



**БОЛОТБЕК Т., К.У. НАСЫРЫНБЕКОВА К.У., САПАРБЕКОВ А.С.,
ЖОЛБОЛДУЕВ А.П.**

¹КГУСТА им. Н. Исанова, Бишкек, Кыргызская Республика

**BOLOTBEK T., NASYRYNBEKOVA K.U., SAPARBEKOV A.S.,
JOLBOLDUEV A.P.**

¹KSUCTA n. a. N. Isanov Bishkek, Kyrgyz Republic

temir.b.amir@gmail.com, nkaukhar@mail.ru, saparovaltynbek94@gmail.com,
alishka0210@mail.ru

КОНСТРУКЦИИ И РАСЧЕТ ПОДПОРНЫХ СТЕН

STRUCTURES AND CALCULATION OF SUPPORT WALLS

Макалада сейсмикалык термелүүлөр учурунда бекем дубалдардын каршылыгы жана аны жер титирөөлөрдө эсептөө ыкмалары талкууланат. Бул чөйрөдөгү ар кандай авторлордун эсептөө методологиялары каралып, дубалды бекемдөө үчүн колдонула турган өз методдору сунушталат. Ошондой эле дубалды бекемдөө принциптери каралат..

Өзөк сөздөр: дубалды кармап туруу, кыртыштын түзүлүшү, топурак негизи, жээк, казуу, жантайыңкы, каршылык, сейсмикалык таасир..

В статье рассматриваются вопросы резистентности подпорных стенок при сейсмических колебаниях и методы их расчета в условиях реальных землетрясений. Рассмотрены методологии расчета различных авторов в данной области и предложены собственные методы, применимые для подпорных стенок. Рассмотрены также принципы армирования подпорных стенок.

Ключевые слова: подпорная стенка, грунтовое сооружение, земляное полотно, насыпь, выемка, откос, резистентность, сейсмическое воздействие.

The article discusses the resistance of retaining walls during seismic vibrations and methods for their calculation in real earthquakes. The calculation methodologies of various authors in this field are considered and their own methods are proposed that are applicable for retaining walls. The principles of reinforcing retaining walls are also considered.

Key words: retaining wall, soil structure, subgrade, embankment, excavation, slope, resistance, seismic impact.

Искусственные сооружения в условиях Кыргызстана, в частности подпорные стенки рассмотрены в [1]. Влияние геометрических параметров косогора, ведущие к увеличению сейсмического ускорения грунта основания, дано в работе [2], где график соотношения компонентов смещения грунтов основания (нормального –U и тангенциального –W) в продольной и поперечной волнах в зависимости от углов падения волн e, e`.

Для продольных волн, при e = 0°

$$\frac{R_{\text{пов}}}{R_{\text{пад}}} = 2 \tag{1}$$

при

$$\frac{R_{\text{пов}}}{R_{\text{пад}}} = 2 \tag{2}$$

где $R_{\text{пов}}$, $R_{\text{пад}}$

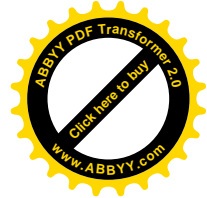
соответственно нормальная компонента смещения на поверхности основания и в падающей волне.

Далее принято

$$\frac{R_{\text{пад}}}{R_{\text{пов}}} = \frac{R_{\text{пов}}}{R_{\text{пад}}} \tag{3}$$

Из (1) и (2) получим

$$\frac{R_{\text{пов}}}{R_{\text{пов}}} = \frac{R_{\text{пов}}}{R_{\text{пов}}} \tag{4}$$



$$\frac{R_{\text{пов}}}{R_{\text{пад}}} \approx \frac{R_{\text{пов}}}{R_{\text{пад}}} \quad (5)$$

где $R_{\text{пов}}$, $R_{\text{пад}}$ - соответственно тангенциальная составляющая сейсмического смещения почвы в поперечной волне на поверхности земли и в падающей волне.

Принято

$$\frac{R_{\text{пов}}}{R_{\text{пад}}} \approx \frac{R_{\text{пов}}}{R_{\text{пад}}} \quad (6)$$

Получим

$$\frac{R_{\text{пов}}}{R_{\text{пад}}} \approx \frac{R_{\text{пов}}}{R_{\text{пад}}} \quad (7)$$

Выше отмеченное подтверждает, что сейсмическое ускорение грунтов основания на склоне (нормальная компонента в продольной волне и тангенциальная в поперечной волне) может быть несколько больше, чем на равнинном участке, т.е. за счет крутизны склона возможно увеличение интенсивности проявления землетрясения на один балл и даже более.

Как известно, на косогоре, кроме увеличения расчетной сейсмичности, существенно воздействие равнодействующей инерционной нагрузки параллельно уклону склона.

На насыпь и насыпную часть грунтовых сооружений, расположенных на косогоре, верхняя часть грунта косогора воздействует как на подпорную стенку. Поэтому целесообразно рассмотрение методов расчета активного давления грунта при землетрясении на подпорные стенки. Кроме того, это дает представление о влиянии крутизны косогора, как засыпки, на степень увеличения активного давления грунта.

В работе [3] предложили для подпорной стенки с вертикальной гладкой гранью определить активное давление сыпучего грунта от сейсмического воздействия при горизонтальной поверхности по формуле:

$$c = \frac{\gamma h}{\alpha} \text{tg}(45^\circ - \frac{\alpha}{2}) \quad (8)$$

где γ -объемный вес поддерживаемого грунта;

h - высота стены;

α -коэффициент сейсмичности;

α -угол внутреннего трения грунта.

А предложенная Мононобе и Матсуо [4] формула выглядела

$$c = \frac{\gamma h \sin(\alpha - \beta) \cos(\alpha + \beta)}{\cos(\alpha - \beta) \cos(\alpha + \beta) - \sin(\alpha - \beta) \sin(\alpha + \beta)} \quad (9)$$

где, β -угол наклона задней грани к вертикали;

α -угол наклона дневной поверхности поддерживаемого массива грунта;

β -угол трения грунта о заднюю грань стены;

α -сейсмический угол;

α_v -сейсмический коэффициент, соответствующий вертикальной компоненте сейсмического ускорения.

Для случая вертикальной гладкой стены с горизонтальной поверхностью поддерживаемого массива ($\alpha = \beta = \beta = 0$) и $\alpha_v = 0$ (9) примет вид

$$c = \frac{\gamma h \sin(\alpha - \beta) \cos(\alpha + \beta)}{\cos(\alpha - \beta) \cos(\alpha + \beta) - \sin(\alpha - \beta) \sin(\alpha + \beta)} \quad (10)$$

Для случая $\alpha = \beta = 0$ уменьшенного на угол α в [5] предложили формулу

$$c = \frac{\gamma h \sin(\alpha - \beta) \cos(\alpha + \beta)}{\cos(\alpha - \beta) \cos(\alpha + \beta) - \sin(\alpha - \beta) \sin(\alpha + \beta)} \quad (11)$$

Для вертикальной задней грани стены (11) примет вид, где $\alpha = 0$:

$$c = \frac{\gamma h \sin(\alpha - \beta) \cos(\alpha + \beta)}{\cos(\alpha - \beta) \cos(\alpha + \beta) - \sin(\alpha - \beta) \sin(\alpha + \beta)} \quad (12)$$

В целях определения активного сейсмического давления с вертикальной гладкой стеной задней грани

$$c = \frac{\gamma h}{\alpha} (1 + 2 \frac{\alpha}{\alpha}) \text{tg} 45^\circ \quad (13)$$

Исследования А.В.Рухадхе [5] отмечают, что эпюра динамического давления грунта на подпорную стену является криволинейной, а не треугольной как считалось ранее. По



А.В.Рухадзе, добавочное давление грунта от сейсмического воздействия по всей высоте стены равно ($\sigma = \sigma = \sigma = 0$), рис. 2.

$$\sigma_c = 0,75 \sigma_a \sigma \sigma \quad (14)$$

Сейсмическое активное давление (рис. 3) равно ($\sigma \sigma 0$)

$$\sigma_c = \frac{\sigma \sigma \sigma \sigma \sigma}{\sigma} \sigma \sigma \sigma \sigma \sigma \quad (15)$$

Западный опыт в транспортном строительстве применяет для временных и постоянных сооружений анкерные тяги (рис.4), разработан фактический метод расчета внутренней и внешней (общей) устойчивости откосов и подпорных стен [7], где применены анкеры. Предложен метод распределения нагрузки для передачи ее с ряда анкеров в виде линейной равномерно распределенной по потенциальной поверхности скольжения и разработаны программы предельного равновесия устойчивости откосов, что позволяет рассчитать устойчивость подкрепленных анкерами откосов и оценить общую устойчивость подпорных стен с анкерами.

Из рассмотренных методов расчета сейсмостойкости откосов грунтовых сооружений видно, что получаемые по ним различные результаты объясняются неодинаковым учетом распределения сейсмических ускорений по высоте откосов.

Метод, основанный на динамической теории сейсмостойкости, который позволяет учесть период собственных колебаний сооружения, неравномерность распределения сейсмических сил, наиболее обоснован. Конфигурация откосов насыпей, вычисленная по этому методу, соответствует очертаниям, образующимся при землетрясении.

В выемке распределение ускорений изменяются практически не значительно, что позволяет откосам выемки придать большую крутизну, а расчет производить по методу Мононобе.

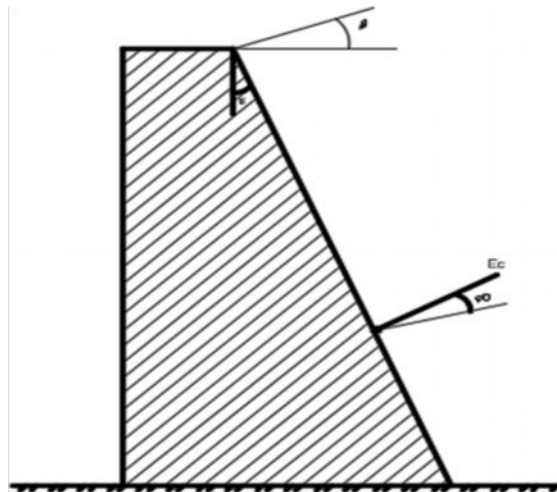


Рис.1. Схема к методу расчета активного давления на подпорную стенку по Мононобе и Матсую

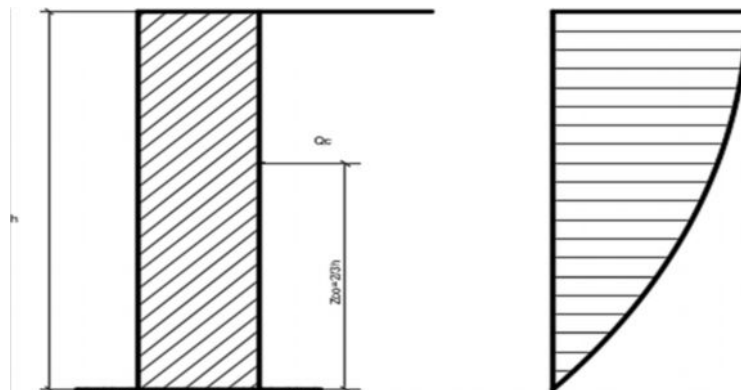


Рис. 2. Схема к методу расчета активного давления на подпорную стенку по А.В. Рухадзе

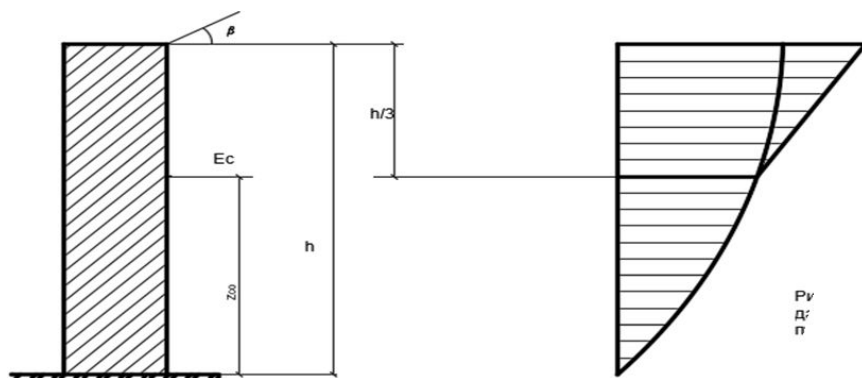


Рис. 3. Схема к методу расчета активного давления на подпорную стенку по А.В. Рухадзе при $B \neq 0$

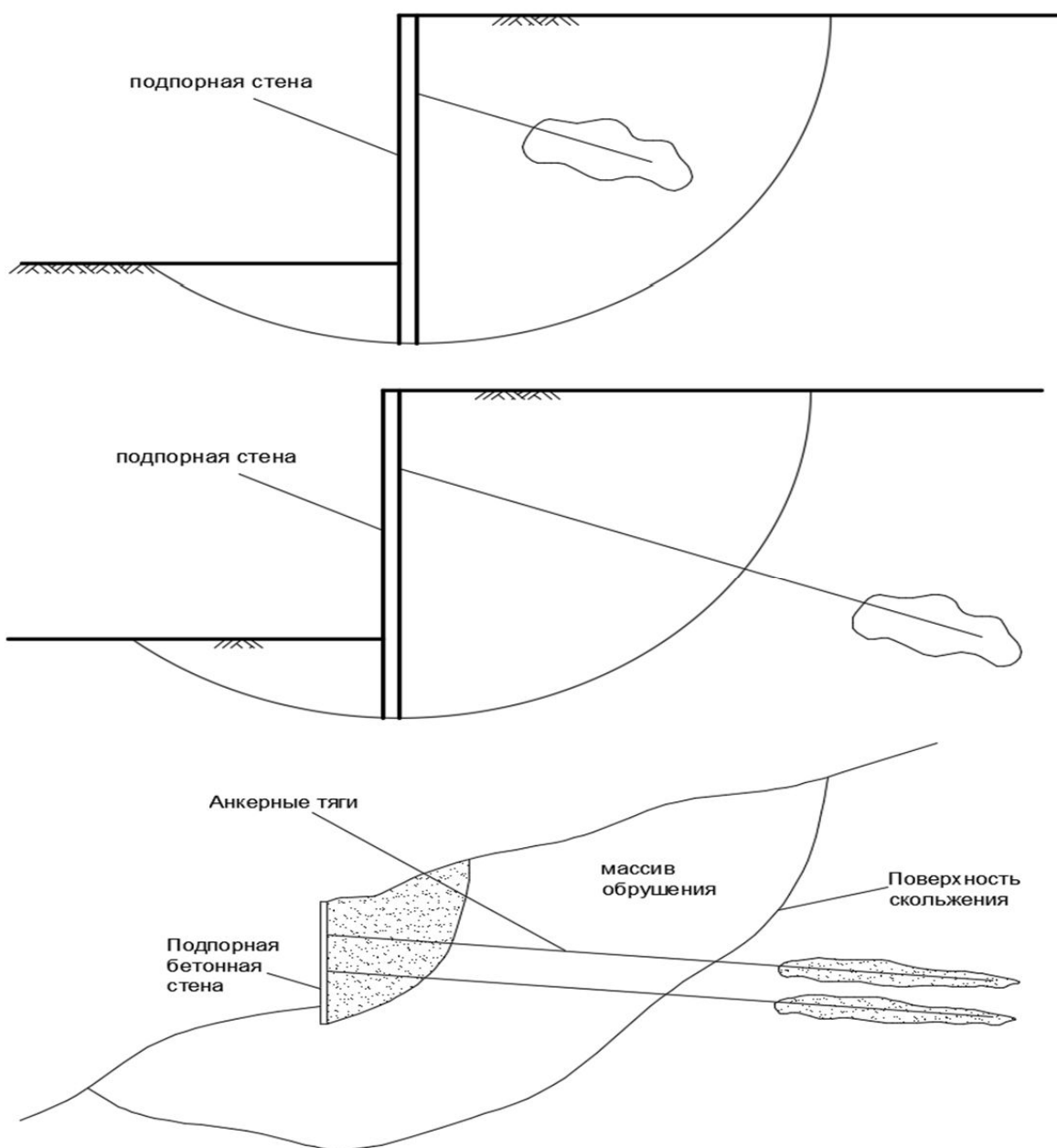


Рис. 4. Бетонные подпорные стенки с анкерными тягами

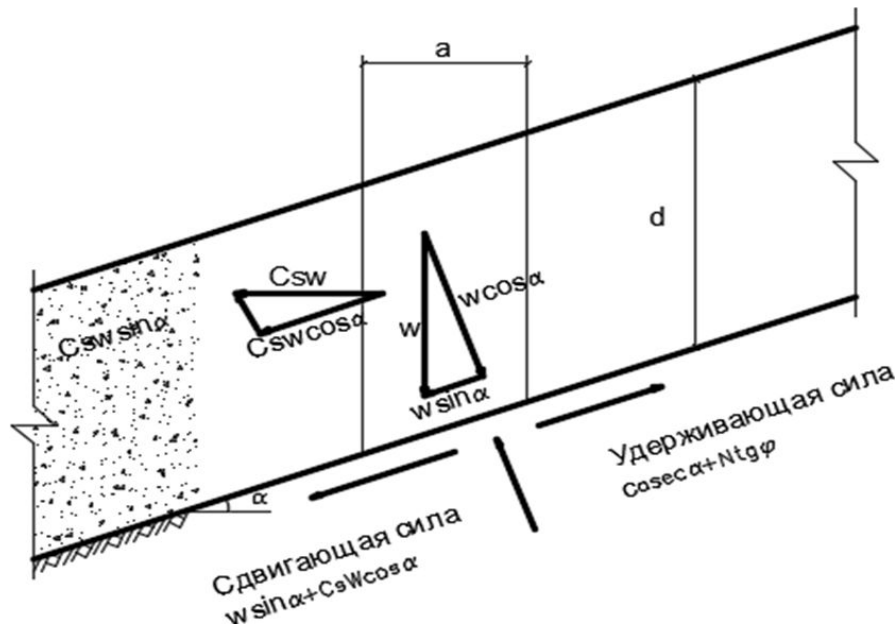


Рис. 5. Схема бесконечного откоса

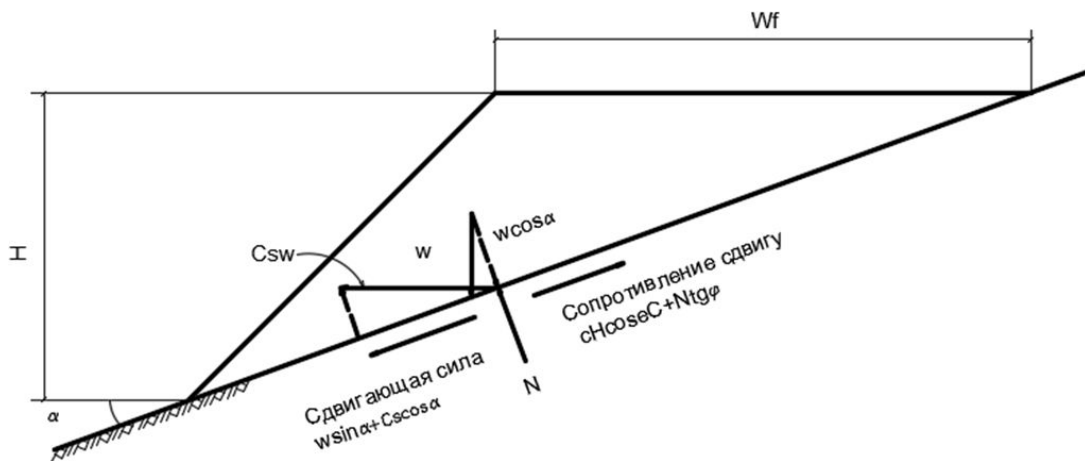


Рис. 6. Сдвиг насыпи треугольной формы по плоскости

На Рис. 5 показан бесконечный откос, подстилаемый поверхностью скалы с наклоном α . Откос считается бесконечным, так как его длина намного превышает глубину d . Выделен элемент шириной a . Рассмотрены только вес W и сейсмическая сила. В отличие от обрушения круглоцилиндрического характера учитывается влияние сейсмической нагрузки на силу, нормальную к плоскости скольжения, а следовательно, на сопротивление сдвигу. Коэффициент запаса F определяется как отношение удерживающей силы, обусловленной прочностью грунта на сдвиг вдоль поверхности грунта на сдвиг вдоль поверхности скольжения к сдвигающей, связанной с весом призмы обрушения.

$$F = \frac{Csw \sec \alpha + N \tan \phi}{w \sin \alpha + Csw \cos \alpha} \quad (16)$$

- где w - удельный вес грунта призмы обрушения, $W = wad$;
 C_s - эффективное сцепление грунта;
 α - угол внутреннего трения;
 ϕ_0 - коэффициент сейсмичности.



На рис. 6. изображена насыпь треугольного профиля на наклонной поверхности, коэффициент запаса которого равен

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{2} \gamma_i H_i^2 \cos^2(\alpha - \beta_i) + c_i \cos \alpha - \gamma_i H_i \sin \alpha \right]}{\sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{2} \gamma_i H_i^2 \sin \alpha \cos(\alpha - \beta_i) + c_i \sin \alpha - \gamma_i H_i \cos \alpha \right]} \quad (17)$$

- - эффективный угол внутреннего трения;
- - угол откоса насыпи.

Если вместо высота насыпи –H, дана ширина насыпи –W, то получим

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{2} \gamma_i W_i^2 \cos^2(\alpha - \beta_i) + c_i W_i \cos \alpha - \gamma_i W_i \sin \alpha \right]}{\sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{2} \gamma_i W_i^2 \sin \alpha \cos(\alpha - \beta_i) + c_i W_i \sin \alpha - \gamma_i W_i \cos \alpha \right]} \quad (18)$$

Уравнение (18) указывает на то, что коэффициент запаса не зависит от угла наклона насыпи □, если в качестве критерия при проектировании используют ширину насыпи □, как с изменением □ в одинаковой пропорции меняются как удерживающая, так и сдвигающая сила.

Подобное решение получено и для трапециидального поперечного сечения.

Методы расчета на сейсмические нагрузки для сооружений с армогрунтом основывается на двух подходах:

- 1) Прогноз динамических растягивающих напряжений, которые являются результатом подвижки грунта;
- 2) Выбор в качестве расчетного критерия разрушения – выдергивания арматуры и связанное с ним определение возможных деформаций и их допускаемых значений [9].

Общее горизонтальное динамическое усилие в подпорных стенках пропорционально расчетной величине спектрального ускорения

$$\sigma_{\text{гор}} = \Gamma_{\text{г}} \sigma_{\text{г}} + \Gamma_{\text{а}} \sigma_{\text{а}} \quad (19)$$

где $\Gamma_{\text{г}}$ и $\Gamma_{\text{а}}$ - факторы, характеризующие первую и вторую формы модельных испытаний;

$S_{\text{аг}}$ и $S_{\text{аа}}$ - спектральные ускорения первой и второй форм.

$S_{\text{аг}}$ и $S_{\text{аа}}$ является функциями собственных частот и затухания колебаний сооружений из армированного грунта. При малых деформациях первой и второй основные периоды ($T_{\text{г}}$ и $T_{\text{а}}$) сооружения из армированного грунта высотой H равны

$$T_{\text{г}} = \frac{H}{100}; \quad T_{\text{а}} = H/100$$

Эффективная масса $M_{\text{эф}}$ грунтового сооружения, находящегося под воздействием землетрясения, может быть определена из выражения

$$M_{\text{эф}} = 0,75 K_{\text{н}} \sigma_{\text{н}} / g \quad (20)$$

а общее динамическое усилие $\sigma_{\text{д}}$ равно

$$\sigma_{\text{д}} = [\sigma_{\text{аг}} + 0,2 \sigma_{\text{аа}}] M_{\text{эф}} \quad (21)$$

Метод перемещений предполагает, что сооружение будет разрушаться за счет выдергивания арматуры при смещении, возникающем по известной поверхности обрушения. Определив распределение растяжения в арматуре, можно вычислить критическое горизонтальное ускорение, предложенное в качестве псевдостатической силы, вызывающей обрушение по заданной плоскости скольжения. Расчет подразумевает использование дополнительного предположения об осредненном расчетном коэффициенте сейсмичности $K_{\text{н}}$. При $K_{\text{н}} \geq K_{\text{к}}$ будет возникать скольжение и могут быть определены перемещения армированного сооружения. Нарушение в пределах армированного массива - ограниченное разрушение; или распространяться в обратную засыпку – неограниченное разрушение. Ограниченное разрушение (рис. 7)

$$\sigma_{\text{к}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_{\text{аг}}^{\text{max}}}{c} - \text{ctg}(\alpha + \beta) \quad (22)$$

Неограниченное разрушение (рис. 8)

$$\sigma_{\text{к}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_{\text{аг}}^{\text{max}} \Phi_i}{c} \quad (23)$$

где $\sigma_{\text{ср}} = \frac{\sum \sigma_i}{n}$; $\sigma_i = \sigma_{\text{ср}} + \Phi$

Все перечисленные и приведенные формулы расчета откосов касаются только сейсмостойкости самого откоса и не всегда могут решить сейсмостойкость всего инженерного сооружения, так как работа сооружения в целом, его динамические характеристики в расчетах откосов, в основном, не учитываются и дают более точные результаты в расчетах выемок и больших насыпных плотин, обладающих пространственной жесткостью.

Эти формулы более приемлемы для расчета сооружений, имеющих большие геометрические размеры и зону разрыхления, которая составляет незначительную часть ее тела. Сейсмостойкость искусственных сооружений складывается из очень многих параметров: типа и геометрические размеры поперечного профиля, условия рельефа местности, геологические строения основания, уровень грунтовых вод, физико-механические свойства грунтов земляного полотна, конструкция и тип самих сооружений.

Из анализа методов расчета искусственных сооружений на сейсмические воздействия можно сделать следующие выводы:

1. Существующих методов расчета откосов грунтовых сооружений на сейсмические воздействия недостаточны.
2. В расчете откосов земляных сооружений нет четкого разделения расчета откосов насыпей и откосов выемок, хотя известно, что условия работы этих сооружений при одинаковых размерах и грунтовых условиях далеко не идентичны.
3. Гидрогеологические и геологические условия земляного полотна и искусственных сооружений не учитываются в расчетах на сейсмические воздействия.

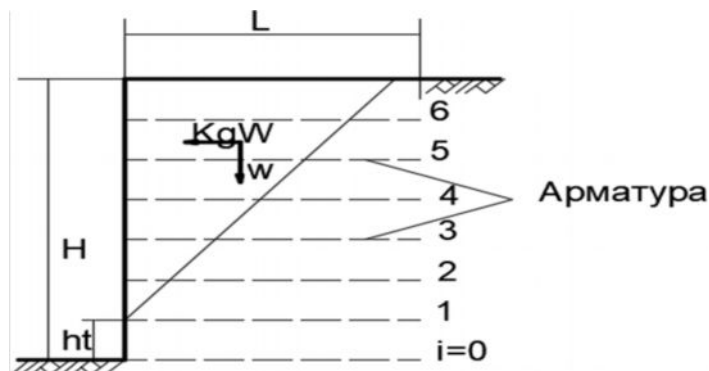


Рис.7. Схема учета сейсмического воздействия по методу перемещений (для ограниченного разрушения)

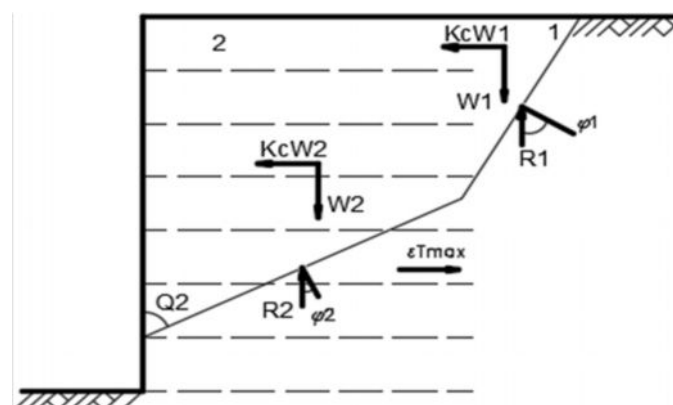


Рис.8. Схема учета сейсмического воздействия по методу перемещений (для неограниченного разрушения)



Список литературы

1. Абдужабаров А.Х. Сейсмостойкость автомобильных и железных дорог [Текст] / А.Х.Абдужабаров. – Бишкек: КАСИ, 1996. - 226 с.
2. Напетваридзе Ш.Г. Сейсмостойкость гидротехнических сооружений [Текст] / Ш.Г. Напетваридзе. – М.: ГСИ, 1959. - С. 91-120.
3. Bricke R. Erdbeben sickerhut von Bauwerken, Berlin, 1927, p.15.
4. Mononobe H. and Matsuo H. On the Determination of Earth Pressure during Earthquake. Proceedings of the Engineering World Congress, Tokyo, 1929, p.20-30
5. Указания по проектированию земляного полотна железных и автомобильных дорог (СН 449-72) [Текст]. – М.: Стройиздат, 1973, С.25-98.
6. Ризаев Ш.Р. Теория и методы расчета устойчивости откосов земляных сооружений [Текст] / Ш.Р.Ризаев. – Ташкент: Фан, 1969. - С.62-88.
7. Analysis of tieback slopes and walls using STABLS and PCSTABLS / Carpenter JamesR. // Transp. Rec. – No. 1191 – p. 176-187.
8. Хуан Я.Х. Устойчивость земляных каналов [Текст] / Я.Х.Хуан // Перев. В.С. Забавина. – М.: Стройиздат, 1988. С. 69-76.
9. Джоунс К.Д. Сооружения из армированного грунта [Текст] / К.Д.Джоунс // Перев.С англ. В.С. Забавина. – М.: Стройиздат, 1989. С.39-87.
10. Апсеметов М.Ч. Анализ повреждений зданий и мостовых сооружений при сильных землетрясениях [Текст] / М.Ч.Апсеметов, Д.К.Мурзакматов, А.А.Приходько, А.А.Тогузтороев // Вестник КГУСТА. – Бишкек: 2019. - №3(65). – с. 479-484.
11. Т.Болотбек. Инерционное демпфирование сейсмических сил зданий и сооружений со скользящим поясом [Текст] / Т.Болотбек, К.У.Насырынбекова, Токтогул уулу Ж., А.Б. Болотбеков // Вестник КГУСТА. – Бишкек: 2019. - №1(63). - с. 127-132.
12. Бекболотова Ж.С. Обеспечение устойчивости подпорных стен в сейсмических районах с учетом состояния грунтов обратной засыпки [Текст] / Ж.С.Бекболотова, С.Н.Крылова, Р.Д.Токоев // Вестник КГУСТА. – Бишкек: 2019. - №2(64). – с. 284-289.