

<https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-1-15-23>

УДК 621.311.1

## Анализ эффективности применения композитных опор в электрических сетях Республики Беларусь

М. И. Фурсанов<sup>1)</sup>, П. А. Сазонов<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2019  
Belarusian National Technical University, 2019

**Реферат.** Современные условия развития электроэнергетики повышают требования в области технических условий и надежности, в частности ряд западных стран проводит реструктуризацию электрических сетей на базе безопасных, экологических и надежных композитных опор. В статье проанализированы структура, конструкции и методы сооружения воздушных линий электропередачи с более перспективными, по сравнению с традиционными, композитными опорами. Рассмотрены свойства, основные качества и преимущества материалов для производства опор из стеклопластика и древесины. Сопоставлены преимущества и недостатки композитных и деревянных стоек и показано, что большинству требований, предъявляемых к опорам воздушных линий электропередачи, соответствуют именно композитные опоры. Установлено, что существующие и перспективные решения, позволяющие эффективно применять композитные опоры при сооружении воздушной линии, достаточно разнообразны. В настоящее время в электрических сетях западных стран наиболее распространены конструктивные модели возведения воздушной линии с чередованием композитных и деревянных опор в определенной последовательности. Предложен оптимальный вариант применения композитных опор вместе с деревянными в пропорции: четыре композитные стойки на одну деревянную (метод сооружения «4/1»). Представлены преимущества подобного способа сооружения линии электропередачи: значительное повышение механической прочности конструкции опор и проводов, безопасности их обслуживания. Произведен технико-экономический расчет, который подтверждает преимущество возведения распределительной линии 10 кВ по схеме «4/1». Внедрение композитных опор в электрических сетях Республики Беларусь в долгосрочной перспективе позволит получить ощутимый финансовый эффект за счет сокращения издержек на эксплуатацию воздушной линии и значительного срока эксплуатации композитных стоек, что является несомненным плюсом в условиях современной рыночной экономики.

**Ключевые слова:** электрическая сеть, конструктивное исполнение, композитные опоры, надежность, оптимизация

**Для цитирования:** Фурсанов, М. И. Анализ эффективности применения композитных опор в электрических сетях Республики Беларусь / М. И. Фурсанов, П. А. Сазонов // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2019. Т. 62, № 1. С. 15–23. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-1-15-23>

---

### Адрес для переписки

Фурсанов Михаил Иванович  
Белорусский национальный технический университет  
просп. Независимости, 65/2  
220013, г. Минск, Республика Беларусь  
Тел: +375 17 292-65-82  
elsyst@bntu.by

### Address for correspondence

Fursanov Mishail I.  
Belarusian National Technical University  
65/2 Nezavisimosty Ave.,  
220013, Minsk, Republic of Belarus  
Tel.: +375 17 292-65-82  
elsyst@bntu.by

---

## Analysis of the Efficiency of Composite Supports in Electric Networks of the Republic of Belarus

M. I. Fursanov<sup>1)</sup>, P. A. Sazonov<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

**Abstract.** Modern conditions for the development of the electric power industry increase the requirements in the field of technical conditions and reliability; thus, in a number of Western countries electric networks are being restructured on the basis of safe, environmentally friendly and reliable composite supports. The article analyzes the structure, design and methods of construction of overhead power lines with composite supports that are more promising than traditional ones. The properties, main characteristics and advantages of materials for the production supports of fiberglass and of wood are considered. The advantages and disadvantages of composite and wooden racks are compared and it is shown that most of the requirements for the supports of overhead power lines are met by composite supports. It is discovered that the existing and promising solutions that enable effective use of composite supports in the construction of an overhead line are quite diverse. Currently, in the electrical networks of Western countries, the most common structural model of the construction of an overhead line is the one that alternates composite and wooden supports in a certain sequence. The best option of the use of composite supports along with wood ones is the following ratio: four composite supports to one wooden one (method of construction “4/1”). The advantages of this method of construction of the power line are presented, viz. a significant increase in the mechanical strength of the structure of supports and wires as well as the safety of their maintenance. The results of technical and economic calculation that confirm the advantage of constructing a 10 kV distribution line according to the “4/1” scheme are presented. The implementation of composite supports in the electric networks of the Republic of Belarus in the long term will allow obtaining a tangible financial effect by reducing the cost of operation of the overhead line and because of a significant period of operation of composite racks, which is an undoubted advantage in conditions of the modern market economy.

**Keywords:** electric network, structural design, composite supports, reliability, optimization

**For citation:** Fursanov M. I., Sazonov P. A. (2019) Analysis of the Efficiency of Composite Supports in Electric Networks of the Republic of Belarus. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 62 (1), 15–23. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-1-15-23> (in Russian)

### Введение

Энергетическая отрасль активно развивается, поэтому постоянно возрастают требования, предъявляемые к надежности электроснабжения, что требует разработки и внедрения принципиально новых, соответствующих современным стандартам технических решений. Одна из структур электрических сетей – воздушные линии электропередачи (ВЛЭП). Применение новых технологий при сооружении воздушных линий (ВЛ) – это уменьшение затрат на строительство и эксплуатацию линии: снижение сроков и трудоемкости строительно-монтажных работ, повышение сроков службы, надежности, снижение параметров потока отказов и ущерба от недоотпуска электроэнергии [1–5].

Сооружение высоконадежных воздушных линий электропередачи – приоритетная задача для энергетики любого государства, так как именно от электрических сетей зависит качество продукта, который получают ко-

нечные потребители, и финансовые средства, необходимые для содержания каналов электропередачи [6–10].

В настоящее время для сооружения, эксплуатации и ремонта питающих и распределительных линий электропередачи часто применяются конструкции на базе композитных опор ВЛЭП [6, 7]. Композитные опоры – это строительные конструкции, основным материалом для производства которых являются стеклопластики, предназначенные для удержания проводов и грозозащитных тросов на заданном расстоянии от земли и друг от друга. Стеклопластик – пластичный материал, в основу которого положены стекловолокно (кварцевое или стеклянное волокно) и связующее вещество (термопластические полимеры) [2]. Композитные опоры представляют собой новый тип конструкций, получивший распространение при сооружении и реконструкции воздушных линий электропередачи в США и Канаде (рис. 1) в 2000-е гг. и успешно применяемый в настоящее время. В США композитные опоры часто используются для замены поврежденных или пришедших в негодность традиционных металлических, деревянных опор или их частей.

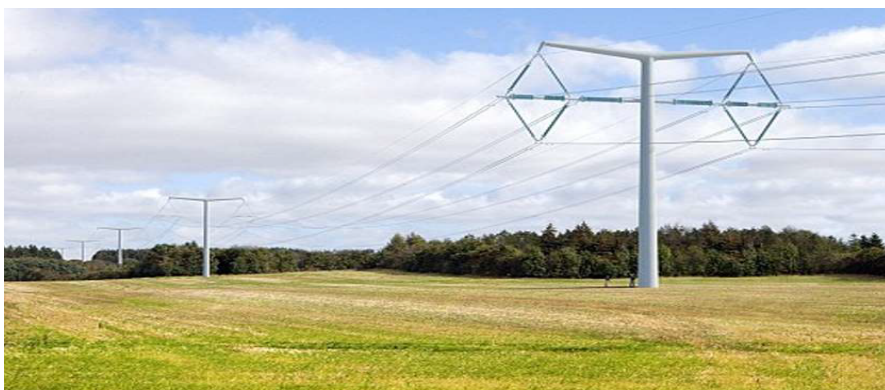


Рис. 1. Линия 110 кВ с применением композитных опор (Канада)

Fig. 1. 110 kV line with the application of the composite supports (Canada)

### Основная часть

Главными преимуществами композитных опор ВЛ являются компактность, легкость, высокая скорость монтажа, позволяющие значительно ускорить восстановление электроснабжения при повреждении или разрушении опор, в том числе и в труднодоступной местности. Электрофизические параметры композитных стоек близки к деревянным, поэтому в распределительных сетях западные энергокомпании используют их для замены деревянных опор.

В развитых странах опоры фирмы RStandard эффективно применяются в сетях среднего напряжения. В [1] авторы показывают достаточность чередования композитных и деревянных опор в определенной последовательности при сооружении воздушных линий электропередачи, что в значительной степени повышает эксплуатационные характеристики линии.

За счет применения как передовых, так и проверенных временем материалов в пропорции четыре композитные опоры на одну деревянную (метод сооружения «4/1») обеспечивается максимально доступная надежность на сегодняшний день при умеренных затратах на сооружение линии.

Повышенные эксплуатационные характеристики композитных опор, по сравнению с традиционными, объясняются свойствами стеклопластика, из которого они изготавливаются. Стеклопластики обладают высокими физико-механическими характеристиками при малой плотности [2, с. 27]. При использовании определенных смол и армирующих материалов можно получить стеклопластики, превосходящие по прочностным характеристикам сплавы цветных металлов и сталь. Физико-механические свойства различных материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Физико-механические свойства различных материалов**  
**Physical and mechanical properties of various materials**

Показатель	Стеклопластик	Железобетон	Сталь	Алюминий
Плотность, т/м <sup>3</sup>	1,6–2,0	2,5	7,8	2,7
Разрушающее напряжение при растяжении, МН/м <sup>2</sup>	410–1180	В 10 раз меньше, чем на сжатие	410–480	80–430
Предел прочности при изгибе, МН/м <sup>2</sup>	690–1240	5,2	400	275
Модуль упругости при растяжении, ГПа	21–41	0,07	210	70
Коэффициент линейного расширения, $\times 10^{-6}$ м/град	5–14	12–15	11–14	22–23
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,30–0,35	1,5–2,0	46	140–190

Механические свойства стеклопластика определяются преимущественно характеристиками наполнителя и прочностью его связи со связующим материалом. Стеклопластики с ориентированно расположенными непрерывными волокнами имеют наибольшие показатели прочности и жесткости. Подобный стеклопластик разделяют на перекрестный и направленный. В первом случае волокна расположены под углом друг к другу, угол может изменяться для регулирования механических характеристик конструкции, во втором – параллельно. В условиях производства стеклопластики хорошо окрашиваются в любой цвет, при использовании стойких красителей могут сохранять его неограниченное время (рис. 2). Также применение стеклопластика позволяет изготовить конструкцию любой формы, что в перспективе может повысить эстетическую составляющую [2, с. 31].

Высокие эксплуатационные характеристики ВЛЭП зависят от достоинств элементов, входящих в нее.

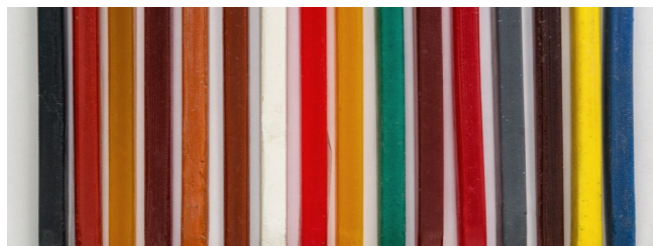


Рис. 2. Окрашенный стеклопластик  
Fig. 2. Colored fiberglass

Преимущества композитных стоек [3]:

- хорошие диэлектрические свойства. По своим изоляционным характеристикам стеклопластиковые опоры практически аналогичны деревянным. Изоляционные свойства материала позволяют применять новые решения по защите линий от грозовых перенапряжений, в том числе основанные на увеличении электрической прочности фазной изоляции;
- малая масса. Композитные опоры имеют вес на порядок меньший, чем традиционные аналоги из железобетона или металла;
- простота хранения, транспортировки. Опора состоит из полых секций, которые можно хранить, транспортировать одна в другой (рис. 3);



Рис. 3. Принцип хранения и транспортировки композитных стоек  
Fig. 3. The principle of storage and transportation of composite racks

- долговечность. Проведенные испытания показали, что срок службы стоек составляет приблизительно 70 лет;
- упругость. Благодаря эластичности (гибкости) стойки выдерживают большие ветровые и гололедные нагрузки. Высокая эластичность композитных конструкций позволяет избежать остаточной деформации;
- минимальное обслуживание. Высокая стабильность материала позволяет эксплуатировать композитные опоры в суровых климатических условиях;
- физические свойства. Композитные опоры не подвержены гниению и коррозии, воздействию птиц (дятлов) и насекомых, обладают высокой огнестойкостью и могут стать абсолютно негорючими, если их покрыть несколькими слоями огнестойкого средства;
- модульная конструкция позволяет изменять высоту опор, используя различное количество и набор модулей, а также применять отдельные мо-

дули в ремонтных работах. Например, компания Southern California Edison использовала отдельные композитные модули для восстановления деревянных опор, сломанных на высоте от 1,5 до 2,4 м над уровнем земли, но по всем остальным параметрам находившихся в прекрасном состоянии;

- упрощение работ по монтажу. Для сооружения линий с применением композитных стоек не требуется тяжелой техники и сложного монтажного оборудования, что ведет к снижению затрат на строительство ВЛЭП;

- экологичность. Токсичные компоненты не применяются при производстве и не выделяются в окружающую среду в процессе эксплуатации.

Использование композитных опор не влечет за собой загрязнения окружающей среды и проблем, подобных тем, которые возникают с пропитанными креозотом деревянными опорами.

Недостаток у композитных стоек один – высокая стоимость. В настоящее время производство подобных опор в Республике Беларусь отсутствует.

Для производства деревянных опор требуемого качества для сооружения воздушных линий электропередачи по методу «4/1» необходимы хвойные породы древесины. Лучшим вариантом по соотношению механические свойства/цена является сосна, пропитанная антисептиками при строгом соблюдении технологии обработки.

Преимущества деревянных стоек [5]:

- простота в обслуживании – электромонтер легко и безопасно поднимается на опору и спускается с нее, что способствует сокращению производственного травматизма и времени на обслуживание ВЛ;

- не требуют бережного обращения (в допустимых, естественно, пределах) при перевозке, разгрузке, складировании, установке в котлованы;

- для увеличения срока службы можно производить дополнительное антисептирование в местах, подверженных более интенсивному гниению: места установки траверс и переходов «земля – воздух»;

- пропитанные антисептиком опоры (без нарушения технологического цикла и технических условий) могут служить 40 лет и более;

- низкая стоимость по сравнению с железобетонными стойками и металлическими аналогами.

Ряд преимуществ деревянных опор аналогичен преимуществам композитных стоек: хорошие диэлектрические свойства, механическая прочность и упругость материала, малый вес, отсутствие эффекта «Домино», когда тяжелая опора, например железобетонная, падает и увлекает за собой все опоры в анкерном пролете. Легкие композитные опоры будут удерживаться на натянутых проводах, что сокращает число аварийных отключений и затраты на ремонт и обслуживание воздушной линии электропередачи.

Применение одной деревянной опоры на четыре композитные при использовании стоек до 14 м позволяет добавить жесткости конструкции в случае значительных вертикальных перегрузок: ураган, ДТП и т. д. Также это значительно снижает капиталовложения в сооружение воздушной линии электропередачи.

Применение композитных опор позволяет уменьшить напряжение в материале провода при гололедной и ветровой нагрузках за счет того,

что опоры «дышат» под механической нагрузкой: работают на изгиб. Чем меньше механическая нагрузка в материале провода, тем больше его срок службы и меньше вероятность обрыва в экстремальных погодных условиях. Систематический расчет провода приведен в табл. 2 для метода сооружения «4/1» и традиционного с применением железобетонных опор. Расчет актуален, если при сооружении линии применять композитные стойки канадского производства (фирмы RStandard).

Таблица 2

**Результаты расчета напряжений в материале и стрелы провеса проводов для воздушных линий, сооруженных методом «4/1» и с применением традиционных железобетонных опор**  
**The results of the calculation of tensions in the material and a sag of a conductor for overhead lines constructed by the “4/1” method using traditional concrete supports**

Марка провода	$L_{\text{габ}}, \text{ м}$	$L_{\text{вес}}, \text{ м}$	$f_{\text{гол}}, \text{ м}$	$f_{\text{ветер}}, \text{ м}$	$f_{+}, \text{ м}$	$f_{-}, \text{ м}$	$\sigma_{\text{гол}}, \text{ даН/мм}^2$	$\sigma_{\text{ветер}}, \text{ даН/мм}^2$	$\sigma_{+}, \text{ даН/мм}^2$	$\sigma_{-}, \text{ даН/мм}^2$
Метод сооружения «4/1»										
СИП-3	94	112	2,90	1,32	2,9	1,11	0,29	0,169	5,95	4,86
АС	73	87	0,23	0,31	0,9	0,17	10,07	7,410	2,55	12,00
Железобетонные опоры										
СИП-3	94	112	2,81	1,29	2,9	1,11	0,310	0,175	5,95	4,86
АС	73	87	0,22	0,30	0,9	0,17	10,775	7,706	2,55	12,00

Цена на композитные опоры выше, чем на традиционные. Высокую цену компенсируют низкие издержки при эксплуатации ВЛ: уход за механической частью не требуется, необходимо обслуживать исключительно трассу. Переход к подобной схеме можно производить постепенно, заменяя поврежденные железобетонные опоры на композитные.

Как известно, срок службы железобетонных опор 20–25 лет, причем гарантия на подобные опоры не распространяется. У композитных опор заявленный заводом-изготовителем срок службы составляет 100 лет. Поэтому введем такую экономическую характеристику, как средний показатель себестоимости. Средний показатель себестоимости проекта – это отношение капитальных затрат в сооружение линии к ее сроку эксплуатации

$$P_{\text{п}} = \frac{K}{T},$$

где  $P_{\text{п}}$  – средний показатель себестоимости проекта, бел. руб./год;  $K$  – капиталовложения в сооружение линии электропередачи, бел. руб.;  $T$  – срок эксплуатации линии, лет.

Технико-экономические показатели для линии 10 кВ протяженностью 34,1 км, сооруженной по методу «4/1» с применением композитных и деревянных опор, а также для аналогичной линии, сооруженной с применением традиционных железобетонных опор, приведены в табл. 3.

Оба варианта сооружения электрической сети имеют положительный показатель рентабельности и чистый дисконтированный доход, что свидетельствует об экономической целесообразности сооружения воздушной

линии электропередачи по двум схемам. Однако традиционные показатели у схемы с применением железобетонных опор несколько выше. Это объясняется стремлением окупить линию как можно быстрее. Если учитывать долгосрочную перспективу (композитные опоры имеют срок службы, заявленный заводом-изготовителем, в пять раз больше, чем железобетонные), также стоит принимать во внимание значительно меньшие издержки на техническое обслуживание линии с композитными и деревянными стойками с учетом, что стоимость проекта на композитных стойках больше в 1,784 раза.

Таблица 3

**Технико-экономические показатели линии электропередачи**  
**Technical and economic indicators of the power transmission line**

Показатель	Метод сооружения «4/1»	Железобетонные опоры
Капитальные затраты на закупку опор воздушной линии, в том числе стоимость проводов, бел. руб.	889989,92	380756,19
Затраты на сооружение линии, бел. руб.	120750	185850
Ежегодные издержки, бел. руб.	16318,32	12482,70
Приведенные затраты, бел. руб.	238815,80	107671,74
Себестоимость передачи электроэнергии, бел. руб./кВт·ч	0,000475	0,000363
Удельные капитальные затраты, бел. руб./кВт	119,493	51,121
Чистый дисконтированный доход	13079,592	32762,386
Рентабельность	1,0183	1,107
Средний показатель себестоимости, бел. руб./год	549,30	2299,53
Продолжительность строительства, дни	115	177

Расчет введенного среднего показателя себестоимости свидетельствует о том, что эксплуатация и последующая амортизация сети с композитными опорами в течение всего срока службы стоек гораздо выгоднее, чем в случае с железобетонными стойками: 549,30 против 2299,53 бел. руб./год.

Схема «4/1» повышает надежность механической части воздушной линии электропередачи и электроснабжения потребителей в тяжелых погодных условиях, сокращает издержки на эксплуатацию. Также предлагаемая конструкция позволяет значительно ускорить возведение ВЛ. При возможном повреждении стоек линия может продолжать функционирование в нормальном режиме до устранения бригадой электромонтеров дефектов. Позволяет обеспечить надежное электроснабжение потребителя при актах вандализма на линии за счет применения деревянных опор.

На основании положительного опыта выполнения конструкторских работ западных специалистов, а также опыта использования композитных опор можно судить о необходимости внедрения схем с применением композитных опор и в Беларуси.

### ВЫВОД

Предлагаемый метод сооружения воздушных линий электропередачи может быть применен в электрических сетях Республики Беларусь как для возведения новых воздушных линий, так и для ремонта поврежденных



участков трасс линий. Внедрение этого метода снизит показатель потока отказов и ущерба от недоотпуска электроэнергии, соответственно повысит надежность электроснабжения потребителей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Колтарп, С. Стоя в полный рост наперекор погоде. Суровая погода подтверждает решение сетевой компании установить стеклопластиковые опоры / С. Колтарп, Т. Вайд // Воздушные линии. 2015. № 1. С. 60–64.
2. Преображенский, А. И. Стеклопластики – свойства, применение, технологии / А. И. Преображенский // Главный механик. 2010. № 5. С. 27–36.
3. Боков, Г. С. Распределительные электрические сети. Оптимизация технологических и технических условий развития / Г. С. Боков, А. Н. Жулев // Новости электротехники. 2012. Вып. 76. С. 22–25.
4. Перельгин, Л. М. Древоисоведение / Л. М. Перельгин. М.: Лесная промышленность, 1971. 82 с.
5. Бирюков, Н. П. Опоры для воздушных линий 0,4–10 кВ. Мнение эксплуатационника / Н. П. Бирюков // Новости электротехники. 2003. Вып. 24. С. 57–59.
6. Дубина, А. А. Новые конструкции полимерных стоек для опор ВЛ в РФ и Украине / А. А. Дубина // Воздушные линии. 2011. № 3. С. 27–31.
7. Бочаров, Ю. Н. К вопросу о композитных опорах воздушных линий / Ю. Н. Бочаров, В. В. Жук // Труды Кольского научного центра РАН. Энергетика. 2012. Вып. 4–1. С. 78–85.
8. Файбисович, Д. Л. Справочник по проектированию электрических сетей / Д. Л. Файбисович, И. Г. Карапетян, И. М. Шапиро. М.: ЭНАС, 1985. 303 с.
9. Готвянский, В. В. Типовые технологические карты на установку свободностоящих порталных промежуточных опор типа ПБ 330-7Н, ПБ 500-5Н и ПБ 500-7Н и модификации базовой конструкции / В. В. Готвянский // Воздушные линии. 2011. № 3. С. 16–18.
10. Крюков, К. П. Конструкции и механический расчет линий электропередачи / К. П. Крюков, Б. П. Новгородцев. Л.: Энергия, 1979. 312 с.

Поступила 28.05.2018 Подписана в печать 11.09.2018 Опубликована онлайн 30.01.2019

## REFERENCES

1. Koltarp S., Waid T. (2015) Standing Tall Against the Weather. Severe Weather Justifies the Decision of the Network Company to Install Fiberglass Poles. *Vozdushnye Liniiii* [Overhead Lines], (1), 60–64 (in Russian).
2. Preobrazhenskii A. N. (2010) Fiberglass: Properties, Applications, Technologies. *Glavnyi Mekhanik = Chief Mechanical Engineer*, (5), 27–36 (in Russian).
3. Bokov G. S., Zhulev A. N. (2012) Distribution Electrical Networks. Optimization of Technological and Technical Conditions of Development. *Novosti Elektrotekhniki = Electrical Engineering News*, (76), 22–25 (in Russian).
4. Perelygin L. M. (1971) *Wood Science*. Moscow, Lesnaya Promyshlennost' Publ. 82 (in Russian).
5. Biryukov N. P. (2003) Supports for Overhead Lines of 0.4–10 kV. Operator's Opinion. *Novosti Elektrotekhniki = Electrical Engineering News*, (24), 57–59 (in Russian).
6. Dubina A. A. (2011) *New Designs of Polymeric Racks for Poles of Overhead Lines in the Russian Federation and Ukraine*. *Vozdushnye Liniiii* [Overhead Lines], (3), 27–31 (in Russian).
7. Bocharov Yu. N., Zhuk V. V. (2012) *Towards the Problem of Composite Overhead Line Supports*. *Trudy Kol'skogo Nauchnogo Tsentra RAN. Energetika* [Proceedings of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering], (4–1), 78–85 (in Russian)
8. Faibisovich D. L., Karapetyan I. G., Shapiro I. M. (1985) *Reference Book for the Design of Electrical Networks*. Moscow, ENAS Publ. 303 (in Russian).
9. Gotvyanskii V. V. (2011) Typical Process Charts for the Installation of Free-Bearing Portal Intermediate Supports of PB 330-7H, PB 500-5N and PB 500-7H Type as Well as the Modification of the Basic Structure. *Vozdushnye Liniiii* [Overhead Lines], (3), 16–18 (in Russian).
10. Kryukov K. P., Novgorodtsev B. P. (1979) *Constructions and Mechanical Calculation of Power Lines*. Leningrad, Energiya Publ. 312 (in Russian).

Received: 28 May 2018 Accepted: 11 September 2018 Published online: 30 January 2019