

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов

УДК [UDC] 625.122

DOI 10.17816/transsyst202173150-157

© **А. А. Лычковский**

Российский университет транспорта (МИИТ)
(Москва, Россия)

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Обоснование: Произведен анализ комплексной технологии возведения земляного полотна, разработанной в РУТ (МИИТ), с целью ее модернизации на основе мониторинга изменения характеристик грунтов с применением опто-волоконного кабеля в ходе строительства.

Цель: Разработка интенсивных технологических режимов повышения надежности дорожного земляного полотна

Методы: Методы контроля и технологического регулирования уплотнения грунтов с целью снижения влажности на стадии морозного влагонакопления в основании возводимой насыпи.

Результаты: В результате анализа модернизация комплексной технологии является целесообразной.

Заключение: предложенные способы технологического регулирования эффективны при возведении земляного полотна на переувлажненных грунтах.

Ключевые слова: земляное полотно, технологическое регулирование опто-волоконный кабель, строительство железных дорог, технология.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Field – Design and Construction of Roads, Subways

© **A. A. Lychkovskiy**

Russian university of transport (MIIT)
(Moscow, Russia)

MODERNIZATION OF THE COMPLEX TECHNOLOGY OF CONSTRUCTION OF THE ROADBED

Background: The analysis of the complex technology of the construction of the roadbed, developed in RUT (MIIT), with the aim of its modernization on the basis of monitoring changes in the characteristics of the soil with the use of fiber-optic cable during construction.

Aim: Development of intensive technological modes for improving the reliability of the road surface.

Methods: Methods of control and technological regulation of soil compaction in order to reduce humidity at the stage of frost moisture accumulation at the base of the embankment being built.

Results: As a result of the analysis, the modernization of the integrated technology is appropriate.

Conclusion: The proposed methods of technological regulation are effective in the construction of the roadbed on waterlogged soils.

Keyw ords: roadbed, technological regulation fiber-optic cable, railway construction, technology.

ВВЕДЕНИЕ

Задача повышения несущей способности основания геотехнических сооружений актуальна, она соответствует стратегии развития железнодорожного транспорта до 2025 года с повышением массы грузовых поездов и требованиями по развитию и обеспечению безопасности инфраструктуры [1].

КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Существующее состояние несущей способности земляного полотна и искусственных сооружений на слабых основаниях не в полной мере соответствует перспективным нагрузкам грузовых поездов, которые должны быть достигнуты к 2025 году.

Опыт постройки и эксплуатации дорог показал, что безопасность сооружений должна быть обеспечена уже в строительный период. В строительных нормах и правилах содержатся конструктивные решения для завершенных геотехнических объектов, обеспечивающие их устойчивость и стабильность. Между тем, на слабых грунтах актуальны требования технологической надежности незавершенных геотехнических сооружений при изменении физическо-механических и теплофизических характеристик .

Для упрочнения слабых и переувлажненных грунтов предлагается модернизировать разработанную в РУТ (МИИТ) комплексную технологию возведения земляного полотна [2], включающую этапы:

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

В подготовительный этап следует выполнить работы по устройству сетей контроля температурного режима [3] 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 основания насыпи, включая состав грунтов. Регулярный опрос сетей необходим для длительного периода использования технических решений, применяемых в комплексной технологии, особенно по снижению влажности и стабилизации грунтов оснований.

Второй этап – устройство дренажной системы, включающей дренажные прорези (ширина до 1,5 м, глубина до 1 м, крупный песок с коэффициентом фильтрации свыше 4 м/сут) и защитный песчаный слой с геотекстилем [4]. Прорези в слабых водонасыщенных грунтах обеспечивают ускорение консолидации основания за счет сокращения пути фильтрации и отвода воды. Завершить работы по устройству дренажной системы следует до промерзания деятельного слоя, когда можно использовать процессы миграции воды в защитный слой и ее отжатие по дренажным прорезям.

Третий этап включает выбор техники и оборудования для уплотнения грунтов в интенсивном режиме с заделом на ежедневное постепенное повышение нагрузки. Производить работы следует при постоянном мониторинге состояния грунтов и нагрузок. Выбор типа виброкатка и режима его работы должен быть выполнен с учетом ограничения:

$$[P_6(c, \varphi, w) - P_{II}] \geq [P_K + P_3], \quad (1)$$

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_{II} – поровое давление [5].

Следует отметить необходимость мониторинга состояния основания земляного полотна при виброуплотнении в режиме реального времени. Для контроля характеристик грунтов и выполнения неравенства (1) предлагается в подготовительный период проложить по оси будущей трассы опто-волоконный кабель (ОВК) для регистрации температурного режима и нагрузок на земляное полотно. [6],[7] Устройство ОВК может быть выполнено при помощи трактора со специальным навесным оборудованием – баровой установкой. По требованиям стабильности основания следует предварительно сравнить по [8] давление от данной машины с предельно допустимой (критической) нагрузкой $P_{кр}$ на грунт:

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

где γ – удельный вес грунта, т/м³;

h – толщина слоя, м;

C – удельное сцепление грунта основания, кПа;

φ – угол внутреннего трения грунта основания, рад.

Покажем порядок расчетов критической нагрузки применительно к исходным данным, приведенным в Табл. 1.

Таблица 1. Физико-механические характеристики грунтов основания на ПК 3083+50 – ПК 3084+50 [9]

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

$$P_{кр} = \frac{3,14 \cdot (14,4 \cdot 1,7 + 11 \cdot 5,14)}{5,14 + 0,19 - \frac{3,14}{2}} + 14,4 \cdot 1,7 = 92,14 \text{ кН/м}^2$$

В качестве базовой строительной машины выбран трактор Т10 ПМ8100,с баровой установкой, нагрузка от которого на слабый слой грунта определена по паспортным параметрам машины в размере 55,32 кН/м². Давление машины в данном примере не превышает критическую нагрузку и является допустимым.

Для реализации технологического этапа отжатия воды и упрочнения грунта следует обосновать режим работы грунтоуплотняющей техники. Для этой цели уплотнение следует начать осенью, когда связанная в грунте вода поднимается к поверхности - фронту промерзания основания. Чтобы использовать опто-волоконный кабель не только как индикатор нагрузки, но и как температурный датчик, следует принять глубину укладки равной середине слоя промерзания грунта по формуле [5]:

$$\xi_3 = \sqrt{S_3^2 + \frac{2\lambda_m |\Omega_3^{\text{покр}}|}{Q_\phi}} - S_3; \quad (3)$$

$$S_3 = \lambda_m (R_{сн} + R_{II}^3). \quad (4)$$

где R_{Π}^3 — зимнее термические сопротивления напочвенного покрова;
 R_{CH} — среднее термическое сопротивление снежного покрова;
 λ_m — соответственно теплопроводность мерзлой породы слоя;
 Q_{ϕ} — теплота фазовых переходов промерзающего слоя;
 $\Omega_3^{\text{покp}}$ — сумма градусо-часов за зимний период на дневной поверхности,
 ξ_3 — глубина зимнего промерзания грунта [10].

Глубину заложения кабеля и координаты ее изменения следует определить по трассе земляного полотна через каждые 10 метров и передать на бортовой компьютер баровой машины, которая оснащена системой GPS навигации. Укладку ОВК выполняют по технологии [11].

Во время промерзания грунта, как только отрицательные температуры достигнут половины глубины промерзания грунта, следует начинать интенсивное уплотнение грунта с отжатием воды в дренажную систему под контролем показаний ОВК.

Опто-волоконный кабель эффективно применяется для контроля температур [12] непосредственно в грунте как непрерывный по длине датчик. В сравнении с устройством термометрических скважин диаметром до 160 мм, в которых температура должна измеряться посредством гирлянд из термометров или термодатчиками, ОВК позволяет снимать показания температуры не точечно, а на всем протяжении будущей трассы непрерывно во времени. Это позволяет эффективно регулировать режим уплотнения грунтов с учетом объема миграции воды к фронту промерзания [13].

После окончания строительства и приемки земляного полотна ОВК и оборудование переходят в состав мониторинга состояния эксплуатируемого железнодорожного участка в дополнение к контрольно-оповестительной системе для информации о повышении напряжения в грунтах основания и опасных состояниях земляного полотна [14]. Непрерывный контроль состояния грунтов в основании позволяет прогнозировать развитие деформаций земляного полотна, которые могут привести к возникновению отказов в работе и снижению надежности всей конструкции железнодорожного пути [15].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технологические режимы сооружения земляного полотна целесообразно дополнить применением опто-волоконного кабеля для оперативной информации и регулирования работы грунтоуплотняющих машин при отжатии воды в период морозного влагонакопления. Модернизация комплексной технологии упрочнения слабых и просадочных грунтов за счет функций опто-волоконного кабеля позволяет

снизить влажность и повысить стабильность основания в процессе строительства. Контрольные функции ОВК полезны и в эксплуатационный период для дополнения мониторинга нагрузок на основание и состояния грунтов земляного полотна.

Статья подготовлена под научным руководством д.т.н., профессора Российского университета транспорта С.Я. Луцкого.

Автор заявляет, что настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Сайт ОАО Российские железные дороги «Повышение веса поездов является единственным способом увеличить погрузку в РФ» [Site ОАО Rossijskie zheleznye dorogi “Povyshenie vesa poezdov yavlyaetsya edinstvennym sposobom uvelichit’ pogruzku v RF”. [Internet]. (In Russ.)]. Доступно по: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?accessible=true&id=157643>. Ссылка активна на 23.03.2021.
2. Lutskiy SYa, Roman LT. Technological Control of Permafrost Soil Characteristics in Roadbeds. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2017;54(3):187-191. doi: 10.1007/s11204-017-9456-2
3. 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.)].
4. Kempfert H-G, Stadel M, Zaeske D. Berechnung von geokunststoffbewehrten Tragschichten über Pfahlelementen. *Bautechnik*. 1997;74(12):8-2.
5. Рекомендации по интенсивной технологии и мониторингу строительства земляных сооружений на слабых основаниях. – М.: Тимр, 2005. – 96 с. [Rekomendacii po intensivnoj tekhnologii i 155onitoring stroitel’sstva zemlyanyh sooruzhenij na slabyh osnovaniyah. Moscow: Timr; 2005. 96 p. (In Russ.)].
6. 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 23.03.2021.
7. 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>
8. СП 32-104-98 Проектирование земляного полотна железных дорог колеи 1520 мм. М.: Госстрой России; ГУП ЦПП, 1999 – 95с. [Code of rules 32-104-98 Design of the earthen bed of railways with a gauge of 1520 mm. М.: Gosstroy of Russia;

- GUP TSPP, 1999 - 95p. (In Russ.)]
9. 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-PIС 1. Volume 5.1. “LENGIPROTRANS”. 2013 (In Russ.)].
 10. Дыдышко П.И. Проектирование земляного полотна железнодорожного пути: справочное пособие. – М.: Интекст, 2011. – 152 с. [Dydyshko PI. Design of the railway trackbed: reference guide. Moscow: Intext, 2011. – 152 p. (In Russ.)].
 11. Лычковский А.А., Луцкий С.Я., Ландсман А.Я., Навроцкая Н.В. Диагностика морозного влагонакопления и технологическое регулирование сооружения земляного полотна Сетевой электронный журнал «Транспортные системы и технологии» – 2020. – Том 6, – № 2. – С. 61–69 [Lychkovsky AA, Lutsky SYa, Landsman AYa, Navrotskaya NV. Diagnostics of frost moisture accumulation and technological regulation of earthen dam construction. *Transport Systems and Technologies*. 2020;6(2):61-69 (In Russ.)]. doi: [10.17816/transsyst20206261-69](https://doi.org/10.17816/transsyst20206261-69)
 12. 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 rezultaty primeneniya dlya vysotnykh zdaniy. In Mezhd. Simp. “Modern Problems of Concrete and Reinforced Concrete” Minsk, 2009. (In Russ.)].
 13. 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](https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2009.03.008)
 14. 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 zheleznnyh dorog v rajonah vечноj merzloty. Mintransstroj USSR. Moscow: CNIS, 1990. 208 p. (In Russ.)].
 15. Рекомендации по учету и предупреждению деформаций и сил морозного пучения грунтов. ПНИИС. – 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/>. Ссылка активна на 23.03.2021.

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, graduate student;
eLibrary SPIN: 2671-9305; ORCID:0000-0002-2663-0508;
E-mail: Alexander_L12@mail.ru

Цитировать:

Лычковский А.А. Модернизация комплексной технологии возведения земляного полотна // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 3. – С. 150-157. doi: 10.17816/transsyst202173150-157

To cite this article:

Lychkovskiy AA. Modernization of the complex technology of construction of the roadbed. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2021;7(3):150-157. doi: 10.17816/transsyst202173150-157