

явл. 07.02.2019; опублик. 31.10.2019, Бюл. № 31. – 3 с. – Текст: непосредственный.

4. Ракутько, С. А. Энергоэкология светокультуры – новое междисциплинарное научное направление / С. А. Ракутько, А. Е. Маркова, А. П. Мишанов, Е. Н. Ракутько. – Текст: непосредственный // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2016. – № 90. – С. 14-28.

5. Тихомиров, А. А. Спектральный состав света и продуктивность растений: монография / А. А. Тихомиров, Г. М. Лисовский, Ф. Я. Сидько; ответственный редактор В. М. Гольд – Новосибирск: Наука, Сиб. от-ние, 1991. – 168 с. – Текст: непосредственный.

6. Самарин, Г. Н. Инновации в действии: разработка генератора ультразвуковых колебаний / Г. Н. Самарин, Е. В. Шилин, Д. Ю. Кривогузов, Е. А. Евентьева. – Текст: непосредственный // Известия Великолукской ГСХА. – 2017. – № 1 (17). – С. 51-55.

7. Юферева, Л. Резонансная светодиодная система освещения для закрытого грунта / Л. Юферева, А. Соколов, А. Юферева. – Текст: непосредственный // Полупроводниковая светотехника. – 2014. – Т. 2, № 28. – С. 78-80.

References

1. Baranov L.A., Zakharov V.A. Svetotekhnika i elektrotekhnologiya. – Moskva: KolosS, 2013. – 344 s.

2. Efremov N.S. Povyshenie effektivnosti elektrooblucheniya rassady listovogo salata za schet razrabotannogo svetodioidnogo istochnika izlucheniya: avtoreferat dis. ... kand. tekhn. nauk. – Yoshkar-Ola, 2016. – 20 s.

3. Ustroystvo dlya dosvechivaniya rassady: patent na poleznuyu model 193513 Ros. Federatsiya: MPK A01G9/20 / Shilin V.A., Gerasimova O.A., Solovov S.V., Egorov M.Yu., Maksimov G.V.; zayavitel i patentoobladatel FGBOU VO «Velikolukskaya GSKhA». – No. 2019103412; zayavl. 07.02.2019; opubl. 31.10.2019, Byul. 31. – 3 s.

4. Rakutko S.A., Markova A.E., Mishanov A.P., Rakutko E.N. Energoekologiya svetokultury – novoe mezhdistsiplinarnoe nauchnoe napravlenie // Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva. – 2016. – No. 90. – S. 14-28.

5. Tikhomirov A.A., Lisovskiy G.M., Sidko F.Ya. Spektralnyy sostav sveta i produktivnost rasteniy: monografiya / otv. red. V.M. Gold – Novosibirsk: Nauka: Sib. otdelenie, 1991. – 168 s.

6. Samarina G.N., E.V. Shilin, D.Yu. Krivoguzov, E.A. Eventeva Innovatsii v deystvii: razrabotka generatora ultrazvukovykh kolebaniy // Izvestiya Velikolukskoy GSKhA. – 2017. – No. 1 (17). – S. 51-55.

7. Yuferev L., Sokolov A., Yufereva A. Rezonansnaya svetodioidnaya sistema osveshcheniya dlya zakrytogo grunta // Poluprovodnikovaya svetotekhnika. – 2014. – Т. 2. – No. 28. – S. 78-80.



УДК 621.31

Б.С. Компанец, И.М. Казымов
B.S. Kompaneyets, I.M. Kazymov

РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ВЫЯВЛЕНИЯ УЧАСТКОВ С УВЕЛИЧЕННЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ ПОТЕРЯМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

DEVELOPMENT OF METHODS FOR DETECTING SITES WITH ENHANCED TECHNICAL POWERE LOSSES IN LOW VOLTAGE RURAL ELECTRIC NETWORKS

Ключевые слова: технические потери, сельские электрические сети, участок с увеличенными потерями, сети низкого напряжения, эксплуатационные изменения величины технических потерь, участок электрической сети, удалённые Web-технологии.

Keywords: non-commercial losses, rural electric networks, sites with enhanced technical losses, low voltage networks, operational changes of technical losses volume, electric network section, remote web technologies.

Представлено описание разработанных способов определения участков электрической сети, характеризующихся увеличенными относительно нормы техническими потерями. Рассмотрены основные известные типы технических потерь в соответствии с принятой классификацией. Дано обоснование целесообразности учёта различных видов потерь при анализе сельских электрических сетей низкого напряжения. Введено понятие нормативной величины технических потерь – неснижаемого уровня потерь, зависящего от конструктивных параметров электрической сети. Описана методика, при использовании которой будет возможно установить факт превышения техническими потерями определённого порогового значения и определить местонахождение проблемной области и показано графическое обоснование корректности применения методики на примере графика распределения потенциала вдоль линии с увеличенными техническими потерями и без них. Также представлен подробный алгоритм применения полученной методики, указаны границы его применимости и степень точности получаемых результатов. Методика основана на возможностях современных приборов учёта, связанных АИИС КУЭ, и предполагает использование этой технологии для работы как в ручном режиме, так и в режиме непрерывного контроля за сетью.

This paper discusses the methods for determining the sections of electrical network characterized by increased technical losses volume relative to the normal values. The main known types of technical losses in accordance with the accepted classification are considered. The feasibility of taking into account various types of losses in the analysis of rural low voltage electric networks is substantiated. The concept of the normative value of technical losses is introduced – an irreducible level of losses depending on the design parameters of the electric network. This paper describes a method which enables to identify the fact that the technical loss exceeds a certain threshold value and determine the location of the problem area, and shows a graphical justification for the correctness of the method by using the example of a potential distribution along the line with increased technical losses and without them. A detailed algorithm for applying the obtained methods is also presented; the limits of its applicability and the degree of accuracy of the results are shown. The method is based on the capabilities of modern electricity meters with automatic system for commercial accounting of power consumption and assumes using them for work both in manual mode and in continuous monitoring of the network.

Компанеец Борис Сергеевич, к.т.н., доцент, каф. ЭПБ, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. E-mail: kompbs@mail.ru.

Казымов Иван Максимович, аспирант, каф. ЭПБ, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. E-mail: bahek1995@mail.ru.

Kompaneyets Boris Sergeevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. E-mail: kompbs@mail.ru.

Kazymov Ivan Maksimovich, post-graduate student, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. E-mail: bahek1995@mail.ru.

Введение

На сегодняшний день электросетевой комплекс испытывает серьёзные проблемы, связанные с высоким уровнем технических потерь электроэнергии [1]: в целом по стране потери составляют 8,8% от общего количества передаваемой электроэнергии. Большую часть из них составляют технические потери, непосредственно связанные с передачей и распределением электрической энергии.

Однако электрические сети среднего и низкого напряжений, предназначенные для электроснабжения сельских потребителей отличаются более высоким уровнем потерь. В среднем по алтайскому краю этот показатель составляет 13,1% [2]. По данным электросетевых компаний, осуществляющих свою деятельность в Алтайском крае, процент потерь в сельских электрических сетях низкого напряжения составляет 10-30%. Данные разнятся от района к району. Повышенный уровень

потерь по сравнению со средним показателем по стране объясняется преобладанием распределительных сетей с классом напряжения 10-0,4 кВ (более 75% линий электропередачи в Алтайском крае относится к таким сетям).

Уровень технических потерь в сетях низкого напряжения усугубляется специфическими особенностями сельских электрических сетей, таких как:

- преобладание протяжённых линий;
- недостаточное сечение проводов и неудовлетворительное их состояние;
- небольшая установленная мощность (до 15 кВт) потребителей на точках подключения;
- высокая степень физического износа сетей, связанная с продолжительной эксплуатацией без реконструкции и капитальных ремонтов (большинство сетей построено в середине прошлого века).

Совершенно очевидно, что факторы и особенности сетей, связанные с их конструкцией и заложенные при проектировании, такие как протяжённость линии и поперечное сечение проводов, которыми эта линия выполнена, не могут быть снижены никакими методами кроме реконструкции (модернизации), а потому должны рассматриваться при расчёте и анализе величины технических потерь как неизменные величины и учитываться в виде неснижаемой нормативной величины (коэффициента), рассчитываемой особым образом для каждого типа сетей с учётом её конструкции и других факторов, влияющих на результат.

Небольшая установленная мощность потребителей неблагоприятно влияет на величину потерь потому, что на данный момент нет реальной возможности питать таких потребителей линиями напряжением 10 кВ с индивидуальной трансформацией до уровня бытового напряжения. Ввиду этого для электроснабжения сельскохозяйственных и бытовых потребителей малой мощности зачастую необходимо прокладывать протяжённую линию низкого напряжения, что влечёт за собой повышение уровня технических потерь в сети.

Что касается высокой степени износа электрических сетей, то износ питающих линий и других элементов может повлечь за собой дополнительные технические потери электроэнергии, получить величину которых расчётным путём совершенно не представляется возможным, так как на данный момент не существует каких-либо инструментов и методик, обладающих достаточной эффективностью, предназначенных для выявления участков сетей и их элементов с увеличенными относительно «нормы» техническими потерями электроэнергии.

Целью исследования является разработка методики анализа сельских электрических сетей низкого напряжения на предмет наличия в них элементов с повышенными техническими потерями, а также обнаружения точного местонахождения данных элементов в сети.

Объекты и методы

Технологические потери, встречающиеся в сельских электрических сетях средних и низких напряжений, а также в других сетях, могут быть условно разделены на две независимые крупные категории в соответствии с принятыми нормативными документами [3] и дополнительно разбиты на пункты, позволяющие производить структурную оценку величины технологических потерь по характеру и причине их возникновения.

Классификация технологических потерь по характеру возникновения.

1. Условно-постоянные потери:

1.1. Потери на холостой ход трансформаторов.

1.2. Токи утечки на землю (определяются ёмкостью проводов и кабелей).

1.3. Потери на коронирование.

2. Нагрузочные (переменные) потери:

2.1. Потери в меди в питающих трансформаторах.

2.2. Потери на нагрев проводников воздушных и кабельных линиях.

2.3. Потери на нагрев в токоведущих частях энергетического оборудования.

Все вышперечисленные потери могут быть рассчитаны и учтены при анализе уровня технических потерь в электрической сети на основании имеющейся информации о конфигурации сети, сведениях о потребителях электроэнергии и мощностях, потребляемых ими.

Очевидно, что по месту возникновения потери целесообразнее всего будет классифицировать на две группы:

- потери в линиях электропередачи (ВЛ и КЛ);
- потери в энергетическом оборудовании подстанций и РУ (силовые и измерительные трансформаторы, коммутационное оборудование и т. д.).

Потери в энергетическом оборудовании рассчитываются одновременно согласно различным инструкциям и прочим нормативным документам и при эксплуатации учитываются в качестве нормированных величин ввиду незначительного изменения их параметров с течением времени.

Технологические потери в линиях электропередачи, как было рассмотрено ранее, разделяются на постоянные и нагрузочные. Из этого следует, что наиболее рациональным решением будет являться определение и использование нормативных значений технологических потерь, в которые войдут как постоянные потери для линий электропередачи, так и зависящие от значения протекающего в данный момент тока нагрузочные потери.

Таким образом, нормативное значение величины постоянных технологических потерь для линии электропередачи будет определяться по выражению (1):

$$\Delta P_{\text{пост.норм.}} = P_{\text{ут.}} + P_{\text{кор.}} \quad (1)$$

где $P_{\text{ут.}}$ – потери мощности, вызываемые токами утечки (учитывается как ёмкостная, так и активная составляющая токов);

$P_{\text{кор.}}$ – потери мощности на коронирование.

Как известно, обе составляющие выражения (1) зависят только от напряжения линии электропередачи и поэтому могут быть определены однозначно с использованием информации о топологии сети. Ввиду того, что напряжение в распределительных линиях снижается по мере удалённости от источника питания, будут снижаться также и потери на отдельных участках. Для учёта этого эффекта предлагается определить значения напряжения на каждом из участков, а затем вычислить среднее значение напряжения в распределительной сети, с использованием которого становится возможным получить точное значение как токов утечки через изоляцию, так и потерь на коронирование.

Следует отметить, что так как для рассматриваемых сельских сетей напряжением до 35 кВ потери на коронирование являются неактуальным вопросом, далее в статье этот вид потерь не принимается во внимание.

По полученным расчётным значениям нормативных токов утечки в сети и фактическим значениям токов утечки, полученных с использованием показаний измерительных и контролирующих приборов, можно сделать вывод о соответствии сети нормативу по токам утечки. Небаланс рас-

сматриваемых величин может быть вызван следующими причинами:

- неучтённое потребление электроэнергии [4];
- наличие в данный момент в сети однофазного замыкания на землю (для сетей с изолированной нейтралью);
- нарушение технического состояния изоляции проводов и кабелей, а также изоляторов линий электропередач.

Для сельских сетей до 1000 В наиболее характерно увеличение токов утечки по причине наличия в сети неучтённого потребления электрической энергии [5], так как они преимущественно работают в режиме глухозаземлённой нейтрали и существованием токов утечки на землю в низковольтных линиях электропередачи можно пренебречь. А в сетях напряжением до 35 кВ преимущественно увеличение токов утечки будет вызвано нарушением состояния изоляции.

Нагрузочные потери в линиях электропередачи также имеют нормативное значение. Они обусловлены сопротивлением протеканию электрическому току как активной, так и реактивной составляющей. Поэтому нагрузочные потери в линии определяются отдельно как потери активной мощности (2), так и реактивной (3).

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{нагр.норм.}} = & (I_{\alpha \text{ ф.А}}^2 \cdot R_{\text{ф.А}} + I_{\text{г ф.А}}^2 \cdot R_{\text{ф.А}}) + \\ & + (I_{\alpha \text{ ф.В}}^2 \cdot R_{\text{ф.В}} + I_{\text{г ф.В}}^2 \cdot R_{\text{ф.В}}) + \\ & + (I_{\alpha \text{ ф.С}}^2 \cdot R_{\text{ф.С}} + I_{\text{г ф.С}}^2 \cdot R_{\text{ф.С}}), \quad (2) \end{aligned}$$

где $I_{\alpha \text{ ф.}i}$ – активный ток, протекающий в проводах фазы i линии;

$I_{\text{г ф.}i}$ – реактивный ток, протекающий в проводах фазы i линии;

$R_{\text{ф.}i}$ – активное сопротивление проводов фазы i линии;

$X_{\text{ф.}i}$ – реактивное сопротивление проводов фазы i линии;

$$\begin{aligned} \Delta Q_{\text{нагр.норм.}} = & (I_{\alpha \text{ ф.А}}^2 \cdot X_{\text{ф.А}} + I_{\text{г ф.А}}^2 \cdot X_{\text{ф.А}}) + \\ & + (I_{\alpha \text{ ф.В}}^2 \cdot X_{\text{ф.В}} + I_{\text{г ф.В}}^2 \cdot X_{\text{ф.В}}) + \\ & + (I_{\alpha \text{ ф.С}}^2 \cdot X_{\text{ф.С}} + I_{\text{г ф.С}}^2 \cdot X_{\text{ф.С}}). \quad (3) \end{aligned}$$

Таким образом, общие нагрузочные потери в линии определяются геометрической суммой ак-

тивной и реактивной составляющей и могут быть рассчитаны с использованием выражения (4):

$$\Delta S_{\text{нагр.норм.}} = \Delta P_{\text{нагр.норм.}} + j\Delta Q_{\text{нагр.норм.}} = \sqrt{\Delta P_{\text{нагр.норм.}}^2 + \Delta Q_{\text{нагр.норм.}}^2}. \quad (4)$$

Необходимо отметить, что при анализе сетей напряжением выше 1000 В следует учитывать зарядную мощность линий электропередач, которая снижает потери реактивной энергии и влияет на общую нормативную величину потерь.

Полученное значение нормативных технологических потерь электроэнергии может быть использовано для сравнения данной величины с фактическим небалансом электрической мощности в сети. Небаланс мощности при отсутствии небаланса токов (обязательное условие) говорит о технологическом характере потерь мощности в сети.

Учитывая вышесказанное, можно заключить, что при выполнении неравенства (5) необходимо рассматривать сеть как имеющую технические нарушения. Для такой сети следует рассчитать фактические сопротивления участков и в дальнейшем использовать полученные значения взамен справочных.

$$\Delta S_{\text{нагр.норм.}} > \Delta S_{\text{нагр.факт.}} \quad (5)$$

Однако рассматривать повышение нормативных значений сопротивлений участков линии электропередач как повышение удельного сопротивления является неверным подходом. Повышение сопротивления в данном случае понимается как имеющее точечный, локальный характер.

Чтобы точнее выделить объём потерь, имеющих нагрузочный характер, стоит многократно произвести вышеописанный анализ с целью уточнения результатов путём расчёта потерь в ситуациях с различными наборами параметров.

Перечень изменений, обязательных к изучению при анализе сетей:

- повышение/снижение мгновенной нагрузки;
- изменение числа потребителей;
- отклонение питающего напряжения;
- смена времени года;
- изменение погодных условий.

Рассмотрение одной и той же сети в различных ситуациях позволяет выделить определённый тип потерь и выяснить причины их возникновения (резкого увеличения).

Далее в статье не рассматриваются: потери на холостой ход трансформаторов, ввиду постоянности их величины; потери, связанные с токами утечки на землю, так как в сетях до 1000 В существованием этих токов можно пренебречь; потери в меди в питающих трансформаторах, так как их увеличение в течение всего срока эксплуатации является крайне малой величиной.

Данная статья посвящена анализу технических потерь, связанных с увеличением потерь на нагрев проводников в ходе эксплуатации линий по причине их постепенного физического износа. Далее под техническими потерями будет подразумеваться именно этот тип потерь.

Увеличение технических потерь в ходе эксплуатации при неизменной нагрузке, как правило, проявляется в увеличении сопротивления проводов питающих линий. Данное явление может иметь место и чаще всего проявляется в результате следующих событий:

- износ участка провода, повлёкший за собой разрушение целостности части проводящих жил (для многожильных проводов);
- некачественно выполнено соединение проводов после их обрыва в силу каких-либо причин.

Подобные нарушения, как правило, не могут быть зафиксированы при обходах и внешних визуальных осмотрах линий ввиду невозможности их определения без применения специализированных приборов (например, тепловизор), однако они могут оказывать значительное влияние не только на величину технических потерь, но и на общую надёжность сети, так как подобные нарушения создают области с относительно высоким сопротивлением, а потому данные участки линии испытывают повышенный нагрев, зачастую значительно превышающий расчётный уровень и, следовательно, имеют тенденцию к ускорению дальнейшего разрушения. Таким образом, увеличение сопротивления проводов и кабелей питающих линий не только негативно влияет на уровень

потерь в сети, но также может привести к риску нарушения электроснабжения.

Постепенное снижение уровня технических потерь в сельских распределительных сетях низкого напряжения на данный момент является одним из главных направлений работы электроснабжающих организаций Алтайского края и имеет целью повышение эффективности их работы и снижение издержек, связанных технологическими нарушениями и устранением их последствий.

Экспериментальная часть

Для того, чтобы определить факт превышения техническими потерями в сети (линии) определённого порогового значения, необходимо знать или рассчитать нормативный уровень потерь в сети на основании данных о её конфигурации и параметрах всех её элементов, в основном воздушных линий электропередачи. Этот показатель должен включать в себя как условно-постоянные, так и нагрузочные потери и иметь корреляцию с реальными (измеренными) потерями.

О том, что в рассматриваемой сельской электрической сети существуют участки с увеличенными техническими потерями, говорит факт небаланса электроэнергии, отпущенной потребителями с питающей подстанции и потреблённой по показаниям приборов учёта за вычетом расчётной величины технических потерь. Наличие небаланса электроэнергии в сети говорит о наличии в ней дополнительного источника потерь. Как уже было упомянуто, дополнительные потери предполагаются техническими и вызванными увеличением сопротивления проводов питающей линии.

Методика, позволяющая определить проблемную область или элемент сети, основывается на разбиении сети на участки с последующим сравнением фактического и расчётного падений напряжения на них. Участком называется промежуток сети между двумя ближайшими приборами учёта. Необходимыми условиями для пользования методикой являются:

- знание конфигурации и параметров всех элементов сети;
- получение информации со всех установленных в сети приборах учёта, объединённых в АИИС КУЭ, выполненное одновременно и с обеспечением требуемой точности.

Рассмотрим сеть, представленную на рисунке 1. В ней присутствует 5 потребителей электрической энергии, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга, каждый из которых оборудован прибором учёта. Все приборы учёта потребителей, а также прибор, контролирующий потребление на данном фидере, объединены в АИИС КУЭ.

Очевидно, что напряжение в точках сети будет постепенно убывать, причём на каждом следующем участке наклон кривой будет уменьшаться в связи со снижением протекающего по участку тока. Примерный график напряжения в сети показан на рисунке 2, где кривая 1 соответствует нормативному состоянию сети, а кривая 2 – сети, в которой существует ухудшение технического состояния линии. Это ухудшение приводит к резкому снижению напряжения в линии на величину падения напряжения на дополнительном сопротивлении, образованном соединением низкого качества или начавшимся разрушением провода.

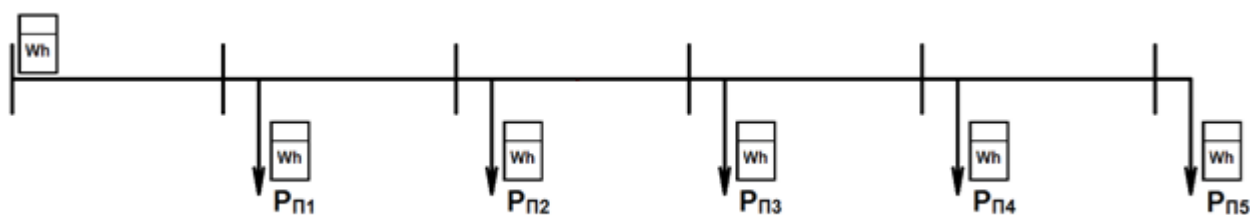


Рис. 1. Схема электрической сети

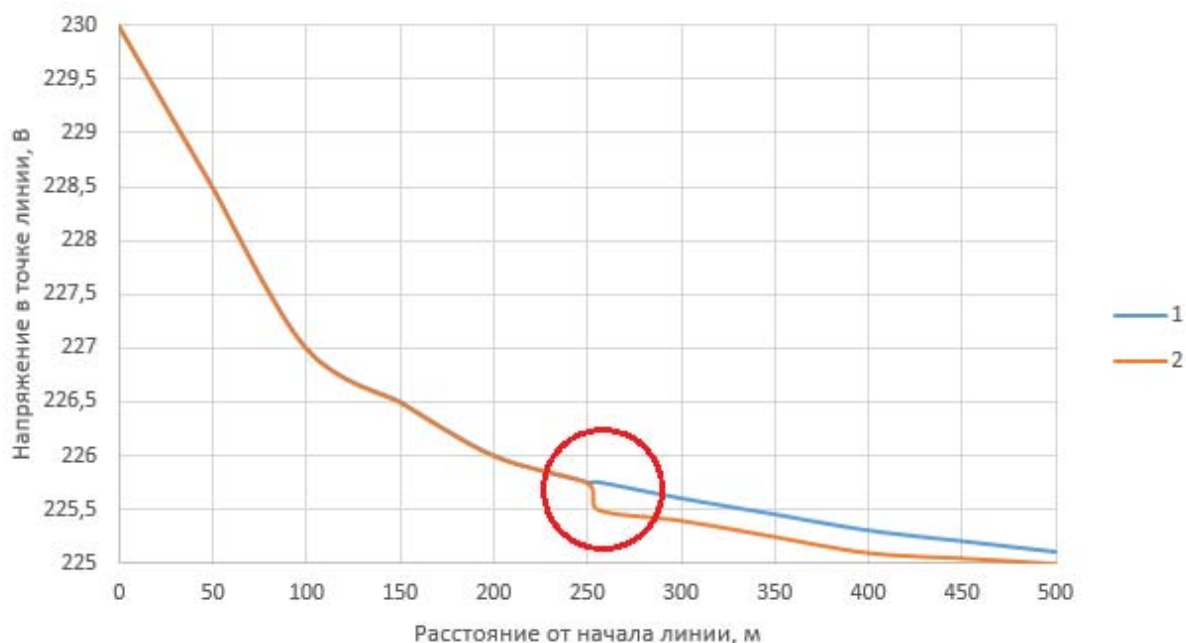


Рис. 2. График напряжения в сети при отсутствии повышенных технических потерь (1) и при наличии элементов с увеличенным сопротивлением (2)

Подробно участок графика, представленного на рисунке 2, ограниченный выделением, показан на рисунке 3. Нетрудно заметить, что расхождение реального распределения напряжений на участке с расчётным приводит к дальнейшему расхождению на практически постоянную величину. Из-за этого падение напряжения на участке провода в реальных сетях можно считать происходящим не распределённо, а в конкретной точке.

Несмотря на то, что снять реальный график распределения напряжения в сетях не представляется возможным по ряду объективных причин, обозначить проблемный участок, на котором наличествует элемент с повышенным сопротивлением электрическому току, можно по факту отклонения фактического напряжения на приборе учёта потребителя от расчётного.

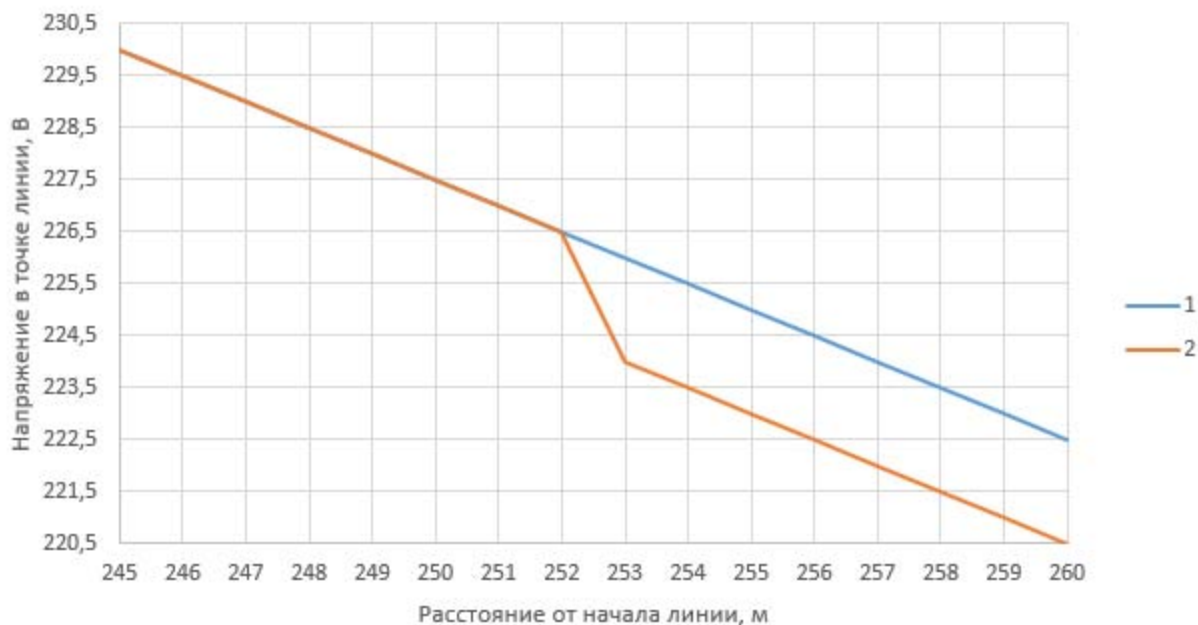


Рис. 3. График изменения напряжения в сети при отсутствии (1) и наличии (2) в ней элементов с увеличенным сопротивлением (251 м – начало участка с увеличенным сопротивлением; 252 м – конец участка с увеличенным сопротивлением)

Необходимо отметить, что таким образом может быть определено неограниченное количество проблемных участков. Это становится возможным при использовании информации о протекающем через приборы учёта тока и параметрах провода, которым выполнены участки линии между рассматриваемыми потребителями. То есть расчётным путём может быть определено предполагаемое значение напряжения с учётом уже обнаруженных в сети нарушений технического состояния.

Наиболее показательной количественной оценкой степени ухудшения состояния элемента сети будет являться значение дополнительного комплексного сопротивления на участке. Численно оно может быть рассчитано по формуле (6):

$$\Delta Z = \frac{\dot{U}_{\text{расч}} - \dot{U}_{\text{факт}}}{I_{\text{уч}}} - Z_{\text{уч}} \quad (6)$$

где $\dot{U}_{\text{расч}}$, $\dot{U}_{\text{факт}}$ – расчётное и фактическое напряжение в конце участка;

$I_{\text{уч}}$ – значение тока, протекающего по участку;

$Z_{\text{уч}}$ – расчётное сопротивление участка.

Полученное дополнительное сопротивление следует считать активным, так как оно является переходным сопротивлением соединения или точечным увеличением сопротивления провода.

Результаты и обсуждение

В ходе работы по методике необходимо определить расчётное напряжение в конце каждого участка ($\dot{U}_{\text{расч}}$) и рассчитать с необходимой точностью дополнительное падение напряжения на участке ($\dot{U}_{\text{расч}} - \dot{U}_{\text{факт}}$), используя показания приборов учёта, установленных в начале линии и на каждом из участков. Разность между этими величинами при отсутствии на рассматриваемом участке токов утечки полностью определяется увеличенным относительно определяемого параметрами сети уровнем сопротивлением и, как следствие, увеличенным относительно норматива уровнем технических потерь, имеющих нагрузочный характер.

Участки, где разность между фактическим и расчётным значением падения напряжения отсутствует или пренебрежимо мала, считаются соот-

ветствующими норме для данной сельской сети. Участки со значительным превышением фактического значения падения напряжения над расчётным следует оперативно проинспектировать на предмет нарушений.

Соответственно, с учётом того, что значения токов потребления на каждом приборе учёта известны, становится возможным рассчитать дополнительное значение сопротивления ΔZ на участке и сравнить его с расчётным. При превышенном отношении ΔZ к нормативному сопротивлению участка ($Z_{\text{уч}}$) 10% необходимо планировать работу по выявлению коренных причин и устранению данного нарушения.

Несмотря на то, что нарушения подобного рода являются точечными, определить точное местоположение такого нарушения на участке принципиально невозможно, так как при расчёте по предлагаемой методике фактическое расположение точки нарушения на участке не имеет значения [6]. По обозначенным условиям ветвления на участках рассматриваемой сети отсутствуют и потому считается допустимым предполагать расчётное сопротивление участка и дополнительное включёнными последовательно. Данное допущение позволяет рассчитать значение дополнительного сопротивления, но не позволяет обнаружить его конкретное место. Поэтому выходными значениями методики будут являться набор участков, на которых технические потери имеют повышенное значение и величины дополнительных сопротивлений на них. Однако, учитывая тот факт, что протяжённость участков в реальных сельских сетях низкого напряжения обычно не превышает нескольких десятков метров, можно заключить, что подобные результаты являются точными в достаточной мере для эффективной работы.

Выводы

Представленная методика позволяет выявить наличие участков с увеличенными техническими потерями в сельской электрической сети с достаточной для практического применения точностью. Полученные результаты могут быть применены для анализа и выборочного контроля реальных

сельских электрических сетей низкого напряжения, находящихся на балансе электросетевого предприятия, а также для составления оценки состояния сетей с целью построения оптимальных стратегий развития сетей в части планирования реконструкций и ремонтов. Методика может стать основой при создании Web-приложений по типу представленного в статье [7] для удалённого анализа технического состояния сельских электрических сетей в автоматическом режиме с целью их дальнейшей оптимизации способов определения проблемных мест.

Наилучшие результаты от работы методики достигаются при многократном анализе сети: на основании «моментальных» значений расчётов собирается статистика, которая при достаточном объёме выборки (до трёх лет) позволит наиболее полно оценить распределение потерь по типам оборудования, по характеру возникновения и создать наглядную интерактивную картину сети.

Библиографический список

1. Петухов, К. Ю. В сетях с низким уровнем потерь высокая надёжность / К. Ю. Петухов. – Текст: непосредственный // Российские сети. – 2017. – № 2. – С. 4.
2. Об утверждении государственной программы Алтайского края «Энергоэффективность и развитие электроэнергетики» на 2015-2020 годы (с изменениями на 25 мая 2018 года): постановление Администрации Алтайского края от 13 октября 2014 г. № 468 в редакции от 25.05.2018 г. № 180. – Текст: непосредственный.
3. Об организации в министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям (в ред. Приказа Минэнерго РФ от 01.02.2010 № 36): приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 30 декабря 2008 г. № 326 в редакции от 01.02.2010 № 36. – Текст: непосредственный.
4. Neto, Edison; Coelho, Jorge. (2013). Probabilistic methodology for Technical and Non-Technical Losses estimation in distribution system. *Electric*

Power Systems Research. 97: 93-99. 10.1016/j.epsr.2012.12.008.

5. Казымов, И. М. Математическая модель методики определения незаконных подключений в распределительной сети / И. М. Казымов, Б. С. Компанец. – Текст: непосредственный // Горизонты образования. – 2016. – № 18. – С. 32-34.

6. Карапетян, И. Г. Справочник по проектированию электрических сетей / И. Г. Карапетян, Д. Л. Файбисович, И. М. Шапиро; под редакцией Д. Л. Файбисовича. – Москва: ЭНАС, 2012. – 376 с.: ил. – Текст: непосредственный.

7. Тиньгаев, А. В. Оптимизация протяжённости линий электропередач при подключении сельскохозяйственных потребителей с использованием WEB-технологий / А. В. Тиньгаев, А. А. Шевченко. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета / Алтайский государственный аграрный университет. – 2018. – № 4 – С. 186-191.

References

1. Petukhov, K.Yu. V setyakh s nizkim urovnem poter vysokaya nadezhnost / K.Yu. Petukhov // Rossiyskie seti. – 2017. – No. 2. – S. 4.
2. Ob utverzhdenii gosudarstvennoy programmy Altayskogo kraya «Energoeffektivnost i razvitie elektroenergetiki» na 2015-2020 gody (s izmeneniyami na 25 maya 2018 goda): postanovlenie Administratsii Altayskogo kraya ot 13 oktyabrya 2014 g. No. 468 v redaktsii ot 25.05.2018 g. No.180.
3. Ob organizatsii v ministerstve energetiki Rossiyskoy Federatsii raboty po utverzhdeniyu normativov tekhnologicheskikh poter elektroenergii pri ee peredache po elektricheskim setyam (v red. Prikaza Minenergo RF ot 01.02.2010 No. 36): prikaz Ministerstva energetiki Rossiyskoy Federatsii ot 30 dekabrnya 2008 g. No. 326 v redaktsii ot 01.02.2010 No. 36.
4. Neto, Edison; Coelho, Jorge. (2013). Probabilistic methodology for Technical and Non-Technical Losses estimation in distribution system. *Electric Power Systems Research.* 97: 93-99. 10.1016/j.epsr.2012.12.008.

5. Kazymov, I.M. Matematicheskaya model metodiki opredeleniya nezakonnykh podklyucheniy v raspredelitelnoy seti / I.M. Kazymov, B.S. Kompaneets // Gorizonty obrazovaniya. – 2016. – No.18 – S. 32-34.

6. Karapetyan, I.G. Spravochnik po proektirovaniyu elektricheskikh setey / I.G. Karapetyan,

D.L. Faybisovich, I.M. Shapiro; pod red. D.L. Faybisovicha. – Moskva: ENAS, 2012. – 376 s.: il.

7. Tingaev, A.V. Optimizatsiya protyazhennosti liniy elektroperedach pri podklyuchenii selskokhozyaystvennykh potrebiteley s ispolzovaniem WEB-tekhnologiy / A.V. Tingaev, A.A. Shevchenko // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – No. 4 – S. 186-191.



УДК 629.083

Е.М. Таусенев
Ye.M. Tausenev

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ ТОПЛИВОПРОВОДОВ ДИЗЕЛЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕМОНТНЫХ РАБОТ

THERMAL INSULATION OF DIESEL FUEL LINES DURING REPAIR WORKS

Ключевые слова: топливopровод, теплоизоляция, технология, температура, подогрев, охлаждение, дизельное топливо, топливная система, ремонтные работы.

Предлагаемая технология может быть использована при техническом сервисе машин с дизелями, в том числе сельскохозяйственных. Технология помогает предотвратить излишний нагрев или охлаждение топлива, так как это негативно влияет на эксплуатационные показатели дизелей. Теплоизоляция топливopроводов, совмещенное с установкой оборудования по подогреву – охлаждению топлива, позволит более эффективно управлять его температурой. На сегодняшний день в новых машинах с дизелями теплоизоляция на топливopроводах заводами-изготовителями не применяется. Владельцы дизельных машин самостоятельно пытаются решить эту проблему, используя неподходящие или некачественные материалы. В статье представлены исследования 3 образцов топливopроводов в тепловой камере, изготовленных из стальной окрашенной трубки с размерами $\varnothing 8,4 \times \varnothing 4,5 \times 150$ мм и наполненных дизельным топливом. Два образца имеют теплоизолятор толщиной 2 и 5 мм, оболочку и обмотку. В качестве теплоизолятора применён вспененный полиэтилен. Приведены технические характеристики всех использованных материалов и рекомендации по монтажу. Температура воздуха в тепловой камере поддерживалась на уровне $75 \pm 1^\circ\text{C}$. Длительность испытаний составила 300 с. При сравнении образцов без теплоизолятора и с теплоизолятором толщиной 5 мм разница в темпе нагрева топлива составила 3,4 раза, разность по конечной температуре топлива 19°C . Для образца с теплоизолятором толщиной 2 мм

разница в темпе нагрева топлива составила 2,4 раза, разность по конечной температуре топлива 14°C . В исследованных образцах увеличение толщины теплоизолятора положительно влияет на полученный результат, но при этом увеличиваются наружный диаметр топливopровода, а также материальные и трудовые затраты. В каждом конкретном случае следует выбирать достаточную толщину теплоизолятора. В некоторых случаях применение теплоизоляции может приводить к отрицательному эффекту.

Keywords: fuel line, thermal insulation, technology, temperature, heating, cooling, diesel, fuel system, repair works.

The proposed technology may be used in technical service of machinery with diesel engines, including agricultural machinery. The technology helps to prevent excessive heating or cooling of the fuel as this negatively affects the performance of diesel engines. Heat insulation of fuel lines combined with installation of equipment for fuel heating - cooling will allow controlling its temperature more effectively. To date, new diesel-powered machines do not use thermal insulation on fuel lines by manufacturers. The owners of diesel-powered machines themselves try to solve this problem by using inappropriate or poor quality materials. This paper discusses the studies of 3 samples of fuel lines in the heat chamber; the samples are steel painted tubes with dimensions $\varnothing 8.4 \times \varnothing 4.5 \times 150$ mm and filled with diesel fuel. Two samples have heat insulator with thickness of 2 and 5 mm, shell and winding. Foamed polyethylene is used as heat insulator. This paper presents the specifications of all used materials and installation recommendations. The air temperature in the heat chamber was maintained at $75 \pm 1^\circ\text{C}$.