

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 EARTH BED ON THE PERMAFROST SOIL

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

Key words: stability, sustainability, permafrost, the earthbed, the 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

Физико-механические характеристики грунтов основания:

Описание инженерно-геологического элемента	Показатель	Влажность естественная W_e , 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.

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

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]:

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

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

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/м^2); $P_{всп/тр}$ – нагрузка от ВСП/ подвижного состава, действующие на основание насыпи (кН/м^2); $I_{всп/тр}$ – 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 1:

Таблица 1. «Значения напряжений от внешних эксплуатационных нагрузок по глубине»

$Y_{всп/тр},$ м	Точки сеч-я	$Y_{тр}/b_{тр}$	$Y_{всп}/b_{всп}$	$I_{тр}$	$I_{всп}$	$\sigma_{тр},$ кН/м ²	$\sigma_{всп},$ кН/м ²	
0	1	0	0	1	1	110	16	
3,4	2	2,236842	0,94444444	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)					

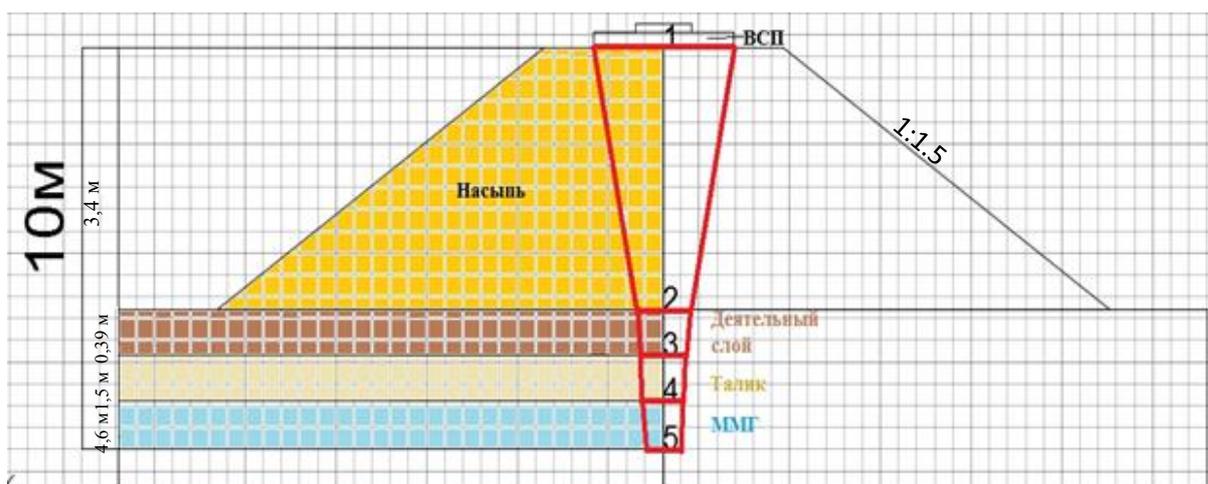


Рис. 1. Эпюра напряжений от ВСП

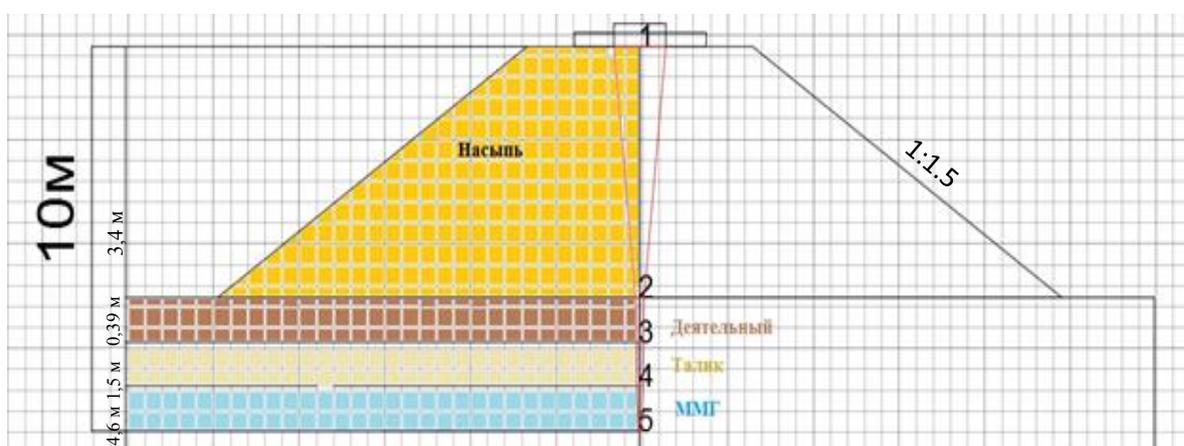


Рис. 2. Эпюра напряжений от транспортной нагрузки

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 $K_{\text{без}}^{\text{д.с.}}$ коэффициент безопасности деятельного слоя, $P_{\text{кр}}^{\text{д.с.}}$ - критическая нагрузка, воспринимаемая деятельным слоем ($\text{кН} / \text{м}^2$), $P_3^{\text{д.с.}}$ - эксплуатационная нагрузка, действующая на деятельный слой ($\text{кН} / \text{м}^2$).

Коэффициент безопасности талика [3]:

$$K_{\text{без}}^{\text{т}} = \frac{P_{\text{кр}}^{\text{т}}}{P_3^{\text{т}}} = \frac{64,386}{115,27} = 0,55,$$

где $K_{\text{без}}^{\text{т}}$ - коэффициент безопасности талика; $P_{\text{кр}}^{\text{т}}$ - критическая нагрузка, воспринимаемая таликом ($\text{кН} / \text{м}^2$); $P_3^{\text{т}}$ - эксплуатационная нагрузка, действующая на талик ($\text{кН} / \text{м}^2$).

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

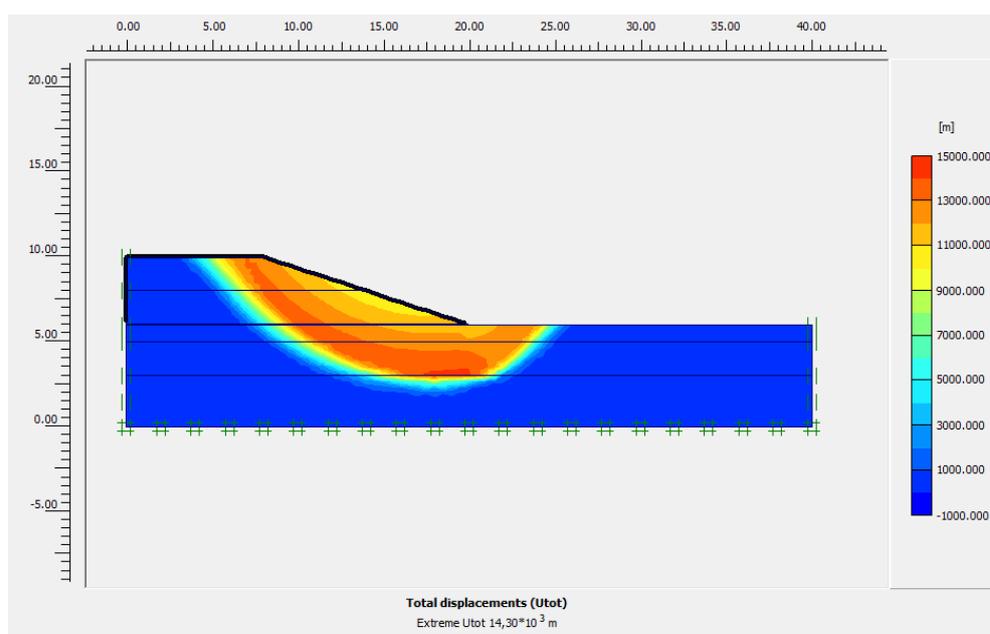


Рис. 3. Расчет смещения земляного полотна в программном комплексе
Plaxis

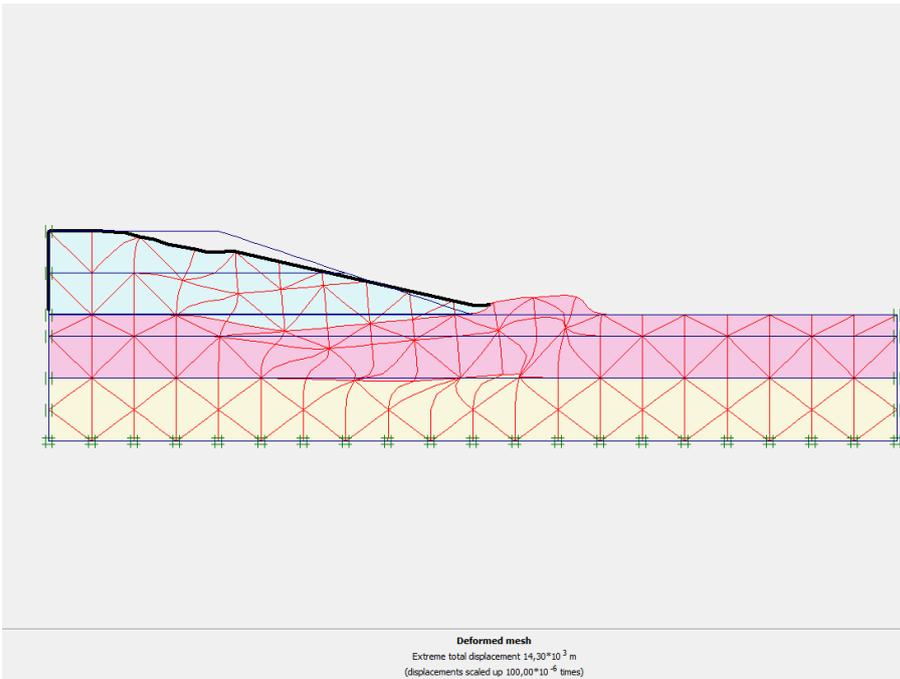


Рис. 4. Деформированное состояние насыти показанное в программном комплексе Plaxis

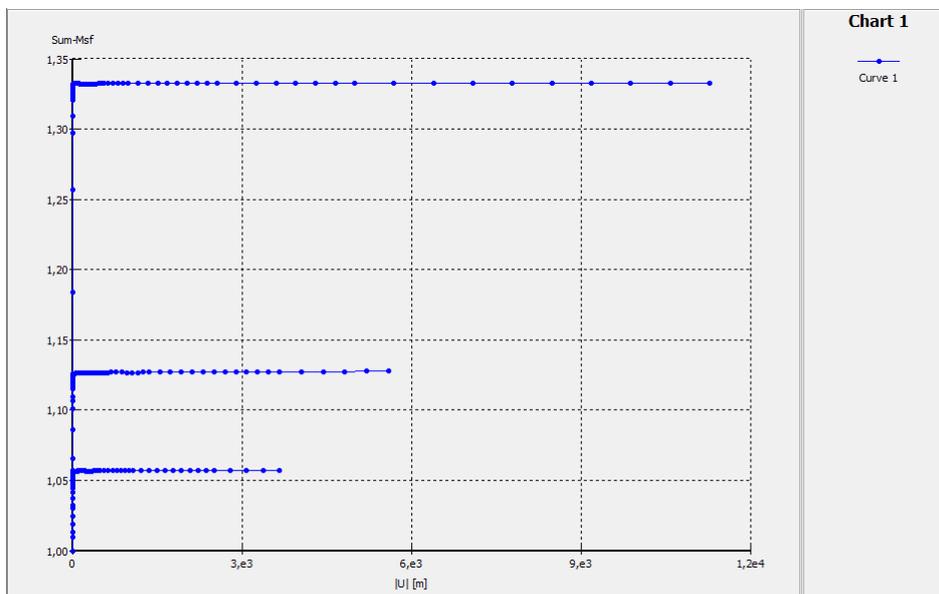


Рис. 5. Изменение коэффициента стабильности со временем после процесса консолидации

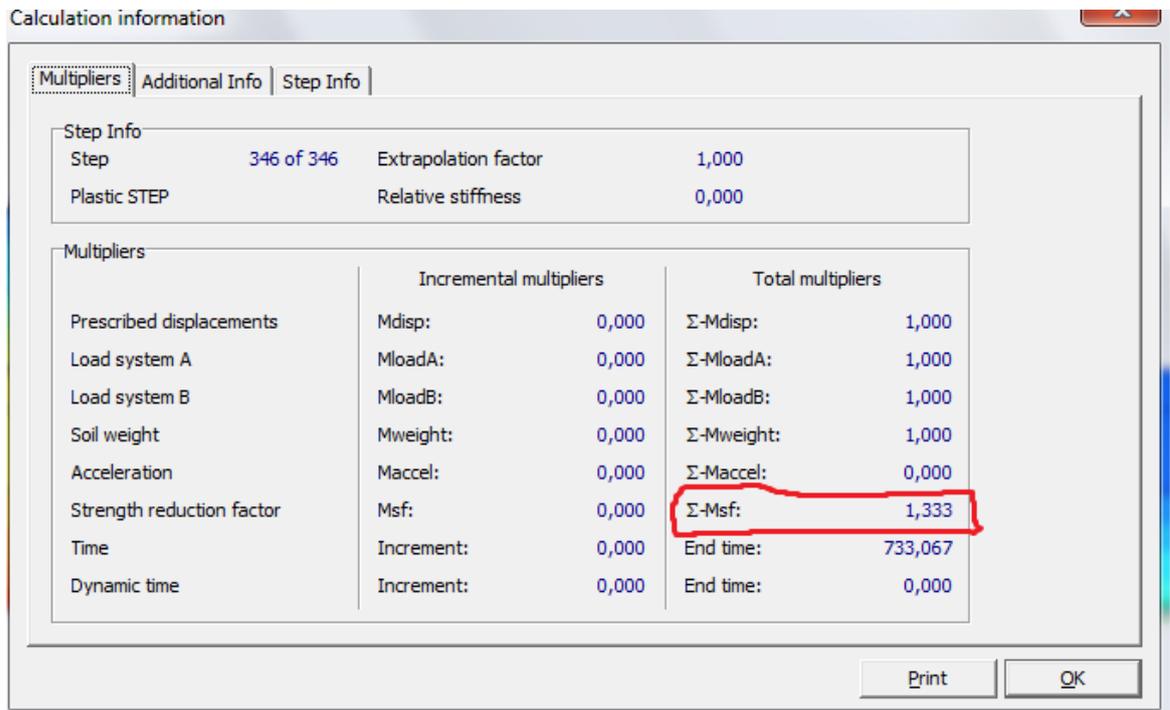


Рис. 6. Расчет коэффициента стабильности в программном комплексе

Plaxis

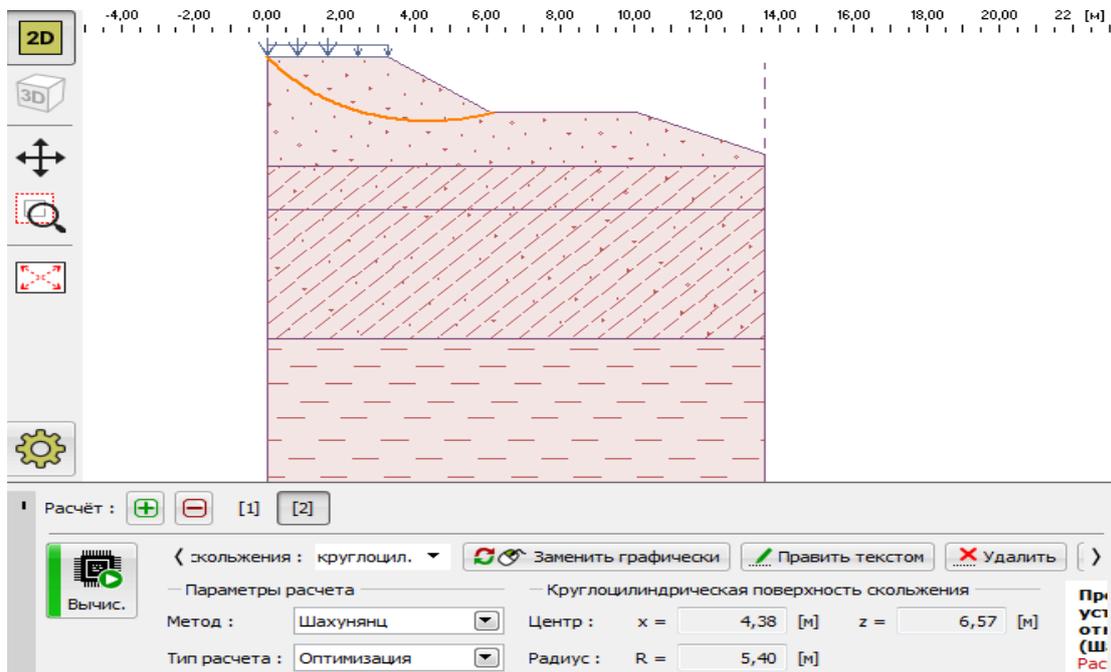


Рис. 7. Расчет коэффициента устойчивости в программном комплексе

GEO5

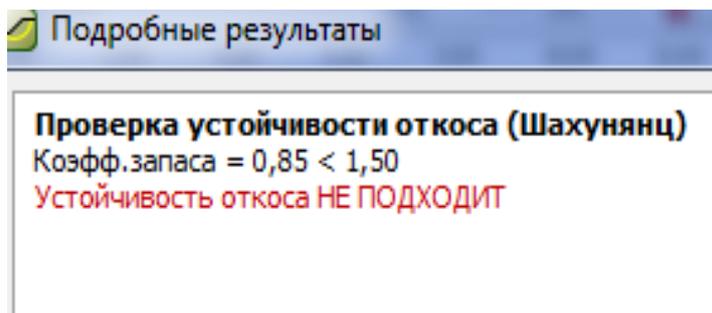


Рис. 8. Расчет Коэффициента устойчивости в программе GEO5

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.: Информационно-издательский центр «Тимр», 2005. - 96 с.
4. Луцкий С.Я., Шепитько Т.В. и др. Строительство путей сообщения на Севере. 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 и 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. N 622)
7. СТН Ц-01-95. Строительно – технические нормы Министерства путей сообщения Российской Федерации. Железные дороги колеи 1520 мм. М.: 1995

Луцкий Святослав Яковлевич – Доктор технических наук, профессор кафедры «Проектирование и строительство железных дорог» Российского Университета Транспорта.

Lutsky Svyatoslav Yakovlevich - Doctor of technical Sciences, Professor of "Design and construction of Railways" the Russian University of Transport.

Артюшенко Игорь Александрович – Аспирант кафедры «Проектирование и строительство железных дорог» Российского Университета Транспорта.

Artyushenko Igor Alexandrovich – Postgraduate student of the Department "Design and construction of Railways" the Russian University of Transport.