

УДК 621.316.1:658.588

Анализ причин повреждаемости распределительных электрических сетей 10 кВ (на примере Южных электрических сетей города Иркутска)

Наумов И. В.^{1*}, Карпова Е. В.²

¹ Иркутский национальный исследовательский технический университет
664074, ул. Лермонтова 83, г. Иркутск, Россия

² Амурский государственный университет
675027, Игнатьевское шоссе, 21, г. Благовещенск, Россия

Поступила / Received 18.09.2018

Принята к печати / Accepted for publication 20.11.2018

Отключение потребителей электрической энергии от напряжения электрической сети является достаточно частым событием, имеющим широкий спектр последствий. Перерывы в питании могут быть вызваны как случайными событиями, так и плановыми отключениями. Нарушения в системах электроснабжения потребителей ведут к множеству негативных явлений (недоотпуск продукции, массовый брак продукции, выход из строя производственного оборудования), что наносит значительный экономический ущерб. Проведен ретроспективный анализ повреждаемости электрических сетей Правобережного и Левобережного округов г. Иркутска за 2013–2017 гг. При этом использованы данные из диспетчерских журналов наблюдений по событиям отказов, вызванных аварийными повреждениями в Южных электрических сетях. Установлено, что наибольшее количество отключений происходит по таким причинам, как повреждения на подстанциях, повреждения в электрических сетях потребителя, обрыв проводов воздушных и кабельных линий электропередачи, а также повреждения коммутационной аппаратуры. Проанализированы отказы также по причинам, связанными с ветровой нагрузкой, повреждениями на комплектных трансформаторных подстанциях, изоляторах и разрядниках. Представлено процентное соотношение повреждаемости электрических сетей, обусловленных указанными причинами, от общего количества повреждений. Кроме того, выполнен анализ времени перерывов электроснабжения вследствие повреждений отдельных элементов электросетевого оборудования, а также величины недоотпущенной по этим причинам электрической энергии и материальный ущерб от этих отключений, вызванный недоотпуском ЭЭ с учетом средневзвешенных цен на электроэнергию для оптовых потребителей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: отключение потребителей, надежность электроснабжения, время перерыва электроснабжения, недоотпуск электрической энергии

Адрес для переписки:

Наумов И. В.
ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», Институт Энергетики
ул. Лермонтова, 83, 664074, г. Иркутск, Россия
e-mail: professornaumov@list.ru

Для цитирования:

Наумов И. В., Карпова Е. В. Анализ причин повреждаемости распределительных электрических сетей 10 кВ (на примере Южных электрических сетей города Иркутска). Надежность и безопасность энергетики. 2018. – Т. 11, №4. – С. 299–304
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-299-304>

Address for correspondence:

Naumov I. V.
Irkutsk national research technical university, Institute of
Power Engineering
Lermontov str., 83, 664074, Irkutsk, Russian Federation
e-mail: professornaumov@list.ru

For citation:

Naumov I. V., Karpova E. V. [Analysis of causes of failures in 10 kV electrical power distribution networks (on the example of the Southern electrical networks of the city of Irkutsk)]. *Na-dezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry*. 2018, vol. 11, no. 4, pp. 299–304 (in Russian)
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-299-304>

Analysis of causes of failures in 10 kV electrical power distribution networks (on the example of the Southern electrical networks of the city of Irkutsk)

Naumov I. V.^{1*}, Karpova E. V.²

¹ Irkutsk national research technical university Lermontov str., 83
664074, Irkutsk, Russian Federation

² Amur state university, 675027
Ignatyevskoye of highways, 21, Blagoveshchensk, Russia

Disconnection of power consumers from power grids is quite a common event, with a wide range of consequences. Power supply interruptions can be caused by both casual events, and planned shutdowns. Disruptions in systems of power supply of consumers lead to a variety of adverse events (under-delivery of products, large-scale product rejection, failure of production equipment, etc.), which inflicts a significant economic damage. The retrospective analysis of the failure rate of electrical networks of the Right Bank and Left Bank districts of Irkutsk over 2013–2017 has been carried out. The analysis was based on the data from dispatching logs of observations on events of failures caused by emergency damage to the Southern electrical networks. It is established that the greatest number of failures occurs for such reasons as damage at substations, damage to consumer electrical networks, wire breakage in air and cable power lines as well as damage of switching equipment. Failures related to wind load, damage at packaged transformer substations, insulators and surge arresters are also analysed. The percentage rate of failures of electrical power networks caused by specific reasons from the total number of failures is presented. Besides, the analysis is performed of the duration of interruptions of power supply owing to damage of individual elements of power network equipment as well as the amount of electric energy undelivered for these reasons, and financial losses caused by these failures due to under-delivery of electric energy, with the average wholesale electricity prices taken into account.

KEYWORDS: disconnection of consumers; reliability of power supply; power supply interruption time; under-delivery of electric energy

Надежность электроснабжения потребителей является одним из главных условий эффективной работы предприятий. Поэтому мероприятия, связанные с получением детальной информации об основных причинах повреждений, ее анализ и составление на его основе определенных рекомендаций является важным аспектом в повышении уровня надежности электроснабжения потребителей в электрических сетях, системах электроснабжения и, соответственно, в электроэнергетических системах. По оценкам экспертов ущерб от плановых и внеплановых перерывов в поставках электроэнергии в развитых странах в несколько раз превосходит ущерб от стихийных катастроф [1]. Перерывы электроснабжения могут быть вызваны как случайными воздействиями, имеющими внутренний и внешний источники, так и плановыми отключениями, причем при аварийном отключении ущерб существенно выше, чем при плановом. Рассмотрены только аварийные отключения потребителей, так как о времени и длительности планируемых перерывов потребитель извещается электроснабжающей компанией и имеет возможность подготовиться к отключению, тем самым снизив ущерб от перерывов электроснабжения [2, 3].

Целью исследования является анализ перерывов электроснабжения в электрических сетях г. Иркутска и классификация основных причин этих перерывов.

Наиболее повреждаемыми структурами систем электроснабжения являются электрические сети напряжением 6–10 кВ в силу их большой протяженности и

разветвленности. В особенности это касается сельских распределительных электрических сетей указанного класса напряжения. Эти сети часто называют электрическими сетями с низким уровнем наблюдаемости, что в достаточной мере снижает быстродействие и локализацию поврежденных участков при устойчивых аварийных отключениях [4, 5]. Анализ показателей аварийности электрических сетей позволяет выявить ряд особенностей и закономерностей, связанных с условиями их эксплуатации [6]. Большую практическую и научную значимость имеют ежегодные статистические отчеты энергетических компаний, осуществляющих эксплуатацию электрических сетей с разными уровнями напряжения. Воздушные ЛЭП 10 кВ, расположенные в сельской местности, подвержены влиянию множества внешних факторов (природно-климатические, антропогенные и т. д.), снижающих надежность воздушных линий (ВЛ) и приводящих к их отказам и, как следствие, к соответствующему недоотпуску электрической энергии потребителям [5, 7].

В ходе выполнения данной работы проанализированы диспетчерские журналы отключений за 2013–2017, данные о количестве произведенных аварийных отключений сведены в таблицах 1 и 2. На основе произведенного анализа (рисунки 1 и 2) установлено, что наибольшее число перерывов электроснабжения приходится на весенне-летний период (14,1% — май, 10,2% — июнь, 12,9% — июль от общего числа отключений за 2017 г. для Правобережного округа, 13,7% —

Таблица 1. Количество отключений потребителей Правобережного округа за 2013–2017 гг.

Table 1. The number of disconnections of consumers of the Right Bank district in 2013–2017

	2013	2014	2015	2016	2017
Январь (January)	14	45	35	55	49
Февраль (February)	18	36	24	89	52
Март (March)	21	41	37	72	62
Апрель (April)	75	73	64	125	69
Май (May)	50	81	64	89	117
Июнь (June)	85	47	77	44	85
Июль (July)	75	58	92	75	108
Август (August)	48	54	79	118	66
Сентябрь (September)	73	58	63	33	67
Октябрь (October)	51	58	34	84	56
Ноябрь (November)	74	60	53	34	52
Декабрь (December)	57	51	50	27	52

Таблица 2. Количество отключений потребителей Левобережного округа за 2013–2017 гг.

Table 2. The number of disconnections of consumers of the Left Bank district in 2013–2017

	2013	2014	2015	2016	2017
Январь (January)	14	55	36	155	44
Февраль (February)	18	49	28	81	67
Март (March)	21	60	74	49	58
Апрель (April)	75	163	121	106	149
Май (May)	50	96	93	112	131
Июнь (June)	85	93	142	102	120
Июль (July)	75	152	148	120	140
Август (August)	48	126	95	159	112
Сентябрь (September)	73	96	79	65	78
Октябрь (October)	51	70	107	39	62
Ноябрь (November)	74	85	131	21	61
Декабрь (December)	57	63	93	22	61

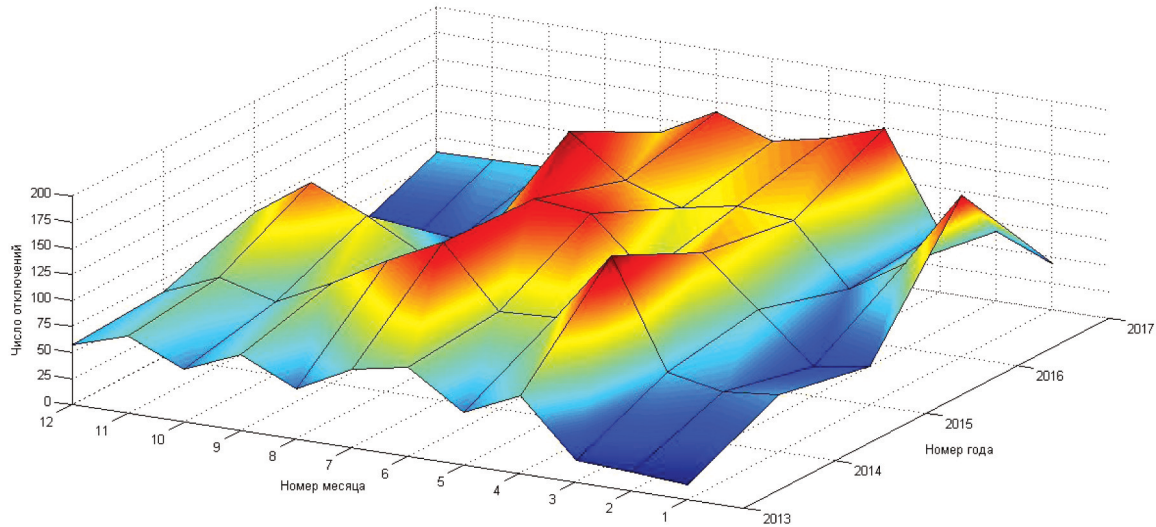


Рисунок 1. Количество отключений потребителей Левобережного округа за 2013–2017 гг.

Figure 1. The number of disconnections of consumers of the Left Bank district in 2013–2017

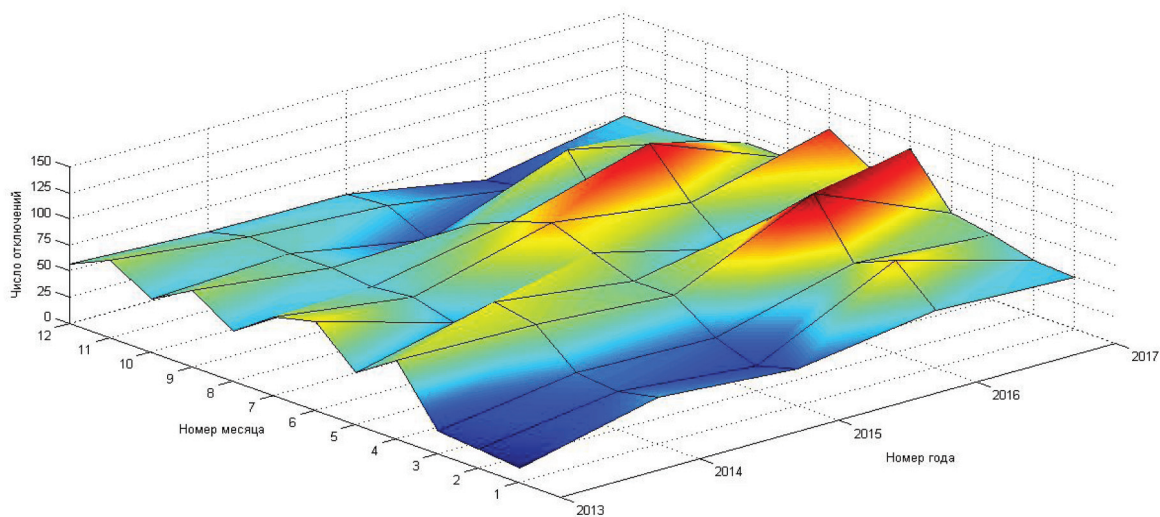


Рисунок 2. Количество отключений потребителей Правобережного округа за 2013–2017 гг.

Figure 2. The number of disconnections of consumers of the Right Bank district in 2013–2017

апрель, 12,1% — май, 11,1% — июнь, 12,9% — июль, 10,3% — август от общего числа отключений за 2017 г. для Левобережного округа).

Проанализируем более детально отдельные причины отключений потребителей Правобережного и Левобережного округов Иркутска за 2013–2017 гг. Наибольшее число отключений приходится на обрыв провода. Из рисунка 3 видно, что наибольшее число отключений по данной причине производится в весенне-летний период, что связано с проведением работ, требующих вскрытия грунта, ведущих к механическому повреждению кабельных линий. Суммарное время перерыва электроснабжения по этой причине составило 2537 часов и 32 минуты в 2013 г., что привело к недоотпуску электроэнергии в размере 1613352 кВт·ч, 2404 часов и 33 минуты и 1231271 кВт·ч в 2014 г., 2008 часов и 34 минуты и 953717 кВт·ч в 2015 г., 1347 часов и 50 минут и 830746 кВт·ч в 2016 г., 1766 часов и 37 минут и 1187551 кВт·ч в 2017 г. За рассматриваемый период было произведено лишь 6 отключений, сопровождавшихся успешным автоматическим повторным включением (АПВ), в то время как ручным повторным включением (РПВ, неуспешным АПВ) сопровождалось 760 отключений (10,61%, 9,21%, 11,01%, 13,49% и 5,87% от общего числа отключений в Правобережном округе

за 2013–2017 гг. соответственно и 7,7%, 9,21%, 6,19%, 6,88% и 8,11% — в Левобережном округе). Все успешные АПВ произведены в весенне-летний период и, вероятно, связаны с кратковременной ветровой нагрузкой [8].

На весенне-летний период приходится основная доля отключений, связанных с ветровой нагрузкой. Всего по этой причине было произведено 18, 29, 21, 48 и 75 отключений за 2013–2017 гг. соответственно. Общая длительность перебоев электроснабжения по этой причине составила более 900 часов, недоотпуск электроэнергии составил около 550 МВт·ч. Отключения, связанные с падением деревьев, тоже преимущественно производились в весенне-летний период (1 — в феврале, 1 — в апреле, 3 — в мае, 2 — в июне, 11 — в июле, 2 — в сентябре и 3 — в октябре 2013 г.), что можно связать с климатической характеристикой Иркутской области (увеличение скорости ветра в это время года).

За рассматриваемый период было произведено 2668 отключений, связанных с повреждениями на трансформаторных подстанциях, повреждениями изоляторов, коммутационной аппаратуры и предохранителей. На рисунке 4 представлена диаграмма, показывающая количество отключений по названным причинам за

2013–2017 гг. Общая длительность перерыва электроснабжения и недоотпуск электроэнергии в 2013 г. составили: из-за повреждений на КТП — 359 часов и 14 минут, 242968 кВт·ч; из-за повреждений изоляторов — 101 час и 4 минуты, 123715 кВт·ч; из-за повреждений коммутационной аппаратуры — 282 часа и 45 минут, 101014 кВт·ч; из-за повреждения предохранителей — 362 часа и 52 минуты, 26376 кВт·ч. В 2017 эти показатели составили: из-за повреждений на КТП — 649 часов и 48 минут, 560143 кВт·ч; из-за повреждений изоляторов — 175 час и 29 минут, 219677 кВт·ч; из-за повреждений коммутационной аппаратуры — 242 часа и 18 минут, 81858 кВт·ч; из-за повреждения предохранителей — 103 часа и 4 минуты, 7332 кВт·ч.

Явно прослеживается увеличение числа отключений, связанных с повреждениями на КТП и повреждениями изоляторов, большое число отключений по данным причинам, вероятно, связано с износом оборудования. Рост износа основных фондов предприятий электрических сетей сопровождается уменьшением финансирования реконструкции и технического перевооружения сетей [9, 10].

С повреждениями в сетях потребителей было связано 1182 отключения:

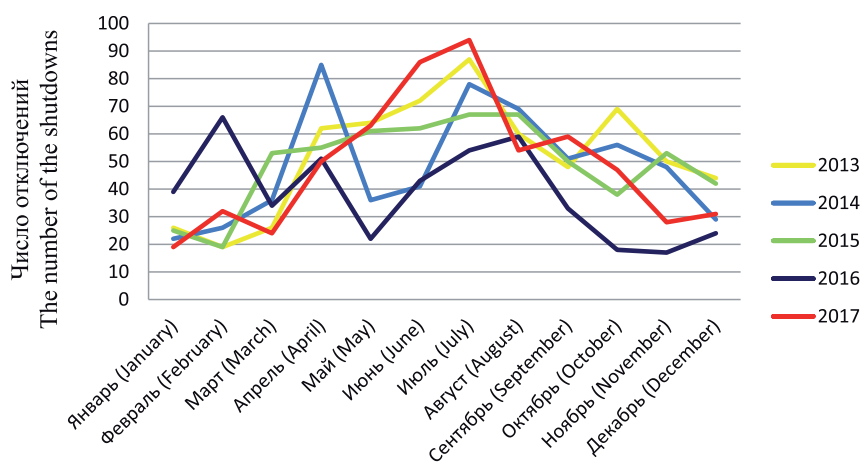


Рисунок 3. Количество отключений, произведенных из-за обрыва проводов
Figure 3. The number of disconnections due to wire breakage

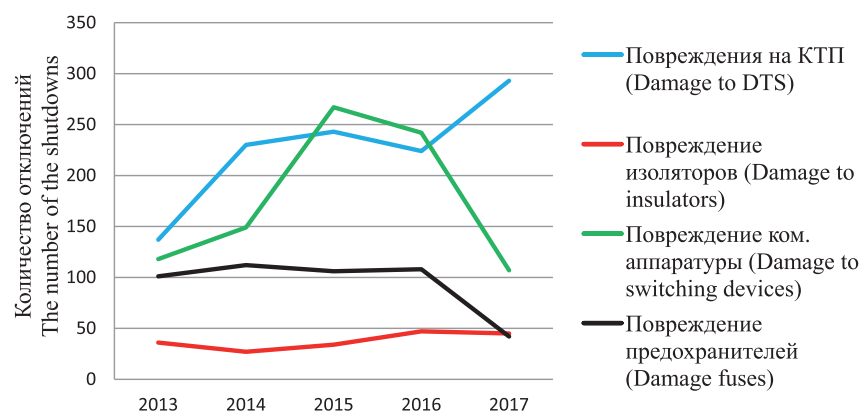


Рисунок 4. Количество отключений, связанных с различными повреждениями оборудования
Figure 4. The number of disconnections related to various damage of equipment

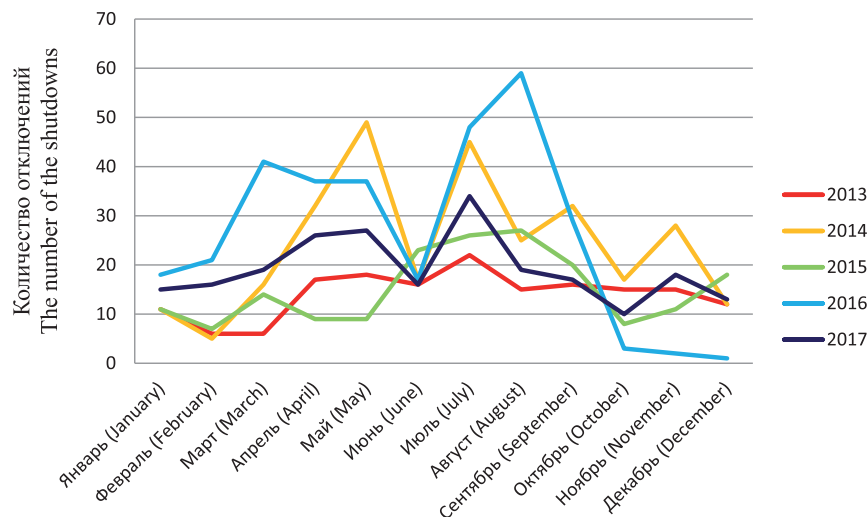


Рисунок 5. Количество отключений, связанных с повреждениями в сетях потребителя
Figure 5. The number of disconnections related to damage in consumer networks

Таблица 3. Сводная таблица отключений за 2013–2017 гг
Table 3. Summary table of disconnections of consumers in 2013–2017

Год (Year)	Количество отключений (Number of shutdowns)	Длительность перерывов электроснабжения, ч (Duration of power supply interruptions, h)	Недоотпуск электроэнергии, кВт·ч (Under-supply of electricity, kWh)	Тариф на электроэнергию, руб/кВт·ч (The electricity tariff, RUR/kWh)	Ущерб от произведенных отключений, млн руб (Damage from shutdowns, million rubles)
2013	1524	4756,08	3132475	0,663	2,077
2014	1770	6100,87	5167943	0,694	3,586
2015	1819	5564,94	2562083	0,995	2,549
2016	1833	3084,98	3251052	0,999	3,248
2017	1884	8132,49	5999827	1,004	6,024

170, 289, 182, 313 и 228 отключений за 2013–2017 гг. соответственно. Из графика, изображенного на рисунке 5, видно, что наибольшее число отключений, связанных с этой причиной, было произведено в мае, июле и августе.

Следует отметить, что за рассмотренный период, по причинам, связанными с неправомерной работой персонала и гибелью животных, было произведено лишь 70 отключений (12 отключений или 0,79% от общего числа отключений в 2013 г., 13 или 0,73%, 20 или 1,09%, 6 или 0,33% и 19 или 1,01% в 2014–2017 гг. соответственно) общей длительностью 202 часа и 29 минут, которые привели к недоотпуску 150874 кВт·ч электроэнергии. Это свидетельствует о достаточно высоком уровне профессионализма работников электрических сетей Правобережного и Левобережного округа Иркутска.

Выводы

В результате проведенного анализа было определено общее число отключений потребителей Правобережного и Левобережного округа Иркутска за 2013–2017 гг., общая продолжительность перерывов электроснабжения и недоотпуск электроэнергии. В таблице 3 приведены указанные данные, а также ущерб

от произведенных отключений с учетом тарифа на электроэнергию для оптовых потребителей за соответствующий год.

Сравнительный анализ причин отключений показал, что наименее надежными элементами электрических сетей являются линии электропередачи, комплектные трансформаторные подстанции, изоляторы и коммутационная аппаратура, что говорит о существенном износе электрооборудования и необходимости реконструкции электрических сетей.

Список использованных источников

1. Вдовин И. В. Установление договорных тарифов на электроэнергию. Вестник Омского университета 2014; (4): 132–138.
2. Гулидов С. С. Организационно-экономические основы формирования электроэнергетической службы на сельскохозяйственных предприятиях: диссертация кандидата экономических наук. Моск. гос. агроинженер. ун-т им. В. П. Горячкина Москва 2013.
3. Карпов В. В., Вдовин И. В. Оценка экономических ущербов коммерческих потребителей с учетом надежности электроснабжения. Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии 2014; (4): 128–135.
4. Карамов Д. Н., Наумов И. В., Пержабинский С. М. Математическое моделирование отказов элементов электрической сети 10 кВ

автономных энергетических систем с возобновляемой распределенной генерацией. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов 2018; (7): 116–130.

5. Захаренко С. Г. Анализ аварийности в электросетевом комплексе. Вестник Кузбасского государственного технического университета 2016; (4): 95–98.

6. Olusuyi K., Oluwol A. S., Adefarati T., Babarinde A. K. A fault analysis of 11 kV distribution system (a case study of ado Ekiti electrical power distributional district. Applied Energy 2017; (185): 158–171.

7. Черкасова Н. И. Методика многокритериальной оценки эффективности функционирования сельских электрических сетей 10–0,4 кВ. Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока 2013; (2): 248–253.

8. Шаулева Н. М., Захарова А. Г., Стариченко Д. К. Влияние погодных-климатических факторов на эксплуатационную надежность распределительных сетей угольных разрезов. Вестник Кузбасского государственного технического университета 2010; (1): 114–116.

9. Орлов П. С. Инженерно-технические мероприятия по повышению надежности электроснабжения объектов строительства. Записки Горного института 2016; (222): 845–851.

10. Виноградов А. В., Пеньков Р. А. Анализ повреждаемости электрооборудования электрических сетей и обоснование мероприятий по повышению надежности электроснабжения потребителей. Вестник Нижегородского государственного инженерно-экономического института 2015; (12): 12–21.

References

1. Vdovin I. V., Establishment of contractual tariffs for electricity. Bulletin of Omsk University 2014; (4): 132–138 (In Russ.).

2. Gulidov S. S. Organizational and economic bases of formation of

electric power service at agricultural enterprises: thesis of candidate of economic Sciences. Mosk. state agricultural engineer. UN-t im. V. P. Goryachkina, Moscow 2013 (In Russ.).

3. Karpov V. V., Vdovin, V. I. assessment of the economic damages to commercial consumers, taking into account the reliability of power supply. Bulletin of the Siberian state automobile and road Academy 2014; (4): 128–135 (In Russ.).

4. Karamov D. N., Naumov I. V., Barabinskiy S. M. Mathematical modelling of failures of elements of electric networks 10 kV of Autonomous power systems with renewable distributed generation. News of Tomsk Polytechnic University. Engineering of geo-resources 2018; (7): 116–130 (In Russ.).

5. Zakharenko S. G. accident Analysis in the power grid complex. Bulletin of Kuzbass state technical University 2016; (4): 95–98.

6. Olusuyi K., Oluwol A. S., T. Adefarati, Babarinde A. K. A fault analysis of 11 kV distribution system (a case study of ado Ekiti electrical power distributional district. Applied Energy 2017; (185): 158–171.

7. Cherkasova N. And. The method of multi-criteria evaluation of the efficiency of rural electrical networks 10–0, 4 kV. Scientific problems of transport in Siberia and the Far East 2013; (2): 248–253 (In Russ.).

8. Shouleva N. M. Zakharov A. G., Starichenko D. K. the Effect of climatic factors on reliability of distribution networks coal mines. Bulletin of Kuzbass state technical University 2010; (1): 114–116 (In Russ.).

9. Orlov P. C. Engineering-technical actions for increase of reliability of power supply of objects of construction. Proceedings of the Mining Institute 2016; (222): 845–851 (In Russ.).

10. Vinogradov A. V., Perkov R., Analysis of electrical equipment damage and justification of measures to improve the reliability of electrical power supply to consumers. Bulletin of Nizhny Novgorod state Institute of engineering and Economics 2015; (12): 12–21 (In Russ.).

