

Анализ условий секционирования воздушных электрических сетей напряжением 6–20 кВ

АБДУРАХМАНОВ А.М., ГЛУШКИН С.В., ШУНТОВ А.В.

Рассмотрены вопросы секционирования воздушных электрических сетей напряжением 6–20 кВ для обеспечения требуемой надежности электроснабжения потребителей. Проанализированы характеристики надежности элементов этих сетей. Показано, что на данном временном отрезке созданы предпосылки к упрощению их структуры. В качестве предпочтительной предложено рассматривать магистральную схему с ответвлениями с подключением от двух географически разнесенных центров питания, секционированную выключателем (реклоузером) в точке токораздела. Повсеместное применение многократного автоматического секционирования схем представляется избыточным решением.

Ключевые слова: электрические сети 6–20 кВ, воздушные линии, надежность, параметр потока отказов, секционирование

Вопросы, связанные с выбором предпочтительной структуры электрических сетей среднего напряжения, были и остаются актуальными и, как известно, определяются в основном принципами организации резервирования подключенных к ним нагрузок, а также взаимного резервирования линий электропередачи. Несмотря на многообразие имеющихся классификационных признаков структуры, в воздушных сетях 6–20 кВ сельскохозяйственных и пригородных районов в качестве основного используется магистральный принцип их построения (рис. 1) [1–4 и др.]. Он предусматривает электроснабжение потребителей от двух независимых географически разнесенных центров питания (ЦП) – подстанций 35–110/6–20 кВ.

Резервирование в схеме на рис. 1,а осуществляется по связи, подключаемой к концу магистрали резервируемой воздушной линии (ВЛ), а в схеме на рис. 1,б – выключателем (реклоузером), устанавли-

ваемым, например, в точке токораздела (идеальный случай, когда эта точка делит линию еще и на равные части по суммарной длине). Нетрудно убедиться, что в пределе и при прочих равных условиях потери мощности и электроэнергии в схеме на рис. 1,а в 4 раза превосходят таковые для схемы на рис. 1,б. Поэтому последняя из них нашла более широкое применение, несмотря на необходимость установки дополнительного коммутационного аппарата.

Требования к надежности схем электрических сетей среднего напряжения рассматривались в [1, 3, 4 и др.]. Так, в [4] регламентировалась допустимая частота и длительность перерывов электроснабжения потребителей различных категорий. В частности, для потребителей 2-й категории частота перерывов нормирована на уровне 2,3 1/год при длительности не более 4 ч, а для потребителей 3-й категории – 3,0 1/год и 24 ч соответственно. На ос-

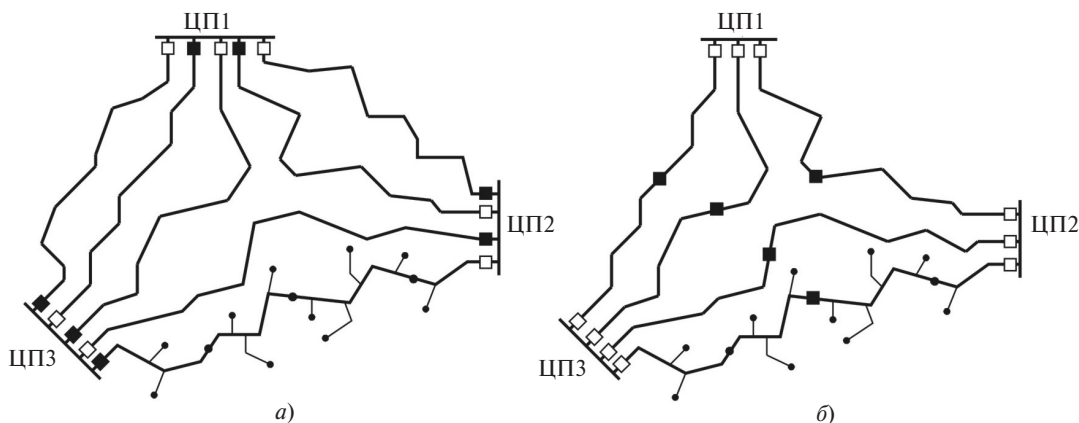


Рис. 1. Магистральные схемы электрических сетей: а – с концевым резервированием; б – с секционированием в точке токораздела: □ – выключатель нормально замкнутый; ■ – выключатель нормально разомкнутый; ● – трансформаторная подстанция 6-20/04 кВ

новании этих ограничений в [4] определены требования к построению сетей и критерии выбора мест установки секционирующих аппаратов. Например, предельная длина участка сети (магистраль с ответвлениями) 10 кВ, ограниченная автоматическим коммутационным аппаратом, не должна превышать 12 км, а ответвления к трансформаторным подстанциям (ТП) 10/0,4 кВ длиной более 2,5 км следует секционировать линейными разъединителями и т.д.

Более поздние рекомендации [5] в некоторой степени повторили указанные ранее требования. Так, длина отходящих от центров питания ВЛ 10 кВ не должна превышать 15–20 км без учета ответвлений; при наличии на магистралях ответвлений рекомендуется для повышения надёжности электроснабжения секционировать магистрали выключателями (реклоузерами); в зависимости от протяжённости ответвлений и их нагрузки они могут быть оборудованы автоматическими коммутационными аппаратами, в том числе реклоузерами. Методики обоснования эффективности секционирования электрических сетей среднего напряжения с учетом фактора надежности и с использованием выключателей (реклоузеров) описаны в [6, 7] и ряде других работ.

Характеристики надежности элементов электрических сетей. При оценке эффективности секционирования сетей во внимание принимают их параметры надежности, в первую очередь – ВЛ, являющихся наиболее повреждаемыми элементами. Параметры надежности ВЛ 6–10 кВ подвергались анализу во множестве работ на протяжении многих десятилетий. И к этой проблематике можно было не возвращаться, если бы не два обстоятельства.

Первое – чрезвычайно широкий диапазон приводимых в литературе значений параметра потока устойчивых отказов ω (точнее – среднего параметра потока отказов или частоты отказов). Например, в [8] $\omega=2\div 20$ 1/(год·100 км), в [9] – 7,64 1/(год·100 км), а в [3, 10, 11] – 21÷25 1/(год·100 км) и даже более [12]. В частности, обоснование эффективности применения реклоузеров выполнено в [6] при $\omega=10$ 1/(год·100 км).

Второе обстоятельство заключается в том, что последние годы в сетях среднего напряжения страны все более широко применяются ВЛ с защищенными проводами (ВЛЗ), т.е. с проводами, имеющими защитную изолирующую оболочку. Они по сравнению с неизолированными проводами имеют известные преимущества с позиций надежности: защищены от схлестывания, обладают высокой механической прочностью, на них практически не образуется гололед и др.

Для уточнения характеристик надежности линий анализу была подвергнута аварийная статистика в воздушных сетях 6–10 кВ одной из наиболее крупных электросетевых компаний европейской части страны [13]. Объем статистической выборки по ВЛ и ВЛЗ за 2015–2017 гг. см. в табл. 1.

Таблица 1

Год	Общая протяженность линий электрической сети 6–10 кВ, км		
	ВЛ	ВЛЗ	Всего
2015	20 033	8 067	28 100
2016	19 437	8 901	28 338
2017	18 708	10 177	28 885

Как видно из табл. 1, каждый год в эксплуатацию вводится около 1000 км ВЛЗ и к настоящему времени их доля достигла примерно одной трети. Ежегодный рост протяженности ВЛЗ заметно превышает увеличение суммарной протяженности сети 6–10 кВ в регионе.

Полученные параметры надежности линий приведены в табл. 2 [13] (где T_B – среднее время восстановления).

Таблица 2

Год	ВЛ		ВЛЗ	
	ω , 1/(год× ×100 км)	T_B , ч	ω , 1/(год× ×100 км)	T_B , ч
2015	2,78	1,86	0,31	3,60
2016	2,25	1,91	0,33	3,33
2017	1,84	2,50	0,30	6,11
2015-2017	2,30	2,04	0,31	4,38

Как видно из табл. 2, частота отказов ВЛ за рассматриваемый период составила всего 2,3 1/(год×100 км). Что касается частоты отказов ВЛЗ, то последние оказались заметно надежнее ВЛ (табл. 2) – 0,31 1/(год·100 км). Таким образом, обоснование технико-экономической эффективности секционирования рассматриваемых электрических сетей на базе серьезных обобщений, но 30–40-летней давности (см. работы [3, 9, 11 и др.]) могут привести к завышенным ожиданиям в области надежности.

Параметры надежности прочих элементов сетей (выключателей, силовых трансформаторов, разъединителей и др.) при оценке эффективности их секционирования в первом приближении могут быть опущены вследствие их несопоставимости с данными табл. 2. Например, частота отказов ячейки с выключателем 6–10 кВ составила по фактическим данным [14] примерно 0,001 – 0,002 1/год, а силовых трансформаторов 6–10/0,4 кВ – 0,0003–

0,001 1/год [15], при том, что последние, как правило, защищены плавкими предохранителями.

Анализ условий секционирования воздушных электрических сетей. Для оценки эффективности секционирования обратимся к интегральным параметрам реальных фрагментов воздушных электрических сетей 6–10 кВ, приведенных в [16] (табл. 3) и имеющих магистральную структуру (рис. 1,б).

Обозначения, принятые в табл. 3: P_{\max} и P_{\min} – наибольшая нагрузка зимнего и летнего дня по результатам замеров 2016 г.; $l_{\text{сум}}$ – суммарная протяженность линий фрагмента (т.е. магистрали и ответвлений); $l_{\text{маг}}$ – протяженность магистрального участка линии между ЦП без учета ответвлений; $\sigma_{\text{нг}}$ – плотность нагрузки; $n_{\text{ТП}}$ – число ТП 10(6)/0,4 кВ во фрагменте сети; $\omega_{\text{ВЛ}}$ и $\omega_{\text{ВЛЗ}}$ – частота отказов присоединения протяженностью $l_{\text{сум}}/2$ (т.е. предполагается, что в схеме на рис. 1,б имеется, по крайней мере, одна точка секционирования) к ЦП с неизолированными и защищенными проводами соответственно.

Как видно из табл. 3, параметры фрагментов весьма разнятся. Были выбраны как примыкающие к границам большого города фрагменты, так и отстоящие от него на 100–150 км, где установлены преимущественно на ответвлениях однострансформаторные ТП столбового и киоскового типов. Значения плотности нагрузки, приведенные в табл. 3,

меняются от 8,2 до 157,3 кВт/км², суммарная протяженность сети – от 26,5 до 107 км, число ТП во фрагменте – от 15 до 110. Расчетное значение $\omega_{\text{ВЛ}}$ (произведение ω из табл. 2 на $l_{\text{сум}}/2$) варьируется в диапазоне от 0,4 до 1,23 1/год при среднем значении в регионе на уровне 0,66 1/год, а $\omega_{\text{ВЛЗ}}$ – 0,05–0,17 1/год при среднем значении 0,09 1/год (табл. 3). Поскольку ВЛ (ВЛЗ) 10 и 20 кВ не имеют принципиальных конструктивных отличий [17], то, надо полагать, с позиций надежности можно говорить о единых подходах к формированию воздушных электрических сетей 6–20 кВ.

При наличии одной точки секционирования фрагмента сети нормально отключенным выключателем (реклоузером) для каждого отдельно взятого присоединения к ЦП полученные значения $\omega_{\text{ВЛ}}$ ($\omega_{\text{ВЛЗ}}$) и известный показатель SAIFI (средняя частота прекращения передачи электроэнергии потребителям [18]), очевидно, будут равны. Причина в том, что любое КЗ на участке от ЦП до секционного аппарата, включая ответвления от магистрали, будет приводить к отключению всех потребителей на данном участке. Оценим приемлемость полученных значений $\omega_{\text{ВЛ}}$ и $\omega_{\text{ВЛЗ}}$.

Как ранее указывалось, при проектировании сетей 6–20 кВ нормировались [4] показатели надежности электроснабжения потребителей (см. выше). Данные нормативы оказались заметно хуже харак-

Таблица 3

Номер фрагмента	P_{\max}/P_{\min} , кВт/кВт	$l_{\text{сум}}$, км	$l_{\text{маг}}$, км	$\sigma_{\text{нг}}$, кВт/км ²	$n_{\text{ТП}}$, шт	$\omega_{\text{ВЛ}}$, 1/год	$\omega_{\text{ВЛЗ}}$, 1/год
1	3138/1642	40,7	19,8	129,1	48	0,46	0,06
2	4751/3168	52,4	19,4	154,3	64	0,60	0,08
3	7358/5816	74,1	32,6	154,3	87	0,85	0,11
4	3609/1929	70,1	21,0	83,2	71	0,81	0,11
5	6646/6072	87,6	43,0	157,3	110	1,01	0,14
6	1781/989	46,9	12,9	57,3	54	0,54	0,07
7	1840/844	42,5	22,5	45,5	44	0,49	0,07
8	2486/1244	36,2	22,0	66,8	38	0,42	0,06
9	2992/1673	62,4	35,8	55,0	47	0,72	0,10
10	3101/2436	75,7	38,3	45,1	67	0,87	0,12
11	2716/1338	26,5	13,8	110,4	20	0,30	0,04
12	2818/1934	54,3	29,6	72,3	60	0,62	0,08
13	1640/1102	64,6	31,0	39,8	57	0,74	0,10
14	1193/618	61,8	41,3	24,8	46	0,71	0,01
15	956/349	50,0	30,9	26,3	33	0,58	0,08
16	297/78	35,0	30,5	8,2	15	0,40	0,05
17	3023/1872	42,3	20,3	117,6	56	0,49	0,07
18	1484/796	107,0	38,5	21,7	68	1,23	0,17
Среднее	2879/1833	57,2	28,0	76,1	54	0,66	0,09

Таблица 4

Страна	Значения SAIFI										
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Германия	0,43	0,31	0,30	0,27	0,24	0,29	0,25	0,46	0,33	0,78	0,49
Греция	–	–	–	–	–	–	1,65	1,50	1,60	1,44	1,42
Дания	–	–	–	–	0,30	0,27	0,30	0,24	0,23	0,26	0,27
Ирландия	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,90	0,80
Италия	1,87	1,71	1,58	1,61	1,47	1,37	1,38	1,28	1,27	1,41	1,20
Латвия	–	–	–	–	–	–	–	2,45	2,12	1,88	2,00
Литва	0,51	0,81	0,68	0,52	0,51	0,64	0,63	0,58	0,52	0,48	0,51
Люксембург	–	–	–	–	–	–	–	0,27	0,22	0,22	0,15
Нидерланды	–	–	–	–	–	–	–	0,20	0,20	0,18	0,17
Норвегия	–	–	–	–	–	–	1,58	2,30	1,59	1,43	1,27
Португалия	2,66	1,98	2,28	2,68	3,02	1,88	1,57	1,70	1,84	1,64	1,68
Румыния	–	–	–	–	–	–	–	6,29	4,80	5,16	6,10
Словения	–	–	1,80	1,50	1,40	1,63	2,16	1,59	1,89	1,45	1,21
Чехия	–	–	1,45	1,82	1,95	1,93	1,87	1,78	1,78	1,57	1,50
Швейцария	–	–	–	–	0,17	0,20	0,22	0,19	0,14	0,17	0,12
Швеция	–	–	–	–	–	–	0,94	1,03	1,02	0,90	0,99

теристик надежности $\omega_{\text{ВЛ}}$ и $\omega_{\text{ВЛЗ}}$ из табл. 3. Таким образом, надежность электроснабжения потребителей за истекшие 30–40 лет заметно возросла.

В табл. 4 для примера приведены отчетные данные по значениям SAIFI в странах ЕС [19] (без учета исключительных событий – стихийных бедствий, крупных системных аварий и др.). К их сравнению следует относиться с определенной осторожностью, так как при расчетах SAIFI в разных странах используется неоднородный набор исходных данных. Другой пример – в сводном отчете [20] за 2006 г. по регионам США приводились значения SAIFI на уровне 1,13–1,59 1/год.

Заключение. На основании изложенного можно сделать следующие выводы. Применение ВЛЗ заметно повышает надежность электроснабжения потребителей ($\omega_{\text{ВЛЗ}} = 0,05 \div 0,17$ 1/год для разнородных фрагментов сети из табл. 3). С указанных позиций в конфигурации на рис. 1,б достаточно иметь всего один узел, секционированный выключателем (реклоузером) в точке токораздела.

Для дополнительного секционирования, например при подключении потребителей 2-й категории, достаточно использовать разъединители или выключатели нарузки.

В принципе аналогичный подход с осторожностью, т.е. с учетом местных условий, можно применить и для ВЛ с неизолированными проводами. Здесь $\omega_{\text{ВЛ}}$ варьируется в диапазоне 0,4–1,23 1/год

(см. табл. 3). Этот диапазон характеристик надежности электроснабжения присутствует в практике ряда промышленно развитых стран и, надо полагать, является в некоторой степени адекватной оценкой. Для сравнения, в существующих фрагментах сетей 6–10 кВ из табл. 3 фактическое число секционирующих выключателей (реклоузеров) находится в диапазоне 9–16, что представляется несколько избыточным.

Таким образом, в настоящее время созданы все предпосылки для максимального упрощения структуры воздушных электрических сетей среднего напряжения, что является благоприятным фактором с позиций унификации схем и параметров рассматриваемой системы массового обслуживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будзко И. А., Гессен В.Ю., Левин М.С. Электроснабжение сельскохозяйственных предприятий и населенных пунктов. М.: Колос, 1975, 287 с.
2. Пелисье Р. Энергетические системы. М.: Высшая школа, 1982, 568 с.
3. Прусс В.Л., Тисленко В.В. Повышение надежности сельских электрических сетей. Л.: Энергоатомиздат, 1989, 208 с.
4. Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства. Методические указания по обеспечению при проектировании нормативных уровней надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей. М.: Минэнерго СССР, 1986, 33 с.
5. СТО 34.01–21.1–001–2017. Распределительные электрические сети напряжением 0,4–110 кВ. Требования к технологическому проектированию [Электрон. ресурс]

https://www.rosseti.ru/investment/standart/corp_standart/doc/СТО_34.01-21.1-001-2017_RSP_04-110kV.pdf (дата обращения 20.02.20).

6. **Максимов Б.К., Воротицкий В.В.** Оценка эффективности автоматического секционирования распределительных сетей 6–10 кВ с применением реклоузеров с целью повышения надежности электроснабжения потребителей – *Электротехника*, 2005, № 10, с. 7–22.

7. **Сазыкин В.Г., Багметов А.А.** Оптимизация электрической сети по показателям надежности SAIDI, SAIFI с использованием платформы PSS[®] SINCAL. – *Промышленная энергетика*, 2019, № 11, с. 2–9.

8. **Рыбаков Л.М., Иванова З.М.** Прогнозирование отказов и планирование резерва и запасных элементов, аппаратов и оборудования распределительных электрических сетей 10 кВ. – *Вестник Чувашского университета*, 2015, № 1, с. 104–110.

9. **Указания** по применению показателей надежности элементов энергосистем и работы энергоблоков с паротурбинными установками. М.: СПО Союзтехэнерго, 1985, 18 с.

10. **Анищенко В.А., Колосова И.В.** Основы надежности систем электроснабжения. Минск: БНТУ, 2007, 151 с.

11. **Федосенко Р.Я.** Эксплуатационная надежность электросетей сельскохозяйственного назначения. М.: Энергия, 1977, 320 с.

12. **Долецкая Л.И., Кавченков В.П., Солопов Р.В.** Оценка эффективности методов повышения надежности распределительных электрических сетей. – *Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ»*, 2015, том 7, № 6 [Электрон. ресурс] <http://naukovedenie.ru/PDF/98TVN615.pdf> (дата обращения 20.02.2020).

13. **Абдурахманов А.М., Глушкин С.В., Шунтов А.В.** О характеристиках надежности воздушных линий 6–10 кВ с неизолированными и защищенными проводами. – *ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение*, 2019, № 1(52), с. 84–87.

14. **Абдурахманов А.М., Глушкин С.В., Шунтов А.В.** О характеристиках надежности ячеек маломасляных и вакуумных выключателей 6–10 кВ. – *ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение*, 2019, № 4(55), с. 84–86.

15. **Абдурахманов А.М., Глушкин С.В., Шунтов А.В.** О характеристиках надежности элементов воздушных электриче-

ских сетей 6–10 кВ. Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Вып. 70. Методические и практические проблемы надежности систем энергетики. Кн. 2/Отв. ред. Н.И. Воропай. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2019, с. 81–89.

16. **Майоров А.В., Осинцев К.А., Шунтов А.В.** О применении номинального напряжения 20 кВ в воздушных электрических сетях. – *Электричество*, 2018, № 9, с. 4–11.

17. **Иванов В.Е.** Разработка технических решений и рекомендаций по переводу действующих сетей 6–10 кВ на напряжение 20 кВ в сельской местности. – *ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение*, 2018, № 4(49), с. 36–41.

18. **Приказ** Минэнерго России от 29.11.2016 №1256 «Об утверждении Методических указаний по расчету уровня надежности и качества поставляемых товаров и оказываемых услуг для организации по управлению единой национальной (общероссийской) электрической сетью и территориальных сетевых организаций».

19. **CEER Benchmarking Report 6.1 on the Continuity of Electricity and Gas Supply.** Ref: C18-EQS-86-03 [Электрон. ресурс] <http://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/963153e6-2f42-78eb-22a4-06f1552dd34c> (дата обращения 20.02.2020).

20. **Tracking the Reliability of the U.S. Electric Power System: An Assessment of Publicly Available Information Reported to State Public Utility Commissions** [Электрон. ресурс] http://www.smartgrid.gov/files/eto_oct_2008.pdf (дата обращения 20.02.2020).

[28.02.2020].

А в т о р ы: **Абдурахманов Абдула Мухтарович** – кандидат техн. наук, советник АО «ОЭК», диссертацию защитил в 2008 г.

Глушкин Сергей Васильевич – аспирант Национального исследовательского университета «Московский энергетический институт» – НИУ «МЭИ».

Шунтов Андрей Вячеславович – доктор техн. наук, главный научный сотрудник НИУ «МЭИ», диссертацию защитил в 2002 г.

Electrichestvo, 2020, No. 8, pp. 17–22

DOI:10.24160/0013-5380-2020-8-17-22

Analyzing the Conditions for Partitioning 6–20 kV Overhead Electric Networks

ABDURAKHMANOV Abdula M. (JSC UNEKO) – Advisor, Cand. Sci. (Eng.)

GLUSHKIN Sergey V. (National Research University «Moscow Power Engineering Institute» (NRU «MPEI»), Moscow, Russia) – Second year postgraduate

SHUNTOV Andrey V. (NRU «MPEI», Moscow, Russia) – Chief researcher, Dr. Sci. (Eng.)

Matters concerned with partitioning 6–20 kV overhead electric networks for ensuring the required reliability of power supply to consumers are considered. The reliability characteristics of the overhead electric network elements are analyzed. It is shown that prerequisites for simplifying their structure have nowadays been set up. A trunk configuration with branches powered from two geographically remote power supply centers and partitioned by a circuit breaker (recloser) at the current separation point is suggested to be considered as the preferred one. The use of multiple automatic partitioning of the circuits seems to be a superfluous solution.

Key words: 6–20 kV electric networks, overhead lines, reliability, failure rate, characteristic, network partitioning

REFERENCES

1. **Budzko I.A., Gessen V.Yu., Levin M.S.** *Elektrosnabzheniye sel'skokhozyaystvennykh predpriyatiy i naseleennykh punktov* (Power supply of agricultural enterprises and settlements). M.: Kolos, 1975, 287 p.
2. **Pelis'ye R.** *Energeticheskiye sistemy* (Energy systems). M.: Vysshaya shkola, 1982, 568 p.
3. **Pruss V.L., Tislenko V.V.** *Povysheniye nadezhnosti sel'skikh elektricheskikh setey* (Improving the reliability of rural electrical networks). L.: Energoatomizdat, 1989, 208 p.
4. **Rukovodyashchiye materialy po proyektirovaniyu elektrosnabzheniya sel'skogo khozyaystva. Metodicheskiye ukazaniya po obespecheniyu pri proyektirovaniy normativnykh urovney nadezhnosti elektrosnabzheniya sel'skokhozyaystvennykh potrebiteley (Guidelines for the design of agricultural power supply. Guidelines for ensuring the design of the standard levels of reliability of power supply to agricultural consumers). M.: Minenergo USSR, 1986, 33 p.**
5. **STO 34.01–21.1–001–2017.** *Raspredelitel'nyye elektricheskkiye seti napryazheniyem 0,4–110 kV. Trebovaniya k tekhnologicheskomu proyektirovaniyu* (STO 34.01-21.1-001-2017. Distribution electrical networks with a voltage of 0.4-110 kV. Requirements for technological design) [Elektron. resourse] https://www.rosseti.ru/investment/standart/corp_standart/doc/CTO_34.01-21.1-001-2017_RSP_04-110kB.pdf (Data of appeal 20.02.20).
6. **Maksimov B.K., Vorotnitskiy V.V.** *Elektrotekhnika – in Russ. (Electrical Engineering)*, 2005, № 10, pp. 7–22.
7. **Sazykin V.G., Bagmetov A.A.** *Promyshlennaya energetika – in Russ. (Industrial Power Engineering)*, 2019, № 11, pp. 2–9.
8. **Rybakov L.M., Ivanova Z.M.** *Vestnik Chuvashskogo universiteta – in Russ. (Bulletin of the Chuvash University)*, 2015, No. 1, pp. 104–110.
9. **Ukazaniya po primeneniyu pokazateley nadezhnosti elementov energosistem i raboty energoblokov s paroturbinnymi ustanovkami** (Instructions on the use of indicators of reliability of power system elements and operation of power units with steam turbine plants). M.: SPO Soyuztekhenenergo, 1985, 18 p.
10. **Anishchenko V.A., Kolosova I.V.** *Osnovy nadezhnosti sistem elektrosnabzheniya* (Fundamentals of the reliability of power supply systems). Minsk: BNTU, 2007, 151 p.
11. **Fedosenko R.Ya.** *Ekspluatatsionnaya nadezhnost' elektrosetey sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya* (Operational reliability of agricultural power grids). M.: Energiya, 1977, 320 p.
12. **Doletskaya L.I., Kavchenkov V.P., Solopov R.V.** *Otsenka effektivnosti metodov povysheniya nadezhnosti raspredelitel'nykh elektricheskikh setey – Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIYE»* (Evaluation of the effectiveness of methods to improve the reliability of distribution electrical networks – Internet magazine «Science»), 2015, vol. 7, No. 6 [Elektron. resourse] <http://naukovedenie.ru/PDF/98TVN615.pdf> (Data of appeal 20.02.2020).
13. **Abdurakhmanov A.M., Glushkin S.V., Shuntov A.V.** *ELEKTROENERGIYA. Peredacha i raspredeleniye – in Russ. (ELECTRICITY. Transmission and distribution)*, 2019, No. 1(52), pp. 84–86.
14. **Abdurakhmanov A.M., Glushkin S.V., Shuntov A.V.** *ELEKTROENERGIYA. Peredacha i raspredeleniye – in Russ. (ELECTRICITY. Transmission and distribution)*, 2019, No. 4(55), pp. 84–86.
15. **Abdurakhmanov A.M., Glushkin S.V., Shuntov A.V.** *O kharakteristikakh nadezhnosti elementov vozdushnykh elektricheskikh setey 6–10 kV. Metodicheskiye voprosy issledovaniya nadezhnosti bol'shikh sistem energetiki. Iss. 70. Metodicheskiye i prakticheskiye problemy nadezhnosti sistem energetiki. Kn. 2/Otv. red. N.I. Voropay* (On the characteristics of the reliability of the elements of overhead electrical networks 6-10 kV. Methodical questions of research of reliability of large power systems. Iss. 70. Methodical and practical problems of reliability of energy systems. Book. 2 / Resp. ed. N.I. Voropay). Irkutsk: ISEM SO RAN, 2019, pp. 81–89.
16. **Mayorov A.V., Osintsev K.A., Shuntov A.V.** *Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)*, 2018, No. 9, pp. 4–11.
17. **Ivanov V.Ye.** *ELEKTROENERGIYA. Peredacha i raspredeleniye. – in Russ. (ELECTRICITY. Transmission and distribution)*, 2018, № 4(49), pp. 36–41.
18. **Prikaz Minenergo Rossii ot 29.11.2016 № 1256 «Ob utverzhenii Metodicheskikh ukazaniy po raschetu urovnya nadezhnosti i kachestva postavlyayemykh tovarov i okazuyemykh uslug dlya organizatsii po upravleniyu yedinoy natsional'noy (obshcherossiyskoy) elektricheskoy set'yu i territorial'nykh setevykh organizatsiy»** (Order of the Ministry of Energy of Russia dated November 29, 2016 No. 1256 «On approval of Methodological guidelines for calculating the level of reliability and quality of supplied goods and services for the organization managing the unified national (All-Russian) electric grid and territorial grid organizations»).
19. **CEER Benchmarking Report 6.1 on the Continuity of Electricity and Gas Supply.** Ref: C18-EQS-86-03 [Electron. resourse] <http://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/963153e6-2f42-78eb-22a4-06f1552dd34c> (Data of appeal 20.02.2020).
20. **Tracking the Reliability of the U.S. Electric Power System: An Assessment of Publicly Available Information Reported to State Public Utility Commissions** [Electron. resourse] http://www.smartgrid.gov/files/eto_oct_2008.pdf (Data of appeal 20.02.2020).

[28.02.2020].