

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – Проектирование и строительство дорог

УДК [UDC] 625.122

DOI 10.17816/transsyst20206473-87

© А. А. Лычковский

Российский университет транспорта (МИИТ)

(Москва, Россия)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СООРУЖЕНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Технологическое регулирование сооружения земляного полотна становится неотъемлемой частью строительного процесса. Непрерывный контроль характеристик грунта на стадии строительства очень важен на всех видах грунта, в особенности на обводненных участках грунта и участках с высокотемпературной мерзлотой.

Цель: Формирование технико-технологической системы, функционирующей на принципах прямой и обратной связи между характеристиками геотехнических сооружений и параметрами строительной техники с целью наиболее эффективного и качественного производства работ.

Методы: Технологическое регулирование влажности земляного полотна при помощи технического воздействия на стадии морозного влагонакопления.

Заключение: Для мониторинга состояния земляного полотна во время строительства железных дорог целесообразно использовать опто-волоконный кабель, как датчик, который способен регистрировать характеристики грунта непрерывно по всей длине трассы.

Ключевые слова: интенсивная технология, регулирование характеристик земляного полотна, опто-волоконный кабель, строительство железных дорог.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Field – Road Design and Construction

© A. A. Lychkovskiy

Russian university of transport (MIIT)

TECHNOLOGICAL REGULATION OF THE CONSTRUCTION OF THE ROADBED

Technological regulation of the construction of the roadbed becomes an integral part of the construction process. Continuous monitoring of soil characteristics at the construction stage is very important for all types of soil, especially for watered areas of soil and areas with high-temperature permafrost.

Aim: Formation of a technical and technological system that operates on the principles of direct and feedback between the characteristics of geotechnical structures and the parameters of construction equipment for the most efficient and high-quality production of works.

Methods: Technological regulation of the humidity of the roadbed by means of technical influence at the stage of frost moisture accumulation.

Conclusion: to monitor the condition of the roadbed during the construction of Railways, it is advisable to use an opto-fiber cable as a sensor that can record many characteristics of the ground continuously along the entire length of the route.

Keywords: intensive technology, regulation of roadbed characteristics, fiber-optic cable, railway construction.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение несущей способности оснований насыпей железных и автомобильных дорог актуальна на обводненных грунтах, а также соответствует «Транспортной стратегии РФ до 2030 г.», программам строительства северных магистралей при сооружении объектов на многолетнемерзлых грунтах [1]. На этих грунтах по мере возведения транспортных объектов характеристики грунтов меняются. Повышение среднегодовой температуры на большей части территории России активизирует негативные техногенные процессы в природно-транспортных комплексах ПТК [2].

Большинство обводненных грунтов в насыщенном водой состоянии не соответствуют по несущей способности, но, при уменьшении влажности, характеристики этих же грунтов будут соответствовать нормативным требованиям. В ходе работ на мерзлых и болотистых грунтах следует предусматривать противодеформационные мероприятия для защиты земляного полотна и повышать их несущую способность. Поэтому в данной статье рассмотрен способ профилактики и защиты основания насыпи на стадии морозного влагонакопления.

МЕТОДИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Прочность основания земляного полотна на высокотемпературной мерзлоте предлагается повысить в период морозного влагонакопления за счет технологии дренажа и регулируемого отжатия миграционной воды виброкатком в промерзающем грунте. Концепция заключается в устройстве дренажной системы и организации виброуплотнения основания непосредственно после завершения процесса миграции влаги к зоне промерзания для снижения влажности [3, 4].

Организация технологического регулирования строительных нагрузок должна быть параметрически связана с характеристиками процесса приращения влажности в промерзающей зоне основания за счет миграции влаги из нижних зон [4]. В этом сложном процессе непрерывно изменяются характеристики:

- Температурный импульс для начала влагонакопления;
- Глубина промерзания;
- Критическая влажность пучения грунта;
- Скорость движения влаги;
- Соотношения между температурой и содержанием незамерзшей воды в зоне промерзания;
- Влагопроводимость талого и мерзлого грунта.

Для регистрации характеристик грунтов в ходе работ предлагается организовать технологический мониторинг в режиме реального времени на основе современных средств – опто-волоконного кабеля (ВОК) и геофизических методов исследования.

Для технологического регулирования процессов упрочнения переувлажненных грунтов предлагается применение разработанной в РУТ (МИИТ) комплексной технологии возведения земляного полотна, включающей этапы:

- 1) Подготовительный этап;
- 2) Устройство дренажной системы в верхнем слое основания;
- 3) Организация виброуплотнения грунтов и отжатия воды в дренажную систему.

В подготовительный период на первом этапе следует выполнить работы по устройству сетей контроля температурного режима оснований и пространственных деформаций земляного полотна, которые позволят зарегистрировать изменения параметров теплообмена насыпи, основания и окружающей среды. В ходе работ могут измениться многие начальные характеристики объекта, особенно насыпи, включая состав грунтов. Начальный и регулярный опросы сетей особенно важны при длительном использовании технических решений по отжатию воды и стабилизации грунтов оснований для учета их состояния во времени.

Второй этап данной комплексной технологии – устройство дренажа в виде дренажных прорезей (ширина до 1,5 м, глубина до 1 м, крупный песок с коэффициентом фильтрации свыше 4 м/сут.) и защитного песчаного слоя с геотекстилем [5]. Прорези в слабых водонасыщенных грунтах обеспечивают ускорение консолидации основания за счет сокращения пути фильтрации и отвода воды. Работы по устройству дренажной системы следует завершить до промерзания деятельного слоя, чтобы использовать процессы миграции воды в защитный слой и отжатие по дренажным прорезям [6].

Произведем расчет на основе данных, приведенных в Табл. 1 и 2:

Таблица 1. Физико-механические характеристики грунтов основания на ПК 3083+50 – ПК 3084+50 [7]

Инженерно-геологический элемент	Глубина, м	Плотность сухого грунта ρ_d , г/см ³	Влажность на границе раскатывания W_p , д.е.	Модуль деформации E , МПа	Сцепление C , МПа	Угол внутреннего трения φ , град.
Суглинок текучепластичный, легкий	1,7	1,44	0,245	8	0,011	11
Суглинок текучий	3,3	1,53	0,219	10	0,009	10

Снижение накопленной влажности грунтов за счет дренажной системы:

$$\Delta W = n \cdot \frac{\gamma_B}{\rho_d} - (1 + \alpha) \cdot W_p, \quad (1)$$

где n - пористость грунта, % (0,46);

γ_B - плотность воды (10 т/м³);

ρ_d - плотность скелета грунта, т/м³ (14,4 т/м³);

α - количество капиллярно застрявшей воды в долях (0,1);

W_p - влажность на границе раскатывания, д.е. (0,245 д.е.);

$$\Delta W = 0,46 \cdot \frac{10}{14,4} - (1 + 0,1) \cdot 0,245 = 5 \%$$

Из-за уменьшения влажности деятельного слоя в период морозного пучения и оттаивания, за счет отвода накопленной защитным слоем воды за пределы строительной площадки, изменились и прочностные характеристики грунта:

Влажность $W=26,7 \%$;

Сцепление $C=16,5$ кПа;

Угол внутреннего трения $\varphi=13,7^\circ$.

Третий этап – виброуплотнение грунтов в интенсивном режиме с применением виброкатка, отжатие воды и пошаговое ежедневное повышение технологической нагрузки при мониторинге состояния грунтов и нагрузок. [4] Выбор типа виброкатка и режима его работы должен быть выполнен с учетом ограничения:

$$[P_6(c, \varphi, w) - P_n] \geq [P_k + P_3], \quad (2)$$

где P_6 – безопасная нагрузка, не вызывающая появления предельного состояния грунта по сдвигу, зависит от состояния грунта в технологическом цикле; P_k – регулируемая нагрузка виброкатка,

зависящая от веса вальца, скорости движения и амплитуды вибрации; P_3 – нагрузка от песчаного защитного слоя; P_{Π} – поровое давление [2].

Отжатие воды происходит наиболее эффективно во время промерзания грунта. В этом заключается главная особенность и вместе с тем сложность – выбор оптимального времени начала уплотнения грунтов в интенсивном режиме. Глубина промерзания рассчитывается по формуле:

$$\xi_3 = \sqrt{s_3^2 + \frac{2\lambda_M |\Omega_3^{\text{покр}}|}{Q_{\phi}}} - s_3; \quad (3)$$

$$s_3 = \lambda_M (\overline{R_{CH}} + R_{\Pi}^3). \quad (4)$$

Определение глубины оттаивания в летний период:

$$\xi_L = \sqrt{s_L^2 + \frac{2\lambda_T \Omega_L^{\text{покр}}}{Q_{\phi}}} - s_L; \quad (5)$$

$$s_L = \lambda_T R_{\Pi}^L, \quad (6)$$

где R_{Π}^L , R_{Π}^3 – летнее и зимнее термические сопротивления напочвенного покрова;

R_{CH} – среднее термическое сопротивление снежного покрова;

λ_M , λ_T – соответственно теплопроводность талой и мерзлой породы слоя;

Q_{ϕ} – теплота фазовых переходов промерзающего слоя;

$\Omega_L^{\text{покр}}$, $\Omega_3^{\text{покр}}$ – сумма градусо-часов за летний и зимний период на дневной поверхности,

ξ_L – глубина летнего оттаивания грунта,

ξ_3 – глубина зимнего промерзания грунта [8].

Таблица 2. Теплотехнические характеристики грунта основания насыпи участка железнодорожной линии Обская – Салехард ПК 3083+50 – ПК 3084+50

Расчетный слой	Грунт	Термическое сопротивление напочвенного покрова, $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C})/\text{ккал}$		Среднее термическое сопротивление снежного покрова $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C})/\text{ккал}$	Теплопроводность грунта, $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{°C})$		Теплота фазового перехода промерзающего слоя тыс. $\text{ккал}/\text{м}^3$	Сумма градусо-часов на дневной поверхности	
		Летнее	Зимнее		мерзлого	талого		Зимний период	Летний период
		$R_{\text{покр}}^L$	$R_{\text{покр}}^3$		R_{CH}	λ_M			
Напочвенный покров (естественные условия)	Мох	0,12	0,25	0,5	-	-	-	-100000	60000
Естественные условия	Суглинок	-	-	-	1,71	1,52	19921	-	-

$$s_{л} = 1,52 \cdot 0,12 = 0,18$$

$$\xi_{л} = \sqrt{0,18^2 + \frac{2 \cdot 1,52 \cdot 60000}{19921}} - 0,18 = 2,85 \text{ м}$$

$$s_{з} = 1,71 \cdot (0,5 + 0,25) = 1,28$$

$$\xi_{з} = \sqrt{1,28^2 + \frac{2 \cdot 1,71 \cdot |-100000|}{19921}} - 1,28 = 3,05 \text{ м}$$

Расчет показал, что значение глубины зимнего промерзания превышает глубину летнего оттаивания, а это значит, что деятельный слой составит 2,85 м.

В дальнейшем в качестве расчетной толщи основания будет принята верхняя часть деятельного слоя мощностью 1,7 м, сложенная суглинком легким пылеватым текучепластичным.

Во время промерзания грунта, как только отрицательные температуры достигнут половины глубины промерзания грунта, следует начинать интенсивное уплотнение грунта с отжатием воды в дренаж [9]. До этого следует определить вид катка, в зависимости от критической нагрузки на грунт. Определим критическую нагрузку на грунт:

$$P_{кр} = \frac{\pi \cdot (\gamma \cdot h + C \cdot \cot(\varphi))}{\cot(\varphi) + \varphi - \frac{\pi}{2}} + \gamma \cdot h \quad (7)$$

где γ – удельный вес грунта, т/м³;

h – толщина защитного слоя, м;

C – удельное сцепление грунта основания, кПа;

φ – угол внутреннего трения грунта основания, рад.

$$P_{кр} = \frac{3,14 \cdot (18,15 \cdot 0,4 + 16,5 \cdot 4,102)}{4,102 + 0,24 - \frac{3,14}{2}} + 18,15 \cdot 0,4 = 92,14 \text{ кН/м}^2$$

Для уплотнения грунтов следует выбрать каток, параметры которого соответствуют критической нагрузке на основание. Примем и проверим грунтоуплотняющий каток НАММ 3520 со следующими характеристиками:

- масса, т – 22,5;
- вынуждающая сила, кН – 243;
- ширина вальца, м – 2,22;
- частота вибрации, Гц – 27-30;
- общая нагрузка от катка, кН – 463,65

Нагрузка от катка на поверхность деятельного слоя определяется:

$$P_k = \frac{M_k}{d \cdot l} \quad (8)$$

где M_k – общая масса катка с учетом вынуждающей силы, кН;

d – ширина следа от катка, м; (0,5м)

l – ширина вальца виброкатка, м;

$$P_k = \frac{463,65}{0,5 \cdot 2,22} = 208,6 \text{ кН/м}^2$$

Так как нагрузка от катка превышает критическую нагрузку на грунт, защитного слоя грунта предлагается армировать. Для армирования применим иглопробивной термоскрепленный гидроизоляционный геотекстиль Terrasafe 4000.

Нагрузка от собственного веса грунта:

$$P_g = \gamma_n \cdot h_n = 18,15 \cdot 0,4 = 7,26 \text{ кПа.}$$

Проверка несущей способности слабого основания:

$$P_g^{кр} + kP_{гт} \geq P_o, \quad (9)$$

где $P_g^{кр}$ – критическая нагрузка на грунт;

P_o – суммарная нагрузка, действующая на слабое основание;

$P_{гт}$ – допустимая дополнительная нагрузка, воспринимаемая армирующей прослойкой, кПа;

K – поправочный коэффициент к напряжениям $k = 0,35$ [10].

Суммарная нагрузка, действующая на слабое основание, равна:

$$P_o = P_k k + P_g = 463,65 \cdot 0,35 + 7,26 = 169,5 \text{ кПа}$$

Найдём критическую нагрузку на слабый грунт по формуле:

$$P_g^{кр} = M_1 C + M_2 \gamma_n h_n + M_3 D_z \gamma_{осн} \quad (10)$$

Из (10) при $\varphi = 13,7^\circ$ значения: $M_1=12,9$; $M_2=8,9$; $M_3=0,65$; $D_z=1,2$ м

$$P_g^{кр} = 12,9 \cdot 16,5 + 8,9 \cdot 18,15 \cdot 0,4 + 0,65 \cdot 1,2 \cdot 19,91 = 293 \text{ кПа}$$

Согласно (10) определяем параметр $A=235$ кПа/м и затем рассчитаем

$P_{гт}$:

$$P_{гт} = Ah_n = 235 \cdot 0,4 = 94 \text{ кПа.}$$

Проверяем условие по несущей способности:

$$293 + 0,35 \cdot 94 > 169,5 \text{ кПа}$$

Условие выполняется.

Разделим основание на расчетные слои по прочностным характеристикам (для определения напряжений от строительной нагрузки):

– защитный слой (0,4 м);

- деятельный слой (1,7 м);
- деятельный мерзлый слой (3,3 м);
- многолетнемерзлый грунт (ММГ)

Напряжения на глубине определяются по следующему выражению:

$$\sigma = \frac{P_k}{\pi} (\alpha + \sin \alpha), \quad (11)$$

где P_k - нагрузка от катка.

Вертикальные напряжения на глубине 0,2 м (середина защитного слоя) равны:

$$\sigma_1 = \frac{P_k}{\pi} (\alpha_1 + \sin \alpha_1) = \frac{169,5}{3,14} \cdot (2,79 + 0,342) = 169,07 \text{ кПа}$$

Вертикальные напряжения на глубине 0,4 м (верх деятельного слоя) равны:

$$\sigma_2 = \frac{P_k}{\pi} (\alpha_2 + \sin \alpha_2) = \frac{169,5}{3,14} \cdot (2,44 + 0,643) = 166,42 \text{ кПа}$$

Вертикальные напряжения на глубине 0,9 м (0,5 м от верха деятельного слоя) равны:

$$\sigma_3 = \frac{P_k}{\pi} (\alpha_3 + \sin \alpha_3) = \frac{169,5}{3,14} \cdot (1,78 + 0,978) = 148,88 \text{ кПа}$$

Вертикальные напряжения на глубине 1,25 м (середина деятельного слоя) равны:

$$\sigma_4 = \frac{P_k}{\pi} (\alpha_4 + \sin \alpha_4) = \frac{169,5}{3,14} \cdot (1,45 + 0,993) = 131,88 \text{ кПа}$$

Улучшение грунтовых характеристик происходит при изменении влажности по следующему выражению:

$$W = W_{\text{пр}} - \frac{W_{\text{пр}} S}{h} \quad (12)$$

где $W_{\text{пр}}$ – влажность расчетного слоя, д.е.;

S – осадка за расчетный период, м;

h – мощность расчетного слоя, м.

Изменение модуля деформации E связано с изменением влажности грунта и определяется по формуле согласно [3]:

$$\Delta E = \frac{E_{\text{нач}} \left(J_{\text{нач}} - \frac{W_{\text{кон}} - W_{\text{раск}}}{J_p} \right)}{J_{L\text{max}} - J_{L\text{min}}} \quad (13)$$

где $J_{\text{нач}} = \frac{W_{\text{пр}} - W_{\text{раск}}}{W_{\text{тек}} - W_{\text{раск}}}$ – начальный показатель консистенции грунта;

$W_{\text{раск}}$ – влажность грунта на границе раскатывания, д.е.;

$W_{\text{кон}}$ – влажность грунта после работы катка и отжатия воды, д.е.;
 J_p – число пластичности грунта, д.е.
 $E_{\text{нач}}$ – модуль деформации грунта, МПа;
 J_{Lmax} и J_{Lmin} – максимальный и минимальный показатель консистенции грунта слоя основания.

Изменение всех параметров грунта представлены в Табл. 3:

Таблица 3. Изменение параметров грунта
на участке ж-д линии Обская – Салехард ПК 3083+50 – ПК 3084+50

	Параметры	Начальные параметры	Конечные параметры
Деятельный слой	Осадка S, м	-	0,1935
	Влажность W, %	26,7	19,9
	Угол внутреннего трения φ , град	13,7	18,3
	Удельное сцепление C, кПа	16,5	25
	Модуль деформации E, кПа	2450	4617
	Критическая нагрузка $R_{кр}$, кПа	116,8	185,12

Для контроля температурного режима оснований, пространственных деформаций земляного полотна, мониторинг процессов промерзания и регулирования вибронагрузок в период строительства предлагается вести с применением современных средств диагностики – ВОК и режимных термометрических сетей, которые устраивают по проектной документации (ПД) для стадии эксплуатации земляного полотна. Для контроля хода температур и температурного поля глубину заложения ВОК целесообразно установить равной половине деятельного слоя. Это позволит определить фактическую степень пучинистости грунта и контролировать вибронагрузки. Для наиболее опасных мест будущей трассы предлагается применять метожи сейсморазведки.

СЕЙСМОРАЗВЕДКА ОПАСНЫХ УЧАСТКОВ ТРАССЫ

Инженерно-геологические изыскания должны обеспечивать комплексное изучение условий района (площадки, участка, трассы) проектируемого строительства, включая рельеф, геологическое строение, сейсмотектонические, геоморфологические и гидрогеологические условия, состав, состояние и свойства грунтов, геологические и инженерно-геологические процессы, и составление прогноза возможных изменений инженерно-геологических условий в сфере взаимодействия

проектируемых объектов с геологической средой с целью получения необходимых и достаточных материалов для обоснования проектной подготовки строительства, в том числе мероприятий инженерной защиты объекта строительства, в том числе для повышения несущей способности основания [11].

По результатам маршрутных наблюдений следует намечать места более детальных исследований, составления опорных геолого-гидрогеологических разрезов, определения характеристик состава, состояния и свойств грунтов для применения интенсивной технологии на участках со слабым основанием.

Стационарные наблюдения выполнять для изучения динамики развития опасных криогенных процессов, участки с вечной мерзлотой глубиной более 3 м, в которых происходит деградация мерзлоты. Необходимо исследовать динамику сезонного оттаивания, промерзания и температуры грунтов в слое нулевых годовых колебаний, а также осадки, пучения грунтов основания сооружений.

Мониторинг этих участков должен быть выполнен по индивидуальной программе. Предлагается использовать широкополосную сейсмическую аппаратуру для мониторинга земляного полотна в строительный период.

Сейсморазведка позволяет следить за изменениями в грунте от воздействия вибраций, которые будут происходить во время уплотнения грунтов виброкатком. Она позволяет анализировать смещением грунта в трех плоскостях и строить соответствующие модели деформаций оснований. Эти модели позволяют определить динамику развития деформаций и смещений и разработать прогноз состояния насыпи на перспективу [11].

В перспективе на основе широкополосной сейсмической аппаратуры и волоконно-оптических кабелей целесообразно создание сети мониторинга за состоянием всех участков основания земляного полотна на высокотемпературной мерзлоте строящейся железной дороги.

Опыт разработки технологического регламента строительства участков Северного широтного хода (СШХ) показал наличие таликовых зон, которые состоят, как правило, из грунтов с низкой несущей способностью в основании земляного полотна [12]. Предложенная модификация комплексной технологии в сочетании с ВОК создает предпосылки для прогнозирования и устранения потенциально-опасных мест, профилактике пучения грунтов и соответственно для стабилизации основания [13]. Эти преимущества приводят к ускорению консолидации, сокращению сроков строительства и, соответственно, – к экономической эффективности комплексной технологии упрочнения грунтов.

Постоянный контроль температуры грунта на всем протяжении трассы, где есть слабые водонасыщенные грунты, позволяет с большей точностью определять время начала и скорость промерзания грунта, что в свою очередь позволит использовать процесс миграции воды с большей эффективностью.

Принцип работы кабеля ВОК заключается в определении влияния физических воздействий на характеристики светопрозрачности в волокне. Таким образом, оптоволокно может быть использовано в качестве линейного сенсора [14].

В методике интенсивной технологии с применением ВОК следует учитывать особенности определения нагрузок, действующих на земляное полотно, и расшифровки данных, переданных от кабеля, на стационарные посты мониторинга. Нагрузки, действующие на верх земляного полотна, уменьшаются с глубиной. Для учета этого фактора определены коэффициенты и графики изменения величины нагрузки в зависимости от вида катка, грунтов и глубины заложения ВОК.

Таким образом, нагрузка, действующая на верх земляного полотна, после обработки данных с ВОК будет определяться с помощью формулы:

$$P_d = \frac{P_{\text{каб}}}{\xi}, \quad (14)$$

где P_d – действующая нагрузка на земляное полотно;

ξ – коэффициент изменения величины нагрузки, зависящий от вида катка и глубины заложения кабеля;

$P_{\text{каб}}$ – величина нагрузки, полученная с помощью ВОК.

График изменения коэффициента уменьшения величины напряжения по глубине в зависимости от вида катка ξ представлены на Рис.1, 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интенсивная технология упрочнения слабых и просадочных грунтов повышает стабильность основания в процессе строительства дорог в условиях криолитозоны. Предложенная модификация интенсивной технологии стадией отжатия миграционной влаги в период морозного влагонакопления за счет дренажной системы и виброуплотнения в режиме технологического регулирования в сочетании с применением ВОК позволяет стабилизировать основание и увеличить несущую способность грунтов для развития дорог Арктики [15, 16].

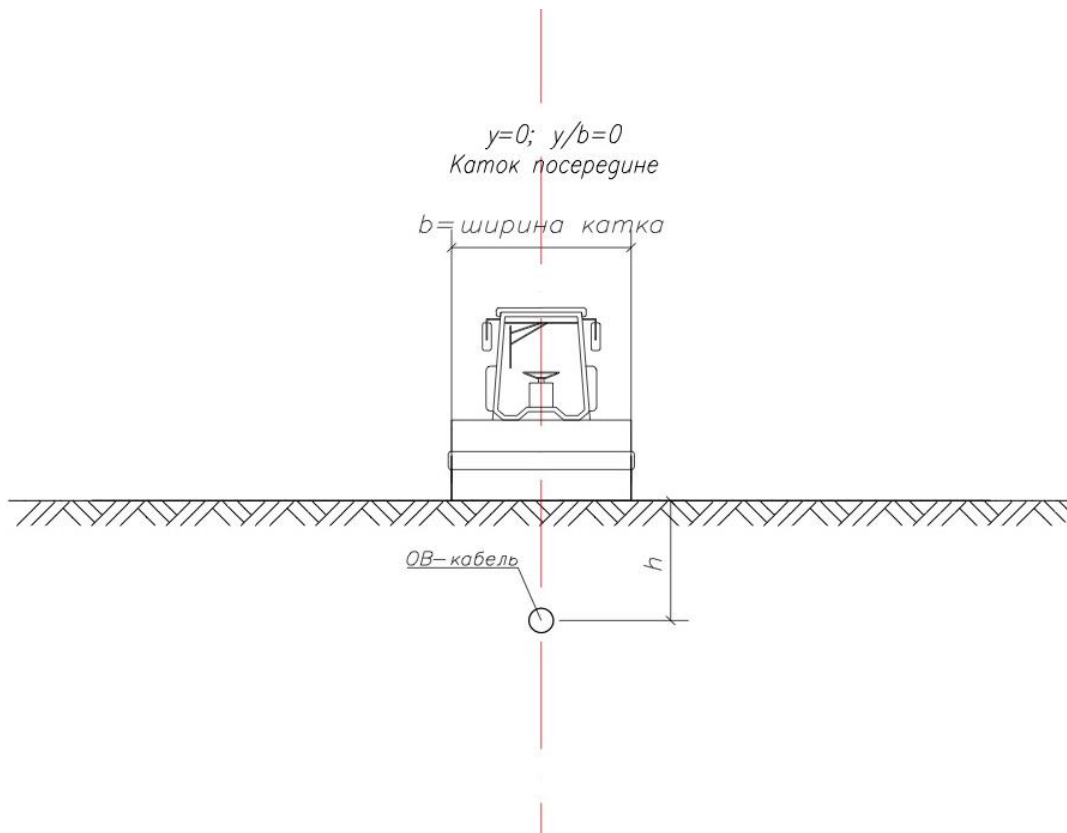


Рис. 1. Схема для определения изменения величины нагрузки (каток над кабелем)

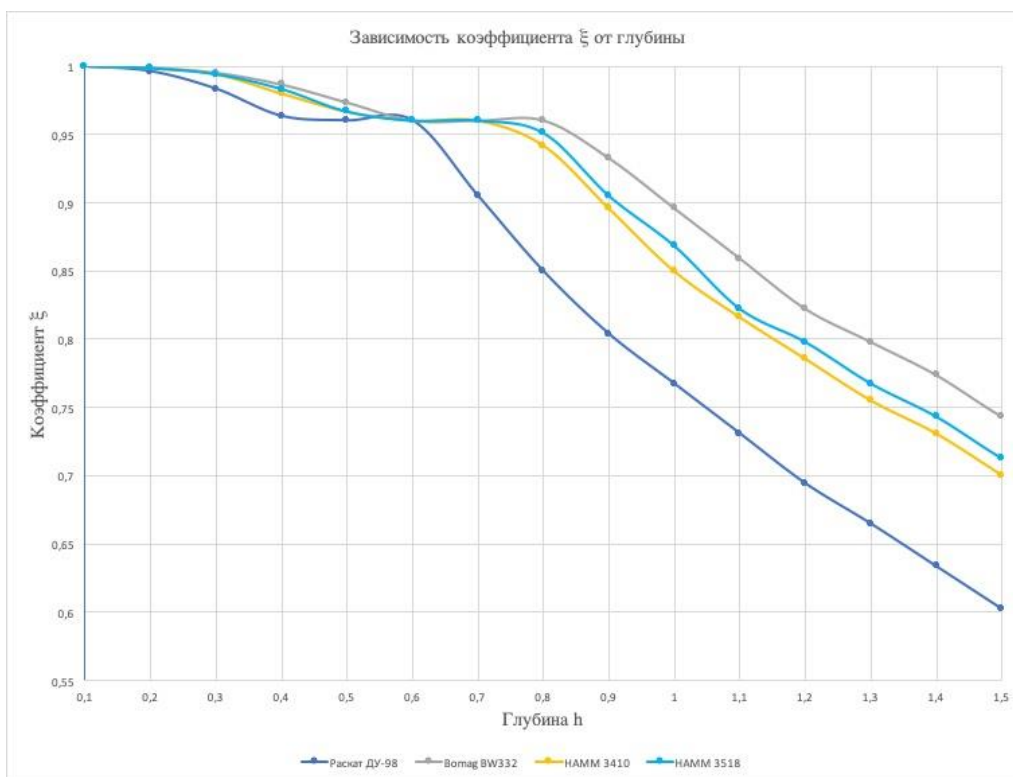


Рис. 2. График изменения коэффициента уменьшения величины напряжения по глубине в зависимости от вида катка ξ (каток над кабелем)

Применение ВОК позволяет повысить точность и оперативность определения температуры грунта по сравнению с термометрическими средствами, для которых устраивают инженерно-геологические и целевые термометрические скважины [17, 18].

Применение опто-волоконного кабеля сопровождает интенсивную технологию упрочнения грунтов в основании земляного полотна не только непрерывным контролем за изменениями температуры грунта, но и позволяет более точно определять температуру грунта в любой точке на всем протяжении, где расположен опто-волоконный кабель, в то время как термометрические скважины дают данные по температуре только в тех местах, где расположены скважины.

После строительства кабель ВОК может быть использован для мониторинга состояния железнодорожного земляного полотна при развитии транспортной инфраструктуры в экстремальных условиях Заполярья.

РЕКОМЕНДАЦИЯ К ПЕЧАТИ

Доктор технических наук, профессор института пути, строительства и сооружений РУТ(МИИТ) Луцкий Святослав Яковлевич является научным руководителем аспиранта Лычковского Александра Александровича и рекомендует данную статью к публикации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Приказ Президента РФ №296 от 27.06.2014: «Определить сухопутные территории Арктической зоны Российской Федерации». [Prikaz Prezidenta RF №296 ot 27.06.2014: "Opredelit' suhoputnye territorii Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii" (In Russ.)]. Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/38377> Дата обращения: 27.06.2017.
2. Тулайков Н.М. К вопросу о влиянии климата на характер почв. – М.: Книга по Требованию, 2012. – 979 с. [Tulaykov NM. K voprosu o vliyaniy klimata na harakter pochv. Moscow: Kniga po Trebovaniyu; 2012. 979 p. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.gde-kniga.ru/books/k-voprosu-o-vliyaniy-klimata-na-harakter-pochv-n-m-tulaykov-9785458607841-6e8baa25-3167-4f21-aa8c-994ce5385421>. Ссылка активна на: 27.11.2020.
3. Рекомендации по интенсивной технологии и мониторингу строительства земляных сооружений на слабых основаниях. – М.: Тимр, 2005. – 96 с. [Rekomendacii po intensivnoj tekhnologii i monitoringu stroitel'stva zemlyanyh sooruzhenij na slabyh osnovaniyah. Moscow: Timr; 2005. 96 p. (In Russ.)].
4. Луцкий С.Я., Сакун Б.В. Теория и практика транспортного строительства. – М.: Первая образцовая типография, 2018. – 304с. [Lutskiy SYa, Sakun BV. Teoriya i praktika transportnogo stroitel'stva. Moscow: Pervaya obrazcovaya tipografiya; 2018. 304 p. (In Russ.)].
5. Kempfert H-G, Stadel M, Zaeske D. Berechnung von geokunststoffbewehrten

- Tragschichten über Pfahlelementen. Bautechnik. 1997;74(12):8-2.
6. Liu JK, Peng L. Experimental Study on the Unconfined Compression of a Thawing Soil. *Cold Regions Science and Technology*. 2009;58:92-96. doi: 10.1016/j.coldregions.2009.03.008
 7. Строительство новой железнодорожной линии «Обская - Салехард». Проектная документация. Раздел 5 «Проект организации строительства». Книга 1. Общая пояснительная записка. 6550-004-ПОС 1. Том 5.1. «ЛЕНГИПРОТРАНС». 2013 [Construction of a new railway line "Ob - Salekhard". Project documentation. Section 5 "construction organization Project". Book 1. General explanatory note. 6550-004-PIC 1. Volume 5.1. "LENGIPROTRANS". 2013 (In Russ.)].
 8. Дыдышко П.И. Проектирование земляного полотна железнодорожного пути: справочное пособие. М.: Интекст, 2011. – 152 с. [Dydyshko P. I. Design of the railway trackbed: reference guide. Moscow: Intext, 2011. - 152 p. (In Russ.)].
 9. Хрипков К.Н. Конструктивно-технологические решения по сооружению земляного полотна в таликовых зонах распространения многолетнемерзлых грунтов: дис. канд. техн. наук. – М.; 2015. – 212 с. [Hripkov KN. Konstruktivno-tekhnologicheskie resheniya po sooruzheniyu zemlyanogo polotna v talikovykh zonah rasprostraneniya mnogoletnemerzlykh gruntov. Moscow; 2015. 212 p. (In Russ.)].
 10. Отраслевой дорожный методический документ ОДМ 218.5.003-2010 «Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог» (с изменениями и дополнениями) [Industry road methodological document ODM 218.5.003-2010 "Recommendations for the use of geosynthetic materials in the construction and repair of highways" (with amendments and additions) (In Russ.)].
 11. СП 11-105-97 часть 1 Инженерно-геологические изыскания для строительства Часть 1. Общие правила производства работ – М.: ПНИИИС Госстроя России, 1997 – 63 с. [Code of practice 11-105-97 part 1. Engineering geological site investigations for construction Moscow: PNIIS Gosstroj Russii; 1997. 63 p. (In Russ.)].
 12. Рекомендации по учету и предупреждению деформаций и сил морозного пучения грунтов. ПНИИИС. – М.: Стройиздат, 1986. – 72 с. [Recommendations for accounting and prevention of deformations and forces of frost heaving of soils. PNIIS. Moscow: Stroizdat; 1986. 72 p. (In Russ.)]. Доступно по: <https://files.stroyinf.ru/Data1/50/50944/>
 13. Неугодников А.П., Ахлебинин М.Ю., Егоров Ф.А., Быковский В.А. Строительный мониторинг на базе волоконно-оптических датчиков. Опыт и результаты применения для высотных зданий / Междунар. симп. «Проблемы современного бетона и железобетона». – Минск, 2009. [Neugodnikov AP, Akhlebinin MYu, Egorov FA, Bykovskiy VA. Stroitelnyy monitoring na baze volokonno-opticheskikh datchikov. Opyt i rezul'taty primeneniya dlya vysotnykh zdaniy. In Mezhd. Simp. "Modern Problems of Concrete and Reinforced Concrete". Minsk, 2009. (In Russ.)].
 14. Удд Э. Волоконно-оптические датчики. Вводный курс для инженеров и научных работников. – М.: Техносфера, 2008. – 520 с. [Udd E. Volokonno-opticheskie datchiki. Vvodnyy kurs dlya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov. Moscow: Tekhnosfera; 2008. 520 p. (In Russ.)]. Доступно по: <http://bookre.org/reader?file=718954>. Ссылка активна на: 27.11.2020.
 15. СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. – М., 2012. – 123 с. [SP 25.13330.2012. Osnovaniya i fundamenty na

- vechnomerzlykh gruntakh. Moscow; 2012. 123 p. (In Russ.)).
16. ВСН-61-89. Изыскания, проектирование и строительство железных дорог в районах вечной мерзлоты. Минтрансстрой СССР. – М.: ЦНИИС, 1990. – 208 с. [VSN-61-89. Izyskaniya, proektirovanie i stroitel'stvo zheleznykh dorog v rajonah vечноj merzloty. Mintransstroj USSR. Moscow: CNIIS, 1990. 208 p. (In Russ.)].
 17. ГОСТ 25358-2012 Грунты. метод полевого определения температуры (Переиздание). – М.: Стандартинформ, 2019. – 19 с. [GOST 25358-2012 Grunty. metod polevogo opredeleniya temperatury (Pereizdanie). Moscow: Standartinform; 2019. 19 p. (In Russ.)].
 18. Томышев К.А., Баган В.А., Астапенко В.А. Распределенные волоконно-оптические датчики давления для применения в нефтегазовой промышленности. Труды МФТИ. – 2012. – Т. 4. – № 2. – С. 64–72. [Tomyshev KA, Bagan VA, Astapenko VA. Raspredelennye volokonno-opticheskie datchiki davleniya dlya primeneniya v neftegazovoj promyshlennosti. *Trudy MFTI*. 2012;(2):64-72. (In Russ.)]. Доступно по: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspredelyonnye-volokonno-opticheskie-datchiki-davleniya-dlya-primeneniya-v-neftegazovoy-promyshlennosti/viewer>. Ссылка активна на: 27.11.2020.

Сведения об авторе:

Лычковский Александр Александрович, аспирант;
eLibrary SPIN: 2671-9305; ORCID: 0000-0002-2663-0508;
E-mail: Alexander_L12@mail.ru

Information about the author:

Alexander A. Lychkovskiy, postgraduate;
eLibrary SPIN: 2671-9305; ORCID:0000-0002-2663-0508;
E-mail: Alexander_L12@mail.ru

Цитировать:

Лычковский А.А. Технологическое регулирование сооружения земляного полотна // Транспортные системы и технологии. – 2020. – Т. 6. – № 4. – С. 73–87. doi: 10.17816/transsyst20195173-87

To cite this article:

Lychkovskiy AA. Technological Regulation of the Construction of the Roadbed. *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(4):73-87. doi: 10.17816/transsyst20106473-87