

УДК 624.075.235

## Ресурс опор воздушных линий электропередачи\*

Б.А. УТЕУЛИЕВ<sup>1</sup>, А.Г. ТАРАСОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, аспирант. E-mail: bauka1177@gmail.com

<sup>2</sup> 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, докторант. E-mail: info@electrocorr.ru

В данной работе рассмотрены вопросы, связанные с влиянием климатических воздействий на надежность опор воздушных линий электропередачи. Стихийными явлениями, оказывающими разрушающие усилия на опоры, являются ветровые нагрузки и гололедные отложения. В статье приводится анализ срока службы опор, являющихся уязвимыми по сравнению с другими видами опор. Этот анализ проведен на опыте эксплуатации электрических сетей напряжением 220 кВ и выше казахстанской компанией за период 1999–2013 гг. Также приводятся статистические данные отказов опор, полученные за период 1966–1989 гг. Описаны основные неисправности опор, встречающиеся во время их эксплуатации. Определены параметры потоков отказов опор для северного, западного и южного регионов Казахстана. Для этих регионов определены вероятностные модели отказов опор на ближайшие шесть лет. В заключении представлены результаты работы, выводы об изменении количества отказов, сравнительные показатели параметров потока отказов воздушных линий электропередачи для северного, западного и южного регионов Казахстана. Результаты показали, что параметр потока отказов опор в северном регионе выше, чем в остальных регионах Казахстана, из-за влияния сурового климата. Вероятность превышения климатических нагрузок, принятая в качестве нормативных величин в Правилах устройства электроустановок седьмого издания, соответствует периоду повторяемости нормативных климатических нагрузок один раз в 25 лет.

**Ключевые слова:** опоры, остаточный ресурс, отказы, статистические данные, вероятность безотказной работы, стихийные явления, падения опор, повреждения опор

DOI: 10.17212/1814-1196-2015-2-89-97

## ВВЕДЕНИЕ

Воздушным линиям принадлежит главная роль в работе электрических сетей и надежном электроснабжении потребителей. На долю ВЛ 35...750 кВ приходится значительная часть отказов и отключений электрического оборудования (35...70 %).

В ГОСТ 27.002-89 надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих спо-

---

\* Статья получена 9 июня 2014 г.

способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств.

Исходя из опыта эксплуатации воздушных линий электропередачи, наиболее существенный урон для электрических сетей наносит падение опор из-за воздействия стихийных явлений. По сравнению с металлическими опорами железобетонные более подвержены падению при ветровых нагрузках. Основная причина значительной разницы в повреждаемости между металлическими и железобетонными опорами заключается в сильной зависимости несущей способности последних от качества заделки их в грунте. Часто железобетонные опоры под действием внешних нагрузок приобретают крен. Это создает дополнительный изгибающий момент в стойке опоры, вызванный значительной собственной массой конструкции, способствующий дальнейшему увеличению наклона. В результате этого несущая способность железобетонных опор резко снижается, что приводит к их разрушению.

В статье предлагается проанализировать ресурс железобетонных опор как самых уязвимых из всех видов опор и как трудоемких и дорогостоящих при их замене.

### **1. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ОТКАЗОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР КАЗАХСТАНСКОЙ КОМПАНИИ ЗА ПЕРИОД 1999–2013 гг.**

Для обзора технического состояния железобетонных опор на воздушных линиях электропередачи напряжением 220 кВ и выше приведем примеры дефектов и анализ отказов казахстанской компании.

Всего в компании находится 48 760 железобетонных опор, из них 9259 опор на ВЛ в габаритах 500 кВ, 4344 опор на ВЛ в габаритах 330 кВ и 35 157 опор на ВЛ в габаритах 220 кВ.

За период 1999–2013 гг. в электрических сетях казахстанской компании произошло 25 отказов воздушных линий электропередачи из-за падения железобетонных опор вследствие воздействия стихийных явлений (рис. 1). За указанный период были разрушены 70 железобетонных опор на ВЛ 220 кВ и выше. В данной статистике не приведены отказы, произошедшие по причине воздействия посторонних лиц и связанные с недостатками эксплуатации (недостаточное заглубление железобетонной стойки при ее замене, коррозия анкерных узлов крепления оттяжек).

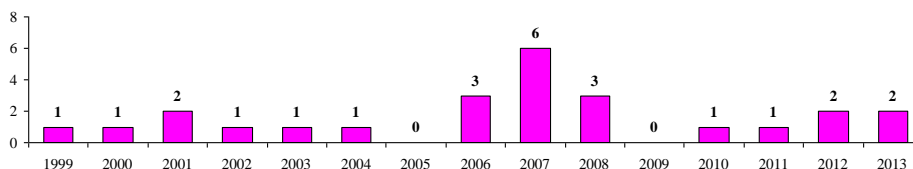


Рис. 1. Количество отказов ВЛ напряжением 220 кВ и выше по причине разрушений железобетонных опор

Параметр потока отказов на 1 км воздушной линии электропередачи определяется по формуле

$$\omega = \frac{m}{L}, \quad (1)$$

где  $m$  – среднее число отказов воздушной линии электропередачи за рассматриваемый период;  $L$  – общая протяженность ВЛ 220 кВ и выше на железобетонных опорах (по трассе), км.

В казахстанской компании электрические сети разделены на три энергетические зоны. Количество отказов по энергетическим зонам приведено в таблице.

**Количество отказов ВЛ 220 кВ и выше за период 1999–2013 гг.**

Энергетическая зона	Число отказов	Количество поврежденных ВЛ	Количество поврежденных опор
Западная зона	6	3	9
Южная зона	7	7	30
Северная зона	12	10	31

Параметр потока отказов воздушных линий электропередачи для энергетических зон определим по формуле (1).

Для западной энергетической зоны

$$\omega_1 = \frac{0,4}{692,3} = 0,00057.$$

Для южной энергетической зоны

$$\omega_2 = \frac{0,47}{802,664} = 0,00058.$$

Для северной энергетической зоны

$$\omega_3 = \frac{0,8}{980,332} = 0,00082.$$

Для Казахстана суммарно

$$\omega = \frac{1,67}{2475,296} = 0,00067.$$

## **2. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ОТКАЗОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР ЗА ПЕРИОД 1966–1989 гг.**

Результаты анализа надежности опор на основе статистических данных, полученных за период с 1966 по 1989 г. в СССР [5], приведены на рис. 2.

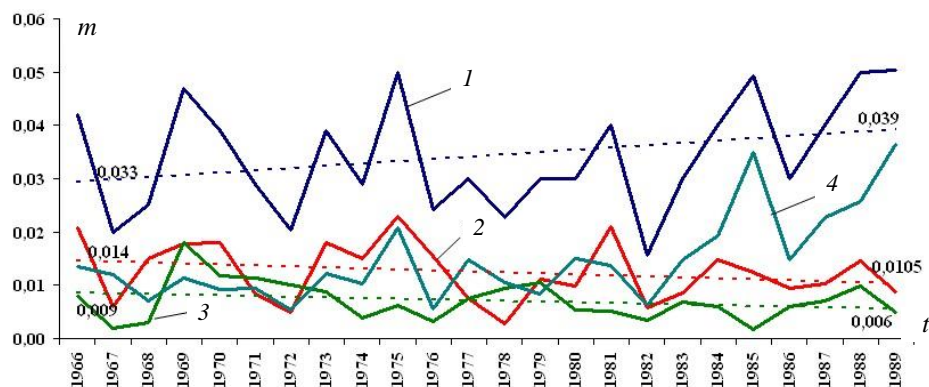


Рис. 2. Изменение удельного числа отказов железобетонных опор с 1966 по 1989 г.:

1 — общее число отказов; 2 — число отказов от расчетных нагрузок; 3 — число отказов от дефектов изготовления и монтажа; 4 — прочие причины отказов (недостатки эксплуатации, изменение свойств материала, наезды транспорта, ледоход, наводнения, оползни)

Как видно на рис. 2, линейная аппроксимация числа отказов от расчетных нагрузок и от дефектов монтажа снижается, но увеличивается линия тренда общего числа отказов.

### 3. ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ ОТКАЗОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР

Основными неисправностями железобетонных опор за время их эксплуатации являлись следующие повреждения, которые перечислены в порядке возрастания по значимости:

1) повреждения в виде сколов поверхности бетона от стрельбы по ним из ружья и сквозные отверстия площадью 10...30 см<sup>2</sup> на теле железобетонной стойки из-за воздействия посторонних лиц. Так как данные повреждения встречаются редко, то останавливаться на них не будем;

2) потеки ржавчины на железобетонных стойках некоторых ВЛ вследствие воздействия атмосферных осадков. Из-за нарушения технологии при изготовлении стоек часть арматуры (обычно длиной до 2 см) оказалась обнаженной и не защищенной слоем бетона. Аналогичные потеки можно обнаружить также на многих воздушных линиях электропередачи в местах соединения с металлоконструкциями (траверсы, тросостойки и др.) в результате коррозии последних;

3) образование трещин, которое имеет массовый характер. Климат Казахстана является резко континентальным, и температура окружающего воздуха может меняться большими перепадами за сутки. Трещины могли образоваться в результате внешних факторов (ветровые нагрузки, температурные воздействия). Также негативное влияние оказывают дополнительные механические нагрузки от гололедообразования на воздушные линии электропередачи;

4) излом железобетонных стоек опор в сетях возникал в результате воздействия сильных ураганных ветров, когда порывы ветра разрушали одну и более рядом стоящие опоры. Срок службы поврежденных воздушных линий

электропередачи составлял от 12 до 47 лет. Падение железобетонных опор обычно случалось на воздушных линиях электропередачи, которые в Советском Союзе проектировались по климатическим условиям повторяемостью один раз в 10 лет. В настоящее время при проектировании новые воздушные линии электропередачи в казахстанской компании рассчитываются по климатическим условиям повторяемостью один раз в 25 лет согласно требованиям действующих ПУЭ.

Отдельно необходимо акцентировать внимание на железобетонные опоры в западном регионе Казахстана, на которые оказывает влияние некоторое количество солей. Соли, осевшие у основания опор, вызывают коррозию бетона при увлажненном грунте. Как отмечает В.М. Москвин, «коррозионные процессы между твердыми агрессивными средами и бетоном возможны только при появлении жидкой фазы или в результате непосредственно увлажнения твердой среды атмосферными осадками, грунтовыми или поверхностными водами» [1]. На железобетонных стойках опор были обнаружены белые налеты в процессе высыхания грунта. Данное явление можно отнести к коррозии I вида, выделенной В.М. Москвиным, где растворенные во влажном грунте соединения, и в первую очередь гидроксид кальция, карбонизируясь и выпадая в осадок в виде карбоната кальция, образовали на поверхности бетона белый налет. Также в этом регионе было замечено повреждение в виде откола защитного слоя бетона в результате коррозии арматуры железобетонной стойки. Железо вступало в химические реакции с иными соединениями, растворенными во влажном грунте, что приводило к нарастанию внутреннего давления в теле бетона и разрушению защитного слоя бетона.

Средняя частота отказов определяется отношением математического ожидания числа отказов за интервал времени  $\Omega$  к продолжительности этого интервала [4]. Так, за рассматриваемый период (1999–2013 гг.) в течение 15 лет произошло 25 отказов железобетонных опор:

$$\lambda = \frac{25}{15} = 1,6667.$$

Для стационарного пуассоновского потока (простейшего) математическое ожидание числа событий в интервале 1999–2013 гг. определяется формулой

$$a = \lambda t. \quad (2)$$

Вероятность безотказной работы при числе отказов  $m = 0$  определяется выражением

$$P(t) = e^{-a}. \quad (3)$$

Построим вероятностную модель отказов железобетонных опор на ближайшие 6 лет для трех энергетических зон и в целом по Казахстану по формулам (2) и (3). Соответственно, значение времени  $t$  будет варьироваться от 1 до 6.

Результаты расчетов показаны на рис. 3.

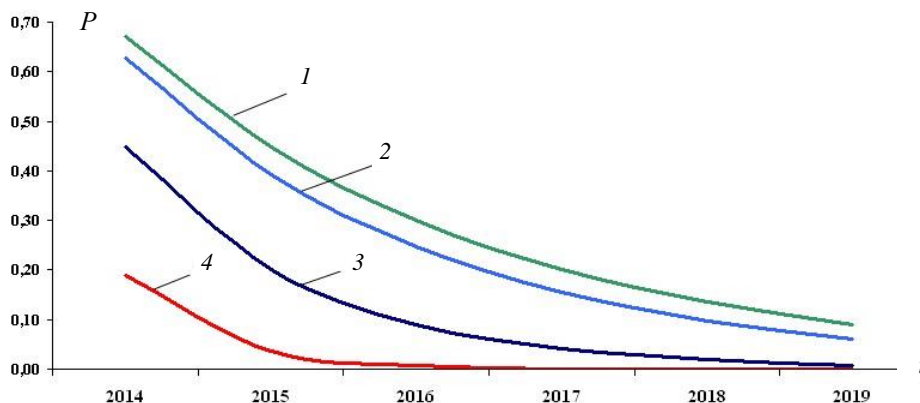


Рис. 3. Зависимость вероятности безотказной работы железобетонных опор от времени для ВЛ Казахстана:

1 – зависимость вероятности безотказной работы для западной энергетической зоны Казахстана; 2 – зависимость вероятности безотказной работы для южной энергетической зоны Казахстана; 3 – зависимость вероятности безотказной работы для северной энергетической зоны Казахстана; 4 – сводная зависимость вероятности безотказной работы для ВЛ Казахстана в целом

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ отказов железобетонных опор казахстанской компании за период 1999–2013 гг. показал, что параметр потоков отказов воздушной линии электропередачи с течением времени уменьшался. В СССР за 1966–1989 гг. он уменьшился с 0,014 до 0,0105. Для казахстанской компании за период 1999–2013 гг. параметр отказов составил 0,0006. Прослеживается тенденция уменьшения количества отказов. Это связано с тем, что начался процесс ремонта и реконструкции ВЛ, и в ПУЭ-7 в качестве нормативных величин принята вероятность непревышения климатических нагрузок 0,96, что соответствует периоду повторяемости нормативных климатических нагрузок один раз в 25 лет, тогда как раньше в ПУЭ-6 в качестве нормативных величин принята вероятность непревышения климатических нагрузок 0,93, что соответствует периоду повторяемости нормативных климатических нагрузок один раз в 15 лет.

Параметр потока отказов воздушной линии электропередачи для северного региона оказался в 1,4 раза выше, чем для южного и западного регионов, потому что большое влияние оказывают гололедно-ветровые нагрузки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гузеев. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
2. Крылов С.В. Техническое состояние воздушных линий 35 кВ и выше. Методы обследования // Новости электротехники. – 2006. – № 1 (37). – С. 60–63.
3. ГОСТ Р 53480–2009. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2010. – 32 с.
4. Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике: учебное пособие для вузов. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1990. – 208 с.

5. Яковлев Л.В., Каверина Р.С., Дубинич Л.А. Комплекс работ и предложений по повышению надежности ВЛ на стадии проектирования и эксплуатации // Третья Российская с международным участием научно-практическая конференция «Линия электропередачи–2008: проектирование, строительство, опыт эксплуатации и научно-технический прогресс», 3–5 июня 2008 г.: сборник докладов. – Новосибирск, 2008. – С. 28–49.
6. Гук Ю.Б. Анализ надежности электроэнергетических установок. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1988. – 224 с.
7. Савоськин Н.Е. Надежность электрических систем: учебное пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. – 102 с.
8. Фокин Ю.А. Вероятностные методы в расчетах надежности электрических систем: учебное пособие для вузов. – М.: МЭИ, 1983. – 216 с.
9. Надежность технических систем / под ред. Ю.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.
10. Шевченко Н.Ю., Лебедева Ю.В., Бахтияров К.Н. Повышение надежности реконструируемых воздушных линий электропередачи // Воздушные линии. – 2012. – № 3 (8). – С. 11–19.
11. Китушин В.Г. Надежность энергетических систем. Ч. 1. Теоретические основы: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 256 с.
12. Петров Г.С., Тарасов А.Г. Предельная механическая прочность железобетонных центрифугированных стоек опор «старых» ВЛ 110–220 кВ // Энергетик. – 2009. – № 5. – С. 38–40.
13. Васильев А.А. Комплексный метод оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в воздушных средах // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2009. – № 1 (22). – С. 101–112.
14. Бортник А.В. Техническое зрение в диагностировании железобетонных опор // Вестник транспорта Поволжья. – 2012. – № 5 (35). – С. 49–54.
15. Гунгер Ю.Р., Чернев В.Т. Диагностика опор и фундаментов ВЛ. Современные методы оценки // Новости электротехники. – 2006. – № 2 (38). – С. 134–136.
16. Пузанов А.В., Улыбин А.В. Методы обследования коррозионного состояния арматуры железобетонных конструкций // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 7 (25). – С. 18–24.
17. Штенгель В.Г. О методах и средствах неразрушающего контроля для обследования эксплуатируемых железобетонных конструкций // В мире неразрушающего контроля. – 2002. – № 2 (16). – С. 12–15.
18. Ботин Г.П., Попонин С.А., Тарасов А.Г. Ультразвуковой контроль состояния железобетонных стоек опор и фундаментов воздушных линий электропередачи // Первая Международная научно-практическая конференция «Линия электропередачи–2004: опыт эксплуатации и научно-технический прогресс», Новосибирск, 20–24 сентября 2004 г.: сборник докладов. – Новосибирск, 2004. – С. 77–84.
19. Assessment of existing overhead line supports / R. Paschen, J. Rogier, D. Hughes, B. Rassineux, J.B.G.F de Silva // Electra. – 2003. – N 207. – P. 19–25.
20. How OHL respond to localized high intensity winds. Basic understanding / G. McClure and others // Electra. – 2008. – N 238. – P. 59–69.

Утеулиев Бауыржан Айдилдаевич, аспирант кафедры учебно-научной лаборатории «Электротехническое материаловедение» Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – оценка остаточного ресурса воздушных линий электропередачи. E-mail: bauka1177@gmail.com

Тарасов Александр Георгиевич, докторант кафедры учебно-научной лаборатории «Электротехническое материаловедение» Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – продление ресурса воздушных линий электропередачи. Имеет более 50 публикаций. E-mail: info@electro-sorg.ru

### *Life time of overhead transmission line supports\**

B.A. UTEULIEV<sup>1</sup>, A.G. TARASOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Novosibirsk State Technical University, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation; postgraduate student. E-mail: bauka1177@gmail.com

<sup>2</sup> Novosibirsk State Technical University, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation; postdoctoral student. E-mail: info@electrocorr.ru

The article discusses issues related to the influence of climate impacts on the reliability of overhead transmission line supports. Natural phenomena that exert breaking forces on supports are wind loads and glaze deposits. The article provides an analysis of the life of supports that are vulnerable compared with other types of supports. This analysis was made based on the experience of operation of 220 kV and higher power grids owned by the Kazakh Company 1999-2013. Statistical data on support failures that happened in the period of 1966-1989 is also provided. The main support failures occurred during their operation are described. The support failure flow parameters are defined for the northern, western and southern regions of Kazakhstan. Probabilistic support failure models for the next six years are shown for these regions. To sum up, the results of the research, conclusions about the change in the number of failures as well as comparative figures of the flow parameters of overhead transmission line failures for the northern, western and southern regions of Kazakhstan are presented. The results showed that the support failure flow parameters in the northern region are higher than in other regions of Kazakhstan due to the effects of the severe climate. The probability of not exceeding climatic loads accepted as normative values in the Rules for Electrical Installations (7th edition) complies with the period of repeatability of standard climatic loads 1 time in 25 years.

**Keywords:** supports, the residual resource, failures, statistic data, probability of no-failure operation, natural phenomena, falling supports, towers damage

DOI: 10.17212/1814-1196-2015-2-89-97

### REFERENCES

1. Moskvina V.M., Ivanov F.M., Alekseev S.N., Guzeev E.A. *Korroziya betona i zhelezobetona, metody ikh zashchity* [Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods for their protection]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1980. 536 p.
2. Krylov S.V. Tekhnicheskoe sostoyanie vozdukhnykh linii 35 kV i vysh. Metody obsledovaniya [Technical condition of 35 kV overhead lines and above. Survey methods]. *Novosti elektrotekhniki – Electrical Engineering News*, 2006, no. 1 (37), pp. 60–63.
3. GOST R 53480–2009. *Nadezhnost' v tekhnike. Terminy i opredeleniya* [State Standard 53480–2009. Dependability in technics. Terms and definitions]. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 32 p.
4. Guk Yu.B. *Teoriya nadezhnosti v elektroenergetike* [Theory of Reliability in Electric Power Industry]. Leningrad, Energoatomizdat Publ., 1990. 208 p.
5. Yakovlev L.V., Kaverina R.S., Dubinich L.A. [Complex of works and proposals on improvement of overhead line reliability at the stage of designing and operation]. *Tret'ya Rossiiskaya s mezhdunarodnym uchastiem nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Liniya elektropredachi–2008: proektirovanie, stroitel'stvo, opyt ekspluatatsii i nauchno-tekhnicheskii progress»: sbornik dokladov* [Collection of Reports of the Third Russian Research and Training Conference with International Participation “Power Transmission Lines 2008: Designing, Construction, Operating Experience and Scientific-Technical Progress”], Novosibirsk, 3–5 June 2008, pp. 28–49.
6. Guk Yu.B. *Analiz nadezhnosti elektroenergeticheskikh ustanovok* [Reliability analysis of power installations]. Leningrad, Energoatomizdat Publ., 1988. 224 p.
7. Savos'kin N.E. *Nadezhnost' elektricheskikh sistem* [Reliability of electrical systems]. Penza, PGU Publ., 2004. 102 p.

---

\* Received 09 June 2014.



8. Fokin Yu.A. *Veroyatnostnye metody v raschetakh nadezhnosti elektricheskikh sistem* [Probabilistic methods in the calculation of the reliability of electric systems]. Moscow, MEI Publ., 1983. 216 p.
9. Ushakov I.A., ed. *Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem* [Reliability of technical systems]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1985. 608 p.
10. Shevchenko N.Yu., Lebedeva Yu.V., Bakhtiarov K.N. Povyshenie nadezhnosti rekonstruiemykh vozdukhnykh linii elektroperedachi [Improving the reliability of reconstruction of overhead power lines]. *Vozdushnye linii – Overhead Lines*, 2012, no. 3 (8), pp. 11–19.
11. Kitushin V.G. *Nadezhnost' energeticheskikh sistem. Ch. I. Teoreticheskie osnovy* [Reliability of power systems. Pt. I. Theoretical basis]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2003. 256 p.
12. Petrov G.S., Tarasov A.G. Predel'naya mekhanicheskaya prochnost' zhelezobetonnykh tsentrifugirovannykh stoek opor «starykh» VL 110–220 kV [Maximum permissible mechanical strength of the reinforced concrete centrifuged pillars of supports at the "old" 110–220 kV OHL]. *Energetik – Energetik*, 2009, no. 5, pp. 38–40.
13. Vasil'ev A.A. Kompleksnyi metod otsenki i prognozirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya zhelezobetonnykh konstruktii, ekspluatiruyushchikhsya v vozdukhnykh sredakh [Complex method of evaluation and forecasting of technical state of ferroconcrete constructions exploited in different air environments]. *Vestnik Belorussko-Rossiiskogo universiteta – Bulletin of Belarusian-Russian University*, 2009, no. 1 (22), pp. 101–112.
14. Bortnik A.V. Tekhnicheskoe zrenie v diagnostirovani zhelezobetonnykh opor [Technical vision to diagnose concrete catenary supports]. *Vestnik transporta Povolzh'ya – News Bulletin of the Volga Region Transport*, 2012, no. 5 (35), pp. 49–54.
15. Gunger Yu.R., Chernov V.T. Diagnostika opor i fundamentov VL. Sovremennye metody otsenki [Supports and foundations diagnostics of overhead transmission lines. Modern methods of estimation]. *Novosti elektrotehniki – Electrical Engineering News*, 2006, no. 2 (38), pp. 134–136.
16. Puzanov A.V., Ulybin A.V. Metody obsledovaniya korrozionnogo sostoyaniya armatury zhelezobetonnykh konstruktii [Test methods of corrosion state of reinforced concrete structures]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal – Magazine of Civil Engineering*, 2011, no. 7 (25), pp. 18–24.
17. Shtengel' V.G. O metodakh i sredstvakh nerazrushayushchego kontrolya dlya obsledovaniya ekspluatiruyemykh zhelezobetonnykh konstruktii [On the methods and means of non-destructive testing for the survey of operated concrete structures]. *V mire nerazrushayushchego kontrolya – Non-destructive Testing World*, 2002, no. 2 (16), pp. 12–15.
18. Botin G.P., Poponin S.A., Tarasov A.G. [Ultrasonic testing of reinforced concrete poles of supports and foundations condition of overhead transmission lines]. *Pervaya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Liniya elektroperedachi–2004: opyt ekspluatatsii i nauchno-tekhnicheskii progress"*: sbornik dokladov [Collection of Reports of the First Russian Research and Training Conference with International Participation "Power Transmission Lines–2004: Operational Experience and Scientific and Technological Progress"], Novosibirsk, 20–24 September 2004, pp. 77–84.
19. Paschen R., Rogier J., Hughes D., Rassineux B., Silva de J.B.G.F. Assessment of existing overhead line supports. *Electra*, 2003, no. 207, pp. 19–25.
20. McClure G. and others. How OHL respond to localized high intensity winds. Basic understanding. *Electra*, 2008, no. 238, pp. 59–69.