

К.Е. Кузнецов<sup>1</sup>, В. В. Чернышев<sup>1</sup>, Д. В. Сальникова<sup>1</sup>, А. Д. Степанов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ КОНТАКТНОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ И СУРОВОГО КЛИМАТА

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются основные принципы и методы проектирования, строительства, монтажа, технического обслуживания и ремонта контактной сети железнодорожного транспорта в регионах вечной мерзлоты и сурового климата, а также анализируется влияние различных факторов на ее надежность, безопасность и эффективность. Используются теоретические и практические данные из официальных источников, таких как ГОСТ 32679-2014, Энциклопедия нашего транспорта, Технические средства железнодорожного транспорта и другие.

**Ключевые слова:** контактная сеть, железнодорожный транспорт, тяговая сеть, электрификация, проектирование, эксплуатация, ремонт, вечная мерзлота, суровый климат.

К.Е. Kuznetsov<sup>1</sup>, V. V. Chernyshev<sup>1</sup>, D. V. Salnikova<sup>1</sup>, A. D. Stepanov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Irkutsk State University of Railway Transport, Irkutsk, Russian Federation

## DESIGN AND OPERATION OF THE CONTACT NETWORK IN PERMAFROST AND HARSH CLIMATE

**Annotation.** This article discusses the basic principles and methods of design, construction, installation, maintenance and repair of the railway contact network in permafrost and harsh climate regions, as well as analyzes the influence of various factors on its reliability, safety and efficiency. Theoretical and practical data from official sources such as GOST 32679-2014, the Encyclopedia of our transport, Technical means of railway transport and others are used.

**Keywords:** contact network, railway transport, traction network, electrification, design, operation, repair, permafrost, harsh climate.

### Введение.

Контактная сеть железнодорожного транспорта является частью железнодорожной тяговой сети, предназначенной для передачи электрической энергии железнодорожному электроподвижному составу. Контактная сеть может быть выполнена с контактным рельсом или контактной подвеской. Контактная сеть не имеет резерва, поэтому к ней предъявляются повышенные требования по надежности, безопасности и эффективности. В связи с этим возникает необходимость проведения качественного проектирования, строительства, монтажа, технического обслуживания и ремонта контактной сети, что и является целью данной статьи.

### Описание проблемной ситуации и постановка задачи

Методы проектирования контактной сети зависят от ряда факторов, таких как род тока, напряжение, токовая нагрузка, геометрия пути, скорость движения, климатические условия, геологические особенности грунта и др. В общем случае, проектирование контактной сети включает в себя следующие этапы:

- Выбор типа и сечения проводов контактной сети, обеспечивающих необходимую пропускную способность, механическую прочность и электрический контакт с токоприемником;

- Выбор типа и размещения контактной подвески, обеспечивающей необходимый зазор между проводом и токоприемником, а также компенсацию температурных деформаций провода;
- Выбор типа и конструкции опор контактной сети, обеспечивающих необходимую устойчивость и жесткость, а также учет влияния грунта, сейсмической активности и ветровых нагрузок;
- Выбор типа и параметров заземления и защиты от атмосферных перенапряжений, обеспечивающих безопасность персонала и оборудования, а также снижение потерь электроэнергии;
- Выбор типа и способа монтажа и регулировки контактной сети, обеспечивающих необходимую точность и качество выполнения работ, а также сокращение сроков и затрат;
- Выбор типа и периодичности технического обслуживания и ремонта контактной сети, обеспечивающих необходимую надежность и эффективность работы, а также предупреждение и устранение повреждений и аварий;
- Выбор типа и средств контроля и диагностики контактной сети, обеспечивающих необходимую точность и оперативность измерений, а также выявление и локализацию неисправностей;
- Выбор типа и мероприятий по предотвращению и устранению влияния неблагоприятных факторов на работу контактной сети, таких как снег, лед, растительность, птицы, грязь и др.

Эксплуатация контактной сети в условиях вечной мерзлоты и сурового климата представляет собой особую сложность, так как требует учета ряда специфических факторов, таких как низкие температуры, высокая влажность, снег и лед, ветер и метели, сейсмическая активность, геологические особенности грунта и др. Эти факторы могут приводить к повреждению и разрушению контактной сети, снижению ее электрических и механических характеристик, увеличению затрат на ее обслуживание и ремонт, а также к аварийным ситуациям, угрожающим безопасности движения поездов. Поэтому необходимо разработать и применять специальные методы и технологии, позволяющие обеспечить надежную и эффективную работу контактной сети в этих условиях.

Некоторые из этих методов и технологий описаны в следующих источниках:

- Методика прогнозной оценки опасности выпучивания опор контактной сети на участках вечной мерзлоты и глубокого сезонного промерзания грунтов;
- Противопучинная мелиорация грунтов для повышения надежности и безопасности оснований зданий и сооружений.

### **Прогнозная оценка опасности выпучивания опор контактной сети на участках вечной мерзлоты и глубокого сезонного промерзания грунтов**

Выпирание фундаментов при промерзании является серьезной проблемой, с которой можно столкнуться на железной дороге.

Выпирание фундаментов при промерзании представлено на рисунке 1.

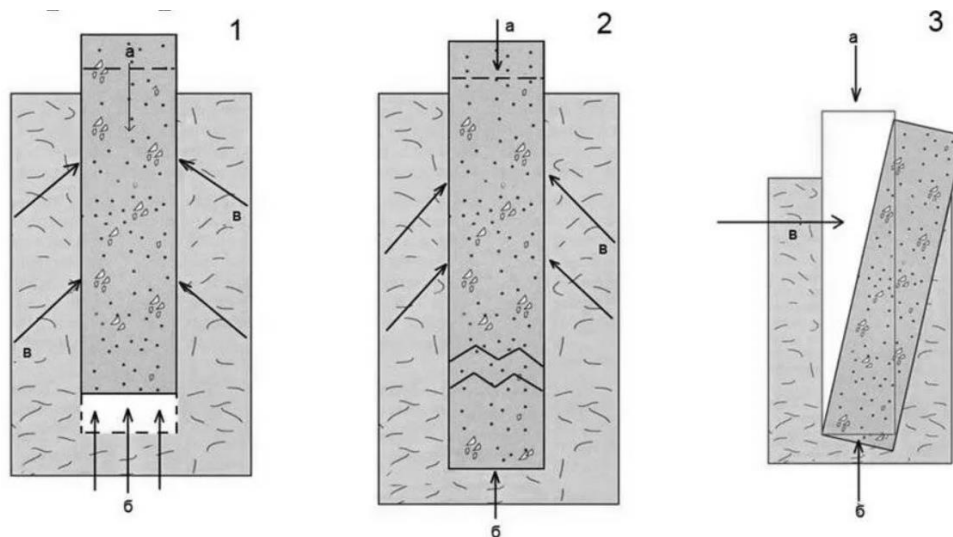


Рисунок 1- Выпирание фундамента при промерзании  
 1- выпирание фундамента; 2- разрыв стен; 3- опрокидывание  
 а- нагрузка на фундамента; б-вертикальные силы морозного пучения грунта; в- касательные силы морозного пучения грунта

Для предотвращения этого можно применить следующую методику этапов:

1. Определение геологических и гидрогеологических условий участка, включая тип и состав грунта, толщину и температуру многолетнемерзлого слоя, глубину и продолжительность сезонного промерзания и оттаивания, наличие подземных вод и их динамику, сейсмическую активность и др.

2. Определение климатических условий участка, включая среднегодовые и экстремальные температуры воздуха и грунта, количество и распределение осадков, скорость и направление ветра, солнечную радиацию, влажность воздуха и др.

3. Определение технических характеристик опор контактной сети, включая тип и размер фундамента, материал и сечение стойки, высоту и наклон опоры, тип и сечение провода, тип и размещение контактной подвески, тип и параметры заземления и защиты от перенапряжений и др.

4. Расчет баланса удерживающих и выпучивающих сил, действующих на фундамент опоры, с учетом веса опоры, силы трения между фундаментом и грунтом, силы сопротивления грунта, силы морозного пучения, силы ветровой нагрузки, силы тяги провода и др.

Определение величин всех сил, действующих на фундамент опоры, по данным проекта, испытаний, нормативов и теоретических расчетов. Для этого можно использовать следующие формулы и источники:

Вес опоры  $F_T$  равен произведению объема опоры  $V_T$  на удельный вес материала опоры  $\gamma_T$ :

$$F_T = V_T \cdot \gamma_T$$

Сила трения между фундаментом и грунтом  $F_{Tr}$  равна произведению веса опоры  $F_T$  на коэффициент трения  $f$ :

$$F_{Tr} = F_T \cdot f$$

Сила сопротивления грунта  $F_c$  равна произведению площади боковой поверхности фундамента  $S_b$  на удельное сопротивление грунта  $R_c$ :

$$F_c = S_b \cdot R_c$$

Сила морозного пучения  $F_p$  зависит от типа грунта, его свойств, температуры, влажности, глубины промерзания и других факторов. Ее можно определить по результатам полевых испытаний сваями или по теоретическим расчетам, используя различные методики, например, методику, предложенную в Приложении Г Свода правил СП 24.13330.2021 "СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты"1.

Сила ветровой нагрузки  $F_v$  зависит от высоты и формы опоры, скорости и направления ветра, коэффициента аэродинамического сопротивления и других факторов. Ее можно определить по нормативам, например, по СНиП 2.01.07-85 "Нагрузки и воздействия"2.

Сила тяги провода  $F_{тяги}$  зависит от сечения и материала провода, температуры, длины пролета, натяжения и других факторов. Ее можно определить по нормативам, например, по ГОСТ 32679-2014 "Железнодорожный транспорт. Тяговая сеть переменного тока. Общие технические требования"3.

Составление уравнения равновесия сил, действующих на фундамент опоры, и решение его относительно неизвестной силы  $F_p$ , которая является результирующей всех сил:

$$F_p = F_t + F_{тр} + F_c - F_p - F_v - F_{тяги}$$

Анализ знака и величины силы  $F_p$  и вывод о состоянии фундамента опоры: Если  $F_p > 0$ , то фундамент опоры находится в состоянии устойчивости, то есть сумма удерживающих сил превышает сумму выпучивающих сил, и фундамент не поднимается вверх.

Если  $F_p < 0$ , то фундамент опоры находится в состоянии неустойчивости, то есть сумма выпучивающих сил превышает сумму удерживающих сил, и фундамент поднимается вверх, что может привести к деформациям и разрушениям опоры и контактной сети.

Если  $F_p = 0$ , то фундамент опоры находится в состоянии равновесия, то есть сумма удерживающих сил равна сумме выпучивающих сил, и фундамент не поднимается и не опускается.

5. Расчет теплотехнических характеристик фундамента опоры, включая температурное поле в грунте, теплоток через фундамент, температурные деформации фундамента и грунта, тепловые потери электроэнергии и др.

6. Определение оптимального типа и конструкции противопучинных устройств для фундамента опоры, включая теплоизоляционные материалы, дренажные системы, анкерные элементы, геосинтетические материалы и др.

7. Оценка эффективности и экономичности применения противопучинных устройств для фундамента опоры, включая срок службы, стоимость, трудоемкость, экологичность и др.

### **Противопучинная мелиорация грунтов для повышения надежности и безопасности оснований зданий и сооружений**

Противопучинная мелиорация грунтов для повышения надежности и безопасности оснований зданий и сооружений - это комплекс мероприятий, направленных на уменьшение или устранение влияния морозного пучения грунта на фундаменты зданий и сооружений, расположенных на сезоннопромерзающих или вечномерзлых грунтах.

Морозное пучение грунта - это явление, при котором грунт поднимается вверх под действием образующихся в нем ледяных объемов при промерзании. Это может привести к деформациям и разрушениям фундаментов, а также к нарушению устойчивости эксплуатационных характеристик зданий и сооружений.

Существуют различные способы противопучинной мелиорации грунтов, которые можно классифицировать по следующим критериям:

- По характеру воздействия на грунт: тепловая, гидрологическая, физико-химическая, строительно-конструктивная, биологическая и комбинированная мелиорация.
- По времени проведения: до возведения фундаментов, в процессе возведения фундаментов и после возведения фундаментов.
- По глубине воздействия: поверхностная, глубинная и срединная мелиорация.
- По степени воздействия: локальная, зональная и общая мелиорация.

### **Заключение**

В данной статье были рассмотрены основные принципы и методы проектирования, строительства, монтажа, технического обслуживания и ремонта контактной сети железнодорожного транспорта в регионах вечной мерзлоты и сурового климата, а также проанализированы влияния различных факторов на ее надежность, безопасность и эффективность.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Ступицкий, В.П. Расчет несущей способности металлической решетчатой опоры контактной сети при кручении верхней части методом конечных элементов в САПР Femap/ В.П. Ступицкий, И.А. Худоногов, В.А. Тихомиров, О.В. Лобанов. //Транспорт Урала/ УрГУПС. –Екатеринбург. –2021. –№1 (68). –С. 99-102
2. Подольский В. И. Железобетонные опоры контактной сети. Конструкции, эксплуатация, диагностика/Труды ВНИИЖТ.-М.: Интекст, 2007. -152 с.
3. Капранов Б.И. Акустические методы контроля и диагностики. Часть 1: учебное пособие / Б.И. Капранов, М.М. Коротков. –Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. –186 с.
4. Патент No 2681277 Российская Федерация, МПК G01M7/00 (2006.01). Способ оценки несущей способности железобетонных опор: No 2017117059: заявл. 16.05.2017: опубл. 05.03.2019/ Фадеев В.С., Семашко Н.А., Паладин Н.М.; заявитель ООО «ИнфоТех». –11 с.: ил. –Текст: непосредственный.
5. Ступицкий, В.П. Определение остаточной несущей способности металлических конструкций контактной сети / В. П. Ступицкий, И. А. Худоногов, В.А. Тихомиров, О.В. Лобанов. // Известия Транссиба /Омский гос. ун-т путей сообщения. –Омск. – 2019. –№ 3 (39). –С. 88 –99.

### **REFERENCES**

1. Stupitskiy V.P., Khudonogov I.A., Tikhomirov V.A, Lobanov O.V Raschet nesushchej sposobnosti metallicheskoj reshetchatoj opory kontaktnoj seti pri kruchenii verhnjej chasti metodom konechnyh elementov v SAPR Femap [Calculation of bearing capacity of metal lattice catenary pole at torsion of the upper part by finite element method in Femap CAD] Transport Urala [Transport of the Urals] USUPS. -Yekaterinburg. –2021. –№1 (68). –Pp. 99-102
2. Podolsky V. I. ZHelezobetonnye opory kontaktnoj seti. Konstrukcii, ekspluatatsiya, diagnostika [Reinforced concrete supports of the contact network. Construction, operation, diagnostics]/Trudy VNIIZhT. -M.: Intekst, 2007. - 152 p.
3. Kapranov B.I., Korotkov M.M. Akusticheskie metody kontrolya i diagnostiki. CHast' 1: uchebnoe posobie [Acoustic methods of control and diagnostics. Part 1: Tutorial]/Tomsk: Izd-vo Tomskogopolitekhnikheskogo universiteta, 2008. –186 p.
4. Fadeev V.S., Semashko N.A., Paladin N.M.Sposob ocenki nesushchej sposobnosti zhelezobetonnyh opor [Method for assessing the bearing capacity of reinforced concrete supports] PatentRF, no 2681277,2019

5. Stupitskiy V.P., Khudonogov I.A., Tikhomirov V.A., Lobanov O.V. Opredelenie ostatochnoj nesushchej sposobnosti metallicheskih konstrukcij kontaktnoj seti [Determination of residual bearing capacity of metal structures of the contact network]. Izvestiya Transsiba [Journal of Transsib Railway Studies], 2019, No. 3 (39), pp. 88–99.

#### **Информация об авторах**

Кузнецов Кирилл Евгеньевич – студент 5 курса специальности «Электроснабжение железных дорог», Иркутский Государственный Университет Путей Сообщения, г. Иркутск, email: 2001kuznetsov@gmail.com

Чернышев Владислав Вячеславович – студент 5 курса специальности «Электроснабжение железных дорог», Иркутский Государственный Университет Путей Сообщения, г. Иркутск, email: vladchernyshev6703@gmail.com

Сальникова Дарья Викторовна – студентка 5 курса специальности «Электроснабжение железных дорог», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, email: [ds\\_vo@mail.ru](mailto:ds_vo@mail.ru)

Степанов Андрей Дмитриевич – к. т. н., доцент кафедры Электроэнергетика транспорта, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск.

#### **Authors**

Kuznetsov Kirill Evgenievich – 5rd year student of the specialty "Electric power supply of railways", Irkutsk State University of Railways, Irkutsk, email: 2001kuznetsov@gmail.com

Chernyshev Vladislav Vyacheslavovich – 5th year student of the specialty "Electric power supply of railways", Irkutsk State University of Railways, Irkutsk, email: vladchernyshev6703@gmail.com

Darya Viktorovna Salnikova – 5rd year student of the specialty "Power supply of railways", Irkutsk State TransportUniversity, Irkutsk, e-mail: [ds\\_vo@mail.ru](mailto:ds_vo@mail.ru)

Stepanov Andrey Dmitrievich – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. at the Subdepartment of Electric Power Industry of Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk.