

**УДК 621.311.1****А.Ю. Ефимов, А.О. Молоков, И.Н. Артемов****СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ПУТЕМ ПЕРЕХОДА  
В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 6/10 кВ  
НА НАПРЯЖЕНИЕ 20 кВ**

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева

Рассмотрены вопросы перехода на напряжение 20 кВ в распределительных электрических сетях России. Проанализированы его основные преимущества и факторы, влияющие на потери в электроэнергетических системах и сетях. Представлена принципиальная схема участка электрической сети. Приведен сравнительный расчет и анализ потерь напряжения, энергии, мощности в сетях 6/10/20 кВ, а также особенности расчета данных параметров. Приводятся основные выражения для расчета и полученные графические зависимости. Сделан вывод о целесообразности применения напряжения 20 кВ в распределительных электрических сетях.

**Ключевые слова:** линия электропередач, напряжение, потери напряжения, система электроснабжения, электросбережение.

**I. Введение**

Электросбережение – это реализация ряда правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное и рациональное использование электроэнергетических ресурсов. Повышенное внимание к проблеме электросбережения связано, в первую очередь, с увеличением потерь в электроэнергетических системах и сетях. Одним из возможных решений данной проблемы является модернизация транзитных и распределительных сетей.

**II. Структура потерь в электрических сетях**

Государство регулирует вопрос энергосбережения и энергетической эффективности на законодательном уровне путем принятия Федерального закона: «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 N 261-ФЗ [1].

Технические мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности электросетевого хозяйства должны быть направлены на снижение потерь электроэнергии, модернизацию системы

коммерческого и технического учета электроэнергии в распределительных и транзитных электрических сетях и у потребителей [2].

Структура потерь в электрических сетях представлена на рис. 1 [3].



Рис. 1. Структура технологических потерь электрической энергии

### III. Экспертная оценка

Соотношение факторов, влияющих на потери в электроэнергетических системах и сетях относительно 100 %, было исследовано методом экспертной оценки. Экспертами выступили работники электроэнергетической сферы: оперативно-ремонтный персонал распределительных сетей, диспетчеры, инженеры, преподаватели кафедры Электрификации и автоматизации производства МГУ им. Н.П. Огарева (всего 10 чел.)

Результаты экспертизы представлены в табл. 1.

Экспертная оценка проводилась по следующим факторам:

- 1) влияние срока службы линий и оборудования на потери в электроэнергетических системах и сетях;
- 2) влияние аварийности в электроэнергетических системах и сетях на потери электроэнергии;

- 3) влияние класса напряжения линий электропередач на потери в электроэнергетических системах и сетях;
- 4) влияние нагрузочных потерь на потери электроэнергии в электроэнергетических системах и сетях;
- 5) влияние коммерческих потерь, а именно – несовершенства системы учета на потери электроэнергии в электроэнергетических системах и сетях.

Таблица 1.  
Результаты проведенной экспертной оценки

Респонденты	Факторы, влияющие на потери в линиях электропередач				
	Срок службы	Аварийность линий	Напряжение в линиях	Нагрузочные потери	Несовершенство системы учета
1	60	10	10	10	10
2	15	15	15	15	40
3	30	20	20	20	10
4	10	40	30	15	5
5	30	10	40	10	10
6	20	20	20	20	20
7	20	10	30	20	20
8	40	35	10	10	5
9	10	40	30	10	10
10	15	15	20	25	25

Результаты экспертных оценок наглядно представлены на рис. 2. Данные позволяют сделать вывод, что потери, связанные с напряжением линий электропередач, занимают одну из лидирующих позиций: их численность составляет в среднем 25 %. Эти результаты позволяют с уверенностью сказать, что работа в направлении увеличения класса напряжения в электроэнергетических системах и сетях является актуальным и перспективным направлением в электросбережении.

Многочисленные исследования, проводимые российскими и зарубежными учеными, показывают: определяющее влияние на уменьшение потерь и улучшение качества передачи электроэнергии потребителю оказывает увеличение напряжения, что еще раз подтверждает результаты экспертной оценки.

#### IV. Сравнительный анализ потерь при напряжениях 6/10/20 кВ

Проведенный анализ существующих электрических сетей в Республике Мордовия показал высокий срок службы линий электропередач, что в некоторых случаях достигает 50-70 лет, причем без проведения существенных мероприятий по модернизации, что в свою очередь увеличивает потери в них [4]. Рост потерь также вызван увеличением потребления, обусловленного появлением большого числа промышленных объектов [5].

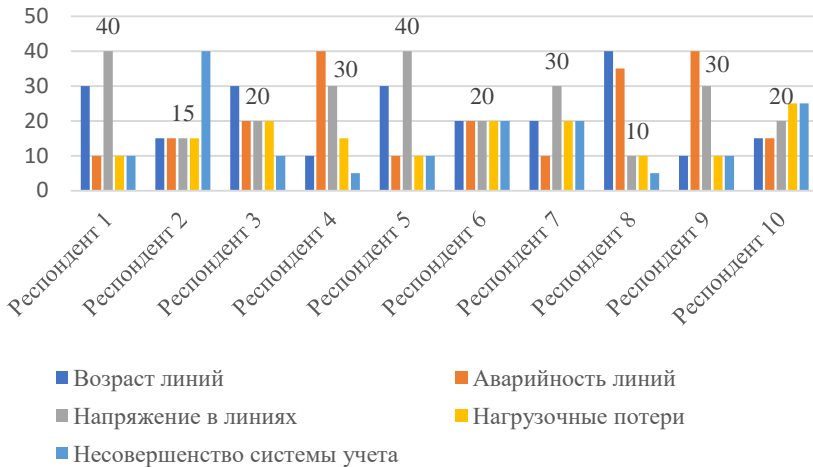


Рис. 2. Факторы, влияющие на потери электроэнергии (по результатам экспертной оценки)

Одним из способов снижения потерь электроэнергии в электрической сети является перевод распределительных сетей с напряжения 6/10 кВ на 20 кВ [3]. В России электрическую распределительную сеть напряжением 20 кВ внедрили в г. Москва для электроснабжения Ходынского поля, имеющего высотную застройку. Позже данный опыт был успешно применен при обеспечении электроснабжения комплекса «Москва-Сити» Это обусловлено большой плотностью электрических нагрузок на единицу площади и связано с необходимостью передачи в конкретный центр нагрузки большой электрической мощности. Также данный класс напряжения был введен в Ханты-Мансийском автономном округе, где плотности нагрузок невысокие, а удаленность потребителей от центров питания большая [6].

Основные преимущества перехода на напряжение 20 кВ:

- 1) снижение потерь мощности и электроэнергии;

- 2) увеличение пропускной способности линий, увеличение дальности обслуживания [7].

Рассмотрим схему сети, представленную на рис. 3. Трансформаторные подстанции (ТП) получают питание от главной понизительной подстанции. Для данной схемы выполнен расчет потерь напряжения и мощности на участке ВЛ 10 км с маркой провода АС 120/24 [8]. Мощность нагрузки данной линии 1 МВт. В качестве ГПП использована мобильная модульная подстанция ММПС 110/20(10) кВ, производства «ПитерЭнергоМаш». Типовое решение ММПС 110/20(10) кВ реализовано в виде двух самостоятельных модулей: модуля 110 кВ (модуль ВН) и модуля 20(10) кВ (модуль НН). Для ТП используется силовой трансформатор ТМГ 1000 кВА 20/0,4 кВ.

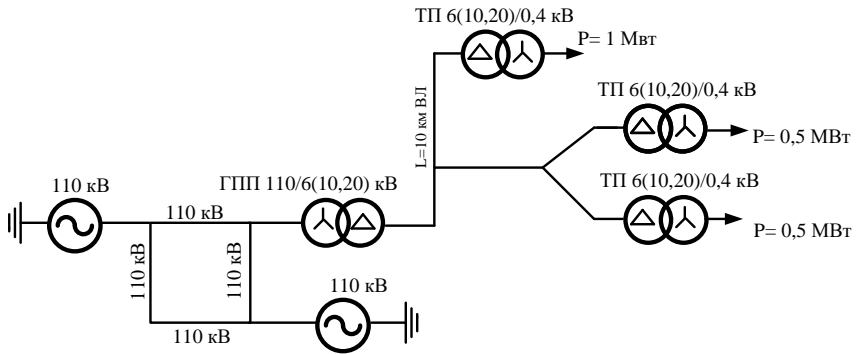


Рис. 3. Принципиальная схема электроснабжения 110/(6/10/20) кВ

Потери напряжения в линии:

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U_{\text{н}}}, \quad (1)$$

где  $R$  – активное сопротивление линии, Ом;  $X$  – индуктивное сопротивление линии, Ом.

$$\Delta U = \frac{100000 \cdot 19,8 + 31,76 \cdot 24,9}{6000} = 330,13 \text{ В.}$$

Потери напряжения для остальных нагрузок и напряжений рассчитаны аналогично, а результаты приведены в табл. 2.

Потери мощности на данном участке:

$$\Delta P_{\text{л}} = \frac{(P+Q)^2}{U^2 \cdot R_{\text{л}} \cdot 10^{-3}}, \quad (2)$$

где  $R_{\text{л}}$  – активное сопротивление линии, Ом;  $U$  – номинальное напряжение линии, В.

$$\Delta P_{\text{л}} = \frac{(100000 + 31,76)^2}{6000^2 \cdot 19,8 \cdot 10^{-3}} = 14038,1 \text{ Вт.}$$

Потери энергии на заданном участке линии:

$$\Delta W_{\text{л}} = \Delta P_{\text{л}} \cdot \tau_{\text{л}}, \quad (3)$$

где  $\Delta P_{\text{л}}$  – нагрузочные потери мощности в линии, соответствующие протеканию максимальной мощности, Вт;  $\tau_{\text{л}}$  – время максимальных потерь, ч.

$$\tau = (0,124 + \frac{T_{\text{max}}}{10000})^2 \cdot 8760, \quad (4)$$

где  $T_{\text{max}}$  – количество часов использования максимальной нагрузки.

$$\tau = (0,124 + \frac{3500}{10000})^2 \cdot 8760 = 4152,24 \text{ ч,}$$

$$\Delta W_{\text{л}} = 14038,1 \cdot 4152,24 = 58289,533 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Остальные значения рассчитаны аналогично и отражены в табл. 2.

Таблица 2.

Потери мощности, энергии, напряжения

$P$ , кВт	$U$ , кВ	$\Delta U$ , В	$\Delta U$ , %	$\Delta P$ , Вт	$\Delta W$ , кВт·ч
100	6	330,13	5,5	14038,09	58289,53
	10	198,08	1,98	5053,71	20984,23
	20	99,04	0,5	1263,43	5246,058
200	6	660,13	11	56134,5	233084,1
	10	396,08	3,96	20208,44	83910,28
	20	198,04	0,99	5052,11	20977,57
300	6	990,13	16,5	126289,36	524383,74
	10	594,08	5,94	45464,17	188778,15
	20	297,04	1,49	11366,04	47194,54

На основе данных, приведенных в табл. 2, построены графики зависимостей потерь мощности, энергии и напряжения от напряжения линии электропередач распределительной сети, представленные на рис. 4-6 соответственно.

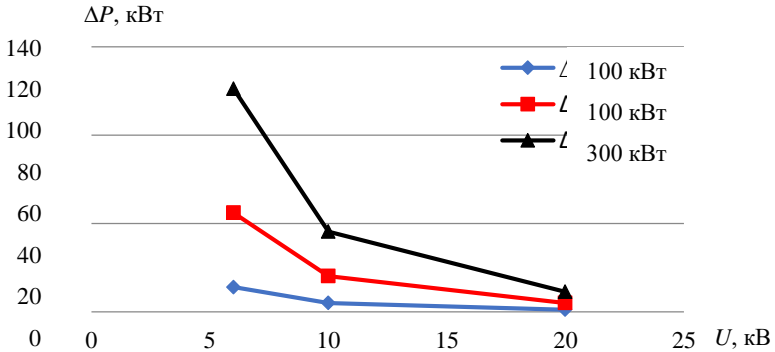


Рис. 4. График зависимости потерь активной мощности в линии от напряжения 6/10/20 кВ

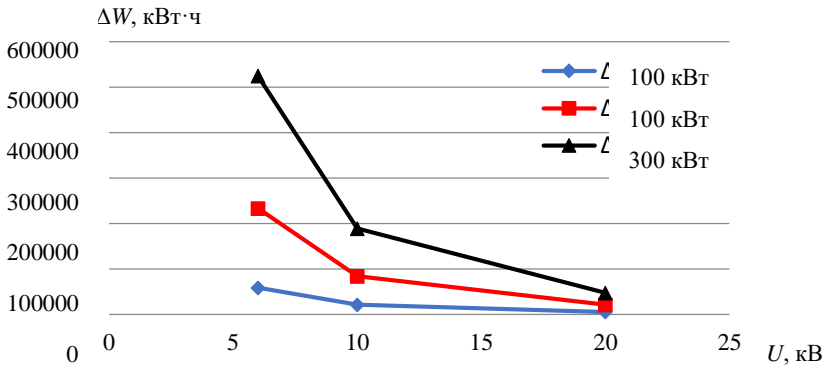


Рис. 5. Графики зависимости потерь энергии в линии от напряжения 6/10/20 кВ

## V. Выводы

На основе построенных графиков можно судить об экономии электроэнергии при переходе с 6/10 кВ на 20 кВ в распределительных сетях. Следовательно, напряжение 20 кВ имеет следующие два преимущества по сравнению с 6/10 кВ.

1. Распределительные сети 20 кВ имеют большую пропускную мощность, что играет огромную роль в условиях увеличения потребления электроэнергии, как в промышленности, так и на производстве.

2. Класс напряжения 20 кВ в распределительных сетях дает возможность вдвое увеличить радиус обслуживания подстанций и существенно сократить число крупных узловых подстанций, учитывая, что при трансформации теряется от 5 до 7 % мощности и энергии, то это представляет собой огромные суммы средств и миллионы тонн потерянного топлива.

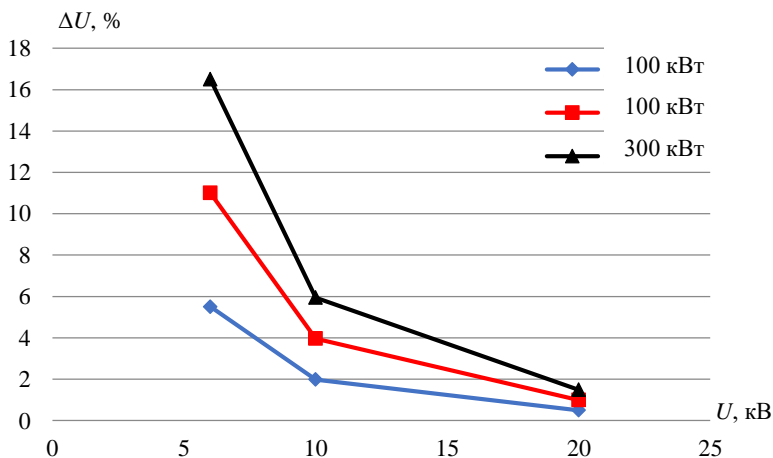


Рис. 6. График зависимости потерь напряжения в процентах в линии, от напряжения линии

Таким образом, использование напряжения 20 кВ в распределительных сетях целесообразно и актуально при проектировании новых сетей и подстанций, а также при реконструкции старых.

© Ефимов А.Ю., 2019

© Молоков А.О., 2019

© Артемов И.Н., 2019

### Библиографический список

- [1] Федеральный закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».



- [2] ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок. Издание 7. Введ. 2003-01-01. М.: Госторгиздат, 2015. – 144 с.
- [3] Лыкин А.В. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в электрических сетях. Новосибирск: НГТУ, 2013. – 115 с.
- [4] Ефимов А.Ю. Математическое моделирование сельских электрических сетей с целью повышения их безотказной работы: автореф. дис. канд. техн. наук, Мордовский гос. ун-т им. Н.П. Огарева, Саранск, Россия, 2000. – 20 с.
- [5] Агеев В.А., Сурдейкин Д.А. Анализ нормальных электрических сетей 10 кВ рязанского РЭС // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы, Май 24-25, 2016, Саранск, Россия. Изд-во НИ МГУ им. Н.П. Огарева, 2016. С. 565-568.
- [6] Интервью руководства АО «ЮРЭСК» об особенностях строительства в Ханты-Мансийском Автономном Округе – ЮГРА линий электропередачи напряжением 20 кВ // Электроэнергия. Передача и Распределение. 2015. №2 (29). С. 6-13.
- [7] Ефимов А.Ю., Алехин А.О. Оценка надежности электроснабжения потребителей первой и второй категорий // Интеллектуальная электротехника. 2019. № 2 (6). С. 74-84.
- [8] Идельчик В.И. Электрические сети и системы. М.: Энергоатомиздат, 1989. – 351 с.

**A.Yu. Efimov, A.O. Molokov, I.N. Artemov**

## **LOSS REDUCTION IN DISTRIBUTION NETWORKS OF 6/10 kV BY TRANSITION TO 20 kV VOLTAGE**

Ogarev Mordovia State University  
Saransk, Russia

**Abstract.** The article considers the issues of transition to a voltage of 20 kV in distribution electric networks of Russia. The main advantages of switching to a voltage of 20 kV have been analyzed. An expert assessment has been carried out among employees of the electricity sector, and based on its results bar charts have been built. A schematic diagram of a section of an electrical network is presented. A comparative calculation and analysis of voltage, energy, and power losses in 6/10/20 kV networks are given, as well as features for calculating these parameters. The main expressions for the calculation and obtained graphic dependencies are given. It is concluded that it is advisable to use a voltage of 20 kV in distribution electric networks.

**Keywords:** power line, power saving, power supply system, voltage, voltage loss.

### **References**

- [1] Federal Law No. 261-FZ dated November 23, 2009, «Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoy ef-fektivnosti i o vnesenii izmeneniy v ot-del'nyye za-

- konodatel'nyye akty Rossiyskoy Federatsii (On energy saving and on improving energy efficiency and on amending certain legislative acts of the Russian Federation))» (in Russian).
- [2] *Pravila ustroystva elektroustanovok. Izdanie 7 (Electrical Installation Rules. Volume 7)*. PUE 7, Jan. 2003. Moscow: Gostorgizdat, 2015 (in Russian).
- [3] A.V. Lykin, *Energoberezeniye i povysheniye energeticheskoy effektivnosti v elektricheskikh setyakh (Energy saving and increasing energy efficiency in electric networks)*. Novosibirsk: NGTU, 2013 (in Russian).
- [4] A.Yu. Efimov, «*Matematicheskoe modelirovanie sel'skih elektricheskikh setej s cel'yu povyshe-niya ih bezotkaznoj raboty (Mathematical modeling of rural electric networks for the purpose of increase in their no-failure operation)*», Cand. of Tech. S. thesis, Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia, 2000, P. 20 (in Russian).
- [5] V.A. Ageev and D.A. Surdeikin, «*Analiz normal'nykh elektricheskikh setey 10 kV Ruzayevskogo RES (Analysis of normal electrical networks 10 kV Ruzaevsky RES)*», in proc. *Energoeffektivnyye i resursoberegayushchiye tekhnologii i sistemy (Energy-efficient and resource-saving technologies and systems)*, May 24-25, 2016, Saransk, Russia, pp. 565-568 (in Russian).
- [6] «*Interv'yu rukovodstva AO «YURESK» ob osobennostyah stroitel'stva v Hanty-Mansijskom Avtonomnom Okruge - YUGRA linij elektroperedachi napryazheniem 20 kV (Interview with the management of JSC «URESK» about the features of construction in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug - UGRA power lines with a voltage of 20 kV)*», *Electric power. Transmission and distribution*, vol. 2 (29), pp. 6-13, March-Apr. 2015 (in Russian).
- [7] A.Yu. Efimov and A.O. Alekhin, «*Assessment of reliability of power supply consumers of the first and second category*», *Intellektual'naya elektrotehnika*, vol. 2, no. 6, pp. 74-84, June 2019 (in Russian).
- [8] V.I. Idelchik, *Elektricheskiye seti i sistemy (Electric networks and systems)*. Moscow: Energoatomizdat, 1989 (in Russian).