

DOI: 10.17516/1999-494X-0216

УДК 621.316.11.001

Software Implementation of Statistical Modeling of Loads and Accounting for Multimodality of Electric Networks

Alexey A. Gerasimenko and Evgeny V. Puzyrev*

*Siberian Federal University
Krasnoyarsk, Russian Federation*

Received 22.10.2019, received in revised form 14.12.2019, accepted 21.01.2020

Abstract. Based on earlier authors' software development, a single multifunctional software complex "POTERI V1.1: SETI, REG10PVT" (hereinafter POTERI) was created, which provides accurate and reliable calculation of energy losses in electric networks with a voltage of 6–110 (220) kV. The paper presents the general structure of the POTERI software complex together with a brief description of the software modules SETI, REG10PVT, VES, RES and their performance features. The software modules and algorithms, as well as the whole complex are tested at the network enterprises of the Russian Federation.

Keywords: electric energy losses, software modules, software complex, deterministic, stochastic and combined methods.

Citation: Gerasimenko A.A., Puzyrev E.V. Software implementation of statistical modeling of loads and accounting for multimodality of electric networks, J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol., 2020, 13(2), 194-205. DOI: 10.17516/1999-494X-0216

Программная реализация статистического моделирования нагрузок и учета многорежимности электрических сетей

А.А. Герасименко, Е.В. Пузырев

*Сибирский федеральный университет
Российская Федерация, Красноярск*

Аннотация. На базе более ранних программных разработок авторов создан единый многофункциональный программный комплекс «POTERI V1.1: SETI, REG10PVT» (далее

© Siberian Federal University. All rights reserved

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

* Corresponding author E-mail address: puzyrev_ev@mail.ru

POTERI), позволяющий выполнять расчеты потерь электроэнергии в электрических сетях напряжением 6–110 (220) кВ с высокой точностью и достоверностью. В работе представлена общая структура программного комплекса POTERI, приведено краткое описание программных модулей и особенностей их функционирования: SETI, REG10PVT, VES, RES. Осуществляется апробирование программных модулей, алгоритмов и испытание комплекса в целом в сетевых предприятиях РФ.

Ключевые слова: потери электрической энергии, программные модули, программный комплекс, методы детерминированный, стохастический и комбинированный.

Цитирование: Герасименко, А.А. Программная реализация статистического моделирования нагрузок и учета многорежимности электрических сетей / А.А. Герасименко, Е.В. Пузырев // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2020. 13(2). С. 194-205. DOI: 10.17516/1999-494X-0216

Правильный учет и анализ, в также снижение потерь электрической энергии (ЭЭ) всегда были и остаются одними из приоритетных задач для сетевых организаций всех уровней и реальной эксплуатационной технологией энергосбережения [1]. Многие электросетевые предприятия рассматривают учет потерь ЭЭ как один из целевых показателей в области повышения их энергоэффективности. Наряду с этим особое место при планировании и анализе режимов работы электрических сетей (ЭС), определении допустимых и фактических балансов ЭЭ, оценке нормированной (нормативной) величины потерь ЭЭ, обосновании и установлении региональных тарифов на ЭЭ занимает развитие и усовершенствование различных способов повышения надежности, эффективности расчета (с высокой точностью и заданной достоверностью) основных параметров всей совокупности возможных режимов работы (многорежимности), определяемой изменением нагрузок ЭС.

Наибольшее распространение получили детерминированные методы расчета потерь ЭЭ [2–4], в меньшей мере – стохастические (вероятностно-статистические) и комбинированные подходы к расчету потерь [5–7].

В России наибольшее применение в области расчета и анализа потерь ЭЭ имеют две многоуровневые программные разработки, реализующие детерминированный подход, – программные комплексы РТП и РАП-стандарт [8, 9].

Улучшение эффективности расчетных подходов может быть достигнуто в результате оптимального весового анализа и оценки свойств и возможностей вероятностно-статистических и детерминированных методов расчета потерь ЭЭ и тем самым в определенной мере компенсировать недостатки обоих методов [6].

Программный комплекс POTERI создавали с целью повышения надежности (точности и достоверности) результата расчетов, влияющих на оценку энергоэффективности электросетевых предприятий. Главная особенность комплекса состоит в том, что наряду с детерминированным и стохастическим методами в нем реализован комбинированный подход, уравнивающий достоинства и недостатки каждого из методов. В комплексе обобщен опыт программирования и использования предыдущих программных разработок.

Основные расчетные выражения

Центральной проблемой при определении потерь ЭЭ является учет всей совокупности режимов (многорежимности), вызванной изменением нагрузок на заданном времен-

ном интервале (сутки, месяц, квартал) T . Для всей схемы сети, имеющей m продольных элементов и $n+1$ узлов, нагрузочные потери ЭЭ определяются непосредственным суммированием потерь мощности ΔP на всех d интервалах стационарности (усреднения) Δt графиков нагрузок расчетного периода T , что описывается следующими принципиальными выражениями [3]:

$$\Delta W_{\Sigma}^H = 3 \sum_{j=1}^m R_j \int_0^T I_j^2(t) dt = \sum_{j=1}^m \int_0^T \Delta P_j(t) dt = \sum_{i,j}^{n+1} \int_0^T \Delta P_{ij}(t) dt \approx \sum_{i,j}^{n+1} \sum_s^d \Delta P_{ijs} \Delta t_s, \quad (1)$$

где $d = T / \Delta t$ – число интервалов постоянства (стационарности) графиков электрических нагрузок; ΔP_{ij} – потери мощности на участке i - j электрической сети для данного интервала постоянства s .

Реализация (1), выполняемая на основе серии расчетов установившихся режимов и дающая наиболее точные значения потерь ЭЭ, чрезмерно трудоемка, в том числе как из-за большого объема, так и случайного и частично неопределенного характера части исходной информации, особенно для сетей 6–35 кВ. В программном комплексе POTERI, объединяющем под общее управление ряд программно-расчетных модулей, алгоритмы базируются в основном на одном расчете установившегося режима для средних нагрузок. При этом реализованы три направления учета всей совокупности режимов и, соответственно, расчета потерь ЭЭ.

1. Детерминированный алгоритм, известный как метод средних нагрузок, использует данные системы головного учета – отпуск ЭЭ в сеть, потребленную ЭЭ, эквивалентное напряжение источника – и реализуется в следующем виде:

$$\Delta W_{dem} = 3k_{\phi}^2 \sum_{j=1}^m I_{cpi}^2 R_j T = \left[\sum_{j=1}^m \Delta P_{cpi} + (k_{\phi}^2 - 1) \Delta P_{cp} \right] T = M \Delta W + \sigma \Delta W, \quad (2)$$

где I_{cpi} – среднее значение тока $M \Delta W$, $\sigma \Delta W$ – основная и дисперсионная составляющие потерь ЭЭ [3, 4].

Коэффициент формы k_{ϕ} , учитывающий информацию о множестве режимов, определяется

по данным отпуска ЭЭ W_P , W_Q в сеть $k_{\phi} = \frac{\sqrt{d}}{\sqrt{W_P^2 + W_Q^2}} \left(\sqrt{\sum_{j=1}^d W_{Pj}^2 + \sum_{j=1}^d W_{Qj}^2} \right)$ или вычисляется

итерационно через дисперсионную составляющую потерь $\sigma \Delta W$, определяемую вероятностно-

статистическим методом при комбинированном подходе $k_{\phi}^2 = 1 + \frac{\sigma \Delta W}{M \Delta W}$.

2. Вероятностно-статистический метод, базирующийся на факторной модели электрических нагрузок и модифицированной стохастической модели анализа многорежимности, представлен выражением:

$$\Delta W_{s.c.} \approx \left[\Delta P(MU, M\delta) + \left(\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k(U_i U_j) \frac{\partial^2 \Delta P}{\partial U_i \partial U_j} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k(U_i \delta_j) \frac{\partial^2 \Delta P}{\partial U_i \partial \delta_j} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k(\delta_i \delta_j) \frac{\partial^2 \Delta P}{\partial \delta_i \partial \delta_j} \right) \right] \cdot T = [\Delta P(MU, M\delta) + \sigma(\Delta P)] \cdot T = M \Delta W + \sigma \Delta W, \quad (3)$$

где $\Delta P(MU, M\delta)$, $k(\delta_i\delta_j)$, $k(\delta_iU_j)$, $k(U_iU_j)$ – основная составляющая потерь мощности, корреляционные моменты, вычисленные через модули и фазы напряжения MU , $M\delta$ в точке, соответствующей математическим ожиданиям электрических нагрузок;

$\frac{\partial^2 \Delta P}{\partial U_i \partial U_j}$, $\frac{\partial^2 \Delta P}{\partial U_i \partial \delta_j}$, $\frac{\partial^2 \Delta P}{\partial \delta_i \partial \delta_j}$ – вторые производные выражения потерь мощности по соответствующим параметрам, вычисленные относительно той же точки; $\sigma(\Delta P)$ – дисперсионная составляющая потерь активной мощности [5, 10].

Корреляционные моменты $k(V_iV_j)$, $k(V_i\delta_j)$, $k(\delta_i\delta_j)$ модулей и фаз напряжений, вычисленные относительно параметров $M\bar{V}$, $M\bar{\delta}$, находятся через вспомогательные коэффициенты, получаемые из $K=2-3$ решений систем линейных уравнений (СЛУ), аналогичных системам линеаризованных уравнений узловых напряжений

$$[J] \begin{bmatrix} \gamma_k' \\ \gamma_k'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathcal{G}_k' \\ \mathcal{G}_k'' \end{bmatrix}, \quad k = 1, \bar{K}. \quad (4)$$

Компоненты векторов \mathcal{G}_k' , \mathcal{G}_k'' правых частей СЛУ (4), учитывающие отклонения активных и реактивных мощностей узлов от соответствующих математических ожиданий, находят через центрированные величины ΔP_{ij} , ΔQ_{ij} нагрузок соответствующих узлов и составляющие G_{kj}

факторной модели нагрузок $\mathcal{G}_{ki}' = \frac{1}{d} \sum_{j=1}^d G_{kj} \cdot \Delta P_{ij}$, $\mathcal{G}_{ki}'' = \frac{1}{d} \sum_{j=1}^d G_{kj} \cdot \Delta Q_{ij}$, $i = \bar{1}, n$.

3. Комбинированный подход основан на непосредственном использовании результатов детерминированного $\Delta W_{дет}$ и стохастического $\Delta W_{с.с.}$ алгоритмов расчета потерь ЭЭ в составе средневзвешенной величины [6, 11]:

$$\Delta W_{расч} = \Delta W_{дет} \cdot \eta + \Delta W_{с.с.} \cdot \alpha, \quad (5)$$

где α , η – оптимальные по критерию минимума ошибки значения весовых коэффициентов, связанных соотношением $\eta = 1 - \alpha$, определяющих вес (участие) результата соответственно стохастическому и детерминированному алгоритмам в расчетной средневзвешенной величине потерь ЭЭ:

$$\Delta W_{расч} = \Delta W_{дет} \cdot (1 - \alpha) + \Delta W_{с.с.} \cdot \alpha. \quad (6)$$

Оптимальное сочетание результатов уточненного детерминированного и стохастического методов обосновано экспериментально [11].

В программном комплексе POTERI выполнен учет ряда схемно-структурных и режимно-атмосферных факторов: внутри интервального изменения электропотребления и температуры воздуха, структуры схемы ЭС, скорости ветровой нагрузки, температуры проводов и жил кабелей [4, 12].

Краткое описание программ REG10PVT и SETI

Для создания программного комплекса POTERI в первую очередь по исходным текстам была выполнена сборка и отладка отдельных программ REG10PVT и SETI, написанных на языке

ках программирования FORTRAN и PASCAL, которые длительное время использовались для научных и инженерных вычислений. На рис. 1 и 2 представлены главные окна и окна ввода исходных данных одних из первых версий программ REG10PVT и SETI [3, 4].

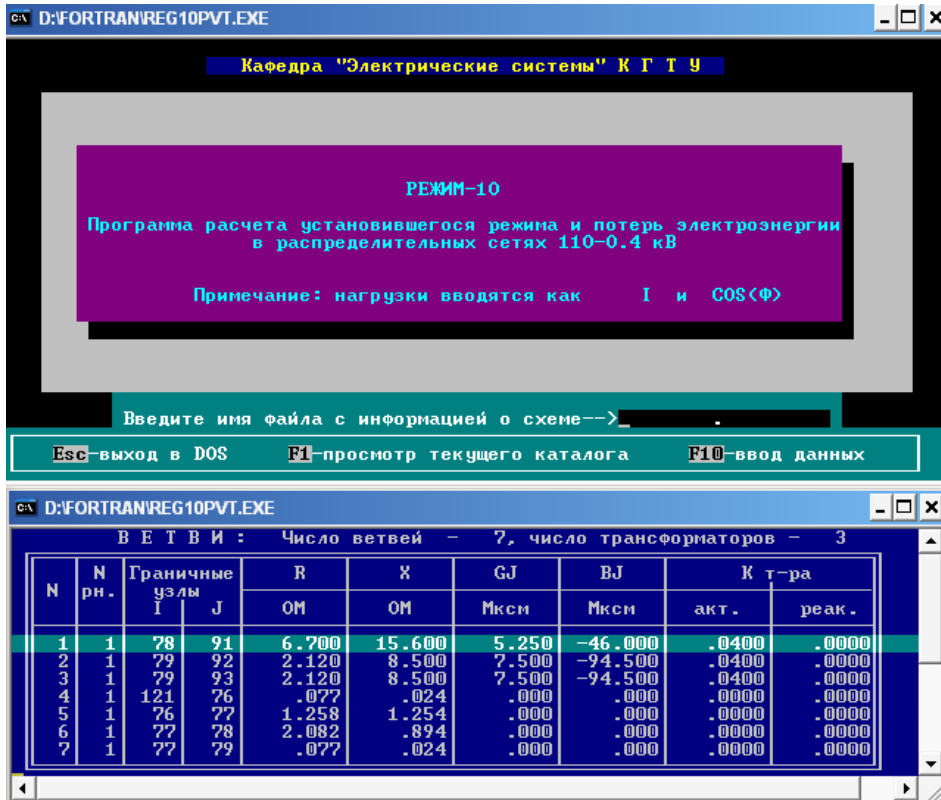


Рис. 1. Главное окно и окно ввода исходных данных программы REG10PVT

Fig. 1. Main window and input window of REG10PVT program

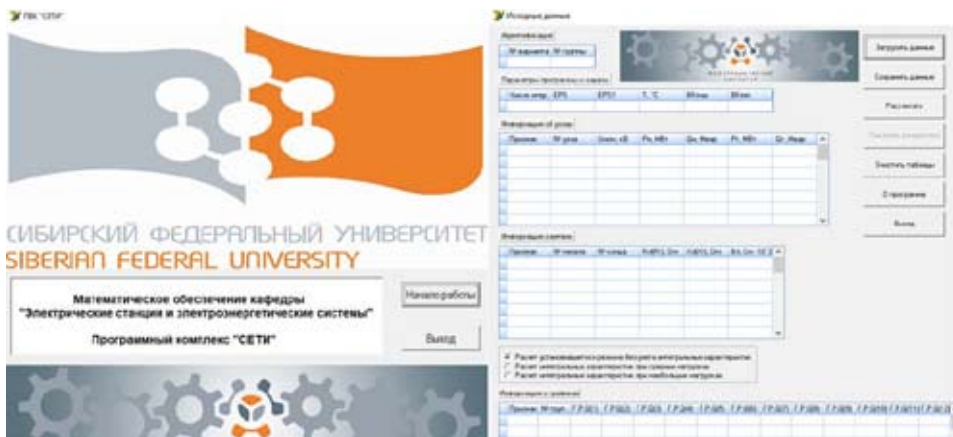


Рис. 2. Главное окно и окно ввода исходных данных программы SETI

Fig. 2. The main window and the input window of the source program data SETI

Программа REG10PVT состоит из следующих частей:

- программа расчета установившихся режимов и потерь ЭЭ в отдельном участке сети (фидере);
- программа (утилита) обновления информации по всем фидерам предприятия (пропуск ЭЭ, количество часов работы, температура воздуха и др.);
- программа расчета потерь ЭЭ по всей базе данных фидеров ЭС и формирование результата расчета в форме, приближенной к отчетной.

Расчет установившихся режимов и интегральных характеристик всей совокупности режимов электрической сети на произвольном временном интервале реализованы в программе SETI [5]. Основу соответствующих алгоритмов составляет метод Ньютона и вероятностно-статистическая факторная модель электрических нагрузок – обобщенные графики нагрузок (ОГН) [10].

Большинство библиотек FORTRAN являются доступными в исходных кодах, они хорошо документированы, отлажены и весьма эффективны в практическом использовании. Поэтому изменять, а тем более переписывать их на другие современные языки программирования – задача достаточно трудоемкая и сопровождается, как правило, скрытыми ошибками. На фоне быстрого обновления технологий, средств редактирования, операционных систем разработчики не всегда учитывают совместимость новых технологий с программными продуктами, созданными ранее при имеющемся уровне развития техники и технологий. В связи с этим становится актуальной проблема адаптации ранее апробированных и успешно прошедших расчетные испытания программных продуктов к современным средствам программного обеспечения. Тем не менее авторами была произведена успешная попытка конвертирования кодов FORTRAN на более современный язык программирования DILPHI и создания нового удобного интерфейса.

Общая характеристика и структура программного комплекса POTERI

Поэтапное изучение работы отдельных программ и проработка алгоритмов, их доработка и усовершенствование способствовали созданию нового единого программного комплекса POTERI, который имеет несколько версий [12]. Каждая из версий комплекса отличается различным набором функциональных возможностей программных модулей. Последняя версия комплекса построена на базе четырех программных модулей SETI, REG10PVT, VES, RES (рис. 3).

В совокупности комплекс POTERI имеет широкий функционал, поскольку реализует различные методы по расчету и учету потерь ЭЭ – детерминированный, стохастический (вероятностно-статистический) и комбинированный.

Далее кратко представлены возможности сформированного программного комплекса POTERI. Подробное описание по работе пользователя с комплексом и его функционированию изложено в инструктивных указаниях к каждому из программных модулей.

На рис. 4 приведено главное окно программного комплекса POTERI версии 2.3 и основные окна программных модулей SETI, REG10PVT, VES.

В зависимости от имеющейся исходной информации и цели расчета у пользователя есть возможность выполнить расчет любым из трех способов. Для этого необходимо заранее подго-



Рис. 3. Укрупненная модульная структура программного комплекса POTERI

Fig. 3. Integrated modular structure of the software complex POTERI



Рис. 4. Главное окно и основные окна программного комплекса POTERI

Fig. 4. The main window and the main windows of the software complex POTERI

товить исходный файл, который для каждого из модулей имеет свои особенности построения и ввода параметров схемы замещения.

Расчет потерь электроэнергии детерминированным способом (вход «Детерминированный метод») организуется с помощью основного диалогового окна программного модуля REG10PVT. В программном модуле REG10PVT реализована возможность расчета параметров установившегося режима сети по нагрузкам, заданным значениями активной и реактивной мощностей (P и Q) – вход (кнопка) «НАГРУЗКИ P и Q » или тока и коэффициента мощности (I и $\cos\varphi$) – вход (кнопка) «НАГРУЗКИ I и $\cos(\varphi)$ ». В программном модуле возможно выполнение расчета потерь электроэнергии как для отдельного участка сети (вход «РАСЧЕТ ПОТЕРЬ

ЭЭ ПО ОТПУСКУ»), так и в целом по всей сети напряжением 6–35 кВ для неограниченного количества фрагментов, составляющих в совокупности рассматриваемую сеть (вход «РАСЧЕТ ПОТЕРЬ ЭЭ ПО ВСЕЙ СЕТИ») – программный модуль RES, структурно интегрированный в программный модуль REG10PVT [13].

В программном модуле SETI практически реализована статистическая методология сжатого нетрудоёмкого моделирования и учета многорежимности ЭС: в основе факторное моделирование матрицы корреляционных моментов (МКМ) методом главных компонент с получением ОГН, ограниченный набор которых позволяет нетрудоёмко, приемлемо точно и надёжно решать задачи расчёта и нормирования потерь ЭЭ, а также определять другие интегральные характеристики (диапазоны и диаграммы (графики) изменения напряжений в узлах сети и реактивной мощности источников), поддерживающие решения ряда технических задач анализа режимов и управления ими [5, 10]. В данном модуле возможно выполнение трёх видов расчётов, выбор которых определяется целью расчёта и имеющийся исходной информацией: расчёт установившихся режимов – узловые нагрузки в мощностях P, Q ; расчёт потерь ЭЭ и интегральных характеристик при задании нагрузок средними значениями P, Q ; расчёт потерь ЭЭ и интегральных характеристик при задании нагрузок максимальными значениями P, Q .

Следует отметить, что расчёт интегральных характеристик возможен при вводе суточных графиков активных и реактивных мощностей $P(t), Q(t)$ в узлах в явном виде или после считывания отраслевых (типовых) графиков из базы данных и обобщённых факторных моделей – ортогональных графиков нагрузки $\Gamma(t)$ [5]. Особенностью программного модуля SETI является то, что для расчёта потерь ЭЭ стохастическим методом помимо трёх ОГН, встроенных в модуль, дополнительно реализована возможность ввода отдельных ОГН, вновь полученных после статистической обработки отраслевых графиков различных распределительных систем, что существенно расширяет возможности программного модуля в направлении повышения точности и надёжности результатов расчёта потерь ЭЭ.

На рис. 5 приведена обобщённая схема работы программного модуля SETI, функционально состоящего из отдельных программных блоков-алгоритмов:

APOID – контроля ошибок данных; WZDU – ввод исходных данных; FORMY – формирования связанных списков матрицы узловых проводимостей; RANG – определения рангов узлов, перенумерации узлов, ветвей; TREANG – оптимального упорядоченного исключения узлов; NUTON – решения системы уравнений узловых напряжений (УУН); OPRNEW – вычисления невязок системы УУН; LZB – решения системы линейных уравнений с нижней треугольной матрицей; WUZ – решения системы линейных уравнений с верхней треугольной матрицей; TBL – вывода результатов расчёта установившегося режима сети по математическим ожиданиям нагрузок; GAMMA – вычисления собственных векторов и расчётных переменных γ ; POTERI – определения дисперсионной составляющей потерь ЭЭ; DIAP – определения суточного режима напряжения в узлах сети; STAR – проверки соответствия параметров схемы; BNGR – работы с суточными и обобщёнными графиками нагрузки.

Программная реализация комбинированного метода выполнена на основе результатов эксперимента по поиску оптимального сочетания уточнённого детерминированного и стохастического методов. Для вычисления средневзвешенного значения необходимо произвести расчёты потерь ЭЭ с помощью программных модулей REG10PVT и SETI, сохранив в отдельной



Рис. 5. Обобщенная схема функционирования программного модуля SETI

Fig. 5. Generalized scheme of SETI software module functioning

папке протоколы расчета в формате *.csv. С помощью программного модуля VES необходимо выбрать соответствующие протоколы и одно из возможных весовых сочетаний оптимального диапазона $\alpha = [0,7; 0,8]$ результатов детерминированного и стохастического алгоритмов. В модуле VES программно реализован усовершенствованный алгоритм расчета и оценки нормативных значений потерь ЭЭ на базе комбинированного подхода [6, 11, 14, 15].

В итоге выполнен анализ структуры и модернизация ранее созданных на языке FORTRAN программ SETI и REG10PVT и составляющих их программных блоков с переходом на алгоритмический язык DELPHI с тщательной проработкой и улучшением программных возможностей расчета интегральных характеристик через восстанавливаемые средние нагрузки. Изменен принцип составления файлов исходных данных и их считывание. Значительно переработан и сформирован новый пользовательский интерфейс, отвечающий за удобный ввод, вывод и сохранение данных и сопровождаемый подробной пользовательской инструкцией.

Программный комплекс POTERI предназначен для расчета технических потерь ЭЭ в ЭС с номинальным напряжением 6–110 кВ, а также анализа установившихся электрических режимов сетей напряжением 0,38–110 кВ в диалоговом режиме и выводе результатов расчетов в табличной форме. Комплекс позволяет рассчитывать потери ЭЭ и их структуру на различных уровнях обобщения ЭС: отдельно распределительная линия (фидер), подстанция, район электрической сети и предприятия в целом. Результаты обобщаются в виде отпущенной в сеть ЭЭ, степени загрузки (использование) ЭС, параметров базового электрического режима. В структуре потерь ЭЭ выделены составляющие: потери в линиях, трансформаторах, в том числе нагрузочные, и потери холостого режима. При анализе потерь наряду с детерминиро-

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
2	Время работы	744	час	Температура	20	коэф. формы	Кф*	1,00				
3												
4	Параметры	Наименование подстанции	Наименование фидера	Пролет ЭЭ через опорный участок участка фидера	Пролет ЭЭ через разрывной ЭЭ	Потери ЭЭ в линиях	Потери ЭЭ в трансформаторах	Потери ЭЭ в градостроительных трансформаторах	Потери ЭЭ в градостроительных трансформаторах	Пролет	Суммарные потери ЭЭ	Доля от
5	чик			кВт*ч	кВт*ч	кВт*ч	кВт*ч	кВт*ч	кВт*ч	через сегм. 0,4 кВ	ЭЭ	Вт.
6												%
7												
8												
9	RES-1	ANC IR	ANC3904.REG	265306	399000	2997365	7908709	5154089	275482	2530297	1050627	3,96
10	RES-1	ANC IR	ANC3905.REG	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	RES-1	ANC IR	ANC3907.REG	136944	81257,8	194979	312138	380308	2737852	1306277	3316309	2,42
12	RES-1	ANC IR	ANC3909.REG	479160	294316,8	1078419	8652094	3077803	5574482	4397437	1941627	4,05
13												
14	Итого по пс	ANC IR		881840	721574,6	1353673	1968215	8615199	1106895	849401,1	3023888	3,77
15												
16												
17	Итого по											
18	Итого по											
19	Итого по											
20	Итого по											
21	Итого по											
22	Итого по											
23												
24	RES-7	TASEEVO	T-904.REG	410112	243048,2	4195305	8243709	1590852	8953057	3833053	4990878	12,14
25	RES-7	TASEEVO	T-905.REG	335448	199043,1	1732154	5379777	1369851	4010128	3127467	2270132	6,77
26	RES-7	TASEEVO	T-908.REG	879538	402213	1249845	1286512	2975156	9989962	5417064	1378298	20,29
27	RES-7	TASEEVO	T-909.REG	511128	303285,5	3343879	100895	7048307	3323189	4873197	4300829	8,57
28	RES-7	TASEEVO	T-910.REG	242138	143875,1	2480101	3732822	1375715	2357107	2359231	6212923	2,57
29												
30	Итого по пс	TASEEVO		2178380	1292383	219788	4059092	1434748	2624344	1918001	2803589	11,95
31												
32												
33												
34	Итого по											
35	Итого по											
36	Итого по											
37	Итого по											
38	Итого по											
39	Итого по											
40	Итого по											
41	Итого по											
42	Итого по											
43	Итого по											
44	Итого по											
45	Итого по											
46	Итого по											
47	Итого по											
48	Итого по											
49	Итого по											
50	Итого по											
51	Итого по											
52	Итого по											
53	Итого по											
54	Итого по											
55	Итого по											
56	Итого по											
57	Итого по											
58	Итого по											
59	Итого по											
60	Итого по											
61	Итого по											
62	Итого по											
63	Итого по											
64	Итого по											
65	Итого по											
66	Итого по											
67	Итого по											
68	Итого по											
69	Итого по											
70	Итого по											
71	Итого по											
72	Итого по											
73	Итого по											
74	Итого по											
75	Итого по											
76	Итого по											
77	Итого по											
78	Итого по											
79	Итого по											
80	Итого по											
81	Итого по											
82	Итого по											
83	Итого по											
84	Итого по											
85	Итого по											
86	Итого по											
87	Итого по											
88	Итого по											
89	Итого по											
90	Итого по											
91	Итого по											
92	Итого по											
93	Итого по											
94	Итого по											
95	Итого по											
96	Итого по											
97	Итого по											
98	Итого по											
99	Итого по											
100	Итого по											
101	ВСЕГО ПО ПЗ			14964400	4429940	1821400	3127384	1872793	1254771	14964400	21341880	14,38
102												
103												

Рис. 6. Пример вывода результатов расчета потерь электроэнергии по предприятию

Fig. 6. Example of output results of calculation of losses of EE on the enterprise

ванной величиной потерь ЭЭ определяется интервал, в котором они находятся с определенной достоверностью. На основании исходной информации и результатов расчетов формируются файлы отчета требуемой структуры в текстовом формате, содержащие таблицы, совместимые с форматом EXCEL (рис. 6). Таблицы компактны и удобны для восприятия, предусмотрена возможность их просмотра на экране, записи на носители информации и вывода на печатающие устройства.

Примеры расчетов с помощью представленных отдельных программ REG10PVT и SETI и программного комплекса POTERI приведены в [3–5, 10, 11, 16].

Программный комплекс POTERI имеет государственную регистрацию в реестре программ для ЭВМ [17], прошел апробацию в сетевых организациях, используется для решения ряда задач эксплуатации и функционирования электрических сетей, готов к регулярному применению в учебных и научных целях.

Основные выводы и результаты

1. Сняты ограничения в части совместимости программ REG10PVT и SETI, написанных на языке программирования FORTRAN, с различными операционными системами, используемыми на предприятиях и в организациях. Программный комплекс POTERI совместим с различными операционными системами: XP / VISTA / WINDOWS 7 / WINDOWS 8 / WINDOWS 10.

2. Разработан единый многофункциональный программный комплекс «POTERIV1.1: SETI, REG10PVT» и в целом создана математическая, алгоритмическая и программная основа

для разработки программно-вычислительного аппарата расчета, анализа и нормирования потерь ЭЭ высокой надежности общесистемного (отраслевого) уровня.

Список литературы / References

[1] Воротницкий В.Э., Кутовой Г.П., Овсейчук В.А. Снижение потерь электроэнергии. Стратегический путь повышения энергетической эффективности сетей. *Новости электротехники*. 2015, 4(94). 22 с. [Vorotnitsky V.E., Kutovoy G.P., Ovseichuk V.A. Reduction of power losses. Strategic way to improve the energy efficiency of networks. *News of electrical engineering*. 2015, 4(94). 22 p. (in Russian)]

[2] Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В. Расчет, анализ, нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2004, 290 с. [Zelezko U.S., Artemyev A.V., Savchenko O.V. *Calculation, analysis, regulation of electricity losses in electric networks*. Moscow, Publishing house of the NTS ENAS, 2004, 290 p. (in Russian)]

[3] Герасименко А.А., Тимофеев Г.С. Методика, алгоритм и программа расчета технических потерь электроэнергии в распределительных сетях энергосистем. *Вестник электроэнергетики*. М.: ИНФОРМЭНЕРГО, 2001, (4), 74 с. [Gerasimenko A.A., Timofeev G.S. Methods, algorithm and software for calculation of technical losses of electricity in distribution networks power systems. *The Journal of electricity*, Moscow, INFORMENERGO, 2001, (4), 74 p. (in Russian)]

[4] Герасименко А.А., Куценов Д.А., Тимофеев Г.С. Уточнение технической и коммерческой составляющих потерь электроэнергии в распределительных сетях. *Известия вузов. Электромеханика*, 2005, (5), 38–43 [Gerasimenko A.A., Kucenov D.A., Timofeev G.S. Clarification of technical and commercial components of energy losses in distribution networks. *News of Higher educational institutions. Electrician*, 2005, (5), 38-43 (in Russian)]

[5] Герасименко А.А., Шульгин И.В. Стохастический метод расчета нагрузочных потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях. *Электрические станции*, 2013, (4), 44–59 [Gerasimenko A.A., Shulgin I.V. Stochastic method of calculating the load losses of electricity in distribution networks. *Power stations*, 2013, (4), 44-59 (in Russian)]

[6] Gerasimenko A.A., Puzyrev E.V. The Combined Presentation of Deterministic and Stochastic Approaches in the Algorithm of Calculation of Energy Losses in Electric Networks, *J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol.*, 2017, 10(1), 6-16.

[7] Xin Kaiyuan, Yang Yuhua, Chen Fu. An advanced algorithm based on combination of GA with BP to energy loss of distribution system [J]. *Proceedings of the CSEE*, 2002, 22(2), 79–82.

[8] Программный комплекс «РАП–стандарт» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.rap-standart.ru> – Заглавие с экрана. [Program complex «RAP-standard» [Electronic resource] – Access: <http://www.rap-standart.ru>]

[9] Программный комплекс «РТП» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rtp3.ru/about.htm>. [Program complex «RTP» [Electronic resource] – Access: <http://www.rtp3.ru/about.htm>.]

[10] Герасименко А.А., Нешатаев В.Б., Шульгин И.В. Расчет потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях на основе вероятностно-статистического моделирования электрических нагрузок. *Изв. вузов. Электромеханика*, 2011, (1), 71-77 [Gerasimenko A.A., Neshataev V.B., Shulgin I.V. Calculation of energy losses in electrical distribution networks based

on probabilistic-statistical modeling of electrical loads. *News of Higher educational institutions. Electrician*, 2011, (1), 71-77 (in Russian)]

[11] Герасименко А.А., Пузырев Е.В. Комбинированное объединение детерминированного и стохастического методов в алгоритме расчета потерь электроэнергии. *Научно-технический журнал «ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность»*, 2017, 3, 12–16. [Gerasimenko A.A., Puzyrev E.V. Combined combination of deterministic and stochastic methods in the algorithm of calculation of electric power losses. *Scientific and technical journal «ELECTRO. Electrical engineering, electric power industry, electrotechnical industry»*, 2017, 3, 12-16. (in Russian)]

[12] Герасименко А.А., Пузырев Е.В. Software implementation of deterministic and stochastic calculation methods of electric energy losses in electrical distribution networks, *Znanstvena misel journal*, 2018, 1(14), 49-57 [Gerasimenko A.A., Puzyrev E.V. Software implementation of deterministic and stochastic calculation methods of electric energy losses in electrical distribution networks, *Znanstvena misel journal*, 2018, 1(14), 49-57 (in Russian)]

[13] Герасименко А.А., Пузырев Е.В. Программный модуль «RES» программного комплекса «POTERI» расчета потерь электроэнергии в распределительных сетях. *Технические науки: проблемы и решения. Сб. ст. по материалам XIX Международной научно-практической конференции*. М.: Интернаука, 2019, 1(17), 108–114 [Gerasimenko A.A., Puzyrev E.V. Software module «RES» of the software complex «POTERI» for calculating power losses in distribution networks. *Technical Sciences: problems and solutions: collection of articles on the materials of the XIX International scientific and practical conference*. М., Internauka, 2019, 1(17), 108-114 (in Russian)]

[14] Герасименко А.А., Пузырев Е.В. Программный модуль «VES» комбинированного расчета потерь электрической энергии программы «POTERI V1.1: SETI, REG10PVT». *Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники. Сб. ст. Всероссийской научно-практической конференции*. Казань, 2019, 3–8 [Gerasimenko A.A., Puzyrev E.V. Program module «VES» of combined calculation of electric energy losses of the program «POTERI V1. 1: SETI, REG10PVT». *Problems and prospects of development of electric power industry and electrical engineering. Collection of articles of the all-Russian scientific and practical conference*, Kazan, 2019, 3-8 (in Russian)]

[15] Gerasimenko A.A., Puzyrev E.V. The algorithm of calculation of standard value of losses of the electric power in distribution networks is Improved. *International scientific conference «scientific research of SCO countries: synergy and integration»*, Beijing, 2019, 161-167.

[16] Тимофеев Г.С. *Комплексный учет схемно-структурных и режимно-атмосферных факторов при расчете потерь электроэнергии в распределительных сетях энергосистем*, автореф. дисс. ...канд. техн. наук. Красноярск, 2011, 21 с. [Timofeev G.S. *Complex accounting of circuit-structural and regime-atmospheric factors at calculation of losses of the electric power in distribution networks of power systems*, Thesis ... cand. of tech. Sci. Krasnoyarsk, 2011, 21 p. (in Russian)]

[17] Герасименко А.А., Пузырев Е.В. Программа расчета установившихся режимов и потерь электрической энергии в электрических сетях «POTERI V1.1: SETI, REG10PVT». Российская Федерация. № 2017661621 от 17 октября 2017 г. [Gerasimenko A.A., Puzyrev E.V. Program of calculation of steady-state modes and losses of electric energy in electric networks «POTERI V1. 1: SETI, REG10PVT». Russian Federation. No. 2017661621 of October 17, 2017 (in Russian)]