

СССР МПС

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

Аспирант МАГДЕЕВ У. Х.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ВАРИАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

(пространственная задача)

Диссертация написана на русском языке

Специальность 05.481 „Механика грунтов, основания,
фундаменты и подземные сооружения“

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ДНЕПРОПЕТРОВСК, 1972

НТБ
ДНУЖТ

СССР МПС
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

Аспирант МАГДЕЕВ Усман Хасанович

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ВАРИАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

(пространственная задача)

Диссертация написана на русском языке

Специальность 05.481 „Механика грунтов, основания,
фундаменты и подземные сооружения“

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ДНЕПРОПЕТРОВСК, 1972

НТБ
ДНУЖТ

4724a

Работа выполнена на кафедре „Основания, фундаменты и подземные сооружения“ Днепропетровского института инженеров жел. дор. транспорта.

Научный руководитель—доктор технических наук
профессор *М. Н. Гольдштейн.*

Научный консультант—кандидат физико-математических наук ст. научный сотрудник
А. Г. Дорфман.

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

Доктор технических наук профессор *А. С. Строганов.*

Кандидат технических наук доцент *Л. С. Липидус.*

Ведущее предприятие—Днепрогипротранс.

Автореферат разослан 4 октября 1972 г.

Защита диссертации состоится 24 ноября 1972 г.
на заседании Ученого совета Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта (г. Днепропетровск 10, Университетская, 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Отзыв просим направлять в двух экземплярах по адресу:
г. Днепропетровск-10, Университетская, 2 Днепропетровский институт инженеров железнодорожного транспорта.

Ученый секретарь совета, доцент *Л. Н. Лебединец*

НТБ
ДНУЖТ

Проектирование и строительство многих сооружений связано с вопросами оценки устойчивости склонов и откосов. Особенно большое значение эти вопросы приобретают в последнее время в связи с резким увеличением высоты сооружений, возводимых из грунта. Применяемые инженерные методы расчета, как правило, дают излишний запас устойчивости проектируемых откосов, так как в этих методах не учитываются силы сопротивления по бортам сдвигаемого грунтового массива (плоская задача). В некоторых случаях это ведет к удорожанию строительных работ, к неоправданному увеличению сроков строительства.

В материалах межведомственной комиссии НТС Госстроя СССР отмечено, что необходимо „развивать и обобщать методы расчета устойчивости откосов в пространственных условиях, как имеющих реальные и достаточно обширные области применения“. За последние годы как в СССР, так и за рубежом появился ряд работ, в которых предлагаются методы расчета устойчивости откосов в пространственных условиях. Обычно в этих методах условно задаются формой поверхности скольжения, как правило, отличающейся от действительной.

В настоящей работе для теоретического исследования устойчивости откосов в условиях пространственной задачи использован вариационный метод, позволяющий непосредственно установить форму и положение опаснейшей поверхности скольжения, а также соответствующий ей минимальный коэффициент устойчивости.

Диссертация состоит из четырех глав и двух приложений.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

Обзор и анализ существующих методов расчета устойчивости откосов

В первой главе рассмотрены методы расчета устойчивости откосов в условиях плоской задачи. Описаны формы разрушения естественных откосов, а также откосов насыпей и выемок. Приводятся случаи, когда задачу об устойчивости откосов необходимо рассматривать как пространственную.

Рассмотрены пространственные методы расчета, разработанные В. В. Аристовским, М. Н. Гольдштейном, Е. П. Емельяновой, Л. Ф. Златоверховниковым, Т. В. Матрошилиной, В. Н. Поспеловым, С. В. Соколовским, а также постановка задачи, предложенная Я. Копаши.

Общим недостатком всех разработанных методов является то, что в них условно принимаются формы поверхности скольжения (круглоцилиндрическая, ограниченная по торцам двумя вертикальными плоскостями; сферическая; эллипсоидальная; плоская, ограниченная по торцам цилиндрическими поверхностями), тогда как обрушение склонов и откосов весьма часто происходит по поверхности скольжения, форма которой значительно отличается от принимаемых обычно в расчетах по предлагаемым методам. Определение минимального коэффициента устойчивости методом проб и попыток значительно осложнит расчет и целиком зависит от опыта и интуиции проектировщика.

Все методы, кроме метода Т. В. Матрошилиной и Я. Копаши, разработаны для гипотетического грунта, в котором не учитываются силы взаимодействия между отсеками. В связи с этим нагрузка на поверхность скольжения распределяется менее благоприятно для устойчивости, уменьшая сопротивление сдвигу низовых отсеков, что, естественно, приводит к уменьшению коэффициента устойчивости.

К числу недостатков методов, основанных на гипотезе сферических поверхностей скольжения, следует отнести и то, что не всегда представляется возможным оползневую поверхность рассматривать как сферическую. В ряде случаев оползни имеют значительную глубину при относительно малой ширине и большую протяженность в направлении смещения.

Наиболее правильно задача об **устойчивости** откосов поставлена в исследованиях Я. Конаши. Не задаваясь гипотетическим свойством грунта, он ищет вариационным методом такую поверхность скольжения, по которой сопротивление внешней нагрузке будет минимальным. Для определения такой поверхности в работе приводится дифференциальное уравнение Эйлера-Остроградского. Однако граничных условий для определения произвольных постоянных и множителей Лагранжа и решения этого уравнения Конаши не приводит.

Целью настоящей работы является исследование устойчивости откосов в условиях пространственной задачи на основе современных вариационных и вычислительных методов.

Основными этапами настоящего исследования являются:

1. Отыскание формы и положения опаснейшей поверхности скольжения и соответствующего ей минимального значения коэффициента устойчивости откоса.

2. Определение условий (случаев), когда целесообразно применять метод расчета устойчивости откосов в условиях пространственной задачи.

3. Экспериментальная проверка предложенного теоретического метода расчета откосов с помощью центробежного моделирования.

ГЛАВА ВТОРАЯ

Решение пространственной задачи об устойчивости откосов с применением вариационного исчисления

Коэффициент устойчивости откоса в условиях пространственной задачи можно представить в виде функционала

$$k = \frac{\iint_D F\left(x, y, z, \frac{\partial z}{\partial x}, \frac{\partial z}{\partial y}\right) dx dy}{\iint_D \Phi\left(x, y, z, \frac{\partial z}{\partial x}, \frac{\partial z}{\partial y}\right) dx dy}, \quad (1)$$

зависящего от искомой поверхности скольжения $z = z(x, y)$ (рис. 1).

Функции F и Φ функционала (1) определяются принятой расчетной схемой. Исследование на экстремум функционала (1) сводится к определению поверхности скольжения $z = z(x, y)$ и коэффициента устойчивости k из двух уравнений:

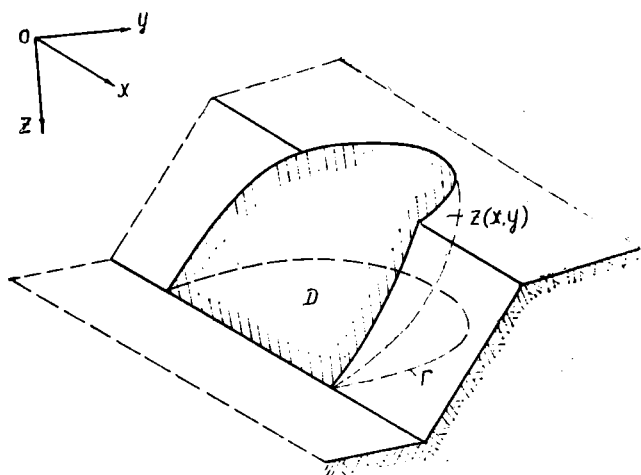


Рис. 1. Общая схема откоса

Д—область интегрирования, Γ —контур области Д.

$$(F - k \Phi)_z - \left[\frac{\partial}{\partial x} \left\{ F - k \Phi \right\}_p + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ F - k \Phi \right\}_q \right] = 0, \quad (2)$$

$$\iint_D (F - k \Phi) dx dy = 0. \quad (3)$$

Дифференциальное уравнение (2) аналогично уравнению Эйлера-Остроградского, интегральное уравнение (3) аналогично условию А. Г. Дорфмана.

Пространственная задача об устойчивости откосов рассматривается подобно плоской задаче в двух аспектах: а) без учета взаимодействия отсеков и б) с учетом взаимодействия отсеков.

Принятая расчетная схема и действующие силы показаны на рис. 2. Принимается, что в момент предельного равновесия системы отсеков по поверхности скольжения $z = z(x, y)$ действующие нормальные напряжения σ и касательные напряжения τ связаны уравнением Кулона

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c. \quad (4)$$

Равнодействующая dR нормального напряжения и силы трения в состоянии предельного равновесия проходит под углом φ к нормали к основания отсека. Сила взаимодействия E направлена под углом θ к горизонтальной плоскости.

Применение к системе вертикальных элементарных отсеков (параллелепипедов с горизонтальным сечением $dx dy$ и высотой h) принципа возможных перемещений позволяет представить функционал (1) в виде

$$k = \frac{\int \int s dS}{\int \int s dT}, \quad (5)$$

где s — возможное перемещение отсеков;
 dS и dT — элементарные удерживающая и сдвигающая силы (см. рис. 2).

В системе координат $Oxyz$ отсеки перемещаются параллельно плоскости yz , т. е. движение их происходит по линиям пересечения поверхности скольжения $z = z(x, y)$ и плоскостей $x = m$, где $(m = \text{const})$.

В момент предельного равновесия

$$dS = dR \sin \varphi + c \frac{dx dy}{\cos \alpha}, \quad (6)$$

$$dT = dG \cos \beta, \quad (7)$$

где α — угол между вектором веса $dG = \gamma_r h dx dy$ и нормалью n в точке M основания отсека;

β — угол между вектором веса dG и направлением сдвига.

Равнодействующая dR определяется из двух уравнений равновесия:

а) уравнения проекций элементарных сил на направление dR

$$dR - dG \cos (z - \varphi) - \sin (z - \varphi) dE \cos \Theta + c \sin \varphi d\omega + \cos (z - \varphi) dE \sin \Theta = 0; \quad (8)$$

б) уравнения проекций этих сил на нормаль к ней

$$- dG \sin (z - \varphi) + \cos (z - \varphi) dE \cos \Theta + c \cos \varphi d\omega + \sin (z - \varphi) dE \sin \Theta = 0, \quad (9)$$

где $dE \cos \Theta$ и $dE \sin \Theta$ — компоненты силы взаимодействия E между элементарными отсеками.

Силы dE , dR , dG действуют в вертикальной плоскости, проходящей через линию ската в точке M основания отсека.

Исключая dE из уравнений (8) и (9), получим:

$$dR = \frac{[\gamma_r h \cos z \cos \Theta - c \sin (z - \Theta)] d\omega}{\cos (z - \Theta - \varphi)}. \quad (10)$$

НТБ
ДНУЖТ

Можно показать, что

$$\cos \beta = \frac{q}{\sqrt{1+q^2}}, \quad (11)$$

$$\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1+q^2+p^2}}, \quad (12)$$

где $p = \frac{\partial z}{\partial x}$, $q = \frac{\partial z}{\partial y}$. Кроме того, $s = \frac{s_0}{\sin \beta}$,

где s_0 — горизонтальная составляющая возможного перемещения (одна и та же для всех отсеков).

Учитывая формулы (10, 11, 12) и выражение возможного перемещения, окончательно получим:

$$k = \frac{\iint_D \frac{\gamma_r h}{c} \frac{\cos \theta \sin \varphi + \cos \theta \cos \varphi + \sin \theta \cos \varphi \sqrt{p^2 + q^2}}{\cos (\theta + \varphi) \sqrt{p^2 + q^2} \sin (\theta + \varphi) \sqrt{1 + q^2} \sqrt{1 + q^2 + p^2}} dx dy}{\iint_D \frac{\gamma_r h}{c} q dx dy} \quad (13)$$

Таким образом, исследование устойчивости откоса сводится к задаче о минимуме функционала (13). Система уравнений (2,3), соответствующая функционалу (13), получается очень сложной и включает нелинейное уравнение в частных производных второго порядка. В настоящее время не существует аналитических решений таких уравнений, поэтому исследование на экстремум функционала (13) выполнено численным методом (методом локальных вариаций). Получено необходимое условие сходимости этого метода применительно к дробному функционалу вида (13).

Для решения конкретных задач на ЭЦВМ автором разработаны блок-схема и алгоритм вычислений.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

Экспериментальное исследование устойчивости откосов в условиях пространственной задачи

Настоящая глава посвящена экспериментальной проверке разработанного автором метода расчета устойчивости откосов в условиях пространственной задачи. Осуществить

проверку в натурных условиях очень сложно, а иногда и просто невозможно как в силу естественной неоднородности грунтов, так и вследствие затруднений с установлением положения и формы поверхности скольжения. В лабораторных экспериментах можно достигнуть однородности грунта, а положение поверхности скольжения устанавливается достаточно точно. Поэтому представилось целесообразным на данной стадии исследования осуществить проверку разработанного метода с помощью моделирования на большой центробежной машине ДИИТа. В случае моделирования объемной задачи появляется новый параметр—расстояние(a) между неподвижными шероховатыми продольными стенками кассеты. Чтобы соблюдалось подобие натуры и модели'

требуется выполнение дополнительного критерия $\frac{H}{a} =$
 $= \text{idem}$ (H — высота откоса).

Для получения объемного разрушения откоса между боковой поверхностью грунта и стенками кассеты устанавливались пластины из пенопласта с рифленой поверхностью. Этим создавалось сопротивление сдвигу вдоль стен кассеты, подобное тому, которое имеет место в бортах натурных оползней. В целях наблюдения картины деформирования и определения положения поверхности скольжения устраивались вертикальные отверстия, которые заполнялись окрашенным грунтом. Для того чтобы исключить изменение плотности и влажности в процессе опыта, грунт, уложенный в кассету, подвергался центрифугированию при таком числе оборотов, которому соответствовало разрушение откоса из данного грунта, а затем из него вырезалась модель откоса. Увеличение числа оборотов давалось ступенями. При каждой ступени продолжительность испытаний составляла 15 минут.

Всего было испытано шесть моделей. Опыты на моделях № 1,2,3 носили методический характер. Процесс их проведения заключался в следующем: а) выбирались оптимальные габариты модели откоса; б) определялось число оборотов, соответствующее моменту разрушения; в) проверялась пригодность выбранного материала (пенопласта с рифленой поверхностью) для создания объемного разрушения откоса.

В опытах с моделями № 4,5,6 варьировались свойства грунта и размеры моделей откосов. Вид модели № 4 после

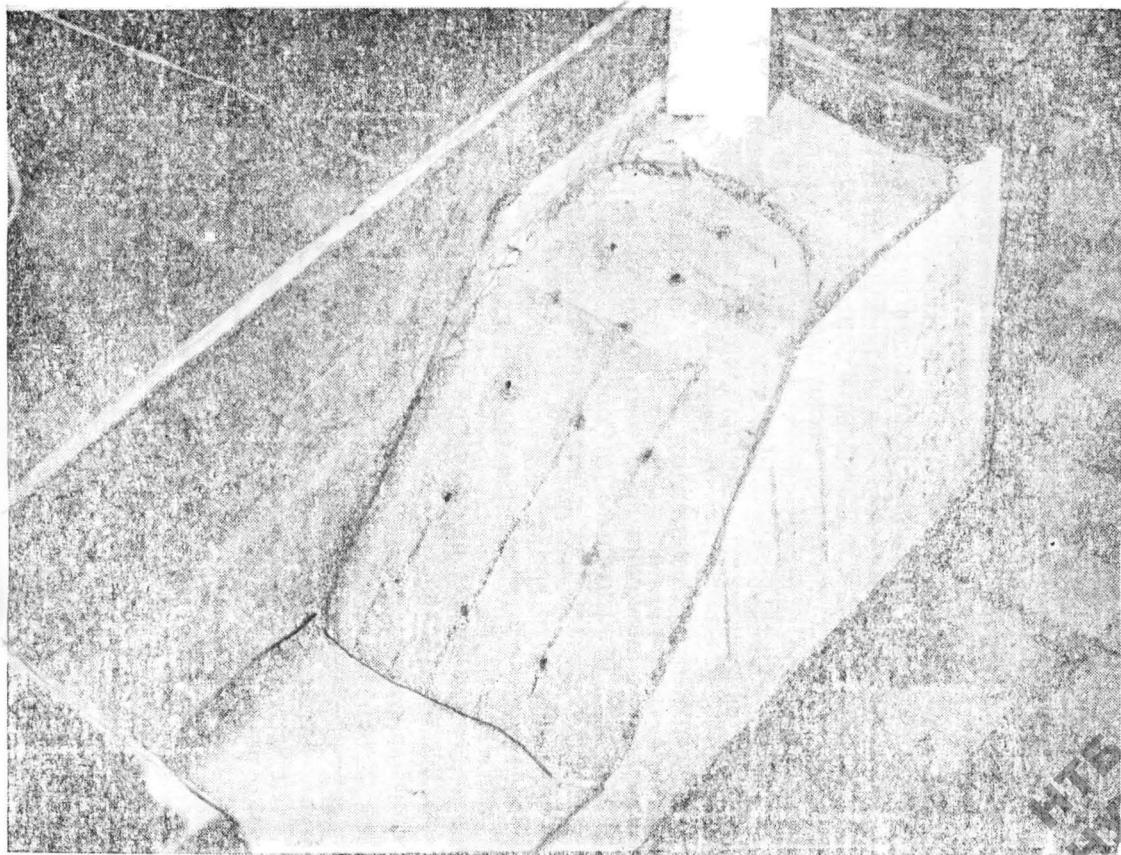


Рис. 3. Модель № 4. Общий вид разрушенного откоса.

ДЛЯ
ДРУЖТ

разрушения показан на рис. 3. Оползневое тело оконтурено в плане криволинейной трещиной, что свидетельствует об объемном характере разрушения.

Для определения формы и положения оползневой поверхности модель была препарирована — сделаны три продольных вертикальных разреза по створам окрашенных столбиков. Оказалось, что эта поверхность выходит к основанию откоса и по форме напоминает параболоид.

Сетка, образовавшаяся от вдавливания рифленой поверхности пенопласта, сохранилась, а бортовые трещины углубились в тело откоса, что также свидетельствует об объемном характере разрушения.

Выполненные исследования показали, что линия отрыва в плане напоминает вид параболы, кривизна которой тем больше, чем больше отношение $\frac{H}{a}$. В поперечных разрезах поверхность смещения представляет собой семейство симметричных, относительно оси оползня, кривых, крутизна которых уменьшается от центральной части оползня в сторону его головы и языка.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований устойчивости откосов

В данной главе сопоставляются коэффициенты устойчивости, определенные различными теоретическими методами, с результатами эксперимента, и сравниваются решения, полученные для плоской и пространственной задач.

Характеристики испытанных „зажатых“ откосов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Номер модели откоса	Характеристики грунтов			Геометрические параметры			
	$\gamma_{г}$ т/м ²	φ°	c т/м ²	H м	a м	m	$\frac{H}{a}$
4	1,95	6	1,90	11,40	12,20	1:1	0,93
5	1,96	11	3,00	18,40	19,90	1:1	0,93
6	1,96	11	3 00	16,80	42,80	1:1	0,39

ПРИМЕЧАНИЕ. Геометрические размеры откосов для моделей даны с учетом линейного масштаба моделирования

Экспериментальные исследования показали, что откосы с такими геометрическими и физическими параметрами близки к предельному равновесию и характеризуются коэффициентом устойчивости несколько меньшим единицы, т. е. находятся в запредельном состоянии.

Результаты расчета откосов моделей № 4 — 6 приведены в табл. 2.

Таблица 2

Номер модели откоса	Коэффициенты устойчивости					
	по методу В. В. Аристовского	по методу В. Н. Поспелова	по методу С. В. Соколовского	по методу автора		
				с учетом взаимодействия между отсеками	без учета взаимодействия между отсеками	плоская задача с учетом взаимодействия между отсеками
4	1,18	—	1,10	0,98	0,91	0,75
5	1,15	—	1,08	0,98	0,90	0,81
6	1,10	1,10	1,06	0,97	0,88	0,87

ПРИМЕЧАНИЕ. Определить коэффициенты устойчивости откосов 4,5 по методу В. Н. Поспелова невозможно, в связи с тем, что поверхность смещения нельзя представить сферой

Из табл. 2 видно, что коэффициенты устойчивости, рассчитанные по методам В. В. Аристовского, В. Н. Поспелова, С. В. Соколовского, больше единицы на 6-18%, в то время как метод автора—с учетом взаимодействия сил между отсеками—дает значения, отличные от единицы лишь 1-3%, причем в сторону уменьшения. Этот факт говорит в пользу рекомендуемого метода.

Расчет устойчивости откосов вариационным методом без учета сил взаимодействия между отсеками дает, как и следовало полагать, заниженные (на 8-10%) значения коэффициента устойчивости.

Значения коэффициентов устойчивости, полученные по методам Аристовского, Поспелова и Соколовского, несмотря на то, что в них не учитывается взаимодействие между отсеками, оказались выше единицы. Это, по-видимому, объясняется главным образом тем, что принятая форма поверхности скольжения не является экстремальной.

Следует отметить, что, как видно из трех последних столбцов табл. 2, при исследованных $\frac{H}{a}$ учет сил сопротивления по бортам сдвигаемого массива больше влияет на величину коэффициента устойчивости откоса, чем учет сил взаимодействия между отсеками.

Экспериментальные исследования, выполненные методом центробежного моделирования, показали, что действительная форма поверхности смещения в условиях пространственной задачи значительно отличается от предлагаемой Аристовским и Поспеловым как в продольном, так и в поперечном сечениях. Форма поверхности смещения, предлагаемая Соколовским, значительно отличается от экспериментальной в продольном направлении, но более близка к ней в поперечном сечении.

Наиболее близкое совпадение с результатами экспериментов дают поверхности смещения, полученные по предлагаемому автором вариационному методу с учетом сил взаимодействия между отсеками. На рис. 4а показаны линии скольжения в вертикальных сечениях, проходящих через ось симметрии ou , а на рис. 4б — на расстоянии 2,89 м от этой оси. Экспериментальные кривые изображены сплошными линиями, теоретические — прерывистыми.

Как видно из рис. 4, теоретические линии скольжения в вертикальных сечениях хорошо совпадают с экспериментальными в нижней части откоса и несколько расходятся в верхней. Это, однако, приводит лишь к незначительному различию коэффициентов устойчивости, подсчитанных по теоретической и экспериментальной поверхности скольжения.

Таким образом, коэффициент устойчивости и поверхность скольжения, найденные теоретически по предлагаемому методу, находясь в хорошем соответствии с результатами эксперимента.

Для сопоставления коэффициентов устойчивости откосов, полученных в условиях плоской и пространственной задач, а также определения условий, когда целесообразно задачу об устойчивости откосов рассматривать как пространственную, нами выполнен ряд расчетов для большого диапазона откосов. Результаты расчетов однородных откосов с параметрами

$$\frac{\gamma_r H}{c} = 6,8, 10; \quad \frac{H}{a} = 1 \div 0,2; \quad 1 : m = 1 : 1,5; \quad \varphi = 5^\circ \div 25^\circ,$$

полученные вариационным методом с учетом сил взаимодействия между отсеками, приведены в табл. 3.

Как видно из этих данных, величина коэффициента устойчивости при решении задачи как пространственной во всех случаях больше, чем величина коэффициентов тех

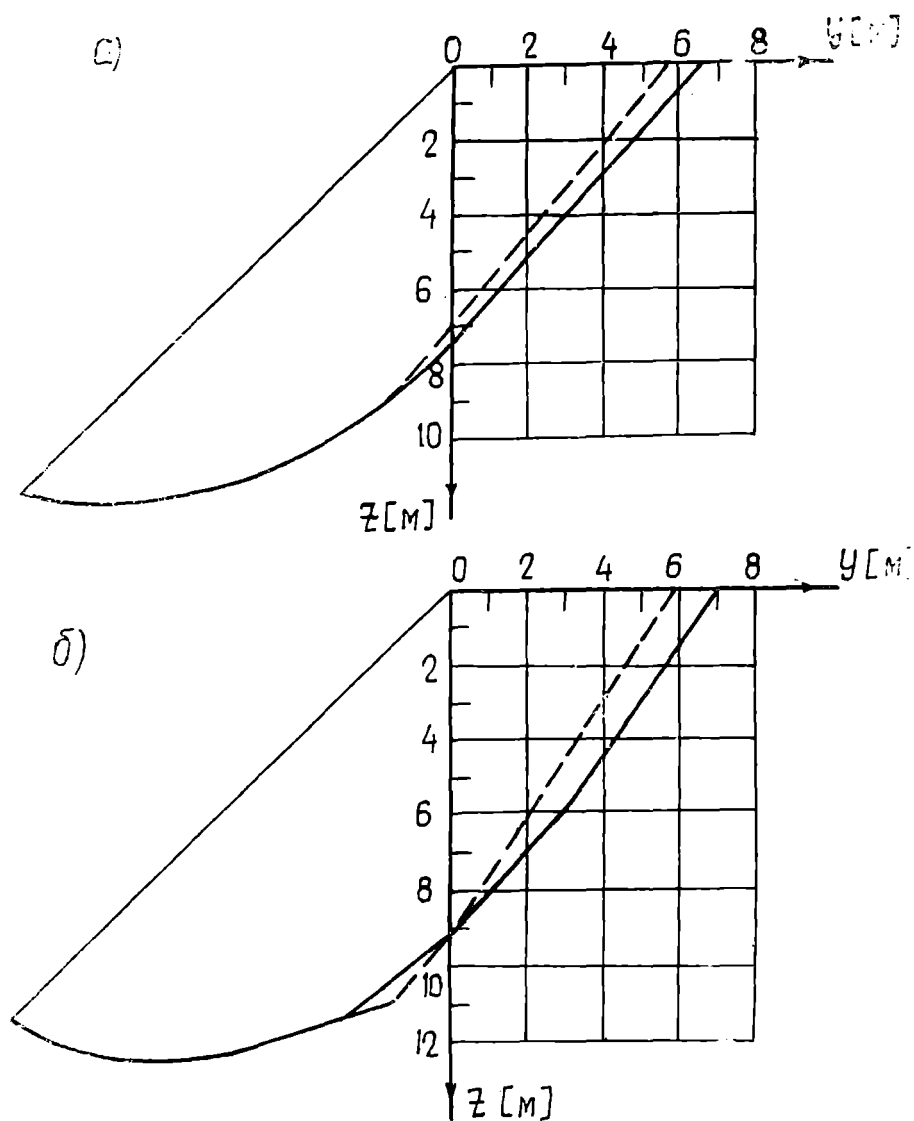


Рис. 4. Сравнение аппликат поверхностей скольжения в плоскости симметрии и в крайнем сечении,

Таблица 3

Значения коэффициентов устойчивости откосов, рассчитанных в условиях

плоской $\left(\frac{H}{a} = 0\right)$ и пространственной $\left(-\frac{H}{a} \neq 0\right)$ задач

$\frac{\gamma H}{c}$ φ $\frac{H}{a}$	6					8					10				
	5°	10°	15°	20°	25°	5°	10°	15°	20°	25°	5°	10°	15°	20°	25°
1,0	1,90	1,98	2,06	2,14	2,20	1,43	1,56	1,68	1,79	1,88	1,24	1,38	1,52	1,65	1,76
0,53	1,60	1,72	1,83	1,95	2,06	1,16	1,34	1,50	1,66	1,79	1,02	1,20	1,36	1,52	1,66
0,33	1,52	1,64	1,77	1,89	1,99	1,08	1,27	1,46	1,62	1,74	0,95	1,15	1,33	1,49	1,64
0,25	1,48	1,62	1,74	1,86	1,97	1,04	1,25	1,44	1,60	1,73	0,93	1,13	1,32	1,48	1,63
0,2	1,46	1,60	1,72	1,84	1,94	1,02	1,23	1,41	1,59	1,71	0,91	1,11	1,30	1,46	1,61
0,0	1,18	1,37	1,56	1,72	1,84	0,93	1,14	1,33	1,51	1,63	0,83	1,02	1,20	1,38	1,52

НТБ
ДНУЖ

же откосов, подсчитанная по расчетной схеме плоской задачи. Однако при соотношении $\frac{H}{a} \leq 0,33$ (H — высота, a — ширина откоса) разница между значениями этих коэффициентов не превышает 10%. В этих случаях можно пользоваться более простым расчетом, основанным на решении плоской задачи.

Следует отметить (см. табл. 3), что различия между значениями коэффициентов устойчивости, полученными для пространственной и плоской задач, что особенно заметно

при $\frac{H}{a} > 0,33$, с увеличением угла внутреннего трения

уменьшаются. Так, например, при $\frac{\gamma_c H}{c} = 8$, $\frac{H}{a} = 1$ и $\varphi = 5^\circ$ эта разница составляет 54%, в то время как при увеличении φ до 25° она составляет лишь 15%.

З а к л ю ч е н и е

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. При проектировании откосов между контрфорсами, откосов высоких земляных плотин в узких каньонах, подпричальных откосов, ограниченных по торцам опорами причала, откосов с расположенными на них сооружениями типа напорных бассейнов и т.п. расчет устойчивости следует вести в условиях пространственной задачи.

2. В диссертации разработан вариационный метод решения пространственной задачи об устойчивости откосов с учетом взаимодействия отсеков, который позволяет непосредственно определить опаснейшую поверхность скольжения и соответствующий ей минимальный коэффициент устойчивости. Показано, что пространственная задача о нахождении минимума коэффициента устойчивости сводится к решению задачи о минимуме дробного функционала (13). Опаснейшая поверхность скольжения, минимизирующая этот функционал, является решением интегро-дифференциального уравнения, эквивалентного системе двух уравнений: дифференциального уравнения (2) и интегрального уравнения (3).

3. Уравнение (3) является нелинейным дифференциальным уравнением в частных производных второго порядка. В общем случае решение этого уравнения не может быть получено в замкнутой форме. Показано, что наиболее эффективным численным методом минимизации дробного функционала (13) является метод локальных вариаций. Для этого функционала получено необходимое условие сходимости метода. Решение конкретных задач на ЭЦВМ осуществляется по разработанной блок-схеме и алгоритму вычислений.

4. Для рассмотренных откосов учет сил сопротивления по бортам сдвигающегося массива грунта оказывает большее влияние на величину коэффициента устойчивости, чем учет сил взаимодействия между отсеками.

5. Экспериментальная проверка рекомендуемого метода расчета откосов в условиях пространственной задачи выполнена на центробежной машине ДИИТа путем создания сопротивления сдвигу по продольным стенкам кассеты и

введением дополнительного критерия подобия $\frac{H}{a}$. Проверка показала, что расчетные значения коэффициентов устойчивости откосов, находящихся в состоянии, близком к предельному равновесию (запредельное состояние), составляют 0,97—0,98.

6. Коэффициенты устойчивости откосов, рассчитанные в условиях пространственной задачи, всегда больше, чем для плоской задачи. Однако, если ширина сползающего массива превышает его высоту более чем в три раза, разница между значениями соответствующих коэффициентов не превышает 10%. В этих случаях можно пользоваться более простым расчетом, основанным на решении плоской задачи.

7. Результаты расчетов устойчивости откосов в условиях пространственной задачи (форма и положение опаснейшей поверхности скольжения, коэффициент устойчивости, критерий необходимости выполнения пространственного расчета и др.) хорошо согласуются с результатами экспериментов.

**Основное содержание диссертации изложено
в следующих работах:**

1. Магдеев У. Х. Расчет устойчивости откосов с учетом пространственности. Сб. трудов ДИИТа „Вопросы геотехники“, № 20, Днепропетровск, 1972.
2. Магдеев У. Х. Исследование устойчивости откосов вариационным методом в условиях пространственной задачи. Сб. трудов ДИИТа „Вопросы геотехники“, № 20, Днепропетровск, 1972.
3. Магдеев У. Х. Алгоритм расчета устойчивости откоса из однородного грунта. Депонирована в ЦНИИТЭИ МПС. Реферат статьи опубликован в сводном томе РЖ „Железнодорожный транспорт“, 19/2 № 8.
4. Магдеев У. Х. Методика и результаты экспериментального исследования устойчивости откосов в условиях пространственной задачи. Депонирована в ЦНИИТЭИ МПС. Реферат статьи опубликован в сводном томе РЖ „Железнодорожный транспорт“, 1972, № 8.

Р-14278. Сдано в набор 10/IX—72 г. Подписано в печать 19/IX—72 г.
Объем 1,25 п. л. Учетн.-изд. 1,5 п. л. Формат 60×84¹/₁₆.
Тип. ТашИИТа. Ташкент, Оборонная 1 Заказ 384 Тир. 150.

Сканировала Камянская Н.А.

НТБ
ДНУЖТ