

References

1. Kapustin V.P. Sovershenstvovanie sistem uborki i transportirovki bespodstilochnogo navoza [Improving non-litter manure cleaning and transportation systems]. Tambov: TSTU Publishing, 2001. 123 p.
2. Zavrazhnov A.I. Tekhnologii i oborudovanie dlya kompostirovaniya organicheskikh otkhodov [Technologies and equipment for organic waste composting] / A.I. Zavrazhnov, V.V. Mironov // Farm Machinery and Equipment. 2008. Issue 12. Pp. 19–21.
3. Mamontov A.Yu. Programma rascheta parametrov gazgol'dera i reaktora bioenergeticheskoy stantsii [Computer program for designing gasholder and bioenergy plant reactor] / A.A. Vinogradov, A.Yu. Mamontov, A.V. Kaplin // Herald of Michurinsk Agrarian University. 2015. Issue 4. Pp. 186–193.
4. Mamontov A.Yu. Gazovaya turbina i gazopornshnevoy dvigatel' v sistemakh elektrosnabzheniya agropromyshlennykh predpriyatiy [Gas turbines and gas engines in power supply systems of farm enterprises] / A.A. Vinogradov, V.V. Nedosekov, A.Yu. Mamontov, N.O. Sharshukov // Energy Security and Energy Efficiency. 2016. Issue 2. Pp. 31–35.
5. Mamontov A.Yu. Komp'yuternaya programma rascheta parametrov zhivotnovodcheskoy fermy s biostantsiey [Computer program for calculating livestock farm parameters with a biostation] / A.A. Vinogradov, A.Yu. Mamontov, A.V. Kaplin // Industrial Power Engineering. 2016. Issue 5. Pp. 46–49.
6. Izgotovitel' poluprovodnikovyykh elektronnykh komponentov [The manufacturer of semiconductor electronic components] [Electronic resource]. URL: <http://www.atmel.com/images/doc2535.pdf> (reference date 10.02.2016).
7. Belousov A.V., Koshlich Yu.A., Bystrov A.B. Perspektivy primeneniya sovremennykh statisticheskikh i determinirovannykh metodov prognozirovaniya v sistemakh monitoringa energopotrebleniya [Prospects for using modern statistical and deterministic forecasting methods in energy consumption monitoring systems] // Herald of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2012. Issue 4. Pp. 192–196.
8. Proizvoditel' analogovykh i tsifro-analogovykh integral'nykh sistem [The manufacturer of analog and hybrid integrated systems] [Electronic resource]. URL: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf> (reference date 10.02.2016).

Received on March 24, 2016

УДК 621.316

ЛЕЩИНСКАЯ ТАМАРА БОРИСОВНА, докт. техн. наук, профессор¹

E-mail: tamara.leschinskaya@gmail.com

КНЯЗЕВ ВЛАДИМИР ВИКТОРОВИЧ, зам. начальника²

E-mail: knyazev@ftc-energo.ru

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

² Управление перспективного развития ПАО «Федеральный испытательный центр», ул. Беловежская, 4, Москва, 121353, Российская Федерация

РАНЖИРОВАНИЕ ОЧЕРЕДНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 10 кВ

В статье выбраны и обоснованы критерии оценки качества функционирования систем электроснабжения потребителей сельских районов. Критерием оценки надежности электроснабжения принят показатель недоотпуска электроэнергии потребителям из-за вероятных отказов электрооборудования. Показателем качества электроэнергии у потребителей выбраны потери напряжения в распределительных сетях 10 и 0,38 кВ, а в ряде случаев – «неодинаковость» напряжения. Экономическая эффективность оценивается показателем технологических потерь электроэнергии в распределительных сетях, а физическое состояние электрических сетей – коэффициентом износа. В работе проведен анализ параметров и показателей существующих электрических сетей Подмосковья, осуществлен выбор варианта реконструкции ВЛ 10 кВ по многокритериальной модели с учетом неопределенности электрических нагрузок. Решена задача ранжирования очередности проведения реконструкции ВЛ 10 кВ конкретного региона по многокритериальному мультипликативному оценочному функционалу (F). При значении оценочного функционала до 1500 не требуется преобразование электрической сети, при значении более 1500 необходима реконструкция сетей.

Для конкретного региона желательно иметь значение F для сетей, подлежащих реконструкции, расположив их по убыванию F . Самое большое значение F соответствует первой очереди реконструкции.

Ключевые слова: многокритериальная оптимизация, частные критерии оценки, электрические распределительные сети 0,38-10 кВ, оценочный функционал, ранжирование очередности реконструкции.

Введение. Сельские электрические сети сооружались исходя из минимума капитальных вложений, поэтому до сих пор в них встречаются алюминиевые провода малых сечений (А35, А-25), большинство подстанций 10/0,4 кВ одностранформаторные, тупиковые, загруженные всего на 10...20%.

В целом ВЛ 10 кВ протяженны и разветвлены, длина одной ВЛ 10 кВ достигает 50 км и более (даже в Подмосковье). Все это приводит к завышенным потерям электроэнергии и снижению надежности электроснабжения потребителей.

Надежность электроснабжения потребителей оценивается в 70–100 ч перерывов в год (для сравнения: за рубежом этот показатель составляет 7–10 ч/год).

Качество электроэнергии у 50% потребителей не соответствует требованиям ГОСТ по отклонениям напряжения, симметрии напряжения по фазам и другим показателям.

Изношенность ВЛ 10 кВ составляет 70...80%, парк силовых трансформаторов морально и физически устарел, количество новых трансформаторов на подстанциях 10/0,4 кВ не превышает 7%, основное количество подстанций (66,5%) введено в эксплуатацию до 1980 г.; в реальности после ремонта поврежденных трансформаторов они вновь поступают в эксплуатацию.

Продолжается эксплуатация масляных выключателей устаревших конструкций, более 40% из них отработали нормативный срок службы.

Автоматизация распределительных сетей 0,38-10 кВ находится на низком уровне, менее 16% сетей имеют телеуправление. Релейная защита на 98% оснащена электромеханическими реле, около 50% всех устройств защиты и автоматики находятся в эксплуатации более 25 лет, морально и физически устарели.

Таким образом, распределительные сети 10 кВ не отвечают требованиям потребителей к надежности электроснабжения и качеству электроэнергии. Необходима коренная реконструкция этих сетей.

Цель исследований – дать рекомендации по выбору очередности проведения реконструкции сельских электрических сетей напряжением 0,38-10 кВ.

Результаты и обсуждение. Разработана концепция развития сельских электрических сетей, в которой предложен ряд мероприятий и технических решений, направленных на повышение качества функционирования СЭС 0,38-110 кВ [1]. Это преобразование схем ВЛ, строительство разукрупняющих районных трансформаторных подстанций (35-110)/10 кВ, применение нового электрооборудования (выключателей элегазовых, вакуумных, самонесущих изолированных проводов), совершен-

ствование конструкций подстанций 10/0,4; 35/10; 110/10; 110/35/10 кВ, оснащение устройствами телеизмерений, телесигнализации, телеуправления, магистральный принцип построения ВЛ 10 кВ, сокращение длины ВЛ 10 кВ и др.

Учитывая изложенное, можно сделать вывод о необходимости реконструкции и преобразования электрических сетей 0,38-10 кВ. Однако из-за недостаточного финансирования темпы технического перевооружения, реконструкции и нового строительства распределительных сетей снизились начиная с 90-х гг. прошлого столетия, и процесс старения сетевых объектов продолжается.

Суммарная протяженность ВЛ 10 кВ России составляет 1184 тыс. км, ВЛ 0,38 кВ – 826 тыс. км, подстанций 10/0,4 кВ – около 500 тыс. шт., т.е. объем реконструируемых сетей огромен, и возникает проблема ранжирования и очередности проведения реконструкции.

В основу ранжирования положена оценка технического состояния сетей, технико-экономические показатели (потери электроэнергии и др.) и срок нахождения сетей в эксплуатации. Эту задачу целесообразно решать в многокритериальной постановке [2–6], все чаще применяемой при исследовании больших сложных систем, к которым относится и система электроснабжения 0,38-110 кВ [7].

Суть многокритериального выбора состоит в оценке рассматриваемых вариантов по нескольким показателям (критериям), отражающим степень достижения целей функционирования системы, а также в учете неопределенности части исходной информации.

Для анализа технико-экономических показателей СЭС 10-110 кВ рассмотрены сети 10 кВ 45 районных трансформаторных подстанций 110/10; 35/10; 110/35/10 кВ Каширского предприятия электрических сетей.

Расчеты проводились с помощью ПК ТЭРС 10-110 кВ в режимах «Существующая сеть» и «Реконструкция». В результате получены следующие технико-экономические показатели по элементам СЭС (ВЛ 10 кВ, ТП 10/0,4 кВ, РТП (35-110)/10 кВ, ВЛ 35-110 кВ) и на СЭС в целом: потери напряжения, потери электроэнергии, недоотпуск электроэнергии из-за вероятных отказов электрооборудования, издержки на обслуживание, потери электроэнергии, капитальные и текущие ремонты, дисконтированные затраты и др. В режиме «Существующая сеть» применялась замеренная электрическая нагрузка зимних суток.

В качестве частных критериев оценки технико-экономического состояния электрических сетей 10 кВ целесообразно принять показатели качества

электроэнергии, надежности электроснабжения у потребителей, экономической эффективности и физического износа.

Частным критерием оценки качества электроэнергии у потребителей принят показатель потерь напряжения в распределительных сетях 10 кВ.

Надежность электроснабжения оценивалась недоотпуском электроэнергии потребителей из-за вероятных отказов электрооборудования; экономическая эффективность оценивается показателем технологических потерь электроэнергии в распределительных сетях, а физическое состояние электрических сетей – коэффициентом износа, зависящим от числа лет эксплуатации

В таблице 1 приведена информация о параметрах сетей 6 РТП, значения частных критериев оценки и оценочного функционала. Электрическая нагрузка при расчетах бралась по данным замеров зимнего режимного дня (январь 2015 г.).

Коэффициент загрузки трансформаторов на ТП 10/0,4 кВ колеблется от 0,03 до 2,46. В среднем он близок к значениям 0,2...0,3. Длины ВЛ 10 кВ составляют от 1,3 до 73,8 км, а радиусы охвата – от 1,2 до 25,6 км.

Технические потери электроэнергии необоснованно завышены за счет чрезмерных потерь холостого хода в трансформаторах. Процент потерь электроэнергии особенно высок в линиях с небольшой

Таблица 1

Технико-экономические показатели распределительных электрических сетей 10 кВ Каширского ПЭС

№ РТП	$L_{ВЛ10}$, км	$R_{ВЛ10}$, км	S_{max} , кВ·А	$\Delta U_{ВЛ10}$, %	$\Delta W_{ВЛ10} + \Delta W_{ТП}$, %	$\Delta W_{ВЛ10} + \Delta W_{ТП}$, тыс. кВт·ч	$W_{нед}$, тыс. кВт·ч	$F = \prod_{i=1}^n f_i =$
								$= \Delta U \cdot \Delta W \cdot W_{нед} \cdot K_{из}$
№ 233 35/10	6,9	5,9	855	3,2	3,2	93,13	9,5	$2,83 \cdot 10^3$
	24,5	12,9	1473	7,3	4,68	234,5	88,73	$710,8 \cdot 10^3$
	25,6	13,5	1212	1,93	6,42	264,6	70,7	$148,3 \cdot 10^3$
№ 246 № 274 № 321 110/10 35/10	6,9	6,3	1203	7,42	6,47	264,6	131,66	$258,5 \cdot 10^3$
	23,6	12,3	1558	6,49	5,1	269,7	78,6	$137,6 \cdot 10^3$
	6,3	5,6	1723	6,18	6,1	356,0	13,46	$29,6 \cdot 10^3$
	12,9	11,2	2101	8,8	4,44	317,55	28,45	$252,3 \cdot 10^3$
	14,8	9,7	1145	4,11	3,61	140,64	31,77	$18,4 \cdot 10^3$
	3,5	2,8	88,6	0,144	14,05	42,34	0,18	1,09
	3,8	3,3	86	0,12	8,29	24,13	0,55	1,59
22,5	13,1	1298	5,52	4,93	217,7	50,3	$60,4 \cdot 10^3$	
№ 323 № 529 110/35/10	19,1	14,1	204	1,03	10,99	76,2	9,15	718,3
	42,2	30,5	1018	9,84	7,84	271,2	115,3	$307,7 \cdot 10^3$
	13,5	7,9	1379	2,93	4,02	188,4	40,2	$2,3 \cdot 10^3$
	11	9,6	338	1,7	6,3	72,5	6,3	776,5
	35,5	12,8	171	0,2	3,8	21,9	0,8	3,5
	43,7	25,8	1025	8,32	7,08	246,7	140,0	$287,4 \cdot 10^3$
	30	22,5	870	10,0	7,0	207,1	63,2	$130,9 \cdot 10^3$

Обозначения. $L_{ВЛ10}$ – длина ВЛ 10 кВ, км; $R_{ВЛ10}$ – радиус ВЛ 10 кВ, км; S_{max} – мощность головного участка ВЛ 10 кВ, кВ·А; $\Delta U_{ВЛ10}$ – максимальная потеря напряжения в ВЛ 10 кВ, %; $\Delta W_{ВЛ10}$ – технологические потери электро-энергии в ВЛ 10 кВ, тыс. кВт·ч; $\Delta W_{ТП}$ – технологические потери электроэнергии в подстанциях 10/0,4 кВ, тыс. кВт·ч; $\Delta W_{ВЛ10}$, $\Delta W_{ТП}$ – технологические потери электроэнергии в ВЛ 10 и ТП 10/0,4 кВ, %; $W_{нед}$ – недоотпуск электроэнергии из-за вероятных отказов электрооборудования, тыс. кВт·ч.

нагрузкой и составляет 1,8...30,4%. Часто встречаются сечения проводов 35, 50 мм², марка провода А.

Коэффициент износа ВЛ 10 кВ ($K_{из}$) в зависимости от числа лет эксплуатации приведен в таблице 2.

Единый оценочный функционал мультипликативного вида (F) определяется как произведение потерь напряжения, технологических потерь электроэнергии, недоотпуска электроэнергии из-за

вероятных отказов электрооборудования и коэффициента износа:

$$F = \prod_{i=1}^n f_i = \Delta U \cdot \Delta W \cdot W_{нед} \cdot K_{из}$$

В таблице 3 приведено ранжирование очередности реконструкции ВЛ 10 кВ по значению единого оценочного функционала.

Таблица 2

Коэффициент износа линий и подстанций в зависимости от количества лет эксплуатации

Элементы схемы электроснабжения	Количество лет эксплуатации						
	1	5	10	15	20	25	30
ВЛ 10 кВ на опорах:							
деревянных	0,05	0,25	0,05	0,75	1,0	1,25	1,5
железобетонных	0,033	0,165	0,033	0,495	0,66	0,825	0,99
ТП 6-35/0,4 кВ	0,033	0,165	0,033	0,495	0,66	0,825	0,99

Таблица 3

Ранжирование ВЛ 10 кВ по очередности реконструкции

№ ранга	№ РТП	$F = \prod_{i=1}^n f_i = \Delta U \cdot \Delta W \cdot W_{нед} \cdot K_{из}$	S_{max} , кВ·А	$L_{ВЛ10}$, км	$R_{ВЛ10}$, км
1	432	$852 \cdot 10^3$	1290	51,3	24,7
2	525	$788 \cdot 10^3$	1727	35	21
3	233	$710,8 \cdot 10^3$	1473	24,5	12,9
4	563	$544 \cdot 10^3$	1700	73,8	19,3
5	698	$410 \cdot 10^3$	1935	28,1	16,6
6	591	$371 \cdot 10^3$	1352	29,4	20,7
7	529	$307,7 \cdot 10^3$	1018	42,2	30,5
8	529	$287 \cdot 10^3$	1025	43,7	25,8
9	246	$258 \cdot 10^3$	1203	6,9	6,3
10	ТЭЦ 17	$257 \cdot 10^3$	1203	39,9	19,1
11	521	$252 \cdot 10^3$	2101	12,9	11,2
12	572	$222,5 \cdot 10^3$	1204	32,6	23,4
13	580	$214 \cdot 10^3$	1015	47,4	22,5
14	244	$188 \cdot 10^3$	1094	30,7	19,1
12	233	$148 \cdot 10^3$	1212	25,6	13,12
13	591	$143,6 \cdot 10^3$	760	49,9	25,6

№ ранга	№ РТП	$F = \prod_{i=1}^n f_i =$ $= \Delta U \cdot \Delta W \cdot W_{\text{нед}} \cdot K_{\text{из}}$	S_{max} , кВ·А	$L_{\text{ВЛ10}}$, км	$R_{\text{ВЛ10}}$, км
14	246	$137,6 \cdot 10^3$	1558	23,6	12,3
15	529	$131 \cdot 10^3$	870	30	22,5
16	563	$123 \cdot 10^3$	1373	47,9	18,4
17	657	$117,8 \cdot 10^3$	760	43,4	21,8
18	521	$60,4 \cdot 10^3$	1298	22,5	13,1
19	246	$29,6 \cdot 10^3$	1723	6,3	5,6

Выводы

1. Большие значения оценочного функционала означают, что какой-то из параметров, а может, несколько, не соответствуют оптимальным. В частности, длины линий, превышающие 20 км, или мощность на головном участке ВЛ 10 кВ, превышающая 1000...1100 кВ·А. Еще одним показателем, приводящим к большим потерям электроэнергии, является коэффициент загрузки трансформаторов на ТП 10/0,4 кВ, что увеличивает значение оценочного функционала.

2. При значениях оценочного функционала до $1,5 \cdot 10^3$ не требуется преобразование и реконструкция ВЛ 10 кВ.

Если $F > 1,5 \cdot 10^3$, то необходимо далее анализировать параметры и технико-экономические показатели линий и выявлять те из них, которые не соответствуют оптимальным.

В этом случае следует разрабатывать варианты развития (преобразования) сетей, оценивать и выбирать лучший из них по многокритериальной модели с учетом неопределенности исходной информации.

Библиографический список

1. Князев В.В. Развитие распределительного сетевого комплекса. Концепция РОСЭП // Новости электроэнергетики. М., 2006. № 2 (38).

2. Лещинская Т.Б. Применение методов многокритериального выбора при оптимизации систем электроснабжения сельских районов // Электричество. 2003. № 1.

3. Левин М.С., Лещинская Т.Б. Методы теории решений в задачах оптимизации систем электроснабжения: Учебное пособие / Под ред. акад. ВАСХНИЛ И.А. Будзко. М.: ВИПК энерго, 1989. 130 с.

4. Лещинская Т.Б. Методы многокритериальной оптимизации систем электроснабжения сельских районов в условиях неопределенности исходной информации: Научное издание. М.: Агроконсалт, 1998. 147 с.

5. Трухаев Р.И. Модели принятия решений в условиях неопределенности. М.: Наука, 1981. 258 с.

6. Шер А.П. Алгоритмические методы выделения размытых множеств на основе неточечных экспертных оценок // Проблемы управления и теории информации. 1982. Т. II. № 1. С. 41–42.

7. Лещинская Т.Б. Многокритериальная оценка технико-экономического состояния распределительных электрических сетей. М.: МИЭЭ, 2015. 120 с.

Статья поступила 20.05.2016

PRIORITY RANKING OF RECONSTRUCTING RURAL ELECTRIC GRIDS OF 10 KV

TAMARA B. LESHCHINSKAYA, DSc (Eng), Professor¹
E-mail: tamara.leschinskaya@gmail.com

VLADIMIR V. KNYAZEV, Deputy Head²
E-mail: knyazev@ftc-energo.ru

¹ Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Timiryazevskaya str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

² Prospective Development Department of PJSC "Federal Testing Center", Belovezhskaya str., 4, Moscow, 121353, Russian Federation

The paper concerns selecting and justifying criteria for evaluating the functioning quality of power supply systems in rural areas. The criterion for evaluating the reliability of electricity supply is an indicator of electricity under-supply to consumers because of a probability of electrical equipment failure. Serving as indicators of consumed electricity quality are voltage losses in distribution grids of 10 and 0.38 kV, and, in some cases, voltage "dissimilarity". Cost-effectiveness is estimated with an indicator of electricity technological losses in distribution grids, and the physical condition of electric grids with a wear factor. The paper contains an analysis of parameters and performance of existing electric grids in the Moscow region, selection options for the reconstruction of 10 kV OHL using a multiobjective model and taking into account the uncertainty of electrical loads. The authors have solved the problem of priority ranking of the reconstructing 10 kV OHL in a specific region using a multiple criteria multiplicative estimated functional (F). When the estimated functional value is below 1500, no electric grid conversion is required, but with a value of more than 1500 the grids need reconstruction. For a specific region, it is recommended to have a value of F for networks to be reconstructed, placing them according to descending F values. The greatest F value corresponds to the first stage of reconstruction.

Key words: multi-objective optimization, particular assessment criteria, electrical distribution grids of 0,38-10 kV, estimated functional, reconstruction priority ranking.

References

1. Knyazev V.V. Razvitie raspredelitel'nogo setevogo kompleksa. Kontseptsiya ROSEP [The development of the distribution grid facilities. ROSEP Concept] // Electrical Engineering News. M., 2006. Issue 2 (38).
2. Leshchinskaya T.B. Primenenie metodov mnogokriterial'nogo vybora pri optimizatsii sistem elektrosnab-zheniya sel'skikh rayonov [Application of multi-criteria selection methods in optimization of rural power supply systems] // Electricity. 2003. Issue 1.
3. Levin M.S., Leshchinskaya T.B. Metody teorii resheniy v zadachakh optimizatsii sistem elektrosnabzheniya: Uchebnoe posobie [Methods of the theory of solutions for solving problems of power systems optimization: Textbook] / Edited by VASKhNIL Academician I.A. Budzko. M.: VIPK Energiya, 1989. 130 p.
4. Leshchinskaya T.B. Metody mnogokriterial'noy optimizatsii sistem elektrosnabzheniya sel'skikh rayonov v usloviyakh neopredelennosti iskhodnoy informatsii: Nauchnoe izdanie [Methods of multi-criteria optimization of power supply systems in rural areas in conditions of initial information uncertainty: Scientific publication]. M.: Agrokonsalt, 1998. 147 p.
5. Truhayev R.I. Modeli prinjatiya resheniy v usloviyakh neopredelennosti [Models of decision-making under uncertainty]. M.: Nauka, 1981. 258 p.
6. Cher A.P. Algoritmicheskie metody vydeleniya razmytykh mnozhestv na osnove netochechnykh ekspertnykh otsenok [Algorithmic methods of fuzzy sets allocation based on nonpoint expert estimations] // Problems of Management and Information Theory. 1982. Vol. II. Issue 1. Pp. 41–42.
7. Leshchinskaya T.B. Mnogokriterial'naya otsenka tekhniko-ekonomicheskogo sostoyaniya raspredelitel'nykh elektricheskikh setey [Multi-criteria evaluation of technical-and-economic condition of electricity distribution grids]. M.: MIEE, 2015. 120 p.

Received on May 20, 2016