

Recommendations are given for further improvement of the block production technology in order to improve the accuracy of the internal geometric parameters of each of the block layers.

**Keywords:** expanded clay concrete, wall blocks, energy efficiency.

### REFERENCES

1. Detlef V. Energy efficient construction is a global trend. *Building materials, equipment, technologies of the XXI century*. 2008. No. 10, pp. 40–41. (In Russian).
2. Livchak V.I. Another argument in favor of increasing the thermal protection of buildings. *Energy saving*. 2012. No 6, pp. 14–20. (In Russian).
3. Patent RF 157701. Stenovoj blok [Wall block]. Balaev A.M., Balaev A.A., Balaev E.A. Declared 31.03.2015. Published 17.11.2015, Bulletin No. 34. (In Russian).

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*LEVIKOV Alexander Valeryevich* – Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *leviksa@mail.ru*

*GAVRILENKO Alexey Vladimirovich* – Assistant of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *GavrilenkoAV@tstu.tver.ru*

*BARLAYA Temur Raufovich* – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *btrs@list.ru*

*HANYGIN Dmitry Aleksandrovich* – Associate Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *mityay1980@yandex.ru*

### CITATION FOR AN ARTICLE

Levikhov A.V., Gavrilenko A.V., Barkaya T.R., Hanygin D.A. Study of geometric and thermal parameters of wall ceramsite concrete blocks with a decorative facade // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2021. No. 4 (12), pp. 38–43.

УДК 625.731:625.711.83

## К ВОПРОСУ СТРОИТЕЛЬСТВА ДОРОГ НА БОЛОТАХ

**В.И. Трофимов**

*Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*

© Трофимов В.И., 2021

**Аннотация.** В статье исследуется актуальная проблема повышения эффективности строительства дорог на слабых грунтах. Обосновывается, что при возведении транспортных сооружений на болотах необходимо учитывать сложные природно-климатические условия строительства, высокую степень сжимаемости торфяных грунтов и

высокую себестоимость работ. Кроме особенностей грунтовых условий, влияющих на устойчивость дорог на болотах, необходимо совершенствовать методику расчета поведения насыпи на слабом торфяном основании и технологию их возведения. Высокая стоимость строительства и повышенная трудоемкость возведения транспортной инфраструктуры на болотах требуют разработки новых проектных решений. Рассматривается вопрос выбора расчетной модели по оценке устойчивости насыпи на слабом торфяном основании. Предлагается учитывать в расчетной модели инерционную составляющую, возникающую при отсыпке насыпи. Разработана оригинальная технология возведения дорожной насыпи на болоте.

**Ключевые слова:** строительство дорог, основание, торфяные грунты, болота, расчетная модель, сила инерции.

**DOI: 10.46573/2658-7459-2021-4-43-49**

Строительство дорог на болотах связано с серьезными трудностями, возникающими как при возведении непосредственно самой насыпи, так и при ее эксплуатации, что обусловлено вопросом стабилизации ее осадки. Возникают серьезные проблемы на этапах проектирования и строительства. Поэтому для того, чтобы дорога была пригодна к использованию в течение заданного срока, проектировщики и строители применяют нестандартные решения [1].

Торфяное основание болот при положительной температуре по своим деформационным свойствам является сильно и быстро сжимаемым реологическим телом [2]. Кроме того, согласно Л.Т. Роман, при довольно широком диапазоне даже отрицательных температур (от 0 до  $-8$  °С) торфяные грунты находятся в пластично мерзлом состоянии, что также говорит о значительной степени их деформируемости под нагрузкой [3].

Анализ выполненных работ, посвященных проблемам устойчивости насыпи, в частности дорожной насыпи на слабом торфяном основании, показывает, что имеются два основных подхода к решению данного вопроса. Первый опирается на деформационную теорию с расчетом осадок и предполагает использование теории фильтрационной консолидации. Второй базируется на использовании принципов механики сплошных сред, согласно которым торфяное основание рассматривается как вязкоупругопластическое тело с оценкой устойчивости насыпи через его реологические свойства с учетом изменения напряженно-деформированного состояния (НДС).

Оценка устойчивости дорожной насыпи на болоте может выполняться по осадке насыпи или по несущей способности торфяного основания.

При расчете конечной осадки насыпи на слабом торфяном основании или по несущей способности исходят из того, что нагрузка на основание  $F_m$ , равная массе насыпи  $m$  ( $F_m = m$ ), остается постоянной [2]. Однако в процессе строительства, реконструкции и эксплуатации нагруженное основание деформируется с переменной скоростью. Эта скорость максимальна в начальный момент нагружения (отсыпки), а в процессе деформирования основания постепенно уменьшается, стремясь к нулю, т.е. насыпь и, соответственно, торфяное основание перемещаются с замедлением – отрицательным ускорением, что вызывает появление, кроме массы насыпи, дополнительной силы – силы инерции, по Ньютону равной произведению движущейся массы на ускорение:

$$F_i = m \cdot dv/dt, \quad (1)$$

где  $m$  – масса насыпи;  $dv/dt$  – ускорение перемещения насыпи.

Следовательно, фактическая сила, действующая на торфяное основание в момент (в процессе) его нагружения, больше и определяется как

$$F = F_m + F_i, \quad (2)$$

где  $F_m = m$ . Тогда с учетом формулы (1) можно записать:

$$F = m(1 + dv/dt). \quad (3)$$

В этом случае скорость осадки  $v$  изменяется от максимального значения до нуля.

После стабилизации осадки насыпи сила инерции практически исчезает и на основание действует только одна сила  $F_m$ , равная массе насыпи  $m$ , однако общая осадка насыпи вызвана действием двух сил –  $F_m$  и  $F_i$ .

В известных методиках расчета конечной осадки  $S_k$  сила инерции  $F_i$  не учитывалась, так как ее влияние на величину  $S_k$  считалось исчезающе малым. Однако, как доказал И.И. Берней, при проведении исследований по обоснованию нового метода оценки реологических характеристик дисперсных систем на основе изучения процесса погружения в них конических инденторов неучет силы инерции, возникающей при ускоренном или замедленном движении тела, приводит к снижению точности их определения [4]. Им были проведены исследования по свободному внедрению конического индентора в различные дисперсные сыпучие и связные системы (песок, глина, цементное тесто и др.) с замером силы инерции. Оказалось, что максимальное значение этой силы, в зависимости от величины двигавшихся масс, на 20–50 % превышает силу тяжести, действующую на конус.

Данное обстоятельство позволяет сделать вывод, что при расчете осадки насыпи необходимо учитывать действие дополнительной силы инерции. Особенно важно учитывать данный фактор при строительстве дорог и дамб на болотах, где в основании находится сильносжимаемая горная порода – торф, в отличие от малосжимаемых – минеральных грунтов. По данным Л.С. Амаряна модуль деформации и коэффициент сжимаемости водонасыщенного торфа на порядок отличаются от аналогичных характеристик песка, глины и др. [2]. Это говорит о том, что и скорость их деформирования под нагрузкой также существенно различается.

Безусловно, на скорость деформирования основания, а соответственно, и на скорость осадки насыпи будут влиять также и величина распределенной нагрузки, технология отсыпки насыпи, физико-механические свойства торфяного основания и другие факторы.

Известно, что пластические деформации связаны со взаимным перемещением частиц при сдвиге относительно друг друга. Частицы распределены по объему деформированной зоны (ядра и активной зоны деформирования) неравномерно, поэтому рассматривать пластическую деформацию как относительную по отношению ко всему объему не вполне корректно. Аналогично с площадью воздействия нагрузки. Во время пластического течения нельзя однозначно сказать, по какой площади распределена сила, так как происходят процессы перемещения за счет сдвига и развития дилатансии грунта. Значит, необходимо установить зависимость деформации от геометрических размеров воздействующего силового элемента – насыпи (ядра, объемных частей – зон деформированного основания).

Рассмотрим пример работы дорожной насыпи на торфяном основании. Пластическому деформированию (перемещению) определенной зоны основания – ядра уплот-

нения и активной зоны деформирования противодействует со стороны остальной части основания сила сопротивления среды  $F_s$ , которая зависит от ряда факторов, в частности от скорости нагружения – скорости отсыпки насыпи.

Для описания процесса деформирования торфяного основания от действия постоянной нагрузки – массы насыпи  $m_1$  используем второй закон Ньютона (1). Сила инерции  $F_i$  складывается из силы тяжести  $mg$  и силы сопротивления  $F_s$  (силы отпора упругой – ненарушенной зоны торфяного основания) активной зоны деформирования ядру уплотнения, т.е. можно записать

$$m \cdot dv/dt = mg - F_s, \quad (4)$$

или

$$m \cdot dv/dt = mg - kv, \quad (5)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности между скоростью осадки насыпи  $v$  (и ядра) и силой сопротивления, оказываемой ядру активной зоной деформирования.

Однако с учетом того, что в процессе осадки насыпи формируется область с повышенной плотностью – ядром уплотнения 3, сила инерции  $F_i$  будет зависеть от двух составляющих: массы насыпи  $m$  и прироста массы ядра уплотнения  $\Delta m$ . Можно записать

$$\Delta m = m_i - m_0, \quad (6)$$

где  $m_i$  – масса ядра уплотнения;  $m_0$  – масса объема ядра до уплотнения.

Зная плотность ядра  $\rho_i$ , плотность ненарушенной зоны (природная плотность данного слоя)  $\rho_0$  и объем ядра уплотнения  $V$  получим

$$\Delta m = \rho_i V - \rho_0 V, \text{ или } \Delta m = V(\rho_i - \rho_0). \quad (7)$$

Вставим полученное выражение в формулу (5), тогда

$$(m + \Delta m)dv/dt = (m + \Delta m)g - kv. \quad (8)$$

Для снижения влияния фактора инерционной составляющей осадки насыпи в процессе ее отсыпки на болоте предлагается новая технология [5]. Ее особенность заключается в том, что насыпь отсыпают вертикальными слоями (рис. 1, 2).

Строительство дороги на болоте осуществляют следующим образом.

При строительстве двухслойной дороги в летнее время (рис. 1а, 2а) вначале расчищают трассу дороги и подготавливают основание 1 с подошвой 2. После этого подошву 2 делят по ширине на три продольные полосы 3, 4 и 5 в пределах деляны. Затем начинают отсыпку первого слоя насыпи с краев полос 3, 5, включая откосы, например на ширину одной полосы дороги и на длину, равную половине ширине насыпи, но не менее  $2,5b_{кр}$ . Далее начинают отсыпку средней части насыпи полосы 4, продолжая при этом выполнять отсыпку насыпи по крайним полосам 3, 4.

Второй слой формируют в обратном порядке. Отсыпают среднюю часть – полосу 6, например на длину, равную половине ширины насыпи, но не менее  $2,5b_{кр}$ . После этого начинают отсыпку крайних полос 7, 8, продолжая при этом выполнять отсыпку средней части – полосы 4. В процессе отсыпки первого слоя насыпи происходит формирование в основании насыпи НДС, характеризуемого сжатием (параметр Лодде, определяющий вид напряженного состояния,  $\mu_\sigma = -1$ ), и более плотной структуры, что повышает устойчивость системы и эффективность способа. В процессе отсыпки второго слоя в обратном порядке происходит выравнивание поля напряжений в торфяном основании и разброс стыко-

вочных швов – несовпадение продольных швов по высоте насыпи, что обеспечивает однородность грунта земляного полотна по плотности.

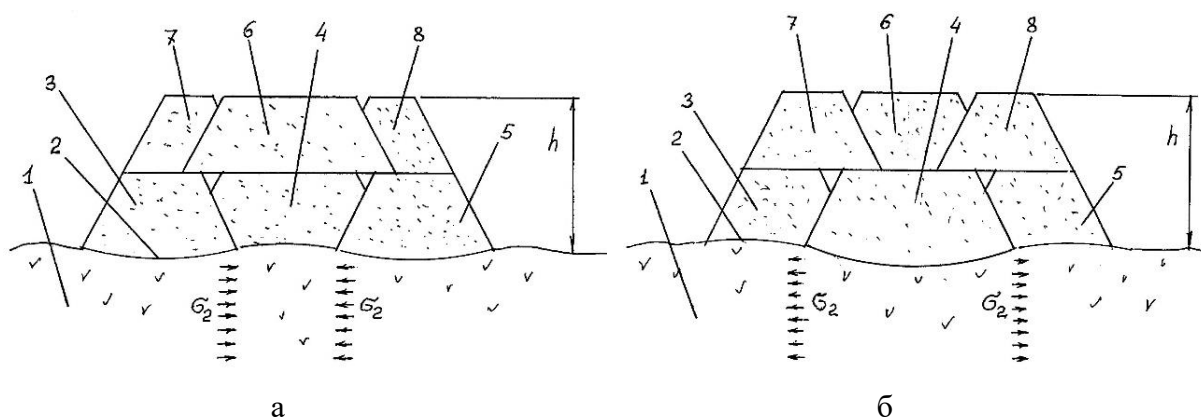


Рис. 1. Схема отсыпки насыпи на болоте в летнее (а) и в зимнее (б) время

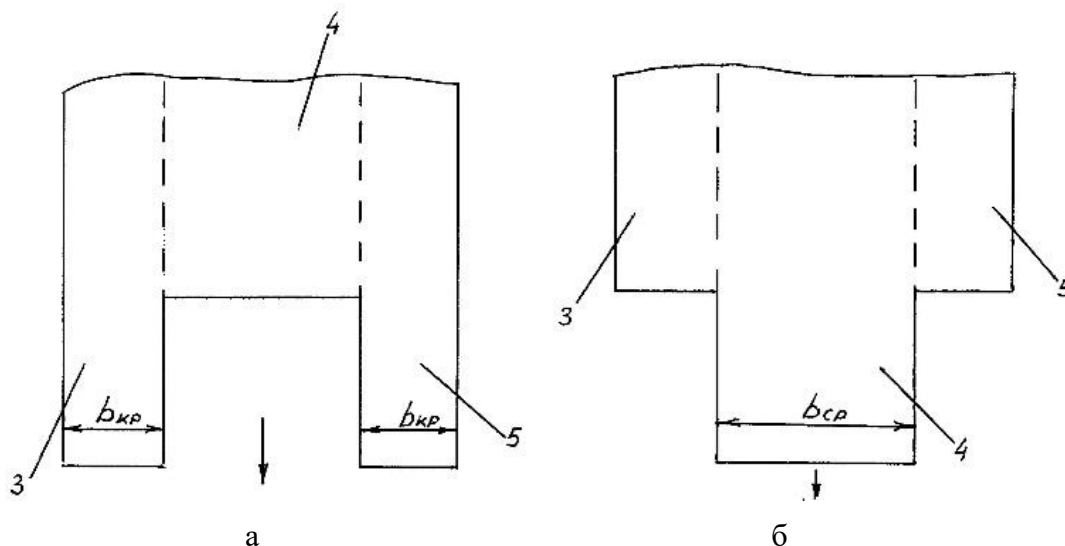


Рис. 2. План отсыпки насыпи в летнее (а) и в зимнее (б) время

Длина отсыпки полос, равная  $2,5b_{кр}$  ( $2,5b_{ср}$ ) и более, выбрана из условия снижения взаимного влияния зоны деформаций в основании под средней полосой и зоны деформаций в основании под крайними полосами в процессе отсыпки насыпи земляного полотна.

**При строительстве дороги в зимнее время** (см. рис. 1б, 2б) вначале расчищают от снега трассу дороги и подготавливают основание 1 с подошвой 2. После этого подошву 2 делят по ширине на три продольные полосы 3, 4 и 5 в пределах деляны. Затем начинают отсыпку первого слоя со средней части 4 насыпи, например на ширину, равную двум полосам дороги и длину, равную половине ширине насыпи, но не менее  $2,5b_{ср}$ . Далее начинают отсыпку крайних полос 3, 5 насыпи, продолжая при этом выполнять отсыпку средней части насыпи – полосы 4.

Отсыпку последующих слоев выполняют в обратном порядке или по всей ширине дороги в зависимости от глубины болота, условий строительства и условий эксплуатации. В процессе отсыпки насыпи происходит формирование в основании насыпи НДС, характеризуемого растяжением (параметр Лоде, определяющий вид напряженного состояния,  $\mu_\sigma = +1$ ), что приводит к более быстрой осадке насыпи в зимнее время и, соответственно, ее стабилизации. При этом сокращаются сроки строительства и повышается эффективность способа.

В заключение отметим, что для снижения влияния фактора инерционной составляющей осадки насыпи на торфяном основании необходимо в процессе строительства, особенно в летний период, проводить технологические мероприятия: снижать скорость отсыпки насыпи, изменять технологию строительства (например, вести в определенной последовательности отсыпку слоями или отсыпку крайними полосами одновременно), а также по возможности применять в торфяном основании систему песчаных дрен.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Войтов М.А., Никольцев П.К., Бестаев В.И., Жирнов К.Ф., Комраков Ю.В. Современные методы строительства автомобильных дорог в болотистой местности // *Инженерный Вестник Дона*. 2020. № 1 (61). 10 с.
2. Амарян Л.С. Свойства слабых грунтов и методы их изучения. М.: Недра. 1990. 220 с.
3. Роман Л.Т. Мерзлые торфяные грунты как основания сооружений. Новосибирск: Наука. 1987. 223 с.
4. Берней И.И. Исследование структурно-механических пластично-вязких сред на конических пластометрах // *Строительные материалы*. 1973. № 7. С. 45–47.
5. Патент РФ 2293814. *Способ строительства дорог на болотах (варианты)* / Трофимов В.И.; Заявл. 30.08.2005. Оpubл. 20.02.2007, Бюл. № 5.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

*ТРОФИМОВ Валерий Иванович* – канд. техн. наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: [vitrofa@mail.ru](mailto:vitrofa@mail.ru)

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Трофимов В.И. К вопросу строительства дорог на болотах // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2021. № 4 (12). С. 43–49.

---

## TO THE ISSUE OF ROAD CONSTRUCTION IN SWAMPS

*V.I. Trofimov*

*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** The article deals with the current problem of increasing the efficiency of road construction on weak soils. When erecting transport facilities in swamps, it is necessary to take into account the complex natural and climatic conditions of construction, the high

degree of compressibility of peat soils and the high cost of work. In addition to the features of soil conditions that affect the stability of roads in swamps, it is necessary to improve the methodology for calculating the behavior of the embankment on a weak peat base and the technology for their construction. The high cost of construction and the increased labor intensity of the construction of transport infrastructure on swamps and soils require the development of new design solutions. The issue of choosing a calculation model for assessing the stability of the embankment on a weak peat base is being considered. It is proposed to take into account in the calculation model the inertial component that occurs when filling the embankment. An original technology for erecting a road embankment on a swamp has been developed.

**Keywords:** road construction, foundation, peat soils, swamps, design model, inertia force.

#### REFERENCES

1. Vojtov M.A., Nikol'cev P.K., Bestaev V.I., Zhirnov K.F., Komrakov Yu.V. Modern methods of road construction in swampy areas. *Inzhenernyj Vestnik Dona*. 2020. No. 1 (61). (In Russian).
2. Amaryan L.S. *Svoistva slabyh gruntov i metody ih izucheniya* [Properties of soft soils and methods of their study]. Moscow: Nedra. 1990. 220 c.
3. Roman L.T. *Merzlye torfyanye grunty kak osnovaniya sooruzhenij* [Frozen peat soils as the foundations of structures]. Novosibirsk: Nauka. 1987. 223 p.
4. Bernej I.I. Investigation of structural-mechanical ductile-viscous media on conical plasmeters. *Stroitel'nye materialy*. 1973. No. 7, pp. 45–47. (In Russian).
5. Patent RF 2293814. *Sposob stroitel'stva dorog na bolotah (varianty)* [Method of road construction in swamps (options)]. Trofimov V.I. Declared 30.08.2005. Published 20.02.2007. Bulletin No. 5. (In Russian).

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

*TROFIMOV Valery Ivanovich* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Products and Constructions, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: [vetrofa@mail.ru](mailto:vetrofa@mail.ru)

#### CITATION FOR AN ARTICLE

Trofimov V.I. To the issue of road construction in swamps // *Vestnik of Tver State Technical University*. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2021. No. 4 (12), pp. 43–49.