направлениям “Электротехника” и “Электроэнергетика”.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Перспективы развития солнечной энергетики на севере России*

Щербак А. П., Тишков С. В., Каргинова-Губинова В. В., кандидаты эконом. наук
Институт экономики Карельского научного центра РАН, Петрозаводск

Рассмотрены вопросы использования солнечной энергии в условиях севера. Дан анализ состояния использования солнечной энергии в различных сферах деятельности за рубежом и их перспектив в России. Основная цель исследования — оценка возможности использования солнечной энергии в условиях севера России. Рассмотрены различные технологии преобразования солнечной энергии.

Ключевые слова: север, возобновляемая энергия, солнечная энергия, тепловой аккумулятор, энергосбережение.

Солнечная энергетика (СЭ) может стать одним из вариантов замены традиционной энергетики в отдаленных районах, где недостаточно развито централизованное энергообеспечение [1–3]. Она является одним из самых распространенных направлений развития возобновляемой энергетики в мире, активно применяется в различных сферах деятельности. Установки для использования солнечной энергии, в первую очередь преобразующие солнечное излучение в тепло, экономически оправданы для большинства территорий. Они распространены не только в южных, но и в северных широтах [4].

Использование СЭ для генерации электрической энергии также зачастую экономически оправданно. В первую очередь — для территорий, не имеющих централизованного электроснабжения. В таких условиях она способна обеспечить потребителей электрической энергией, а совместное использование СЭ и дизельных генераторов позволяет получить существенную экономию топлива и сокращение выбросов продуктов горения в атмосферу. Так, в Карелии одними из первых солнечные электростанции стали использовать в поселках Войницы, Вожозеро, Кимовара, Линдозеро и Юстозеро [5]. Здесь отсутствует сетевое электроснабжение и до недавнего времени электроэнергия потребителям поставлялась не круглосуточно, а по расписанию. При реконструкции имеющихся дизельных электростанций были установлены солнечные электрические модули, а также ак-

кумуляторы с управляющим оборудованием. В результате потребители получили круглосуточное электроснабжение. Внедрение подобных электростанций целесообразно и в ряде других населённых пунктов, пока не имеющих централизованного электроснабжения [6].

При строительстве домов все чаще стали использовать так называемую “солнечную архитектуру”. В основу этого направления было положено создание зданий и сооружений с максимально возможным использованием энергии солнца, что позволяет снизить энергозатраты на освещение, отопление и кондиционирование. Также активно стали применяться солнечные коллекторы, которые при простоте конструкции весьма эффективны для отопления здания и обеспечения его горячей водой. Солнечные коллекторы различной конструкции получили широкое распространение во всем мире. Они используются не только в южных странах с мягкими климатическими условиями, но и на севере. Нужно заметить, что зачастую солнечный коллектор выступает в качестве вспомогательного источника тепла и нагрева воды, однако и в этом случае снижаются общие энергетические затраты в год на 30–40% [6].

Становится очевидным, что СЭ необходимо активно вовлекать в общий энергетический баланс России. С комбинированными системами отопления и горячего водоснабжения в некоторых случаях удается рекуперировать до 50% энергии. Задача состоит в правильном энергетическом расчете и подборе соответствующего оборудования. В отдельных случаях требуется разработка нового или

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых МК-229.2019.6.



Уровни солнечной инсоляции в сутки [7]

частичная модернизация уже существующего оборудования.

На рисунке указаны уровни инсоляции в сутки [7], а в таблице — уровни годовой инсоляции 1 м^2 горизонтальной площадки в разных городах России [6].

Учитывая климатические параметры и уровень инсоляции, можно подобрать комплексную систему энергоснабжения, которая будет использовать в качестве основного энергетического источника энергию солнца. Такая система должна состоять из определенного набора оборудования. Для нужд отопления и горячего водоснабжения система должна в себя включать следующие элементы: солнечный коллектор, тепловой аккумулятор большой емкости и управляющее оборудование. Для северных регионов с умеренным уровнем солнечной инсоляции потребуется еще вспомогательный источник тепла. Он может быть представлен стандартным котельным оборудованием, которое работает параллельно с солнечным коллектором и подключено к тепловому аккумулятору. Для котельного оборудования можно использовать любое топливо (уголь, дрова, щепа, газ, дизельное топливо и др.).

Ключевым блоком такой системы является тепловой аккумулятор. Все чаще система аккумулирования тепловой энергии закладывается еще на стадии проектирования здания. В этих случаях удастся использовать действительно большие аккумуляторы тепла, которые интегрированы в элементы дома. Благодаря большому объему теплового аккумулятора возможно неделями не использовать котельное оборудование и покрывать

потребности здания в тепле только за счет накопленной в аккумуляторе энергии. При этом система из солнечных коллекторов и управляющего оборудования будет его постоянно подзаряжать [8].

Строительство аналогичных систем уже получило распространение в ряде стран, включая и страны северной Европы. Например, в Финляндии компания “Kaukora OY” на основе данного подхода разработала техническое решение по обеспечению здания теплом и горячей водой за счет солнечной энергии. Разработанная система JASPI состоит из теплового аккумулятора, системы солнечных коллекторов, котельного оборудования, работающего на дизельном топливе и газе, а также системы управления. При довольно небольшом объеме теплового аккумулятора (750 литров) система позволяет сокра-

Город	Годовая инсоляция, $\text{МВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$
Архангельск	0,85
Астрахань	1,38
Екатеринбург	1,10
Москва	1,01
Новосибирск	1,14
Омск	1,26
Петрозаводск	0,86
Ростов-на-Дону	1,29
Санкт-Петербург	0,93

тить энергетические затраты на 30 – 40 % в год [8]. При этом нужно учесть, что Финляндия характеризуется умеренным уровнем солнечной инсоляции, который соответствует примерно 1 МВт·ч на 1 м² поверхности в год.

В последнее время идёт активное изучение вопросов “зелёной” экономики и использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в качестве самостоятельного направления исследований. Задача альтернативной энергетики была обозначена в рамках концепции ООН по устойчивому развитию (в Стратегии развития возобновляемых источников энергии на 2020 г.) и ряде других нормативных документов международных организаций. Наиболее активно сейчас осуществляется поиск технологических и технических решений по использованию энергии солнца и развитию биоэнергетики. В последние годы и в России активизируются исследования, связанные с использованием ВИЭ для внедрения технологий “зелёной” экономики [9 – 11].

Использование ВИЭ может стать хорошим импульсом развития территорий, не имеющих сформировавшуюся энергетическую сеть. При этом возобновляемая энергетика способна обеспечить функционирование систем жизнеобеспечения не только на территориях, где отсутствует централизованная энергосистема, но и существенно снизить затраты в системах с централизованным энергоснабжением, что особенно актуально для периферийных северных территорий [12, 13].

Список литературы

1. European Environmental Agency. Resource efficiency in Europe — policies and approaches in 31 EEA member and cooperating countries // EEA Report. — 2011. — № 5.
2. Фортов, В. Возобновляемые источники энергии в мире и в России / В. Фортов, О. Попель // Энергетический вестник. — 2013. — № 16. — С. 20 – 31.
3. Щербак, А. П. Возможности использования альтернативной энергетики на европейском севере России (Республика Карелия) / А. П. Щербак // Экономика и управление. — 2012. — № 5 (79). — С. 100 – 103.
4. Druzhinin, P. V. Modeling the Interdependence of the Economy and Power Industry Based on Multiplicative Two-Factor Functions / P. V. Druzhinin, A. P. Shcherbak, S. V. Tishkov // Studies on Russian Economic Development. — 2018. — Vol. 29. — No. 3. — Pp. 280 – 287.
5. <http://kaeec.org/>

6. Тишков, С. В. Роль возобновляемой энергетики в развитии северных территорий / С. В. Тишков, А. П. Щербак // Промышленная энергетика. — № 8. — 2018. — С. 46 – 50.
7. <https://robo-hunter.com/news/skromnie-uspehi-kto-i-kak-zanimaetsya-solnechnoi-energetikoi-v-rossii8441>.
8. Отопление на энергии солнца [Электронный ресурс]. — URL: <https://jaspi.fi>.
9. Мудрецов, А. Ф. Проблемы развития нетрадиционных и возобновляемых источников энергии / А. Ф. Мудрецов, А. С. Тулупов // Стратегическое планирование и развитие предприятий. — М.: ЦЭМИ РАН, 2016. — С. 100 – 103.
10. Сендеров, С. М. Стратегия обеспечения энергетической безопасности России / С. М. Сендеров // URL: <http://gasweek.ru/index.php/sobytiya/rossiya/338-strategiya-obespecheniya-energeticheskoy-bezopasnosti-rossii> (дата обращения: 20.11.2017).
11. Яшалова, Н. Н. Особая значимость экологического фактора для устойчивого развития национальной экономики: концептуальный анализ / Н. Н. Яшалова, Д. А. Рубан // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. — 2014. — № 14. — С. 20 – 30.
12. Tishkov, S. Potential of energy production from biowaste — saving natural and financial resources / S. Tishkov, A. Shcherbak, V. Karginova-Gubinova, A. Pakhomova, V. Alhanaqtaq // Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development. — 2019. — Vol. 41. — No. 1. — Pp. 33 – 42.
13. Кокорин, А. О. Парижское климатическое соглашение ООН: нынешнее и будущее воздействие на экономику России и других стран / А. О. Кокорин // Экологический вестник России. — 2016. — № 3. — С. 40 – 43.

References

1. European Environmental Agency. Resource efficiency in Europe — policies and approaches in 31 EEA member and cooperating countries, EEA Report, 2011, no. 5.
2. Fortov V., Popel' O. Energeticheskii vestnik (Energy Bulletin), 2013, No. 16, pp. 20 – 31.
3. Shcherbak A. P. Ekonomika i upravlenie (Economics and Management), 2012, No. 5 (79), pp. 100 – 103.
4. Druzhinin P. V., Shcherbak A. P., Tishkov S. V. Studies on Russian Economic Development, 2018, Vol. 29, No. 3, pp. 280 – 287.
5. [Electronic resource]. — URL: <http://kaeec.org>.
6. Tishkov S. V., Shcherbak A. P. Promyshlennaya energetika (Industrial power engineering), No. 8, 2018, pp. 46 – 50.
7. [Electronic resource]. — URL: <https://robo-hunter.com/news/skromnie-uspehi-kto-i-kak-zanimaetsya-solnechnoi-energetikoi-v-rossii8441>.
8. Otoplenie na energii solntsa (Heating on solar energy), [Elektronnyi resurs]. — URL: <https://jaspi.fi>.
9. Mudretsov A. F., Tulupov A. S. Strategicheskoe planirovanie i razvitie predpriyatii (Problems of development of alternative and renewable energy sources), Moscow, TsEMI RAN, 2016, pp. 100 – 103.
10. Senderov S. M. Strategiya obespecheniya energeticheskoi bezopasnosti Rossii (Strategy of

ensuring energy security of Russia), [Electronic resource]. — URL: <http://gasweek.ru/index.php/sobytiya/rossiya/338-strategiya-obespecheniya-energeticheskoy-bezopasnosti-rossii> (accessed: 20.11.2017).

11. **Yashalova N. N., Ruban D. A. Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost'** (National Interests: Priorities and Security), 2014, No. 14, pp. 20 – 30.
12. **Tishkov S., Shcherbak A., Karginova-Gubnova V., Pakhomova A., Alhanaqtah V. Potential of energy**

production from biowaste — saving natural and financial resources, Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development, 2019, Vol. 41, No. 1, pp. 33 – 42.

13. **Kokorin A. O. Ekologicheskii vestnik Rossii** (Ecological Bulletin of Russia), 2016, No. 3, pp. 40 – 43.

insteco_85@mail.ru

Prospects of developing solar power engineering in the north of Russia

Shcherbak A. P., Tishkov S. V., Karginova-Gubnova V. V.

The issues regarding the use of solar energy in the North are considered. An analysis of the current use of solar energy in various business segments abroad and prospects of using solar energy in Russia is presented. The main goal of the study is to assess the possibility of using solar energy in the north of Russia. Fundamentals and various technologies of solar energy conversion are considered.

Keywords: north, renewable energy, solar energy, heat accumulator, energy saving.

ОХРАНА ТРУДА

Требования к системам электронного обучения безопасности производства

Халин Е. В., доктор техн. наук
НИИПФ ТЕХИНТЕЛЛ, Москва

Рассмотрены базовые требования к системам электронного обучения безопасности производства, применяемым в различных отраслях народного хозяйства. Требования вошли в семейство действующих национальных стандартов, разработанных НИИПФ ТЕХИНТЕЛЛ.

Ключевые слова: системы электронного обучения, безопасность производства, конфиденциальность, инструктирование, аттестация.

Системы электронного обучения безопасности производства (СЭО БП) разработаны НИИПФ ТЕХИНТЕЛЛ и совершенствовались по результатам многолетней эксплуатации с наращиванием функциональных возможностей для наиболее полной автоматизации производственных и профессиональных функций ответственных за обучение по безопасности производства персонала конкретных организаций, повышения качества подготовки и аттестации работников с целью приобретения ими устойчивых навыков и знаний для обеспечения безопасности производственных процессов и технологий с предотвращением производственного травматизма и производственно-обусловленной заболеваемости. К одному из результатов применения СЭО БП можно отнести разработку семейства национальных стандартов в области электронного обучения безопасности производства [1 – 3].

Последние версии СЭО БП реализованы в виде многофункциональных web-приложений, устанавливаемых на корпоративных web-порталах и на серверах локальной корпоративной сети. Предусматривается развертывание СЭО БП в учебных классах учебных центров и организаций.

При реализации подготовки, инструктажа и аттестации по безопасности производства используются различные формы организации электронного обучения, включая мобильное, сетевое, автономное, смешанное, совместное, и различные образовательные технологии, в том числе с использованием дистанционных образовательных технологий, которые поддерживаются ресурсами СЭО БП.

Порядок подготовки, инструктажа и аттестации персонала по безопасности производства на основе СЭО БП направлен на под-

держание своевременности и эффективности профилактических мер по снижению производственного травматизма, профессиональных заболеваний и улучшению условий труда работающих. Он реализует общие обязательные положения электронных форм обучения, инструктажа и проверки знаний по безопасности производства [2].

Модульная структура СЭО БП

Система электронного обучения в промышленном исполнении должна включать пять модулей (персонал, база знаний, подготовка, аттестация, документация), взаимосвязанных с блоками интеллектуального интерфейса, санкционирования доступа и пользователей системы (см. рисунок).

Предусматриваются процедуры санкционирования доступа обучаемых работников и ответственных за обучение к ресурсам программного комплекса (только работников организации — владельца сайта или локальной сети) по формируемому списку обучаемых работников, ответственных за обучение и дополнительному списку административных работников. Ресурсами СЭО БП регламентируется число одновременно доступных рабочих мест при работе с программным комплексом в сети Интернет и корпоративной локальной сети.

База сведений о персонале включает в себя общие производственные и профессиональные характеристики работников и дополнительные характеристики по результатам их обучения (подготовки и аттестации) с возможностью поиска по одной или группе характеристик, а также возможностью корректировки и удаления записей.



Модули и функциональные блоки промышленной системы электронного обучения безопасности производства

База знаний системы предназначена для размещения текстовых вопросов, 5 текстовых ответов на каждый вопрос, обоснований правильных ответов в виде текстовых фрагментов нормативных и инструктивных документов по любой предметной области. Предусмотрены процедуры формирования групп вопросов для инструктируемых и аттестуемых в соответствии с установленными условиями выбора и форма для печати перечня выбранных вопросов.

Предусмотрена процедура обновления вопросов и добавления целевых систем, выполняемая пользователем, в результате которой меняется статус сформированных до обновления групп вопросов для обучения (подготовки и аттестации).

В модуле подготовки реализованы процедуры инструктажей и подготовки для аттестации в виде унифицированных экранных форм в режиме просмотра предварительно сформированных групп вопросов ответственным за подготовку персонала и контроль знаний по этим вопросам. При подготовке фиксируются дата и время начала и окончания подготовки работника, а также общее время, затраченное на подготовку, которое

отражается в рабочей документации, в том числе при суммировании результатов подготовки в режиме контроля знаний. Фиксирование результатов подготовки позволяет оперативно контролировать процесс подготовки и влиять на его эффективность.

В модуле аттестации предусмотрены процедуры формирования условий аттестации ответственным за обучение (подготовку и аттестацию), при формировании вопросов в билет учитывается до 10 параметров. Процедуры аттестации организуются с использованием унифицированных экранных форм, применяемых при подготовке, по случайно формируемым билетам из предварительно сформированных групп вопросов. Предусматривается контроль наличия в билете вопросов по всем документам независимо от числа вопросов по документу в сформированной группе вопросов для аттестации.

В модуле документации формируются ведомости инструктажа, индивидуальный протокол инструктажа, ведомости подготовки для аттестации, индивидуальный протокол подготовки для аттестации, ведомости аттестации как рабочие документы с выводом на печать. В ведомостях подготовки (в режиме

контроля знаний) для каждого работника формируется одна запись за весь цикл подготовки с указанием даты начала и окончания подготовки и продолжительности подготовки независимо от количества входов обучаемого работника в режим подготовки.

В модуле формируются также следующие отчетные документы с выводом на печать: журнал регистрации вводного инструктажа; журнал регистрации инструктажа на рабочем месте; журнал проверки знаний по электробезопасности; протокол проверки знаний по электробезопасности; журнал проверки знаний по безопасности производства; протокол проверки знаний по безопасности производства. При этом используются формы утвержденных действующих документов [4, 5].

Основные требования к интерфейсу СЭО БП

Пользовательский интерфейс СЭО БП рассматривается как совокупность способов взаимодействия пользователя с системой электронного обучения и компонентов программных средств, обеспечивающих организацию процедур электронного обучения. Средства и способы взаимодействия с СЭО БП реализуются в виде диалоговых систем с жестким сценарием диалога, выбором альтернативы функций обработки из фиксированного перечня и системы иерархических меню, содержащих вложенные подменю следующего уровня с выбором фиксированных значений из предлагаемого перечня и с возможностью пополнения перечня значений.

Интерфейс должен предусматривать простые общепринятые действия, включая нетрудоемкое надежное санкционирование доступа к набору функциональных возможностей и ресурсов СЭО БП. При последовательном раскрытии диалоговых окон и разделов меню в каждый момент времени на экране должна находиться только та часть информации, которая необходима для выполнения очередного действия.

При выполнении действий в среде СЭО БП интерфейс пользователя должен быть естественным и интуитивно понятным, что достигается использованием общепринятой терминологии для данной предметной области. Сообщения и результаты, выдаваемые программными средствами, не должны требовать дополнительных пояснений, применяемые метафоры должны быть легко узнаваемы.

Должны быть реализованы принцип согласованности интерфейса пользователя СЭО

БП, обеспечивающий один формат команд и меню системы, и принцип предсказуемости функционирования системы, предполагающий однотипную реакцию системы в аналогичных ситуациях. Все подобные действия и команды должны выполнять одни и те же функции в одном порядке и одним и тем же образом независимо от того, где они встретились.

Должен обеспечиваться учет знаний пользователя для достижения удобства интерфейса и быстрого привыкания к нему. В интерфейсе должны быть предусмотрены средства его перенастройки под разные потребности пользователей с учетом их опыта работы с системой.

Эффективный интерфейс СЭО БП должен предотвращать случайный выбор неправильного действия или данных, принятие неправильного решения при выборе действия или данных, которые приводят к ошибкам. Он также должен адаптироваться к потенциальным ошибкам и облегчать пользователю процесс устранения последствий таких ошибок.

При проектировании интерфейса необходимо учитывать весь спектр пользователей и их неодинаковую предрасположенность к разного вида ошибочным действиям при вводе вручную больших объемов сведений и при работе в условиях с разной напряженностью.

Программные средства СЭО БП должны предельно минимизировать ошибки пользователя при вводе информации (данных и знаний). Некоторые ошибки возможно обнаружить только случайно, например, смысловые ошибки в тексте, удовлетворяющие правилам языка.

СЭО БП всегда должна оповещать пользователя о том, что она в данный момент делает, причем через разумные промежутки времени, а также предоставлять возможность прервать этот процесс в случае необходимости. Каждое действие пользователя должно сопровождаться реакцией программного обеспечения (визуального, звукового), комфортными могут быть только несколько секунд ожидания ответной реакции системы. Необходимо минимизировать нагрузку на память пользователя, делая объекты, действия и опции ясными, доступными и явно видимыми. Пользователь не должен запоминать информацию при переходе от одного диалогового окна к другому. Во всех необходимых местах должны быть доступны контекстные инструкции по использованию интерфейса.

Интерфейс СЭО БП должен предъявлять необходимую информацию при сопровождении действий пользователя на разных уровнях и поддерживать средства контекстно-зависимой структурированной справки. Система электронной документации СЭО БП и помощи пользователю должна включать только необходимые лаконичные понятные описания и сообщения. В сообщениях о возможных некорректных действиях в рамках предоставленных полномочий должно требоваться подтверждение до выполняемой команды пользователя, а не после нее (например, действия по изменению или удалению сведений).

Информация в электронной документации должна быть структурирована таким образом, чтобы пользователь мог легко найти нужный раздел, посвященный решаемой им задаче, содержащий помимо краткой общей информации четкие пошаговые указания по выполнению конкретной задачи.

Пользовательский интерфейс СЭО БП должен позволять наращивать функциональные возможности без нарушения логики существующего интерфейса, легко настраивать и расширять как интерфейс, так и само приложение при увеличении числа сетевых пользователей, объема и характеристик данных.

При реализации пользовательского интерфейса должны применяться отдельные ресурсы, направленные на хранение и обработку данных, необходимых для поддержки пользователя, включая пользовательские словари, контекстно-зависимые списки, наборы данных по умолчанию или по последнему запросу, истории запросов.

Пользовательский интерфейс СЭО БП должен предусматривать возможность автоматического переноса на другую аппаратную (программную) платформу применения программного комплекса.

Интерфейс пользователя должен проектироваться и разрабатываться как отдельный компонент СЭО БП с учетом возможности и особенности аппаратно-программных средств, на базе которых он будет реализован. Процесс разработки интерфейса должен носить итерационный характер с согласованием полученных результатов с потенциальными пользователями и их консолидированными потребностями и обобщенными характеристиками.

Пользовательские интерфейсы, удобные и эстетически привлекательные, одновременно существуют в единичных экземплярах. Интерфейс СЭО БП должен быть незаметен в

процессе его использования и при хорошо выполненном дизайне должен производить впечатление чистоты и прозрачности, простоты и функциональности, аккуратности и надежности. Интерфейс должен быть насыщен визуальными закономерностями, например, методически выдерживаемым соответствием свойств у разных визуальных объектов (экранных форм, меню, подменю, кнопок, сообщений). Должна быть предусмотрена настройка интерфейса под конкретные потребности определенных пользователей для снижения усталости и повышения работоспособности с использованием минимума команд и функций, в том числе путем выбора варианта готовой настройки из предлагаемого списка.

К показателям качества пользовательского интерфейса СЭО БП следует отнести:

время, необходимое определенному пользователю для достижения заданного уровня знаний и навыков при работе с программными средствами СЭО БП и компетенций по безопасности производства;

сохранение полученных рабочих навыков и компетенций по безопасности производства по истечении некоторого времени;

скорость выполнения действий программными средствами СЭО БП с оценкой времени достижения целевой задачи формирования компетенций по безопасности производства;

персональная удовлетворенность пользователя при работе с СЭО БП (например, по балльной шкале).

Дизайн пользовательского интерфейса СЭО БП должен обеспечивать минимизацию усилий пользователя при выполнении работы с сокращением длительности операций чтения, редактирования и поиска информации, уменьшением времени навигации и выбора команды, повышением общей продуктивности пользователя, заключающейся в объеме обработанных данных за определенный период времени, и увеличением длительности устойчивой работы пользователя.

Высокая удовлетворенность от работы с СЭО БП должна достигаться прозрачностью навигации и целевой ориентации пользователя в программе, ясностью и четкостью понимания пользователем текстов и значения визуальных образов, быстротой обучения при работе с программой с использованием преимущественно стандартных элементов взаимодействия, их традиционного или общепринятого расположения, наличием средств лаконичной контекстной поддержки пользователя.

Размещение информации и управляющих элементов в поле экрана, экранного окна должно выполняться с логической увязкой данных в зависимости от алгоритма работы пользователя с СЭО БП, выделением важной информации, четким определением основных и вспомогательных блоков информации, применением принципов гармонии при наполнении экрана сетевого коммуникационного устройства.

Обратная связь с обучаемым при эксплуатации СЭО БП должна обеспечивать предъявление ему актуального текущего состояния системы в соответствии со статусом инструктируемого, аттестуемого работника и понятное информативное отражение всех его действий в процессе получения ожидаемого или иного результата.

К одному из важных достоинств интерфейса пользователя следует отнести ощущение пользователя, что именно он управляет программными средствами СЭО БП, а не программные средства управляют им. При проектировании интерфейса необходимо следовать принципу, что пользователь всегда прав, а если он в чем-то ошибается, то это не его сложности, а недостатки системы.

В общем случае качество пользовательского интерфейса можно достаточно полно охарактеризовать доступностью, эффективностью, продуктивностью и удовлетворенностью при достижении определенной цели в процессе формирования конкретной СЭО БП.

Требования к основным функциям СЭО БП

Пользователи СЭО БП подразделяются на три несопоставимые по задачам и размерам группы: сетевые администраторы; ответственные за обучение (подготовку и аттестацию); обучаемые (инструктируемые и аттестуемые).

Основное количество пользователей представляют обучаемые и аттестуемые, которые используют ресурсы двух модулей — подготовки и аттестации.

Модуль подготовки должен обеспечивать для обучаемых беспрепятственное изучение вопросов и ответов в режиме просмотра или в режиме контроля знаний с целью проведения инструктажа или подготовки для аттестации с подтверждением персональной подлинности при входе в модуль.

Ответственный за подготовку с использованием СЭО БП должен иметь доступ к программам обучения в системе электронного обучения с возможностью их корректи-

ровки и дополнения по результатам подготовки при санкционировании доступа с внесением комментариев, которые должны добавляться в ведомости инструктажа и подготовки для аттестации по безопасности производства.

Модуль аттестации должен обеспечивать при контроле знаний работников наиболее полную оценку знаний и компетенций работника в объеме тех вопросов, которые изучались аттестуемым при подготовке к аттестации.

Ответственный за обучение с использованием СЭО БП должен иметь однократный (без какой-либо повторной идентификации) санкционированный доступ ко всем информационным ресурсам системы электронного обучения, применяемым при подготовке и аттестации, а при необходимости иметь возможность поместить комментарии, обеспечивающие обратную связь для конкретных обучаемых с ответственным за обучение, что имеет особое значение при дистанционном обучении.

Количество ответственных за обучение по безопасности производства в зависимости от числа работников и структурных подразделений при эксплуатации СЭО БП может изменяться от одного до необходимого, соответствующего числу структурных подразделений, и дополняться при необходимости назначаемыми специалистами.

Ответственные за обучение по безопасности производства с использованием СЭО БП должны иметь возможность просматривать, комментировать, редактировать и оценить общее содержимое системы в зависимости от прав доступа, установленных руководителем организации, применяющей СЭО БП.

Сетевой администратор должен обеспечивать штатную инсталляцию и эксплуатацию СЭО БП в соответствии с прилагаемой сопроводительной документацией и поставляемыми разработчиком ресурсами СЭО БП. Администратор сетевого обучения с использованием СЭО БП должен иметь полный доступ ко всему содержанию и функциональным возможностям системы, генерировать отчеты о применении системы и восстанавливать случайно или намеренно деинсталлированную СЭО БП.

Выводы

1. Системы электронного обучения безопасности производства должны разрабатываться в виде сетевых многопользовательских ресурсов с возможностью постоянного их

пополнения сведениями и знаниями по безопасности производства, персональными и профессиональными сведениями и обеспечивать полную конфиденциальность информации, ограниченный доступ, надежность хранения, создание эффективной платформы для поддержки обучаемых и ответственных за обучение с управлением образовательными ресурсами и процессами и устойчивой обратной связью для достижения необходимых результатов обучения безопасности производства.

2. Пользовательский интерфейс сетевых систем должен быть простым, обеспечивать легкость его изучения и использования с предоставлением доступа к санкционированному перечню функциональных возможностей, предусмотренных программными средствами СЭО БП.

3. Практика применения СЭО БП подтвердила, что унифицированный модульный функционал системы обеспечивает необходимое качество обучения, производственную гибкость, оперативное сопровождение программного комплекса для актуализации базы знаний, включающей большой объем взаимосвязанных вопросов, с максимальной полнотой отражающих содержание используемых в базе знаний действующих нормативных документов.

Список литературы

1. Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Электронное обучение безопасности производства. Общие положения: ГОСТ Р 57099–2016.
2. Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Электронное обучение безопасности производства. Электронное портфолио работника по безопасности производства: ГОСТ Р 58025–2017.
3. Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Электронное обучение безопасности про-

изводства. Информационная модель компетенций работника по безопасности производства: ГОСТ Р 58355–2019.

4. Халин, Е. В. Электрическая безопасность: 2-е изд. перераб. и доп. — М.: НИИПФ ТЕХИНТЕЛЛ. — 2017.
5. Способ и система электронного обучения безопасности производства: Пат. 2591687 Россия. ММК МПК G09F19/00 / Халин Е. В. — Бюллетень изобретений. — 2016. — № 20.

References

1. Informatsionno-kommunikatsionnye tekhnologii v obrazovanii. Elektronnoe obuchenie bezopasnosti proizvodstva. Obshchie polozheniya: GOST R 57099–2016 (Information and communication technologies in education. E-learning production safety. General regulations: State Standard 57099–2016).
2. Informatsionno-kommunikatsionnye tekhnologii v obrazovanii. Elektronnoe obuchenie bezopasnosti proizvodstva. Elektronnoe portfolio rabotnika po bezopasnosti proizvodstva: GOST R 58025–2017 (Information and communication technologies in education. E-learning of production safety. E-portfolio of employee production safety: State Standard 58025–2017).
3. Informatsionno-kommunikatsionnye tekhnologii v obrazovanii. Elektronnoe obuchenie bezopasnosti proizvodstva. Informatsionnaya model' kompetentsii rabotnika po bezopasnosti proizvodstva: GOST R 58355–2019 (Information and communication technologies in education. E-learning production safety. Information model of employee competency for production safety: State Standard 58355–2019).
4. Khalin E. V. Elektricheskaya bezopasnost' (Electrical Safety), Moscow, NIIPF TECHINTELL, 2017.
5. Khalin E. V. Sposob i sistema elektronno obucheniya bezopasnosti proizvodstva (The method and system of e-learning production safety), Patent 2591687 Russia, MМК IPC G09F19/00, Bul. of inventions, 2016, No. 20.

office@techintell.ru

Requirements to e-learning systems in production safety

Khalin E. V.

The basic requirements to the systems of e-learning in industrial safety used in various sectors of the economy are considered. The requirements are included in the family of existing national standards developed by scientific research and production company NIIPF TECHINTELL.

Keywords: e-learning systems, industrial safety, confidentiality, indoctrination, certification.



ХРОНИКА

Интеграция цифровизации в электроэнергетику в тематике докладов сессии СИГРЭ 2020 г.

Жуков В. В., доктор техн. наук, Минеин В. Ф., канд. техн. наук
НИУ “МЭИ”, Москва

Приведена предпочтительная тематика докладов на предстоящей 48-й сессии СИГРЭ. Актуальными проблемами являются: интеграция цифровизации; проблемы и ожидания от цифровых подстанций; гибкие линии электропередачи; оценка надежности, живучести и гибкости; влияние чрезвычайных внешних условий; воздействие окружающей среды на кабельные системы.

Ключевые слова: 48-я сессия СИГРЭ, вращающиеся электрические машины, трансформаторы, кабельные и воздушные линии переменного и постоянного тока, промышленная электроника, защита и автоматика, возобновляемые источники и распределенная генерация, интеллектуальные системы, цифровые подстанции, испытания, мониторинг, диагностика, информационные системы и телекоммуникации, рынки.

Внедрение современных цифровых технологий в электроэнергетику является одним из наиболее динамично развивающихся направлений в формировании интеллектуальной энергетики. При этом важное направление — разработка технических решений по созданию цифровых подстанций (ЦПС) — электросетевых объектов с системами контроля и управления посредством применения современного оборудования, а также с использованием протоколов передачи данных, определенных стандартом МЭК 61850 [1].

К устройствам интеллектуальных сетей относятся инновационные активные сетевые элементы с изменяющимися параметрами: статические тиристорные компенсаторы (СТК), статические компенсаторы (СТАТКОМ), объединенные регуляторы потока мощности (ОРПМ), синхронные статические продольные компенсаторы (ССПК), тиристорно-управляемые устройства продольной компенсации (ТУПК), управляемые шунтирующие реакторы (УШР). Их применяют для оптимизации потокораспределения, регулирования реактивной мощности и уровня напряжения в сети. Внедрение этих элементов требует исследований для оценки их влияния на режимы и параметры энергосистем.

В тематике предстоящей в 2020 г. 48-й сессии СИГРЭ уделяется заметное внимание этой проблеме [2]. Предлагается рассмотреть такие вопросы, как интеграция цифровиза-

ции (Группа В3), проблемы и ожидания от цифровых подстанций (В3), гибкие линии электропередачи (В4), количественная оценка надежности, живучести и гибкости (С2), влияние чрезвычайных внешних условий (А2), воздействие окружающей среды на кабельные системы (В1).

С технической точки зрения в результате внедрения интеллектуальных систем электрическая сеть превращается из пассивного устройства транспорта и распределения электроэнергии в активную (управляемую) подсистему энергосистемы, параметры и характеристики которой изменяются в зависимости от требований потребителей и режимов работы. Достаточно остро для интеллектуальной системы стоит проблема определения показателей надежности, так как она включает в себя существенно более сложные по сравнению с традиционными технические и программные комплексы, надежность совместного функционирования которых следует оценить.

Необходимость разработки новых методик оценки надежности устройств интеллектуальной системы объясняется особенностями интеллектуальных электронных устройств и оптических кабелей, показатели надежности которых зависят от изменяющихся условий работы и вносят изменения в паспортные данные о сроке службы, снижая его. Традиционные методы оценки надежности базируются на статистических данных и рассчитан-

ных параметрах надежности. Они применимы лишь к случаям неизменных условий эксплуатации. Предлагаемые новые подходы оценки надежности [3, 4], основанные на модели “облака”, позволяют до некоторой степени устранить недостатки традиционных подходов благодаря учету зависимости параметров надежности от слабо формализуемых факторов (например, влажности, температуры и др.), имеющих нечеткий (качественный) характер. Используемая “облачная” теория относится к нечетким вычислениям, которые в настоящее время лежат в основе большей части интеллектуальных алгоритмов. Оценку надежности ЦПС и устройств интеллектуальных систем рекомендуется осуществлять с помощью гибридной методики с использованием модели “облака” и традиционного метода оценки надежности.

Совершенствование устройств релейной защиты и автоматики, переводимых на микропроцессорную элементную базу, выполнение функций определения места повреждения и создание систем диагностики оборудования обуславливают повышение требований к точности расчета токов короткого замыкания (КЗ) с учетом нелинейности короткозамкнутых цепей, а также влияния появившихся инновационных устройств интеллектуальных сетей.

Проведенные исследования влияния основных устройств интеллектуальных сетей (СТК, СТАТКОМ, ОРПМ, ССПК, ТУПК, УШР) на токи КЗ [5] показали, что степень их влияния на токи КЗ зависит от назначения, конструктивных особенностей, принципа работы, мощности, места подключения и вида КЗ. Наиболее значительное влияние на токи КЗ оказывают устройства СТК и СТАТКОМ, в меньшей степени — ОРПМ, ТУПК, УШР. Это необходимо учитывать при расчетах токов КЗ.

Группа А1

Вращающиеся электрические машины

1. Смешанная генерация будущего:

влияние и риски возрастающей доли возобновляемых источников энергии на режимы работы существующих генераторов, вспомогательные устройства генераторов и двигателей возобновляемых источников и изменчивость требований потребителей;

улучшения в конструкциях и практике обслуживания в свете новых и будущих требований систем;

развитие и тенденции в новых машинах для возобновляемых источников.

2. Управление капитальными вложениями в электрические машины:

опыт модернизации, замены, улучшения конструкций, повышения допустимой нагрузки и повышения КПД работающих генераторов и двигателей с большим сроком службы; оптимальный мониторинг состояния, диагностика, прогнозирование и практика обслуживания с целью повышения надежности и продления срока службы;

опыт проектирования и эксплуатации — монтаж, анализ аварий, инспекция роботами, выбор послеаварийного восстановления, снижение стоимости и временных затрат, влияние торсионных осцилляций синхронных компенсаторов, генераторов ветровых турбин, турбо- и гидрогенераторов, а также двигателей.

3. Новейшие разработки:

конструкции, номинальные параметры, материалы, производство, обслуживание, режимы и повышение КПД электрических машин;

техника и методика мониторинга состояния оборудования.

Группа А2

Трансформаторы и реакторы

1. Трансформаторы для интеграции распределенных возобновляемых источников энергии:

использование, номинальные параметры и конструкции;

влияние гармоник, включая интергармоники и супергармоники;

влияние чрезвычайных внешних условий, особенно на побережье и под водой.

2. Новое в конструкциях и испытаниях диэлектриков:

требования к изоляционным конструкциям, особенно для новых и необычных применений;

новые концепции разработки и технологии;

проблемы испытаний диэлектриков и их преодоление.

3. Повышение надежности трансформаторов:

изучение долгосрочной надежности и наблюдений за трансформаторами;

повышение надежности благодаря обоснованному выбору номинальных параметров и конструкции;

повышение надежности путем оптимизации режима работы, обслуживания и ремонта.

Группа А3

Оборудование передачи и распределения электроэнергии

1. *Будущие разработки оборудования для передачи и распределения электроэнергии:*

выключатели постоянного тока среднего напряжения;

меры повышения надежности;

разработки оборудования с повышенной стойкостью к внешним воздействиям;

альтернативы элегазу для коммутаций и изоляции.

2. *Управление сроком службы оборудования передачи и распределения электроэнергии:*

мониторинг, диагностика и прогнозирование срока службы;

влияние внешних условий и эксплуатационных режимов;

опыт преодоления чрезвычайных воздействий.

3. *Влияние возобновляемой генерации и накопителей на оборудование передачи и распределения:*

новые перспективные технологии для коммутационного и другого оборудования;

встраивание “интеллекта” в оборудование;

влияние распределенных возобновляемых источников и накопителей энергии на требования к оборудованию.

Группа В1

Кабели

1. *Кабели для будущих энергосистем:*

инновационные кабельные системы;

перспективное влияние кабеля использования Больших данных и Технологий 4.0 на срок службы;

новые ожидаемые функции кабельных систем.

2. *Недавний опыт с существующими кабельными системами:*

конструкции, производство, монтаж и эксплуатация;

новое в испытаниях, включая локацию дефектов, соответствующие примеры;

уроки от приёмки и допуске в эксплуатацию.

3. *Воздействие окружающей среды, управление капитальными вложениями и живучесть кабельных систем:*

влияние окружающей среды на существующие, планируемые и будущие кабельные системы;

мониторинг, оценка состояния, диагностическое тестирование, методика перехода на повышенные номинальные параметры;

вопросы безопасности, физическая и кибербезопасность, Интернет вещей, примеры.

Группа В2

Воздушные линии электропередачи

1. *Обслуживание по состоянию для повышения надежности:*

мониторинг и моделирование;

индекс готовности, остаточный ресурс и механизм деградации;

оценка риска.

2. *Повышение характеристик линий электропередачи:*

новые разработки и материалы, перевод с переменного на постоянный ток, повышение номинального напряжения, оптимизация потерь;

токонесущая способность;

грозозащита и заземление.

3. *Ресурсы и проекты:*

проектирование с учетом эксплуатации (обслуживания), срок службы и восстановление, эргономика, необходимая квалификация персонала для монтажа и обслуживания, робототехника;

проектирование и реконструкция в измененных обстоятельствах.

Группа В3

Подстанции и электроустановки

1. *Проектирование и технологии:*

влияние на проект распределенных возобновляемых источников энергии, систем накопителей энергии, зарядки электротранспорта;

ослабление воздействия на окружающую среду, здоровье и безопасность, аспекты охраны;

быстрый ввод в работу и цена эффективных решений для электрификации развивающихся объектов.

2. *Оптимизированное управление подстанцией:*

успешные примеры оптимизации срока службы оборудования;

реконструкция и замена;

эволюция квалификации персонала и компетенции управления.

3. *Интеграция цифровизации:*

применение новых технологий, например, Интернет вещей, виртуальная реальность, дополненная реальность;

проблемы и ожидания от цифровых подстанций.

Группа В4

Системы постоянного тока и промышленная электроника

1. *Высоковольтные системы постоянного тока и их применение:*

планирование и применение новых проектов постоянного тока высокого напряжения, включая потребность, обоснованность, интеграцию новых разработок, окружающую среду и экономическую оценку;

применение новых технологий, включая кибербезопасность и продвинутое управление для новых сетевых требований, сети постоянного тока, многосвязанные и гибридные системы постоянного тока высокого напряжения и выключатели этих систем;

реконструкция и повышение параметров существующих систем постоянного тока высокого напряжения, сервис и опыт конверторных подстанций, включая прибрежные конверторы, вовлечение этого оборудования как результат преобразования сетей переменного тока в сети постоянного тока.

2. *Постоянный ток и промышленная электроника для систем распределения:*

применение постоянного тока в системах распределения;

примененная промышленная электроника в проектах распределения энергии, включая экономику и надежность;

новые концепции и разработки оборудования.

3. *Гибкие линии электропередачи:*

планирование и применение новых проектов гибких линий электропередачи, включая обоснование включения возобновляемых источников, оценки по окружающей среде и экономике;

применение новых технологий в гибких линиях электропередач и другого оборудования промышленной электроники, включая предоставление данных о генерации и накоплении энергии в сети;

реконструкция существующих гибких линий электропередачи и других систем промышленной электроники;

опыт эксплуатации.

Группа В5

Защита и автоматика

1. *Человеческий фактор в системах защиты, автоматики и управления:*

причины, типы, последствия ошибок персонала;

влияние сложности и степени функциональной интегрированности системы защиты, автоматики и управления на ошибки персонала;

предотвращение ошибок путем тренировок, допуска к работе, наличия установленных инструкций и стандартов, лучшие примеры сотрудничества с субконтракторами и третьими партиями.

2. *Коммуникационные сети в системах защиты, автоматики и управления, опыт и проблемы:*

управление загруженностью сетей и умные электронные устройства;

отбор данных, включая использование виртуальных сетей для систем защиты, автоматики и управления;

архитектура коммуникационной сети защиты, автоматики и управления, включая контроль коммуникационной перегрузки.

Группа С1

Развитие энергосистем и экономика

1. *Планирование живучести энергосистем:*

оценка, совершенствование и измерение в планировании живучести энергосистемы, экономическая оценка и управление капитальными затратами в условиях растущих угроз со стороны людей, природных явлений и изменения климата.

2. *Синергия энергетического сектора в эффективности декарбонизации:*

плановые подходы к синергии энергетического сектора, включающего мощность, газ, транспорт, нагрев/охлаждение, новые носители энергии, с целью оптимизации эффекта отказа от сжигания топлива в сочетании с поддержкой местного развития;

как эти плановые подходы включают аспекты преобразования и накопления энергии?

3. *Распределенные энергетические ресурсы в планировании передачи энергии:*

средства, методы, данные, используемые при планировании системы передачи и решении об инвестировании, с целью оценки и обеспечения высокого уровня использования возобновляемых источников, накопления

энергии и потребительской гибкости на всех уровнях напряжения;

подходы, которые совмещают технические оценки, стимулы и значимость надежности для потребителя.

Группа С2

Эксплуатация и управление энергосистемой

1. *Потребности, необходимые для работы будущих систем:*

обучение (тренировка) операторов;
средства поддержки решений, включая новые методы;

полные мониторинг и контроль.

2. *Представление данных по системам — полные обзор и управляемость:*

общий интерфейс связанных систем — кооперация, обмен данными;

взаимодействие операторов передачи и распределения электроэнергии — кооперация, обмен данными.

3. *Проблемы работы системы с большим содержанием распределенных источников энергии:*

повышение гибкости, надежности и живучести;

обеспечение обслуживания посредством агрегаторов;

взаимодействие с агрегаторами.

Группа С3

Энергосистема и окружающая среда

1. *Достижение устойчивого развития согласно концепции ООН:*

как компании включают задачу устойчивого развития в стратегию своего бизнеса для повышения своих достижений?

каков главный аргумент для такой задачи?

каким образом компании получают выгоду от включения программы устойчивого развития в свою бизнес-стратегию?

2. *Влияние преобразования энергии на окружающую среду:*

эффект сокращения исходных материалов;

какие методы применяются для измерения этих воздействий, имея в виду всю цепь поставки энергии?

как справиться с негативным воздействием от преобразования энергии, например, воздействие солнечных станций на окружающее биологическое разнообразие.

3. *Взаимное влияние электрической инфраструктуры и мира животных:*

как предотвратить порчу или отключение оборудования генерации, передачи и распределения от птиц, грызунов и других животных?

какие методы используются и какие данные нужны, чтобы ограничить их смертность?

какие используются методы для снижения воздействия преобразования энергии?

Группа С4

Характеристики энергосистемы

1. *Повышение характеристик энергосистемы с помощью передовых методов, моделей и средств:*

анализ применяемой динамической защиты, имея в виду электромагнитные помехи, погоду, наведенные геомагнитные токи;

оценка стабильности частоты, устойчивости системы, качества электроэнергии, пользуясь анализом Больших данных;

развитие новых измерений и средств для количественной оценки надежности, живучести и гибкости.

2. *Моделирование будущих систем на основе реальных событий:*

опыт применения умных систем;

высокий уровень использования устройств инверторного типа;

использование систем накопителей энергии.

3. *Методы, модели и техника для измерений молнии, качества энергии, координации изоляции, направленные для повышения характеристик энергосистем:*

системы сверхвысокого напряжения переменного и/или постоянного тока;

возобновляемая генерация, системы, ориентированные на использование инверторов, тяговая нагрузка;

опасное взаимодействие между компонентами энергосистемы.

Группа С5

Управление рынками электроэнергии

1. *Меняющаяся природа рынков и дополнительные требования:*

адаптация рынков к смещению значимости между энергией и сервисом;

роль рынков в объединении и предоставлении сервиса для сети;

стоимостные подходы к возникающим технологиям и влияние этих технологий.

2. *Меняющаяся роль регуляторов и стандартов:*

роль регуляторов в меняющихся рынках; эволюционирующая политика, стандарты, указания в меняющихся рынках;

целесообразная степень регулирования передачи и распределения.

3. *Проектирование рынков с координацией генерации и инвестиций в сеть:*

рынки и регуляторы для координации инвестиций;

изменения рынка потребителями — переход от централизованного к локальному планированию;

влияние смены потребителя на инвестиции и рынки;

влияние равноправных переговоров по обеспечению рыночных услуг.

Группа С6

Системы распределения и распределенная генерация

1. *Активные системы распределения с распределенными источниками энергии:*

обеспечение графика нагрузки;

использование возможностей местных накопителей энергии и преодоление непредсказуемости;

использование систем с разными источниками энергии вместе с умными инверторами и управлением.

2. *Применение технологий и решений для систем распределения:*

управление и платформы укрупнения распределенных источников энергии;

индивидуальные микросистемы, мульти- и микросистемы, проект виртуальной электростанции, управление;

сельская электрификация и автономные системы распределения.

3. *Проблемы управления системой в связи с возросшими распределенными источниками энергии:*

повышение гибкости, надежности и живучести;

обеспечение системных услуг агрегаторами;

взаимодействие агрегаторов.

Группа D1

Материалы и технологии испытаний

1. *Мониторинг, испытания и диагностика:* опыт и оценка систем мониторинга;

надежность испытательного оборудования и систем испытаний для мониторинга и диагностики;

обработка данных, анализ и современная оценка состояния.

2. *Свойства и деградация изоляционных материалов:*

новые воздействия, например, от промышленной электроники;

циклическая нагрузка, повышенные температуры и применение в малогабаритных устройствах;

материалы с малым воздействием на окружающую среду во время производства, работы и утилизации;

качественные методы, подтверждающие функциональные свойства.

3. *Системы изоляции нового оборудования:*

материалы под повышенным воздействием, например, напряженности электрического поля, магнитного поля, электрического тока и частоты;

опыт и требования к новым тестовым процедурам, стандарты;

разработка новых технологий и материалов, например, печать 3D, ламинирование, литье.

Группа D2

Информационные системы и коммуникации

1. *Влияние новых информационных коммуникационных технологий на электрические системы:*

потенциал обучающихся машин и искусственного интеллекта в совершенстве операций;

прогресс в управлении капитальными вложениями и сроком службы при использовании Интернета вещей, Больших данных и аналитики;

роль блокчейн в повышении эффективности операций на рынке.

2. *Новые проблемы киберзащиты в изменяющейся индустрии электричества:*

проблемы киберзащиты при использовании Интернета вещей, Больших данных и Облачной технологии;

проблемы киберзащиты в отношении распределенных источников энергии;

идентификация угроз кибербезопасности с помощью Больших данных и обучающихся машин.

3. *Возрастающая операционная эффективность при использовании пакетно включенных коммуникационных технологий:*

проблемы с переходом к пакетно включенным сетям;

поддержка меняющейся индустрии электричества с помощью существующих и новых коммуникационных технологий;

поддержка сервисов, критичных ко времени с помощью распределения времени и синхронизации.

Список литературы

1. Головщиков, В. О. Готова ли электроэнергетика России к переходу на новую технологическую платформу, основанную на массовой цифровизации? / В. О. Головщиков // Энергетик. — 2018. — № 11. — С. 3 – 6.
2. Call for Papers CIGRE Session 48. www.cigre.org.
3. Жуков, В. В. Разработка методики оценки надежности цифровой подстанции / В. В. Жуков, А. В. Шмелев, Д. В. Михеев // Новое в Российской электроэнергетике. — 2017. — № 9. — С. 6 – 18.
4. Абдурахманов, А. М. Анализ надежности Smart Grid на основе “облачной теории” / А. М. Абдурахманов,

А. В. Шмелёв, А. В. Шунтов // Релейщик. — 2012. — № 3. — С. 16 – 25.

5. Жуков, В. В. Исследование влияния устройств FACTS на токи короткого замыкания в энергосистемах / В. В. Жуков, В. Ю. Русаков // Энергетик. — 2018. — № 1. — С. 23 – 28.

References

1. Golovshchikov V. O. *Energetik* (Energetic), 2018, No. 11, pp. 3 – 6.
2. Call for Papers CIGRE Session 48, [Electronic resource]. — URL: www.cigre.org.
3. Zhukov V. V., Shmelev A. V., Mikheev D. V. *Novoe v Rossiiskoi elektroenergetike* (New in the Russian electric power industry), 2017, No. 9, pp. 6 – 18.
4. Abdurakhmanov A. M., Shmelev A. V., Shuntov A. V. *Relayman*, 2012, No. 3, pp. 16 – 25.
5. Zhukov V. V., Rusakov V. Yu. *Energetik* (Energetic), 2018, No. 1, pp. 23 – 28.

MineinVF@mpei.ru

Integration of digitalization into the electric power industry in the subject of reports of the session of CIGRE 2020

Zhukov V. V., Minein V. F.

The preferred topics of the reports at the upcoming 48th session of CIGRE are presented. Integration of digitalization; problems and expectations from digital substations; flexible power lines; evaluation of the reliability, vitality and flexibility; the impact of extreme external conditions; environmental impact on cable systems are considered topical problems.

Keywords: the 48th session of CIGRE, rotating electrical machines, transformers, AC and DC cable and overhead lines, industrial electronics, protection and automation, renewable sources and distributed generation, intelligent systems, digital substations, testing, monitoring, diagnostics, information systems and telecommunications, markets.

CONTENTS

PROJECTS AND RESEARCH	
Sazykin V. G., Bagmetov A. A. Optimization of the electrical network by SAIDI and SAIFI reliability indicators using the PSS@SINCAL platform	2
Kulikov A. L., Sosnina E. N., Kryukov E. V., Kolesnikov A. A. Differential protection of the thyristor voltage regulator system using the double recording method	10
Ibragimov N. Yu. Thermal destruction of the pipe silicate coating	21
SAVING ENERGY RESOURCES	
Karelin A. N., Karelin E. N. Management of electric power supply modes at a ship-repair enterprise	24
GENERAL AND APPLIED CENOLOGY	
Sizganova E. Yu., Yuzhannikov A. Yu. Assessment of the energy efficiency of a large trade network	30
Khor'kov S. A. Treatise on Cenosis	37
ALTERNATIVE ENERGY SOURCES	
Shcherbak A. P., Tishkov S. V., Karginova-Gubino-va V. V. Prospects of developing solar power engineering in the north of Russia	43
OCCUPATIONAL SAFETY	
Khalin E. V. Requirements to e-learning systems in production safety	47
CHRONICLE	
Zhukov V. V., Minein V. F. Integration of digitalization into the electric power industry in the subject of reports of the session of CIGRE 2020	53

Главный редактор **С. А. ЦЫРУК**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Б. Н. Абрамович, Ю. В. Балабан-Ирменин, М. Я. Басалыгин, М. Г. Баширов, И. В. Белоусенко, В. В. Вахнина, В. А. Востросаблина, А. В. Волков, И. Д. Грачев, Н. Ф. Джагаров (Болгария), **В. В. Ивакин** (научный редактор), **Е. Н. Касьянова** (ответственный секретарь), **В. С. Копырин, Б. И. Кудрин** (зам. гл. редактора по электроэнергетике), **Ю. В. Матюнина, С. А. Михайлов, Л. А. Новелла** (зам. гл. редактора), **Г. Б. Онищенко, Я. Пихоцки** (Польша), **С. К. Попов** (зам. гл. редактора по теплоэнергетике), **Е. Н. Рыжкова, Л. Е. Федоров, Э. Харцвельд** (Германия), **К. Ф. Шарафеддин** (Ливан), **А. В. Щербаков**

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель

Перепечатка, копирование материалов, опубликованных в журнале "Промышленная энергетика", допускаются только с разрешения редакции

Адрес редакции: 115280, Москва, 3-й Автозаводский проезд, д. 4, корпус 1.

Телефоны: (495) 234-74-49, 234-74-18.

[Http://www.promen.energy-journals.ru](http://www.promen.energy-journals.ru) E-mail: prom_energy@rambler.ru, prom-energe@yandex.ru

Сдано в набор 13.09.2019. Подписано в печать 29.10.2019. Дата выхода в свет 14.11.2019. Формат 60 × 84 1/8. Печ. л. 7,0. Тираж 2500 экз. Заказ ПЭ11/19. Цена — свободная.

Адрес для переписки: ЗАО НТФ "Энергопрогресс", 109044, Москва, Воронцовский пер., д. 2, стр. 1

Оригинал-макет выполнен в издательстве "ФОЛИУМ"
127411, Москва, Дмитровское ш., 157, тел.: (499) 258-08-28. E-mail: info@folium.ru

Типография издательского дома "ФОЛИУМ"