

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(СИБСТРИН)

**Кафедра инженерной
геологии, оснований
и фундаментов**

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВОГО ОТКОСА

Методические указания
по выполнению курсового проекта
для студентов, обучающихся по направлению
подготовки 08.04.01 «Строительство»
всех форм обучения

НОВОСИБИРСК 2020

Методические указания разработаны
канд. техн. наук, доцентом, зав. кафедрой ИГОФ
С.В. Линовским.

Утверждены учебно-методической комиссией
института строительства
10 июля 2020 года

Рецензенты:

- В.С. Молчанов, канд. техн. наук, профессор
кафедры ИГОФ НГАСУ (Сибстрин);
- А.О. Колесников, канд. техн. наук, доцент
кафедры ИГОФ НГАСУ (Сибстрин)

© Новосибирский государственный
архитектурно-строительный
университет (Сибстрин), 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	2
1 СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....	4
2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ РАСЧЕТНОЙ ЧАСТИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....	6
3 ОБЩАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....	7
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	11
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	12
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	13
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	18
ПРИЛОЖЕНИЕ 4	19
ПРИЛОЖЕНИЕ 5	20
ПРИЛОЖЕНИЕ 6	21

ВВЕДЕНИЕ

Откосом называется образованная в результате хозяйственной деятельности человека поверхность, ограничивающая природный грунтовый массив или искусственно возведенную выемку (насыпь). Откосы возводятся при сооружении различного рода насыпей (дорожного полотна, дамб, земляных плотин и т.д.), выемок (котлованов, траншей, каналов, карьеров и т.д.) или при перепрофилировании территории. Склоном обычно называется откос, образованный природным путем и ограничивающий массив грунта естественного сложения.

При неблагоприятном сочетании разнообразных факторов массив грунтов, ограниченный откосом или склоном, может перейти в неравновесное состояние и потерять устойчивость.

Основными причинами потери устойчивости откосов и склонов могут служить:

- устройство недопустимо крутого откоса или подрезка склона, находящегося в состоянии, близком к предельному;
- увеличение внешней нагрузки (возведение сооружений, складирование материалов на откосе или вблизи его бровки);
- изменение внутренних сил (увеличение удельного веса грунта при возрастании его влажности или, напротив, влияние взвешивающего давления воды на грунты);
- неправильное назначение расчетных характеристик прочности грунта или снижение его сопротивления сдвигу за счет, например, повышения влажности;
- проявление гидродинамического давления, сейсмических сил, различного рода динамических воздействий (движение транспорта, забивка свай, работа промышленных машин и оборудования вблизи откоса и т.п.).

Для обеспечения устойчивости откоса прежде всего необходимо правильно рассчитать угол его заложения (угол между наклонной поверхностью и горизонтальной площадью нижнего бьефа). Одним из наиболее распространенных способов практического определения угла заложения и оценки устойчивости откосов насыпей и естественных склонов является метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения (КЦПС), основанный на опытных данных о форме поверхности скольжения при оползнях вращения.

Задача курсового проекта заключается в определении коэффициента запаса устойчивости откоса насыпи (выемки) или природного склона для наиболее опасной поверхности скольжения.

Обучающемуся в рамках выполнения курсового проекта (КП) предлагается не только самостоятельно выполнить указанный расчет методом КЦПС, но и познакомиться с теоретическими основами иных способов расчета устойчивости откосов и склонов, а также с практическими методами обеспечения устойчивости таких грунтовых сооружений.

1 СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект в соответствии с учебным планом магистратуры по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство» выполняется в первом семестре второго года обучения в виде самостоятельной работы (во внеаудиторное время) при контроле (консультировании) со стороны закрепленного за группой преподавателя. Нормативный срок выполнения проекта 8 недель.

КП оформляется в виде расчетно-пояснительной записки с одной или двух сторон листа формата А4 (210×297 мм). Расчетно-пояснительная записка должна содержать (как правило, в задании на выполнение проекта) исходные данные об откосе, инженерно-геологических условиях строительной площадки, сведения о конструкциях, размещенных на грунтовом откосе, а также текстовую часть и расчеты с пояснениями к ним, включающими обоснование принятых технических решений в последовательности, предусмотренной данными указаниями.

Состав расчетно-пояснительной записки

1. Титульный лист ([приложение 1](#) настоящих методических указаний).
2. Оглавление (содержание).
3. Задание на проектирование ([приложение 2](#) настоящих методических указаний) – выдается преподавателем индивидуально каждому студенту.
4. Текстовая часть – общие сведения по вопросу обеспечения устойчивости откоса, расчеты со схемами, пояснениями и выводами.
5. Список использованной литературы (пример оформления – [приложение 3](#) настоящих методических указаний).

Текстовый материал должен быть конкретным, относящимся к теме разработки, а в расчетах еще и предельно сжа-

тым. На все заимствования из литературных источников (СП, справочники, методические указания и т.д.) в записке должны быть сделаны соответствующие ссылки. Расчеты обязательно должны содержать эскизы, схемы с наименованиями и необходимыми размерами, а также исходные формулы с их нумерацией. Страницы записки должны иметь сквозную нумерацию арабскими цифрами (первая страница – оглавление).

Состав курсового проекта

РАЗДЕЛ 1. Общие сведения. Объем раздела 8–12 страниц с рисунками и схемами. Здесь обучающийся, используя источники [1–3], анализирует состояние вопроса, касающегося обеспечения устойчивости откоса.

РАЗДЕЛ 2. Расчет устойчивости откоса методом КЦПС [1–3] в соответствии с заданием. Объем раздела до 10–15 страниц.

На защиту (проверку) расчетно-пояснительная записка курсового проекта представляется в сброшюрованном виде.

2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ РАСЧЕТНОЙ ЧАСТИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

По предложению заказчика проектируется грунтовый откос с возможностью размещения вблизи его бровки здания. Необходимо выполнить расчет устойчивости откоса методом КЦПС (подтвердить предложенный или определить иной безопасный угол заложения откоса β) по содержащимся в задании исходным данным.

Исходные данные (см. [приложение 2](#)) представлены двумя блоками:

1. Сведения об откосе и фундаменте здания.
2. Сведения об инженерно-геологических условиях строительной площадки.

Исходные данные задаются преподавателем или выбираются студентом в зависимости от варианта, указанного в задании.

3 ОБЩАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

В первой (обзорной) части КП необходимо в реферативной форме изложить полученные из учебной, нормативной и периодической литературы знания об общих вопросах и проблемах устойчивости откосов (что представляет собой откос, где и в каких случаях применяется, что значит «обеспечение устойчивости откоса», последствия нарушения устойчивости откоса, расчетные методы проверки устойчивости откоса и история их развития, меры по обеспечению устойчивости откоса и т.п.), сопроводив их необходимыми схемами, рисунками, примерами.

Вторую (расчетную) часть проекта ([раздел 2](#)) рекомендуется выполнять в следующем порядке:

1. На листе формата А4 в масштабе в соответствии с геометрическими размерами, приведенными в задании, изображается разрез откоса с привязкой его к геологической ситуации и размещением вблизи бровки откоса (на верхней горизонтальной площадке) схемы фундамента здания. Вычисляется угол заложения откоса и заносится в соответствующий пункт задания.

2. Задается центр вращения O откоса и проводится след круглоцилиндрической поверхности радиусом R через точку пересечения следа нижней горизонтальной площадки и наклонной плоскости (точка A). Учитывая, что через указанную точку можно провести бесконечное множество круглоцилиндрических поверхностей, для оценки устойчивости откоса необходимо выбрать наиболее неблагоприятную ситуацию, т.е. из всех возможных центров вращения находится в пределах поля размещения такая точка, относительно которой коэффициент запаса устойчивости будет минимален. В [разделе 1](#) курсового проекта обучающиеся знакомятся со многими способами отыскания такой точки, позволяющими минимизировать трудоемкость расчетов, но в данном КП рекоменду-

ется использовать только один из них [1], заключающийся в следующем:

- из верхней части откоса (точка B) проводится наклонная линия под углом 36° к горизонтальной оси (см. рисунок [приложения 4](#));
- на этой линии располагаются точки O_i на расстояниях, рекомендованных в [приложении 4](#);
- выбранные точки принимаются за центры вращения;
- из каждой точки радиусом R_i последовательно проводятся следы КЦПС (на начальном этапе рекомендуется применить четыре таких построения);
- для каждого такого построения вычисляют значение коэффициента запаса устойчивости ($k_{уст_i}$) по методике, изложенной в п.п. 3–5 данного раздела;
- в предварительно выбранном масштабе откладываются значения $k'_{уст_i} = k_{уст_i} - 1$ в виде отрезков, перпендикулярных линии BO_4 в соответствующих точках O_i ;
- через концы этих отрезков строится огибающая кривая, к которой проводится касательная, параллельная линии BO_4 , а точка касания проецируется на линию BO_4 (точка O).

Для получения минимального значения коэффициента запаса устойчивости делается еще одно построение (пятое) из полученной точки O по методике, изложенной в п.п. [3–5](#) данного раздела, вычисляется $k_{уст\ min}$.

3. Из сформированного в результате построения массива грунта, ограниченного КЦПС, наклонной гранью и бровкой откоса, вырезается полоса шириной 1 м (размер перпендикулярно плоскости чертежа), проекция которой на листе разбивается вертикальными линиями на элементарные участки (отсеки), руководствуясь следующими указаниями:

- размер отсека по горизонтальной оси (Δb_i) назначать не более 4 м;
- вертикальные разбивочные линии при возможности совмещать с местом изменения профиля откоса, гра-

- ниями фундамента здания и точками пересечения границ слоев с наклонной плоскостью;
- минимальное количество отсеков принять равным 5.

4. Для каждого из отсеков вычисляется вес G_i , вектор которого через центр тяжести (ц.т.) отсека сносится на поверхность скольжения откоса в точку D (рисунок [приложения 5](#)). Сила веса раскладывается на касательную и нормаль (соответственно составляющие T_i и N_i) с использованием известных и определенных расчетом геометрических размеров и простых тригонометрических функций. Вычисляется длина части окружности (Δl_i), принадлежащая отсеку (без существенной погрешности может быть заменена хордой).

5. Вычисляется коэффициент запаса устойчивости как отношение момента удерживающих сил к моменту сдвигающих сил ($k_{уст} = M_{уд}/M_{сд}$). С учетом того, что плечо действующих усилий (радиус R) входит в числитель и знаменатель приведенного выражения для определения $k_{уст}$ и может быть сокращено, коэффициент запаса устойчивости определится зависимостью

$$k_{уст} = \frac{M_{уд}}{M_{сд}} = \left(\sum_{i=1}^n Q_i + \sum_{i=1}^n c_i \cdot \Delta l_i \right) / \sum_{i=1}^n T_i ,$$

где Q_i – сила трения на поверхности сдвига i -го отсека, кН,
 $Q_i = N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i$,

$$N_i = \Sigma G_i \cos \alpha_i,$$

здесь N_i – нормальная составляющая силы веса, кН, α_i – угол наклона радиуса поверхности скольжения (линия OD) к вертикальной оси со своим знаком (знак «плюс» при отклонении в сторону откоса));

Δl_i – длина дуги следа поверхности сдвига i -го отсека, м;
 c_i – удельная сила сцепления на поверхности сдвига i -го отсека, кПа; T_i – сдвигающая сила (касательная составляющая силы веса), кН, $T_i = \Sigma G_i \sin \alpha_i$.

Примечание. Расчет рекомендуется осуществлять в табличной форме (см. [приложение 6](#)), сопровождая его необходимыми пояснениями и построением расчетных схем.

6. Полученный в результате расчетов минимальный коэффициент запаса устойчивости $k_{уст\ min}$ сравнивается с нормативным значением (для II класса капитальности сооружения принимается равным 1,2) с целью проверки выполнения условия $k_{уст\ min} \geq 1,2$.

7. При выполнении указанного условия делается вывод об обеспеченности необходимого запаса устойчивости откоса и возможности его возведения с предлагаемым в задании углом заложения β .

8. При невыполнении условия (если $k_{уст\ min} < 1,2$) необходимо изменить (уменьшить) угол заложения откоса β и выполнить расчет заново, добиваясь безусловного выполнения указанного условия.

Примечание. Учитывая большой объем однообразных вычислений (при условии неоднократного изменения угла заложения откоса), для облегчения вычислительных операций и графических построений рекомендуется воспользоваться доступными программными комплексами (Excel, AutoCAD и др.).

9. Курсовой проект оформляется в виде расчетно-пояснительной записки (требования к оформлению см. выше), которая сдается преподавателю на проверку для последующей защиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Далматов, Б. И. Механика грунтов, основания и фундаменты / Б. И. Далматов. – Москва : Стройиздат, 1988 (и последующие переиздания). – 411 с.
2. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений : актуализированная ред. СНиП 2.02.01-83* : изм. 1–3 : введ. 2017-07-01. – Текст : электронный // Техэксперт. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации.
3. Основания, фундаменты и подземные сооружения / [М. И. Горбунов-Посадов, В. А. Ильичев, В. И. Крутов и др.] ; под ред. Е. А. Сорочана, Ю. Г. Трофименкова. – Курган, 2007. – 480 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Кафедра инженерной
геологии, оснований
и фундаментов

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

«Расчет устойчивости грунтового откоса»

Выполнил(а) студент(ка) _____ группы

(Фамилия, инициалы, подпись)

Проверил _____

(Фамилия, инициалы, подпись)

Новосибирск 20____

ПРИЛОЖЕНИЕ 2



Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
**НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ (СИБСТРИН)**

КАФЕДРА ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ,
ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ

ЗАДАНИЕ
к курсовому проекту
«Расчет устойчивости грунтового откоса»

Студент(ка) _____, группа____,
институт_____

Номер варианта (n)_____

Постановка задачи: проектируется грунтовый откос с размещением вблизи его бровки зданием; необходимо выполнить расчет его устойчивости (подтвердить или определить безопасный угол заложения β) при имеющихся в настоящем задании исходных данных.

Исходные данные.

1. Сведения об откосе и фундаменте здания (см. [приложение 1 к заданию](#)):

$a = 1,5 + 0,5 n =$ _____, м;

$h = 11,5 + 0,5 n =$ _____, м;

$c = 5,5 + 0,5 n =$ _____, м;

β – определить по значениям h и c , _____ град;

$b = 3,5 + 0,5 n =$ _____, м;

$d = 0,5 + 0,1 n =$ _____, м;

$q = 50 + 15 n =$ _____, кПа;

фундамент – железобетонный (удельный вес бетона $\gamma = 25,0 \text{ кН/м}^3$, класс В15).

2. Инженерно-геологические условия площадки строительства (см. [приложение 2 к заданию](#)):

- число слоев (напластований) грунта в разрезе – два;
- номера слоев (сверху вниз): ИГЭ-1, № _____;
ИГЭ-2, № _____;
- мощность (толщина) слоев:
верхний _____ м,
нижний (подстилающий) _____ м;
- физико-механические характеристики грунтов:

№ грунта	Наименование грунта	Плотность грунта ρ , г/см ³	Плотность твердых частиц грунта ρ_s , г/см ³	Влажность природная w , %	Влажность на границе раскатывания w_p , %	Влажность на границе текучести w_L , %	Коэффициент пористости e , д.е.	Угол внутреннего трения ϕ , град.	Удельная сила сцепления c , МПа	Модуль деформаций E , МПа

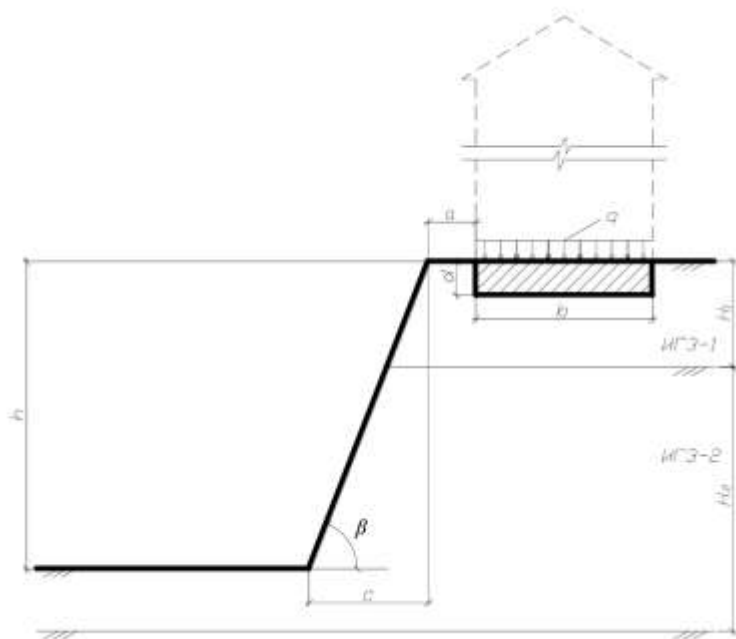
- уровень грунтовых вод (WL) – не обнаружен;
- просадочные свойства грунтов – отсутствуют.

Руководитель _____/Фамилия, инициалы/

« ____ » _____ 20 ____

Приложение 1 к заданию

Конструктивные особенности откоса и фундамента



- a – расстояние от бровки откоса до фундамента, м;
- h – высота откоса, м;
- c – заложение откоса, м;
- β – угол откоса, рад;
- b – размер (ширина) фундаментной плиты, м;
- d – глубина заложения (высота) фундамента, м;
- q – распределенная нагрузка (давление) от здания на верхней грани (обрезе) фундамента, кПа.

Приложение 2 к заданию

Исходные данные к курсовому проекту по расчету устойчивости откоса

Физико-механические характеристики грунтов основания

№ грунта	Наименование грунта	Плотность грунта ρ , г/см ³	Плотность твердых частиц грунта ρ_s , г/см ³	Влажность природная w , %	Влажность на границе раскатывания w_p , %	Влажность на границе текучести w_L , %	Коэффициент пористости e , д.е.	Угол внутреннего трения ϕ_L , град.	Удельная сила сцепления c_L , МПа	Модуль деформаций E , МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Супесь	1,78	2,71	10	12	17	0,78	20	0,006	12,4
2	Супесь	1,72	2,70	11	10	16	0,69	22	0,008	8,2
3	Суглинок	1,88	2,72	10	11	26	0,70	19	0,013	24,6
4	Супесь	1,93	2,73	14	15	18	0,65	24	0,009	15,7
5	Супесь	1,87	2,76	16	18	29	0,64	21	0,015	9,8
6	Супесь	1,94	2,74	18	20	36	0,67	23	0,016	11,6
7	Супесь	1,90	2,75	14	14	19	0,71	25	0,007	20,0
8	Суглинок	1,96	2,61	21	23	33	0,65	18	0,018	18,2
9	Супесь	1,93	2,65	15	17	23	0,77	26	0,010	13,3
10	Супесь	1,80	2,63	20	22	26	0,72	27	0,011	21,5
11	Песок гравели- стый	1,64	2,66	18	–	–	0,60	38	–	26,0
12	Песок крупный	1,66	2,65	14	–	–	0,70	36	–	22,8
13	Песок крупный	1,65	2,64	16	–	–	0,80	34	–	20,5
14	Песок средней крупности	1,69	2,67	15	–	–	0,82	32	–	14,4
15	Песок средней крупности	1,71	2,68	17	–	–	0,64	39	–	24,6

Окончание прил. 2 к заданию

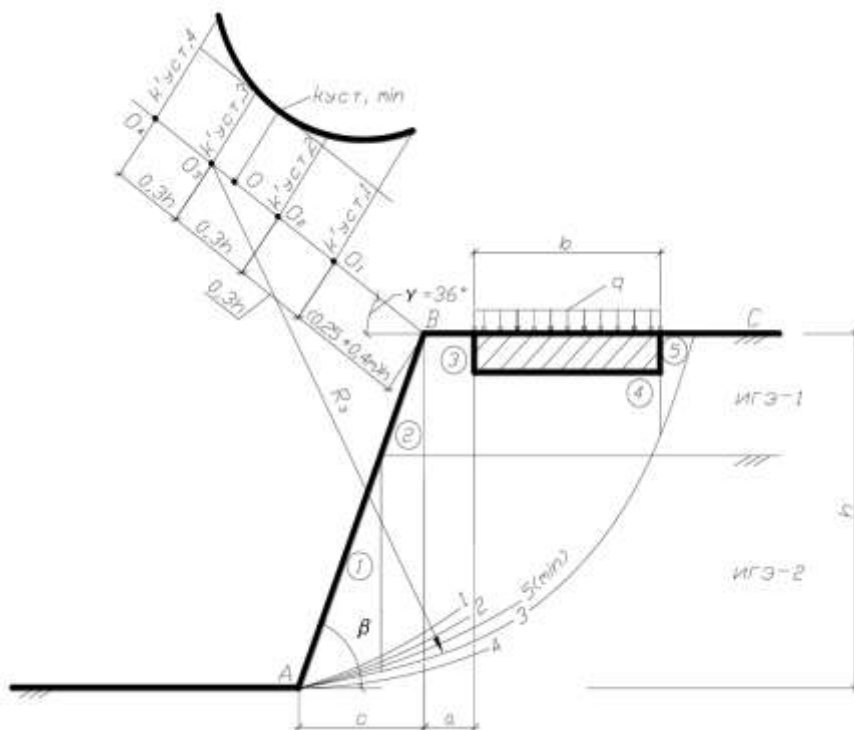
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
16	Песок средней крупности	1,70	2,69	04	–	–	0,72	30	–	18,8
17	Песок мелкий	1,78	2,65	10	–	–	0,85	28	–	12,3
18	Песок мелкий	1,82	2,66	06	–	–	0,76	29	–	10,4
19	Песок мелкий	1,85	2,68	08	–	–	0,68	35	–	13,8
20	Песок пылева- тый	1,88	2,64	12	–	–	0,81	26	–	11,1

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Пример оформления списка литературы

1. Далматов, Б. И. Механика грунтов, основания и фундаменты / Б. И. Далматов. – Москва : Стройиздат, 1988 (и последующие переиздания). – 411 с.
2. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений : актуализированная ред. СНиП 2.02.01-83* : изм. 1–3 : введ. 2017-07-01. – Текст : электронный // Техэксперт. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации.
3. Основания, фундаменты и подземные сооружения / [М. И. Горбунов-Посадов, В. А. Ильичев, В. И. Крутов и др.] ; под ред. Е. А. Сорочана, Ю. Г. Трофименкова. – Курган, 2007. – 480 с.
4. Расчет устойчивости грунтового откоса : метод. указания / Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин) ; сост.: С. В. Линовский. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2020. – 21 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4



**Схема к определению центра вращения
наиболее опасной поверхности скольжения:**

$$m = \operatorname{ctg} \beta; k'_{\text{ycti}} = k_{\text{ycti}} - 1;$$

1, 2, 3, 4, 5 – круглоцилиндрические
поверхности скольжения радиусами R_1, R_2, R_3, R_4, R_5

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

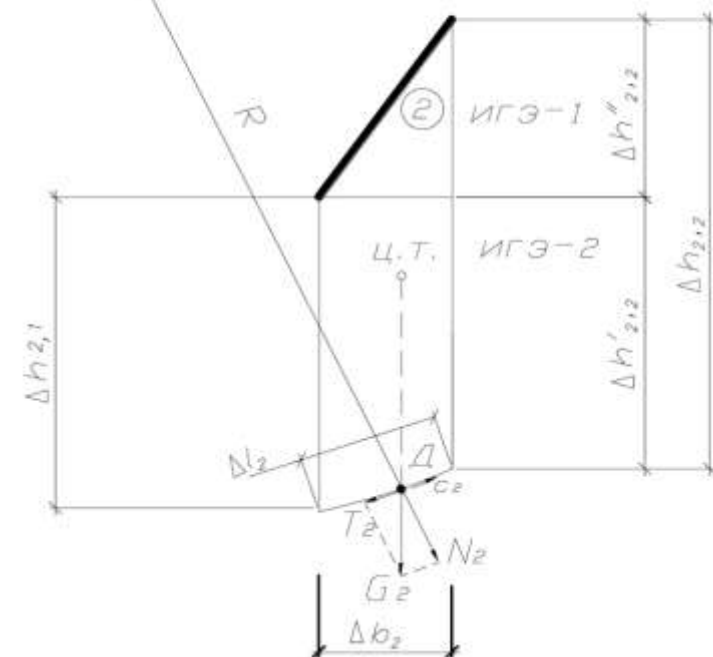
Схема к определению удерживающих
и сдвигающих сил по одному из отсеков
(отсек 2, см. [приложение 4](#))

$$k_{уст} = \frac{M_{уд}}{M_{сд}} = \left(\sum_{i=1}^n Q_i + \sum_{i=1}^n c_i \cdot \Delta l_i \right) / \sum_{i=1}^n T_i \geq 1,20,$$

Q_i – сила трения;

$c_i \cdot \Delta l_i$ – сила связности (сцепления);

T_i – сдвигающая сила.



**Таблица параметров к расчету
коэффициента запаса устойчивости откоса $k_{уст}$**

№ отсека (части отсека)	Геометрические размеры отсека					γ_i , кН/м ³	G_i , кН	ΣG_i , кН	α_i	$\sin \alpha_i$	$T_i = \Sigma G_i \cdot \sin \alpha_i$, кН	$\cos \alpha_i$	$N_i = \Sigma G_i \cdot \cos \alpha_i$, кН	φ	$Q_i = N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi$, кН	c_i , кПа	$c_i \cdot \Delta l_i$, кН
	Δb_i , м	Δh_{i1} , м	Δh_{i2} , м	A_i , м ²	Δl_i , м												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
											$\Sigma =$				$\Sigma =$		$\Sigma =$

Составитель

Станислав Викторович Линовский

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВОГО ОТКОСА

Методические указания
по выполнению курсового проекта
для студентов, обучающихся по направлению
подготовки 08.04.01 «Строительство»
всех форм обучения

Корректор А.И. Боева

Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
630008, Новосибирск, ул. Ленинградская, 113
