ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования

«Петербургский государственный университет путей сообщения

Императора Александра I»

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Кафедра "Железнодорожный путь"

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

к курсовой работе

по дисциплине

«Пути сообщения»

Тема: «Курсовая работа»

Выполнил студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Черневский С.С.

подпись, дата

Факультет Транспортное строительство группа СЖУ-913

Принял \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ доцент Гелюх П.А.

подпись, дата

Санкт ─ Петербург

2025

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

3

Пояснительная записка

Разраб.

Сидоренко Д.С.

Провер.

Черняев Е.В.

Курсовая работа

Лит.

Листов

28

ФГБОУ ВО ПГУПС

Факультет ТС

Группа хххх

**Содержание**

[Исходные данные: 3](#_Toc191840388)

[Введение 4](#_Toc191840389)

[Задание 1. Оценка местной устойчивости откоса эксплуатируемой насыпи из глинистых грунтов 6](#_Toc191840390)

[Пример расчета коэффициента местной устойчивости откоса эксплуатируемой насыпи из глинистых грунтов 9](#_Toc191840391)

[Задание 2. Проектирование укрепления откоса пойменной насыпи 12](#_Toc191840392)

[СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 18](#_Toc191840393)

# **Исходные данные:**

10 вариант

|  |  |
| --- | --- |
| Показатели | Значения показателей |
| Задание 1  Высота насыпи *H*, м | 14.0 |
| Показатель крутизны откоса, *n* | 2.0 |
| Толщина слоя дренгрунта, *hбм*, м | 1.0 |
| Влажность предела текучести глин, *WL* | 0.4 |
| Коэффициент кривой, *Kt* | 0.12 |
| Задание 2  Отметка бровки бермы, *yб*, м | 66.3 |
| Отметка наивысшего уровня воды, *yнув*, м | 64.7 |
| Расчетная ширина реки, *B*, км | 3.0 |
| Расчетная глубина реки, *H*, м | 3.4 |
| Расчетная скорость ветра, *W10*, м/сек | 12.0 |
| Угол между направлением ветра и урезом воды, β град. | 45.0 |
| Скорость течения реки, *V*, м/сек | 1.7 |

# **Введение**

Исходя из опыта сооружения и эксплуатации железнодорожного земляного полотна, утвержденным сводом правил «Проектирование земляного полотна железных дорог колеи 1520 мм» (СП32-104-98) существенно ограничено использование глинистых грунтов с влажностью предела текучести *WL*> 0,40 (табл. 4.1, стр. 3). Отсутствие таких ограничений в ранее действовавших нормативных документах привело к тому, что на сети дорог, в т.ч. на отдельных магистральных линиях, находятся в эксплуатации насыпи, сооруженные из тяжелых суглинков и глин, потенциально опасные в части возможности образования сплывов откосов при экстремально неблагоприятном сочетании погодных условий (прохождения ливневых осадков после засушливого периода, бурном снеготаянии весной и других). Традиционные способы оценки устойчивости откосов по показателям состояния глинистых грунтов (естественной плотности, влажности и прочности, установленных в произвольных момент проведения инженерно-геологического обследования) не отражают возможностей их изменения в экстремальных ситуациях. Более перспективным для этой цели является использование показателей водно-физических свойств глинистых грунтов, позволяющих определить значения плотности, влажности и прочности при возможности полной реализации их способности к усадке и набуханию в зависимости от глубины залегания.

Настоящим заданием предусматривается прогнозная оценка местной устойчивости откоса эксплуатируемой насыпи из глинистых грунтов в зависимости от их влажности на пределе текучести *WL* и геометрических характеристик насыпи при заданных кривизне, а также точках входа и выхода кривой смещения (рис. 1.1).

При этом принимаются следующие допущения:

* интенсивному выветриванию под влиянием климатических факторов подвергаются грунты откоса насыпи, грунты под основной площадкой, перекрытые слоем накопленных балластных материалов, изменяют свойства в меньшей степени;
* вследствие указанного выше наиболее вероятным и чаще наблюдаемым в практике является нарушение местной устойчивости откосов с образованием срыва у концов шпал, что предусмотрено расчетной схемой рис. 1.1.
* глинистые грунты насыпи с влажностью предела текучести *WL*≥ 0,40 относятся к полиминеральным разновидностям и подчиняются установленным зависимостям показателей состояния от бытового давления (глубины залегания) рассматриваемого грунта.

Изображение выглядит как зарисовка, рисунок, диаграмма, линия

Контент, сгенерированный ИИ, может содержать ошибки.

Рис. 1. Схема 1 к расчету устойчивости насыпи

Последнее позволяет заменить аналитический расчет прочности грунта по методическим указаниям [1] их определением по графику рис 1.2.

Проверочный расчет местной устойчивости откоса эксплуатируемой насыпи с использованием исходных данных табл. 1 по каждому варианту выполняется аналитическим способом в следующем порядке с определением:

# **Задание 1. Оценка местной устойчивости откоса эксплуатируемой насыпи из глинистых грунтов**

* длины хорды AB по формуле:

 (1.1)

* значения *t*

*t=K*t∙*H*

* радиуса кривой скольжения *R*

 (1.2)

* угла наклона хорды *α*

 (1.3)

* половины центрального угла кривой скольжения

 (1.4)

* координаты центра кривой скольжения

*xR*= *nH+R∙*sin*(α−μ)* (1.5)

*yR=R∙*cos*(α−μ)* (1.6)

* ширины отсеков в откосной части насыпи

, (1.7)

где *N* – число отсеков выбирается по условиям *N≥*4 и *b≤*6 м.

Ширина первого отсека *b1=x1=*2,2 м принимается для всех вариантов постоянной по условию ширины основной площадки земляного полотна *B=*7,0 м и длины шпалы *lш=*2,7 м.

Далее расчет производится в табличной форме применительно к учебным схемам [2,3,4] с определением для каждого отсека.

* координаты левой грани

*xin=x(i–1)л+bi* (1.8)

* ординаты середины отсека

 (1.9)

* угла *βi* (см. рис. 1.1)

 (1.10)

* отметка поверхности середины отсека

 (1.11)

* отметка кривой скольжения в середине отсека

*yiк=yR–R*cos*βi* (1.12)

* высота отсека

*h=yin–yiк* (1.13)

* вес отсека

*gi=2bihi* (1.14)

(для всех вариантов принимает объемный вес грунта *ρ=*2 т/м3)

По графику рис. 1.2 для каждого отсека в зависимости от влажности предела текучести *WL* и высоты отсека *hi* определяется значение сцепления в т/м2.

В связи с малым диапазоном изменения угла внутреннего трения *φ* в зависимости от давления (высоты отсека *hi*) для всех отсеков принимает одинаковое значение *φ* по графику рис. 1.2 с соответствующей интерполяцией для заданного значения *WL*

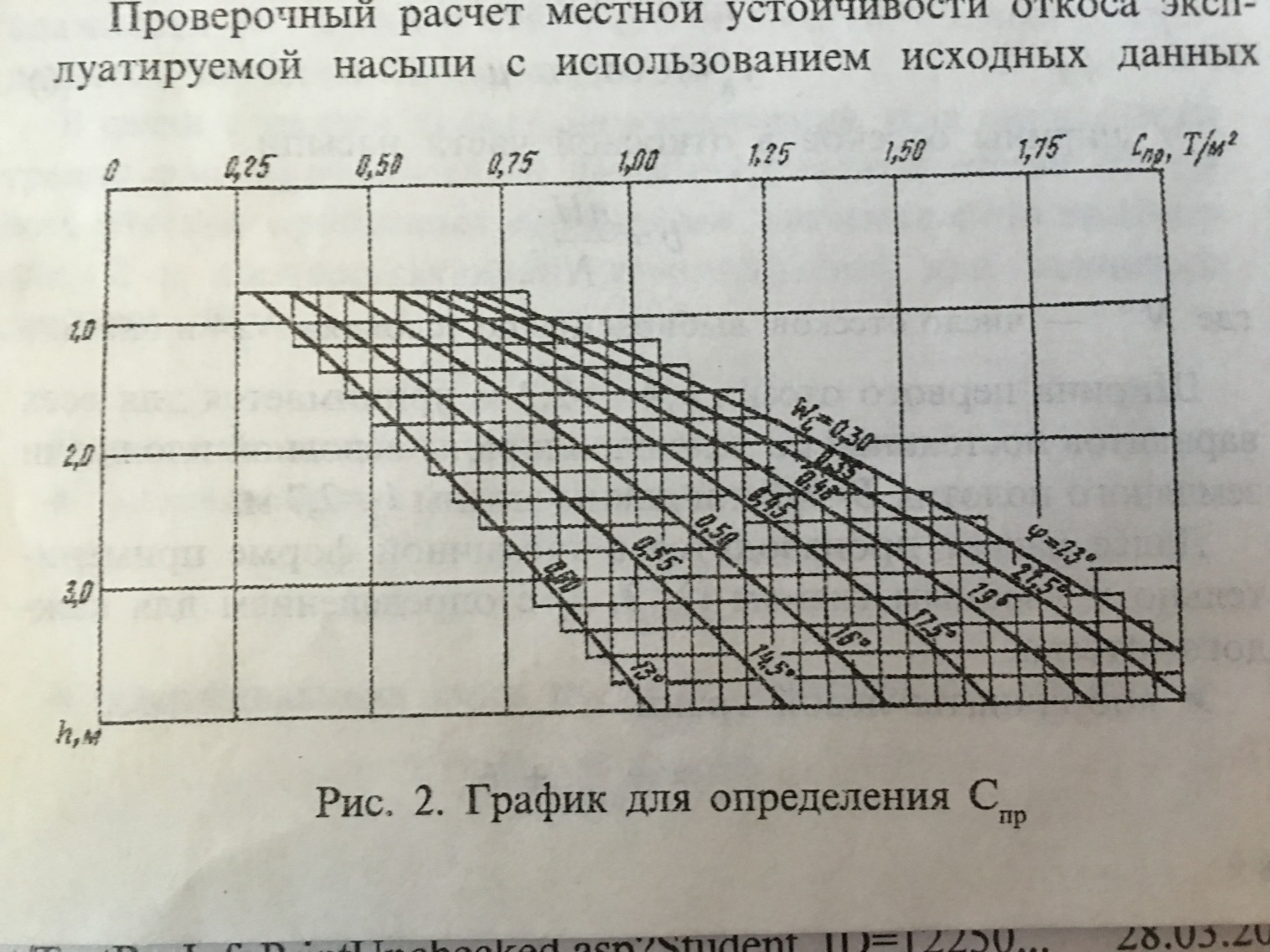
*f=tg(φ-2)* (1.15)

Далее для каждого отсека определяются:

* удерживающая сила по сцеплению

 (1.16)

* удерживающая сила по углу внутреннего трения



*Tудφ=fgi*cos*βi* (1.17)

сдвигающая сила

*Tсд=gi*sin*βi* (1.18)

Коэффициент местной устойчивости откоса определяется по формуле:

, (1.19)

где *ρW* = 1 т/м3 – объемный вес воды,

*hmax* – максимальная высота отсека из числа определенных.

При *Кm≥*1,1 и отсутствии признаков деформирования устойчивость откоса считается обеспеченной, при *Кm*<1,1 имеется потенциальная опасность деформирования откоса, необходимо обследование насыпи и назначение, при необходимости мероприятий по ее усилению.

# **Пример расчета коэффициента местной устойчивости откоса эксплуатируемой насыпи из глинистых грунтов**

При расчете используются следующие исходные данные:

* высота насыпи H=14.0 м
* показатель крутизны откоса *n=*2.0
* толщина слоя балластных материалов *hбм=*1.0
* влажность предела текучести *WL*=0.4
* показатель кривизны кривой *Kt=*0.12

Последовательно вычисляем:

* длину хорды

2d=√((14.0 -1.0)^2+(2.0 \*14.0 +b0)^2 )= 32.88 м

d = 16.44 м, d2= 270.26,

* глубину кривой в середине хорды

*t=Kt∙H=* 0.12 ∙14.0 =1.68 м, *t*2= 2.82

* радиус кривой

R=(d^2+t^2)/2t=( 270.26 + 2.82)/(2∙ 1.68)= 81.27 м

* угол наклона хорды

α =arcsin((H - hбм)/2d)=arcsin((14.0 - 1.0)/(2∙ 16.44))= 23.29°

* половину центрального угла кривой

μ=arcsin⁡(d/R)=arcsin⁡( 16.44/81.27)= 11.67°

* координаты центра кривой

xR=nH+x1+R∙sin(α-μ)= 2.0∙ 14.0+ 2.2+ 81.27∙sin(23.29 – 11.67) = 46.57 м

*yR=R∙*cos*(α−μ)=* 81.27∙cos(23.29 - 11.67)= 79.61

* ширину отсека на откосе

b=nH/N=( 2.0 ∙ 14.0)/5 = 5.6 м

Дальнейшие вычисления проводим в табличной форме для каждого отсека.

Таблица 1.1- Расчет устойчивости откоса

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатели | Значения для отсеков | | | | | | |  | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |  |
| Ширина отсека *b*, м | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.6 |  |
| Абсцисса левой грани *Xл*, м  *xni=xл (i–1) +b* | 5.6 | 7.8 | 13.4 | 19.0 | 24.6 | 30.2 | 0 |  |
| Абсцисса середины отсека, м | 1.1 | 5.0 | 10.6 | 16.2 | 21.8 | 27.4 | 0 |  |
| Центральный угол, град | 34.02 | 30.76 | 26.27 | 21.94 | 17.74 | 13.64 | 0.0 |  |
| Ордината поверхности среднего отсека | 14.0 | 12.6 | 9.8 | 7.0 | 4.2 | 1.4 | 0 |  |
| Ордината кривой  *yk=yR–R* cos*βi* | 12.25 | 9.77 | 6.73 | 4.22 | 2.2 | 0.63 | 0 |  |
| Высота отсека  *h=yn–yk* | 1.75 | 2.83 | 3.07 | 2.78 | 2.0 | 0.77 | 0 |  |
| Вес отсека при *ρ=*2 т/м3  *g=2∙h∙b* | 7.72 | 31.68 | 34.4 | 31.1 | 22.38 | 8.64 | 0 |  |
| C (из графика рис. 1.2) | 1.06 | 1.44 | 1.54 | 1.45 | 1.16 | 0.56 | 0.0 |  |
| Удельная сила по сцеплению | 2.81 | 9.38 | 9.62 | 8.75 | 6.82 | 3.23 | 0 | Σ 40.62 т |
| Коэффициент трения  *f=tg(φ–2)* (рис. 1.2) | *f=tg*(*19.5* –2)= *0.315* | | | | | | |  |
| Удельная сила по трению  *Tудφ=f∙g∙*cos*βi* | 2.02 | 8.58 | 9.73 | 9.1 | 6.72 | 2.65 | 0 | Σ 38.79 т |
| Сдвигающая сила  *Tсд=g∙sinβi* | 4.32 | 16.21 | 15.22 | 11.62 | 6.82 | 2.04 | 0 | Σ 56.23 |

Km=(ΣTудс+ΣTудφ)/(ΣTсд+(ρв hmax^2)/2)=( ΣTydc+ 38.79)/( ΣTcd+(1∙ 9.43)/2)= 1.303<1.1

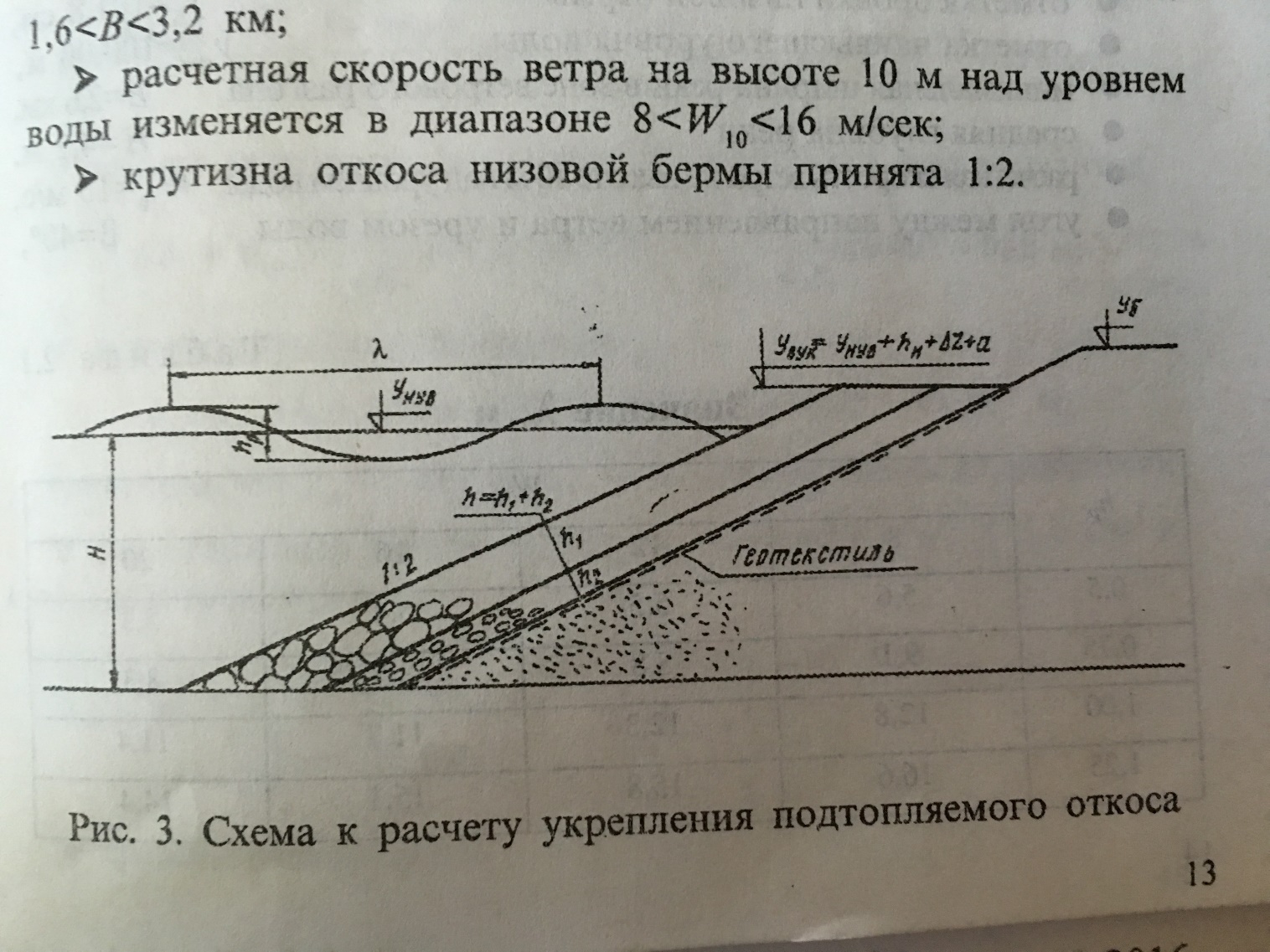
По результатам произведенных расчетов выяснили, что насыпь относится к потенциально опасным и требует обследования. По результатам обследования назначаются мероприятия по усилению откосов.

Расчетную схема к задаче №1 находится в приложении 1.

**Задание 2. Проектирование укрепления откоса пойменной насыпи**

Проектирование осуществляется применительно к условиям замены устаревших видов укрепления (например, фашин) откоса на низовой берме эксплуатируемой насыпи применительно к схеме рис. 3. С использованием исходных данных табл. 1 по каждому из вариантов определению подлежат:

* параметры волнового воздействия на укрепляемый откос
* достаточность высоты бермы
* вес и размеры камня верхнего и нижнего слоя укрепления
* достаточность укрепления по заданной скорости потока



Изображение выглядит как текст, снимок экрана, диаграмма, линия

Контент, сгенерированный ИИ, может содержать ошибки.

По всем вариантам задания соблюдаются условия:

* тип водоема мелководный с диапазоном средней глубины реки 2,5*<H<*4,0 м;
* максимальная ширина реки изменяется в диапазоне 1,6*<B<*3,2 км;
* расчетная скорость ветра на высоте 10 м над уровнем воды изменяется в диапазоне 8*<W10<*16 м/сек;
* крутизна откоса низовой бермы принята 1:2.

В указанных условиях возможно графические зависимости расчетных величин высоты *hР* и длина λ волны [1,2] заменить аналитическими, а также в запас надежности укрепления не учитывать трансформации волн в отсутствии глубоководных участков.

Изображение выглядит как текст, инструмент

Контент, сгенерированный ИИ, может содержать ошибки.

С использованием приближенных зависимостей расчетной высоты волны от средней глубины реки *H* принимается:

при *W10*=10 м/сек *hр=*0,23+0,11*H*

при *W10*=20 м/сек *hр=*0,23+0,22*H*

Значение длины волны *λ/h=f(hр, W10)* принимается по табл. 2.

Таблица 2- Значение λ, м

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *hр* | *W10* | | | |
| 8 | 12 | 16 | 20 |
| 0,5 | 5,6 | 5,5 | 5,4 | 5,3 |
| 0,75 | 9,1 | 8,8 | 8,5 | 8,3 |
| 1,00 | 12,8 | 12,3 | 11,7 | 11,4 |
| 1,25 | 16,6 | 15,8 | 15,1 | 14,4 |

Промежуточные значения *λ* для заданных *hp* и *W10* определяются последовательной линейной интерполяцией.

Порядок и пример расчета укрепления откоса пойменной насыпи приведен ниже.

При расчете используются следующие исходные данные (по вариантам задания и в примере)

* отметка бровки низовой бермы *yб=* 66.3 см
* отметка наивысшего уровня воды *yнув=* 64.7 м
* минимальная ширина реки в зоне ветрового разгона *B=* 3.0 км
* средняя глубина реки *H=* 3.4 м
* расчетная скорость ветра на высоте 10 м

над уровнем воды *W10=*12.0 м/сек

* угол между направлением ветра и урезом воды *β=* 45.0 º
* скорость течения воды вдоль откоса *Vв=* 1.7 м/сек
* показатель крутизны откоса *m=*2,0

Последовательно определяем с использованием зависимостей настоящей методики:

* длину разгона ветровых волн *Д*

*Д=5∙B=*5*∙* 3.0 *=* 15.0 км (2.3)

(отмечаем, что 8*<Д<*18 км)

* расчетную высоту волны при скорости ветра *W10=*10 м/сек

*h10=*0,23+0,11*H*=0,23+0,11∙ 3.4= 0.604 м

* расчетную высоту волны при скорости ветра *W10=*20 м/сек

*h20=*0,23+0,22*H*=0,23+0,22∙ 3.4= 0.978 м

* расчетную высоту волны при заданной скорости ветра *W10=*12.0 м/сек  
    
  *h\_p=h\_10+(h\_20-h\_10)/((20-10) ) (W\_10-10)= h100+(h200-h100)/((20-10) ) (W100-10)= 0.68*
* по табл. 2 определяем длину волны *λ=* 7.86
* высоту наката волны *hн*

*h\_н=(2K\_ш h\_p)/m ∛(λ/h\_p )×(1+2sinβ)/3=(2∙ 0.5 ∙0.68)/2 ∛(7.86/0.68)×(1+2 sin⁡45.0)/3=0.62 м*

* высоту ветрового нагона Δ*Z*

ΔZ=K\_наг (W\_100^2)/3gH cosβ= 0.009 144.0/(3 ∙9.81 ∙ 3.4) cos⁡45.0°= 0.03

* верхнюю границу укрепления *yyк*

*yук=yнув+hн+ΔZ+a= 64.7+0.62+ 0.03 +0.25=0.66* м

(отмечаем *yук≈y=* 66.3 см, наращивания бермы не требуется)

* вес отдельных камней наброски *Qк*

Q\_K=(k3nγ\_k h\_p^2 λ)/((γ\_k/γ\_в -1)∛(1+m^3 ))=( k33∙2.6∙0.46∙7.86)/(( 2.6/1-1)∛(1+8))= 0.17

* средний размер камня

Д\_ср=1.24∙∛(Q\_k/γ\_k )=1.24∙∛(0.17/2.6)= 0.5 м

* минимальную толщину каменной наброски

t\_1=2.5∛(Q\_k/γ\_k )=2.5∙∛(0.17/2.6)= 1.02 м

* вес камня нижнего слоя наброски

*qк=0,05 Qк=0,05∙0.17 =0.009* т

* средний размер камня нижнего слоя

d\_cp=1.24∙∛(q\_k/γ\_k )=1.24∙∛(0.009/2.6) = 0.19 м

* толщину нижнего слоя каменной наброски *t2*

t\_2=2.5∙∛(q\_k/γ\_k )=2.5∙∛(0.009/2.6)= 0.37

* допустимую скорость течения воды по наброске *Vд*

V\_д=1.37√(g∙Д\_ср )=1.37√(9.81∙0.5)= 3.05 м/сек

(отмечаем, что *Vд>Vв=* 1.7 м/сек)

Полученная конструкция укрепления представляется в виде схемы с указанием конкретных размеров (Приложение №2). В основании нижнего слоя предусматривается укладка геотекстиля во избежания суффозионого повреждения тела насыпи.

**Заключение**

В курсовой работе были произведены расчеты по определению расчетных характеристик грунта насыпи, влияющие на устойчивость земляного полотна, к ним относятся: влажность грунта, объемный вес, т/м3; удельное сцепление, С, т/м2; угол внутреннего трения, , град. Далее были приведены расчеты и схемы для оценки устойчивости насыпи. В результате проделанных расчетов был найден минимальный коэффициент устойчивости насыпи = 1.303. По данному коэффициенту была проведена оценка устойчивости насыпи из условия и сделан вывод что, насыпь неустойчива, и она может разрушится под поездом.

Так же были произведены расчеты для проектирования откоса пойменной насыпи. Для этого был определен ряд геометрических характеристик поперечного профиля насыпи. Затем проводилось сравнение между нормативными и расчетными значениями: параметры волнового воздействия на укрепляемый откос, достаточность высоты бермы, вес и размеры камня верхнего и нижнего слоя укрепления, достаточность укрепления по заданной скорости потока, сделали вывод, что конструкция насыпи соответствует всем требованиям. На этом расчет окончен.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. «Основы устройства и расчетов железнодорожного пути», под ред. С.В. Амелина и Т.Т. Яковлевой, М., Транспорт, 1990 г.
2. Фришман М.А., Хохлов И.Н., Титов В.П. Земляное полотно железных дорог, М., Транспорт, 1972 г.
3. Справочник по земляному полотну эксплуатируемых железных дорог. М., Транспорт, 1978 г.
4. Временные методические указания по расчету устойчивости эксплуатируемых насыпей и проектированию конрбанкетов. М., Транспорт, 1979 г.
5. Пособие по проектированию методов регулирования водно-теплового режима верхней части земляного полотна (к СниП 2.05.02-85 «Автомобильные дороги»), М., Стройиздат, 1989 г.
6. Стандартные проектные решения и технологии усиления земляного полотна при подготовке полигонов сети для введения скоростного движения пассажирских поездов МПС, М., вып. 1 1997 г., вып. 2 1998 г.
7. Альбом стандартных решений водотводных устройств на железных дорогах МПС, М., 2000 г.
8. Технологические указания по сооружению продольных закрытых дренажей механизированным способом, М., Транспорт, 1986 г.
9. Крейнис З.Л., Федоров И.В. «Железнодорожный путь». Учебник для колледжей и техникумов железнодорожного транспорта, М., УМК МПС, 2000 г.
10. СП 119.13330.2012 «Железные дорого колеи 1520 мм. Актуализированная редакция СНиП 32-01-1995»;
11. СП 32. 104-98 Свод правил. Проектирование земляного полотна железных дорог колеи 1520 мм. ‑ М.: Госстрой РФ, 1999. ‑ 38 с;
12. Оформление текстовых документов: методические указания для курсового проекта и дипломного проектирования.