

**УСТОЙЧИВАЯ КОНСТРУКЦИЯ ПОДПОРНЫХ СТЕНОК В УСЛОВИЯХ  
ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ****STABLE CONSTRUCTION OF RETAINING WALLS UNDER OPTIMAL  
DISTRIBUTION OF CONFINING PRESSURE**

*Бул макалада жарым радиалдуу тирөөчү дубал конструкциясы сунуш кылынат.*

*Ачкыч сөздөр: тирөөчү дубал, тоо басымы, басым, чыңалуу, сейсмикалык туруктуулук.*

*В этой статье предлагается полурадialная конструкция подпорной стенки.*

**Ключевые слова:** подпорная стенка, горное давление, нагрузка, напряжение, сейсмостойкость.

*In this paper we propose poluradialnaya construction of a retaining wall.*

**Keywords:** retaining wall, confining pressure, load, strain, seismic resistance.

Подпорные стены сооружают на горных участках автомобильных и железных дорог для защиты дорог и инженерных коммуникаций от динамических воздействий горных пород. Это искусственное сооружение, удерживающее от обрушения и сползания находящийся за ней массив грунта на уклонах местности как откосы, склоны, выпуклости и впадины поверхности участка. Широко применяются при террасировании естественных склонов с целью увеличения полезной площади для размещения элементов конструкции автомобильных и железных дорог. Подпорные стены также используют в гидротехническом строительстве. Существующие конструкции подпорных стен приведены на рисунках 1, 2.

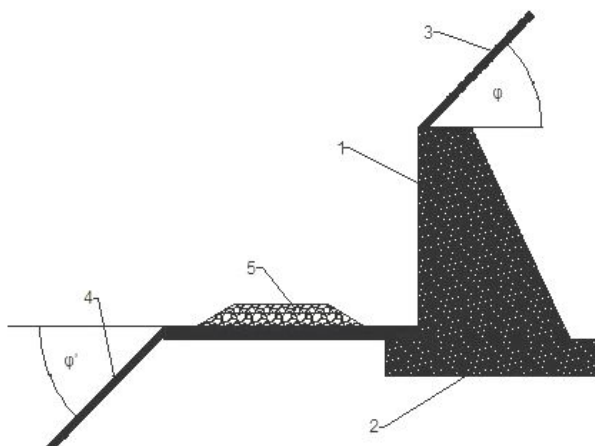


Рис. 1. Массивная подпорная стена:

1 – подпорная стенка; 2 – фундамент подпорной стенки; 3 – верховой откос склона; 4 – низовой откос склона; 5 – земляное полотно;  $\varphi$  – угол верхового откоса;  $\varphi'$  – угол низового откоса.

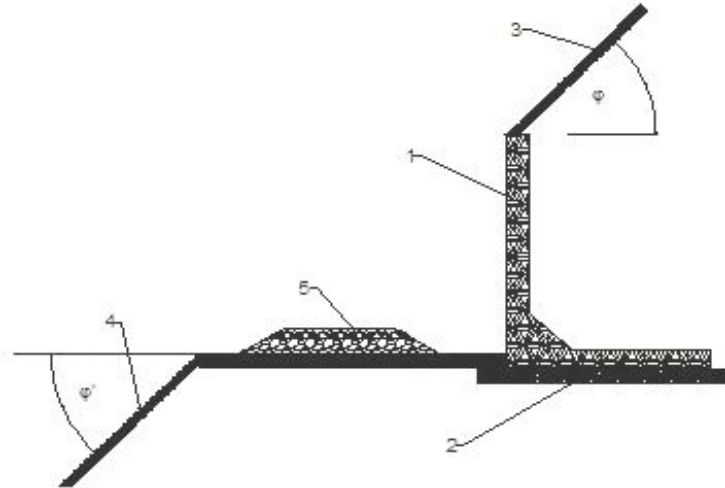


Рис. 2. Тонкостенная подпорная стена:

1 – подпорная стенка; 2 – фундамент подпорной стенки; 3 – верховой откос склона; 4 – низовой откос склона; 5 – земляное полотно;  $\varphi$  – угол верхового откоса;  $\varphi'$  – угол низового откоса.

Несмотря на положительные динамические характеристики подпорных стен, они имеют склонность к деформациям сдвига при значительных давлениях по круглоцилиндрической поверхности сползания, а также к деформациям по типу опрокидывания. В условиях Кыргызстана, где районы строительства представлены преимущественно скальными и полускальными грунтами, актуальность этой проблемы очень высока. В этой связи предлагается новая и эффективная конструктивная схема подпорных стен.

Предлагается полурadiaльная конструкция подпорных стен для оптимального распределения горного давления. По условиям конструкции подпорная стена имеет круглоцилиндрическую и полурadiaльную поверхность внутренней стороны подпорной стены, обращенной в сторону горного склона. В основу конструкции положено техническое решение для противолавинных галерей, где подпорная стена имеет радиальную форму и обращена вогнутой частью в сторону горного массива /1/. Далее приведем техническое обоснование предлагаемого конструктивного решения подпорных стен.

Каковы бы ни были причины, вызывающие нарушение устойчивости склонов, в конечном счете, движение горных масс происходит под действием гравитации. Следовательно, во многих случаях условия устойчивости склонов могут быть определены по условиям механики. Все эти методы исходят из одного условия равновесия, определяющегося из схемы сил, действующих на склон /2/.

Смоделируем какой либо склон в сопряжении с подпорной стеной (рис. 3). Примем, вес отсеченной части равен  $Q$ . Сила веса действует вертикально и должна быть разложена на две силы: касательную  $T=Q \sin \alpha$  и нормальную  $N=Q \cos \alpha$ . Сила  $T$  вызывает смещение горной массы, а сила  $N$  создает силу трения  $N_f$ , препятствующую такому смещению. Кроме того, смещению препятствуют силы сцепления  $c$ , действующие по плоскости площади  $F$ . Если угол  $\alpha$  примет критическое значение, соответствующее состоянию предельного равновесия, то можно составить уравнение предельного равновесия:

$$\begin{aligned} N_f + cF - T &= 0 \\ T &= N_f + cF \end{aligned} \quad (1)$$

Нормальное давление на единицу площади сдвига:

$$\delta = \frac{N}{F} = \frac{Q \cos \alpha_{кр}}{F} \quad (2)$$

Сдвигающее усилие на единицу площади сдвига:

$$\tau = \frac{T}{F} = \frac{Q \sin \alpha_{кр}}{F} \quad (3)$$

Критичное значение угла  $\alpha$ , при котором наступает состояние предельного равновесия, называют углом сдвига  $\varphi$ . С учетом отмеченного уравнения предельного равновесия примут вид:

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

$$\tau = \delta \operatorname{tg} \varphi + c$$

Из полученных равенств видно, что угол сдвига  $\varphi$  величина переменная и зависит от величины нормального давления на поверхность сдвига. Следовательно, поверхность сдвига криволинейна и только при отсутствии в породе сил сцепления обратится в плоскость.

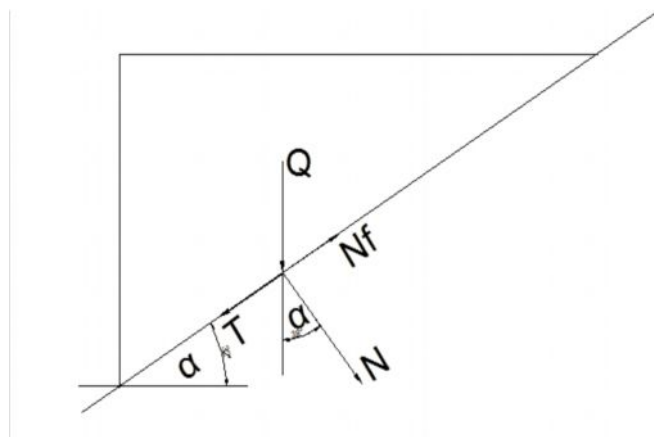


Рис. 3. Схема сил, действующих по плоскости оползания

Когда устойчивость откосов требуемой крутизны не обеспечивается, а уположить откос не представляется возможным, для его поддержания устраивают подпорные стенки. Подпорные стенки, поддерживая грунт, испытывают с его стороны давление, которое называется активным, а максимальное сопротивление грунта, когда на него давит элемент сооружения, называется пассивным отпором или пассивным давлением (Рис. 4.).

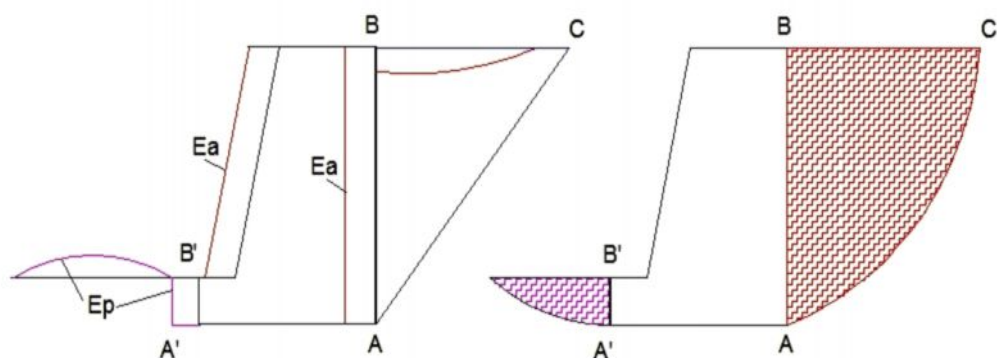


Рис. 4. Схема развития активного  $E_a$  и пассивного  $E_p$  давлений грунта на подпорную стенку и поверхности скольжения при активном и пассивном давлении грунта на подпорную стенку

Ш.Кулоном принято, что призма обрушения ведет себя как твердое тело, что позволяет применить уравнение равновесия к призме обрушения в целом. Графический

метод Кулона сводится к следующему (Рис.5.). Через нижнюю точку  $A$  задней грани подпорной стены проводят возможную поверхность скольжения  $AC$  под углом  $\alpha$  к горизонту. Затем находят силы, действующие на призму обрушения. Пусть вес призмы грунта  $ABC$  с учетом возможных вертикальных внешних нагрузок на поверхности грунта  $BC$  в пределах призмы обрушения будет равна  $F$ . При давлении призмы обрушения на стенку по задней ее грани развивается реактивная сила, равная силе давления  $E_a$ . Реактивная сила образует с нормалью к задней поверхности стенки угол  $\varphi_0$ . Третьей силой, действующей на призму  $ABC$ , является реакция  $R$  неподвижного массива грунта. Эта реакция отклонена от нормали к плоскости  $AC$  на угол внутреннего трения  $\varphi$ . Силу  $F$  легко определить, рассматривая равновесие участка подпорной стенки длиной  $1$  м:

$$F = S \nabla ABC \gamma + \sum q \quad (5)$$

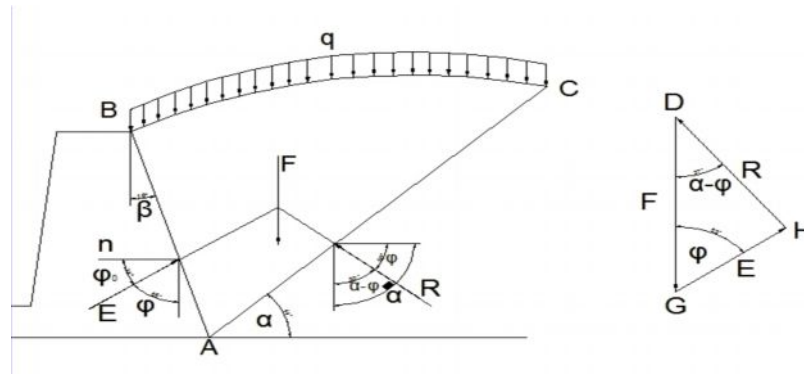


Рис. 5. Расчетная схема Кулона

Для технического обоснования применения предлагаемой полурadiaльной подпорной стенки построили расчетную схему (Рис. 6.). Рассмотрим действие вертикальной сосредоточенной силы  $N$ , моделирующей горное давление на подпорную стенку, приложенной в точке  $O$  к полурadiaльной плоскости наружной поверхности и вогнутой в породу. Эта плоскость является поверхностью линейно-деформируемого полупространства, простирающегося до пределов затухания давления горной породы. От действия силы  $N$  во всех точках полупространства возникает сложное напряженное состояние. В общем случае в каждой точке полупространства, несколько удаленной от точки  $O$ , в декартовой системе координат будет действовать шесть составляющих  $\delta_x, \delta_y, \delta_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ . Решение этой задачи имеет следующий вид:

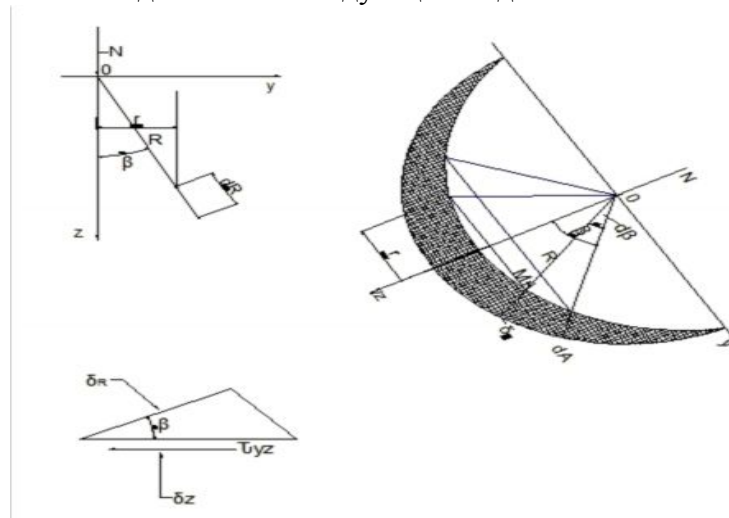


Рис. 6. Расчетная схема предложенной конструкции

Конструктивное решение поясняется рис. 7. Сравнительные графики динамических параметров подпорной стены приведены на рис. 8, 9, 10.

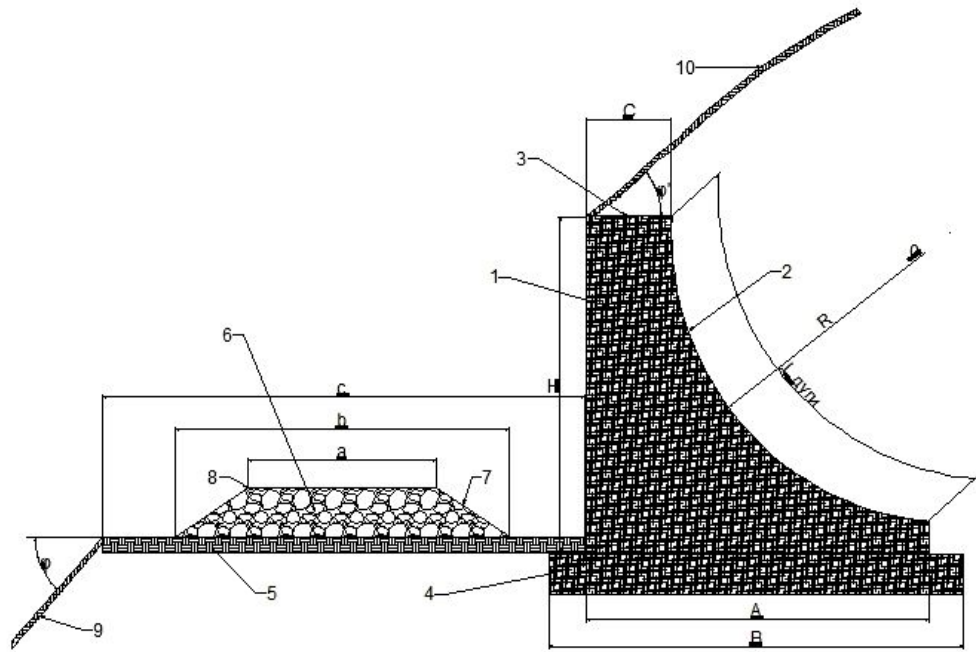


Рис. 7. Общий вид предложенной конструкции подпорной стенки:  
 1 – подпорная стенка; 2 – внутренняя полурадиальная поверхность стенки; 3 – гребень стенки; 4 – фундамент стенки; 5 – грунты основания; 6 – земляное полотно; 7 – откос земляного полотна; 8 – бровка земляного полотна; 9 – низовой откос склона; 10 – верховой откос склона.

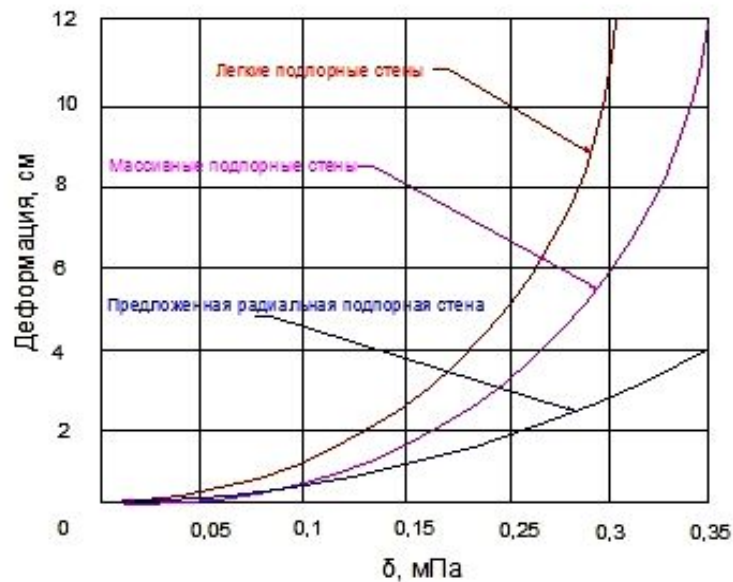


Рис. 8. График развития деформаций: легкие подпорные стены; массивные подпорные стены; полурадиальная подпорная стена.



Рис. 9. График реологии: легкие подпорные стены; массивные подпорные стены; полурadiaльная подпорная стена

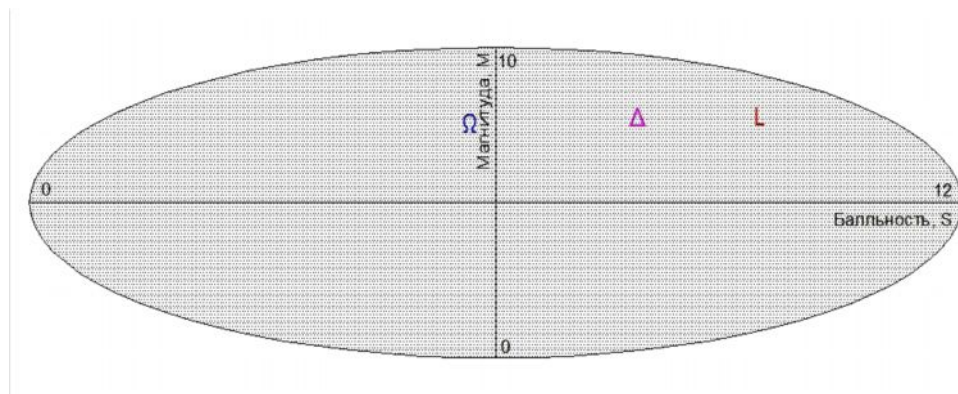


Рис. 10. График соотношений разрушений S и магнитуды M при землетрясении M=7,0

$\Omega$  – предложенная полурadiaльная подпорная стенка;  $\Delta$  – массивные подпорные стенки; L – тонкостенные подпорные стенки.

Выводы: практическое применение предложенного конструктивного решения полурadiaльной подпорной стенки для оптимального распределения горного давления позволит повысить сейсмостойкость подпорной стены на 40 % в сравнении с известными конструкциями. Уменьшит величину активного давления  $E_a$  горного склона на 30 % и сведет к минимуму пассивное противодействие самой подпорной стенки ввиду радиальной конструкции, что увеличит срок службы подпорной стенки и устойчивость откосов горного склона.

### Список литературы

1. Патент № 017531 Евразийская патентная организация (ЕАРО), МПК<sup>7</sup> E01F 7/04. Лавинозащитная галерея-трамплин / Иманалиев Т.Б. (Темир Болотбек); № заяв. 201000940; опублик. 30.01.2013, Бюл. № 1, 2013.
2. Пешковский Л.М. Инженерная геология [Текст]: Под ред. О.К. Ланге / Л.М. Пешковский. – М.: Высш. Школа, 1971. – с. 297.