

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей

УДК [UDC] 625.122

DOI 10.17816/transsyst20228186-98

© С.Я. Луцкий¹, А.А. Лычковский¹, А.Я. Ландсман²

¹ Российский университет транспорта (МИИТ)

² Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет
(Москва, Россия)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ СООРУЖЕНИЯ ДОРОЖНОГО ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Обоснование: Многолетние деформации геотехнических сооружений на слабых основаниях и болотах приводят к необходимости разработки новых строительных технологий, повышающих несущую способность грунтов. Существующие нормы проектирования железных и автомобильных дорог ориентированы в основном на обеспечение безопасности земляного полотна на стадии эксплуатации. Между тем, риски потери устойчивости и стабильности участков дорог возникают и на стадии строительства, особенно при работе мощной тяжёлой строительной техники и оборудования.

Цель: Формирование технико-технологической системы, функционирующей на принципах прямой и обратной связи между характеристиками возводимого земляного полотна и параметрами строительной техники для обеспечения безопасности и качества производства работ.

Методы: Технологическое регулирование нагрузок и воздействий строительных машин и оборудования при упрочнении основания и возведении насыпей земляного полотна.

Результаты: Разработан состав комплексной технологии и режим регулирования строительных нагрузок для повышения несущей способности слабых грунтов в основании земляного полотна железных и автомобильных дорог. Определены особенности геотехнического мониторинга для направленного улучшения прочностных характеристик грунтов в строительный период. Показана целесообразность технологического регулирования нагрузок и воздействий строительных машин, оборудования при сооружении земляного полотна.

Заключение: Комплексная технология повышения несущей способности слабого основания земляного полотна состоит в последовательном применении регулируемых режимов интенсивного воздействия на каждый слой основания максимально допустимой нагрузкой при геотехническом мониторинге.

Ключевые слова: земляное полотно, интенсивная технология, технологическое регулирование, строительство дорог.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Field – Design and construction of roads, subways, airfields, bridges and transport tunnels

© S.Y. Lutskiy¹, A.A. Lychkovskiy¹, A.Y. Landsman²

¹ Russian university of transport (MIIT)

² Moscow automobile and road construction state technical university
(Moscow, Russia)

TECHNOLOGICAL REGULATION AND MONITORING OF ROADBED CONSTRUCTION

Background: Long-term deformations of hydraulic structures on weak foundations and swamps lead to the need to develop new construction technologies that increase the bearing capacity of soils. The existing standards for the design of railways and highways are mainly focused on ensuring the safety of the roadbed at the operational stage. Meanwhile, the risks of loss of stability and stability of road sections also arise at the construction stage, especially when powerful heavy construction machinery and equipment are operating.

Aim: Formation of a technical and technological system functioning on the principles of direct and feedback between the characteristics of the constructed roadbed and the parameters of construction equipment to ensure the safety and quality of work.

Methods: Technological regulation of loads and impacts of construction machinery and equipment during the strengthening of the foundation and the construction of embankments of the roadbed.

Results: The composition of the complex technology and the regime of regulation of construction loads have been developed to increase the bearing capacity of weak soils at the base of the roadbed of railways and highways. The features of geotechnical monitoring for the directed improvement of the strength characteristics of soils during the construction period are determined. The expediency of technological regulation of loads and impacts of construction machinery, equipment during the construction of the roadbed is shown.

Conclusion: The complex technology of increasing the load-bearing capacity of the weak foundation of the roadbed consists in the consistent application of regulated modes of intensive impact on each layer of the foundation with the maximum permissible load during geotechnical monitoring.

Key words: roadbed, intensive technology, technological regulation, road construction

ВВЕДЕНИЕ

Геотехническое строительство на слабых грунтах и болотах связано с риском потери стабильности основания и устойчивости объекта при производстве работ, особенно под динамическими нагрузками мощной строительной техники. Причины состоят в неоднородности характеристик, изменении схемы нагрузок от строительных машин для незавершенных сооружений, особенно насыпей. Вероятность неравномерных осадок и, как следствие, предельное состояние грунтовых массивов может возникнуть на переувлажненных участках и косогорах, при сезонном изменении

гидрологии и др. Участки трассы с деформациями, как правило, становятся «больными» местами дорог в эксплуатационный период. Для таких объектов в сложных инженерных условиях строительства особенно актуальны требования Технического регламента о безопасности зданий и сооружений [1], в соответствии с которым безопасность объекта должна быть доказана и сопровождаться геотехническим мониторингом на всех стадиях жизненного цикла. В нормах [2, 3] регламентированы параметры, при которых конструкции и основания проектируемого здания или сооружения не достигнут предельного состояния по прочности и устойчивости. Между тем фундаментальные труды по земляному полотну [4, 5] и механике грунтов [6, 7] не рассматривают технологическое изменение физико-механических характеристик грунтов в ходе строительства.

НАЗНАЧЕНИЕ И СОСТАВ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Выбор технологических параметров возведения насыпей должен включать проверку допустимой скорости нагрузки на слабое основание при производстве земляных работ с учетом порового давления, различия в прочностных характеристиках грунтов в дренированном и неконсолидированном состояниях.

Упрочнение оснований земляного полотна на болотах выполняют с применением трехэтапной технологии: 1) устройство траншеи для удаления торфа, отсыпка или намыв песчаного массива; 2) уплотнение основания; 3) уплотнение верхней части массива и насыпи. На каждом этапе организуют контроль безопасности технологических нагрузок и сроков консолидации грунтов (Рис.1).

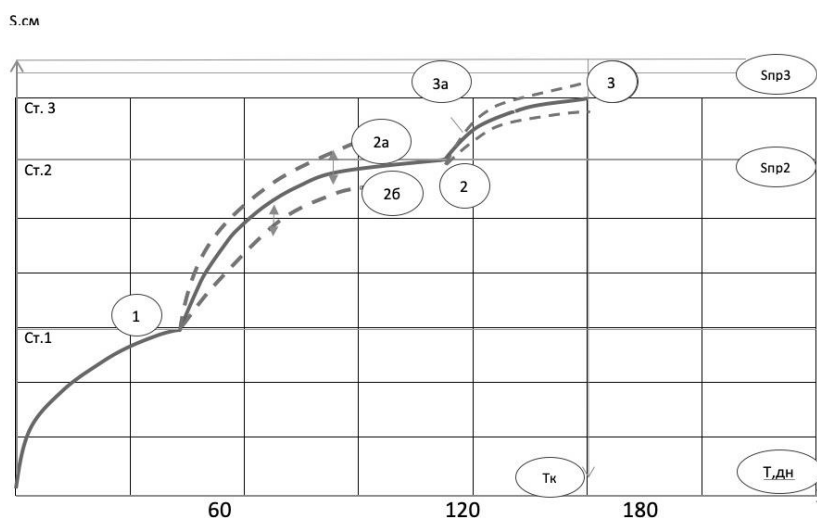


Рис. 1. Этапы консолидации основания насыпи на участке вырезки и замены слабых грунтов

Ст.1 – отсыпка песчаного массива в траншею с погружением на минеральное дно;

Ст.2 – глубинное уплотнение песчаного массива;

Ст.3 – виброуплотнение верхней зоны; $S_{пр}$ – проектная осадка; T_k – срок консолидации основания

Первый технологический этап выполняется мехколоннами с участием субподрядных подразделений для буровзрывных и гидромеханизированных работ по общему календарному плану. Взаимосвязанные экскаваторные и буровзрывные работы необходимы для доставки карьерного песка и вытеснения находящихся под давлением болотных масс. На слабых основаниях первый этап включает интенсивную технологию упрочнения слабых оснований, в том числе устройство поперечных дренажных прорезей (к водоотводной канаве), защитного слоя и упрочнение основания через защитный слой. В соответствии с рекомендациями [8] для эффективного уплотнения основания, особенно с коэффициентом 0,95–0,98, работы следует выполнять с нагрузками, близкими к пределу прочности грунтов с учетом прироста коэффициента динамичности и контактных напряжений.

На втором и третьем этапах для уплотнения песчаного массива следует применить максимально допустимые технологические нагрузки машинами ударно-импульсного действия (типа Terra-Mix) и тяжелыми виброкатками. Именно в этом технологическом процессе возникает риск превышения безопасной для основания нагрузки. Этапы не гарантируют стабильность основания в связи с неоднородностью структуры слоев, которая может привести к остаточным деформациям в связи с изменениями характеристик грунтов в ходе работ из-за повышения влажности и динамического воздействия, особенно при нерегулируемых процессах.

Параметры и продолжительность работы машин следует регулировать в зависимости от состояния стабильности слабых грунтов при непрерывной диагностике напряженно-деформированного состояния насыпи и контроле процессов консолидации слабых грунтов в режиме реального времени.

ОСОБЕННОСТИ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

По требованиям безопасности при повышенных нагрузках и предельном состоянии грунтов необходим технологический мониторинг в реальном масштабе времени [4, 9]. Режим интенсивной технологии уплотнения [10, 11] предполагает возможность поэтапного увеличения нагрузок для ускорения консолидации слабого основания.

Опыт работ ООО «Трансстроймеханизация» [12] на строительстве автодороги М-11 в 2015-16гг показал необходимость сопровождения работ геотехническим мониторингом на каждом этапе. Замена слабых грунтов, погружение на дно и уплотнение песчаного массива на участке трассы М-11 (км 356 – км 357) были выполнены с применением буровзрывного метода и виброкатками тремя изложенными выше технологическими

этапами. По техническому заданию подрядчика было проведено геотехническое обследование сложных участков земляного полотна, выполненное ООО НПП «Инжгеофизика».

Для оценки результатов уплотнения песчаного массива были организованы геофизические исследования – сейсмотомография и электротомография поэтапного изменения литологии и деформационных характеристик грунтов. По результатам сейсмотомографии [6, 13] по разрезам массива определены скорости продольных и поперечных волн, значения которых позволили установить распределение коэффициента Пуассона μ :

$$\mu = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)} \quad (1)$$

где V_p , V_s – соответственно скорости продольных и поперечных волн при сейсмотомографии.

В разрезах массива (Рис. 2) показаны фрагменты площадей S_{cp} , соответствующие значениям коэффициента Пуассона (по [14] при отсутствии экспериментальных данных эти значения допускается принимать равными: 0,30–0,35 – для песков и супесей; 0,35–0,37 – для суглинков; 0,38–0,45 при $0,25 < IL < 1,0$ – для глин, верхняя граница соответствует водонасыщенным грунтам). По всем трем этапам наблюдается последовательное снижение значений коэффициента Пуассона и соответственно увеличение объема песчаной фракции грунтов. Такая динамика показывает уплотнение и осадку песчаного массива.

Статистический анализ позволил установить регрессионные зависимости и устойчивую тенденцию снижения коэффициента Пуассона на всех трех технологических этапах (Рис. 3, Табл.).

Таблица. Деформационные характеристики основания земляного полотна по этапам замены слабых грунтов

	1 этап	2 этап	3 этап
Коэффициент Пуассона $K_{\mu c}$ (ср. взвешенное значение)	0,409	0,373	0,36
Коэффициент регрессии R	0,047	0,67	0,76
Модуль деформации E_c , МПа	17,79	25,81	32,92
Модуль сдвига G_c , МПа	6,493	9,716	12,53

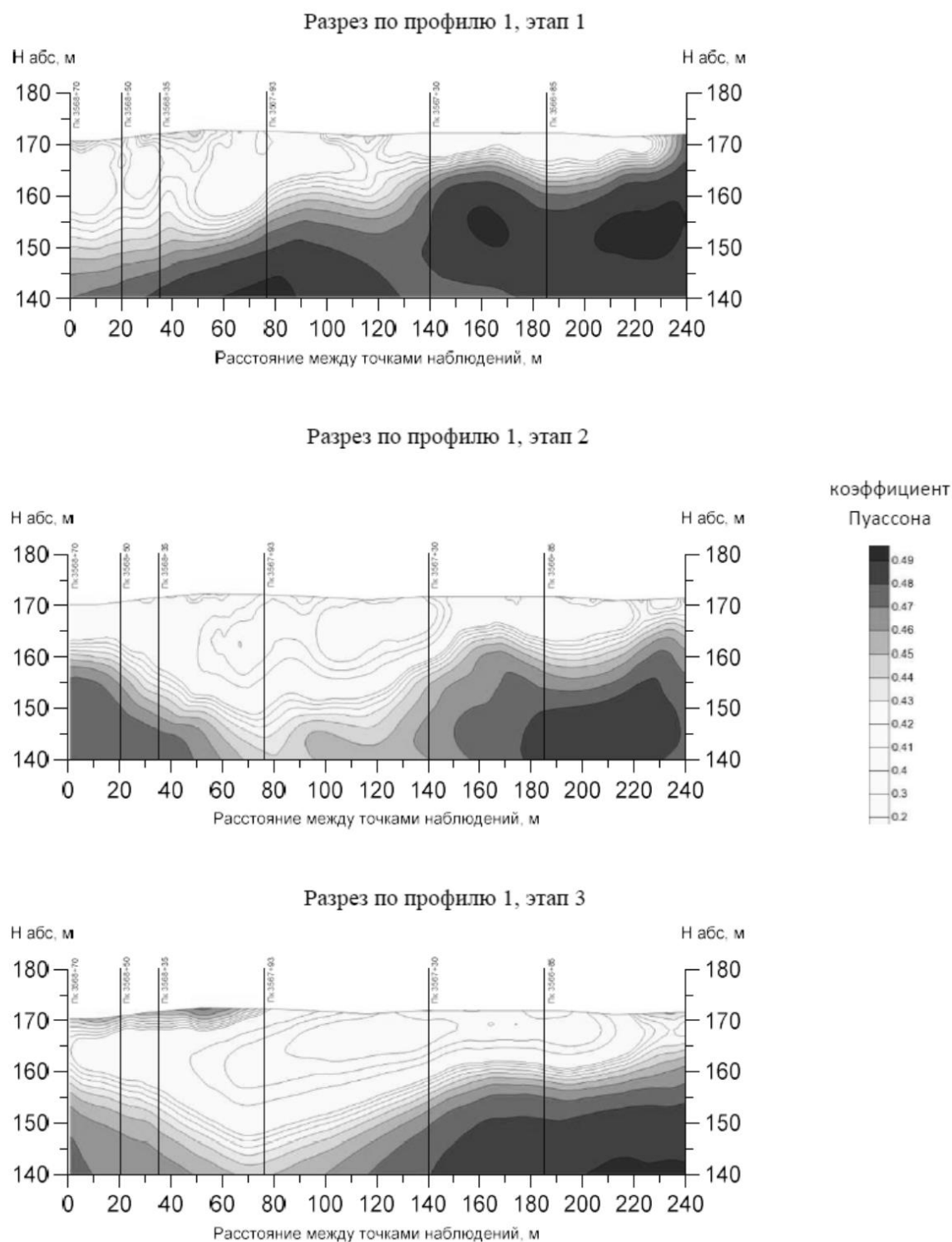


Рис. 2. Разрезы грунтового массива с распределением коэффициента Пуассона по технологическим этапам

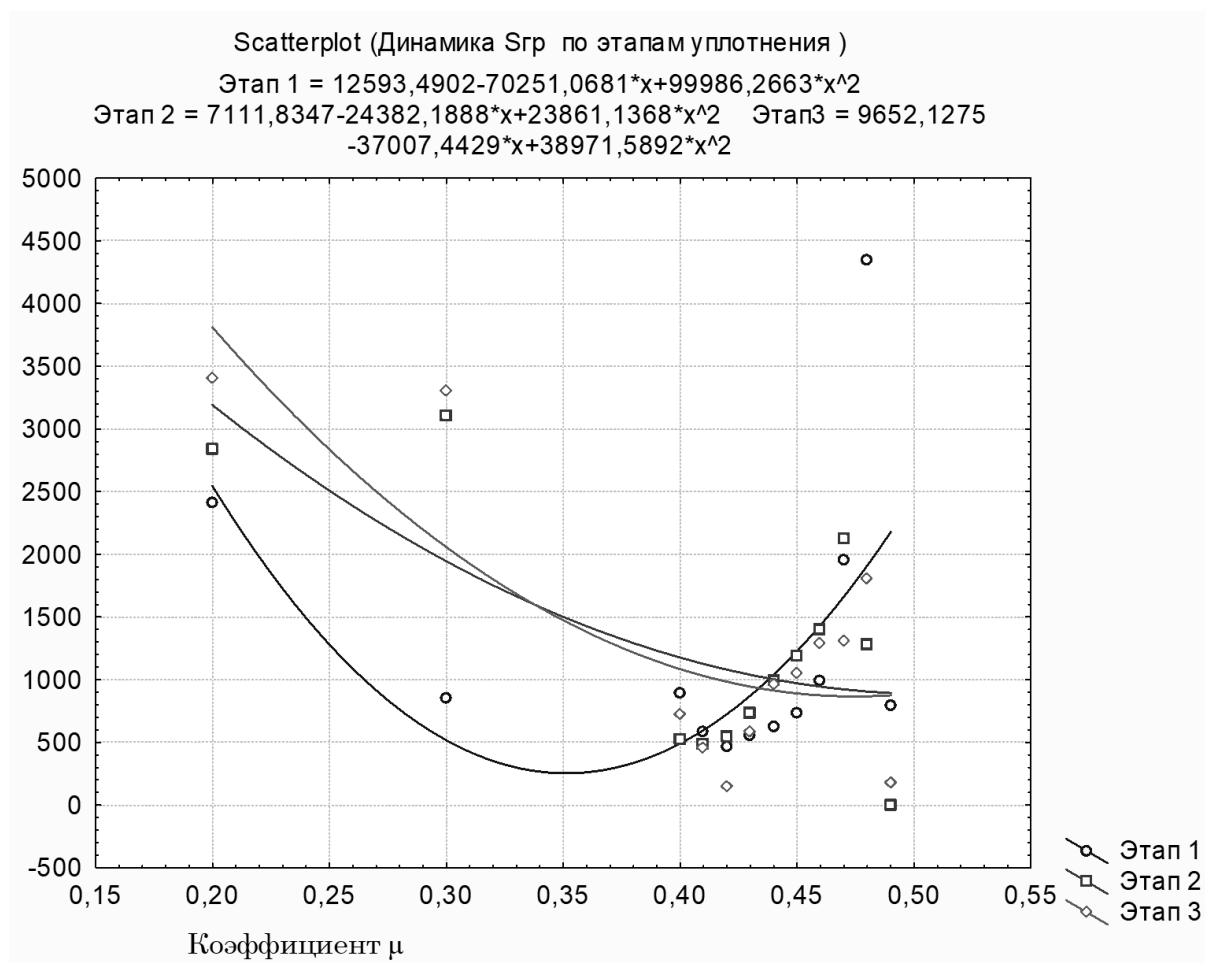


Рис. 3. Распределение площадей разрезов массива $S_{гр}$, m^2 по этапам уплотнения

Уплотнение и технологическое регулирование нагрузки последовательно по этапам повышают однородность состава грунтов и стабильность основания под нагрузкой. Для поэтапной оценки изменения литологии массива в каждом разрезе была введена комплексная характеристика – средневзвешенное значение коэффициента Пуассона:

$$K_{\mu c} = \frac{\sum \mu_i \cdot S_{гpi}}{\sum S_{гpi}}, \quad (2)$$

где $S_{гpi}$ – часть площади $S_{гр}$ в разрезе массива с i -м значением коэффициента μ , которая соответствует определенному виду грунтов.

Снижение значений комплексной характеристики $K_{\mu c}$ за три этапа в 1,14 раза подтверждает последовательное замещение песком слабых водонасыщенных грунтов. Более точный результат по этой методике может быть получен, если геофизические исследования позволяют разделить массив на объемные части.

Для оценки деформационных свойств основания определим относительное изменение характеристик всего песчаного массива (в дополнение к точечным лабораторным и полевым исследованиям грунтов) с учетом связи модулей деформации E и сдвига грунта G :

$$G = \frac{E}{2 \cdot (\mu + 1)}$$

Анализ поэтапной динамики средневзвешенных значений нормативного модуля E_c и расчетного модуля G_c [2] показал последовательное по трем технологическим этапам улучшение деформационных и сдвиговых характеристик массива (Табл.). Перейдем к расчету осадки на этапах комплексной технологии:

$$S_{гр} = 0,8 \sum \frac{Q_{kt} \cdot H_k}{E_{ckt}} \quad (3)$$

где Q_{kt} - технологическая нагрузка; H_k , E_{ckt} - толщина и модуль деформации k -го слоя.

Такой расчет совместно с полевыми испытаниями [5, 15] позволит учитывать слои сложной конфигурации и более точно определить неоднородность основания в расчетах стабильности и деформаций. Вместе с тем на каждом этапе следует контролировать и при необходимости регулировать технологическую и транспортную нагрузку строительных машин. Следует учитывать потенциальные опасности: 1) превышение проектной крутизны откоса или подрезка склона, находящегося в состоянии, близком к предельному; 2) изменение технологической нагрузки и соответственно расчетной схемы устойчивости (перемещение строительных машин, распределение земляных масс и др.); 3) изменение УГВ, влажности и соответственно прочностных характеристик, прогрессирующая ползучесть. Непрерывному изменению технологических нагрузок и воздействий должны соответствовать операционный контроль и прогнозирование хода консолидации грунтов в режиме реального времени [16, 13].

Оценку отклонений фактического хода осадки от проектного тренда и прогноз очередного технологического этапа выполним с применением экспоненциального скользящего среднего [15]. Прогнозное значение осадки S_{ct} определяется по рекурсивной формуле:

$$S_{ct} = K_t \cdot S_{ct-1} + (1 - K_t) \cdot S_{гр,t}, \quad (4)$$

где S_{ct} , S_{ct-1} – соответственно, значение экспоненциального скользящего среднего осадки участка земляного полотна для текущего и предыдущего периода;

$S_{гр, t}$ – контрольное (измеренное) значение осадки участка земляного полотна в результате уплотнения последнего слоя насыпи или прохода виброкатка по площади участка;

K_t – регулирующий коэффициент влияния нового текущего значения осадки на общую динамику. Его величину целесообразно принять равной коэффициенту уплотнения в t -м цикле. Это позволит учитывать в прогнозе последние контрольные результаты осадки (после каждого контрольного этапа - уплотненного слоя) с большей достоверностью, чем данные предыдущих измерений. Зависимость осадки S_{ct} во времени имеет доверительный интервал (Рис. 1).

Контрольные и прогнозные значения осадки следует сопоставить с проектными и нормативными требованиями по стабильности основания после каждой рабочей смены и по предельным деформациям насыпи после уплотнения каждого слоя. Динамическая нагрузка от виброкатка при уплотнении основания не должна превышать безопасный предел:

$$\min[Q_{пр}, Q_{б}, Q_{mc}]_t \geq Q_{k,t}(A_t, V_t, v_t) \quad (5)$$

где $Q_{пр}$ – предел прочности песчаного слоя; $Q_{б}$ – безопасная нагрузка для верхнего слоя по сдвигу; Q_{mc} – предельно допустимая по риску тиксотропии вибронагрузка; $Q_{k,t}$ – нагрузка от катка, зависящая от веса, скорости движения V_t , амплитуды A_t , частоты v_t вибровальца в t -й период интенсивной технологии [9].

Рассмотрим технологический режим виброуплотнения и возможные отклонения осадки S_{ct} от графика схемы-модели (Рис. 1).

1) Осадка превышает верхнюю границу доверительного интервала зависимости S_{ct} , следовательно, расчетная вибронагрузка при уплотнении выше безопасного для грунтов значения $Q_{б}$. Причина может состоять в недостаточном учете деформационных характеристик грунтов, их влажности и др. Состояние грунтов может перерасти в прогрессирующую ползучесть с риском потери устойчивости насыпи, необходимо регулирование (уменьшение) нагрузки. Для механизации работ целесообразно использовать эксплуатационные возможности современных виброкатков, оборудованных системами оперативного контроля качества уплотнения и бесступенчатого изменения амплитуды и частоты вибрации. Более того, современные модели машин (например, фирм Bomag, Дунарак и др.) позволяют при нарушениях заданных параметров технологического режима немедленно снизить нагрузку, перейти в режим осцилляции или остановить работу.

2) Осадка меньше нижней границы доверительного интервала, что может быть следствием порового давления и увеличить сроки консолидации. Эти изменения должны показать датчики порового давления. После его стабилизации следует рассчитать новое повышенное значение нагрузки $Q_{k,t}$.

3) Перманентное колебание, отклонение значений среднего значения осадки S_{ct-1} за пределы доверительного интервала может быть следствием неоднородности массива по структуре и характеристикам грунтов (литология, состав фракций, влажность, плотность). Исследования качества виброуплотнения грунтов при неоднородной структуре основания [12] показали повышение риска предельной нагрузки.

Для оценки таких колебаний следует рассчитывать коэффициент вариации $C_{vt} = \sigma_t / S_{ct}$ по формуле аналогичной (4), его величина должна монотонно уменьшаться.

Величины Q_{np} , Q_{ϕ} и Q_{mc} определяют в зависимости от прочностных характеристик каждого слоя грунта, которые изменяются в технологическом цикле уплотнения основания. Технологический режим уплотнения верхнего нестабильного слоя основания виброкатком связан с необходимостью двух проверок с учетом коэффициента надежности: 1) нагрузка от катка не должна превышать максимальную допустимую нагрузку для стабильности грунтов в основании; 2) величина ускорения колебаний при работе виброкатка, распространяющаяся в толще грунта, не должна превышать критического ускорения по риску появления тиксотропных изменений.

Максимальная технологическая нагрузка должна быть принята равной допустимому значению безопасной нагрузки, рассчитанной по формуле (5) для всех слоев основания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Интенсивное уплотнение основания предназначено для улучшения прочностных характеристик и снижения влажности грунтов. Особенность интенсивной технологии состоит в уплотнении грунтов и отжати воды в режиме максимально допустимых нагрузок. Режим работы катков следует уточнять по результатам испытаний грунтов и расчета коэффициента стабильности каждого слоя основания.

2. Расчет параметров интенсивных технологических режимов должен быть основан на оценке взаимосвязи физико-механических характеристик и технологических нагрузок. Регулирование технологических нагрузок до максимально допустимого для грунтов размера в сочетании с мониторингом в режиме реального времени повышает прочностные характеристики основания насыпей.

3. Технологический эффект состоит в уменьшении сроков консолидации грунтов за счет регулируемых режимов интенсивного воздействия на каждый слой основания земляного полотна максимально допустимой нагрузкой под контролем порового давления. Применение комплексной технологии на участке строительства автодороги М-11 показало возможность ускорения консолидации слабых оснований, сокращения срока строительства и получения экономического эффекта при вводе в эксплуатацию.

Авторы заявляют что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Федеральный закон Российской Федерации №384-ФЗ от 23 декабря 2009 г. «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». [Federal Law of Russian Federation №384-FZ of 23 December 2009. "Tehnicheskii reglament o bezopasnosti zdanii i soorujenii". (In Russ.)]. Ссылка активна на: 14.01.2022. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/
2. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. – М.: 2016. – 160 с. [SP 22.13330.2016. Osnovaniya zdanii i soorujenii. Moscow; 2016. 160 p. (In Russ.)].
3. СП 238.1326000.2015. Железнодорожный путь. – М.: 2015. – 71 с. [SP 238.1326000.2015. Jeleznodorojnii put. Moscow; 2015. 71 p. (In Russ.)].
4. Ашпиз Е.С. Мониторинг земляного полотна при эксплуатации железных дорог. – М.: Путь-пресс, 2002. – 112 с. [Ashpiz ES. Monitoring zemlyanogo polotna pri ekspluatatsii jeleznih dorog. Moscow: Put-press; 2002. 112 p. (In Russ.)].
5. Цытович Н. А. Механика грунтов. – М.: Высшая школа, 1983. – 288 с. [Citovich NA. Mehanika gruntov. Moscow: Visshaya shkola, 1983. – 288 p. (In Russ.)].
6. Крамаренко В.В. Грунтоведение. – М.: Studme, 2017. – 430с. [Kramarenko VV. Gruntovedenie. Moscow: Studme; 2017. 430 p. (In Russ.)].
7. Шахунянц Г.М. Железнодорожный путь. – М.: Транспорт, 1987. – 479 с. [Shahunyanc GM. Jeleznodorojnii put. Moscow: Transport; 1987. 479 p. (In Russ.)].
8. Хархута Н.Я., Васильев Ю.М. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1975. – 288 с. [Harhuta NYa, Vasilev YuM. Prochnost, ustoichivost i uplotnenie gruntov zemlyanogo polotna avtomobilnih dorog. Moscow: Transport; 1975. 288 p. (In Russ.)].
9. Лычковский А.А., Луцкий С.Я., Ландсман А.Я., Навроцкая Н.В. Диагностика морозного влагонакопления и технологическое регулирование сооружения земляного полотна // Транспортные системы и технологии. – 2020. – Т. 6. – № 2. – С. 61–69. [Lichkovskii AA, Luckii SY, Landsman AY, Navrockaya NV. Diagnostics of frost water accumulation and technological regulation of the construction of the roadbed. *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(2):61-69. (In Russ.)]. doi: 10.17816/transsyst20206261-69
10. Патент РФ на изобретение № 2273687/ Заявл. 24.02.2005; опубл. 10.04.2006. – 2005. С.Я. Луцкий [и др.] Дорожное полотно и способ его возведения. [Pat. RUS № 2273687/ Zayavl. 24.02.2005; opubl. 10.04.2006. – 2005. S.Y. Luckyi [i dr.] Dorojnoe polotno i sposob ego vozvedeniya. (In Russ.)]. Ссылка активна на

14.01.2022. Доступно по: <https://www.freepatent.ru/patents/2273687>

11. Рекомендации по интенсивной технологии и мониторингу строительства земляных сооружений на слабых основаниях. – М.: Тимп, 2005. – 96 с. [Rekomendacii po intensivnoj tekhnologii i monitoringu stroitel'stva zemlyanyh sooruzhenij na slabых osnovaniyah. Moscow: Timr; 2005. 96 p. (In Russ.)].
12. Луцкий С.Я., Сакун Б.В. Теория и практика транспортного строительства.- М.: Первая образцовая типография, 2018. – 304с. [Luckiy SY, Sakun BV. Teoriya i praktika transportnogo stroitel'stva. Moscow: Pervaya obrazcovaya tipografiya, 2018. 304 p. (In Russ.)].
13. Ausilio E, Conte E, Dente G. Stability analysis of slopes reinforced with piles. *Computers and Geotechnics*. Elsevier BV; 2001;28:591-611. doi: 10.1016/s0266-352x(01)00013-1
14. ГОСТ 12248-96 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – М.: Издательство стандартов, 2005. – 69 с. [GOST 12248-96 Grunti. Metodi laboratornogo opredeleniya harakteristik prochnosti i deformiruемости. Moscow: Izdatel'stvo standartov; 2005. 69 p. (In Russ.)].
15. Liu JK, Peng L. Experimental Study on the Unconfined Compression of a Thawing Soil. *Cold Regions Science and Technology*. Elsevier BV; 2009;58:92-96. doi: 10.1016/j.coldregions.2009.03.008
16. Антоновская Г.Н., Капустян Н.К., Ромен Ю.С., Данилов А.В. Использование широкополосной сейсмической аппаратуры в задачах интеллектуального мониторинга земляного полотна железнодорожного пути // Транспортные системы и технологии. – 2019. – Т. 5. – № 4. – С. 96–114. [Antonovskaya GN, Kapustyan NK, Romen YuS, Danilov AV. Ispolzovanie shirokopolosnoi seismicheskoi apparatury v zadachah intellektualnogo monitoringa zemlyanogo polotna jeleznodorojnogo puti_ Transportnie sistemi i tehnologii. 2019;5(4):96-114. (In Russ.)]. doi: 10.17816/transsyst20195496-114

Сведения об авторах:

Луцкий Святослав Яковлевич, д. т. н., профессор;
eLibrary SPIN:2475-5149; ORCID: 0000-0002-0124-6497;
E-mail: lsy40@mail.ru

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

Ландсман Анатолий Яковлевич, д. э. н., профессор;
eLibrary SPIN: 9901-5851; ORCID:0000-0002-9474-7337;
E-mail: map@sdm.ru

Information about the authors:

Svyatoslav Y. Lutskiy, Dr. of engineering, professor;
eLibrary SPIN:2475-5149; ORCID: 0000-0002-0124-6497;
E-mail: lsy40@mail.ru

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

Anatoliy Y. Landsman, Dr. of economics, professor; head of the department of the Moscow automobile and road construction state technical university (MADI);
eLibrary SPIN: 9901-5851; ORCID:0000-0002-9474-7337;
E-mail: map@sdm.ru

Цитировать:

Луцкий С.Я., Лычковский А.А., Ландсман А.Я. Технологическое регулирование и мониторинг сооружения дорожного земляного полотна // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2022. – Т. 8. – № 1. – С. 86–98. doi: 10.17816/transsyst20228186-98

To cite this article:

Lutskiy SY, Lychkovskiy AA, Landsman AY. Technological regulation and monitoring of roadbed construction. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2022;8(1):86-98. doi: 10.17816/transsyst20228186-98