



ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

И.М. Казымов, Б.С. Компанец, А.А. Шувалова
(Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова)

Представлен алгоритм поддержки принятия решений в части технической исправности и потерь электроэнергии на основании результатов, полученных при анализе состояния систем электроснабжения низкого и среднего уровня напряжений. Сформулирована оригинальная концепция по интерпретации результатов анализа состояния систем электроснабжения. Показана эффективность и практическая значимость разработанного алгоритма, а также даны рекомендации по его использованию.

Ключевые слова: алгоритм принятия решений, распределительная сеть, анализ состояния электрической сети, потери электроэнергии, техническое состояние электрической сети, система электроснабжения, надежность.

Введение

В настоящее время проблема оценки состояния систем электроснабжения низкого и среднего уровня напряжения является одной из наиболее значимых в электроэнергетике как РФ, так и за рубежом. Особенное значение при этом имеют средства и способы анализа состояния систем электроснабжения, находящихся в эксплуатации более 30 лет и наиболее подверженных возникновению технологических нарушений, имеющих повышенную частоту отказов. Такие особенности систем электроснабжения низкого и среднего уровня напряжений, как высокий уровень распределенности сетей, значительная протяженность линий электропередачи, работа в режимах систематической перегрузки, а также в неблагоприятных климатических условиях приводят к тому, что проведение комплексного анализа состояния системы электроснабжения без применения средств автоматизации и удаленной связи не представляется возможным.

Средства и методы, призванные автоматизировать анализ систем электроснабжения, на сегодняшний день не нашли широкого применения на территории страны. Однако в рамках проведения мероприятий по цифровизации электроэнергетического сектора РФ [1, 2] наметилась тенденция по оснащению распределительных систем электроснабжения средствами сбора и обработки информации о состоянии сети, в первую очередь представленных интеллектуальными приборами учета, объединенными в АИИС КУЭ [3]. Применение достаточного числа таких устройств в системе электроснабжения позволяет говорить о возможности проведения анализа системы электроснабжения за счет использования возможностей данных приборов учета по сбору

и передаче информации о мгновенных значениях параметров электрической энергии в точке их установки. Отметим, что минимальным уровнем оснащенности системы электроснабжения устройствами для измерения параметров электрической энергии следует считать наличие устройств на выходе источника питания и в точке подключения каждого потребителя. С увеличением числа применяемых устройств возрастает информативность результатов анализа рассматриваемой системы электроснабжения в части технической исправности и потерь электроэнергии, и, следовательно, повышается эффективность принимаемых решений.

Исследования в области принятия решений о состоянии систем электроснабжения

Вопросы принятия решений на основании информации, полученной в результате проведения анализа системы электроснабжения, являются одними из важнейших звеньев в цепочке мероприятий по общему повышению эффективности и надежности работы системы электроснабжения, а также по снижению потерь электрической энергии. Последнее является наиболее приоритетной задачей для электросетевого комплекса в целом и для электросетевых организаций в частности. В связи с этим поддержка принятия решений по результатам анализа состояния систем электроснабжения является актуальной научной проблемой в настоящее время.

Упомянутые вопросы имеют широкое отражение в научной литературе и исследованиях как в России, так и за рубежом. В разрезе анализа систем электроснабжения с применением современных информационных технологий отметим труды отечественных [4, 5] и зарубежных [6, 7] ученых. Заслуживают

особого внимания исследования, направленные на создание эффективных алгоритмов принятия решений на основании проводимого анализа состояния системы электроснабжения [8], а также на создание методической базы по цифровизации электрических сетей [9].

Однако в опубликованных исследованиях практически не рассматриваются вопросы интерпретации информации с учетом факторного анализа данных о техническом состоянии и потерях электроэнергии в системах электроснабжения. Это учитывающая резкое снижение эффективности принятия решений при недостаточно корректно проведенной интерпретации данных, характеризует данное направление научных исследований как недостаточно проработанное.

Таким образом, целью данной работы является разработка алгоритма поддержки принятия решений на основании результатов анализа систем электроснабжения, а также рекомендаций по интерпретации получаемых при анализе результатов и по использованию предлагаемого алгоритма на практике.

Материалы и результаты работы

Принятие решений на основании анализа состояния системы электроснабжения и их реализация должны быть направлены на:

- устранение неисправностей отдельных элементов системы электроснабжения за счет точечного проведения ремонтов;
- общее повышение надежности системы электроснабжения за счет проведения мероприятий по техническому обслуживанию и профилактике выхода из строя отдельных элементов;
- снижение технических потерь электрической энергии за счет устранения причин повышения технических потерь на отдельном участке или элементе системы электроснабжения (в данном случае подразумевается повышение величины технических потерь на отдельном элементе(ах) вследствие ухудшения его(их) технического состояния: например, повышение сопротивления контактных соединений в связи с ухудшением условий контакта или уменьшение проводимости участка проводника в связи с возникновением дефектов проводящей части в виде уменьшения эффективной площади поперечного сечения);
- снижение коммерческих потерь электроэнергии за счет выявления и устранения неучтенного потребления электрической энергии (под устранением неучтенного потребления электрической энергии понимается как отключение потребителей/электроприемников от сети, так и обеспечение такого потребления учетом).

Все перечисленные направления положительно сказываются на функционировании электросетевого комплекса в целом и электросетевых компаний в частности:

- снижение удельного числа отказов и технологических нарушений в системах электроснабжения — приводит к сокращению числа перерывов в электроснабжении и к снижению среднего времени восстановления электроснабжения;

- повышение эффективности операционной деятельности электросетевых компаний за счет снижения издержек от потерь электрической энергии и от расходов на послеаварийное восстановление электроснабжения (расходы на которое традиционно превышают расходы на проведение планового ремонта по причине неизбежного расширения зоны ремонта при возникновении технологического нарушения, приводящего к аварийной остановке системы электроснабжения или ее части).

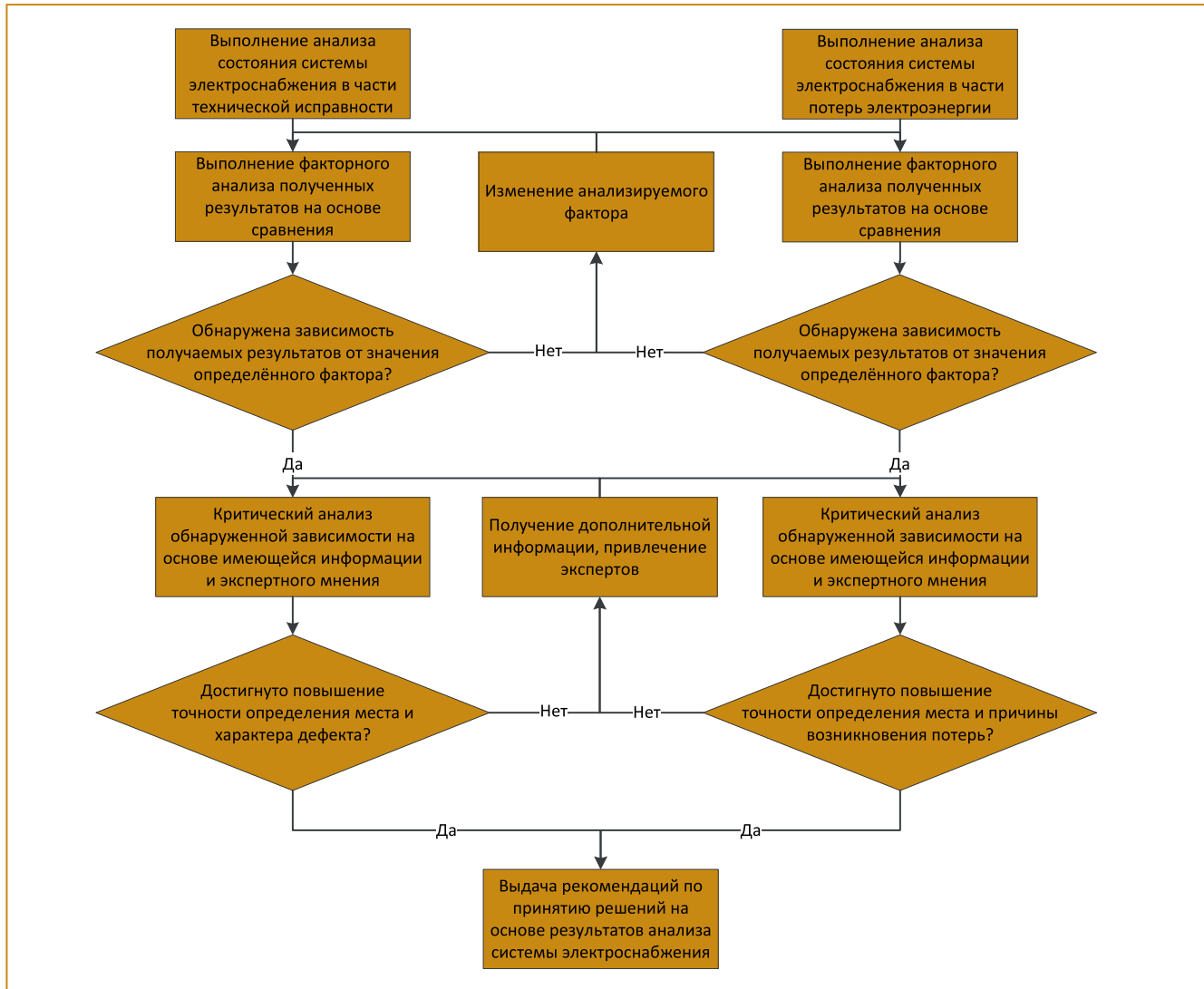
Так, для достижения максимальной эффективности в вышеуказанных направлениях, требуется верно произвести интерпретацию полученной в результате анализа системы электроснабжения, а это, в свою очередь, возможно только при проведении факторного анализа результатов, полученных в различных условиях и режимах работы системы электроснабжения. Для этого необходимо получить достаточную выборку результатов анализа электрических сетей. Желательно получить выборки результатов анализа систем электроснабжения за несколько лет при различных условиях, в том числе погодных.

Результатом анализа состояния системы электроснабжения является следующая информация [10]:

- небаланс токов в сети (за вычетом расчетного значения тока утечки на землю);
- небаланс мощностей (за вычетом расчетного значения потерь мощности, связанных с технологическим процессом передачи и распределения электроэнергии);
- объемы и точки возникновения неучтенного потребления электрической энергии;
- участки системы электроснабжения и/или отдельные элементы, на которых возникают повышенные технические потери электроэнергии и величина таких потерь.

Нетрудно заметить, что набор получаемой информации является необходимым и достаточным для принятия решения. Однако дополнительно повысить эффективность принятия решений за счет более точного определения коренной причины возникновения недостатков в системе электроснабжения позволит корректно выполненная интерпретация полученной информации. Также отметим, что повышение точности определения коренной причины возникновения несоответствий позволит снизить материальные и трудовые затраты на их поиск и устранение и избежать ошибочных и/или избыточных мер.

Под факторным анализом в рамках данной статьи понимается анализ зависимостей технических и коммерческих потерь электрической энергии, а также состояния элементов электрической сети в зависимости от следующих факторов:



Алгоритм поддержки принятия решений по результатам анализа состояния системы электроснабжения

- нагрузка сети – анализ эффективности и состояния системы электроснабжения при различных уровнях ее загрузки;
- режим работы сети – то же при различных режимах работы сети;
- время суток, время года – то же в зависимости от временных факторов;
- погодные условия – то же в зависимости от погодных и климатических факторов.

Предлагаемая концепция интерпретации результатов анализа состояния системы электроснабжения формулируется следующим образом:

- получение результатов анализа состояния системы электроснабжения;
- сравнение полученных результатов с аналогичными, полученными при других воздействующих факторах (например, сравнение результатов, выполненных в аналогичное время (как года, так и суток) с другим уровнем загрузки системы электроснабжения; сравнение результатов, выполненных при нормальном режиме работы системы электро-

снабжения и в послеаварийном режиме при одинаковом уровне загрузки сети);

- выдача необходимых уточнений и пояснений, влияющих на процесс принятия решений.

Примеры использования алгоритма поддержки принятия решений

Примеры получения необходимых уточнений при проведении предварительной интерпретации результатов анализа, значительно влияющих на эффективность применяемых решений.

1. Получена информация о наличии неучтенного потребления электрической энергии на участке системы электроснабжения между двумя приборами учета, при этом не исключена возможность осуществления неучтенного потребления непосредственно в точках подключения приборов учета (стандартный результат анализа состояния системы электроснабжения). В таком случае необходимо выполнить проверку двух приборов учета, а также всех элементов электрической сети на интервале между

Эксперт - это человек, который совершил все возможные ошибки в некотором узком поле.

Нильс Хенрик Давид Бор

ними на предмет осуществления неучтенного потребления электрической энергии. Однако при проведении интерпретации полученных данных было проведено сравнение с результатом анализа данной системы электроснабжения при аналогичных значениях всех рассматриваемых факторов за исключением фактора режима работы сети. Были дополнительно рассмотрены результаты анализа системы электроснабжения при послеаварийном режиме в течение 5 мин после восстановления электроснабжения, которому предшествовал перерыв в электроснабжении длительностью в 3 ч. Сравнение показало, что уровень коммерческих потерь в системе электроснабжения в послеаварийном режиме был ниже рассматриваемого, а потребление по одному из «подозрительных» приборов учета в этот момент значительно превышало средний максимальный уровень потребления. В дальнейшем было проведено сравнение с результатом анализа системы электроснабжения при нормальном режиме спустя 2 ч после восстановления электроснабжения. Сравнение показало, что уровень потребления того же «подозрительного прибора учета» показал значительное снижение, а общий уровень коммерческих потерь в сети показал рост. Дальнейшее сравнение показало, что уровня потребления в послеаварийном режиме потребитель не достигал в течение длительного времени. Данный факт говорит о том, что наиболее вероятным источником коммерческих потерь в рассматриваемой системе электроснабжения является неучтенное потребление со стороны потребителя, для которого обнаружена зависимость в резком повышении потребления после восстановления электроснабжения. Причем неучтенное потребление электроэнергии в данном случае осуществляется при помощи прибора учета, имеющего функцию занижения показаний мгновенных значений потребляемой мощности. Особенностью таких приборов является автоматическое отключение функции занижения потребления при перерыве в электроснабжении. После перерыва в электроснабжении для продолжения осуществления неучтенного потребления данную функцию необходимо активировать вручную. Таким образом, в результате корректно проведенной интерпретации результатов анализа состояния системы электроснабжения снижена область поиска места возникновения неучтенного потребления с двух приборов учета и элементов электрической сети между ними до одного прибора учета, с высокой долей вероятности имеющего устройство для занижения показаний.

2. Получена информация о повышенном уровне технических потерь электрической энергии на участке системы электроснабжения между двумя приборами учета (стандартный результат анализа состояния системы электроснабжения). В таком случае требуется провести проверку технического состояния всех элементов электрической сети на указанном

интервале. Однако при проведении сравнения полученных результатов анализа с результатами, полученными при аналогичных условиях за исключением уровня загрузки, было выявлено, что имеется нелинейная зависимость уровня повышенных технических потерь электроэнергии от уровня загрузки сети, не предсказанная расчетами технических потерь электроэнергии, выполненными на основании информации о параметрах системы электроснабжения. Дальнейшее сравнение показало, что при снижении загрузки до определенного уровня технические потери электроэнергии на данном участке снижаются до допустимого значения. Полученная информация с высокой степенью вероятности говорит о точечном снижении проводимости токоведущих частей по причине снижения эффективного значения площади поперечного сечения. Данный факт говорит о том, что наиболее вероятным источником повышенных технических потерь электроэнергии является точечное нарушение целостности проводящих жил провода воздушной линии. Таким образом, в результате корректно проведенной интерпретации результатов анализа состояния системы электроснабжения сужена область поиска места возникновения повышенных технических потерь со всех элементов системы электроснабжения между двумя приборами учета до проводов воздушной линии. С высокой долей вероятности выявлен характер дефекта, что позволяет дополнительно ускорить его обнаружение при помощи технических средств (например, тепловизор).

Алгоритм поддержки принятия решений представлен на рисунке. Он обеспечивает значительное повышение эффективности принимаемых решений и мероприятий за счет сужения области поиска несоответствий, а также за счет предварительного определения характера дефекта технического состояния элемента системы электроснабжения и/или характера реализации неучтенного потребления.

На сегодняшний день возможно широкое применение разработанного алгоритма в ходе основной деятельности электросетевых организаций благодаря тому, что основная часть электрических сетей уже имеет минимальный уровень обеспеченности приборами учёта. Данный факт позволяет начать применение разработанного алгоритма на практике в кратчайшие сроки и с минимальными затратами.

Использование данного алгоритма рекомендует-ся в системах электроснабжения, имеющих неблагоприятные условия функционирования по причине наличия высокого уровня коммерческих и технических потерь электрической энергии, а также системах

электроснабжения с низкой надежностью электроснабжения. В таких сетях применение разработанного алгоритма позволит значительно повысить эффективность системной работы по снижению потерь электроэнергии и повышению надежности электроснабжения за счет повышения эффективности каждого принимаемого решения.

Отметить, что приведенные примеры не являются исчерпывающими и представлены для наглядности и понимания общего принципа работы предлагаемого алгоритма поддержки принятия решений. В рамках использования алгоритма в общем случае предполагается обнаружение различных зависимостей потерь электрической энергии от влияющих на этот процесс факторов. Дополнительное уточнение результатов может быть получено в результате проведения критического анализа полученных зависимостей. В конечном итоге становится возможным выявление коренных причин возникновения обнаруженных несоответствий в системе электроснабжения.

Заключение

Таким образом, в статье рассмотрен разработанный алгоритм поддержки принятия решений на основании результатов анализа состояния системы электроснабжения. Обоснована и на примерах продемонстрирована эффективность применения алгоритма.

Результаты проведенного исследования могут быть использованы в основной деятельности электросетевых организаций, осуществляющих свою деятельность в сфере обслуживания электрических сетей и систем низкого и среднего уровня напряжений.

В качестве перспективы дальнейших исследований по данной проблеме выделим следующие основные направления:

- разработка и внедрение аппаратной базы для повышения точности и достоверности результатов анализа состояния систем электроснабжения;
- разработка программного обеспечения для реализации представленного алгоритма.

Список литературы

1. Об утверждении Стратегии развития электросетевого комплекса РФ: распоряжение Правительства РФ от 3 апреля 2013 г. № 511-р в редакции от 18.07.2015 г. №1399-р.

2. Концепция «Цифровая трансформация 2030»: Концепция ПАО «Россети». – 2018. – 31 с.
3. Главные инженеры электросетевых компаний обсудили вопросы цифровизации электрических сетей // Электроэнергия. Передача и распределение. – М.: Издательство Кабель, 2018. № 6 (51) – с. 12-15.
4. Козлов А.В. Методика формирования цифровых моделей схем электроснабжения промышленных предприятий / А.В. Козлов, А.Ю. Виноградов // Известия НТЦ единой энергетической системы. 2019. – Вып. 60. – с. 105-116.
5. Белый В.Б. Модель процессов потребления электроэнергии коммунально-бытовым сектором в сельских электрических сетях: / В.Б. Белый // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век. Материалы XVII международной научно-практической конференции / Алтайский государственный аграрный университет. – 2019. – с. 42-45.
6. Henriques H.O. Use of smart grids to monitor technical losses to improve non-technical losses estimation / H. O. Henriques, M. R. L. S. Correa // 7th Brazilia Electrical Systems Symposium. – 2018. – P. 1-6.
7. Chatterjee S. Detection of non-technical losses using advanced metering infrastructure and deep recurrent neural networks / S. Chatterjee, V. Archana, K. Suresh, (...), R. Gupta, F. Doshi // 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.
8. Rossoni A. Contribution to distribution systems technical and nontechnical losses estimation using WLS state estimator / A. Rossoni, S.H. Braunstein, R.D. Trevizan, A.S. Bretas, N.G. Bretas // IEEE Power and Energy Society General Meeting. – 2018. – P. 1-5.
9. Цыгулев Н.И. Цифровизация электрических сетей АПК на платформе интернета энергии / Н.И. Цыгулев, В.К. Хлебников, В.А. Шелест, В.В. Теребаев, Л.В. Бабина, Е.Я. Зубкова, В.А. Михайличенко // Актуальные проблемы науки и техники. Тр. национальной научно-практич. конф.. 2019. ДГТУ (Ростов-на-Дону). с. 327-328.
10. Kazymov I. Definition of fact and place of losses in low voltage electric networks / I. Kazymov, B. Kompaneets // 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2019 – Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. – 2019. – P.1-5.

Казымов Иван Максимович и Шувалова Алена Александровна – аспиранты, Компанец Борис Сергеевич – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Электрификация производства и быта» Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова. E-mail: bahek1995@mail.ru, alena_shuvalova_360@mail.ru, kompbs@mail.ru

Оформить подписку на журнал "Автоматизация в промышленности" вы можете:

по электронному каталогу "Почта России" ФГУП Почта России - подписной индекс **П7753**

• сайт журнала <http://www.avtprom.ru> • Редакцию

Адрес редакции:

117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65, офис 360 Тел.: (926)212-60-97. E-mail: info@avtprom.ru