

Инженерно-технические науки
Engineering and technical sciences

DOI:10.6060/snt.20216804.0006

УДК 621.31

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКИХ И
КОММЕРЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ**

Казымов И. М., Компанец Б. С.

Казымов Иван Максимович, Компанец Борис Сергеевич
Алтайский государственный технический университет,
г. Барнаул, Россия. 656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46.
E-mail: bahek1995@mail.ru, kompbs@mail.ru.

В статье рассмотрен вопрос автоматизации работы с электрическими сетями в разрезе анализа их состояния и эффективности работы в различных режимах. Представлен оригинальный комплекс программных средств и алгоритмов, предназначенных для обеспечения автоматизации проведения мониторинга технических и коммерческих потерь электроэнергии в распределительных сетях низкого и среднего уровня напряжений. Основное преимущество представляемого программного комплекса заключается в его построении на базе алгоритмов, в основе которых лежат фундаментальные законы электротехники, что исключает получение некорректных или неверных результатов при использовании данного программного комплекса. Раскрыта сущность работы программного комплекса: от задания исходных данных и алгоритма проведения расчетов до получения результатов. В рамках данного научного исследования был получен ряд свидетельств о регистрации программ для ЭВМ. Даны указания по применению и рекомендации по наиболее эффективному использованию результатов исследования.

Ключевые слова: программный комплекс, потери электроэнергии, распределительная сеть, анализ сетей.

**DEVELOPMENT OF A SOFTWARE COMPLEX FOR MONITORING TECHNICAL AND
COMMERCIAL ELECTRICITY LOSSES IN THE DISTRIBUTION NETWORK**

Kazymov I. M., Kompaneets B. S.

Kazymov Ivan Maksimovich, Kompaneets Boris Sergeevich
Altai State Technical University,
Barnaul, Russia. 656038, Altai Region, Barnaul, Lenin Ave, 46.
E-mail: bahek1995@mail.ru, kompbs@mail.ru.

The article discusses the issue of automation of work with electrical networks in the context of the analysis of their condition and efficiency of work in various modes. An original set of software tools and algorithms is presented, designed to provide automation of monitoring of technical and commercial losses of electricity in distribution networks of low and medium voltage. The main advantage of the presented software package lies in its construction on the basis of algorithms based on the fundamental laws of electrical engineering, which excludes obtaining incorrect or incorrect results when using this software package. The essence of the work of the software complex is revealed: from setting the initial data and

the algorithm for carrying out calculations to obtaining the results. Within the framework of this research, a number of certificates of registration of computer programs were obtained. Instructions for use and recommendations for the most effective use of the research results are given.

Keywords: software complex, power losses, distribution network, network analysis.

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе в отрасли складывается неутешительная ситуация в области неучтённого потребления электрической энергии, объёмы которого возрастают с каждым годом ввиду различных факторов несмотря на усилия электросетевых компаний и совершенствования применяемых ими способов. Существующие методы противодействия не обладают достаточной эффективностью для своевременного выявления уже существующих незаконных подключений и профилактики создания новых [1-3].

В силу ряда объективных причин своевременное и точное определение факта и места неучтённого потребления электрической энергии невозможно без применения автоматизированных программных комплексов. Такой программный комплекс должен позволять получать точные результаты анализа сети на предмет наличия неучтённого потребления электрической энергии и/или присутствия в сети повышенных технических потерь за короткое время, а также иметь возможности для дальнейшей модернизации в серверную программу для обеспечения возможности контроля сетей в реальном времени [4-5].

В связи с этим видится необходимым создание современных инженерно-технических средств для мониторинга технических и коммерческих потерь электроэнергии, основанных на возможностях приборов учёта последнего поколения и АИИС КУЭ, которые позволили бы оперативно выявлять и реагировать на возникновение в сети неучтённого потребления электрической энергии и повышенных технических потерь в формате программного комплекса. Немаловажной деталью является необходимость обеспечения работы такого комплекса для сетей различных уровней напряжений [6].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Разрабатываемый программный комплекс должен иметь следующие возможности:

- ввод данных, осуществляемый с клавиатуры, либо с помощью импорта из табличного редактора MS Excel;
- расчёт, выполняемый различными способами для каждой из приведённой методик;
- представление исходной сети и полученных результатов в графической форме;
- вывод (экспорт) результатов в различных форматах.

Программный комплекс разработан в интегрированной среде разработки Delphi 7, исходный код написан на языке объектно-ориентированного программирования Delphi.

Данный программный комплекс предназначен для проведения анализа распределительных сетей, имеющих сложную топологическую конфигурацию и, предположительно, несколько точек неучтённого потребления электрической энергии, на предмет наличия в этих сетях неучтённого потребления электроэнергии, а также повышенных технических потерь электроэнергии.

Исходными данными для работы программного комплекса являются сведения о параметрах распределительной сети для каждого из её участков, таких как:

- топологическая координата участка (выражается при помощи чисел);
- марка, сечение и длина провода, которым выполнен данный участок;
- активное и реактивное сопротивление участка (определяется по справочным значениям по вышеназванным параметрам участка, но также может корректироваться вручную);
- напряжение на приборе учёта, а также значение тока, протекающего через данный прибор учёта и активная мощность, передаваемая через него.

Для удобства ввода исходных данных они представляют собой таблицу, примером которой является таблица 1, количество столбцов которой зафиксировано для обеспечения единообразия исходных данных, а количество строк определяется количеством участков в данной сети.

Пример таблицы с исходными данными
Table 1. An example of a table with initial data

№ уч-ка	Марка провода	Длина участка, км	R участка, Ом	X участка, Ом	Напряжение нач., В	Напряжение кон., В	Ток, А	Мощность P, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	АС-70/11	1	0,428	0,4	230	-	6	1104
1.1	АС-70/11	1	0,428	0,4	-	-	-	-
1.2	АС-70/11	0,2	0,0856	0,08	-	226,368	1	181,094
1.1.1	АС-70/11	1	0,428	0,4	-	-	-	-
1.1.2.	АС-70/11	0,2	0,0856	0,08	-	223,732	1	178,986
1.1.1.1	АС-70/11	0,2	0,0856	0,08	-	222,267	1	177,814
1.1.1.2	АС-70/11	0,2	0,0856	0,08	-	222,267	1	177,814

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКИХ И КОММЕРЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Алгоритм работы программного комплекса основан на методиках расчёта, представленных в [7, 8].

Первоначально для работы программного комплекса должна быть обеспечена подготовка исходных данных, по форме и содержанию соответствующих приведённым выше требованиям.

Затем программным комплексом будет проведён предварительный анализ заданной электрической сети на предмет наличия в ней небаланса токов и мощностей.

При обнаружении наличия небаланса токов, превышающего некоторое пороговое значение, будет произведено определение факта и места неучтённого потребления электрической энергии в распределительной сети [7].

Далее в любом случае будет произведена проверка рассматриваемой электрической сети на предмет наличия в ней повышенных технических потерь, и, в случае положительного результата, будет произведено определение участков сети с увеличенными техническими потерями [8].

По окончании анализа представленной сети программный комплекс возвращает отчёт, содержащий выводы о состоянии и эффективности работы сети и рекомендации по принятию решений. Отчёт, помимо прочего, содержит графическое представление сети с указанием обнаруженных участков, содержащих повышенные технические потери и точек неучтённого потребления электрической энергии с указа

нием полной информации об обнаруженных несоответствиях. Объём предоставляемой информации определяется возможностями лежащих в основе алгоритма методик [7-9].

Для ускорения проведения анализа сетей применяются различные составляющие блоки программного комплекса, разработанные для высокоскоростного анализа определённого вида сетей (например, магистральные сети, сети с применением СИП) или имеющие особые настройки для быстрого анализа характера потерь (определение коммерческих или технических потерь электроэнергии).

В этом случае пропускаются некоторые этапы расчётов, которые, как правило, занимают длительное время, так как связаны со сложными алгебраическими вычислениями на основании допущений, справедливых для сетей определённой конструкции, таких как: допущение о невозможности неучтённого технологического присоединения в точках, отличных от точек подключения приборов учёта потребителей; допущение об отсутствии в сети точек ветвления, не обеспеченных прибором учёта (или аналогичным устройством) и другие).

Очевидно, что одновременно может применяться более одного допущения, в таком случае время, затрачиваемое на проведения расчёта, сокращается ещё значительно, что позволяет производить больше операций по анализу электрических сетей в единицу времени с минимальной потерей точности получаемых результатов.

Задание пороговых значений, необходимых для принятия решения вычислительным устройством о целесообразности проведения дальнейшего расчёта, безусловно, должно являться зоной ответственности человека.

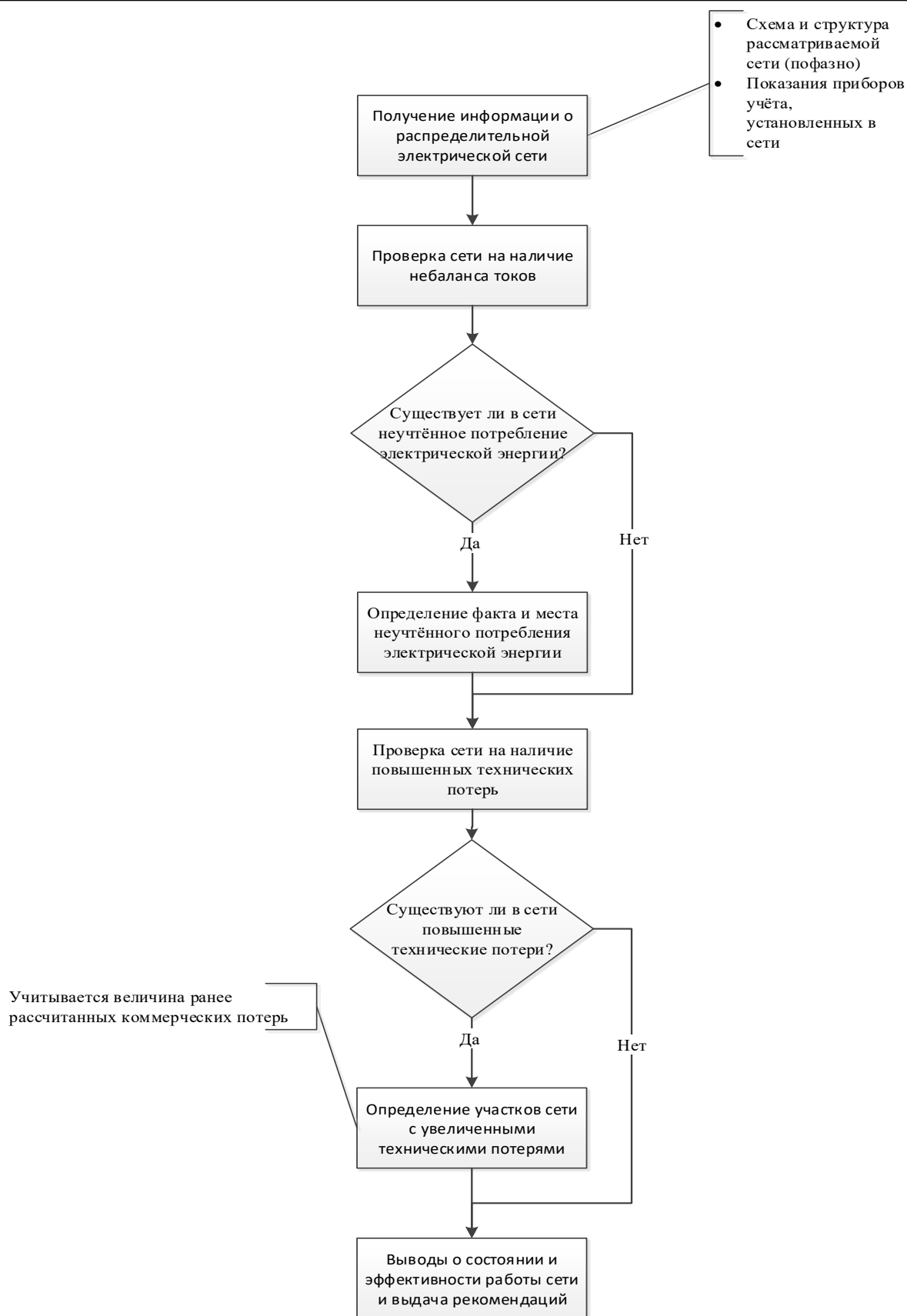


Рис. 1. Блок-схема работы программного комплекса
Fig. 1. Block diagram of the software package

Правильно заданные пороговые значения помогут обеспечить наиболее эффективное использование вычислительных ресурсов ЭВМ и предотвратить затраты времени на анализ сетей, имеющих потери в рамках технологической нормы. В связи с этим пороговые значения должны пересматриваться для каждой вновь исследуемой сети на основании её конструктивных параметров, срока эксплуатации и других факторов, а также с учётом пороговых значений для аналогичных электрических сетей, эксплуатируемых при схожих условиях.

Блок-схема работы программного комплекса представлена на рис. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Процедуры ввода и вывода данных – основополагающие элементы любого программного продукта, так как невозможно работать с программой при невозможности ввести данные для расчёта и получить результаты.

Ввиду того, что исходные данные представляются в виде таблицы с неопределённым количеством строк (быстро увеличивающимся с ростом рассматриваемой сети), при вводе данных вручную возникают следующие сложности, такие как:

- возможные ошибки при переносе данных из сторонних источников;
- длительное время, затрачиваемое только на ввод данных.

Всё это приводит к возможным неточностям в результате, а также к снижению эффективности работы программы ввиду увеличения общего времени на анализ электрической сети, а также исключает возможность полной автоматизации процесса.

Во избежание вышеописанных проблем, а также создания возможности для непрерывного контроля сетей, в данном программном комплексе реализована возможность вводить данные не только вручную, но и посредством импорта из распространённого табличного редактора Microsoft Excel, при условии, что импортируемый файл отформатирован по примеру, показанному в таблице 1.

В этом случае исключаются любые ошибки, связанные с переносом данных из одной среды в другую, а также значительно сокращается время подготовки программы к работе, что делает работу максимально эффективной, а также создаёт возможности для дальнейшего развития, вплоть до полной автоматизации процесса импорта исходных данных и последующего расчёта.

Для большей наглядности и упрощения проверки правильности задания исходных данных, касающихся топографической схемы сети, реализована возможность отображения рассматриваемой схемы графически, как показано на рис. 2.

На этой схеме отображаются все заданные пользователем участки сети, разнесённые по уровням вложенности, причём для большей наглядности все участки пронумерованы согласно их топологическим координатам, как и в таблице с исходными данными, а также схематично изображён источник питания в виде трансформатора, от шин которого отходят остальные участки.

Такая возможность позволяет убедиться в правильности задания топографической схемы сети и отдельных её элементов в наиболее удобном для восприятия формате.

На подобной схеме также могут отображаться найденные неучтённого потребления электрической энергии, как показано на рис. 3, либо участки с повышенными техническими потерями, как показано на рис. 4.

В этом случае найденная точка или участок будут отображаться окружностью небольшого радиуса или пунктирной линией красного цвета соответственно.

Кроме того, имеется возможность вывести на печать или сохранить на жёсткий диск в виде картинка в одном из форматов (*.bmp; *.jpeg; *.png) графическое представление рассматриваемой сети в том числе с указанием обнаруженных несоответствий.

По окончании расчёта и получении результатов, найденные значения выводятся в отдельное текстовое поле, доступное для копирования, что позволяет использовать полученные результаты по усмотрению пользователя.

Данное поле содержит следующую информацию:

- топологическая координата участка распределительной сети, на котором обнаружено несоответствие;
- расстояние от ближайшего разветвления до точки неучтённого потребления электрической энергии, величина неучтённого тока (для случая определения неучтённого потребления электрической энергии);
- величину падения напряжения, вызванного ухудшением проводимости участка, дополнительное сопротивление на участке и потери мощности на нём (для случая определения повышенных технических потерь).

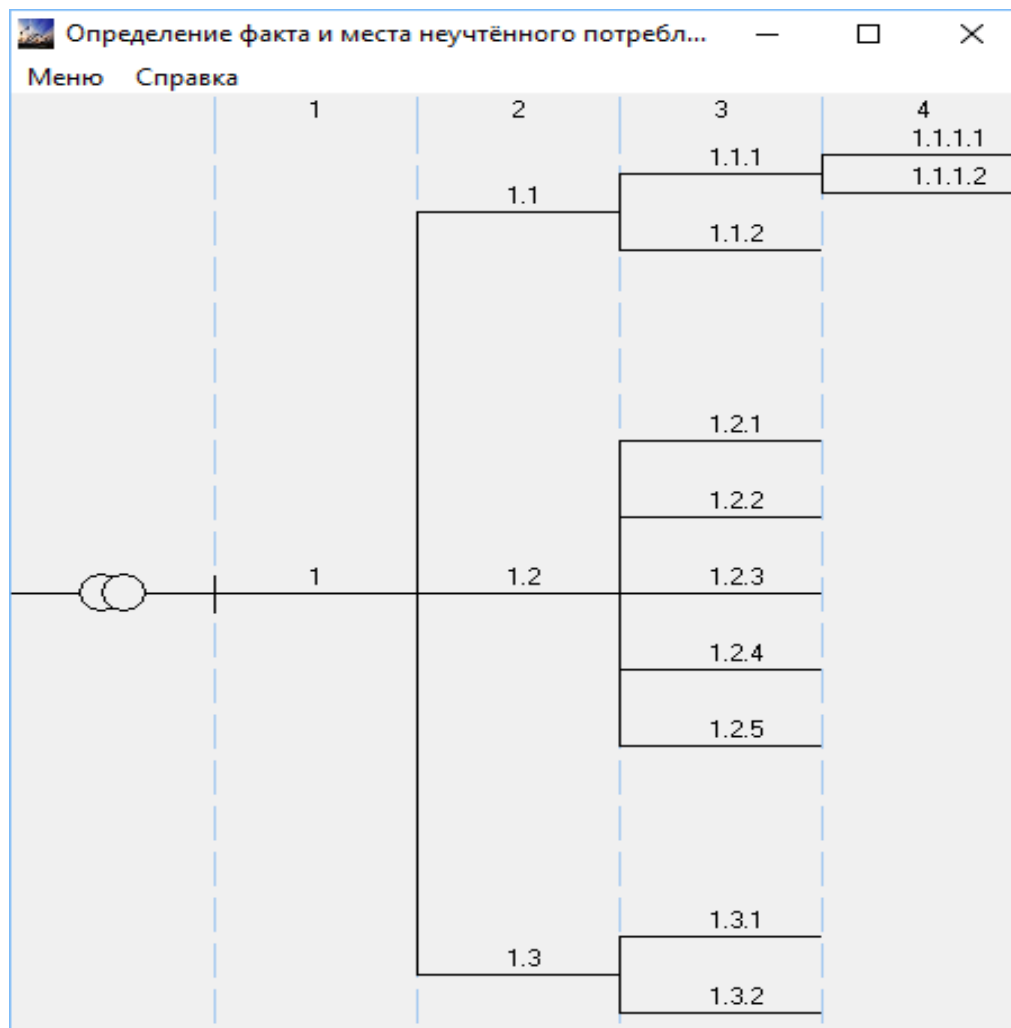


Рис. 2. Графическое представление рассматриваемой схемы распределительной сети
 Fig. 2. Graphical representation of the considered distribution network diagram

Для большего удобства работы с программным комплексом реализована возможность экспорта полученных данных в нескольких форматах (*.docx; *.txt).

Примерное содержание экспортируемого файла:

- информация об исполнителе расчёта, дате и времени его проведения;
- информация из вышеописанного текстового поля;
- рекомендации по устранению несоответствий;
- таблица с исходными данными;
- графическое представление сети, содержащее найденные несоответствия (только при экспорте в формате *.docx).

Обобщая всё вышеописанное, можно сделать вывод о том, что в данном программном комплексе ввод и вывод данных организованы современным образом и позволяют вводить исходные данные максимально быстро, автоматизировать и упростить этот процесс, а также получать промежуточные (графическое представление сети) и окончательные (информация о результатах расчёта) результаты в удобной для восприятия форме и экспортировать на жёсткий диск в форматах распространённых текстовых редакторов (например, Microsoft Word).

Работа с распространёнными текстовыми и табличными редакторами позволяет программе оставаться актуальной в современных условиях и быть готовой к внедрению на производство.

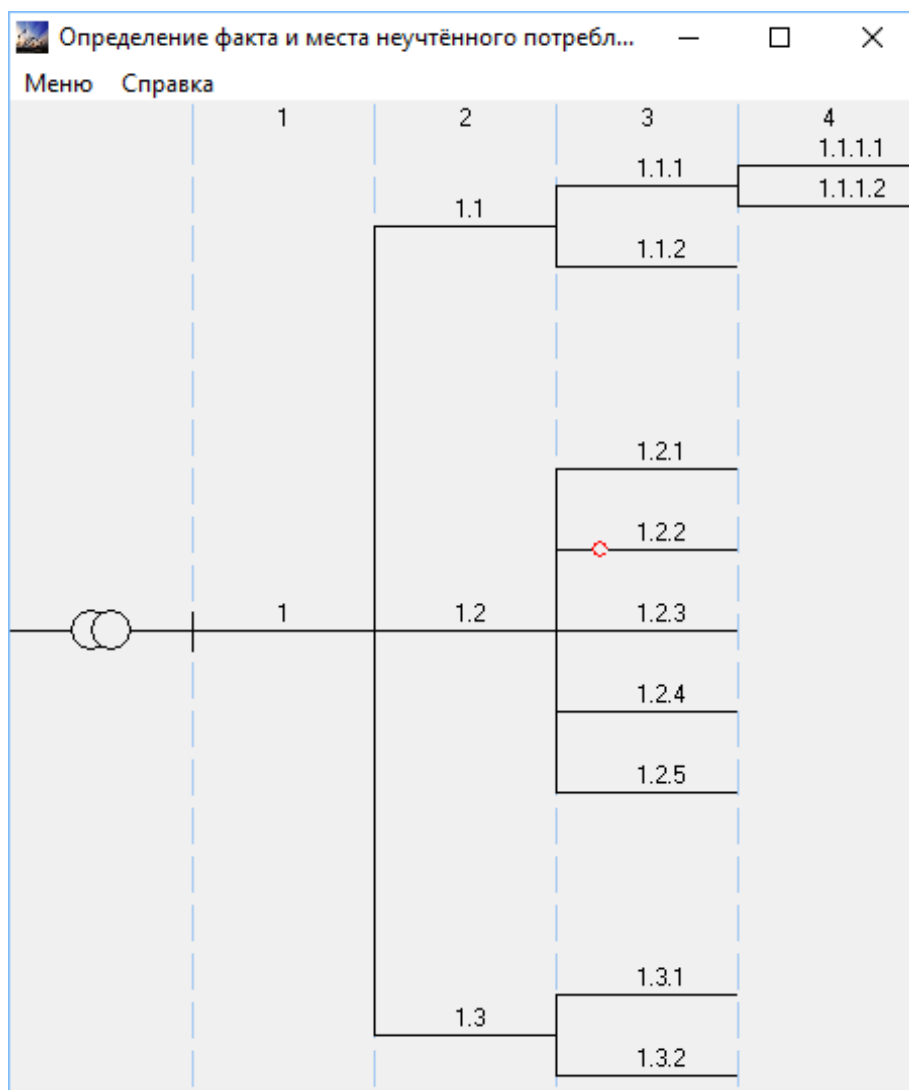


Рис. 3. Графическое представление рассматриваемой сети с указанной точкой неучтённого потребления электроэнергии

Fig. 3. Graphical representation of the considered network with a specified point of unaccounted electricity consumption



Рис. 4. Графическое представление рассматриваемой сети с указанными участками, имеющими повышенные технические потери

Fig. 4. Graphical representation of the considered network with the indicated sections having increased technical losses

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В состав разрабатываемого программного комплекса вошёл ряд узкоспециализированных программ для ЭВМ, позволяющих наиболее эффективно использовать вычислительные ресурсы задействованного компьютера/сервера за счёт того, что в данных программах учитываются конструктивные особенности сети, позволяющие сократить объём вычислений для конкретного типа сети с указанными допущениями (например, отсутствие возможности неучтённо потреблять электрическую энергию в точке, отличной от точки подключения расчётного прибора учёта для сети, выполненной с применением СИП, а также отсутствия ветвлений сети в точках, отличных от точек подключения расчётного прибора учёта для сети магистрального типа). Однако также разработаны основные программы для анализа сетей общего типа, действующие возможности ранее разработанных инженерных методик в полном объёме.

Присутствие в разработанном программном комплексе признаков, необходимых для решения поставленной технической задачи подтверждается получением в ходе выполнения данного исследования пяти свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ [10-14].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Rossoni A., Braunstein S.H., Trevizan R.D., Bretas A.S., Bretas N.G.** Contribution to distribution systems technical and nontechnical losses estimation using WLS state estimator. IEEE Power and Energy Society General Meeting. 2018. P. 1-5.
2. **Chatterjee S., Archana V., Suresh K., Gupta R., Doshi F.** Detection of non-technical losses using advanced metering infrastructure and deep recurrent neural networks. 17th IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 1st IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe, EEEIC / I and CPS Europe. 2017.
3. **Huang S.C., Lo Y.L., Lu C.N.** Non-technical loss detection using state estimation and analysis of variance. IEEE Transactions on Power Systems. 2013. vol. 28, is. 3. P. 2959-2966.
4. **Trevizan R.D., Rossoni A., Bretas A.S., Carniato A., Passos L.F.D.N.** Non-technical losses identification using Optimum-Path Forest and state estimation. IEEE Eindhoven PowerTech, PowerTech. 2015.
5. **Arahna Neto E.A.C., Coelho J.** Probabilistic methodology for Technical and Non-Technical Losses estimation in distribution system. Electric Power Systems Research 97. 2013. P. 93-99.

6. **Петухов К. Ю.** В сетях с низким уровнем потерь высокая надёжность. *Российские сети*. 2017. № 2. С. 4.

7. **Казымов И.М., Компанец Б.С.** Разработка эффективной методики обнаружения коммерческих потерь электроэнергии в сельских электрических сетях низкого напряжения. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2019, № 11 (181). С. 161-165.

8. **Казымов И.М., Компанец Б.С.** Разработка способов выявления участков с увеличенными техническими потерями электроэнергии в сельских электрических сетях низкого напряжения. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2019, № 10 (180). С. 146-155.

9. **Казымов И.М., Компанец Б.С.** Методика определения требуемого числа устройств сбора и передачи информации для создания цифрового представления распределительной электрической сети низкого и среднего уровня напряжений. *Вестник НГИЭИ*. 2021. № 1 (116). С. 41-53. DOI: 10.24411/2227-9407-2021-10004

10. Свидетельство 2017614865. Определение факта и места неучтённого потребления электрической энергии в распределительной сети: программа для ЭВМ / Б.С. Компанец, И.М. Казымов (RU); правообладатель ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова. Заявка № 2017611828; заявл. 06.03.17; опубл. 27.04.2017, 288 Кб.

11. Свидетельство 2018611363. Определение неучтённого потребления электрической энергии в сети с применением проводов СИП: программа для ЭВМ / Б.С. Компанец, И.М. Казымов (RU); правообладатель ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова. Заявка № 2017662573; заявл. 04.12.17; опубл. 01.02.2018, 48 Кб.

12. Свидетельство 2018615310. Выявление мест неучтённого технологического присоединения в магистральной сети: программа для ЭВМ / Б.С. Компанец, И.М. Казымов (RU); правообладатель ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова. Заявка № 2018612410; заявл. 15.03.18; опубл. 04.05.2018, 44 Кб.

13. Свидетельство 2018663201. Определение размера хищений электроэнергии в местах установки приборов учёта: программа для ЭВМ / Б.С. Компанец, И.М. Казымов (RU); правообладатель ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова. Заявка № 2018660915; заявл. 08.10.18; опубл. 23.10.2018, 44 Кб.

14. Свидетельство 2019613612. Определение участков с повышенным активным сопротивлением в распределительной сети: программа для ЭВМ / Б.С. Компанец, И.М. Казымов (RU); правообладатель ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова. Заявка № 2019612251; заявл. 06.03.19; опубл. 19.03.2019, 50 Кб.

REFERENCES

1. **Rossoni A., Braunstein S.H., Trevizan R.D., Bretas A.S., Bretas N.G.** Contribution to distribution systems technical and nontechnical losses estimation using WLS state estimator. IEEE Power and Energy Society General Meeting. 2018. P. 1-5.
2. **Chatterjee S., Archana V., Suresh K., Gupta R., Doshi F.** Detection of non-technical losses using advanced metering infrastructure and deep recurrent neural networks. 17th IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 1st IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe, IEEEIC / I and CPS Europe. 2017.
3. **Huang S.C., Lo Y.L., Lu C.N.** Non-technical loss detection using state estimation and analysis of variance. IEEE Transactions on Power Systems. 2013. vol. 28, is. 3. P. 2959-2966.
4. **Trevizan R.D., Rossoni A., Bretas A.S., Carniato A., Passos L.F.D.N.** Non-technical losses identification using Optimum-Path Forest and state estimation. IEEE Eindhoven PowerTech, PowerTech. 2015.
5. **Arahna Neto E.A.C., Coelho J.** Probabilistic methodology for Technical and Non-Technical Losses estimation in distribution system. Electric Power Systems Research 97. 2013. P. 93-99.
6. **Petukhov K. YU.** V setyakh s nizkim urovnem poter' vysokaya nadozhnost'. *Rossiyskiye seti*. 2017. Vol. 2. P. 4. (In Russ.).
7. **Kazymov I.M., Kompaneets B.S.** Razrabotka effektivnoy metodiki obnaruzheniya kommercheskikh poter' elektroenergii v sel'skikh elektricheskikh setyakh nizkogo napryazheniya. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019. Vol. 11 (181). P. 161-165 (In Russ.).
8. **Kazymov I.M., Kompaneets B.S.** Razrabotka sposobov vyyavleniya uchastkov s uvelichennymi tekhnicheskimi poteryami elektroenergii v sel'skikh elektricheskikh setyakh nizkogo napryazheniya. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019. Vol. 10 (180). P. 146-155 (In Russ.).
9. **Kazymov I.M., Kompaneets B.S.** Methodology for determining the required number of devices for collecting and transmission of information for creating a digital representation of a low and medium voltage distribution electric network. *Bulletin NGIEI*. 2021. № 1 (116). P. 41–53. (In Russ.). DOI: 10.24411/2227-9407-2021-10004.
10. Certificate 2017614865. Determination of the fact and place of unaccounted consumption of electrical energy in the distribution network: computer program / B.S. Kompaneets, I.M. Kazymov (RU); copyright holder ASTU named. I. I. Polzunov. Application N. 2017611828; declared 03/06/17; publ. 04/27/2017, 288 Kb.
11. Certificate 2018611363. Determination of unaccounted consumption of electrical energy in the network using self-supporting insulated wire wires: computer program / B.S. Kompaneets, I.M. Kazymov (RU); copyright holder ASTU named. I. I. Polzunov. Application N. 2017662573; declared 12/04/17; publ. 02/01/2018, 48 Kb.
12. Certificate 2018615310. Identification of places of unaccounted technological connection in the backbone network: computer program / B.S. Kompaneets, I.M. Kazymov (RU); copyright holder ASTU named. I. I. Polzunov. Application N. 2018612410; declared 03/15/18; publ. 04.05.2018, 44 Kb.
13. Certificate 2018663201. Determination of the amount of theft of electricity in the places of installation of metering devices: computer program / B.S. Kompaneets, I.M. Kazymov (RU); copyright holder ASTU named. I. I. Polzunov. Application N. 2018660915; declared 10/08/18; publ. 23.10.2018, 44 Kb.
14. Certificate 2019613612. Determination of areas with increased active resistance in the distribution network: computer program / B.S. Kompaneets, I.M. Kazymov (RU); copyright holder ASTU named. I. I. Polzunov. Application N. 2019612251; declared 03/06/19; publ. 19.03.2019, 50 Kb.