

УДК 69

DOI 10.21661/r-464080

С.Я. Луцкий, И.А. Артюшенко

АНАЛИЗ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРОСАДОЧНОГО ОСНОВАНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

Аннотация: в статье представлен анализ теории и практики расчета несущей способности земляного полотна в условиях вечномерзлых грунтов на примере Северно-Широтногохода. Показаны расчеты коэффициентов стабильности и надежности земляного полотна в сложных природных условиях.

Ключевые слова: стабильность, устойчивость, вечная мерзлота, земляное полотно, интенсивная технология.

S.Ya. Lutsky, I.A. Artyushenko

ANALYSIS OF THE BEARING CAPACITY OF THE SUBSIDENCE BASE OF THE ROADBED ON THE PERMAFROST SOIL

Abstract: the article presents an analysis of the theory and practice of calculating the bearing capacity of the roadbed in conditions of permafrost soils using the example of the North-Latitudinal Railway. Calculations of the stability coefficient and the safety factor of the roadbed in difficult natural conditions are shown.

Keywords: stability, sustainability, permafrost, roadbed, intensive technology.

Актуальность темы обусловлена ростом строительства объектов в зоне распространения мерзлых грунтов, связано это с уникальными природными условиями в данной местности. Обеспечение устойчивости на просадочных основаниях является одной из мало изученных проблем безопасности эксплуатации сооружения. В теории основное внимание ученых занимающихся данной проблемой направлено на совершенствование конструкции и эксплуатационной надежности земляных сооружений. В сложных природных условиях строительства объектов путей сообщений на севере особенно важен выбор технологических решений, обеспечивающих надежность сооружений.

Цель: анализ несущей способности основания земляного полотна на участках с многолетнемерзлыми грунтами и выбор инженерного решения для повышения основных характеристик грунтов основания.

Постановка задачи. В данной статье мы рассмотрим участок перегона Ивлевский – Тальников железнодорожной линии Салехард – Надым, где преобладают многолетнемерзлые грунты и глинистые грунты с повышенной влажностью.

Проектирование земляного полотна выполнено в соответствии с действующими нормативными документами СТН Ц-01–95, СП 32–104–98, используя типовые поперечные профили, разработанные в составе проектной документации «Строительство новой железнодорожной линии «Салехард – Надым», выполненной ООО «Транспроект».

Минимальная ширина земляного полотна из дренирующих грунтов на прямых участках пути принята в соответствии с табл. 9 СТН Ц-01–95 шириной 6,60 м (защитный слой из дренирующего грунта) [7].

В зависимости от инженерно-криологических условий ширина насыпи уточняется. На таких участках насыпь сооружается с запасом на осадку и оттаивание как самого тела земляного полотна, так и его основания.

На основании предварительных инженерно-криологических данных, от 50% до 60% протяженности вариантов трассы расположены на участках с наличием высокотемпературной мерзлоты с островным характером распространения.

Для отсыпки земляного полотна возможно использование следующих грунтов:

– на сухих местах – песок пылеватый. Защитный слой (гравийно-галечниковый грунт) в верхней части ЗП предусматривается толщиной 1,0 М. Под низ защитного слоя укладывается нетканый геотекстиль. Заложение откосов насыпи 1:1,75;

– на участках подтопления, болотах и в выемках: песок средней крупности.

Защитный слой (гравийно-галечниковый грунт) в верхней части ЗП предусматриваем толщиной 0,20 м. Под низ защитного слоя укладывается нетканый геотекстиль. Заложение откосов насыпи 1:1,2.

Для уменьшения эксплуатационных затрат и безаварийной работы земляного полотна и верхнего строения пути выполнены следующие конструктивные решения:

- создание защитного подбалластного слоя (верхний защитный слой) из подобранного гранулометрического состава с применением полимерных и геосинтетических материалов, обеспечивающих требуемую прочность грунтов основной площадки, снижение деформативности пути. Данный слой выполняет функцию несущего элемента;

- создание защитного слоя из непучинистых грунтов для исключения процессов пучения (нижний защитный слой) грунтов тела земляного полотна, сложенного пылеватыми и глинистыми грунтами. Данный слой выполняет функцию ограничение процессов пучения грунтов тела насыпи и основания;

- усиление земляного полотна бермами по устойчивости на участках со слабыми и неустойчивыми грунтами в основании земляного полотна. Для уменьшения объемов земляных работ на отдельных участках совместно с бермами по устойчивости предусмотрено усиление тела насыпи высокопрочным геотекстилем, укладываемым в основание земляного полотна.

На участках с высокотемпературной мерзлотой для уменьшения термокарстовых процессов в основании насыпи предусматривается обжатие мохово-растительного слоя толщиной 0,20 м. На остальных участках предусмотрена срезка мохово-растительного слоя (0,20 м).

Укрепление откосов выполняется травопосевом (районированными семенами) по торфо-песчаной смеси толщиной 0,20 м.

Исходный вид земляного полотна предложен в проектной документации, но в данной статье мы рассмотрим не усиление земляного полотна за счет отсыпки

берм, а усиление грунтов основания за счет применения интенсивной технологии, так как это менее трудоемкая, более скоро временная и относительно дешевая технология.

Анализ деформативности оснований и устойчивости насыпей

Таблица 1

Физико-механические характеристики грунтов основания

| Описание инженерно-геологического элемента | Показатель | Влажность естественная We, д.е. | Плотность | | | Пластичность | | | Показатель текучести I _L (д.е.) | Модуль деформации E, МПа | Сцепление C, МПа | Угол внутреннего трения φ, град |
|--|----------------------|------------------------------------|--|---|---|--|---|--------------------------------------|---|--------------------------|------------------|---------------------------------|
| | | | частиц грунта P _s (г/см ³) | влажн. грунта P (г/см ³) | сухого грунта, P _d (г/см ³) | на гр. текуч. W _L (д.е.) | на гр. раскат. W _p (д.е.) | число пласт I _p (д.е.) | | | | |
| Суглинок мягкопластичный | нормативное значение | 0,300 | 2,69 | 2,03 | 1,85 | 0,34 | 0,19 | 0,15 | 1,28 | 10,00 | 0,018 | 17 |

Необходимо произвести расчеты по формулам из учебного пособия «Расчеты и проектирование железнодорожного пути» под редакцией д-ра тех. наук, проф. Виноградова В. В [5].

Расчет нагрузок деятельного слоя и насыпи, соответственно:

$$P_{д.с.} = \gamma_{д.с.} \times h_{д.с.} = 19,4 \times 1,06 = 20,564 \text{ кН/м}^2,$$

где $\gamma_{д.с.}$ – удельный вес деятельного слоя;

$h_{д.с.}$ – мощность деятельного слоя.

$$P_{нас} = \gamma_{нас} \times h_{нас} = 18,5 \times 3,4 = 64,6 \text{ кН/м}^2,$$

где $\gamma_{нас}$ – удельный вес насыпи;

$h_{нас}$ – мощность насыпи.

$$P_{кр}^{д.с.} = \frac{\pi(\gamma h + C_{д.с.} \times ctg \varphi_{д.с.})}{ctg \varphi_{д.с.} + \varphi_{д.с.} \cdot \frac{\pi}{2}} + \gamma h = \frac{3.14 \times 18 \times 3.27}{3.27 + 0.296 - 1.57} = 73.312 \text{ кН/м}^2,$$

где $C_{д.с.}$ – сцепление деятельного слоя;

$\varphi_{д.с.}$ – угол внутреннего трения деятельного слоя.

Примечание: так как мы рассматриваем точку в самой вершине деятельного слоя, то $h_{д.с.} = 0$, а, следовательно, и произведение $\gamma h = 0$, поэтому они и пропадут в расчете критической нагрузки на деятельный слой.

$$P_{кр}^T = \frac{\pi(\gamma h + C_T \times ctg\varphi_T)}{ctg\varphi_T + \varphi_T - \frac{\pi}{2}} + \gamma h = \frac{3,14 \times (19,4 \times 1,06 + 11 \times 5,14)}{5,14 + 0,192 - 1,57}$$

$$= 64,386 \text{ кН/м}^2$$

Примечание: для вычисления ctg необходимо брать угол φ в градусах, а для арифметических операций необходимо угол переводить в радианы.

Расчет эксплуатационных нагрузок на деятельный слой и талик, соответственно [5]:

$$P_{\Xi}^{д.с.} = P_{тр} + P_{ВСП} + P_{нас} = 18,7 + 1,84 + 64,6 = 86,14 \text{ кН/м}^2$$

$$P_{\Xi}^T = P_{тр} + P_{ВСП} + P_{нас} + P_{д.с.} = 17,93 + 1,312 + 64,6 + 31,43 = 115,27 \text{ кН/м}^2$$

Расчет нагрузок от подвижного состава и от ВСП производится по формуле [5]:

$$B_{всп/тр} = I_{всп/тр} \times P_{всп/тр}$$

где $B_{всп/тр}$ – напряжение от ВСП/подвижного состава (кН/м²); $P_{всп/тр}$ – нагрузка от ВСП/ подвижного состава, действующие на основание насыпи (кН/м²); $I_{всп/тр}$ – табулированное (вспомогательное) число, зависящее от ширины прикладываемой нагрузки $b_{всп/тр}$ (м) и глубины расположения слоя основания $u_{всп/тр}$ (м).

Значения $I_{всп/тр}$ мы получаем при помощи интерполяции значений приложения 5 данного учебного пособия, отталкиваясь от значений отношения $\frac{u_{всп/тр}}{b_{всп/тр}}$.

Результаты расчета сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Значения напряжений от внешних эксплуатационных нагрузок по глубине

| $Y_{всп/тр}$, м | Точки сеч-я | $Y_{тр}/b_{тр}$ | $Y_{всп}/b_{всп}$ | $I_{тр}$ | $I_{всп}$ | $B_{тр}$, кН/м ² | $B_{всп}$, кН/м ² |
|------------------|-------------|-----------------|-------------------|----------|-----------|------------------------------|-------------------------------|
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 110 | 16 |
| 3,4 | 2 | 2,236842 | 0,944444444 | 0,170 | 0,090 | 18,7 | 1,84 |

| | | | | | | | |
|------|------|----------|--|-------|-------|-------|-------|
| 3,79 | 3 | 2,493421 | 1,05277777 | 0,163 | 0,082 | 17,93 | 1,312 |
| 5,29 | 4 | 3,480263 | 1,46944444 | 0,112 | 0,080 | 12,32 | 1,28 |
| 9,89 | 5 | 6,506578 | 2,74722222 | 0,100 | 0,077 | 11 | 1,232 |
| | | | | | | | |
| | Рвсп | 16 | Нагрузка от ВСП | | | | |
| | Рп | 110 | нагрузка от подвижного состава | | | | |
| | бп | 1,52 | ширина нагрузки от подвижного состава (ширина колеи в РФ 1520 мм или 1,52 м) | | | | |
| | бвсп | 3,6 | ширина нагрузки от верхнего строения пути (из проекта) | | | | |

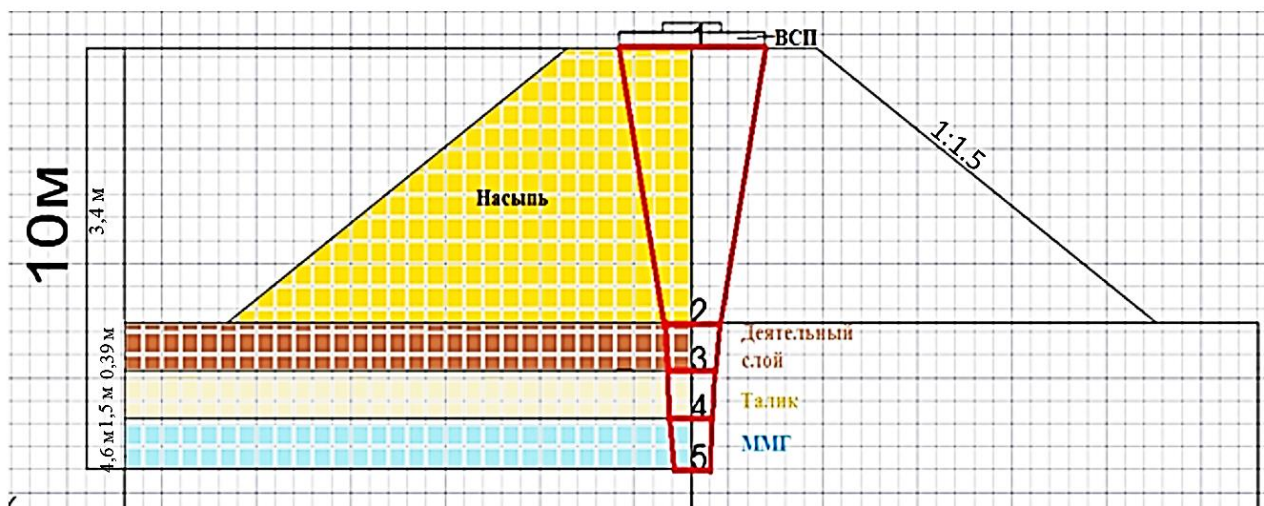


Рис. 1. Эпюра напряжений от ВСП

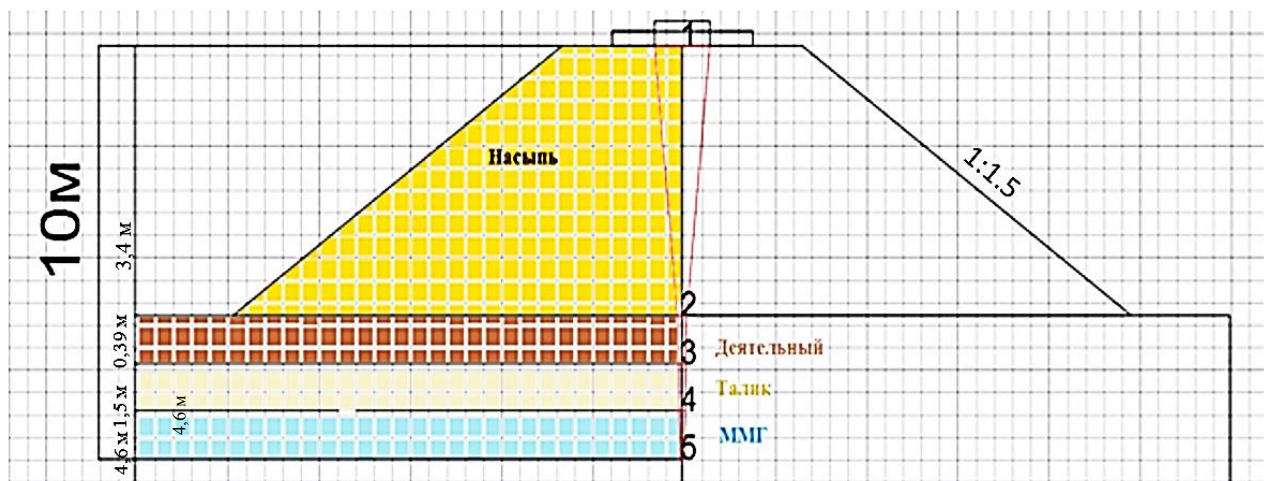


Рис. 2. Эпюра напряжений от транспортной нагрузки

Расчет коэффициентов безопасности:

Коэффициент безопасности деятельного слоя [3]:

$$K_{\text{без}}^{\text{д.с.}} = \frac{P_{\text{кр}}^{\text{д.с.}}}{P_3^{\text{д.с.}}} = \frac{73,312}{86,14} = 0,851,$$

где $K_{без}^{д.с.}$ коэффициент безопасности деятельного слоя, $P_{кр}^{д.с.}$ – критическая нагрузка, воспринимаемая деятельным слоем ($кН / м^2$), $P_э^{д.с.}$ – эксплуатационная нагрузка, действующая на деятельный слой ($кН / м^2$).

Коэффициент безопасности талика [3]:

$$K_{без}^T = \frac{P_{кр}^T}{P_э^T} = \frac{64,386}{115,27} = 0,55,$$

где $K_{без}^m$ – коэффициент безопасности талика; $P_{кр}^m$ – критическая нагрузка, воспринимаемая таликом ($кН / м^2$); $P_э^m$ – эксплуатационная нагрузка, действующая на талик ($кН / м^2$).

После расчета в ручную мы проверяем ту же насыпь в программных комплексах «GEO5» и «Plaxis».

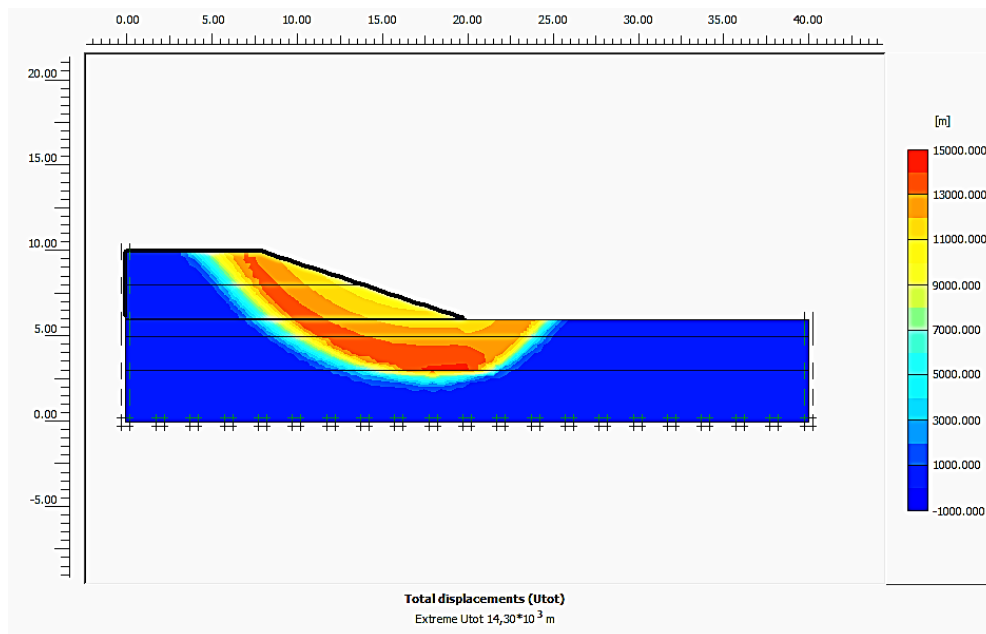


Рис. 3. Расчет смещения земляного полотна в программном комплексе Plaxis

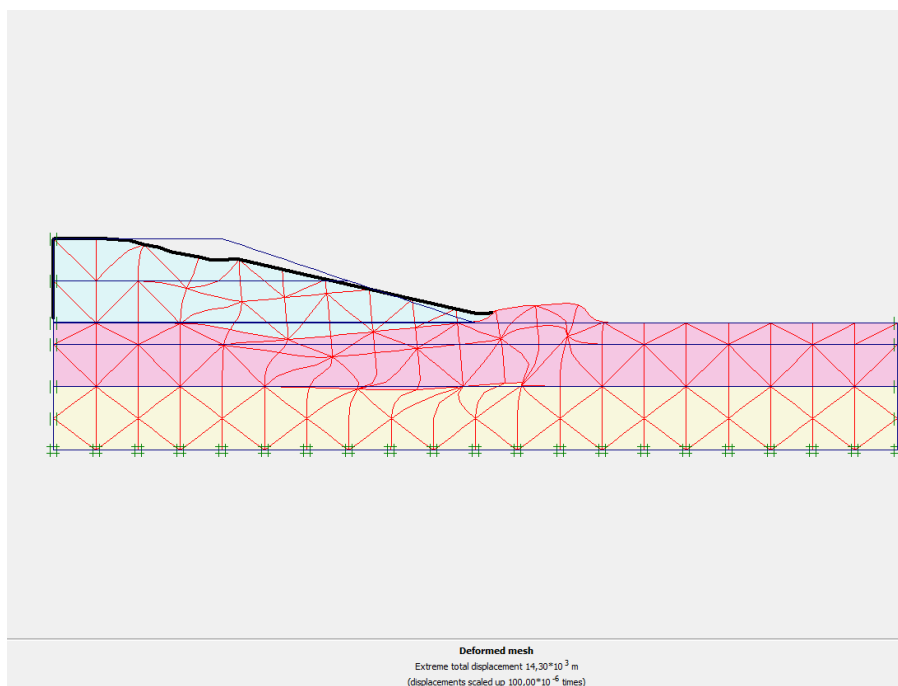


Рис. 4. Деформированное состояние насыпи показанное в программном комплексе Plaxis

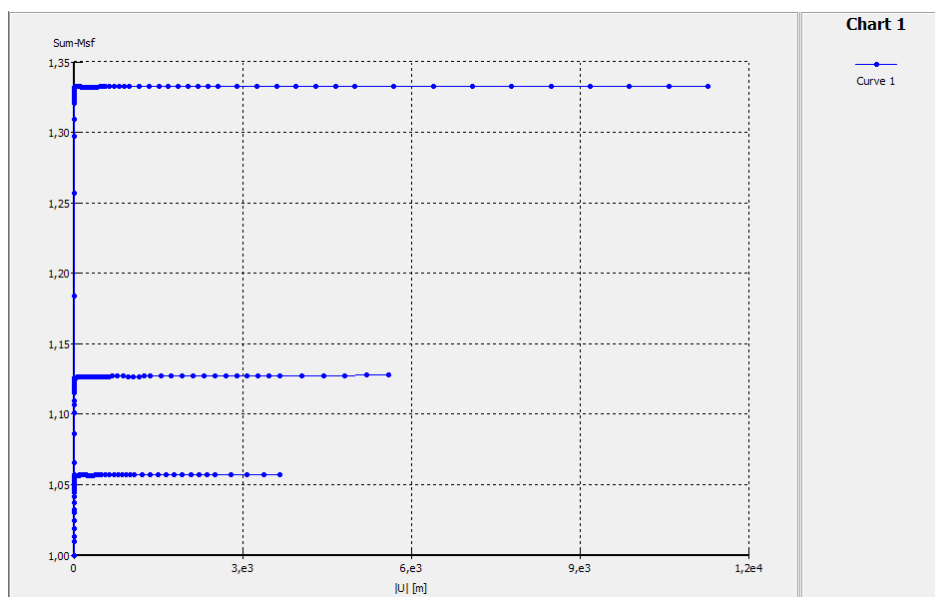


Рис. 5. Изменение коэффициента стабильности со временем после процесса консолидации

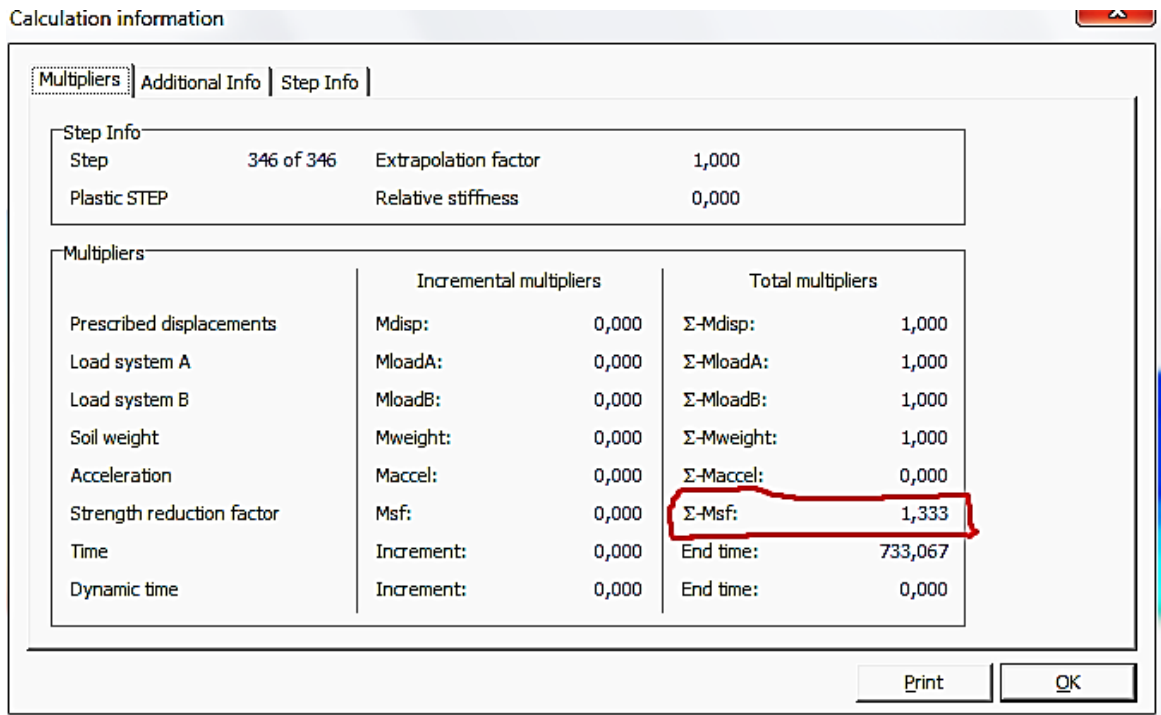


Рис. 6. Расчет коэффициента стабильности в программном комплексе Plaxis

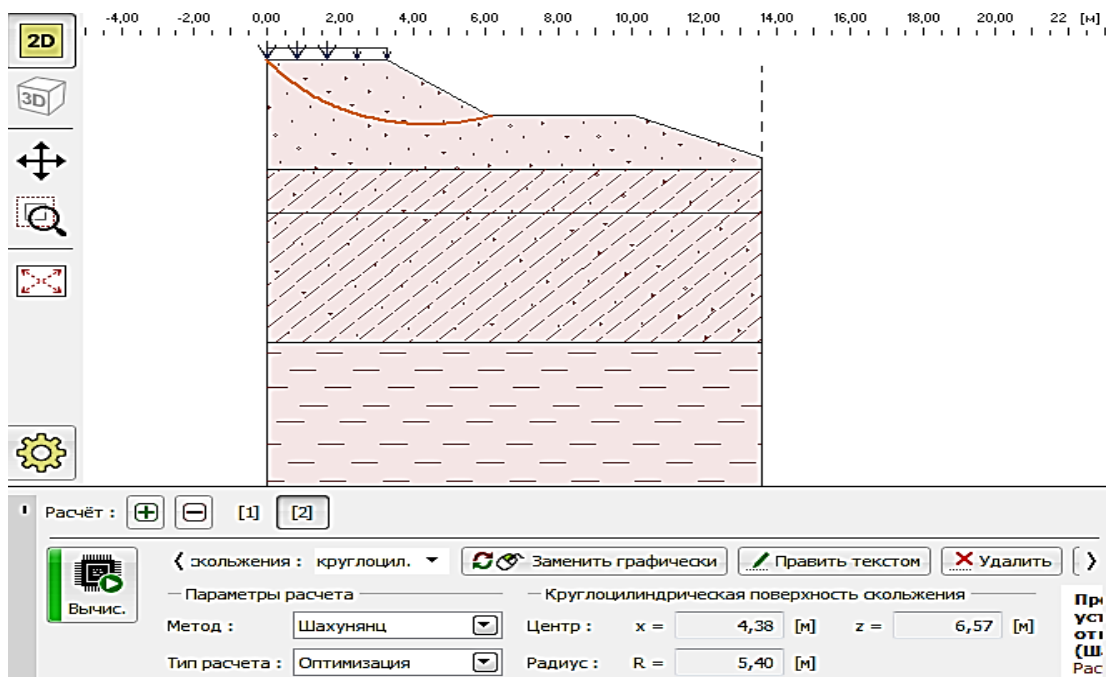


Рис. 7. Расчет коэффициента устойчивости в программном комплексе GEO5

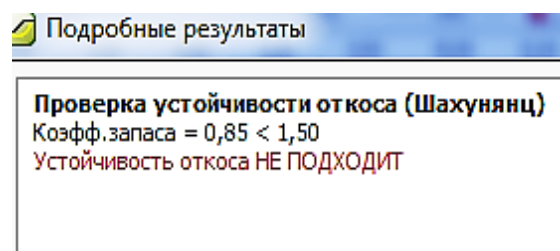


Рис. 8. Расчет Коэффициента устойчивости в программе GEO5

Вывод. Проведя данные расчеты, отталкиваясь от показателей коэффициентов безопасности, можем сделать вывод, что данное основание не является безопасным для возведения и эксплуатации насыпи на данном участке. Следовательно, требуется упрочнение грунтов основания методом применения интенсивной технологии.

Список литературы

1. Ведомственные строительные нормы ВСН 61–89 «Изыскания, проектирование и строительство железных дорог в районах вечной мерзлоты» (утв. Приказом Министерства транспортного строительства СССР от 20.07.1989 N MO 437).

2. Ведомственные строительные нормы ВСН 84–89 «Изыскания, проектирование и строительство автомобильных дорог в районах распространения вечной мерзлоты» (утв. письмом Министерства транспортного строительства от 13 марта 1989 г. N АВ-110)

3. Луцкий С.Я. Рекомендации по интенсивной технологии и мониторингу строительства земляных сооружений на слабых основаниях / Под общ. редакцией С.Я. Луцкого – М.: Тимр, 2005. – 96 с.

4. Луцкий С.Я. Строительство путей сообщения на Севере / С.Я. Луцкий, Т.В. Шепитько [и др.]. – М.: ЛАТМЭС, 2009. – 286 с.

5. Расчёты и проектирование железнодорожного пути: Учебное пособие для студентов вузов ж.-д. трансп. / В.В. Виноградов, А.М. Никонов, Т.Г. Яковлева [и др.]; под ред. В.В. Виноградова, А.М. Никонова. – М.: Маршрут, 2003. – 486 с.

6. Свод правил СП 25.13330.2012 «СНиП 2.02.04–88. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах». Актуализированная редакция СНиП 2.02.04–88 (утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 29 декабря 2011 г. №622).

7. СТН Ц-01–95. Строительно-технические нормы Министерства путей сообщения Российской Федерации. Железные дороги колеи 1520 мм. – М., 1995.

Луцкий Святослав Яковлевич – д-р техн. наук, профессор кафедры «Проектирование и строительство железных дорог» ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)», Россия, Москва.

Lutsky Svyatoslav Yakovlevich – doctor of technical sciences, professor of “Design and construction of Railways” Department at the Russian University of Transport, Russia, Moscow.

Артюшенко Игорь Александрович – аспирант кафедры «Проектирование и строительство железных дорог» ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)», Россия, Москва.

Artyushenko Igor Alexandrovich – postgraduate of the “Design and construction of Railways” Department at the Russian University of Transport, Russia, Moscow.
