

УДК 624.075.235

Работоспособность опор контактной сети на высокоскоростных железнодорожных магистралях

В. В. Веселов

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: *Веселов В. В.* Работоспособность опор контактной сети на высокоскоростных железнодорожных магистралях // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2022. — Т. 19. — Вып. 4. — С. 847–855. DOI: 10.20295/1815-588X-2022-4-847-855

Аннотация

Цель: Выполнить анализ работоспособности отдельно стоящих железобетонных опор контактной сети в условиях высокоскоростных железнодорожных магистралей, разработать мероприятия и конструктивные решения опор повышенной надежности и долговечности. **Методы:** Анализ типовых конструктивных решений по ГОСТ 19330—99 с учетом опыта их эксплуатации, применение численных методов расчета с привлечением расчетных программ. **Результаты:** Проанализированы недостатки применяемых конструкций опор контактной сети на железных дорогах с применением стали и железобетона. Выполнены расчеты несущей способности и жесткости типовых железобетонных опор по ГОСТ 19330—99 с применением вычислительного комплекса SCAD на действие актуальных климатических и эксплуатационных нагрузок, в том числе от ветрового давления при движении высокоскоростных составов со скоростью движения 300 км/ч. Разработана конструкция инновационной опоры, включающей стойку из железобетона, фибробетона или стали, на железобетонном фундаменте, объединенную методом безвыверочного монтажа для обеспечения герметичности соединяемых частей конструкций. **Практическая значимость:** Выявлены резервы работоспособности типовых отдельно стоящих железобетонных опор контактной сети в условиях высокоскоростной железнодорожной магистрали Санкт-Петербург — Москва по проектным материалам. Установлена возможность восприятия опорами давления от ветрового потока при движении поездов со скоростью 300 км/ч. Предложены применение инновационной комбинированной сталебетонной конструкции опоры контактной сети и способы ее монтажа. Использование нового способа монтажа и конструкции опоры позволит снизить трудоемкость ее монтажа, а также повысить надежность и долговечность опоры в изменяющихся условиях эксплуатации.

Ключевые слова: Опора контактной сети, железобетонная конструкция, сталебетон, монтаж, надежность, долговечность.

Введение

Неотъемлемой частью инфраструктуры железных дорог являются опоры контактной сети, которые могут быть выполнены в железобетонных

или металлических конструкциях. Железобетонные опоры чаще всего применяются в качестве промежуточных, переходных и анкерных консольных опор, а также в качестве фиксирующих,

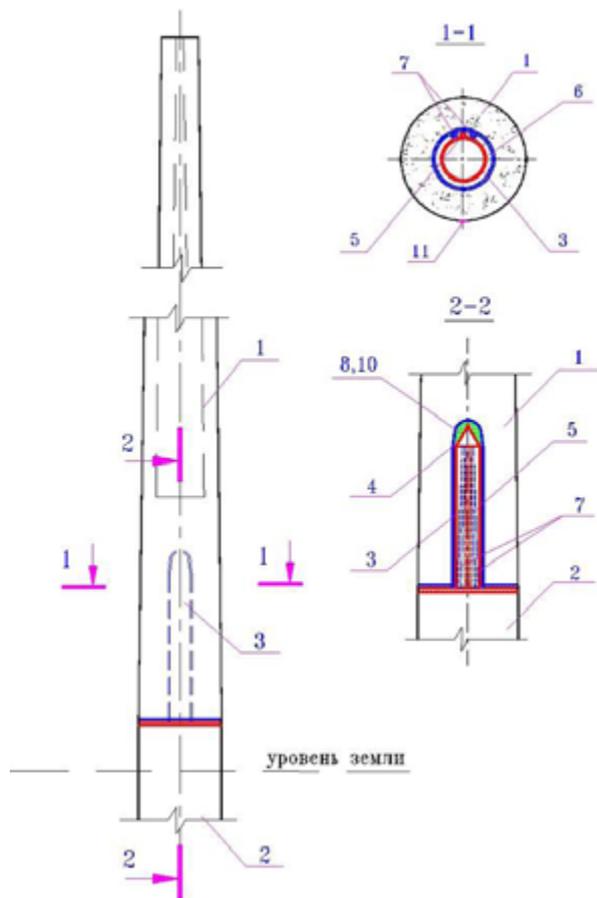


Рис. 1. Общий вид опоры:
 1 — стойка; 2 — фундамент;
 3 — фиксатор; 4 — конусообразный оголовок; 5 — направляющий линейный выступ; 6 — полость;
 7 — парные наклонные направляющие;
 8 — монтажный контейнер;
 9 — герметичная оболочка;
 10 — затвердевающий клеевой состав;
 11 — риски

фидерных, специальных опор и стоек жестких поперечин [1]. Такие опоры, как правило, представляют собой сборные полые цилиндрические стойки, замоноличиваемые в стаканы столбчатых фундаментов. Металлические опоры используют в основном для гибких поперечин, двухпутных консолей и анкерных самонесущих (без оттяжек) опор, а иногда в качестве консольных промежуточных, переходных, анкерных, фиксирующих, фидерных и других назначений. Такие опоры,

как правило, состоят из стоек сквозного сечения, прикрепляемых анкерными болтами или сваркой к закладным деталям фундаментов. Основными проблемами опор контактной сети при монтаже и эксплуатации являются: трудоемкость установки и коррозионный износ опорных частей, как металлических, так и железобетонных опор [2, 3]. Для решения данных проблем разрабатываются новые конструкции опор [4]. Общим недостатком предлагаемых технических решений является, как правило, повышенная трудоемкость монтажа стойки, а также пониженная долговечность узла соединения стойки с фундаментом, что обусловлено недостаточностью конструктивной защиты элементов узла от атмосферных воздействий в условиях эксплуатации на открытом воздухе. Дополнительные проблемы объективного характера заключаются в изменении климата, что фиксируется нормами по нагрузкам и воздействиям в СП 20.13330.2016, а также в увеличении эксплуатационных нагрузок, вызванных изменением скоростного режима движения поездов [5]. Данные обстоятельства требуют исследования несущей способности существующих опор контактной сети и разработки новых, более рациональных конструктивных решений, обладающих достаточной работоспособностью в изменяющихся условиях эксплуатации.

Практическое применение и результаты

На кафедре «Строительные конструкции, здания и сооружения» разработана новая конструкция опоры, включающая стойку из железобетона, фибробетона или стали, на железобетонном фундаменте, в верхней части которого расположен фиксатор из железобетона, фибробетона или стали, снабженный конусообразным оголовком и имеющий направляющий линейный выступ, ориентированный вдоль оси стойки, которая в нижней части имеет полость с парными наклонными направляющими, расходящимися вниз (рис. 1).

В верхней части полости закреплен монтажный контейнер, включающий герметичную оболочку, например, из тонкого металлического листа, листа пластмассы, полимерной пленки, заполненную затвердевающим клеевым составом. При этом высота фиксатора с конусообразным оголовком превышает расстояние между низом стойки и низом герметичной оболочки монтажного контейнера. На наружных поверхностях стойки и фундамента в зоне их примыкания нанесены риски, совмещаемые при монтаже. Такое решение опоры, запатентованное при участии автора [6], позволит снизить трудоемкости монтажа опоры, а также повысить ее долговечность [7].

В качестве дальнейшего развития опор контактной сети в части совершенствования конструкции их поперечных сечений с целью повышения несущей способности, надежности и долговечности могут быть использованы комбинированные конструкции опор — сталебетонные, состоящие из стальной оболочки переменного сечения с перфорациями, заполненной бетоном. Данное конструктивное решение также запатентовано при участии автора [8] и позволяет использовать достоинства стальных и железобетонных конструкций при компенсации их недостатков.

Для эффективного восприятия ветрового воздействия опорами (минимизации давления ветра), особенно в условиях высокоскоростных магистралей [9], важное значение имеет форма поперечного сечения стоек. С точки зрения аэродинамики форма стоек должна стремиться к круглому очертанию, что характерно для железобетонных опор.

Был выполнен анализ работоспособности (несущей способности и жесткости) железобетонных опор контактной сети на проектируемом высокоскоростном участке Октябрьской железной дороги Санкт-Петербург — Москва. Опоры контактной сети на этом участке дороги запро-

ектированы в основном в соответствии с ГОСТ 19330—99 «Стойки железобетонные для опор контактной сети железных дорог. Технические условия».

Исследуемые опоры состоят из столбчатых фундаментов и стоек, установлены с переменным шагом до 65 м (рис. 2). Конструкция стоек — железобетонные, предварительно напряженные, конические, кольцевого сечения, изготовлены из тяжелого бетона методом центрифугирования, марки установленных опор в основном ССА 100.6-3 по ГОСТ 19330—99.

Стойки выполнены из бетона марки по водонепроницаемости не ниже W8, по морозостойкости не ниже F150, класса по прочности B40 и армированы стержневой арматурой класса А-V. Стойки марки ССА 100.6-3 имеют параметры: длину — $L = 10$ м, диаметр по низу — $D_{\text{н}} = 435$ мм, по верху — $D_{\text{в}} = 290$ мм, толщину стенки — $t = 60$ мм, масса стоек — $m = 1,44$ т, несущая способность стоек по нормативному изгибающему моменту в соответствии с ГОСТ 19330—99 составляет $[M_{\text{н}}] = 8$ тсм (по нижнему сечению стойки). На стойках имеются кронштейны с подвешенными проводами и кабелями (рис. 2).

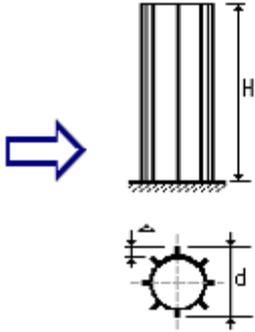
Нагрузками на стойку опоры являются:

- постоянные вертикальные нагрузки от массы стоек и навешенного оборудования (металлические кронштейны с проводами и тросами);
- гололедные нагрузки на проводах и тросах;
- ветровые климатические воздействия;
- ветровые воздействия от движения составов.

Климатический район данного участка железной дороги относится к III гололедному с возможной толщиной стенки гололеда 10 мм и ко II ветровому району с нормативным давлением $w_0 = 0,3$ кПа в соответствии с СП 20.13330.2016.

Ветровые воздействия от движения составов должны рассматриваться в плоскости движения поездов. Скорость поездов на данном участке железной дороги предполагается 300 км/ч =

ТАБЛИЦА 1. Определение ветрового воздействия на стойку опоры

Исходные данные	
Нормативное значение ветрового давления	0,299 Т/м ²
Тип местности	А — открытые побережья морей, озер и водохранилищ, пустыни, степи, лесостепи, тундра
Тип сооружения	Вытянутые сооружения и элементы с цилиндрической поверхностью
Конструкция сооружения (элемента)	
Параметры и результат расчета	
Поверхность элемента	Шлифованный бетон
Высота элемента, H	10 м
Диаметр элемента, d	0,36 м
Неровности поверхности, Δ	2,е-004 м
Величина нагрузки на элемент, q	0,046 тс/м

= 83,33 м/с. Воздействия от потока воздуха передаются на опоры и кронштейны и принимаются равномерно-распределенными. Давление при известной скорости воздуха в соответствии с СП 20.13330.2016 на вертикальную поверхность составит:

$$w_0 = 0,43 \cdot V^2 = 0,43 \cdot 83,33^2 = 2986 \text{ Па} = 0,299 \text{ тс/м}^2.$$

Величина ветрового воздействия на стойку цилиндрического сечения может быть определена расчетными программы, например в программе «ВЕСТ» проектно-вычислительного комплекса SCAD Office, результаты расчета представлены в табл. 1.

Статический расчет стойки по определению усилий и деформаций был выполнен в вычислительном комплексе ВК SCAD с учетом нормативных нагрузок в комбинациях и представлен на рис. 3–7.

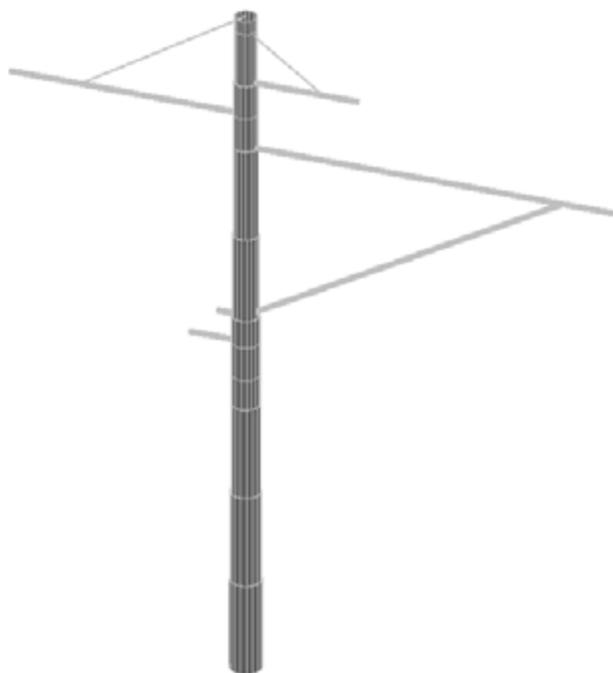


Рис. 3. Геометрическая схема стойки опоры контактной сети CCA-100.6 в ВК SCAD

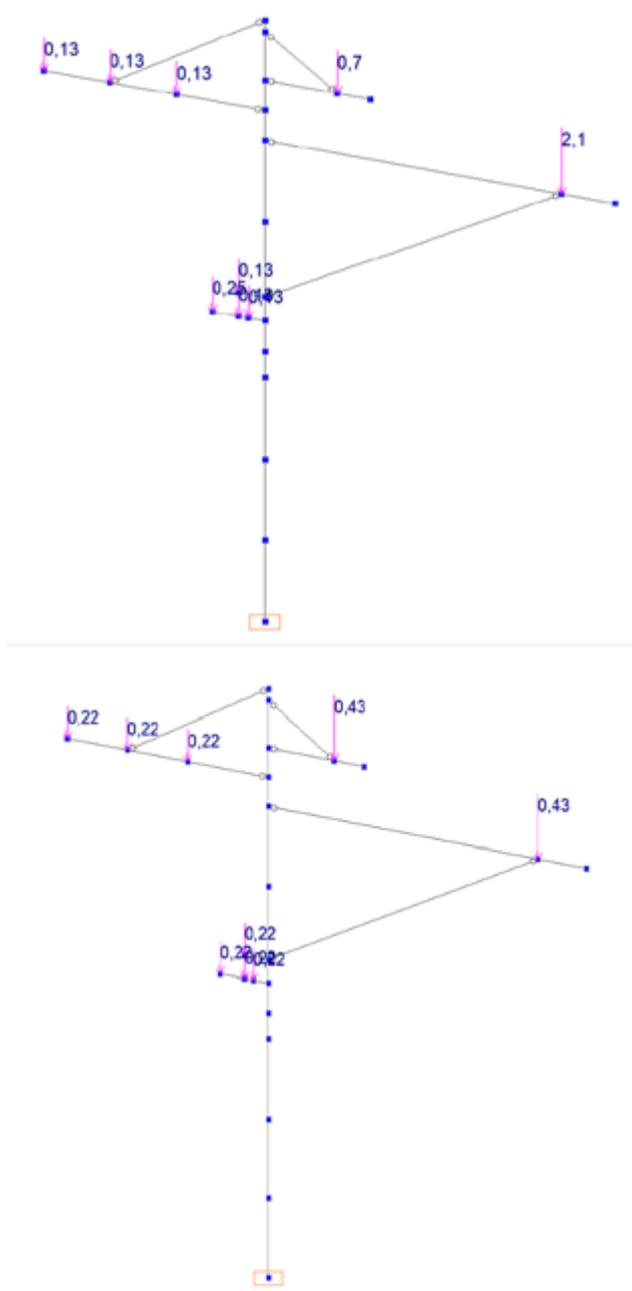


Рис. 4. Расчетные схемы стойки с нагрузкой от оборудования и гололедной нагрузкой, кН

Нагрузки в расчете приняты нормативными — с учетом того, что в ГОСТ 19330—99 задается нормативное значение предельного изгибающего момента, который, как правило, лимитирует несущую способность опоры [10].

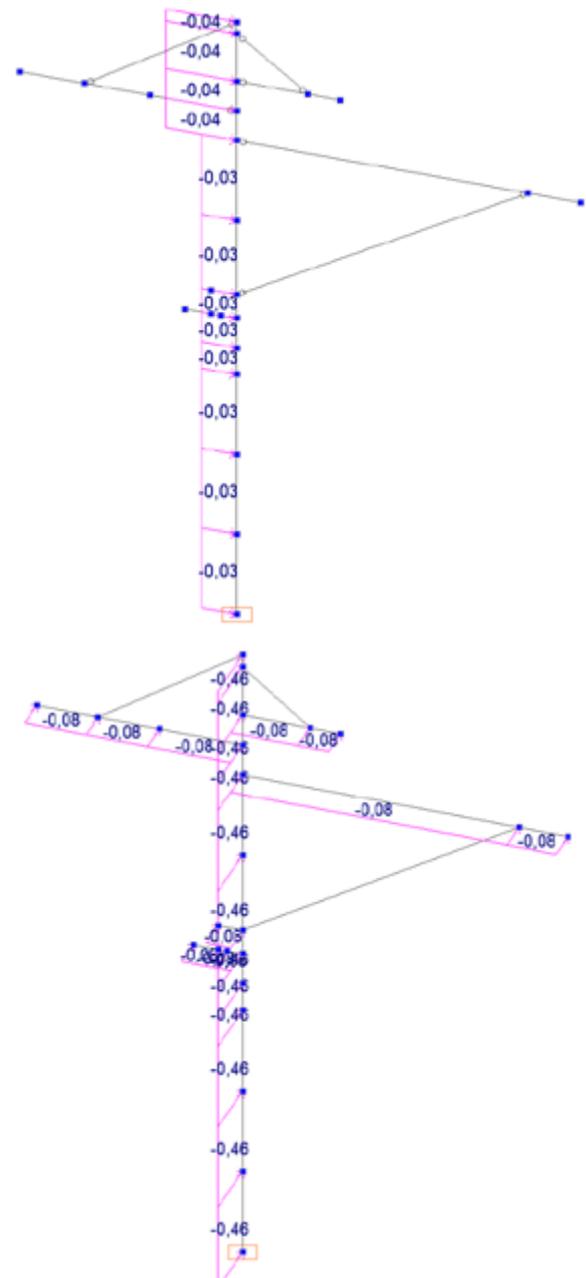


Рис. 5. Расчетные схемы стойки с ветровой климатической нагрузкой и от потока воздуха при движении состава, кН/м

По результатам расчетов стоек на проектные параметры установлено, что прочность и изгибная жесткость опор (рис. 6, 7) при действии комбинации постоянных и временных нагрузок обеспечивается с существенным запасом (46 % — по прочности и 10 % — по жесткости).

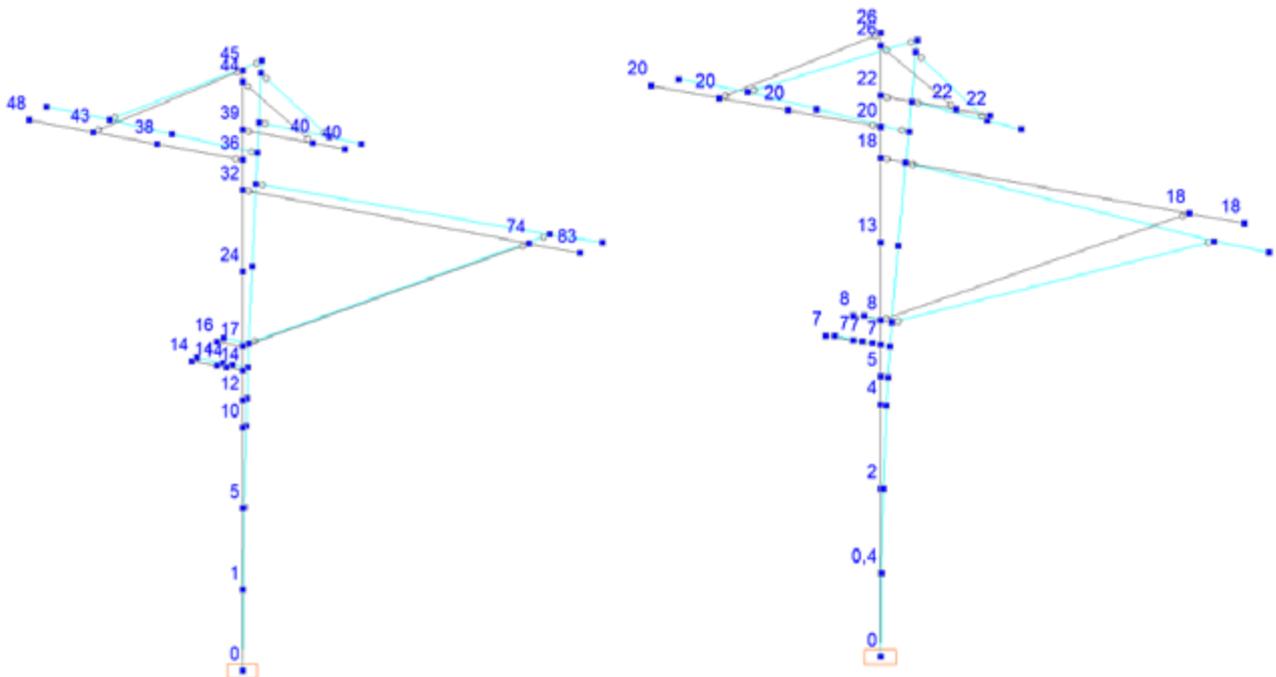


Рис. 6. Схемы деформаций стойки вдоль и поперек пути, мм (max — 45 мм < 50 мм)

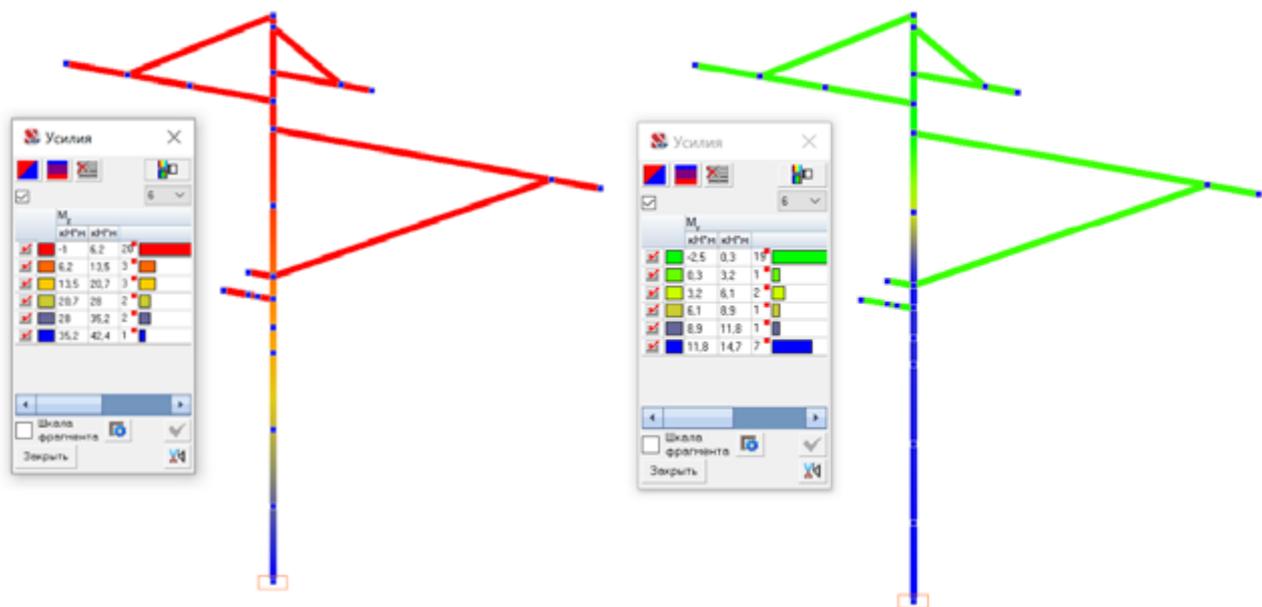


Рис. 7. Эпюры максимальных изгибающих моментов в стойке вдоль и поперек пути, кНм (max — 42,4 кНм < 80 кНм)

Заключение

Существующие опоры контактной сети на железных дорогах имеют ряд недостатков: трудоемкость установки и коррозионный износ опорных частей, как металлических, так и железобетонных опор. Стойки железобетонных опор, выполненные из цилиндрического поперечного сечения по ГОСТ 19330—99, применяются наиболее часто и обладают достаточной проектной работоспособностью при увеличивающихся климатических, эксплуатационных нагрузках и воздействиях, в том числе в условиях увеличения скорости движения поездов на высокоскоростных магистралях до 300 км/ч. Предложено применение инновационной опоры, выполненной из железобетона, фибробетона или стали, с менее затратным способом монтажа стойки. Новая конструкция опоры позволит снизить трудоемкость монтажа опоры, минимизировать повреждения стойки от коррозионного износа, а также повысить ее надежность и долговечность.

Библиографический список

1. Чекулаев В. Е. Устройство и техническое обслуживание контактной сети / В. Е. Чекулаев и др.; под ред. А. А. Федотова. — М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на ж. д. транспорте», 2014. — 436 с.
2. Подольский В. И. Эксплуатационные воздействия на опоры контактной сети электрифицированных железных дорог и повышение их надежности: дисс. ... д-ра техн. наук / В. И. Подольский. — М.: ВНИИЖТ, 1996. — 303 с.
3. Кудрявцев А. А. Разрушение фундаментов транспортных сооружений при электрокоррозии / А. А. Кудрявцев, В. Г. Каратаев, С. Е. Гуков и др. // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2010. — Вып. 4(25). — С. 178–186.
4. А. с. 763544 Российская Федерация Е04В1/36. Опора с железобетонными приставками / В. П. Нехотин, А. А. Кудрявцев, В. П. Попов и др.; заявитель и патенто-

обладатель Ленинградский ордена Ленина институт инженеров железнодорожного транспорта им. Акад. В. Н. Образцова. — № 2613132/29-33; заявл. 04.05.78; опубл. 15.09.80.

5. Киселев И. П. Высокоскоростной железнодорожный транспорт. Общий курс: учебное пособие для студентов вузов железнодорожного транспорта в 2 томах / И. П. Киселев, Л. С. Блажко, М. Я. Брынь и др. — М., 2020. — Т. 1. — 2-е изд., перераб. и доп.

6. Пат. 168411 Российская Федерация, МПК Е04Н 12/22. Опора: / Е. Н. Алексашкин, В. В. Веселов, В. В. Егоров; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО ПГУПС Императора Александра I. — № 2016134587; заявл. 23.08.16; опубл. 02.02.17, Бюл. № 4.

7. Веселов В. В. Повышение эксплуатационной надежности опор контактной сети / В. В. Веселов, М. С. Абу-Хасан // БСТ: Бюллетень строительной техники. — 2019. — № 9(1021). — С. 54–56.

8. Пат. 185035 Российская Федерация, МПК Е04С 3/293 (2006.01). Сталебетонный элемент / В. В. Веселов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО ПГУПС Императора Александра I. — № 2018129556; заявл. 13.08.2018; опубл. 19.11.2018, Бюл. № 32.

9. Дьяченко Л. К. Особенности аэродинамического воздействия высокоскоростных поездов на объекты инфраструктуры / Л. К. Дьяченко, Д. Е. Воробьев, А. А. Барановский // Новые технологии в мостостроении: сборник трудов Международной научно-технической конференции. — 2018. — С. 66–75.

10. Ли В. Н. Опрокидывающий момент опоры контактной сети / В. Н. Ли, А. С. Сапов, Л. С. Демина // Мир транспорта. — 2012. — Т. 10. — № 2(40). — С. 4–11.

Дата поступления: 05.11.2022

Решение о публикации: 30.11.2022

Контактная информация:

ВЕСЕЛОВ Виталий Владиславович — канд. техн. наук, доц.; veselov.1977@inbox.ru

Working Efficiency of Catenary Supports on High-Speed Railways

V. V. Veselov

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Veselov V. V. Working Efficiency of Catenary Supports on High-Speed Railways // *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2022, vol. 19, iss. 4, pp. 847–855. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2022-4-847-855

Summary

Purpose: To perform working efficiency analysis of catenary separately standing reinforced-concrete supports in high-speed railway conditions, to develop measures and constructive solutions of the supports of increased reliability and durability. **Methods:** Analysis of typical constructive solutions according to Russia State Standard GOST 19330—99 given their exploitation experience, the use of numerical calculation methods involving calculation programs. **Results:** The disadvantages of being applied structures of catenary supports on railways with the use of steel and reinforced concrete are analyzed. The calculations of typical reinforced-concrete support bearing capacity and rigidity according to GOST 19330—99 with the use of SCAD computing complex for the effect of vital climatic and exploitative burdens, including ones from wind pressure at high-speed rolling stock motion trains at the speed of 300 km/h, are made. Innovative support construction has been developed which includes pillar of reinforced concrete, fiber-reinforced concrete or steel on reinforced-concrete foundation, the construction is combined with alignment-free mounting method to ensure the impermeability of construction being united parts. **Practical significance:** The reserves for working efficiency of typical separately-standing reinforced-concrete catenary supports in the conditions of high-speed railway trunk St. Petersburg — Moscow on project documentation basis are revealed. The possibility of pressure perception by supports from wind flow at train motion of 300 km/h speed has been established. The application of innovative combined steel-concrete structure of catenary support construction and its mounting ways are proposed. The use of support mounting and construction new way would allow to reduce support mounting laboriousness as well as to rise support reliability and durability in exploitation changing conditions.

Keywords: Catenary supports, reinforced concrete structure, steel concrete, mounting, reliability, durability.

References

1. Chekulaev V. E. *Ustroystvo i tekhnicheskoe obsluzhivanie kontaktной seti* [Device and maintenance of the contact network]. Moscow: FGBOU “Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zh. d. transporte” Publ., 2014, 436 p. (In Russian)
2. Podol’skiy V. I. *Ekspluatatsionnye vozdeystviya na opory kontaktной seti elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog i povyshenie ikh nadezhnosti: diss. ... d-ra tekhn. nauk* [Operational impacts on the supports of the contact network of electrified railways and improving their reliability: diss. ... Dr. tech. Sciences]. Moscow: VNIIZhT Publ., 1996, 303 p. (In Russian)
3. Kudryavtsev A. A., Karataev V. G., Gukov S. E. Razrushenie fundamentov transportnykh sooruzheniy pri elektrokorrozii [Destruction of the foundations of transport structures during electrocorrosion]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of the St. Petersburg University of Communications]. Saint Petersburg: Peterburgskiy gos. un-t putey soobshcheniya, 2010, vol. 4(25), pp. 178–186. (In Russian)
4. Nekhotin V. P., Kudryavtsev A. A., Popov V. P. 763544 E04V1/36. *Opora s zhelezobonnymi pristavkami* [Support with reinforced concrete attachments]. Avtorskoe svidetel’stvo RF, no. 2613132/29-33. (In Russian)

5. Kiselev I. P., Blazhko L. S., Bryn' M. Ya. *Vysokoskorostnoy zhelezнодорожный транспорт. Obshchiy kurs: uchebnoe posobie dlya studentov vuzov zhelezнодорожного транспорта v 2 tomakh* [High speed rail transport. General course: textbook for students of railway transport universities in 2 volumes]. Moscow, 2020, vol. 1. (In Russian)
6. Aleksashkin E. N., Veselov V. V., Egorov V. V. *Opora* [Support]. Patent RF, no. 2016134587, 2017. (In Russian)
7. Veselov V. V., Veselov V. V., Abu-Khasan M. S. Povyshenie ekspluatatsionnoy nadezhnosti opor kontaktnoy seti [Improving the operational reliability of contact network supports]. *BST: Byulleten' stroitel'noy tekhniki* [BST: Building Machinery Bulletin]. 2019, I. 9(1021), pp. 54–56. (In Russian)
8. Veselov V. V. *Stal'betonnyy element* [Steel concrete element]. Patent RF, no. 2018129556, 2018. (In Russian)
9. D'yachenko L. K., Vorob'ev D. E., Baranovskiy A. A. Osobennosti aerodinamicheskogo vozdeystviya vysokoskorostnykh poezdov na ob'ekty infrastruktury [Features of the aerodynamic impact of high-speed trains on infrastructure facilities]. *Novye tekhnologii v mostostroenii: sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [New Technologies in Bridge Engineering: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]. 2018, pp. 66–75. (In Russian)
10. Li V. N., Sapov A. S., Demina L. S. Oprokidyvayushchiy moment opory kontaktnoy seti [Overturning moment of contact network support]. *Mir transporta* [World of Transport]. 2012, vol. 10, I. 2(40), pp. 4–11. (In Russian)

Received: November 05, 2022

Accepted: November 30, 2022

Author's information:

Vitaliy V. VESELOV — PhD in Engineering, Associate Professor; veselov.1977@inbox.ru