



# Интенсивная технология при сооружении земляного полотна в криолитозоне



Таисия ШЕПИТЬКО  
Taissia V. SHEPITKO

Святослав ЛУЦКИЙ  
Svyatoslav Y. LUTSKY



Игорь АРТЮШЕНКО  
Igor A. ARTYUSHENKO

*Шепитько Таисия Васильевна – доктор технических наук, профессор Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.*

*Луцкий Святослав Яковлевич – доктор технических наук, профессор РУТ (МИИТ), Москва, Россия.*

*Артюшенко Игорь Александрович – аспирант кафедры проектирования и строительства железных дорог РУТ (МИИТ), Москва, Россия.*

## Intensive Technology for Construction of a Roadbed in the Permafrost Zone

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 62)

**Предложен интенсивный технологический режим повышения стабильности слабых грунтов при сооружении земляного полотна на участке с многолетнемёрзлым основанием. На примере Северного широтного хода показана эффективность применения фундаментальных положений механики мёрзлых грунтов, установлены технологические закономерности повышения прочностных характеристик – угла внутреннего трения и сцепления грунта при уменьшении влажности и отводе воды из деятельного слоя и талика за пределы строительной площадки. Обосновано применение интенсивной технологии для упрочнения земляного полотна при строительстве путей сообщения в криолитозоне.**

*Ключевые слова:* железная дорога, Северный широтный ход, многолетнемёрзлые грунты, земляное полотно, интенсивная технология.

Стабильность и устойчивость земляного полотна в регионах распространения многолетнемёрзлых грунтов должны быть обеспечены в течение всего предстоящего железной дороге жизненного цикла, начиная со стадии проектирования и геологических изысканий, в ходе которых появляются данные о теплофизических и физико-механических процессах, происходящих в грунтах. Под влиянием этих процессов при оттаивании происходят деформации, неблагоприятно влияющие на безопасность инженерного сооружения [1, 8]. Труды по теории земляного полотна Г. М. Шахунянца [10] и М. Н. Гольдштейна [2], посвящённые его конструкции и эксплуатации, не совсем полно раскрывают проблему изменения физико-механических характеристик грунтов в процессе строительства.

Актуальность этой проблемы подтвердилась при рассмотрении результатов инженерных изысканий и оценке стабильности основания на участках строительства Северного широтного хода [5, 6]. Анализ показал,

Calculation information

Multipliers | Additional Info | Step Info

Step Info		Step	346 of 346	Extrapolation factor	1,000
Plastic STEP				Relative stiffness	0,000

Multipliers	Incremental multipliers		Total multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0,000	$\Sigma$ -Mdisp:	1,000
Load system A	MloadA:	0,000	$\Sigma$ -MloadA:	1,000
Load system B	MloadB:	0,000	$\Sigma$ -MloadB:	1,000
Soil weight	Mweight:	0,000	$\Sigma$ -Mweight:	1,000
Acceleration	Maccel:	0,000	$\Sigma$ -Maccel:	0,000
Strength reduction factor	Msf:	0,000	$\Sigma$ -Msf:	0,767
Time	Increment:	0,000	End time:	733,067
Dynamic time	Increment:	0,000	End time:	0,000

Print OK

Рис. 1. Результаты расчёта коэффициента стабильности в программном комплексе Plaxis.

что на высокотемпературной мерзлоте (при положительной температуре грунтов на границе нулевых амплитуд) второй принцип строительства (с допущением оттаивания) приводит к особенно многочисленным деформациям земляного полотна.

На стадии проектирования строительства новой железнодорожной линии в районе многолетнемёрзлых грунтов необходимо учитывать наличие возможных опасных участков. Таковыми, в частности, являются таликовые зоны, которые оказывают негативное влияние на строительство земляного полотна и его последующую эксплуатацию [10]. Подобные зоны могут быть причиной появления различных деформаций на строительных объектах [1]. Для ликвидации таликов большой мощности разработана модификация интенсивной технологии в сочетании со сваями в геотекстильной оболочке [4].

В профилактике деформаций земляного полотна эффективно зарекомендовала себя интенсивная технология, разработанная в Российском университете транспорта (МИИТ). Она была запатентована [3] и впервые реализована АО «Центростроймеханизация» на строительстве автомагистрали МКАД–Кашира [7].

Рассмотрим опыт реализации интенсивной технологии на примере участков земляного полотна железнодорожной ли-

нии Салехард–Надым. Анализ стабильности основания, выполненный в [5, 12], показал наличие потенциально опасных участков с коэффициентом стабильности ( $K_{ст}$ ) 0,688. Поскольку  $K_{ст} < 1$ , прочность основания не обеспечена. Проверка в программном комплексе Plaxis (рис. 1) подтвердила нестабильность основания:  $K_{ст} = 0,767$ .

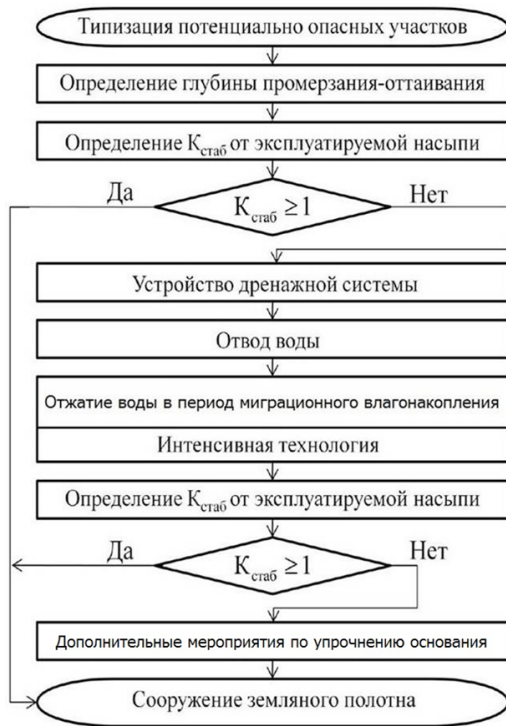
Интенсивная технология позволяет улучшить прочностные характеристики грунтов основания за счёт мероприятий по уплотнению и снижению влажности (рис. 2).

Первый этап интенсивной технологии заключается в устройстве дренажных систем с целью ускорения консолидации. Данный процесс происходит за счёт отвода воды, отжимаемой из толщи слабого основания.

Второй этап заключается в упрочнении грунтов основания при помощи их уплотнения с применением дополнительной внешней нагрузки от грунтовых виброкатков, позволяющей уменьшить влажность, повысить прочность и модуль деформации грунтов.

В соответствии с рекомендациями по интенсивной технологии [7, 11] её проектирование включает выбор организационно-технологических методов, обеспечивающих в совокупности улучшение эксплу-





**Рис. 2. Принципиальная схема повышения стабильности земляного полотна на просадочном основании.**

атационных качеств (характеристик) основания земляного полотна:

- уменьшение и последующее затухание осадки (S);
- рост модуля деформации (E);
- повышение прочностных характеристик грунта (C, φ).

Благодаря применению интенсивной технологии при проектировании производства земляных работ на участке Салехард–Надым влажность деятельного слоя и талика уменьшилась соответственно с 33,5 %

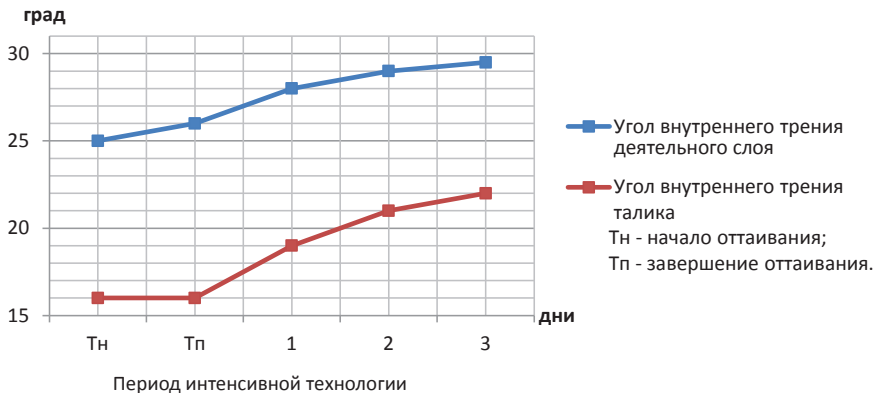
до 23,3 % и 29,4 %. В соответствии с закономерностями, установленными в [8], при уменьшении влажности и отводе воды из деятельного слоя и талика за пределы строительной площадки повышаются прочностные характеристики: возрастают угол внутреннего трения (рис. 3) и сцепление грунта (рис. 4). А в результате возрастает коэффициент стабильности и стабилизируется основание насыпи (рис. 5).

Таким образом, применение интенсивного технологического режима уплотнения просадочного слоя грунта при оттаивании основания позволило: снизить влажность деятельного слоя и талика; повысить сцепление деятельного слоя с 14 до 20 кПа, сцепление талика – с 9 до 14,5 кПа; увеличить угол внутреннего трения деятельного слоя с 25 до 29,5 град и угол внутреннего трения талика – с 16 до 22 град.

При этом интенсивная технология, разработанная в МИИТ [6, 7], была реализована в виде технологического регламента строительства земляного полотна на участках распространения высокотемпературных многолетнемерзлых грунтов железнодорожных линий Обская–Бованенково–Карская и Обская–Салехард.

**ВЫВОДЫ**

Применение интенсивной технологии для уплотнения и уменьшение влажности грунтов основания земляного полотна на высокотемпературной мерзлоте приводит к увеличению прочностных характеристик (сцепления и угла внутреннего трения) грунтов деятельного слоя и талика в строительный период. Для ликвидации таликов



**Рис. 3. Изменение угла внутреннего трения грунтов деятельного слоя и талика.**

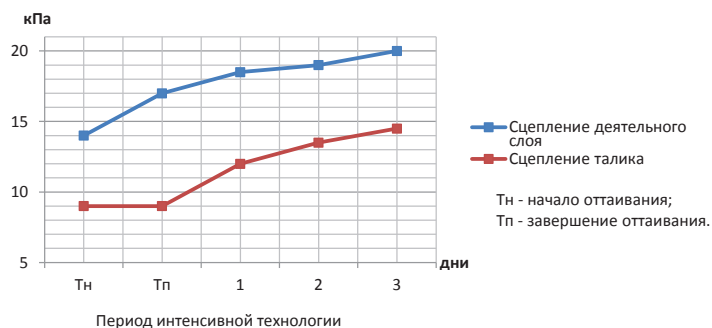


Рис. 4. Изменение сцепления грунтов деятельного слоя и талика.

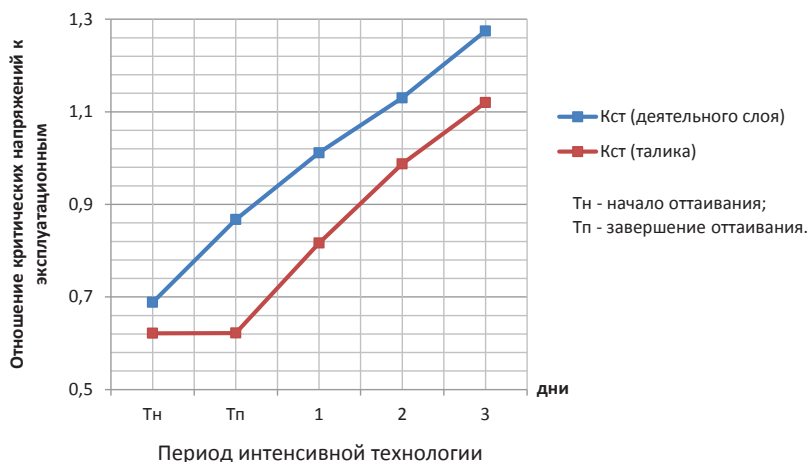


Рис. 5. Изменение коэффициента стабильности основания.

большой мощности разработана модификация интенсивной технологии в сочетании со сваями в геотекстильной оболочке. Сама же технология должна быть рекомендована прежде всего в целях повышения безопасности земляного полотна при строительстве путей сообщения в криолитозоне.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ведомственные строительные нормы ВСН 61–89. Изыскания, проектирование и строительство железных дорог в районах вечной мерзлоты / Минтрансстрой СССР.– М.: ЦНИИС, 1990.– 208 с.
2. Гольдштейн М. Н. Механические свойства грунтов.– М.: Стройиздат, 1979.– 304 с.
3. Дорожное полотно и способ его возведения: патент № 2273687. Российская Федерация / С. Я. Луцкий [и др.] Патентообладатели Луцкий С. Я., Ашлиз Е. С., Долгов Д. В.– Заявл. 24.02.2005; опубл. 10.04.2006.
4. Бурукин А. Ю., Луцкий С. Я., Хрипков К. Н. Глубинное упрочнение грунтов в основании дорог на таликах // Труды 2-го международного симпозиума по проблемам земляного полотна в холодных регионах.– Новосибирск, 2015.– С. 64–71.

5. Луцкий С. Я., Артюшенко И. А. Анализ несущей способности просадочного основания земляного полотна на вечномёрзлых грунтах // Интерактивная наука – 2017.– № 10.– С. 8–13.

6. Луцкий С. Я., Шепитько Т. В. и др. Строительство путей сообщения на Севере.– М.: Латмес, 2009.– 286 с.

7. Рекомендации по интенсивной технологии и мониторингу строительства земляных сооружений на слабых основаниях.– М.: ТИМР, 2005.– 96 с.

8. СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04–88.– Введ. 01.01.2013.– М., 2013.– 140 с.

9. Цытович Н. А. Механика мёрзлых грунтов.– М.: Высшая школа, 1973.– 446 с.

10. Шахунянц Г. М. Железнодорожный путь.– Изд. третье, перераб. и доп.– М.: Транспорт, 1987.– 479 с.

11. Lutskiy S. Ya., Roman L. T. Technological Control of Permafrost Soil Characteristics in Roadbeds// Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 54, No. 3, July, 2017, pp. 187–191. [Русскоязычная публикация: Основания, фундаменты и механика грунтов, 2017, № 3, С. 26–30].

12. Lutskiy S. Y., Shepitko T. V., Cherkasov A. M. Composite technology of earthwork construction on taliks in cryolithic zones // Sciences in Cold and Arid Regions.– 2013.– Vol. 5.– Pp. 577–581.

Координаты авторов: Шепитько Т. В. – shepitko-tv@mail.ru, Луцкий С. Я. – lsy40@mail.ru, Артюшенко И. А. – tywka351@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 01.11.2017, принята к публикации 14.01.2018.





## INTENSIVE TECHNOLOGY FOR CONSTRUCTION OF A ROADBED IN THE PERMAFROST ZONE

**Shepitko, Taissia V.**, Russian University of Transport, Moscow, Russia.  
**Lutsky, Svyatoslav Ya.**, Russian University of Transport, Moscow, Russia.  
**Artyushenko, Igor A.**, Russian University of Transport, Moscow, Russia.

### ABSTRACT

An intensive technological regime for increasing the stability of weak soils is proposed to ensure safety of the roadbed on the site with the eternally frozen base of the Northern latitudinal railway Salekhard–Nadym. It is shown that it is necessary to take into account talik zones at the design stage, which can cause various deformations. On the basis of the fundamental principles of the mechanics of

frozen soils, technological regularities are established for increasing the strength characteristics which include the angle of internal friction and cohesion of soil with decreasing humidity and draining water from the active layer and talik beyond the construction site. The application of intensive technology for reinforcing the roadbed during the construction of routes in the permafrost zone is substantiated.

*Keywords:* railway, safety, stability, eternally frozen soils, roadbed, intensive technology.

**Background.** Stability of the roadbed in the regions of permafrost soils must be ensured throughout the entire life cycle of the railway, starting from the stage of design and geological survey, during which data appear on the thermophysical and physicommechanical processes occurring in soils. Under the influence of these processes, deformation occurs during thawing, adversely affecting safety of the engineering structure [1, 8]. The works on the theory of the roadbed of G. M. Shakhunyan [10] and M. N. Goldshtein [2], devoted to its design and operation, do not fully reveal the problem of changing the physical and mechanical characteristics of soils in the process of construction.

The urgency of this problem was confirmed when considering the results of engineering surveys and assessing the stability of the base on the sections of the construction of the Northern latitudinal railway [5, 6]. The analysis showed that in the high-temperature permafrost (with a positive soil temperature at the boundary of zero amplitudes) the second construction principle (with the assumption of thawing) leads to especially numerous deformations of the earth foundation.

At the stage of designing the construction of a new railway line in the area of permafrost soils, it is necessary to take into account the presence of possible hazardous areas. Such, in particular, are talik zones, which have a negative impact on the construction of the roadbed and its subsequent

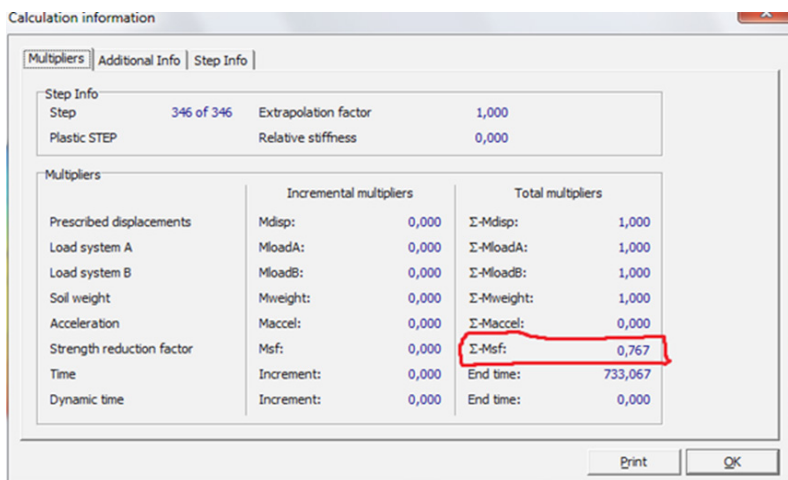
operation [10]. Such zones can be the cause of the appearance of various deformations on construction sites [1]. To destruct high power taliks, a modification of intensive technology was developed in combination with piles in the geotextile shell [4].

The intensive technology developed at Russian University of Transport (MIIT) has proved effective to prevent deformations of the roadbed. It had been patented [3] and for the first time it was implemented by JSC Tsentrostroyemkhanizatsiya during construction of the motorway Moscow Ring Road–Kashira [7].

**Objective.** The objective of the authors is to consider the intensive technology for construction of a roadbed in the permafrost zone.

**Methods.** The authors use general scientific and engineering methods, comparative analysis, evaluation approach, modeling, graph construction, specific engineering methods of transport construction in permafrost zones.

**Results.** Let's consider the experience of realization of intensive technology at the example of sections of the roadbed of Salekhard–Nadym railway line. Analysis of the stability of the base, carried out in [5, 12], showed the presence of potentially hazardous areas with a stability coefficient ( $K_{st}$ ) of 0,688. Since  $K_{st} < 1$ , the strength of the base is not ensured. The check in the program complex Plaxis (Pic. 1) confirmed the instability of the base:  $K_{st} = 0,767$ .



**Pic. 1. Results of calculating the stability coefficient using the software complex Plaxis.**

The intensive technology makes it possible to improve the strength characteristics of the foundation soils by means of sealing and moisture reduction measures (Pic. 2).

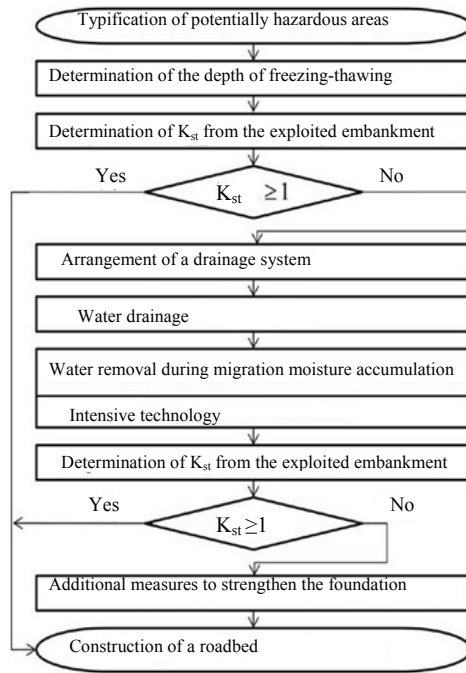
The first stage of the intensive technology is arrangement of drainage systems to accelerate consolidation. This process is executed through removal of water, squeezed out of the thickness of the weak base.

The second stage is accomplished to harden the foundation soils by compacting them with the use of an additional external load from ground vibrating rollers, which allows to reduce humidity, increase the strength and the modulus of deformation of soils.

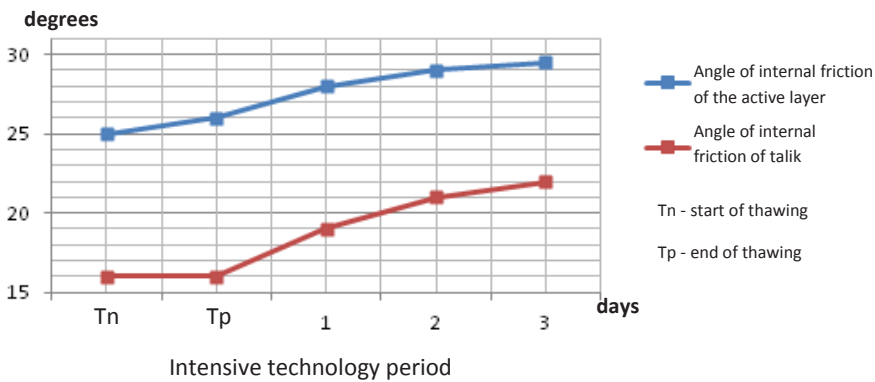
In accordance with the recommendations on the intensive technology [7, 11], its design includes the choice of organizational and technological methods that, in combination, improve the performance (characteristics) of the foundation of the roadbed:

- reduction and subsequent damping of subsidence ( $S$ );
- growth of the deformation modulus ( $E$ );
- increase of the strength characteristics of the soil ( $C, \phi$ ).

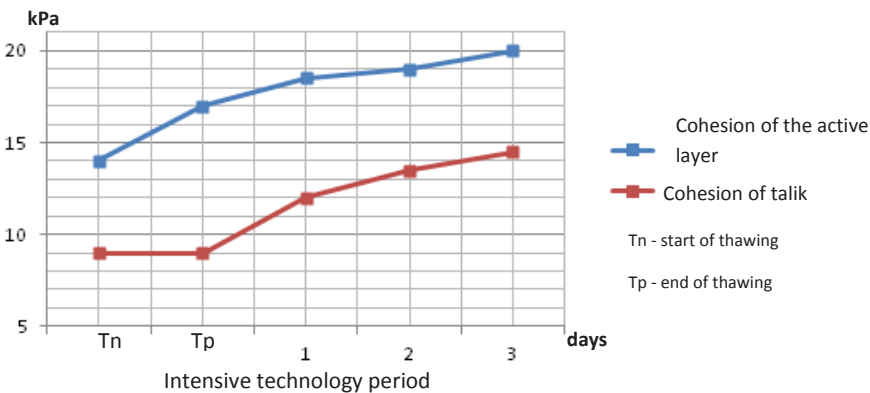
Due to the use of the intensive technology in the design of earthworks on the section Salekhard–Nadym, the humidity of the active layer and talik decreased from 33,5 % to 23,3 % and 29,4 %, respectively. In accordance with the regularities established in [8], with a decrease in humidity and water removal from the active layer and talik beyond the construction site, strength characteristics increase: the angle of internal



**Pic. 2. Schematic diagram of increasing the stability of the roadbed on a subsidence base.**



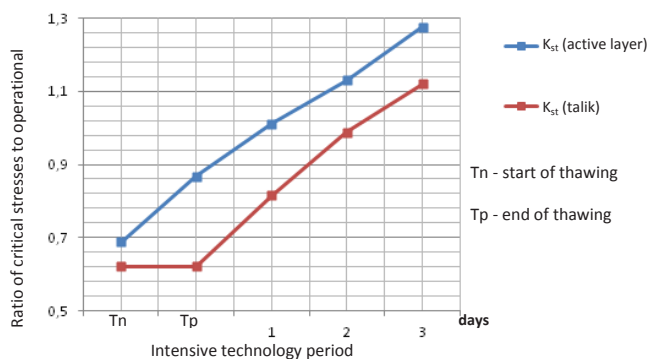
**Pic. 3. Change in the angle of internal friction of soils of the active layer and talik.**



**Pic. 4. Change in cohesion of soils of the active layer and talik.**



**Pic. 5. Change in stability coefficient of the base.**



friction (Pic. 3) and soil cohesion increase (Pic. 4). As a result, the stability coefficient increases and the base of the embankment stabilizes (Pic. 5).

Thus, the use of the intensive technological mode of compaction of a subsidence layer of soil during thawing of the base allowed: to reduce moisture of the active layer and talik; to increase cohesion of the active layer from 14 to 20 kPa, cohesion of talik – from 9 to 14,5 kPa; to increase the angle of internal friction of the active layer from 25 to 29,5 degrees and the angle of internal friction of talik – from 16 to 22 degrees.

At the same time, the intensive technology developed at Russian University of Transport (MIIT) [6, 7] was implemented in the form of technological regulations for construction of a roadbed on the sections of high-temperature permafrost soils of the railway lines Obskaya–Bovanenkovo–Karskaya and Obskaya–Salekhard.

**Conclusions.** The use of the intensive technology to compact and reduce moisture contents of soils of the base of the roadbed on high-temperature permafrost leads to an increase in the strength characteristics (cohesion and angle of internal friction) of soils of the active layer and talik during the construction period. For destruction of high power taliks, a modification of the intensive technology in combination with piles in the geotextile shell has been developed. The technology itself should be recommended first of all in order to improve safety of the roadbed in the construction of railways and roads in the permafrost zone.

## REFERENCES

1. Departmental building codes VSN61–89. Research, design and construction of railways in permafrost regions / Ministry of Transport of the USSR [Vedomstvennye stroitel'nye normy VSN61–89. Izyskanija, projektirovanie i stroitel'stvo zheleznyh dorog v rajonah vechnoj merzloty / Mintransstroj SSSR]. Moscow, TsNIIS publ., 1990, 208 p.
2. Goldstein, M. N. Mechanical properties of soils [Mehaničeskie svojsva gruntov]. Moscow, Stroyizdat publ., 1979, 304 p.
3. Roadbed and the method of its erection: patent No. 2273687. Russian Federation [Dorozhnoe poloito i sposob ego vozvedenija: patent № 2273687. Rossijskaja Federacija] / S. Ya. Lutskiy [et al]. Patent Owners Lutsky S. Ya., Ashpiz E. S., Dolgov D. V. Appl. On 24.02.2005; publ. on 10.04.2006.
4. Burukin, A. Yu., Lutsky, S. Ya., Khripkov, K. N. Deep hardening of soils at the base of roads on taliks [Glubinnoe uprochnenie gruntov v osnovanii dorog na talikah]. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> international symposium on the problems of the roadbed in cold regions. Novosibirsk, 2015, pp. 64–71.
5. Lutsky, S. Ya., Artyushenko, I. A. Analysis of the load-bearing capacity of the subsidence base of the roadbed on permafrost soils [Analiz nesushhej sposobnosti prosadochnogo osnovanija zemljanogo polotna na vechnomjorzlyh gruntah]. Interaktivnaja nauka, 2017, Iss. 10, pp. 8–13.
6. Lutsky, S. Ya., Shepitko, T. V. [et al]. Construction of communication routes in the North [Stroitel'stvo putej soobshhenija na Severe]. Moscow, Latmes publ., 2009, 286 p.
7. Recommendations on intensive technology and monitoring of the construction of roadbeds on weak grounds [Rekomendacii po intensivnoj tehnologii i monitoringu stroitel'stva zemljanyh sooruzhenij na slabyh osnovanijah]. Moscow, TIMR publ., 2005, 96 p.
8. SP 25.13330.2012. Foundations and bases on eternally frozen soils. Updated version of SNiP 2.02.04–88. Introd. 01.01.2013. [SP 25.13330.2012. Osnovanija i fundamente na vechnomjorzlyh gruntah. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 2.02.04–88. – Vved. 01.01.2013]. Moscow, 2013, 140 p.
9. Tsytovich, N. A. Mechanics of frozen soils [Mehanika mjorzlyh gruntov]. Moscow, Vysshaya shkola publ., 1973, 446 p.
10. Shakhunyants, G. M. Railway track [Zheleznodorozhnyj put]. Third ed., rev. and enl. Moscow, Transport publ., 1987, 479 p.
11. Lutskiy, S. Ya., Roman, L. T. Technological Control of Permafrost Soil Characteristics in Roadbeds. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol. 54, No. 3, pp. 187–191.
12. Lutskiy, S. Y., Shepitko, T. V., Cherkasov A. M. Composite technology of earthwork construction on taliks in cryolithic zones. *Sciences in Cold and Arid Regions*, 2013, Vol. 5, pp. 577–581. ●

Information about the authors:

**Shepitko, Taissia V.** – D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, shepitko-tv@mail.ru.

**Lutsky, Svyatoslav Ya.** – D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, lsy40@mail.ru.

**Artyushenko, Igor A.** – Ph.D. student at the department of Railway engineering and construction of Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, tywka351@mail.ru.

Article received 01.11.2017, accepted 14.01.2018.