

УДК 621.31

А.Б. Лоскутов, А.Н. Фитасов, С.А. Петрицкий

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ 0,95 КВ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Представлен сравнительный анализ эффективности по величине потерь электрической энергии двух схем электроснабжения с напряжениями 10/0,4 кВ и 10/0,95/0,4 кВ. Оценка эффективности применения напряжения осуществлялась по величине потерь электроэнергии в элементах сети. Расчет потерь произведен в зависимости от следующих параметров: изменения числа часов расчетного периода, длины линии и величины нагрузки потребителя. Полученные зависимости позволяют определить области эффективности применения напряжения 950 В. Зависимость величины потерь от числа часов расчетного периода показала, что наибольший эффект применения 950 В будет достигнут при величине 4000 ч, т.е., при нагрузке, работающей в двухсменном режиме. Зависимость величины потерь от относительной длины линии выявила, что наибольшая эффективность применения напряжения 950 В будет при относительном изменении длины линии 114,3 %. Зависимость величины потерь от величины нагрузки показала, что наибольшая эффективность будет достигнута при номинальной мощности нагрузки для напряжения 950 В.

Ключевые слова: оценка энергетической эффективности, технические потери электрической энергии, напряжение 950 В, сети напряжением до 1000 В.

Стратегическим ориентиром энергетической политики России является максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для устойчивого роста экономики и повышения качества жизни населения страны. Одним из главных векторов перспективного развития отраслей топливно-энергетического комплекса является переход на путь инновационного и энергоэффективного развития. В связи с ростом потребления электрической энергии большое значение обретают распределительные сети, обнаруживающие предел их пропускной способности. Особое внимание в данном контексте должно быть уделено сетям до 1000 В, для которых характерны следующие проблемы: высокая степень износа; низкая надежность; высокий уровень технических и коммерческих потерь электрической энергии; низкая эффективная длина и недостаточная пропускная способность линий; недопустимые отклонения напряжения в электрически удаленных точках. При увеличении напряжения потери при передаче электроэнергии уменьшаются; однако при переходе на напряжения свыше 1000 В увеличивается опасность поражения электрическим током. Соответственно, возникает необходимость разработки дополнительных мероприятий по электробезопасности.

В качестве питающего напряжения предлагается использовать 950 В. Данное напряжение находится пределах до 1 кВ, что, в свою очередь, позволит использовать в данной сети электрические аппараты, предназначенные для сетей до 1000 В, увеличить протяженность участков распределительной сети до 1 км и снизить технические и коммерческие потери. Обоснование применения напряжения 950 В приведено в работах [1,2]. Подобные экспериментальные проекты были уже реализованы в ряде сетевых организациях [2].

В настоящей статье представлены результаты исследования эффективности применения напряжения 950 В по сравнению с напряжением 380 В. Оценка эффективности применения напряжения осуществлялась по величине потерь электроэнергии в элементах сети.

Расчет потерь проводился в зависимости от следующих параметров:

- от числа часов расчетного периода;
- от относительного изменения длины линий сети;
- от относительного изменения мощности нагрузки потребителей.

В качестве объекта исследования принята схема электроснабжения с 6 участками линий. К участкам линий подключено 33 потребителя. Нагрузка каждого потребителя составляет 15 кВА. Расстояние между точками подключения потребителей 70 м. Все длины участков сети по длине не превышают 500 м, что обусловлено ограничением допустимым падением напряжения в сети 0,4 кВ. Расчеты проведены для двух вариантов конфигурации схемы электроснабжения.

В первом варианте рассматривается схема электроснабжения 10/0,4 кВ (рис. 1). В схеме предусматриваются две ТП: мощность первой 400 кВА (ТП1) и мощность второй 250 кВА (ТП2). От ТП1 запитаны три участка сети 0,4 кВ длиной 420 м и один участок сети 0,4 кВ длиной 490 м. От ТП2 запитаны два участка сети 0,4 кВ длиной 490 м. Два участка сети, запитанные от ТП2, находятся на расстоянии 420 м, поэтому для подключения ТП2 используется линия 10 кВ проводом АС-35 длиной 420 м. ТП 2 подключается к сети 10 кВ шлейфом от ТП1.

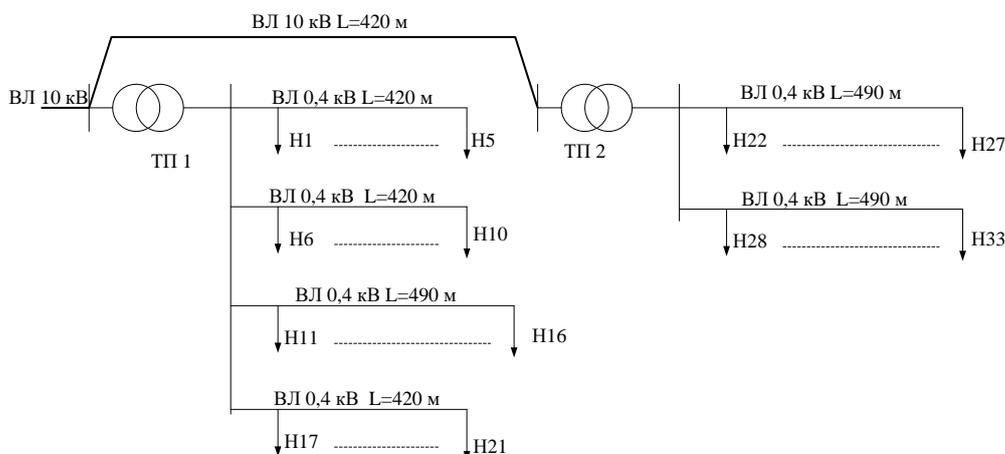


Рис. 1. Схема электроснабжения 10/0,4 кВ

Во втором варианте рассматривается схема электроснабжения 10/0,95/0,4 кВ (рис. 2). Возможность использования напряжения 950 В определяется наличием необходимого оборудования на это напряжение.

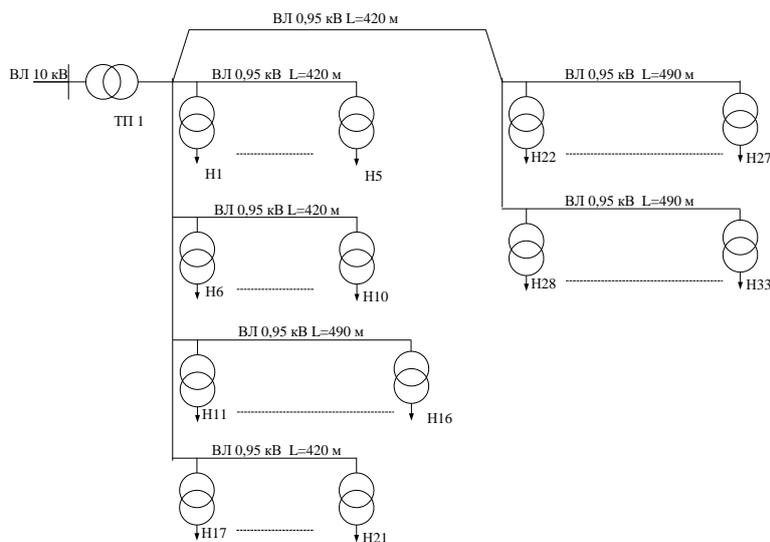


Рис. 2. Схема электроснабжения 10/0,95/0,4 кВ

В схеме предусматривается одна ТП мощностью 630 кВА (10/0,95 кВ). Вся распределительная сеть работает на напряжение 0,95 кВ. Для питания удаленных участков предлагается использовать линию с напряжением 0,95 кВ для удовлетворения требования по снижению напряжения в конце линии. Все потребители подключены к индивидуальным трансформаторным подстанциям 0,95/0,4 кВ мощностью 25 кВА размещенным на опорах. Данные трансформаторы изготавливаются под заказ, т.к. напряжение 950 В является инновационным и получило распространение пока только в пилотных проектах.

Параметры трансформаторов ТМТГ-630 (10/0,95) и ТМГ – 25 (0,95/0,4 кВ) приведены в табл. 1. Данные параметры использовались при расчете нагрузочных потерь в трансформаторе и потерь холостого хода.

Таблица 1

Основные параметры трансформатора

№	Наименование параметра	ТМТГ-630/10/0,95	ТМГ-25-У1
1	Номинальная мощность трансформатора, кВА	630	25
2	Номинальное напряжение обмотки ВН, кВ	10	0,95
3	Номинальное напряжение обмотки НН, кВ	0,95	0,4
4	Схема и группа соединения обмоток	Д/У	У/У _Н -0
5	Напряжение короткого замыкания, %	5	3
6	Потери холостого хода, Вт	1100	80
7	Потери короткого замыкания, Вт	7600	600

Трансформаторы ТМГ-25 (0,95/0,4 кВ) для питания потребителей установлены на столбах (рис. 3). На этой же опоре смонтирован щит с коммутационными и защитными аппаратами, счетчики электроэнергии. Данная разработка соответствует отраслевым техническим регламентам, государственным нормам, правилам и стандартам.

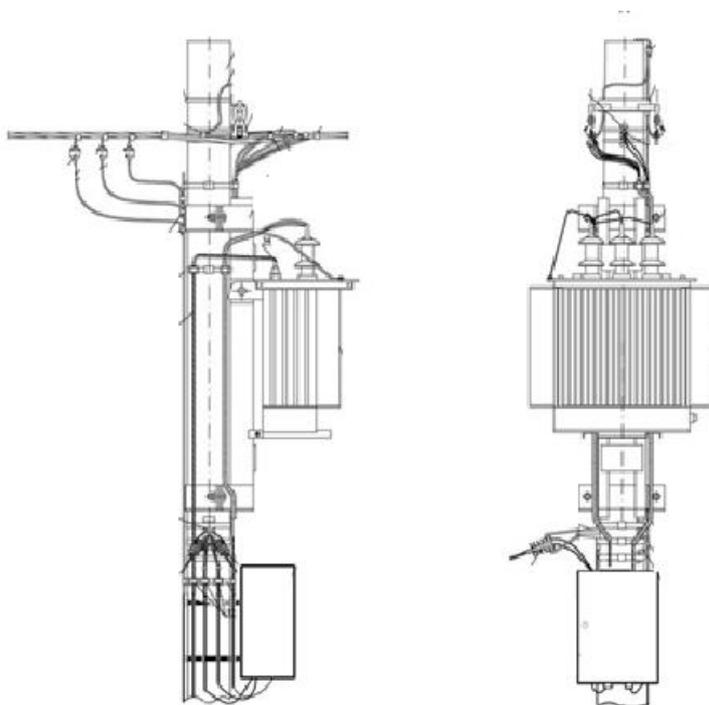


Рис. 3. Установка трансформатора ТМГ-25 (0,95/0,4 кВ)

Расчет нагрузочных потерь был проведен для двух вариантов схемы электроснабжения согласно методики [3]. Величина нагрузочных потерь электрической энергии определяется по выражению (1):

$$\Delta W = k_{л} \cdot k_{к} \cdot \Delta P_{ср} \cdot T \cdot k_{ф}^2, \quad (1)$$

где $\Delta P_{ср}$ – потери мощности в элементе сети (трансформаторах и ЛЭП) при средних за расчетный интервал нагрузках узлов, кВт; $k_{ф}^2$ – коэффициент формы графика суммарной нагрузки сети за расчетный период (принимается равным 1 при отсутствии данных летнего и зимнего суточных графиков нагрузки), о.е. [3,4]; $k_{к}$ – коэффициент, учитывающий различие конфигураций графиков активной и реактивной нагрузки различных ветвей сети (принимается равным 0,99 [3,4]), о.е.; $k_{л}$ – коэффициент, учитывающий влияние потерь в арматуре ВЛ и принимаемый равным 1,02 для линий напряжением 110 кВ и выше и равным 1,0 для линий более низких напряжений, о.е. [3,4]; T – число часов в расчетном периоде, ч.

Переменные потери мощности при средних за расчетный период нагрузках сети в элементах сети 10 кВ (ВЛ, трансформаторах) определяются по формуле (2):

$$\Delta P_{ср} = 3 \cdot I_{ср}^2 \cdot R = \frac{P_{ср}^2 + Q_{ср}^2}{U_{ср}^2} \cdot R = \frac{P_{ср}^2 \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)}{U_{ср}^2} \cdot R, \quad (2)$$

где $I_{ср}$ – среднее значение токовой нагрузки, А; R – активное сопротивление элемента (ВЛ и трансформаторов), Ом; $P_{ср}$, $Q_{ср}$ – средние значения активной и реактивной мощности, кВт, кВар; $U_{ср}$ – среднее напряжение элемента сети, кВ; $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности (принят по $\cos \varphi = 0,8$ для потребителей 0,4 кВ, что соответствует наиболее реальной нагрузке потребителей), о.е.

При расчетах так же учитывались постоянные потери, обусловленные потерями холостого хода трансформаторов [3]. Расчет составляющих потерь в зависимости от числа часов проводился в диапазоне от 2000 до 4000 ч. Данный диапазон часов соответствует односменному и двухсменному режиму работы нагрузки, что характерно для потребителей небольшой мощности. Свыше 4000 ч расчеты не производились, поскольку такой режим работы характерен для крупных промышленных предприятий.

По результатам расчетов были построены графические зависимости. На рис. 5 приведены зависимости изменения величин потерь при увеличении числа часов расчетного периода. Исследования величины потерь в диапазоне расчетного периода 2000-4000 ч. показали, что применение напряжения 950 В является эффективным, поскольку увеличение числа часов расчетного периода приводит к росту величин потерь в обеих схемах электроснабжения. Однако в схеме 10/0,4 кВ рост величины потерь больше по отношению к потерям в схеме 10/0,95/0,4 кВ. При двухсменном режиме работы нагрузки применение напряжения 950 В будет более эффективно на 6,5 % по отношению к нагрузке работающей в односменном режиме работы.

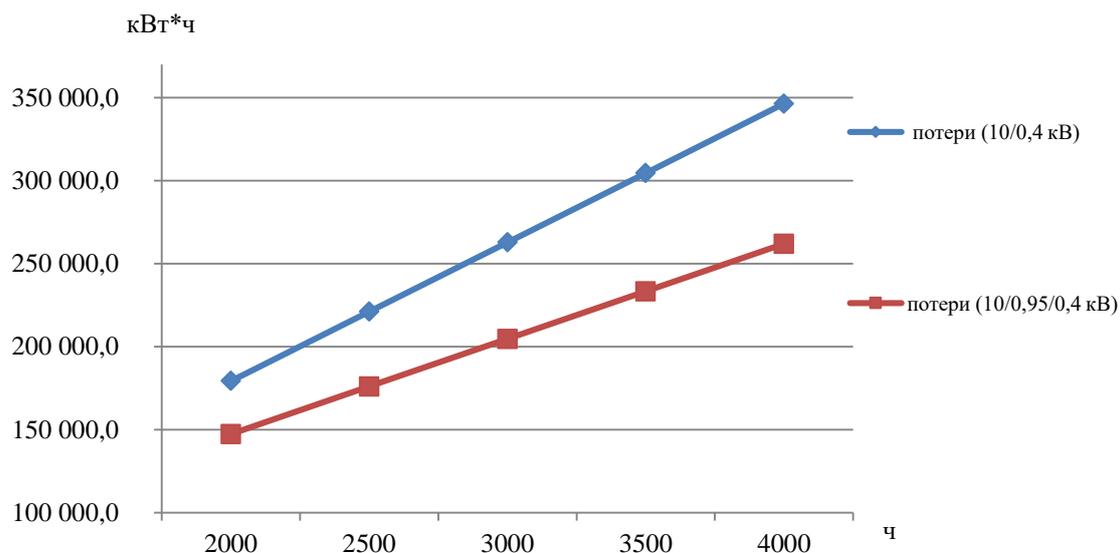


Рис. 5. Зависимость изменения потерь по вариантам схемы при количестве часов от 2000-4000

Расчет составляющих потерь проводился в зависимости от относительной длины линий. За «базу» в 100 % принят вариант, условия которого оговорены в модели.

При исследованиях расстояние между точками подключения потребителей было выбрано от 20 до 80 м, что соответствует реальным расстояниям между точками подключения нагрузки. По отношению к базовому варианту это составляет от 30 до 115 % длины линии. Свыше величины 115 % относительной длины линии исследования не проводились, поскольку в электрически удаленных точках схемы 10/0,4 кВ возможно отклонение напряжения, выходящее за пределы ГОСТ 32144-2013 [5].

На рис. 6 приведены зависимости изменения величин потерь при изменении относительной длины линий.

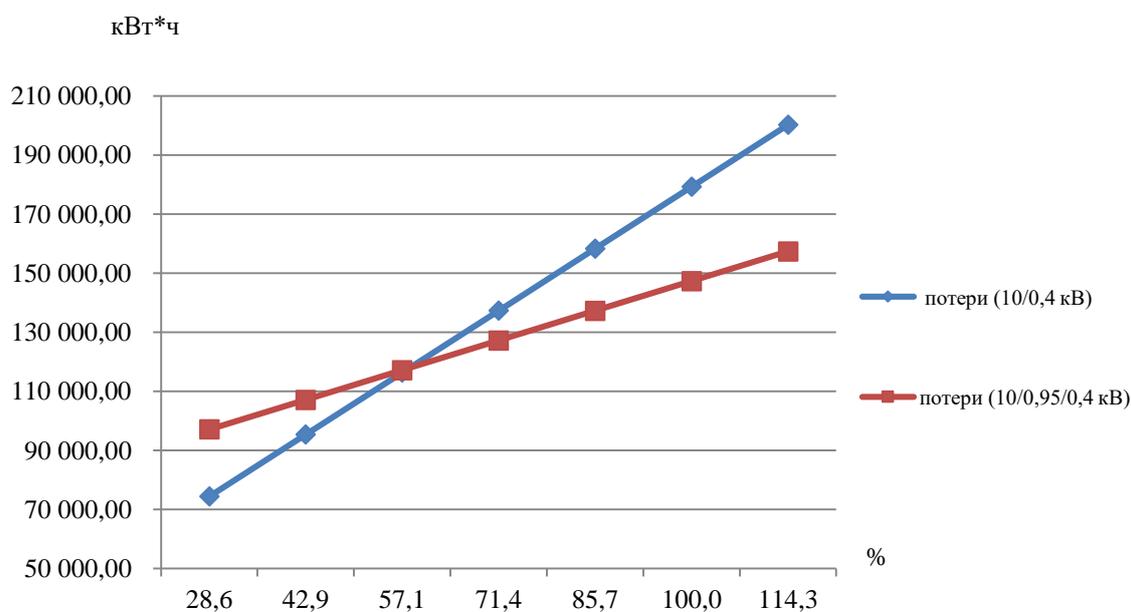


Рис. 6. Зависимость изменения потерь по вариантам схемы при относительном изменении суммарных длин линий

Исследования величины потерь при относительном изменении длин линий показали, что с увеличением длины линии свыше 50 % от базовой величины потери при напряжении 950 В будут ниже, чем при напряжении 0,4 кВ. Наибольшая эффективность будет достигнута при длине линии 115 % при напряжении 950 В.

При относительной величине длины линий менее 50% применение напряжения 950 В не является эффективным.

Расчет составляющих потерь проводился в диапазоне изменения нагрузки от 50 до 100% по отношению к базовой мощности, что соответствует реальному изменению нагрузки небольших предприятий. На рис. 7 приведены зависимости изменения величин потерь при изменении относительной величины нагрузки.

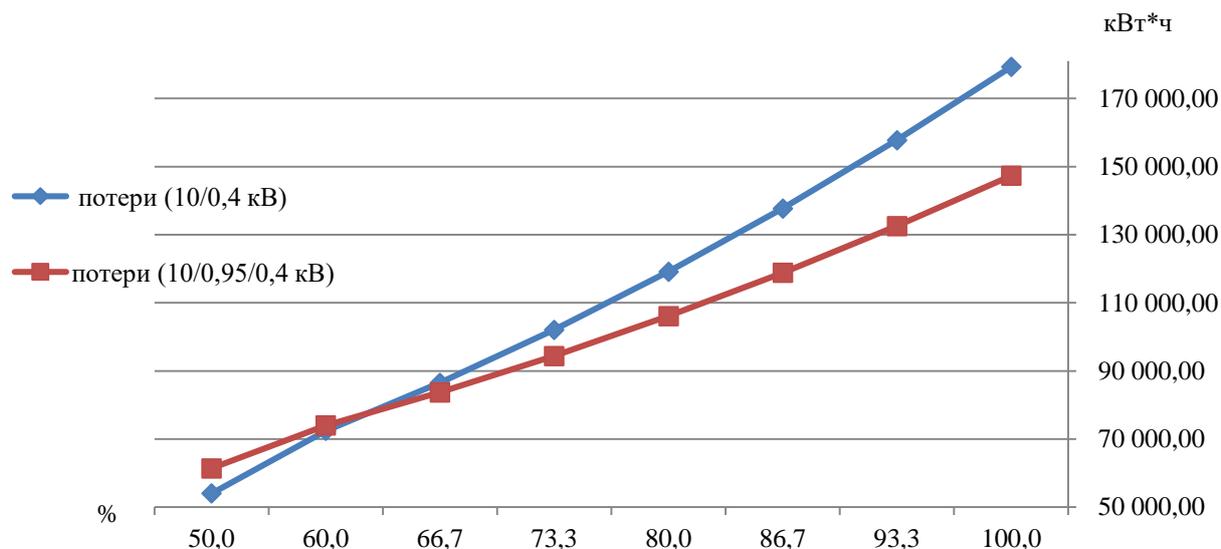


Рис. 7. Зависимость изменения потерь по вариантам схемы при относительном изменении величины нагрузки

Проведенные исследования величины потерь показали, что с увеличением мощности нагрузки свыше 60 % от базовой величины потери при напряжении 950 В будут ниже, чем при напряжении 0,4 кВ. Наибольшая эффективность будет достигнута при номинальной мощности нагрузки для напряжения 950 В.

При относительной величине нагрузки менее 60 % применение напряжения 950 В становится неэффективным.

Выводы

1. Проведенные исследования показали, что применение напряжения 950 В является эффективным, поскольку позволяет снизить потери электрической энергии.
2. Зависимость величины потерь от числа часов расчетного периода показала, что наибольший эффект применения 950 В будет достигнут при величине 4000 ч, т.е. при нагрузке работающей в двухсменном режиме.
3. Зависимость величины потерь от относительной длины линии выявила, что наибольшая эффективность применения напряжения 950 В будет при относительном изменении длины линии 114,3 %.
4. Зависимость величины потерь от величины нагрузки показала, что наибольшая эффективность будет достигнута при номинальной мощности нагрузки для напряжения 950 В.

5. В дальнейших исследованиях при сравнении вариантов схем питания распределенной нагрузки на напряжение 0,4 кВ и напряжении 0,95 кВ необходимо производить технико-экономическое обоснование, которое более полно позволит оценить эффективность применения напряжения 950 В. При его разработке необходимо учитывать капитальные затраты, а также затраты на обслуживание оборудования

Библиографический список

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – М.: Энергоатомиздат, 2012. – 640 с.
2. «Россети» представили первые результаты эксплуатации уникальной инновационной сети 0,95 кВ». – 2014. [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: http://www.rosseti.ru/press/news/?ELEMENT_ID=20268
3. Расчет и экспертиза нормативов технологических потерь электрической энергии при её передаче по электрическим сетям: Комплект нормативно-технологических и учебных материалов. – М.: Межрегиональный институт менеджмента энергоэффективности. 2006. – 214 с.
4. Приказ Минпромэнерго РФ от 04.10.2005 N 267 «Об организации в Министерстве Промышленности и энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям».
5. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2013. – 16 с.

*Дата поступления
в редакцию: 20.06.2019*

A.B. Loskutov, A.N. Fitasov, S.A. Petritskiy

THE ENERGY EFFICIENCY ASSESSMENT OF THE APPLICATION OF 0.95 KV VOLTAGE IN THE POWER SUPPLY SYSTEM WITH DISTRIBUTED LOAD

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev

Purpose: The article discusses the increase of energy efficiency of electrical networks with voltage up to 1000 V due to the use of 950 V.

Design/methodology/approach: The authors have developed a method for estimating the energy efficiency of applying 950 V voltage in electric networks with voltage up to 1000 V in terms of losses. The dependences of losses on various indicators have been studied: load values, line lengths and the number of hours of the calculation period.

Findings: electric power losses are reduced in comparison with the 0.4 kV network when using 950 V voltage. Dependences of electric energy losses are linear when changing the length of the line and the number of hours of the calculation period. Electric energy losses increase less in relation to a circuit with a voltage of 0.4 kV with an increase in the line length and the number of hours of the calculation period in a circuit with a voltage of 950 V. Losses are non-linear with changes in load and the highest efficiency will be achieved at nominal load. The points were found with the values of losses at which it does not make sense to apply a voltage of 950 V in three studies.

Research limitations/implications: This study was conducted for power supply circuits up to 1000 V.

Originality/value: The voltage value of 950 V was applied in the study, which was implemented only in a few pilot projects of the Russian Federation. Energy efficiency rating is given by the use of voltage 950 V.

Key words: energy efficiency assessment, technical losses of electrical energy, voltage 950 V, networks with voltage up to 1000 V.