

ПОЛУРАДИАЛЬНАЯ КОНСТРУКЦИЯ ПОДПОРНОЙ СТЕНЫ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Т.Б.ИМАНАЛИЕВ, Н.АСКАР К., З.А.ОСМОНАЛИЕВА, Б.М.ТУРГУМБАЕВА

E.mail. ksucta@elcat.kg

Бул макалада жарым радиалдуу тирөөчү дубал конструкциясы сунуш кылынат.

В статье предлагается полурadiaльная конструкция подпорной стены.

In this paper we propose semi radial construction retaining wall.

Современное состояние исследуемой темы. 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, таких 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.

Независимо от цели сооружения подпорная стенка состоит из основных частей:

- фундамент – подземная часть стенки;
- тело – надземная (видимая) часть несущей конструкции;
- дренаж и водоотвод, необходимые для повышения прочности подпорной стенки.

Фундамент, дренаж и водоотвод выполняют только технические функции. А тело, помимо прочего, оказывает противодействие значительным сдвигающим усилиям горного давления.

На подпорную стенку постоянно действуют следующие основные нагрузки:

- собственный вес конструкции (вертикальные силы);
- нагрузки на стенку от находящихся на ней грузов (вертикальные силы);
- давление грунта засыпки на стенку и ее фундамент (вертикальные силы);
- давление грунта засыпки за стенкой (горизонтальные силы);
- силы трения или сцепления с грунтом (горизонтальные силы).

Также при неравномерной осадке грунта, вымывании насыпного грунта при недостатках дренажной системы, неоднородной плотности грунта засыпки действие вертикальных сил может привести к навалу стенки на грунт.

Также необходимо учитывать, что на стенку действуют другие динамические силы:

- ветровые (при высоте стенки более 2 м);
- сейсмические (в сейсмоопасных районах);
- вибрационные (например, при интенсивном движении тяжелого подвижного состава);
- паводковые и ливневые потоки воды;
- морозное вспучивание грунта и т.д.

При проектировании стенки, наряду с ее прочностными характеристиками, необходимо максимально обеспечить ее устойчивость. Для повышения устойчивости подпорных стенок на сдвиг и опрокидывание при их проектировании принимают ряд конструктивных мероприятий:

– заднюю грань стенки проектируют с наклоном в сторону засыпки для уменьшения давления засыпного грунта, увеличивают шероховатость задней грани стенки, что также помогает уменьшить давление грунта засыпки на нее. Для этого грань делают неровной. В бетонных и железобетонных стенках смещают горизонтальные соседние доски опалубки на 5-10 см относительно друг друга. Делают небольшие сколы бетона. В кирпичных и каменных стенах делают выступы кладочного материала;

– устраивают обязательный дренаж стенки;

– с лицевой стороны стенки устраивается выступ – консоль. Это уменьшает вероятность опрокидывания стенки;

– закладывают в засыпаемый грунт легкие пустотелые элементы. Это уменьшает удельный вес засыпаемой массы и вследствие этого боковое давление на подпорную стенку. Например, используют гранулы пенополистирола (ППС), представляющие собой пустотелые шарики, заполненные газообразующим реагентом. Их плотность 8-10 кг/м³, размер гранул – 3-5 мм;

– применяют разгрузочную площадку в стенке. Площадка позволяют включить вес грунта над ней (дополнительные вертикальные силы) в работу, что повышает устойчивость стенки, уменьшает давление грунта на ее нижнюю часть.

Перечисленные мероприятия являются общими и могут быть применены к любым видам подпорных стен.

Размеры поперечного сечения и профиль подпорной стены определяют на основе инженерных расчетов ее прочности, устойчивости к опрокидыванию, сдвигу, навалу.

Подпорные стены различаются по способу возведения:

– сборные, изготавливаются в виде отдельных звеньев на заводах железобетонных изделий, а затем транспортируют к месту возведения. Они имеют уголкового профиля и бывают консольными или контрфорсными. Также монолитные стенки отливаются из армированного бетона, бутобетона на месте в заданную форму (опалубку);

– монолитные, выкладываются из различного строительного материала (камня, кирпича, дерева и т.д.) на месте строительства.

По глубине заложения:

– глубокого заложения (глубина заложения больше ширины стенки в полтора и более раза);

– неглубокого заложения.

По высоте:

– низкие (высота не превышает 1 м);

– средние (высота от 1 до 2 м);

– высокие (высота превышает 2 м).

По конструктивному решению достижения устойчивости (по массивности):

– массивные подпорные стенки. Устойчивость на сдвиг и опрокидывание достигается собственно массой стенки (бетон, бутовая или кирпичная кладка). Массивные подпорные стены более материалоемкие и трудоемкие при возведении, чем тонкостенные, и могут применяться при соответствующем технико-экономическом обосновании (например, при возведении их из местных материалов, отсутствии сборного железобетона и т.д.). Как правило, массивные подпорные стены имеют одинаковые размеры по высоте и ширине;

– полумассивные, устойчивость подпорной стенки обеспечивается комплексно: массой стенки и грунта, лежащего на фундаментной плите. Такие стены обычно представляют собой конструкцию из армированного бетона;

– толстостенные, обычно состоят из связанных друг с другом железобетонных плит. Устойчивость стен этого типа обеспечивается, в основном, массой грунта над фундаментной плитой и лишь в небольшой степени – собственным весом;

– тонкостенные, их устойчивость обеспечивается заземлением основания в грунте.

По локализации:

- отдельно стоящие;
- связанные с примыкающими сооружениями (противолавинные галереи, тоннели, гидротехнические сооружения).

По материалу изготовления:

- железобетонные;
- бетонные;
- бутобетонные;
- из природного камня;
- кирпичные;
- деревянные или металлические и т.д.

Для защиты подпорных стен от гидростатического давления используют дренажную систему подпорной стенки: дренаж может быть продольный, поперечный или комбинированный – продольно-поперечный. При поперечном дренаже в толще стены оставляют отверстия диаметром до 10 см или встраивают трубки диаметром 5 см с уклоном, чтобы вода уходила за пределы террасы в близлежащий водоприемник. Также можно в 1-3 рядах кирпичной или каменной кладки оставлять незацементированным один вертикальный шов. Шаг установки дренирующих труб (отверстий) рекомендуется 1,0 м. При продольном дренаже вдоль стенки на уровне фундамента укладывается дренажная гофрированная труба, завернутая в геотекстильный материал. При ее отсутствии также применяются керамические или асбоцементные трубы диаметром 100-150 мм с перфорацией. Вода впитывается геотекстильным материалом, затем попадает через отверстия в трубу и отводится за пределы террасы. В обоих вариантах между стенкой и грунтом укладывают дренирующий слой в виде фракционных материалов (гравий, галька, битый кирпич и т.д.) или крупнозернистый песок толщиной 70-100 мм. Слой устраивают одновременно с подсыпкой грунта. Несмотря на то, что, например, гравий создает значительное давление на стенку, он служит дополнительным дренирующим слоем, хорошо пропускающим воду к водосточным отверстиям. В качестве полноценной замены фракционным материалам применяют дренажные полотна (дренажный объемный геотекстиль, дорнит и др.). Дренажные гофрированные трубы применяются при осушении земель в дорожном строительстве и в гидротехнических сооружениях. Они изготовлены из полиэтилена низкого давления (ПНД). Префильтр препятствует проникновению в трубу частиц песка или грунта и предохраняет систему от заиливания. Хорошо гнутся. Соединяются друг с другом муфтами /1/.

После конструирования подпорной стенки следует заполнить пространство между ней и склоном сначала дренирующими грунтами – песчаными или крупнообломочными. Можно использовать битый кирпич, куски бетона и т.д., образовав дренирующий слой. Затем, послойно, толщиной 20-40 см засыпается ранее вынутый грунт с уплотнением. Желательно, чтобы это были местные крупнообломочные грунты, пески, супеси, а иногда и суглинки. Такие грунты предпочтительны для всех типов подпорных стен. Сверху укладывается слой растительной почвы.

Для предотвращения просачивания атмосферной воды в швы кладки, что ведет при ее замерзании к разрушению стены, необходимо в монолитных стенах предусматривать козырек со слезником, а в сборных – устанавливать карнизный блок с небольшим уклоном. На косогорных участках с целью отвода атмосферных вод за тыльной гранью стены должен быть устроен водоотводный кювет.

Выбор материала для подпорных стен обуславливается технико-экономическим расчетом, требованиями долговечности, охраны окружающей среды, условиями производства работ, наличием местных материалов и другими факторами.

Поверхность подпорных стенок (кроме подошвы фундамента) со стороны грунта защищается гидроизоляционным слоем. В качестве гидроизоляции можно применять различные материалы: рубероид, толь кровельную (в один-два слоя). Они наклеиваются по

горячей битумной мастике. При сухих грунтах достаточно обмазать поверхность горячей мастикой, битумом (как правило, в 2 слоя).

Для продления срока службы необходима гидроизоляция для подпорных стенок, выполненных из дерева, кирпича, бутобетона, железобетона, бетона и металла.

По степени заглубления фундаменты подпорных стенок подразделяются на фундаменты мелкого и глубокого заложения. Фундамент глубокого заложения – глубина заложения которых в 1,5 и более раза превышает их толщину в поперечном сечении. Толщина фундамента и глубина его заложения зависят от размеров конструкции подпорной стенки, характеристик подстилающих грунтов, глубины залегания подземных вод и глубины промерзания грунта. Применяются, как правило, фундаменты ленточные и свайные. Ленточный фундамент представляет собой монолитную, сборную или состоящую из отдельных блоков конструкцию, повторяющую линию подпорной стенки. Глубина залегания такого фундамента, как правило, не менее 60 см. При промерзании грунта глубину фундамента связывают с глубиной промерзания. Свайные фундаменты более глубокие, чем ленточные. Ряды свай могут быть заглублены в грунт на несколько метров. Такой метод используют при слабонесущих грунтах, он обеспечивает проникновение под телом стенки потока грунтовых вод. В этом случае грунтовые воды свободно проходят между сваями, не создавая подпора для стенки и склона.

К упругим конструкциям относятся подпорные стенки, которые выдерживают небольшие деформации без растрескивания. К этой группе относятся стенки сухой каменной кладки, ряжевые, габионные стенки. Ширина верхней части таких стенок не должна быть меньше 45 см, обычно она составляет 45-60 см.

В зависимости от конструкции и высоты подпорной стенки определяют необходимость наклона ее передней и задней граней. Для гравитационных подпорных стенок жестко закрепленной конструкции, высота которых вместе с фундаментом не превышает 1,5 м, наклон передней грани не требуется. При увеличении высоты небольшой наклон ($10-15^\circ$ от вертикали в сторону склона) передней грани стенки позволяет улучшить динамические параметры сооружения. Помимо этого наклон может повысить устойчивость стенки к опрокидыванию. Как уже отмечалось выше, наклон задней грани стенки в сторону засыпки снижает давление грунта на нее. Величина наклона зависит от грунта и технологических возможностей при строительстве и определяется расчетом. На рис. 1, 2 приведены существующие конструкции подпорных стен.

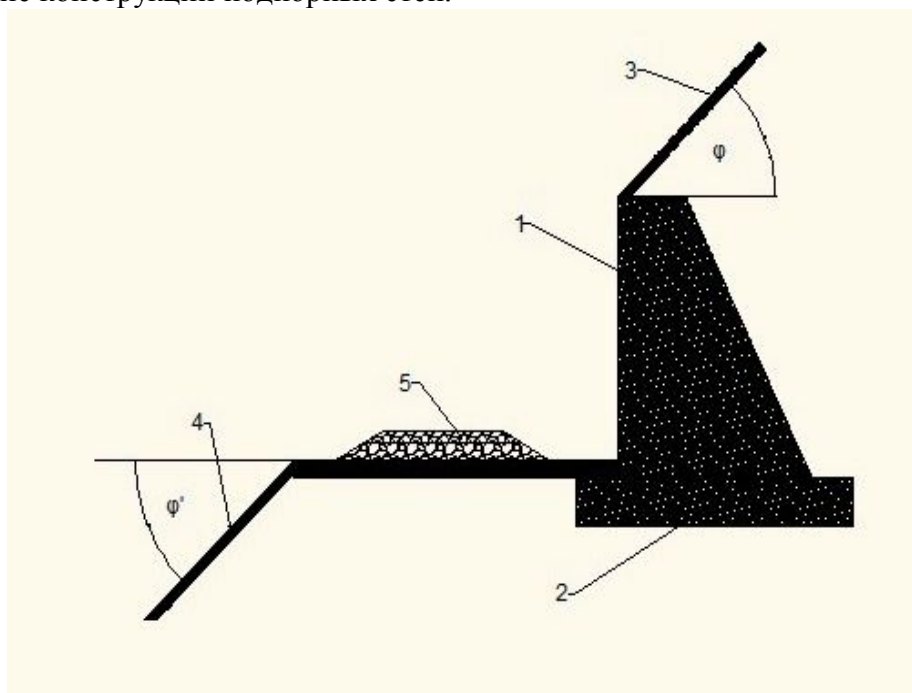


Рис. 1. Массивная подпорная стена:

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

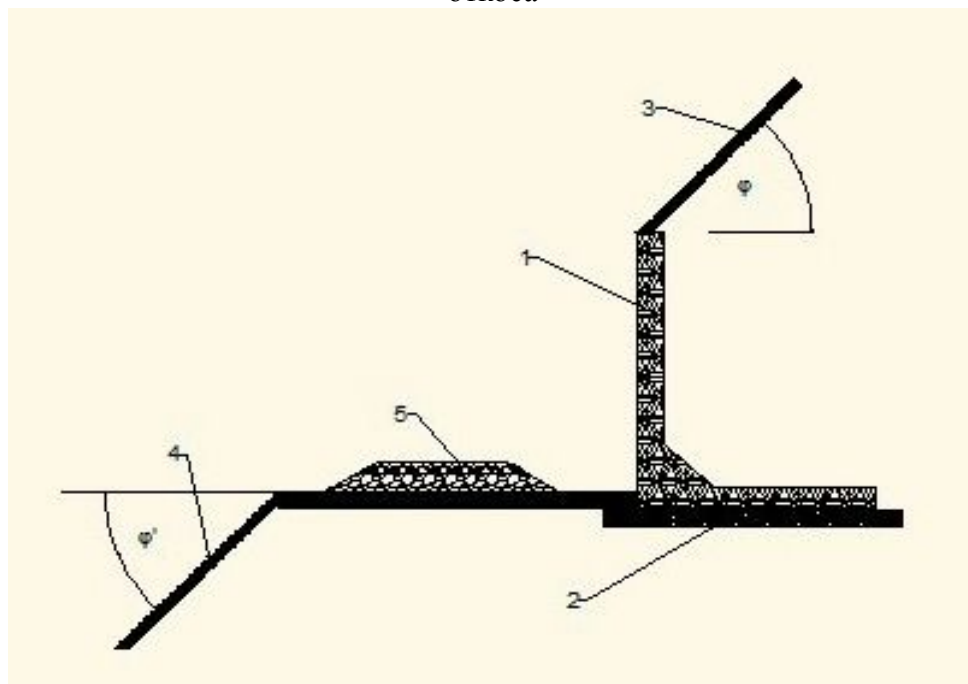


Рис. 2. Тонкостенная подпорная стена:

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

Актуальность темы исследования, обоснование принятой конструкции. Несмотря на описанные выше 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 «Полурадиальная конструктивная схема подпорных стен для оптимального распределения горного давления». По условиям конструкции подпорная стена имеет круглоцилиндрическую и полурадиальную 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 /2/. 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 /3/.

Смоделируем какой-либо склон в сопряжении с подпорной стеной (рис. 3). Примем, что 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 α примет критичное значение, соответствующее состоянию предельного равновесия, то можно составить уравнение предельного равновесия:

$$Nf + cF - T = 0, \quad (1)$$

$$T = Nf + cF.$$

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 α , при котором наступает состояние предельного равновесия, называют углом сдвига φ . С учетом отмеченного уравнения предельного равновесия примут вид:

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \alpha + \frac{c}{\delta}, \quad (4)$$

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

Из полученных равенств видно, что угол сдвига φ – 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.

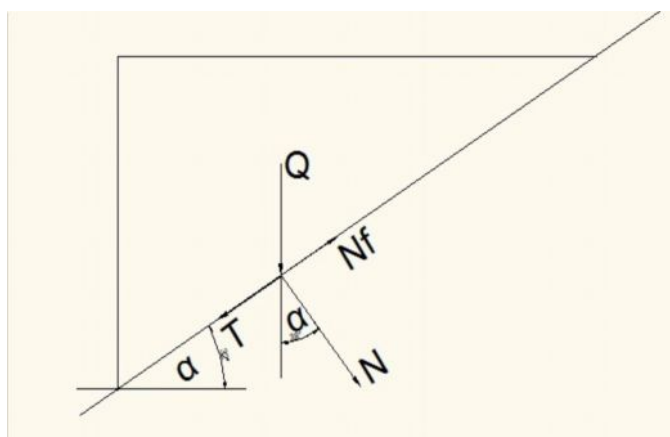


Рис. 3. Схема сил, действующих по плоскости оползания

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).

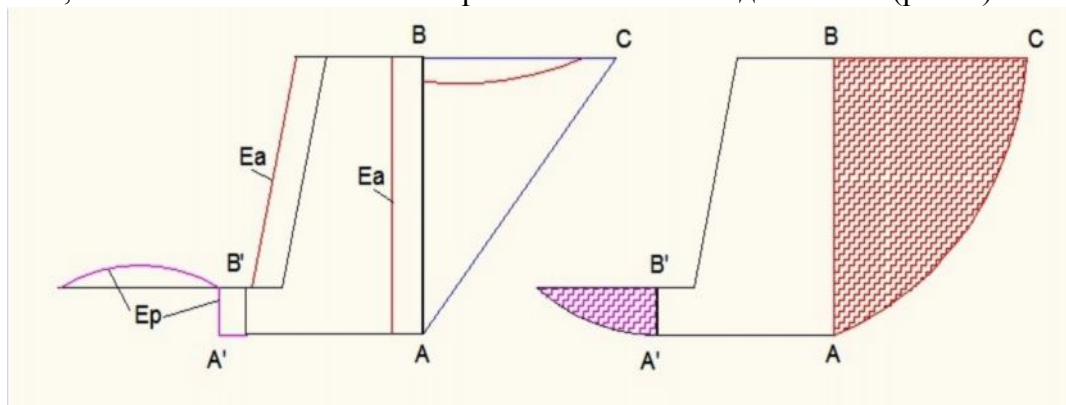


Рис. 4. Схема развития активного E_a и пассивного E_p давлений грунта на подпорную стенку и поверхности скольжения при активном и пассивном давлении грунта на подпорную стенку

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 α 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 φ_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 φ . Силу F легко определить, рассматривая равновесие участка подпорной стенки длиной 1 м:

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

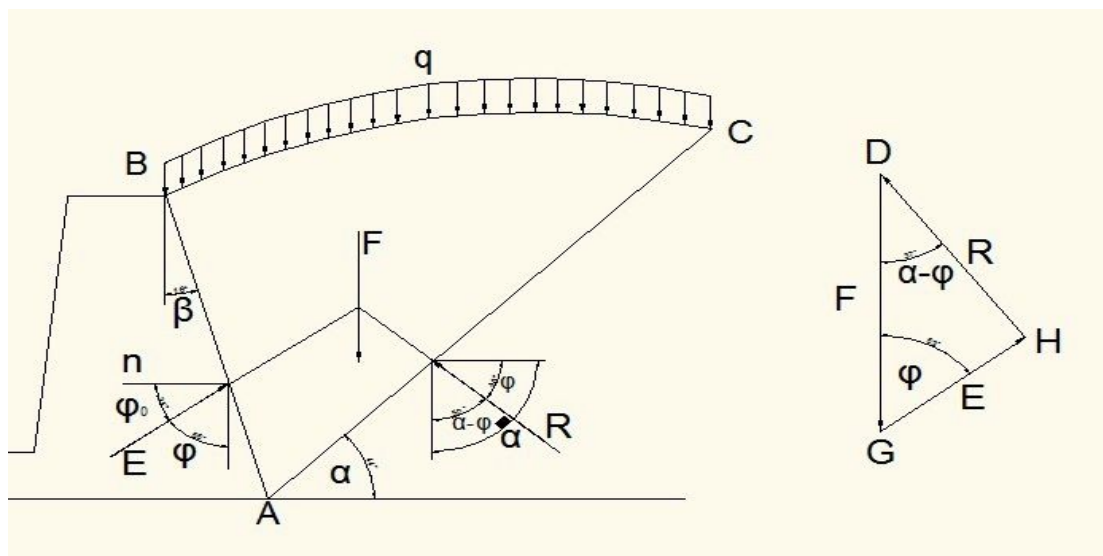


Рис. 5. Расчетная схема Кулона

Для технического обоснования применения предлагаемой полурадикальной подпорной стенки построили расчетную схему (рис. 6). Рассмотрим действие вертикальной сосредоточенной силы N , моделирующей горное давление на подпорную стенку, приложенной в точке O к полурадикальной 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:

$$\delta_R = \left(\frac{\alpha_1 \alpha_2}{R^2} \right) \cos \beta$$

$$N - \int_0^{\frac{\pi}{2}} \delta_R \cos \beta dA = 0$$

(6)

$$\delta_R = \frac{3}{2\pi} \frac{N}{R^2} \cos \beta$$

$$\delta_z = \frac{KN}{z^2}$$

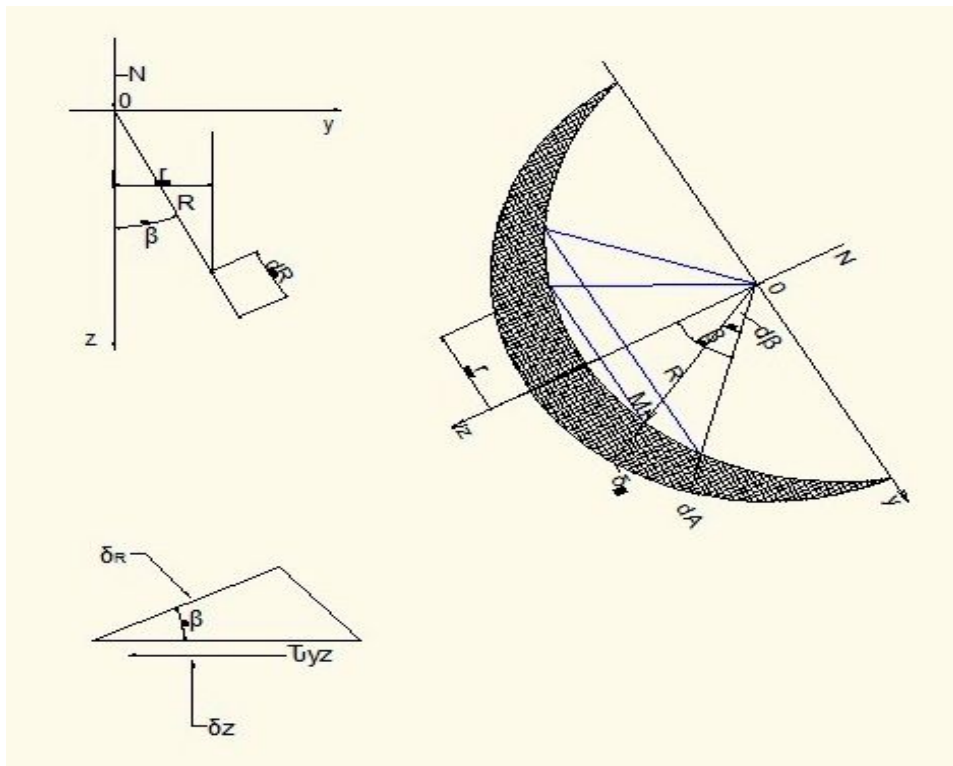


Рис. 6. Расчетная схема предложенной конструкции

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

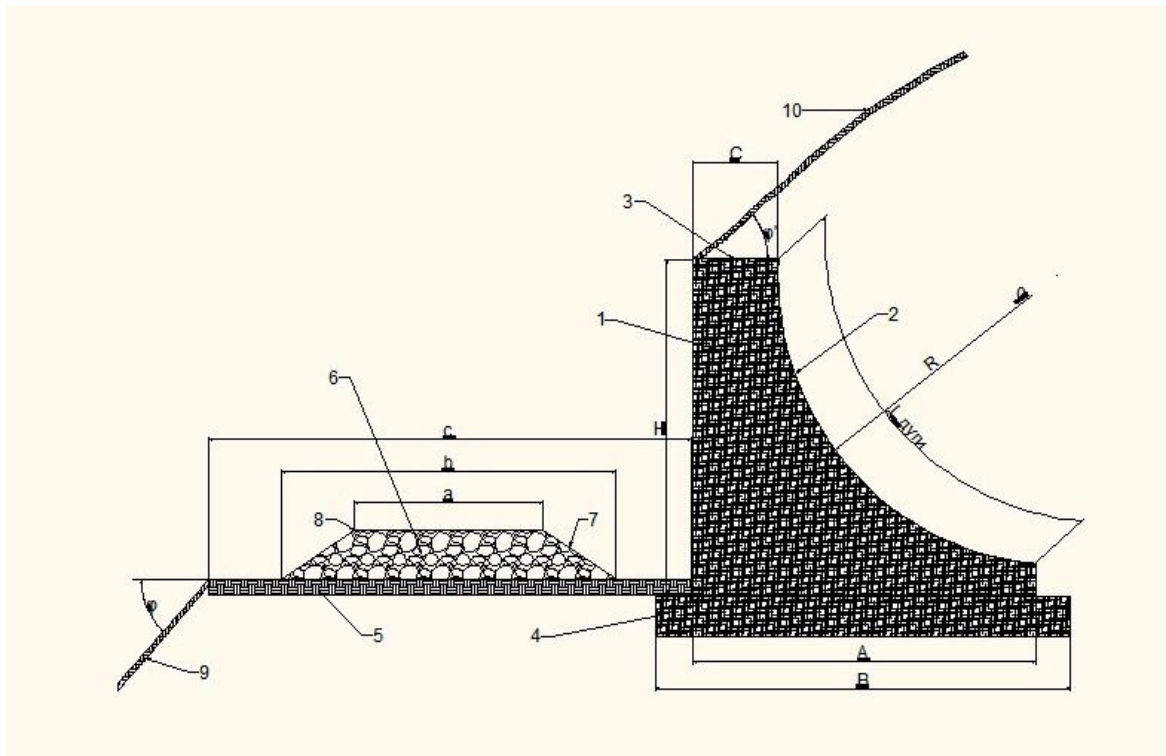


Рис. 7. Общий вид предложенной конструкции подпорной стенки:
 1 – подпорная стенка; 2 – внутренняя полурадиальная поверхность стенки; 3 – гребень стенки; 4 – фундамент стенки; 5 – грунты основания; 6 – земляное полотно; 7 – откос земляного полотна; 8 – бровка земляного полотна; 9 – низовой откос склона;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

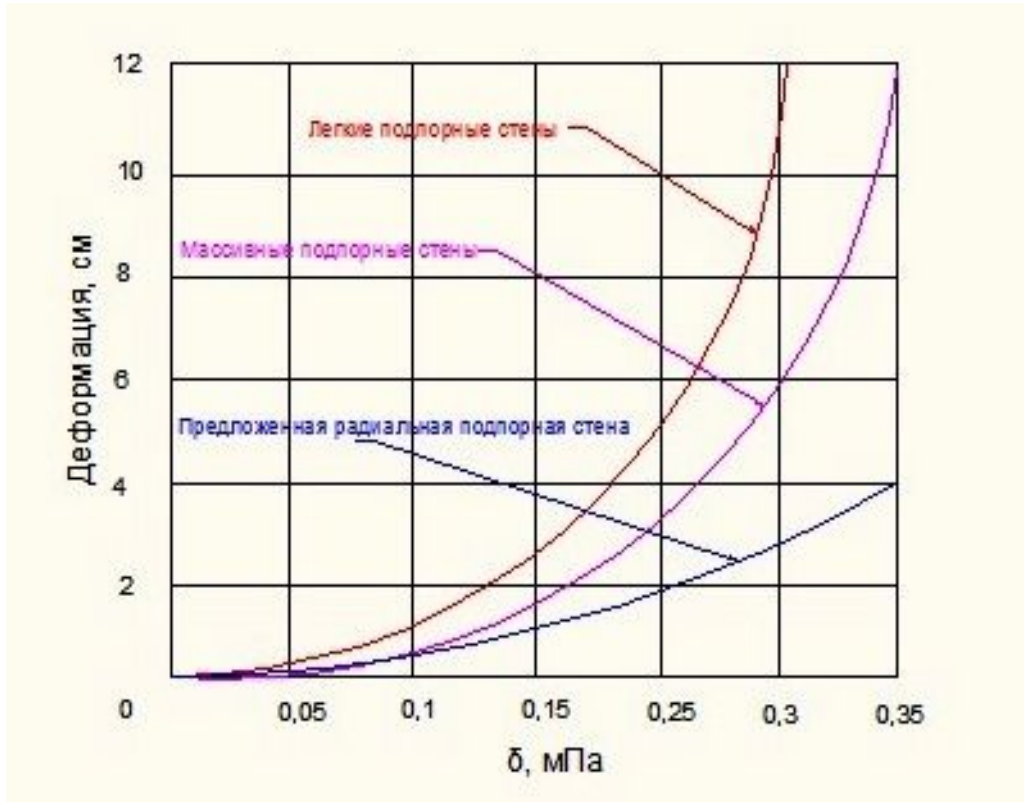


Рис. 8. График развития деформаций
 Легкие подпорные стены; массивные подпорные стены; полурадиальная подпорная стена



Рис. 9. График реологии

Легкие подпорные стены; массивные подпорные стены; полурадиальная подпорная стена

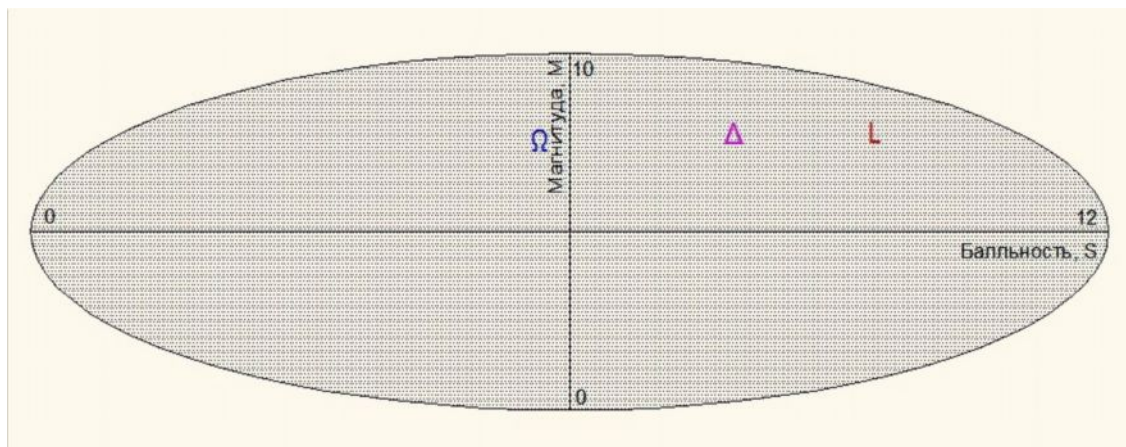


Рис. 10. График соотношений разрушений S и магнитуды M при землетрясении $M=7,0$
 Ω – предложенная полурадиальная подпорная стена; Δ – массивные подпорные стены;
 L – тонкостенные подпорные стены

Выводы: практическое применение предложенного технического решения «Полурадиальная подпорная стена для оптимального распределения горного давления» позволит повысить сейсмостойкость подпорной стены на 50 % в сравнении с известными конструкциями. Уменьшит величину активного давления E_a горного склона на 30 % и сведет к минимуму пассивное противодействие самой подпорной стены ввиду радиальной конструкции, что увеличит срок службы подпорной стены и устойчивость откосов горного склона.

Список литературы

1. <http://www.builderclub.com/>
2. Патент № 017531 Евразийская патентная организация (ЕАРО), МПК⁷ E01F 7/04. Лавинозащитная галерея-трамплин/Иманалиев Т.Б.; № заяв. 201000940; опубли. 30.01.2013, Бюл. № 1, 2013
3. Пешковский Л.М. Инженерная геология / Под ред. О.К.Ланге. – М., Высш. школа, 1971. – С. 297.