МИНИСТЕРСТВО ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ СССР
УПРАВЛЕНИЕ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА
ВИОГЕМ

Методические рекомендации для расчета коэффициента запаса устойчивости откосов с круглоцилиндрической поверхностью скольжения по программе К3У86К

Белгород 1987

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ СССР
Управление горного производства

Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, специальным горным работам, рудничной геологии и маркшейдерскому делу
В И О Г Е М

УТВЕРЖДАЮ:
Директор института
И.Ф.Оксанич
18 декабря 1987 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ С КРУГЛОЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ СКОЛЬЖЕНИЯ ПО ПРОГРАММЕ КЗУ86К

Белгород 1987

В настоящих рекомендациях приводится методика, позволяющая решать задачи расчета устойчивости откосов при круглоцилиндрических поверхностях скольжения по программе КЗУ86К.

Работа выполнена в лаборатории устойчивости хвостохранилищ института ВИОГЕМ: анализ результатов, выбор методов расчета – С.Г.Аксенов; теоретическое обоснование методики, постановка эксперимента, конструкция установки "Сдвиг", проведение экспериментов, анализ результатов, выбор методов расчета, автор метода Терцаги-Чугаева (ВИОГЕМ), постановка алгоритма программы КЗУ86К, отладка программы – В.И.Истомин; детальная разработка алгоритма, программирование, отладка программы КЗУ86К – Т.Н.Попова; отладка программы КЗУ86К, проверочные расчеты – И.М.Никешина.

© Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, специальным горным работам, рудничной геологии и маркшейдерскому делу (ВИОГЕМ), 1987.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Программа КЗУ86К предназначена для определения КЗУ склонов и откосов при круглоцилиндрических поверхностях скольжения способами Терцаги, Чугаева, Терцаги-Чугаева (ВИОГЕМ). Каждый из перечисленных способов при необходимости определяет КЗУ с учетом фильтрационных сил, порового давления, сейсмики. При этом фильтрационные силы учитываются по методике "фиктивных весов грунта" [3], поровое давление для способов Терцаги, Терцаги-Чугаева (ВИОГЕМ) - по методике, предложенной В.А.Флорином [6], а для способа Чугаева - по его же методике [7], сейсмические силы - согласно СНиП II-7-81 [4].

Принятые обозначения

КЗУ - коэффициент запаса устойчивости;

ОС - отсек скольжения;

P_i - вес i -го столбца;

α_i - угол наклона к горизонту подошвы i -го столбца;

φ_i - угол внутреннего трения на подошве i -го столбца;

P_{in}, α_{in}, φ_{in} - предельные значения вышеуказанных величин;

$K_i, K_к, K_м, K_{т-ч}$ - расчетные значения КЗУ, вычисленные способами Терцаги, Крея, Можевитинова, Чугаева, Терцаги-Чугаева (ВИОГЕМ);

τ_{ai}, τ_{pi} - активная и реактивная составляющие при разложении веса столбца;

ΣN - сумма нормальных сил по поверхности скольжения;

ΣN_p - то же в реальных условиях;

$\Sigma N_т$ - то же, но рассчитанная по формуле Терцаги;

N_i - нормальная сила по подошве i -го столбца;

m - заложение откоса;

l_i - длина подошвы i -го столбца;

$\mathcal{K}$ - угол между равнодействующими τ_{ai}, τ_{pi} при КЗУ=1;

α_{min} - минимальный угол наклона подошвы столбца на поверхности скольжения;

$КЗУ_p$ - реальный КЗУ откоса скольжения;

$\varphi_{max}, \varphi_{min}$ - максимальные и минимальные значения угла внутреннего трения на поверхности скольжения;

b_i - ширина i -го столбца;

R_o, F_o - реактивные и активные силы, действующие в отсеке скольжения;

r - радиус поверхности скольжения;

δ_i - угол отклонения силы P_i от вертикали;

β – угол действия сил между столбцами;

K_0 – коэффициент точности;

$|\alpha|_{min}$ – минимальное значение угла наклона подошвы столбца (по модулю) на поверхности скольжения;

$\varphi_{ср}$ – осредненное значение угла внутреннего трения по поверхности скольжения;

M_p, M_a – реактивный и активный моменты;

ρ_r, $\rho_{вз}$, ρ_o, $\rho_{ск}$, $\rho_{нас}$ – плотности грунта соответственно с учетом взвешивания, объемная, скелета, с учетом насыщения;

n – пористость в долях единицы;

P_{pi}, P_{ai} – веса столбцов при учете фильтрационных сил по способу "фиктивных весов";

P_{ui} – поровое давление на подошве i -го столбца;

c_i – удельное сцепление на подошве i -го столбца;

M_c – момент от сейсмических сил;

ИГП – инженерно-геологический поперечник;

ИГЭ – инженерно-геологический элемент;

ИПД – избыточное поровое давление;

m' – количество столбцов;

n' – количество строк;

ОИКЗУ – область исследования КЗУ.

I. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СПОСОБОВ РАСЧЕТА КЗУ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРОГРАММЕ КЗУ86К

В современной технической литературе можно встретить описание десятков способов определения КЗУ, из которых наиболее широкое распространение в практических расчетах получили способы Терцаги, Чугаева (весового давления), Крея (горизонтальных сил). Не имея четких границ применимости, каждый из указанных способов претендует на универсальность. Такой подход в определенных случаях приводит к недопустимым погрешностям в практических расчетах.

Анализ способов Терцаги, Чугаева, Крея, Можевитинова, Терцаги-Чугаева (ВИОГЕМ), проведенный при разработке данной методики, позволил установить границы их применения, обеспечив тем самым хорошую точность приближения между расчетными и натурными значениями КЗУ.

Общие выводы по способам КЗУ Терцаги, Чугаева, Крея, Можевитинова

I. Анализ показывает – способы Терцаги, Крея, Можевитинова имеют одинаковую область применения, где гарантируется достаточная для практических расчетов точность вычислений КЗУ ($0{,}85 \cdot КЗУ_р \leq КЗУ \leq$

$\leq КЗУ_р$), что позволяет пользоваться в этой области одним из них (в КЗУ86К способ Терцаги). Область может быть классифицирована как совокупность ОС, отделенных от откосов поверхностями скольжения, проходящими в их теле без ветвей подъема и захвата основания (ветвь подъема – часть поверхности скольжения, на которой активные силы по направлению действия совпадают с реактивными).

2. Способы Терцаги, Крея, Можевитинова в областях, классифицируемых как совокупность ОС, отделенных поверхностями скольжения, захватывающими основание или имеющими ветвь подъема, не гарантируют достаточную точность вычислений КЗУ, поэтому в этих областях их применение нежелательно (способ Терцаги занижает, способы Крея, Можевитинова завышают КЗУ против его реальных значений).

3. Способ Чугаева в случае отделения ОС от откоса относительно однородной поверхностью скольжения ($\varphi_{max} / \varphi_{min} \leq 1{,}5$), имеющей ветвь подъема, значительно точнее способов Терцаги, Крея, Можевитинова и должен использоваться в практических расчетах при анализе таких схем.

4. Способ Чугаева в случаях отделения ОС от откоса неоднородной поверхностью скольжения (слабые грунты в нижней части поверхности; $\varphi_{max} / \varphi_{min} > 1{,}5$), имеющей ветвь подъема или же при отсутствии ветви подъема ($d_{min} > 0$), дает завышенные результаты $К_ц$ против $КЗУ_р$, в этих случаях его применение нежелательно.

5. Ни один из рассмотренных способов не имеет гарантированной точности определения КЗУ в границах $0{,}85 \cdot КЗУ_р \leq КЗУ \leq КЗУ_р$ при отделении ОС от откоса неоднородной ($\varphi_{max} / \varphi_{min} > 1{,}5$) поверхностью скольжения, имеющей ветвь подъема.

Способ Терцаги- Чугаева (ВНИИГЕМ)

Предлагается способ, разработанный в институте ВНИИГЕМ, обеспечивающий точность определения КЗУ в границах $0{,}85 \cdot КЗУ_р \leq КЗУ \leq КЗУ_р$ в случае неоднородной ($\varphi_{max} / \varphi_{min} > 1{,}5$) поверхности скольжения, имеющей ветвь подъема. Данный способ объединяет способы Терцаги и Чугаева в один, основанный на их положительных свойствах:

способ Чугаева в случае предельного состояния ОС абсолютно точно (для поверхностей скольжения, имеющих ветвь подъема) определяет $\Sigma N_р$;

способ Терцаги для аналогичных поверхностей скольжения занижает $\Sigma N_т$ против $\Sigma N_р$, но распределяет N_i по поверхности скольжения таким образом, что при этом эпюры N , определенные способом Терцаги, всегда вписаны в реальные.

Основываясь на этих свойствах, можно способом Чугаева определить $\Sigma N_р$, а используя способ Терцаги, распределить больше 80% этой величины по поверхности скольжения.

После этого задача точного определения КЗУ сводится к распределению оставшихся меньше 20% от ΣN_p по поверхности скольжения. В программе КЗУ86К использовано осреднение по поверхности скольжения, примерно повторяющее закон распределения Терцаги. Математически эти рассуждения можно представить следующим образом: полная сумма нормальных сил, действующих на поверхности скольжения в предельном состоянии,

$$\Sigma N_p \approx \Sigma N = K_0 \cos|\alpha|_{min} \sum_{i=1}^{n} P_i . \qquad (1)$$

В программе принято $K_0 = 1$.

Зависимость (1) определена на основании экспериментов. Для поверхностей скольжения, имеющих ветвь подъема, $\cos|\alpha|_{min} = 1$, при этом закон (1) вырождается в закон Чугаева $\Sigma N_p \approx \Sigma N = \sum_{i=1}^{n} P_i$ I-я часть полной суммы нормальных сил, которую можно распределить на поверхности скольжения по реальному закону при использовании способа Терцаги,

$$\Sigma N_T = \sum_{i=1}^{n} P_i \cos\alpha_i . \qquad (2)$$

2-я часть полной суммы нормальных сил, распределяемых по закону осреднения,

$$\Delta N = \Sigma N - \Sigma N_T . \qquad (3)$$

Общая формула расчета КЗУ способом Терцаги-Чугаева

$$K_{T\text{-}\varphi} = K_T + \frac{\Delta N \operatorname{tg}\varphi_{cp}}{\sum_{i=1}^{n} P_i \sin\alpha_i} , \qquad (4)$$

где

$$\Delta N = \cos|\alpha|_{min} \sum_{i=1}^{n} P_i - \sum_{i=1}^{n} P_i \cos\alpha_i ; \qquad (5)$$

$$\operatorname{tg}\varphi_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i \cos\alpha_i \operatorname{tg}\varphi_i}{\sum_{i=1}^{n} P_i \cos\alpha_i} ; \qquad (6)$$

$$K_T = \frac{\sum_{i=1}^{n} (P_i \cos\alpha_i \operatorname{tg}\varphi_i + C_i l_i)}{\sum_{i=1}^{n} P_i \sin\alpha_i} . \qquad (7)$$

Результаты расчетов КЗУ по формуле (4) показывают хорошую сходимость с экспериментом.

2. УЧЕТ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ СИЛ

2.1. Учет фильтрационных сил

В выбранных способах расчета КЗУ - Терцаги, Чугаева, Терцаги-Чугаева (ВИОГЕМ) - учет фильтрационных сил производится по способу "фиктивных весов грунта - ФВГ" [3]. Данный способ заключается в

замене реальных фильтрационных сил комбинацией плотностей грунта.

Известно, что в методе круглоцилиндрических поверхностей скольжения всякое уравнение, определяющее КЗУ, может быть сведено к виду

$$КЗУ = M_р / M_а . \qquad (8)$$

При наличии фильтрационного потока в ОС согласно способу ФНГ учет фильтрационных сил происходит по следующей методике:

величина $M_р$ определяется приближенно. Учитываются только архимедовы силы взвешивания, для чего при определении ρ_{pi} плотности части грунта, которая лежит ниже депрессионной поверхности, принимают с учетом взвешивающих сил $\rho_г = \rho_{вз}$;

величина $M_а$ определяется точно без каких-либо допущений. Величина P_{ai} при этом определяется по следующей методике: на уровне горизонта воды в бьефе проводят горизонтальную линию V – W (рис. I). Эта линия V-W и депрессионная кривая EЖW расчленяют ОС на три части.

Для части отсека I (EAВЖE), расположенной выше депрессионной кривой, так же, как и для $M_р$, грунты считаются естественной влажности с плотностью $\rho_г = \rho_о$.

Для части отсека II (VWCDV), расположенной ниже линии V-W, грунт считается взвешенным с объемной плотностью $\rho_г = \rho_{вз}$, причем

$$\rho_{вз} = \rho_{ск} - (1-n)\rho_в . \qquad (9)$$

Для части отсека III (VEЖWV), расположенной между депрессионной кривой и горизонтом воды в бьефе, грунт считается насыщенным с плотностью $\rho_г = \rho_{нас}$, причем

$$\rho_{нас} = \rho_{ск} + n\rho_в . \qquad (10)$$

Программой КЗУ86К учет фильтрационных сил по способу ФНГ реализуется в автоматическом режиме при задании координат депрессионной кривой в качестве исходной информации.

2.2. Учет сейсмических сил

Учет сейсмических сил при определении КЗУ способами Терцаги, Чугаева, Терцаги-Чугаева осуществляется внутренними расчетами согласно встроенной в программу КЗУ86К подпрограмме, реализующей метод сдвигового клина МСК по методике, изложенной в работах [I, 2, 4].

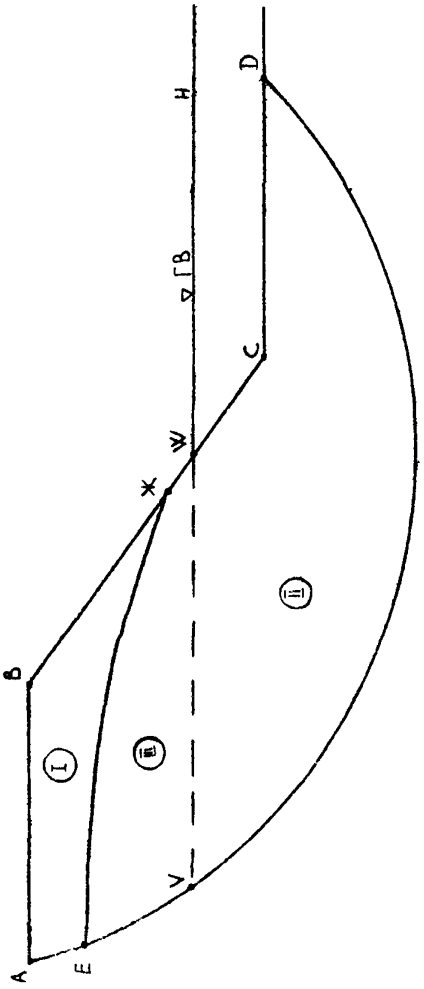


Рис. I. Схема к методике определения фильтрационных сил

СНиП П-7-8I разрешает использовать МСК для определения сейсмических нагрузок при обосновании строительства ГТС I и П классов и при проектировании сооружений Ш, IУ классов.

Программа КЗУ86К учитывает только три тона собственных колебаний. При этом направление сейсмической нагрузки принимается горизонтальным (в сторону потенциального оползня), что согласуется с требованиями СНиП П-7-8I. Сейсмическая нагрузка по МСК определяется при следующих основных допущениях:

реальный профиль сооружения (рис. 2,а) заменяется абстрактной вертикальной защемленной консолью, обладающей следующим свойством: вес произвольной точки консоли Q_K, имеющей ординату z_K, равен весу соответствующей полосы (АВСД), на которые разбивается реальное сооружение (рис. 2,а,б);

расчетные сейсмические ускорения (в долях ускорения свободного падения) в зависимости от прогнозируемой бальности землетрясения определяются для n точек абстрактной консоли (одномерная задача) и для последующих вычислений сейсмических сил. Вычисленные U_{iK} переносятся как константы на n соответствующих им полос реального сооружения;

поверхность скольжения отсекает от откоса отсек скольжения, в

котором разбивочные полосы представлены неполными "кусками";

сейсмическая сила, имеющая горизонтальное направление в сторону потенциального соскальзывания, определяется для каждого "куска" по зависимостям

$$S_K=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(S_{iK})^2}; \qquad (11)$$

$$S_{iK}=Q_i\,U_{iK}; \qquad (12)$$

момент от сейсмических сил, действующий на ОС, определяется как сумма сейсмических моментов каждого из "кусков" отсека относительно его центра вращения (рис.2,в), т.е.

$$M_C=\sum_{K=1}^{m} S_K\,y_K. \qquad (13)$$

Расчетное сейсмическое ускорение в долях ускорения свободного падения

$$U_{iK}=K_1\,K_2\,A\,K_\varphi\,\beta_i\,\eta_{iK}, \qquad (14)$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий допустимые повреждения. Для гидротехнических сооружений K_I =0,25 (заведен в КЗУ86К константой); K_2 – коэффициент, учитывающий

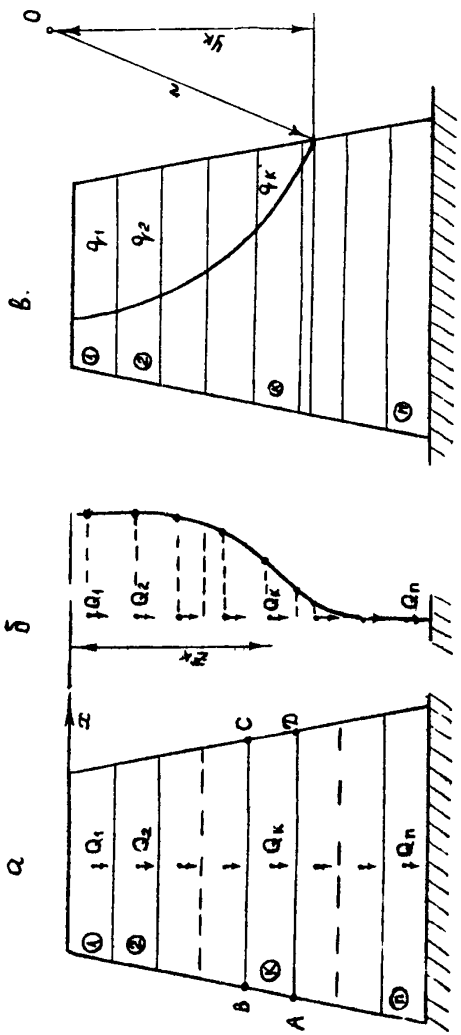


Рис.2. Схема к методике определения сейсмических сил

конструктивные решения, для подпорных сооружений всех типов при высоте H (заведен в КЗУ86К соответствующим уровнем) до 60 м $K_2 = 0,8$, выше 100 м $K_2 = 1,60 < H < 100$ - по линейной интерполяции; A, K_φ - коэффициенты, заведены в КЗУ86К в виде табличных констант (табл.1),

Таблица 1

Сейсмичность в баллах	7	8	9
K_φ	0,7	0,7	0,65
A	0,1	0,2	0,40

β_i - коэффициент динамичности, соответствующий i -й форме собственных колебаний сооружения, определяемый согласно зависимостям, приведенным в табл.2.

Таблица 2

Категория грунтов основания	Формула	Ограничения
I	$\beta_i = 1/T$	$\beta_i \leq 3,0$
II	$\beta_i = 1,1/T$	$\beta_i \leq 2,7$
III	$\beta_i = 1,5/T$	$\beta_i \leq 2,0$

Категорийность грунта оснований определяется по табл. I СНиП II-7-81. T_i - период собственных горизонтальных колебаний плотины из однородного материала, вычисляется согласно зависимости

$$T_i = \frac{2\pi}{a_i c_s} H, \qquad (15)$$

где a_i - коэффициент, корни функции Бесселя; для трех тонов собственных колебаний заведен в КЗУ86К в виде табличных констант (табл.3);

Таблица 3

Номер тона	1	2	3
a_i	2,4	5,52	8,65

c_s - скорость распространения поперечных волн в материале тела плотины (по справочникам, экспериментам), задается в виде исходной числовой информации.

γ_{ik} - коэффициент, зависящий от i -й формы собственных колебаний.

Значения коэффициента γ_{ik} для трех форм собственных колебаний треугольного клина помещены в виде табличных констант в КЗУ86К (табл. 4).

Числовые значения γ_{ik}, приведенные в таблице, получены из решения специального уравнения (не введенного в программу КЗУ86К) данного в работах [I,4]. Коэффициент податливости K_{oc} задается в виде исходной числовой информации. Учет фильтрационного потока в расчетах M_c осуществляется по следующей методике:

вес грунта, находящегося вне зоны фильтрации, принимается при $\gamma_г = \gamma_0$;

вес грунта, находящегося в зоне фильтрации, принимается при $\gamma_г = \gamma_{нас}$.

Расчеты КЗУ с учетом сейсмических сил осуществляются программой КЗУ86К в автоматическом режиме по описанной методике после задания в качестве исходной информации:

категории грунта основания;

сейсмичности района в баллах;

скорости прохождения поперечных сейсмических волн в грунтах тела дамбы;

коэффициента податливости основания.

Математические выражения способов расчета КЗУ, реализованные в программе КЗУ86К

Программой КЗУ86К реализованы способы расчета КЗУ при круглоцилиндрических поверхностях скольжения Терцаги, Чугаева, Терцаги-Чугаева с учетом фильтрации, порового давления, сейсмических сил в следующих математических выражениях:

способ Чугаева (весового давления) –

$$K_ч = \frac{R\left(\sum_{i=1}^{n}(P_{pi}-P_{ui}\,\ell)\,tg\,\varphi_i + \Sigma C_i\,\ell\right)}{R(\Sigma P_a\ SIN\,\alpha_i)+M_c}; \qquad (I6)$$

способ Терцаги-Чугаева (ВИОГЕМ) –

$$K_{т\text{-}ч} = \frac{R\left(\sum_{i=1}^{n}(P_{pi}-P_{ui}\,b_i)\cos\alpha_i\ tg\,\varphi_i + \sum_{i=1}^{n} c_i\,\ell_i + \Delta N\,tg\,\varphi_{cp}\right)}{R\left(\sum_{i=1}^{n} P_a\ SIN\,\alpha_i\right)+M_c}; \qquad (I7)$$

$$\Delta N = \cos|\alpha|_{MIN}\sum_{i=1}^{n}(P_{pi}-P_{ui}\,b_i) - \sum_{i=1}^{n}(P_{pi}-P_{ui}\,b_i)\cos\alpha_i; \qquad (I8)$$

$$tg\,\varphi_{cp} = \sum_{i=1}^{n} P_{pi}\cos\alpha_i\,tg\,\varphi_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} P_{pi}\cos\alpha_i; \qquad (I9)$$

Таблица 4

$\frac{Z_K}{H}$	Значения η_{iK} при											
	$K_{ос}$ =0			$K_{ос}$ =0,5			$K_{ос}$ =I			$K_{ос}$ =2		
	Номер i -го тона			Номер i -го тона			Номер i -го тона			Номер i -го тона		
	I	2	3	I	2	3	I	2	3	I	2	3
0	I,60	-I,07	0,86	I,53	-0,8I	0,9I	I,30	-0,85	0,80	I,I4	-0,63	0,69
0,I	I,58	-0,99	0,70	I,52	-0,76	0,73	I,27	-0,80	0,68	I,I0	-0,60	0,60
0,2	I,5I	-0,77	0,32	I,47	-0,6I	0,35	I,26	-0,66	0,38	I,I0	-0,5I	0,36
0,3	I,40	-0,45	-0,08	I,40	-0,39	-0,04	I,24	-0,48	0,04	I,09	-0,39	0,06
0,4	I,25	-0,I2	-0,32	I,30	-0,I5	-0,3I	I,20	-0,24	-0,24	I,08	-0,23	-0,I8
0,5	I,07	0,I8	-0,30	I,I7	0,07	-0,34	I,I2	-0,02	-0,32	I,06	-0,08	-0,27
0,6	0,87	0,37	-0,I0	I,03	0,24	-0,I6	I,08	-0,02	-0,2I	I,03	0,06	0,2I
0,7	0,65	0,43	0,I4	0,87	0,32	0,08	0,99	0,29	-0,0I	I,00	0,I7	-0,05
0,8	0,43	0,36	0,26	0,70	0,32	0,25	0,90	0,34	0,I8	0,97	0,24	0,I0
0,9	0,2I	0,20	0,I9	0,52	0,24	0,24	0,8I	0,3I	0,24	0,94	0,25	0,20
I,0	0,0	0,0	0,0	0,34	0,09	0,09	0,69	0,23	0,I6	0,90	0,22	0,I8

способ Терцаги -

$$K_T = \frac{R\left(\sum_{i=1}^{n}(P_{pi} - P_{ui}\, b_i)\cos\alpha_i \operatorname{tg}\varphi_i + \sum_{i=1}^{n} c_i l_i\right)}{R\left(\sum_{i=1} P_{ai}\ \mathrm{SIN}\ \alpha_i\right) + M_c} . \qquad (20)$$

3. ПОДГОТОВКА РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ

Подготовка расчетной схемы заключается в специальном графическом оформлении рабочего ИГП под возможности программы КЗУ86К и методов расчета, заключенных в ней. Работу с ИГП при подготовке его расчетной схемы можно разбить на несколько этапов:

упрощение ИГП и выделение главных ИГЭ;

аппроксимация кривых линий ИГП;

отображение зон ИПД и значений P_u на схеме;

задание депрессионной кривой;

установление системы координат и границ области исследования.

3.1. Упрощение ИГП и выделение главных ИГЭ

Исходя из поставленных задач и возможности программы количество различных элементов, выступов ИГЭ поперечника, не влияющих на результаты расчетов, желательно всегда сокращать до минимума, что позволяет упростить подготовку исходной информации и ускорить время счета по программе. Конкретные указания по упрощению ИГП дать трудно. Это, как правило, зависит от знания теорий расчета и опыта.

3.2. Аппроксимация кривых линий ИГП

Аппроксимация осуществляется с целью упрощения описания геометрии ИГП числами. Смысл аппроксимации заключается в замене всех кривых линий, описывающих откос, контуры ИГЭ, депрессионную кривую, зоны ИПД ломаными. Условимся точки перелома и пересечения линий именовать узловыми, а часть ломаной между двумя узловыми точками - отрезком.

3.3. Отображение зон ИПД и значений P_u на схеме

Для правильного описания исходной информации об избыточном поровом давлении расчетную схему необходимо оформлять в следующем порядке:

выделить на ИГП геометрические размеры области ИПД;

аппроксимировать и графически оформить область ИПД геометрическими фигурами (зонами) в виде четырехугольных выпуклых элементов (рис.3);

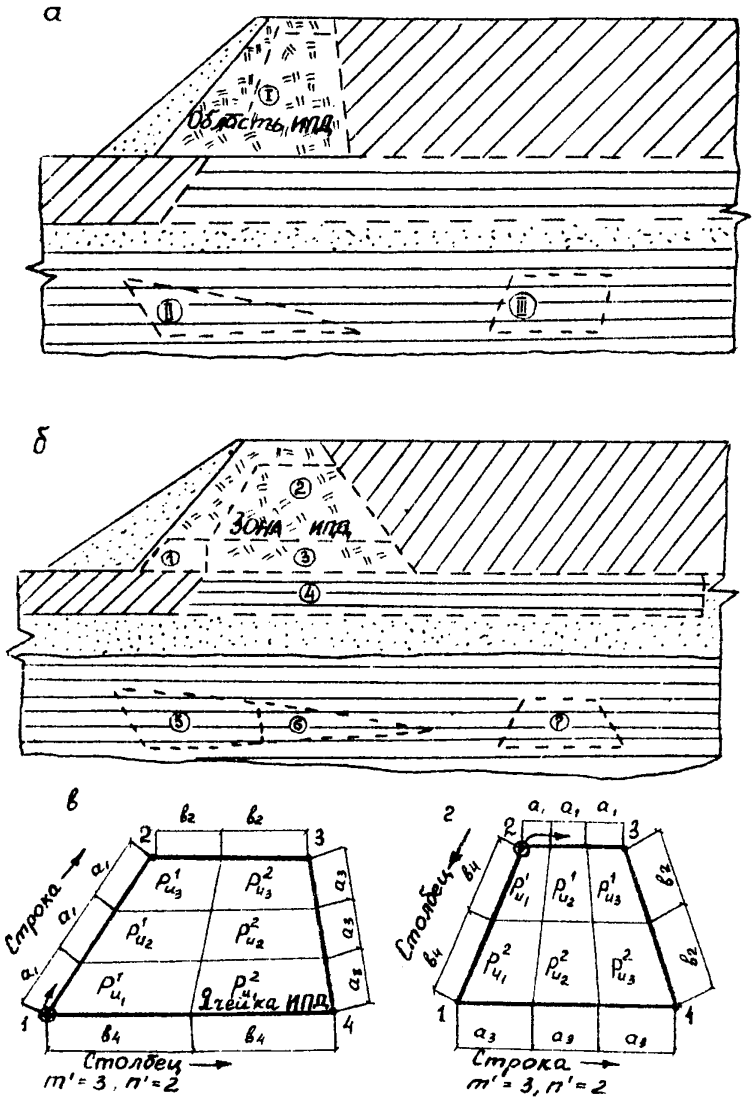


Рис.3. Схема к учету порового давления

распределить значения P_u внутри зон ИПД и записать на схеме эти значения.

3.3.1. Выделение на ИГП зон ИПД

Исходя из отдельно сделанных расчетов консолидации по методикам, не связанным с программой КЗУ86К, или натурным наблюдениям на ИГП оконтуриваются области, где существует избыточное поровое давление (рис.3,а). Предположим, области ИПД совпадают с ИГЭ, выделенными римскими цифрами I, II, III.

3.3.2. Аппроксимация и графическое оформление зон ИПД на расчетной схеме

В представлении геометрической информации для КЗУ86К о формах зон ИПД существуют условности, которые необходимо выполнять: форма зон аппроксимируется и графически оформляется в виде четырехугольных выпуклых элементов. Например, три области рис.3,а избыточного порового давления на рис.3,б аппроксимированы семью зонами ИПД в виде выпуклых четырехугольных элементов(хотя зона 6 и оформлена геометрически в виде треугольного элемента, но представлять ее надо как четырехугольник, имеющий в произвольном узле отрезок нулевой длины).

3.3.3. Распределение значений P_u внутри зон ИПД

Задание значений P_u внутри зон ИПД осуществляется дискретно (осредненными величинами по определенным площадям-ячейкам). Каждая зона ИПД в общем случае не является единичной ячейкой для одной осредненной величины P_u, а может включать в себя n'' ячеек ($1 \leq n'' \leq 81$) и соответственно такое же количество независимых значений P_u. Разбивка зоны на ячейки ИПД производится автоматически (программой КЗУ86К) согласно предварительным указаниям, представляющим в исходной информации пару чисел m' и n', задающих параметры ячеек, координаты пяти узловых точек периметра зоны и величин P_u для каждой ячейки зоны. m' – количество столбцов, n' – количество строк.

Термины строка, столбец не следует понимать буквально. Условимся, что строка – непрерывный ряд ячеек, совпадающий с направлением описания первого отрезка контура зоны, столбец – непрерывный ряд ячеек, перпендикулярный направлению описания первого отрезка контура зоны; первый столбец (строка) – столбец (строка), включающий точку, с которой начинается геометрическое описание зоны ИПД.

Например, зона 7, показанная отдельно от схемы (рис.3), при $m'=3$, $n'=2$ разбивается на ячейки, как показано на рис.3,в, ес-

ли будет описана узловыми точками I,2,3,4,I (первый отрезок описан точками I,2), но если ее описать точками 2,3,4,I,2 (первый отрезок описан точками 2,3), зона разобьется на ячейки,как это показано на рис.3,г (у значений P_j^i на рис.3,в,г i – индекс строки; j – индекс столбца). При реальных данных каждому значению P_j^i может соответствовать любое произвольное значение $P_{ц}$.

3.4. Задание депрессионной кривой

Депрессионная кривая в ИГП определяется методами, не связанными с программой КЗУ86К. Для учета фильтрационных сил положение депрессионной кривой сообщается программе в виде исходной информации совокупностью координат узловых точек ломаной,аппроксимирующей депрессионную кривую.

Депрессионная кривая аппроксимируется на расчетной схеме непрерывной совокупностью отрезков и описывается координатами узловых точек, соединяющих концы этих отрезков.

Обход узловых точек осуществляется без пропусков от начальной в сторону направления оси X . Начальная узловая точка – первая от оси У точка, принадлежащая депрессионной кривой.

Необходимо помнить:

ордината первой точки (W на рис.I), описывающей депрессионную кривую, автоматически указывает программе, что на этой ординате находится уровень воды в нижнем бьефе (линия H-W на рис.I);

ордината последней точки (E на рис.I), описывающей депрессионную кривую, автоматически указывает программе, что на этой ординате находится уровень воды в верхнем бьефе.

3.5. Установление системы координат,границ области исследования,описание геометрии ИГП

Для представления ИГП программе необходимо подготовить исходную информацию в виде определенной совокупности координат узловых точек, которыми показывается геометрия ИГП, откос, основание,депрессионная кривая, зоны порового давления. Подготовка геометрической исходной информации заключается в выделении ОИКЗУ из ИГП, выборе координатных осей и в описании каждой узловой точки расчетной схемы соответствующими абсциссой и ординатой.

3.5.I. Выделение ОИКЗУ из ИГП

Программа КЗУ86К организована таким образом,что ОИКЗУ может быть только лишь откос (склон), имеющий одну ориентацию. Если есть необходимость определить КЗУ для двух откосов, верхового и низового, (рис.4,а), необходимо выделить две независимые ОИКЗУ, подгото-

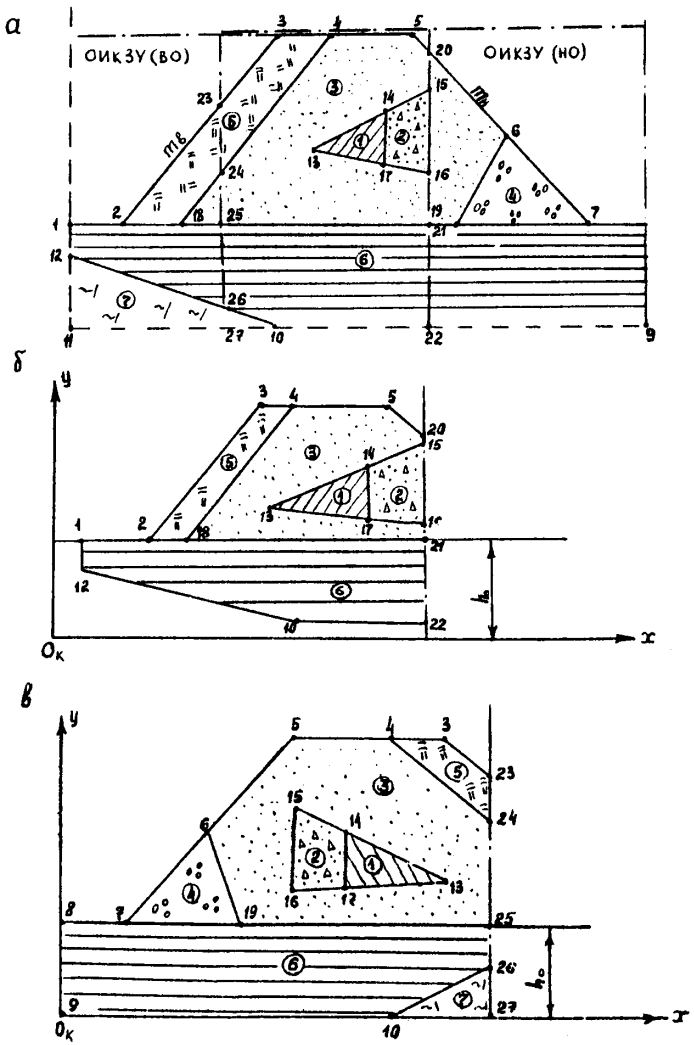


Рис.4. Схема к выбору ОИКЗУ

вить соответствующие им расчетные схемы (рис.4,б, в) и произвести два независимых расчета на ЭВМ. Исходя из сказанного можно дать следующее определение ОИКЗУ:

ОИКЗУ - часть ИГП (см.рис.4,а,б,в), ограниченная линией откоса (I,2,3,4,5,20 - рис.4,б; 8,7,6,5,4,3,23 - рис.4,в) от бьефа осью ординат У (см.рис.4,в) или соответствующей границей ИГЭ (граница I,I2,I0,22 - рис.4,б), от целого ИГП произвольной вертикалью (20-22 или 23-27 - рис.4,б,в).

3.5.2. Выбор координатных осей

На выбор координатных осей программой КЗУ86К накладываются обязательные условия:

координаты точек ОИКЗУ имеют всегда положительные значения, т.е. ОИКЗУ располагается в первом квадранте;

направление оси ординат У - вверх;

направление оси абсцисс Х - против хода потенциального оползня (от бьефа к откосу);

поиск поверхности скольжения осуществляется только в ОИКЗУ, ограниченной осями координат.

3.5.3. Нумерация инженерно-геологических элементов

Для программы КЗУ86К геометрия ИГП (см.рис.4,а) должна быть представлена в виде определенного набора и последовательности координат узловых точек в принятой системе координат. Это осуществляется в следующем порядке.

На расчетной схеме выделяются ИГЭ, каждому из которых присваивается порядковый номер и тут же записывается на схеме рис.4,а,б,в.

При нумерации ИГЭ необходимо стремиться к выполнению двух принципов:

минимальности количества ИГЭ;

порядка ИГЭ.

Принцип минимальности количества ИГЭ связан со временем счета по программе (чем меньше ИГЭ в расчетной схеме, тем меньше время счета). Выполнение этого принципа обеспечивается отсутствием ограничений на геометрическую конфигурацию ИГЭ при представлении его в расчетной схеме. В идеале надо стремиться (хотя это и необязательно) к совпадению количества ИГЭ с количеством вариаций физико-механических свойств грунта расчетной схемы.

Принцип порядка ИГЭ обеспечивает учет всех ИГЭ, представленных в расчетной схеме. Нарушение этого принципа приводит к невосприятию некоторых ИГЭ, описанных в исходной информации.

Удовлетворение принципа порядка ИГЭ заключается в установлении

строгой иерархии при нумерации отдельных ИГЭ согласно предлагаемой классификации:

свободный ИГЭ – ИГЭ, имеющий границы с двумя и более соседними элементами (включая пустое пространство, элементы 4,5,6,7 – рис. 4,а), не содержащий в себе замкнутых ИГЭ;

замкнутый ИГЭ – ИГЭ, входящий в состав только одного, замыкающего, ИГЭ (как косточка в плод), элементы I или 2 – рис.4,а;

замыкающий ИГЭ – единичный ИГЭ, изолирующий своими границами от других и пустого пространства один или группу ИГЭ (элемент 3 – рис.4,а);

замкнутая группа ИГЭ – несколько замкнутых ИГЭ, объединенных общностью границ, входящих в один замыкающий ИГЭ (элементы I,2).

Каждый из элементов замкнутой группы на своем уровне может быть свободным, замкнутым, замыкающим (элементы I,2 – рис.4,а).

Уровень замыкания ИГЭ – количество вписанных (по одному направлению слежения) замыкающих ИГЭ в одном. Об этом дает представление круглая мишень при условии ее перенумерации: яблочко – I; периферия – IO.

Пользуясь предложенной классификацией необходимо помнить, что практически любой свободный ИГЭ в зависимости от способа описания его границ может быть представлен как свободный, замкнутый или замыкающий, например, (см. рис.4,а):

ИГЭ с номером 5 – свободный, если элементы 3,4,5,6,7 описаны по своим контурам; замкнутый, если он входит в состав ИГЭ, описанных точками 3,5,6,I9,2,3 или 7,5,3,2,7; замыкающий, если включает в себя третий или третий и четвертый ИГЭ;

группа ИГЭ с номерами I,2 замкнутая, так как полностью включена в третий элемент. ИГЭ с номером 3 – замыкающий, он может включать в себя не только I,2 ИГЭ, но и I,2,4,5, если описать его точками 7,5,3,2,7.

Необходимо заметить, что группа элементов с номерами I,2 по классификации замкнутая, но дополнительно на своем уровне каждый ИГЭ этой группы в зависимости от описания может обладать свойствами свободного, замкнутого, замыкающего ИГЭ. Действительно, если каждый элемент этой группы описать по отдельности I3,I4,I7,I3 и I4,I5,I6, I7,I4, они на своем уровне свободны. Если опишем I-й ИГЭ точками I3,I4,I7,I3, а 2-й – точками I4,I3,I6,I5,I4, то I-й – замкнутый, а 2-й – замыкающий и наоборот.

Нумерация ИГЭ при соблюдении принципа порядка должна подчиняться следующим правилам:

свободные ИГЭ могут иметь любой номер и нумероваться в любом порядке (ограничений нет);

замыкающие ИГЭ могут иметь любые номера, согласующиеся с уровнем замыкания, чем ниже уровень (ближе к центру мишени), тем меньше номер замыкающего ИГЭ;

замкнутые ИГЭ могут иметь любой номер и нумероваться в любом порядке при условии, что замыкающий их ИГЭ имеет больший номер;

нумерация в конечном счете должна быть непрерывной и начинаться с I.

4. ПОДГОТОВКА ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Подготовка исходной информации заключается в переложении геометрии расчетной схемы на язык цифр, для чего необходимо в указанном порядке оформить шесть массивов чисел, приведенных в табл. 5.

Таблица 5

Номер очереди ввода	Наименование массива чисел	Обозначение массива	Функции массива чисел
I	Координаты узлов расчетной схемы -I	MZ	Задание геометрии ОИКЗУ
2	Физические характеристики грунтов -I	MP	Задание свойств грунтов ИГЭ
3	Консолидация -I	MO	Задание параметров сетки (m', n') координат зон ИПД, значений ρ_u (при отсутствии ρ_u ставится отрицательное число)
4	Координаты узлов кривой депрессии -I	MH	Задание положения депрессионной кривой (при отсутствии MH ставится отрицательное число)
5	Сейсмичность района Категория грунта Скорость распространения сейсмических волн Коэффициент податливости основания -I только при отсутствии массива 5	C P C_2 K_1	Задание исходных параметров для расчета сейсмических нагрузок (при отсутствии сейсмики вместо четырех чисел C, P, C_2, K_1 ставится одно отрицательное число)
6	Густота разбивки	N12	Условие, обеспечивающее заданную тщательность поиска ОС

4.I. Подготовка массива MZ

После отображения ИГП в виде расчетной схемы на чертеже и нумерации ИГЭ можно производить подготовку той части исходной информации, которая представляет программе геометрию откоса и его ИГЭ. Для чего необходимо:

записать координаты каждой узловой точки схемы парой чисел X, Y;

каждый ИГЭ (в порядке его нумерации) представляется замкнутой зоной, ограниченной непрерывной системой отрезков, соединенных между собой узловыми точками;

описание каждого ИГЭ осуществляется путем последовательного обхода его периметра по узловым точкам в произвольном направлении (по часовой или против часовой стрелки). Обход может начинаться с любой узловой точки, но в процессе обхода точек перелома периметра не пропускать; заканчивать обход точкой, с которой этот обход начался.

После последовательного описания всех ИГЭ исходная информация представляется в виде строки, где все нечетные по порядку записи числа являются абсциссами, а четные - ординатами узловых точек.

Для примера предлагается структура записи массива MZ, представляющего геометрию ОИКЗУ программе. Рассматривается совместно с рис.4,в (верхний индекс - номер ИГЭ, нижний - номер узловой точки): $x_{11}^1\ y_{12}^1\ x_{11}^1\ y_{14}^1\ x_{17}^1\ y_{17}^1\ x_{11}^1\ y_{12}^1\ x_{17}^2\ y_{18}^2\ x_{14}^2\ y_{11}^2\ x_{15}^2\ y_{15}^2\ x_{16}^2\ y_{16}^2\ x_{17}^2\ y_{13}^2$
$x_{19}^3\ y_{19}^3\ x_6^3\ y_6^3\ x_5^3\ y_5^3\ x_4^3\ y_4^3\ x_{24}^3\ y_{24}^3\ x_{25}^3\ y_{25}^3\ x_{19}^3\ y_{13}^3\ x_7^4\ y_7^4$
$x_6^4\ y_6^4\ x_{19}^4\ y_{19}^4\ x_7^4\ y_7^4\ x_4^5\ y_4^5\ x_3^5\ y_3^5\ x_{23}^5\ y_{23}^5\ x_{24}^5\ y_{24}^5\ x_4^5\ y_4^5\ x_{26}^6$
$y_{26}^6\ x_{10}^6\ y_{10}^6\ x_9^6\ y_9^6\ x_8^6\ y_8^6\ x_{25}^6\ y_{25}^6\ x_{26}^6\ y_{26}^6\ x_{26}^7\ y_{26}^7\ x_{10}^7\ y_{10}^7\ x_{27}^7$
$y_{27}^7\ x_{26}^7\ y_{26}^7\ -1.$

Массив MZ обязательно замыкается произвольным отрицательным числом (в данном случае -I), которое сообщает программе, что ввод данного массива завершен и следующие вводимые числа принадлежат массиву MP.

4.2. Подготовка массива MP

Массивом MP представляются физические и прочностные характеристики грунтов по каждому ИГЭ в порядке их нумерации. Для каждого ИГЭ необходимо задать группу констант определенной размерности, состоящую из пяти расчетных характеристик в строго указанном порядке: ρ, т/м^3; n, доли ед.; W, доли ед.; φ, градус; C, т/м^2

После задания расчетных характеристик по всем ИГЭ исходная информация представляется в виде строки, объединяющей непрерывную совокупность групп констант в порядке нумерации ИГЭ. Для примера

предлагается структура записи массива MP , представляющего расчетные характеристики программе. Рассматривается совместно с рис. 4,в (верхний индекс – номер ИГЭ):

$$\rho^1\ n^1\ w^1\ \varphi^1\ c^1 \quad \rho^2\ n^2 w^2 \varphi^2 c^2 \quad \rho^3\ n^3 w^3 \varphi^3 c^3 \quad \rho^4\ n^4 w^4 \varphi^4\ c^4$$
$$\rho^5\ n^5\ w^5\ \varphi^5\ c^5 \quad \rho^6\ n^6 w^6 \varphi^6 c^6 \quad \rho^7\ n^7 w^7 \varphi^7 c^7\ -1.$$

Массив MP обязательно замыкается произвольным отрицательным числом (в данном случае -I), которое сообщает программе, что ввод данного массива завершен и следующие вводимые числа принадлежат массиву MO .

4.3. Подготовка массива MO

Массив MO представляет геометрию зон с избыточным поровым давлением и с распределением по их площадям величин P^i_{ij} , т/м^2. После выделения зон ИПД и осреднения значений P_{ij} по ячейкам (см. отображение зон ИПД и значений P_{ij} на схеме) можно приступить к подготовке соответствующей исходной информации, заключающейся в описании зон ИПД и распределенных в них величин по следующим правилам.

Описание зоны ИПД осуществляется путем описания координат ее контура при последовательном обходе по узловым точкам в выбранном направлении. Причем обход может начинаться с любой узловой точки, но заканчиваться только точкой, с которой обход начался. Необходимо помнить, что числа m', n' должны быть всегда согласованы с описываемыми первым и вторым отрезками контура зоны ИПД, записанными после этих чисел (см. п.3.3).

После задания параметров сетки (числа m', n') и описания координат пяти узловых точек контура зоны каждой ячейке сетки, образованной при этом, в порядке ее нумерации присваиваются значения P^i_{ij} , для чего мысленно или графически путем нанесения на соответствующую зону ИПД сетки предлагаемой разбивки и в каждую ячейку занести соответствующее ей значение P^i_{ij} (рис.5,б). Запись значений P^i_{ij} в массив MO осуществляется построчно в порядке нумерации строк и столбцов (i – индекс строки, j – индекс столбца).

Пределы изменения i , j :

$$I \leqslant i \leqslant n';$$
$$I \leqslant J \leqslant m'.$$

После описания массива MO исходная информация выглядит в виде строки, представляющей следующую последовательность (к рисункам не привязана): $m^{1(1)}\ n^{1(1)}\ x_1^{(1)} y_1^{(1)} x_2^{(1)} y_2^{(1)} x_3^{(1)} y_3^{(1)} x_4^{(1)} y_4^{(1)} x_1^{(1)} y_1^{(1)} \ldots p_{j-1}^{(1)i-1} p_j^{(1)i-1} p_{j+1}^{(1)i-1} \ldots p_{j-1}^{(1)i} p_j^{(1)i} p_{j+1}^{(1)i} \ldots$
$\ldots p_{j-1}^{(1)i+1} p_j^{(1)i+1} p_{j+1}^{(1)i+1} \ldots m^{1(2)} n^{1(2)} \ldots x^{(2)} y^{(2)} \ldots p_{n1}^{(2)n} \ldots m^{1(N)} n^{1(N)} \ldots p_{1n'}^{(N)n'} - 1$,

где x , y – координаты узловых точек зон ИПД; верхний числовой индекс – номера зон ИПД, нижний числовой индекс – номера узловых точек зон ИПД; N – количество зон ИПД.

В табл.6 приведена структура записи исходной информации о пяти зонах ИПД (рис.5,б).

Таблица 6

Зоны	Выбранный порядок обхода по точкам	m'	n'	Запись исходной информации по зонам ИПД	
				Координаты узловых точек зоны ИПД	Величины P_{ij}^{l} по ячейкам сетки
I	2,3,4,I,2	4	3	$x_2\ y_2\ x_3 y_3 x_4 y_4\ x_1 y_1\ x_2 y_2$	$P_1^1 \ldots P_4^1\ P_4^2 \ldots P_4^2\ P_1^3 \ldots P_4^3$
II	3,9,8,4,3	I	2	$x_3\ y_3\ x_9 y_9\ x_8 y_8\ x_4 y_4\ x_3 y_3$	$P_1^1\ P_1^2$
III	9,II,IO,8,9	I	I	$x_9\ y_9\ x_{11} y_{11}\ x_{10} y_{10}\ x_8 y_8\ x_9 y_9$	P_1^1
IУ	I5,I4,I3,I2,I5	I	3	$x_{15} y_{15}\ x_{14} y_{14}\ x_{13} y_{13}\ x_{12} y_{12}\ x_{15} y_{15}$	$P_1^1\ P_1^2\ P_1^3$
У	6,7,7,5,6	2	2	$x_6\ y_6\ x_7 y_7\ x_7 y_7\ x_5 y_5\ x_6 y_6$	$P_1^1\ P_2^1\ P_1^2\ P_2^2$

Для примера предлагается структура записи массива чисел $M0$, представляющего данные о поровом давлении программе по пяти зонам ИПД. Рассматривается совместно с рис.5,б (индекс при x,y – номер узловой точки, при P_{ij} верхний индекс – номер строки, нижний – номер столбца зоны ИПД):

$4\ \ 7\ \ x_2\ y_2\ x_3\ y_3\ x_4\ y_4\ x_1\ y_1\ x_2\ y_2\ \ P_1^1\ P_2^1\ P_3^1\ P_4^1\ P_1^2\ P_2^2\ P_3^2\ P_4^2$

$P_1^3\ P_2^3\ P_3^3\ P_4^3\ \ 1\ \ 2\ x_3\ y_3\ x_9\ y_9\ x_8\ y_8\ x_4\ y_4\ x_3\ y_3\ P_1^1\ P_1^2\ 1\ 1$

$x_9\ y_9\ x_{11}\ y_{11}\ x_{10}\ y_{10}\ x_8\ y_8\ x_9\ y_9\ P_1^1\ \ 1\ 3\ x_{15}\ y_{15}\ x_{14}\ y_{14}\ x_{13}\ y_{13}\ x_{12}$

$y_{12}\ x_{15} y_{15}\ P_1^1\ P_1^2\ P_1^3\ \ 2\ \ 2\ x_6\ y_6\ x_7\ y_7\ x_7\ y_7\ x_5\ y_5\ x_6\ y_6\ P_1^1\ P_2^1\ P_1^2\ P_2^2\ -1$

Массив $M0$ обязательно замыкается произвольным отрицательным числом (в данном случае -I), которое сообщает программе, что ввод данного массива завершен и следующие вводимые числа принадлежат массиву MH . В случае отсутствия массива MH присутствие отрицательного числа обязательно, так как по нему ведется классификация вводимой информации.

4.4. Подготовка массива MH

После последовательного описания каждой узловой точки (в порядке, изложенном выше) парой координат x,y исходная информация о депрессионной кривой представляется строкой, где все нечетные числа – абсциссы, четные – ординаты этих точек.

Пример структуры записи массива MH , представляющего депрессионную кривую программе, рассматривается совместно с рис.5,а (индексы при x,y – номера узловых точек): координаты узлов кривой деп-

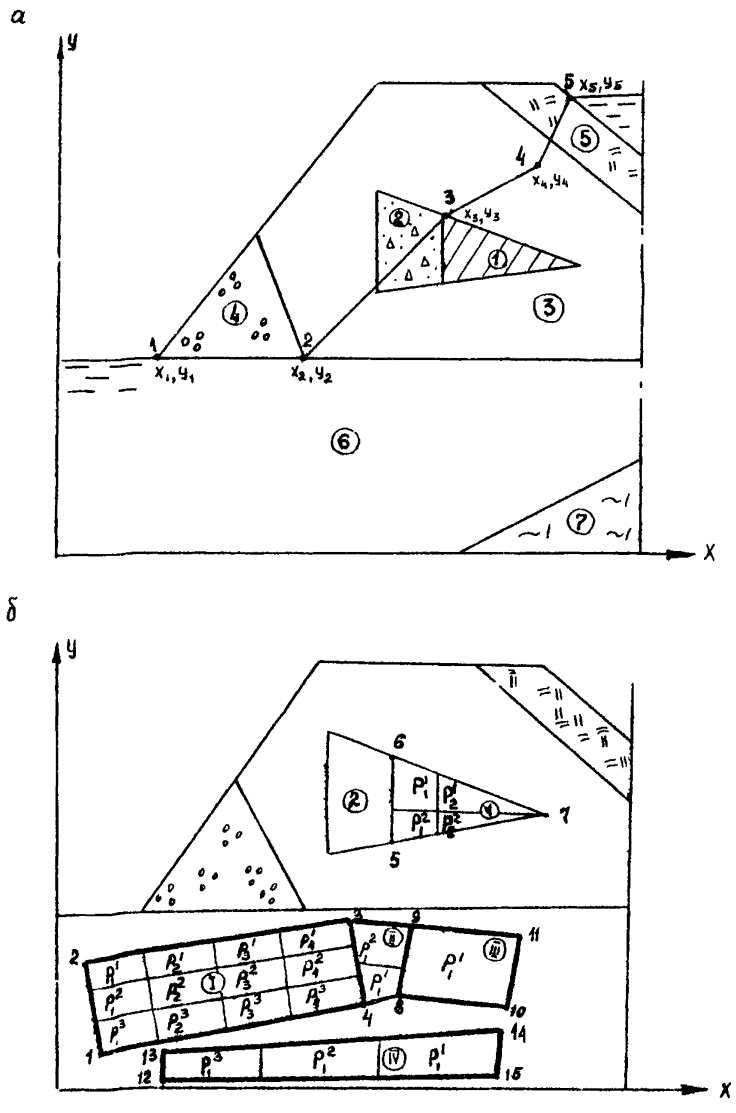


Рис. 5. Схема к описанию кривой депрессии и зон порового давления

рессии: $x_1\ y_1\ x_2\ y_2\ x_3\ y_3\ x_4\ y_4\ x_5\ y_5\ -1$.

Массив МН обязательно замыкается произвольным отрицательным числом (в данном случае –I). В случае отсутствия массива МН отрицательное число обязательно, так как по нему ведется классификация вводимой информации.

4.5. Подготовка информации к расчетам КЗУ в условиях сейсмики

Подготовка числа C . Безразмерное число C представляет собой сейсмичность на сооружении в баллах. В связи с использованием в программе КЗУ86К метода МСК в практике (СНиП П-7-81 [4]) необходимо четко знать, что число C может принимать только три значения – 7,8,9. Число C отрицательным числом не отделяется. Сейсмичность на сооружении может быть определена или непосредственными измерениями или по прил. I СНиП П-7-81 [4] .

Подготовка числа P . Безразмерное число P представляет собой категорию грунта по сейсмическим свойствам и может принимать только три значения: I,2,3. Категория грунта по сейсмическим свойствам определяется по табл. I СНиП П-7-81 [4] .Число P отрицательным числом не отделяется.

Подготовка числа C_2 . Число C_2 представляет собой скорость распространения поперечных сейсмических волн в сооружении (м/с) и может быть определено по указаниям, приведенным в работах [2,4]. Число C_2 отрицательным числом не отделяется.

Подготовка числа K_1 . Безразмерное число K_1 представляет собой коэффициент податливости основания и может быть определено по указаниям справочников [4] .Число K_1 отрицательным числом не отделяется.

При отсутствии сейсмических нагрузок вместо группы чисел C , P C_2, K_1, вводится лишь одно произвольное отрицательное число, например, -I.

4.6. Подготовка числа N I2

Безразмерное число N I2 ставит программе условие, обеспечивающее заданную тщательность переборки ОС при постоянной разбивке каждого ОС на I0 столбиков. Под N I2 можно задавать четыре числа – I,2,3,4. Число N I2 отрицательным числом не отделяется. N I2 = I обеспечивает разбивку ОИКЗУ на 2000 ОС: по оси X – 20 частей; по каждой части I0 ОС. Применяется практически во всех случаях.

N I2 = 2 обеспечивает разбивку ОИКЗУ на 8000 ОС: по оси X – 40 частей; по каждой части I0 ОС. Применять при расчетах значи-

тельных по размерам сооружений, имеющих сложную форму откоса и геологию.

N I2 = 3 обеспечивает разбивку ОИКЗУ на 4000 ОС: по оси X - 20 частей; по каждой части 20 ОС. Применять в расчетах высоких откосов на слабых основаниях.

N I2 = 4 обеспечивает разбивку на I6000 ОС. Относительное время счета при различных N I2 приведено в табл. 7.

Таблица 7

$N\,I2_i$	I	2	3	4
t_{NI2_i}/t_{NI2_1}	I	4	2	8

5. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ АЛГОРИТМА ПРОГРАММЫ

Программа КЗУ86К достаточно сложна и громоздка, поэтому в данных методических рекомендациях не представляется возможным привести ее полное описание. Остановимся на особенностях, представляющих практический интерес для понимания работы основных блоков программы, принципиальная блок-схема которой изображена на рис.6.

Принципиальный алгоритм вычисления параметров поверхности скольжения

В программе КЗУ86К реализован алгоритм, обеспечивающий самостоятельный поиск центров вращения ОС и установление параметров поверхностей скольжения, основанный на равномерном распределении поверхностей скольжения внутри ОИКЗУ. Сущность этого алгоритма заключается в следующем:

в зависимости от необходимой детализации расчета в процессе вычислений автоматически на профиле фиксируется 2I или 4I точка (рис.7). Эти точки являются точками входа-выхода исследуемых поверхностей скольжения. При этом каждая пара точек входа-выхода заключает группу отсеков скольжения и принадлежит им всем, например, точки 5 и II (см.рис.7);

в процессе перебора пар на середину отрезка, для которого зафиксированная пара точек является граничной, опускается перпендикуляр, являющийся за пределами откоса геометрическим местом точек центров вращения поверхностей скольжения, имеющих эту пару, а внутри области исследования является геометрическим местом точек пересечения перпендикуляра с поверхностями скольжения этой группы;

по координатам трех точек: две точки входа и выхода и точка пересечения (см.рис.7 точки 5, II, IУ) - вычисляются параметры поверхностей скольжения, т.е. координаты центра вращения, радиус.

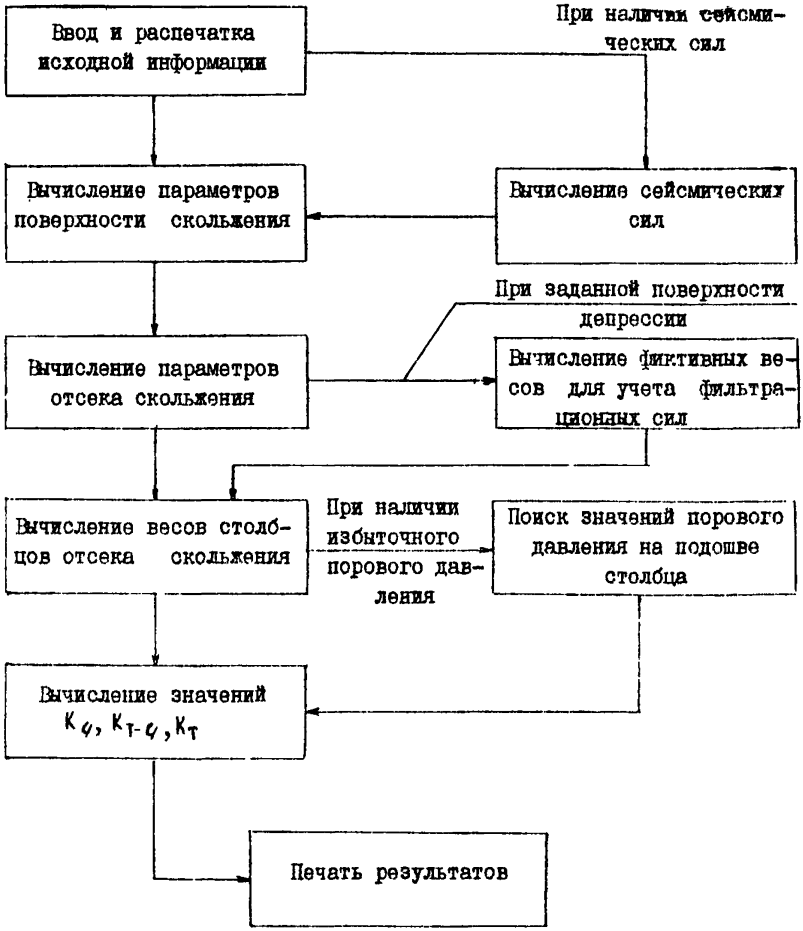


Рис.6. Принципиальная блок-схема программы КЗУ86К

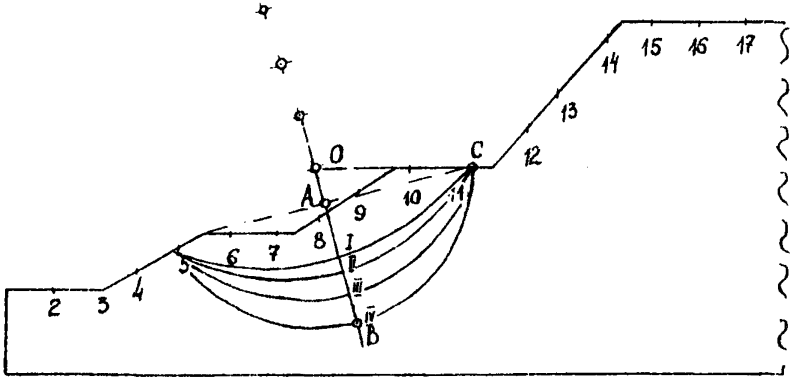


Рис. 7. Схема к алгоритму поиска поверхностей скольжения

Принципиальный алгоритм вычисления параметров отсека скольжения

Под параметрами подразумеваются: количество столбцов, на которые делится отсек, угол наклона подошвы столбца δ_i ; площади фрагментов ИГЭ, заключенные в столбцах.

Количество столбцов, на которые разбивается анализируемый отсек скольжения, всегда постоянно и равно 10. δ_i – для каждой подошвы i -го столбца произвольного отсека скольжения вычисляется по координатам середины подошвы этого столбца и центра вращения.

Площади фрагментов ИГЭ, заключенные в каждом из столбцов, вычисляются практически без допущений.

Принципиальный алгоритм вычисления момента от сейсмических сил на отсеке скольжения

Представим произвольную область исследования, заключенную в прямоугольник (рис. 8), который в свою очередь разбивается по оси X на 120 столбцов, по оси Y на 20 полос. Если полосы пронумеровать сверху вниз, а столбцы – от оси Y , то область исследования распадается на дискретные пронумерованные ячейки.

В каждую строку ячеек, начиная с самой ближней ячейки к оси Y по нарастающей, заносится числовое значение веса строки.

Величина M_c при этом составит сумму моментов от каждой части полосы, заключенной между поверхностью откоса и поверхностью

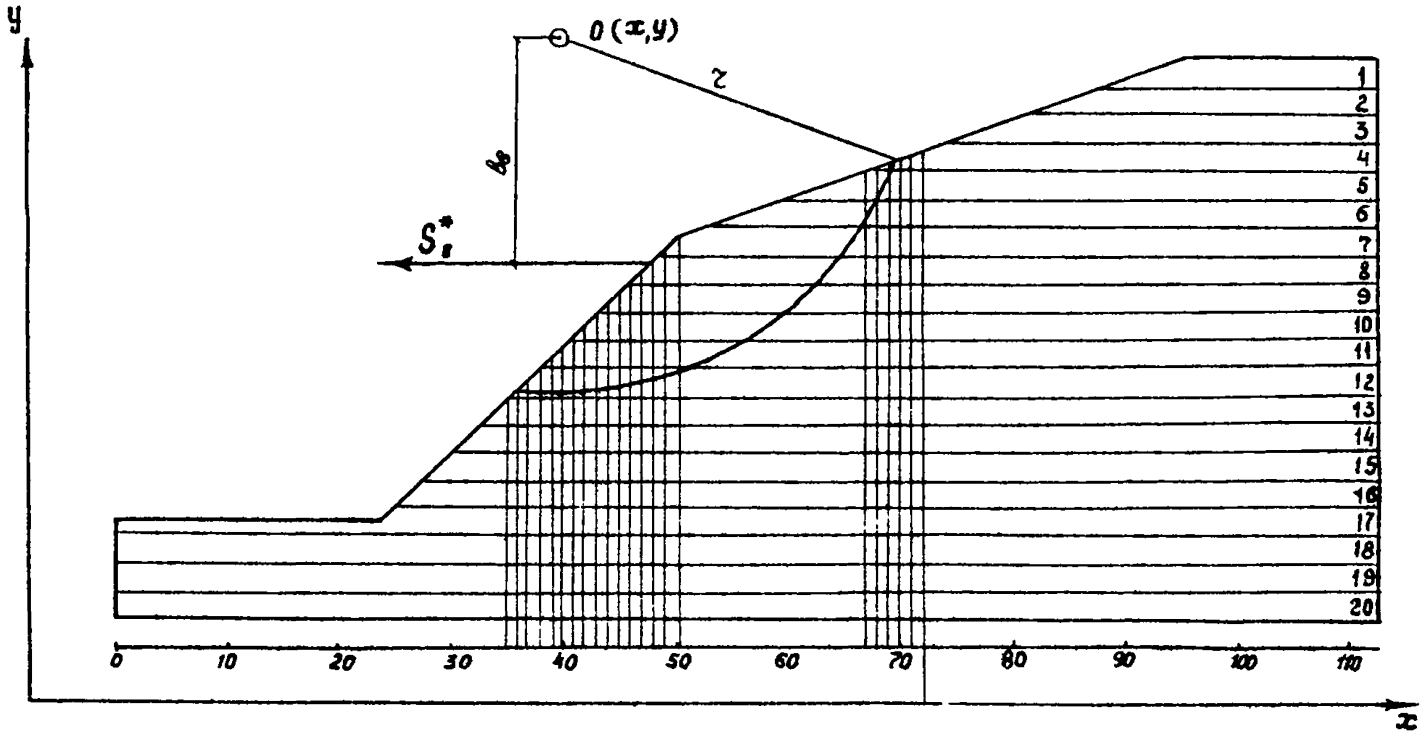


Рис. 8. Схема к алгоритму учета сейсмических сил

скольжения,

$$M_c = \sum_{i=c}^{d} b_i S_i^*,$$

где M_c – момент сейсмических сил; c, d – номера верхней и нижней строк, включенных в отсек скольжения; S_i^* – сейсмическая сила от i -й строки; b_i – плечо силы S_i относительно центра вращения.

6. КОНТРОЛЬНЫЙ ПРИМЕР

На рис.9 приведен поперечник упорной призмы дамбы гидротехнического сооружения. Сейсмичность площадки района дамбы оценивается в 7 баллов. В основании дамбы верхнего яруса имеется область с избыточным поровым давлением. Условия задачи: определить коэффициент запаса устойчивости низового откоса поперечника с учетом фильтрационных сил, избыточного порового давления, сейсмических сил.

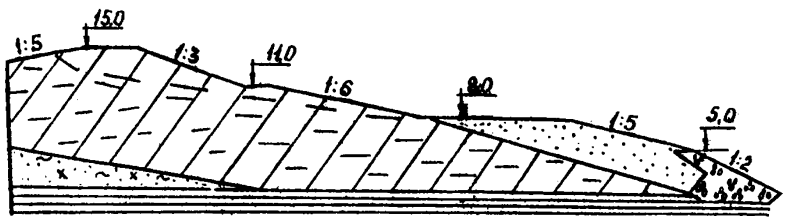


Рис.9. Инженерно-геологический профиль дамбы

Подготовка массива MZ . Согласно обозначенным на рис.10 номерам ИГЭ опишем их контуры по узловым точкам. Запишем строку массива MZ (табл.8), где все нечетные числа – абсциссы, а четные – ординаты узловых точек контуров зон грунта в порядке их нумерации. Массив MZ замыкает число -1. Порядок обхода произвольный. Один из возможных порядков обхода приведен в табл.9.

Подготовка массива MP . В порядке нумерации зон (рис.10) подготавливается табл.10 с расчетными характеристиками.

Данные этой таблицы переносятся на бланк с исходной информацией (табл.8), где массив MP замыкается числом -1.

Подготовка массива MO . Предположим, что для инженерно-геологического поперечника (рис.10,а) была определена область избыточного порового давления. В зависимости от характера изменений величины P_u в области можно всегда аппроксимировать в виде набора констант по определенным площадям (ячейкам). На рис.10,б для

Таблица 8

ЕС-1022	УПРАВЛЯЮЩИЕ ОПЕРАТОРЫ, АЛФАВИТНО-ЦИФРОВАЯ ИНФОРМАЦИЯ, ЧИСЛА	ОМИР

```
1 5 6 3  12  18  24  30  36  42  48  54  60  66  72  78 80
1 20 11 85 11 73 12 67.5 15 65.5 15 69 11 69 7 59 6 59 4 120 4 120 11
1 20 11 120 18 110 20 76 18 63 16 43 12.5 32 10 32 10 23 5 59 5 59 6 89 7 89 11
65.5 15 67.5 15 73 12 85 11 120 11
76 18 52 18 18 7 21 5 23 5 32 10 38 10 43 12.5 63 15 76 18
120 4 59 4 59 5 21 5 18 7 0 5 0 0 120 0 120 4
110 20 102 22 96 22 76 18 110 20 -1
3.16 |-78 .2 7 6
2.76 |-42 .2 9 1 2
3.16 |-35 .2 30 0
2.53 |-38 .2 16 2
2.67 |-37 .2 13 2 -1
2 2 85 11 73 12 73 4 85 4 85 11 6 4.5 7 5
2 3 120 11 85 11 85 4 120 4 120 11 9 10 9.5 1.1 12 10
1 2 73 12 69 11 69 4 73 4 73 12 4 5
1 1 73 12 67.5 15 65.5 15 69 11 73 12 3
2 1 69 7 59 6 59 4 69 4 69 7 5 4 -1
2 3 5 32 10 38 10 43 12.5 63 15 76 18 110 20 -1
7 1 200 4
1
```

Таблица 9

Номер ИГЭ	Порядок обхода описываемых ИГЭ по узловым точкам																	
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	I	2							
II	2	II	I2		I5	27	22	2I	20	I9	25	9	8	7	6	5	4	3	2
III	I5	I6	I7	I8	I9	20	2I	22	27	I5								
IУ	I	I0	25	I8	I7	23	24	26	I									
У	I2	I3	I4	I5	I2													

Таблица I0

Номер ИГЭ	$\rho_д$, т/м^3	n	w	φ, град.	C, т/м^2
I	3,I6	0,78	0,2	7,0	0,6
II	2,76	0,42	0,2	9,0	I,2
III	3,I6	0,35	0,2	30,0	0,0
IУ	2,53	0,38	0,2	I6,0	2,0
У	2,67	0,37	0,2	I3,0	2,0

иллюстрации выделена и увеличена область избыточных поровых давлений, разбитая на зоны (ячейки), с записанными в нее величинами P_u (т/м^2).

Согласно ранее сказанному о подготовке МО зоны (ячейки) необходимо пронумеровать в определенном порядке. В качестве примера примем порядок, указанный на рис. I0. На рис. I0,б в правом верхнем углу - произвольная нумерация ячеек, в центре зоны (ячейки) - значения P_u . В табл. II приведено контрольное описание всех зон.

Таблица II

Номер зоны	m'	n'	Номера узловых точек зоны					Значение P_u , т/м^2					
I	3	2	2	3	30	I	2	0,9	I0,0	9,5	I,I	I2,0	I0,0
2	2	2	3	4	29	30	3	6,0	4,5	7,0	5,0		
3	I	2	4	7	28	29	4	4,0	5,0				
4	I	I	4	5	6	7	4	3,0					
5	2	I	8	9	I0	28	8	5,0	4,0				

Исходная информация (согласно этой таблице) записывается на бланке табл. 8. Массив МО заканчивается числом -I.

Подготовка массива МН . Положение депрессионной кривой в

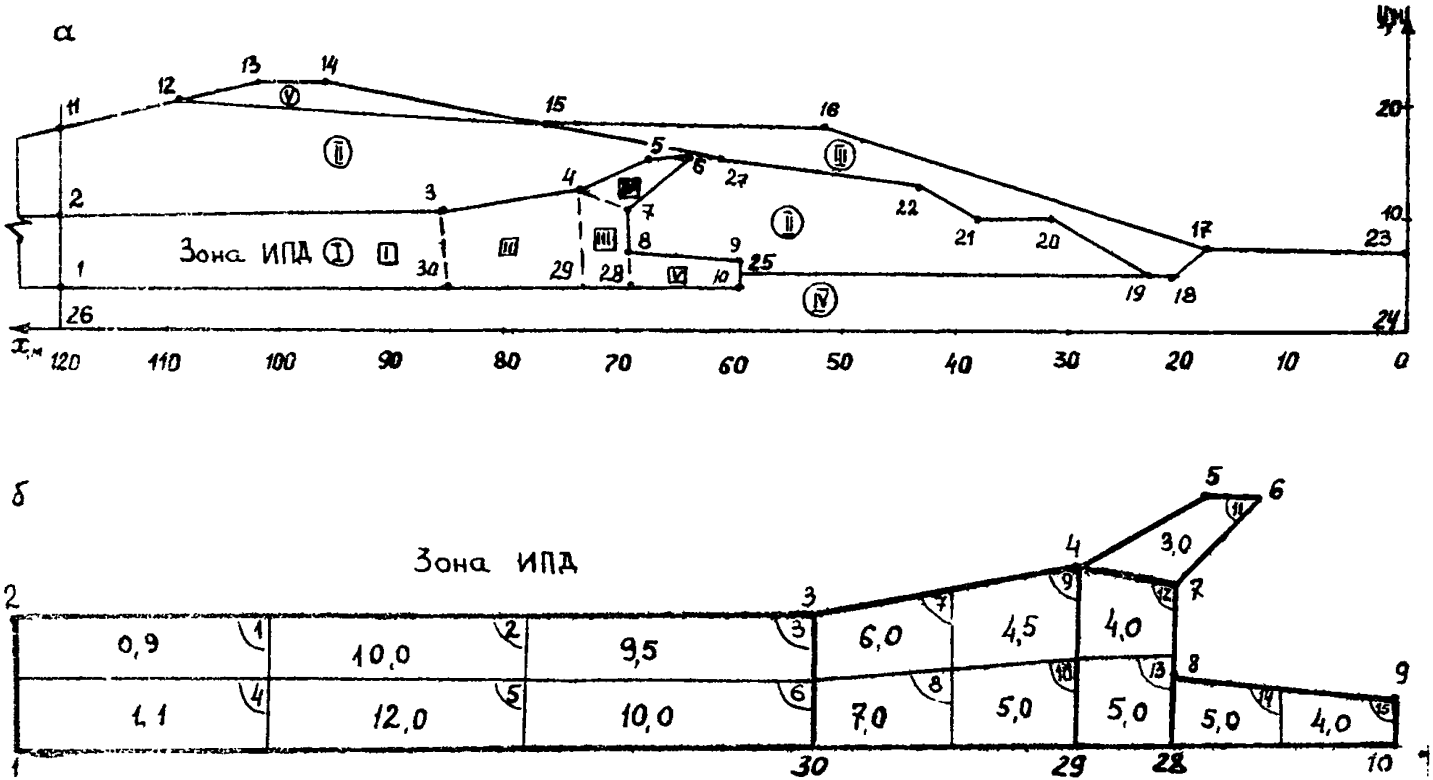


Рис. 10. Расчетная схема

контрольной области исследования задано узловыми точками с номерами: I9,20,2I,22,27,I5,I2. Для записи исходной информации о депрессионной кривой необходимо заменить указанные номера узловых точек их абсциссами и ординатами, как записано на бланке табл.8. Массив МН замыкается числом -I.

Подготовка чисел C, P, C_2, K_1 .Для данной ОИКЗУ и места расположения реального сооружения принимаем C =7, P =I, C_2 =200 м/с, K_1 =I. На бланке табл.8 изображена их запись непосредственно для набивки перфокарт.

Подготовка числа N I2. Число N I2 принимается равным I.На бланке табл.8 изображена его запись. Подготовка информации завершена. После набивки чисел на перфокарты осуществляется расчет по программе КЗУ86К. Выдача исходной информации с результатами расчета приведена в приложении.

Литература

I. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика. М., Стройиздат, I983, 543 с.

2. Красников Н.Д. Сейсмостойкость гидротехнических сооружений из грунтовых материалов. М., Энергоиздат, I98I, 239 с.

3. Руководство по учету фильтрационных сил при расчетах устойчивости откосов земляных сооружений.Л., НИИГ, I975, 22 с.

4. СНиП II-7-8I. Строительные нормы и правила. Нормы проектирования. Строительство в сейсмических районах. Часть II. Глава 7. М., I982, 48 с.

5. СНиП II.06.05-84. Плотины из грунтовых материалов.М., I985, 3I с.

6. Флорин В.А. Основы механики грунтов. Том II, М.,Госстройиздат, I96I, 543 с.

7. Чугаев Р.Р. Земляные гидротехнические сооружения. Л.,Энергия, I967, 460 с.

8. Чугаев Р.Р. Расчет устойчивости земляных откосов и бетонных плотин на нескальном основании по методу круглоцилиндрических поверхностей обрушения. М., Энергия, I963, I43 с.

НАЧАЛО! 000000000

КООРДИНАТЫ УЗЛОВ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ

З О Н А 1

(120,00 ; 11,00) (85,00 ; 11,00) (73,00 ; 12,00) (69,50 ; 15,00) (65,50 ; 19,00) (69,00 ; 11,00)
(69,00 ; 7,00) (59,00 ; 6,00) (59,00 ; 4,00) (120,00 ; 4,00) (120,00 ; 11,00)

З О Н А 2

(120,00 ; 11,00) (120,00 ; 18,00) (110,00 ; 20,00) (76,00 ; 18,00) (63,00 ; 15,00) (43,00 ; 12,50)
(38,00 ; 10,00) (32,00 ; 10,00) (23,00 ; 5,00) (59,00 ; 5,00) (59,00 ; 6,00) (69,00 ; 7,00)
(69,00 ; 11,00) (65,50 ; 15,00) (67,50 ; 15,00) (73,00 ; 12,00) (85,00 ; 11,00) (120,00 ; 11,00)

З О Н А 3

(76,00 ; 18,00) (52,00 ; 18,00) (18,00 ; 7,00) (21,00 ; 5,00) (23,00 ; 9,00) (32,00 ; 10,00)
(38,00 ; 10,00) (43,00 ; 12,50) (63,00 ; 15,00) (76,00 ; 18,00)

З О Н А 4

(120,00 ; 4,00) (59,00 ; 4,00) (59,00 ; 5,00) (21,00 ; 5,00) (18,00 ; 7,00) (0,00 ; 5,00)
(0,00 ; 0,00) (120,00 ; 0,00) (120,00 ; 4,00)

З О Н А 5

(110,00 ; 20,00) (102,00 ; 22,00) (96,00 ; 22,00) (76,00 ; 18,00) (110,00 ; 20,00)

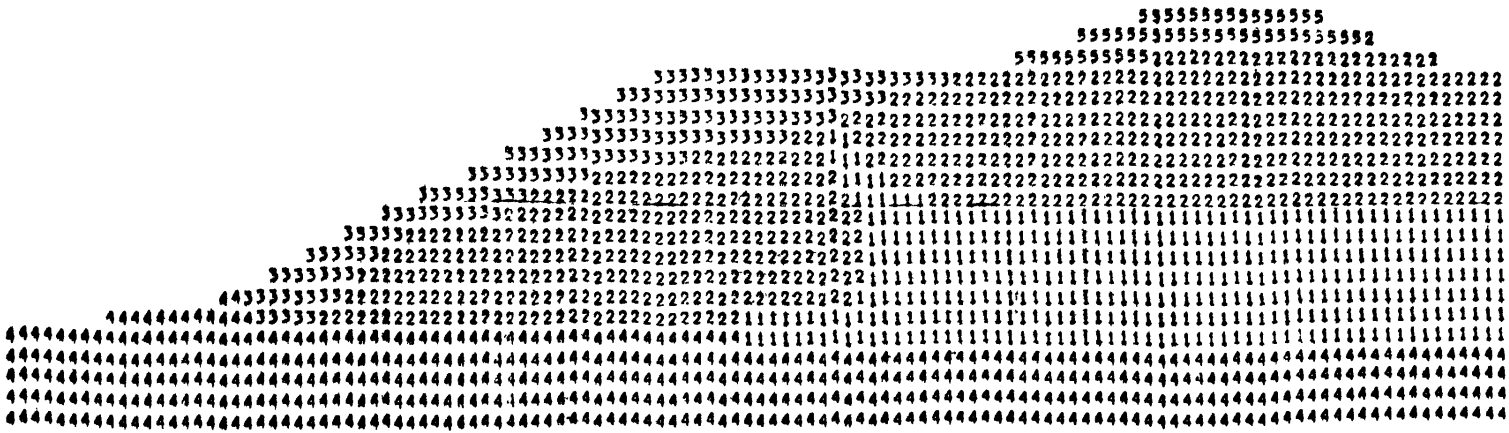
ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТОВ

НОМЕР ЗОНЫ	ПЛОТН. НИНЕР. ЧАСТИ Т/М**3	ПОРИС- ТОСТЬ ДОЛИ ЕД-ЦЫ	ВЛАЖ- НОСТЬ ДОЛИ ЕД-ЦЫ	УГОЛ ВНУТР. ТРЕНИЯ ГРАД	КОЭФ. СЦЕП- ЛЕНИЯ Т/М**2
1	3,160	0,700	0,200	7,000	0,600
2	2,760	0,420	0,200	9,000	1,200
3	3,160	0,350	0,200	30,000	0,000
4	2,530	0,380	0,200	16,000	2,000
5	2,670	0,370	0,200	13,000	2,000

КООРДИНАТЫ УЗЛОВ КРИВОЙ ДЕПРЕССИИ

(23,00 ; 9,00) (32,00 ; 10,00) (38,00 ; 10,00) (43,00 ; 12,50) (63,00 ; 15,00) (76,00 ; 18,00)
(110,00 ; 20,00)

РАСЧЕТНАЯ СХЕМА



ИЗБЫТОЧНОЕ ПОРОВОЕ ДАВЛЕНИЕ

ЗОНА ПОРОВОГО ДАВЛЕНИЯ 1													
8,00	2,00	65,00	11,00	73,00	12,00	73,00	4,00	85,00	4,00	89,00	11,00	6,00	4,50	7,00
5,00													
ЗОНА ПОРОВОГО ДАВЛЕНИЯ 2													
2,00	5,00	120,00	11,00	89,00	11,00	85,00	4,00	120,00	4,00	120,00	11,00	9,00	10,00	9,50
1,10	12,00	10,00												
ЗОНА ПОРОВОГО ДАВЛЕНИЯ 3													
1,00	2,00	73,00	12,00	69,00	11,00	69,00	4,00	73,00	4,00	73,00	12,00	4,00	8,00	
ЗОНА ПОРОВОГО ДАВЛЕНИЯ 4													
1,00	1,00	73,00	12,00	67,50	15,00	65,50	15,00	69,00	11,00	73,00	12,00	3,00		
ЗОНА ПОРОВОГО ДАВЛЕНИЯ 5													
8,00	1,00	69,00	7,00	50,00	6,00	59,00	4,00	69,00	4,00	69,00	7,00	5,00	4,00	

СЕЙСМИЧНОСТЬ РАЙОНА = 7 БАЛЛОВ

КАТЕГОРИЯ ГРУНТА = 1

СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН = 200,00 М/СЕК

КОЭФФИЦИЕНТ ПОДАТЛИВОСТИ ОСНОВАНИЯ = 1,0

ГУСТОТА РАЗБИВКИ=2

КООРДИНАТЫ ЦЕНТРА		РАДИУС	К	К	К
X	Y		ЧУГАЕВ	ТЕРЦАГИ	ВИОГЕМ
2,84	6,79	3,35	12,35	12,12	12,35
4,26	7,68	5,03	8,66	9,44	8,66
5,77	7,71	6,58	6,88	6,61	6,88
7,18	9,47	8,39	5,79	5,57	5,79
8,61	10,81	9,97	5,11	4,88	5,11
9,46	13,82	12,94	4,87	5,86	4,83
10,57	15,69	15,83	3,18	3,08	3,14
11,66	17,56	17,14	2,53	2,37	2,50
12,79	19,43	19,25	2,85	1,92	2,83
12,99	25,35	24,14	1,99	1,89	1,98
13,94	27,62	26,56	1,81	1,72	1,80
14,88	29,89	28,99	1,66	1,57	1,64
15,82	32,16	31,43	1,53	1,45	1,52
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
98,89	40,75	30,55	5,24	5,06	5,23
83,81	20,53	5,20	4,59	4,44	4,57
85,22	21,29	4,80	3,11	2,98	3,10
86,76	21,48	6,24	2,35	2,22	2,35
88,18	22,21	7,86	1,98	1,86	1,98
89,59	22,97	9,46	1,88	1,76	1,88
90,94	24,42	11,32	1,86	1,75	1,86
92,89	21,25	12,11	1,38	1,24	1,36
94,46	20,50	13,54	1,68	1,65	1,77
95,95	21,39	15,14	2,85	2,01	2,15
97,48	92,92	16,94	3,17	3,07	3,30
86,88	20,80	3,12	4,82	4,63	4,79
88,11	22,45	5,00	3,37	3,25	3,36
89,86	21,40	6,13	2,40	2,32	2,47
91,31	22,08	7,69	2,27	2,12	2,27
92,71	22,96	9,34	2,27	2,13	2,27
93,99	26,98	12,41	2,36	2,26	2,36
95,98	20,58	12,82	2,89	2,39	2,60
97,48	22,85	13,86	3,12	2,92	3,14
89,88	21,48	3,12	5,37	5,16	5,33
91,28	22,44	4,83	3,36	3,28	3,34
92,52	24,27	6,86	3,82	2,98	3,81
94,38	22,80	7,75	2,87	2,69	2,87
95,78	24,57	9,80	3,38	3,20	3,37
97,58	20,58	10,00	4,43	3,99	4,38
94,36	22,48	4,67	4,52	4,38	4,49
95,72	24,24	6,67	4,33	4,15	4,31
97,37	25,28	8,63	5,39	5,17	5,36
95,97	22,88	3,83	9,41	8,99	9,34
97,48	22,88	4,52	8,73	8,28	8,64

АВТОРЫ ПРОГРАММЫ КЛУБОК
ПОПОВА ТАМАРА НИКОЛАЕВНА,
ИСТОМИН ВЛАДИМИР ИЛЬИЧ
ЖЕЛАЮТ ВАМ НАДЕЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ,
(БЕЛГОРОД,ВИОГЕМ,1986 Г.)

КОНЕЦ! 000000000

СОДЕРЖАНИЕ

Общие положения 3
I. Обоснование выбора способов расчета КЗУ, используемых в программе КЗУ86К 4
2. Учет фильтрационных и сейсмических сил 6
2.I. Учет фильтрационных сил 6
2.2. Учет сейсмических сил 7
3. Подготовка расчетной схемы I3
3.I. Упрощение ИГП и выделение главных ИГЭ I3
3.2. Аппроксимация кривых линий ИГП I3
3.3. Отображение зон ИЦД и значений P_u на схеме I3
3.3.I. Выделение на ИГП зон ИЦД I5
3.3.2. Аппроксимация и графическое оформление зон ИЦД на расчетной схеме I5
3.3.3. Распределение значений P_u внутри зон ИЦД . . I5
3.4. Задание депрессионной кривой I6
3.5. Установление системы координат, границ области исследования, описание геометрии ИГП I6
3.5.I. Выделение ОИКЗУ из ИГП I6
3.5.2. Выбор координатных осей I8
3.5.3. Нумерация инженерно-геологических элементов . . I8
4. Подготовка исходной информации 20
4.I. Подготовка массива MZ. 2I
4.2. Подготовка массива MP. 2I
4.3. Подготовка массива MO. 22
4.4. Подготовка массива MH. 23
4.5. Подготовка информации к расчетам КЗУ в условиях сейсмики 25
4.6. Подготовка числа N I2 25
5. Краткое описание некоторых особенностей алгоритма программы 26
6. Контрольный пример 30
Литература 34
Приложение 35

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ С КРУГЛОЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ СКОЛЬЖЕНИЯ ПО ПРОГРАММЕ КЗУ86К

Научный редактор Н.П.Мельников
Литературный редактор Л.А.Порубай
Технический редактор А.Г.Воронцова
Корректор М.П.Елинсон. Художник Б.М.Попов

Подписано к печати 30 сентября 1987 г.
Объем 2,2 уч.-изд. л. Тираж 250 экз. Заказ №405.
Ротапринт ВИОГЕМ, Белгород, Б.Хмельницкого, 86.
Цена 33 коп.

gost.e-ecolog.ru