

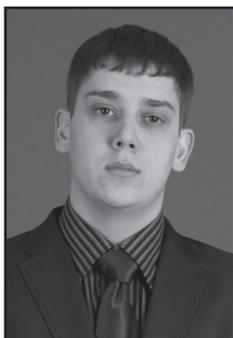


Опрокидывающий момент опоры контактной сети



Валерий ЛИ
Valery N.LI

Александр САПОВ
Alexander S. SAPOV



Людмила ДЁМИНА
Ludmila S. DIEMINA

Ли Валерий Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроснабжение транспорта» Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДВГУПС). Сапов Александр Сергеевич – преподаватель ДВГУПС. Дёмина Людмила Сергеевна – преподаватель ДВГУПС (г. Хабаровск).

Для электрифицированных участков железных дорог постоянного и переменного тока одной из центральных проблем, связанной с безопасностью движения, остается целостность и надежность сетевых железобетонных опор. В статье рассмотрены силовые факторы, влияющие на их устойчивость. Получена формула определения опрокидывающего момента опоры контактной сети.

Ключевые слова: железная дорога, опора контактной сети, устойчивость, опрокидывающий момент.

В системе электроснабжения железных дорог контактная сеть наряду с линиями обратного тока и фидерными линиями служит основным устройством, обеспечивающим передачу электрической энергии от подстанции к тяговым потребителям – локомотивам.

Роль сетевых энергоносителей остается очень ответственной прежде всего потому, что контактная сеть не имеет резерва, вследствие чего выход из строя какого-либо ее элемента влечет за собой нарушение функционирования всей дорожной системы.

Важнейшим же устройством контактной сети являются опорные и поддерживающие конструкции, позволяющие закрепить контактные провода в заданном положении относительно оси рельсового пути.

I.

В эксплуатации опоры контактной сети подвержены воздействию целого ряда силовых факторов, которые влияют на их устойчивость и следовательно на положение контактного провода в пространстве.

Природа силовых воздействий может быть разной: это и морозное пучение,

Таблица 1

Количество опор контактной сети с недопустимым наклоном

Октябрьск.	Калинингр.	Московская	Горьковская	Северная	Сев.-Кавказ.	Юго-Восточ.	Приволж.	Куйбыш.	Свердлов.	Юж.-Урал.	Зап.-Сиб.	Краснояр.	Вост.-Сиб.	Забайкал.	Дальневост.	Всего
3688	0	774	938	514	882	305	107	196	683	524	836	594	485	20565	1868	32959

и давление грунта земляного полотна, и влияние контактной подвески. Именно подобные причины выводят опоры контактной сети из вертикального габарита.

Согласно «Правилам устройства и технической эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог», выправке должны подвергаться опоры, у которых наклон составляет более 3% высоты опоры в сторону, противоположную действию основных нагрузок, и 1% – вдоль пути [1].

Анализ состояния опорного хозяйства контактной сети в конце 2010 года подтвердил актуальность вопросов, связанных с устойчивостью опор [2]. В таблице 1 представлена картина нарушений параметров их наклона на 16 дорогах железнодорожной сети.

Опоры с отклонениями от нормы силами работников соответствующих служб приводятся в требуемое вертикальное положение. Как показывает анализ, из общего их количества 32959 штук, в 2010 году было выправлено только 6511, что составляет примерно 1/5 часть.

Для уменьшения объема работ и совершенствования технологии выправки, учитывающей срок эксплуатации и дефектность опор, необходимы знание и выявление основных силовых воздействий, способствующих отклонению конструкций от вертикального габарита.

Поскольку опора контактной сети, заглубленная в грунт, представляет собой заземленный в породах стержень, то для определения устойчивости в теле земляного полотна нужны расчетные схемы ее нагружения внешними силами. В них должны учитываться направления всех внешних воздействий, действующих на опору,

в частности: вес поддерживающих конструкций, сила давления ветра, вес контактной подвески и дополнительных проводов, их натяжение, оползневое давление откосов насыпей, силы вибродинамического воздействия поездов.

Действие внешних сил на опорные конструкции представлено на рис. 1.

На расчетной схеме приняты следующие обозначения:

P – горизонтальные нагрузки от давления ветра;

$P_{из}$ – горизонтальные нагрузки от излома проводов на кривых, при отводах на анкеровки и т. п.;

G – вертикальные нагрузки от веса поддерживающих конструкций, контактной подвески, усиливающих и иных проводов, вертикальная составляющая натяжения в оттяжках;

T – натяжение несущего троса цепной подвески;

K – натяжение контактных проводов;

$E_{оп}$ – оползневое давление грунта;

$E_{мн}$ – силы морозного пучения;

M_c – суммарный момент от воздействия сети;

$M_{р}$ – результирующий момент от воздействия оползневого давления и морозного пучения;

Обозначенные силы создают моменты относительно оси вращения (опрокидывания), и в зависимости от их величины и знака может произойти явление опрокидывания опоры на путь или в прилегающую зону. В расчетах устойчивости опор обычно принимают глубину нахождения центра вращения из условия равенства нулю суммы всех горизонтальных сил и располагают его на расстоянии одной трети высоты фундаментной части от подошвы фунда-



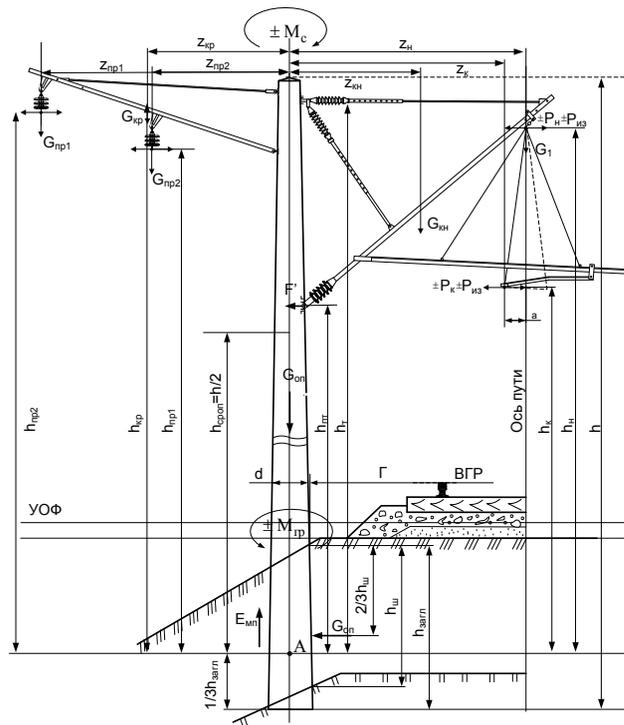


Рис. 1. Расчетная схема опоры контактной сети.

мента (в том случае если грунт уплотнен) либо под его основанием (если грунт, в который установлена опора, слабо уплотнен).

II.

Рассмотрим несколько вариантов ухода опоры из вертикального габарита в зависимости от преобладающего значения моментов сети и грунта в случае, когда грунт уплотнен либо слабо уплотнен.

На опору действуют силы, которые рождают два момента:

1. *Момент сети*, включающий в себя моменты от действия сил поддерживающих устройств, силы ветра, силы натяжения проводов контактной подвески и линии ДПР и т. д.

2. *Момент реакции грунта*, состоящий из моментов, которые создают силы морозного пучения и оползневого давления грунта.

Для дальнейшего исследования следует задаться некоторыми условиями: опора установлена в откосной части насыпи; грунт в котловане уплотнен и послойно утрамбован; формоизменение опоры под действием сил сети ничтожно мало (под действием веса контактной сети опора

не изгибается); жесткость фундамента опоры бесконечно велика по сравнению с жесткостью окружающего грунта.

В случае превышения момента грунта ($M_{сп}$) над моментом сети (M_c), то есть когда $M_{сп} > M_c$, произойдет поворот опоры в порогах на некоторый угол α относительно точки, лежащей (согласно законам строительной механики) на расстоянии $1/3$ от глубины заделки опоры в грунт в сторону прилегающей зоны. Угол поворота опоры в зависимости от преимущественного направления ветра на данном участке может быть больше при движении ветра от пути на опору и меньше, если он движется от опоры на путь (рис. 2, позиция 1-а).

Если момент грунта ($M_{сп}$) меньше момента от действия сил сети (M_c), то есть когда $M_{сп} < M_c$, то наклон опоры произойдет в сторону пути (рис. 2, позиция 1-б). Угол поворота, как и в первом случае, будет зависеть здесь от преимущественного направления ветра.

В случае, когда грунт слабо уплотнен и не утрамбован, точка поворота окажется под основанием опоры, то есть в точке поверхности грунта, на который она установлена.

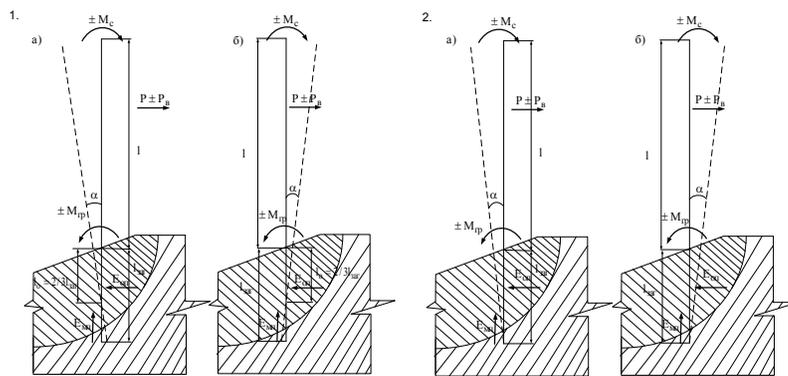


Рис. 2. Схема поворота опоры в грунте.
 Позиция 1 – грунт уплотнен: а) $M_{zp} > M_c$; б) $M_{zp} < M_c$;
 Позиция 2 – грунт слабо уплотнён: а) $M_{zp} > M_c$; б) $M_{zp} < M_c$.

Схемы поворота опоры при данных условиях изображены на рис. 2, позиция 2.

Сообразуясь с указанными условиями, при создании расчетных схем можно выявить превалирующий фактор или совокупность факторов, влияющих на опрокидывание опоры, и соответственно принять адекватные меры по их снижению или ликвидации.

Итак, определены точки поворота опоры в грунте. Дальнейшие исследования будут относиться к случаю, когда грунт, окружающий фундамент, уплотнен, т. е. точка поворота опоры находится на высоте 1/3 от подошвы фундамента. Если расчет всех силовых воздействий проводить относительно такой точки, то возможно и определение опрокидывающего момента.

III.

Результирующий опрокидывающий момент будет определяться выражением:

$$M_{рез} = M_{kc} - M_{mn} - M_{on}, \quad (1)$$

где M_{kc} – момент, зависящий от веса контактной сети;

M_{mn} – момент при действии сил морозного пучения;

M_{on} – момент оползневого давления грунта.

Знак «–» в этой формуле говорит о том, что рассматриваемые опрокидывающие моменты направлены в разные стороны.

Необходимо помнить, что на устойчивость опор контактной сети оказывает влияние и поездная нагрузка, т. е. динамика движения поездов. Следовательно, нужно учитывать вибродинамическое воздействие на опору, передающееся через

грунт, и усилия, возникающие при взаимодействии токоприёмника с контактным проводом.

Оценим каждый из этих моментов.

Момент, зависящий от веса контактной сети.

Формула для определения опрокидывающего момента имеет вид [3]:

$$\begin{aligned} M_{kc} = & G_{m1} \cdot (\Gamma + 0,5d_{on}) + \\ & + G_{kn} z_{kn} - G_{np1} z_{np1} - G_{np2} z_{np2} - \\ & - G_{kp} z_{kp} \pm (P_u \pm P_{uz}) \cdot h_u \pm \\ & \pm (P_k \pm P_{uz}) \cdot h_k \pm (P_{np1} \pm P_{uz}) \times \\ & \times h_{np1} \pm (P_{np2} \pm P_{uz}) \cdot h_{np2} \pm \\ & \pm P_{on} h_{cp, on}, \end{aligned} \quad (2)$$

где z и h – плечи вертикальных и высоты точек приложения горизонтальных нагрузок (рис. 1).

В этой формуле принято положительным направлением опрокидывающего момента и нагрузок от излома проводов на кривых от опоры на путь.

Поскольку направление ветра может быть любое, то знаки в формуле для сил P применяют такие, при которых создаются максимальные опрокидывающие моменты.

Силу, действующую на опору со стороны контактного провода, предлагается найти по формуле, полученной профессором К. Л. Комаровым [4]:

$$F' = \frac{Fg^2}{\left[(\sigma/E)g_0^2 - g^2 \right]} \cdot \left[\sqrt{\frac{\sigma}{E} \cdot \frac{g_0}{g} \sin \frac{m\pi}{2} + \sin \frac{\lambda\pi}{2}} \right] \sin \kappa t, \quad (3)$$



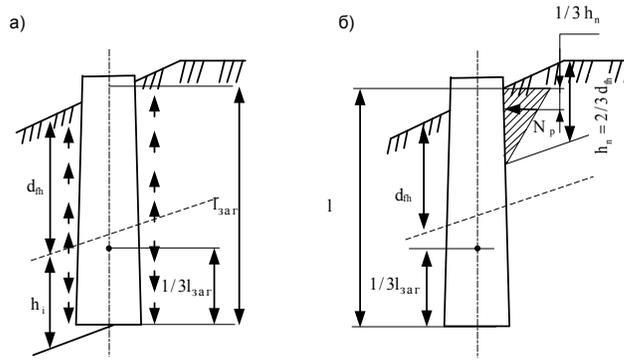


Рис. 3. Действие касательных сил морозного пучения (а) и нормальной составляющей силы морозного пучения (б) на фундаментную часть опор контактной сети.

где F – сила, с которой токоприемник электровоза действует на контактный провод;

σ – напряжение в контактном проводе;

E – модуль упругости материала в проводе;

$g_0 = \sqrt{\frac{Eg}{\gamma}}$ – скорость распространения

звука в материале провода с удельным весом γ ;

g – скорость движения состава;

l – длина провода;

κ – циклическая частота собственных колебаний опоры.

Числа m и λ находятся из соотношений:

$$\frac{m\pi}{1} g_0 \sqrt{\frac{\sigma}{E}} = \kappa; \quad \frac{\lambda\pi}{1} g = \kappa + \pi. \quad (4)$$

Условимся, что точка приложения данной силы находится в пяте консоли, а ее действие будет направлено нормально к боковой поверхности опоры.

Тогда момент от действия этой силы (назовем его M_σ) станет определяться выражением:

$$M_\sigma = F' \cdot h_{nm}, \quad (5)$$

где F' – сила, действующая на опору со стороны контактного провода;

h_{nm} – плечо действия данной силы.

Следовательно, результирующий опрокидывающий момент от действия сил контактной сети с учетом формул (2) и (5) примет вид:

$$M_{kc} = G_{m1} \cdot (\Gamma + 0,5d_{on}) + G_{кн} z_{кн} - G_{np1} z_{np1} - G_{np2} z_{np2} - G_{кр} z_{кр} \pm (P_u \pm P_{uz}) \cdot h_n \pm (P_\kappa \pm P_{uz}) \cdot h_\kappa \pm (P_{np1} \pm P_{uz}) \times h_{np1} \pm (P_{np2} \pm P_{uz}) \cdot h_{np2} \pm P_{on} h_{cpon} + F' \cdot h_{nm}. \quad (6)$$

Опрокидывающий момент от действия сил морозного пучения.

Из [5] известно, что силу морозного пучения можно представить в виде двух составляющих: *касательной* (именно эта сила выпучивает фундамент из грунта) и *горизонтальной* (или нормальной). Расчет последней необходимо проводить для опор, установленных в откосной части насыпи.

На рис. 3 схематично показано действие касательных и нормальных составляющих силы морозного пучения на фундаментную часть опоры контактной сети.

На рисунке изображены:

d_{gh} – глубина сезонного промерзания и оттаивания грунтов;

h_i – толщина i -го слоя мерзлого или талого грунта, расположенного ниже подошвы слоя сезонного промерзания/оттаивания;

h_n – глубина активного слоя пучения грунта, равная $2/3$ нормативной глубины промерзания d_{gh} согласно [6].

Момент от действия касательных сил морозного пучения относительно точки поворота равен нулю, так как они не участвуют в опрокидывании опоры.

Значительное влияние на устойчивость опор оказывает горизонтальная составляющая силы морозного пучения N_p , точка приложения которой определяется согласно [6] – см. рис. 3 б.

Значение находится в соответствии с [7] по формуле:

$$N_p = m'_n \cdot N_{max}, \quad (7)$$

где m'_n – коэффициент условий работы, учитывающий степень подвижности фундамента под воздействием внешних нагрузок и сил морозного пучения;

N_{max} – максимальная величина горизонтальной составляющей сил морозного пучения грунта, определяемая по формуле:

$$N_{max} = \frac{1}{2} \cdot t_{nmax} \cdot h_n \cdot b, \quad (8)$$

где t_{nmax} – максимальное горизонтальное напряжение, вызванное морозным пучением грунта, действующее нормально к боковой поверхности фундамента; b – ширина фундамента.

Нормальная составляющая силы морозного пучения зависит от глубины сезонного промерзания. Поэтому для определения силы пучения надо знать нормативную глубину сезонного промерзания того района, для которого предстоит произвести расчет.

С учетом формул (7) и (8) можно записать:

$$N_p = \frac{1}{2} \cdot m'_n \cdot t_{nmax} \cdot h_n \cdot b. \quad (9)$$

Опрокидывающий момент от действия этой силы будет определяться выражением:

$$M_{оп} = N_p \cdot (2/3 \cdot L_{зар} - 2/9 d_{th}) = 1/2 \cdot m'_n \cdot t_{nmax} \cdot h_n \cdot b \cdot (2/3 \cdot L_{зар} - 2/9 d_{th}). \quad (10)$$

Опрокидывающий момент от действия оползневого давления грунта.

Известно, что тело земляного полотна находится в напряженном состоянии, обусловленном влиянием внешних сил и собственного его веса. Когда напряжение в грунте превышает определенный предел, возникают остаточные деформации в виде смещения объема грунта как единого целого [8].

Смещение грунта в однородной среде происходит по криволинейным поверхностям, приближающимся в той или иной мере по форме к цилиндрическим.

Как правило, расчет устойчивости откосов земляного полотна ведут на 1 метр длины склона. Сползающую часть грунта называют сползающим блоком, который для упрощения расчетов делят на ряд отсеков [8].

Выделив для раздельного рассмотрения 8-й отсек (рис. 4) (опора контактной сети установлена на границе с данным блоком), заменяем влияние на него вышележащей части блоков силой E_i , направленной под углом η к горизонту

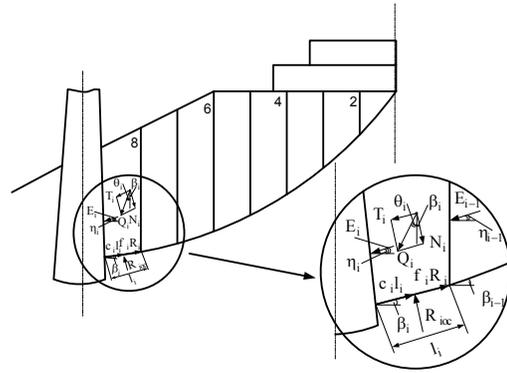


Рис. 4. Расчетная схема для определения оползневого давления на опору контактной сети.

и имеющей некоторую точку приложения.

Сопротивляются сдвигу 8-го отсека по плоскости его основания, наклоненной под углом β_i к горизонту, сила сцепления $c_i l_i$ и сила трения $f_i R_i$. При этом c_i – удельное сцепление и $f_i = tg \phi_i$ – коэффициент внутреннего трения (ϕ_i – угол внутреннего трения грунта по грунту); l_i – длина плоскости возможного смещения в пределах этого отсека; R_{icc} – нормальная реакция его основания.

Для нахождения оползневого давления воспользуемся методикой профессора Г. М. Шахунянца.

Условимся, что величина E_{i-1} является известной из расчета предыдущего отсека, а неизвестными силами оказываются лишь R и E . Для их нахождения достаточно использовать два уравнения статики. Проектируя все силы на нормаль к основанию отсека и на направление самого основания, получим:

$$R_i = N_i + E_i \sin(\beta_i - \eta_i) - E_{i-1} \sin(\beta_i - \eta_{i-1}); \quad (11)$$

$$T_i = c_i l_i + f_i R_i + [E_i \cos(\beta_i - \eta_i) - E_{i-1} \cos(\beta_i - \eta_{i-1})]. \quad (12)$$

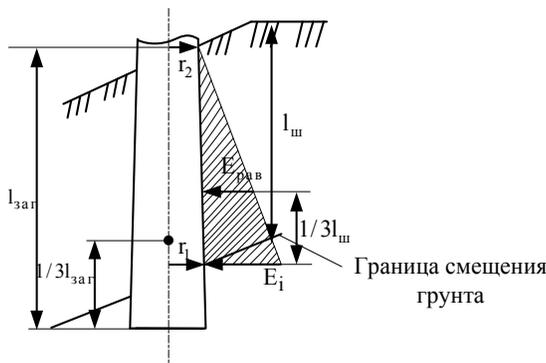
Подставляя найденное значение R_i в выражение для T_i и увеличив последнее в K раз, получим уравнение для определения:

$$KT_i = c_i l_i + f_i N_i + E_i (\cos(\beta_i - \eta_i) + f_i \sin(\beta_i - \eta_i)) - E_{i-1} [\cos(\beta_i - \eta_{i-1}) + f_i \sin(\beta_i - \eta_{i-1})]. \quad (13)$$

Из этого выражения находится значение E_i



Рис. 5. Определение точки приложения оползневое давления грунта.



$$E_i = \frac{(KT_{i-cd} - f_i N_i - c_i l_i - T_{i-yd}) \cos \phi_i}{\cos(\beta_i - \eta_i - \phi_i)} + E_{i-1} \frac{\cos(\beta_i - \eta_{i-1} - \phi_i)}{\cos(\beta_i - \eta_i - \phi_i)} \quad (14)$$

Приведенная формула позволяет оценить оползневое давление грунта на опору контактной сети без учета вибродинамической нагрузки. Для определения максимального воздействия с учетом динамики поездов предлагается воспользоваться динамическими коэффициентами, выведенными в трудах Г. М. Стояновича и А. К. Прокудина [9], и методикой из [10].

Сцепление и угол внутреннего трения грунта, воспринимающего колебания с амплитудой $A_{z,y}$, следует рассчитывать по формулам:

$$c_{\partial n} = c_{cm} \cdot [\kappa'_c + \kappa_c \cdot \exp(-\kappa \cdot (A_{z,y} - A_n))], \quad (15)$$

$$\phi_{\partial n} = \phi_{cm} \cdot [\kappa'_\phi + \kappa_\phi \cdot \exp(-\kappa \cdot (A_{z,y}))], \quad (16)$$

где c_{cm}, ϕ_{cm} – сцепление, угол внутреннего трения при действии статической нагрузки, определяемые в лабораторных условиях на образцах грунта из насыпи в соответствии с требованиями СНиП 2.02.01–83 и ГОСТ 20522–75;

κ'_c, κ'_ϕ – показатели соотношения прочностных характеристик грунта $\kappa'_c = c_{\partial n}^{\min} / c_{cm}; \quad \kappa'_\phi = \phi_{\partial n}^{\min} / \phi_{cm};$ (17)

κ_c, κ_ϕ – показатели относительного снижения характеристик $\kappa_c = 1 - \kappa'_c; \quad \kappa_\phi = 1 - \kappa'_\phi;$ (18)
 κ – коэффициент виброразрушения грунта;

$A_{z,y}$ – результирующая амплитуда колебания частиц грунта в любой точке тела и основания насыпи;

A_n – начальная амплитуда колебания грунта, при которой снижение характеристик не превышает 3–5%.

Таким образом, оползневое давление с учетом изменения прочностных свойств грунта при вибродинамических нагрузках будет определяться по формуле:

$$E_i = \frac{(KT_{i-cd} - f_i N_i - c_{\partial n} l_i - T_{i-yd}) \cos \phi_{\partial n}}{\cos(\beta_i - \eta_i - \phi_{\partial n})} + E_{i-1} \frac{\cos(\beta_i - \eta_{i-1} - \phi_{\partial n})}{\cos(\beta_i - \eta_i - \phi_{\partial n})} \quad (19)$$

Оползневое давление приходится на ту часть опоры, которая лежит выше границы смещения грунта. Точка приложения силы оползневое давления находится на расстоянии $1/3$ от границы смещения грунта (рис. 5).

Момент от действия оползневое давления (относительно точки поворота, изображенной на рис. 5) можно определить по формуле:

$$M_{on} = E_{рав} \cdot S_{on} \cdot 1/3 \cdot (2/3 \cdot L_{заг} - 2/3 \cdot L_{ш}), \quad (20)$$

где $E_{рав}$ – равнодействующая оползневое давления на опору ($E_{рав} = 0,667 E_i$), связанная с эпюрой соответствующих сил [10];

S_{on} – площадь опоры, на которую действует оползневое давление, рассчитывается по формуле:

$$S_{on} = \frac{\pi \cdot l_{ш} \cdot (r_1 + r_2)}{2}, \quad (21)$$

где $l_{ш}$ – высота сползающего шлейфа, действующего на опору контактной сети; r_1, r_2 – радиусы опоры по поверхности смещения шлейфа и у поверхности земли (рис. 5).

Таким образом, опрокидывающий момент от воздействия силы оползневое давления грунта выглядит так:

$$\begin{aligned}
M_{\text{рез}} = & G_{m1} \cdot (\Gamma + 0,5d_{\text{он}}) + G_{\text{кн}} z_{\text{кн}} - G_{\text{нр1}} z_{\text{нр1}} - G_{\text{нр2}} z_{\text{нр2}} - G_{\text{кр}} z_{\text{кр}} \pm \\
& \pm (P_{\text{н}} \pm P_{\text{уз}}) \cdot h_{\text{н}} \pm (P_{\text{к}} \pm P_{\text{уз}}) \cdot h_{\text{к}} \pm (P_{\text{нр1}} \pm P_{\text{уз}}) \times h_{\text{нр1}} \pm \\
& \pm (P_{\text{нр2}} \pm P_{\text{уз}}) \times h_{\text{нр2}} \pm P_{\text{он}} h_{\text{онсеп}} + F' \cdot h_{\text{нм}} - \\
& - 1/2 \cdot m_{\text{н}} \cdot t_{\text{нmax}} \cdot h_{\text{н}} \cdot b \times (2/3 \cdot L_{\text{зар}} - 2/9d_{\text{th}}) - \\
& - \left[\frac{(KT_{i-\text{сд}} - f_i N_i - c_{\text{дн}} l_i - T_{i-\text{yd}}) \cos \phi_{\text{дн}}}{\cos(\beta_i - \eta_i - \phi_{\text{дн}})} + E_{i-1} \frac{\cos(\beta_i - \eta_{i-1} - \phi_{\text{дн}})}{\cos(\beta_i - \eta_i - \phi_{\text{дн}})} \right] \times \\
& \times 0,667 \times S_{\text{он}} \cdot (2/3 \cdot L_{\text{зар}} - 2/3 \cdot L_{\text{ш}}).
\end{aligned} \tag{23}$$

$$\begin{aligned}
M_{\text{он}} = & \left[\frac{(KT_{i-\text{сд}} - f_i N_i - c_{\text{дн}} l_i - T_{i-\text{yd}}) \cos \phi_{\text{дн}}}{\cos(\beta_i - \eta_i - \phi_{\text{дн}})} + \right. \\
& \left. + E_{i-1} \frac{\cos(\beta_i - \eta_{i-1} - \phi_{\text{дн}})}{\cos(\beta_i - \eta_i - \phi_{\text{дн}})} \right] \times \\
& \times 0,667 \times S_{\text{он}} \cdot (2/3 \cdot L_{\text{зар}} - 2/3 \cdot L_{\text{ш}}).
\end{aligned} \tag{22}$$

Следует помнить, что при смещении оси пути от проектного положения происходит значительный рост оползневого давления. Поэтому при расчете опрокидывающего момента необходимо учитывать степень содержания конструкции пути.

Определение результирующего опрокидывающего момента.

С учетом формул (6), (10) и (22) результирующий опрокидывающий момент примет вид (23).

Полученная формула действует при условии, что точка поворота находится на глубине 2/3 заглубления фундамента.

В случае, когда грунт не соответствует нормам содержания, точка поворота изменит своё положение и будет находиться в основании опоры. Результирующий же момент станет определяться формулой

(23), в которой необходимо изменить плечи действия рассмотренных сил.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сборник правил и инструкций по эксплуатации электрифицированных железных дорог. Правила устройства и технической эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог ЦЭ-197. – М.: Энергосервис, 2006.
2. Анализ состояния опорного хозяйства контактной сети в IV квартале 2010 года/27.01.2011 г. №ЦЭЭ 12/01.
3. Бондарев Н. А., Чекулаев В. Е. Контактная сеть: Учебник, – М.: Маршрут, 2006.
4. Комаров К. Л. О динамическом коэффициенте для расчета опор контактной сети//Исследования работы искусственных сооружений. – Новосибирск, 1969. – Вып. 86.
5. Строительные нормы и правила. Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. СНиП 2.02.04.-88. – М., 1990.
6. Ведомственные строительные нормы. Нормы проектирования контактной сети. СТН ЦЭ 141–99. – М.: Транспорт, 2001.
7. Методические рекомендации по закреплению опор контактной сети в суровых климатических и сложных геологических условиях. – М., 1975.
8. Шахунянц Г. М. Железнодорожный путь. – М.: Транспорт, 1987.
9. Стоянович Г. М., Прокудин И. В., Черников А. К. Расчет устойчивости и прочности железнодорожного земляного полотна при вибродинамическом воздействии подвижного состава. – Хабаровск, 1999.
10. Ли В. Н., Химухин С. Н. Неразрушающий контроль элементов контактной сети и токоприёмников электроподвижного состава электрифицированных железных дорог: Монография. – Хабаровск, 2007. ●

OVERTURNING MOMENT OF THE RAILWAY POLE

Li, Valery N. – D.Sc. (Tech), professor, head of the department of transport electric supply of Far-Eastern State University of Railway Engineering.

Sapov, Alexander S. – lecturer at Far-Eastern State University of Railway Engineering.

Diemina, Ludmila S. – lecturer at Far-Eastern State University of Railway Engineering.

The reliability and integrity of the railway concrete poles is one of the major problems of the traffic safety at DC and AC electrified railway tracks. The authors study load-bearing factors of their stability and propose a formula to define the overturning moment.

Key words: railway, railway pole, stability, overturning moment.

Координаты авторов (contact information): Ли В. Н. – nknich@festu.khv.ru, Сапов А. С. – Sapovas@mail.ru, Демина Л. С. – Shtakal@mail.ru.

