

ДИНАМИКА СКЛОНОВ И ОТКОСОВ

Гришин В.А., Гришин А.В. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Учитывая огромный материальный и моральный ущерб, а также человеческие жертвы, приносимые оползнями, и как следствие, большой интерес их познания, привело к тому, что на настоящее время по этим вопросам выполнено большое количество научных работ и издано громадное количество литературы. Но, несмотря на это, справедливым и в настоящее время можно считать, что исследованы склоны и возникающие на них оползни, еще очень и очень слабо. Все это свидетельствует еще о больших трудностях при изучении закономерностей движения и изменении свойств грунтов в оползневых процессах.

На Украине оползни распространены по правобережью Днепра в районе города Киева. Крупным оползневым районом является территория города Одессы и его пригородов, Крымское побережье Черного моря, северное побережье Азовского моря и горные области Карпат.

К настоящему времени в основном разрабатывались методы расчетов устойчивости склонов и откосов, относящихся к первой группе предельных состояний (устойчивость или прочность). Динамика оползневых процессов, связанная с взаимодействием грунтовых массивов с инженерными сооружениями на склонах и откосах или вблизи их, изучена слабо. Возникающие смещения склонов, вызванные оползнеобразующими факторами, могут быть также недопустимыми для нормальных условий эксплуатации сооружений, расположенных на склонах или вблизи их. Поэтому для предотвращения опасных последствий возникает необходимость расчета склонов и откосов по второй группе предельных состояний (деформации). Деформирование и устойчивость склонов и откосов должны рассматриваться как единый процесс, поэтому и методы расчета должны с единых позиций определять как напряженное, так и деформированное их состояние. Результаты исследования, выполненные в [3], позволяют осуществить такой подход.

В настоящее время существует два основных направления в решении оползневых задач. Многочисленные методы первого из них базируются на теории предельного состояния. Они подразделяются на две группы. К первой группе относятся методы, в которых задается по-

верхность разрушения оползней. Во второй группе методов, которые наиболее трудоемки в реализации, она определяется из расчета. Методы этих групп не являются строгими с механико-математической точки зрения и, опираясь на те или иные допущения, позволяют приближенно определять только степень устойчивости склонов или откосов. Вопросы реального распределения напряженно-деформированного состояния в окрестности любой их точки остаются открытыми или в отдельных частных случаях решаются методами теории упругости.

Рассмотрим некоторые особенности методов расчета, относящихся к первому направлению. Ввиду недостаточной изученности природы и механизма оползневого процесса точное очертание поверхности разрушения или существенные кинематические ее ограничения установить почти невозможно. Поэтому часто принимаемый механизм смещения по плоскостям или круглоцилиндрическим поверхностям, которые редко встречаются в реальных природных условиях, являются делом «вкуса» авторов предлагаемых ими методов расчета. Но методы второй группы позволяют определять форму поверхности откоса в зависимости от заданной на нем нагрузки, когда все его точки находятся в предельном напряженном состоянии, что не реально с практической точки зрения. Далее, эти методы различаются степенью нарушения условий, которые устанавливают статическое равновесие смещаемой части грунтового массива. Количественной характеристикой методов расчета этого направления является коэффициент запаса, предполагаемый как постоянная величина вдоль всей поверхности скольжения, и характеризующий сдвиговый механизм оползней, а не природу прочности грунта. Наименьшая его величина, соответствующая условию предельного состояния склона или откоса по поверхности скольжения, определяется повторными расчетами, уточняющими положение этой поверхности

Ввиду большого количества существующих методов расчета первого направления было выполнено их сопоставление по оценке степени устойчивости склонов и откосов, опираясь на полученные конечные результаты. Первая такая работа была осуществлена О. К. Фрелих, затем она выполнялась И. В. Федоровым, Р. Р. Чугаевым, М.Н.Гольдштейном и наиболее убедительно Н. Н. Масловым [1]. Было проанализировано большое количество реальных оползневых безводных, слабо обводненных, разной высоты и состоящих из самых разнообразных грунтов склонов, расположенных в бывшем СССР, ДРВ, Англии, Норвегии и других странах. Результаты проведенных сопоставлений позволяют сделать следующие основные выводы. Во-первых, расхождения по средним значениям коэффициентов запаса

основных методов расчета, которые не удовлетворяют и удовлетворяют уравнениям статического равновесия, составляет 5 - 10 %. Следовательно, вносимые в оползневые расчетные методы этого направления различные теоретические уточнения оказывают незначительное влияние на окончательные результаты расчетов. Во-вторых, величины коэффициентов запаса, установленные расчетом применительно к склонам и откосам, потерявшим свою устойчивость в связи с оползнем, оказались для большинства методов значительно больше единицы, т. е. дают для целей практики неприемлемые результаты.

Проведенный анализ показал бесперспективность дальнейших теоретических уточнений без коренных преобразований методов расчета первого направления. Поэтому встал вопрос о разработке новых расчетных схем, учитывающих более полно природные свойства грунтовых сред. Происходящее в это же время интенсивное развитие вычислительной техники, совместно с запросами практики по совершенствованию исследований оползневых процессов, дали толчок развитию методов расчета второго направления, исходные уравнения которых имеют более сложный вид и могут быть реализованы в основном только с применением ЭВМ. Немногочисленные методы этого направления, интенсивно разрабатываемые в настоящее время, позволяют определять из расчета в любой точке грунтового массива, как напряжения, так и деформации, которые являются важным фактором при изучении состояния склона и откоса, или при строительстве на них различных сооружений. Эти методы различаются моделями грунтовой среды и определением понятия предельного состояния. Они позволяют по определенным из расчетов напряжениям и деформациям производить с единых позиций оценки склонов и откосов по рекомендуемым в нормативных документах двум группам предельных состояний. Основное отличие методов этого направления от методов первого направления состоит в построении расчетных моделей для определения напряженно-деформированного состояния склонов и откосов с более полным использованием таких свойств реальных грунтов как упругость, вязкость и пластичность в сухом и водонасыщенном состоянии. Наиболее полно свойства таких моделей изложены в монографиях [2, 3].

Рассматриваемые здесь нелинейные модели относятся к методам второго направления [3] и отличаются от [2] следующими моментами. Во-первых, они разработаны с применением теории не малых, а конечных деформаций, т. е. учитывается фактор геометрической нелинейности. На необходимость такой постановки указано в раздел 2.4 СНиП 2.02.01-83. Это позволяет более точно проследить за деформациями склонов, которые находятся в непрерывном движении, и их перемеще-

ния за прогнозируемое время могут составлять значительную величину. Такая постановка особенно важна, если на них или вблизи возводятся или построены сооружения, которые могут быть подвержены большим деформациям. Так, например, на участке VI Одесских склонов в Санжейском районе за период наблюдений с XI — 1970 г. по V — 1971г. нижняя оползневая ступень смещалась со скоростью 0,3 м/год по вертикали и 0,85 м/год по горизонтали. Соответственно, верхняя ступень этого оползня перемещалась со скоростью 0,15 м/год, как по вертикали, так и по горизонтали. В Сычевском районе в результате наблюдений за склонами с IX — 1971 г. по V — 1973 г. установлено, что верхний блок оползня опускался со скоростью 0,6 м/год и смещался по горизонтали со скоростью 0,5 м/год, а в средней его части горизонтальные смещения происходили со скоростью до 1 м/год. Далее, принятый критерий потери несущей способности грунтового массива по В. Койтеру реализуется не при малых, а при больших деформациях, что не учитывается в [2], но там же указывалось на важность такого подхода. Во-вторых, учитывается последовательность приложения к склонам или откосам действующих нагрузок, которая наблюдается в реальных условиях. Так, они находятся постоянно под действием собственного веса, от которого возникают в грунте остаточные деформации, затем в некоторый момент времени к ним может прикладываться новые статические или динамические нагрузки (например, сейсмическое воздействие, от возводимых сооружений или от работающих механизмов). Для нелинейных задач принцип суперпозиции не применим, поэтому нельзя отдельно определять напряжения и деформации от каждого воздействия и результаты суммировать, что, к сожалению, часто делается. Предполагаемые модели и алгоритмы расчета позволяют реализовать вначале решения от действия собственного веса, а затем использовать полученные результаты при выполнении расчетов от действия последующих нагрузок. В-третьих, имеются различия в построении моделей грунтовых сред и в алгоритме численной реализации, которые на наш взгляд, более точны и наиболее быстры при реализации на ЭВМ.

Исходные уравнения по предлагаемой методике являются нелинейными и могут быть использованы только с применением ЭВМ. Поэтому был разработан алгоритм решения и составлен программный комплекс, который дает возможность получать результаты в виде графиков и таблиц в течение 5 — 10 мин. в зависимости от мощности ЭВМ, как при статических, так и при динамических нагрузках.

Выполненные расчеты склонов и откосов по методам второго направления позволяют решать следующие вопросы. Во-первых, по оп-

ределяемым в любых точках грунтовых массивов напряжениям и деформациям можно устанавливать положение и развитие ослабленных зон, а, следовательно, областей начального зарождения и отрыва по поверхностям разрушения части склонов и откосов. Во-вторых, можно также выявлять объемы грунта, вовлекаемые в движение. В-третьих, более точно планировать и разрабатывать мероприятия по их регулированию и укреплению, что позволит не допускать катастрофических последствий, связанных с разрушением склонов, уменьшить количество непригодных городских и сельскохозяйственных территорий, вызванных оползнями, и своевременно избегать других негативных явлений.

Рассмотрим здесь только один важный вопрос о влиянии водоносных горизонтов на устойчивость склонов. Он очень остро обсуждался при разработке противооползневых сооружений на Одесском побережье [4]. Часть ученых (И.Я.Денисов, Е.П.Емельянова, И.С.Рогозин) считало, что грунтовые воды верхнего и понтического горизонтов не являются основной причиной оползней. Другая их часть (Н.А.Хренников и другие), наоборот утверждали, что эти воды создают оползни на Одесском побережье. Происходило обсуждение этого вопроса в основном на качественном уровне, количественные результаты, базирующие на современных нелинейных моделях, получены не были. Если принять стоимость всех затрат на основные работы по стабилизации склонов за 100%, то сооружение дренажных галерей и штолен для отвода подземных вод составит 23,7% от этой суммы [4]. Это огромные деньги, поэтому можно было понять остроту такой дискуссии. Исследуем этот вопрос на современном научном уровне.

Напомним, что собой представляют Одесские склоны. На довольно мощном слое мезотических глин, кровля которых находится несколько выше уровня моря, расположен пласт понтического известняка. Выше лежат красно-бурые глины и толща лесса, способных сохранять почти вертикальный откос. Над красно-бурыми и над мезотическими глинами расположены два водоносных горизонта. Следует отметить, что за время существования Одессы оползневые явления наблюдались в среднем не реже одного раза в год. Экспериментально установлено, что начало подвижки оползня сопровождается изменением физического состояния грунта в зоне смещения: перестройкой его структуры, падением порового давления и миграцией влаги в эту зону. Один из таких склонов показан на рисунке 1.



Рис. 1. Одесский склон

Рассмотрим вначале типичный не уположенный склон, примерно такой же, как приведенный на рисунке 1. Уположение склона, для повышения его устойчивости, потребует срезки верхней части его откоса и пригрузки подножья. Но в условиях Одессы это приведет к потере ценных участков земли, сносу целого ряда жилых и курортных строений и к уничтожению дорог и зеленых насаждений, что нельзя признать на некоторых участках плато целесообразным. Поэтому исследуем пока именно этот случай. Расчетная схема не уположенного откоса показана на рисунке 2. Считаем, что оба водоносных горизонта не перехвачены галереями и штольнями и вода свободно перемещается по склону, оказывая на него дополнительные воздействия.

На рисунке 3 приведена схема разбиения склона на конечные элементы.

На рисунке 4 показано напряженное состояние склона от действия первого и второго водоносных горизонтов и вод на уровне моря. Пересекающие под прямым углом прямые линии показывают направления в масштабном изображении главных напряжений.

От действия собственного веса грунтов склона и первого и второго водоносных потоков, расположенных в нем, произошло его разрушение по второму типу классификации А.М.Дранникова, приведенной в [4] (рис. 5).

Следовательно, эти водные потоки являются причинами образования верхних оползней. Глубокие оползни, захватывающие мезотические глины возникают в основном от действия морской абразии.

Пусть в результате противооползневых работ данный склон принял более уположенный профиль. Его расчетная схема приведена на рисунке 6. Грунтовые воды первого и второго горизонтов перехвачены и отведены в галереи и штольни, поэтому нагрузка от них не учитывается. На плато действует распределенная нагрузка.

Один из существующих Одесских уположенных склонов изображен на рисунке 7, а выход из штольни показан на рисунке 8.

Схема разбиения приведенного выше склона на конечные элементы показана на рисунке 9. На рисунке 10 в увеличенном масштабе приведена схема деформирования склона от действия только распределенной нагрузки. Напряженное состояние от собственного веса грунта учитывается, но деформации от него, исходя из реальных условий, обнуляются, т. е. начальные деформации считаются нулевыми. Расчет выполнялся по двум этапам. На первом этапе определялось напряженно-деформированное состояние от действия собственного веса грунта, На втором этапе, полученные деформации обнулялись, и производился расчет от действия распределенной нагрузки.

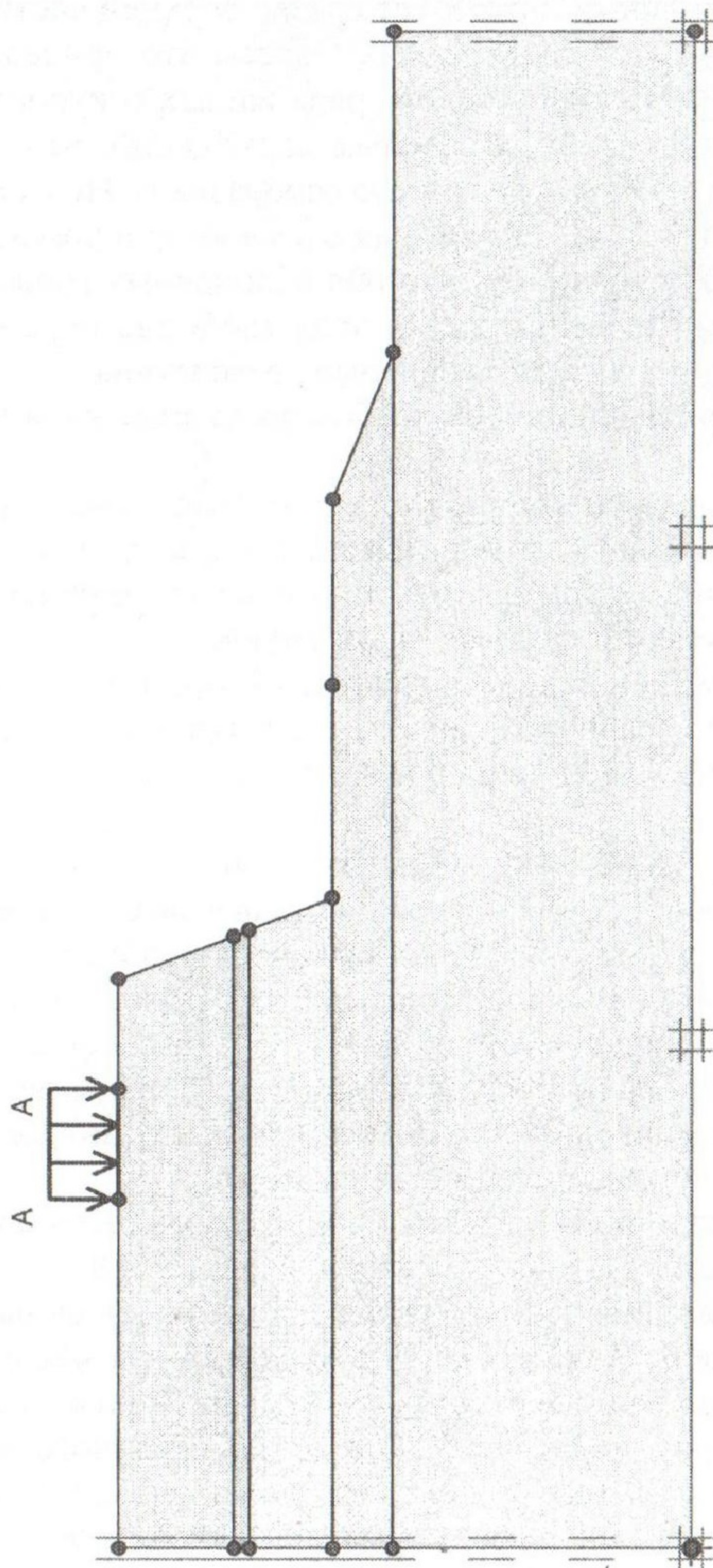


Рис. 2. Расчетная схема не уположенного откоса

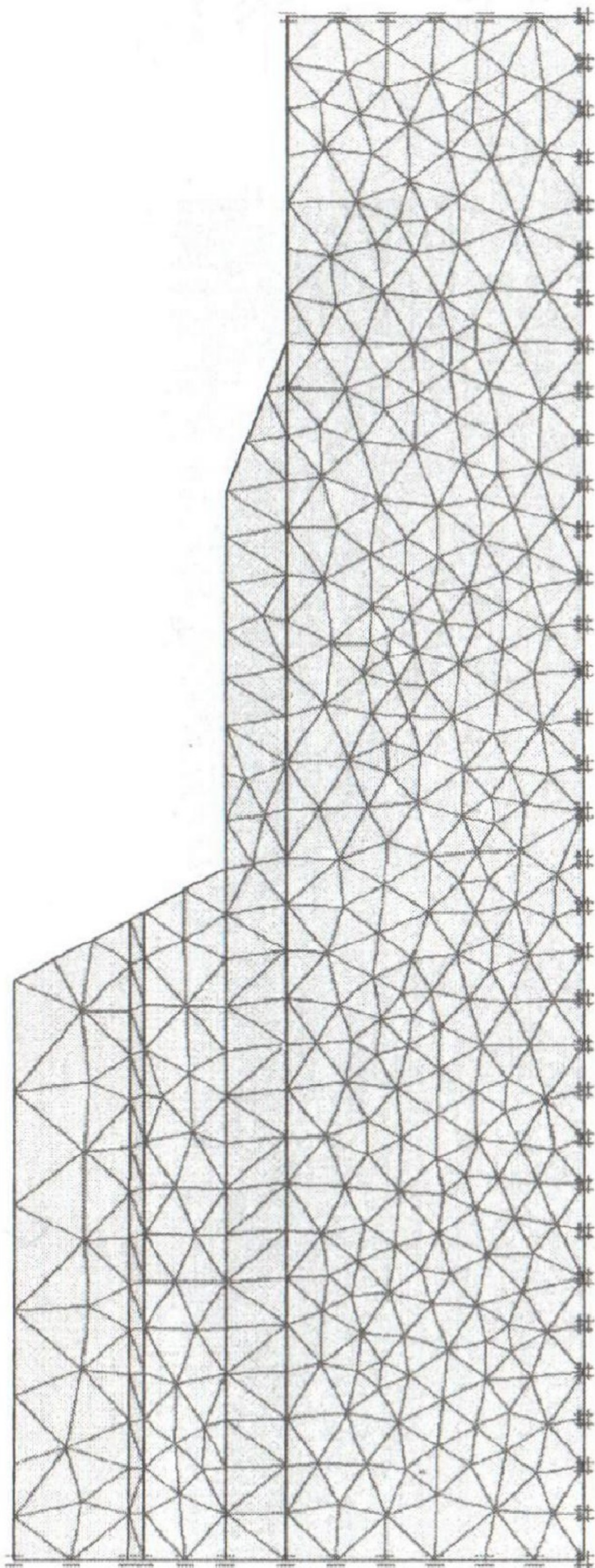


Рис. 3. Схема конечных элементов

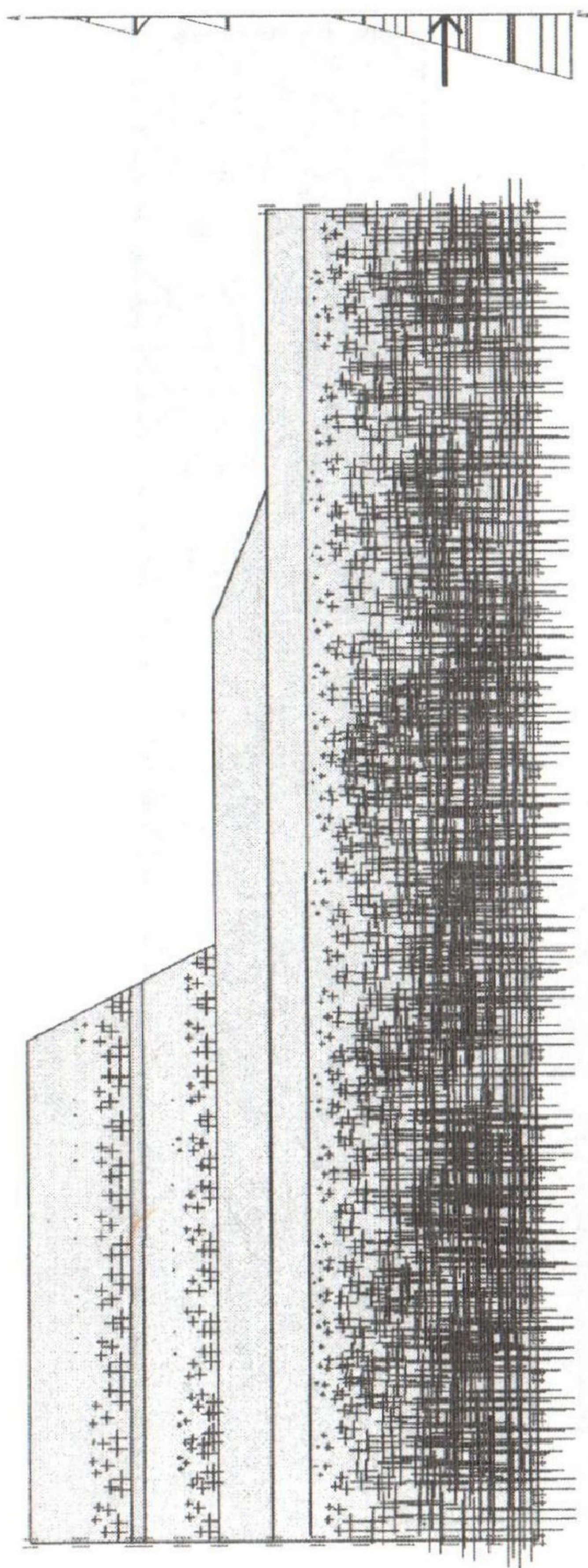


Рис. 4. Напряженное состояние склона от действия водонесных потоков

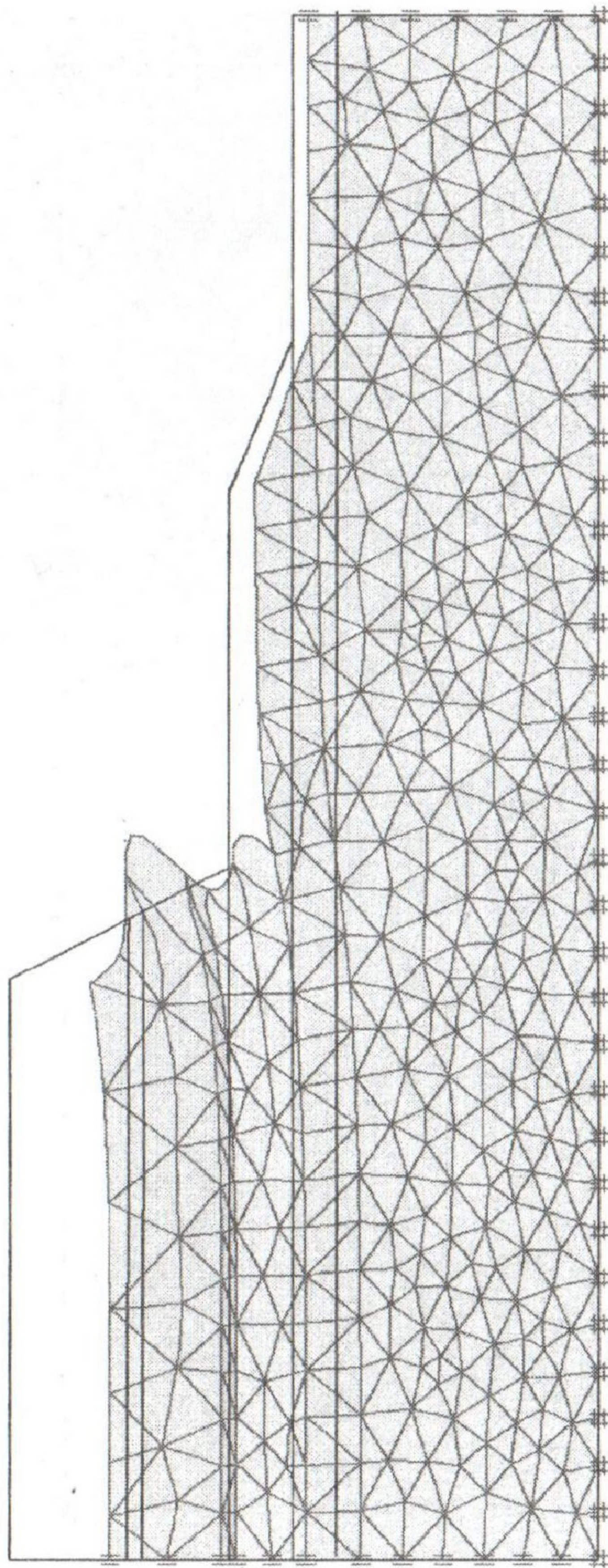


Рис. 5. Схема разрушения склона

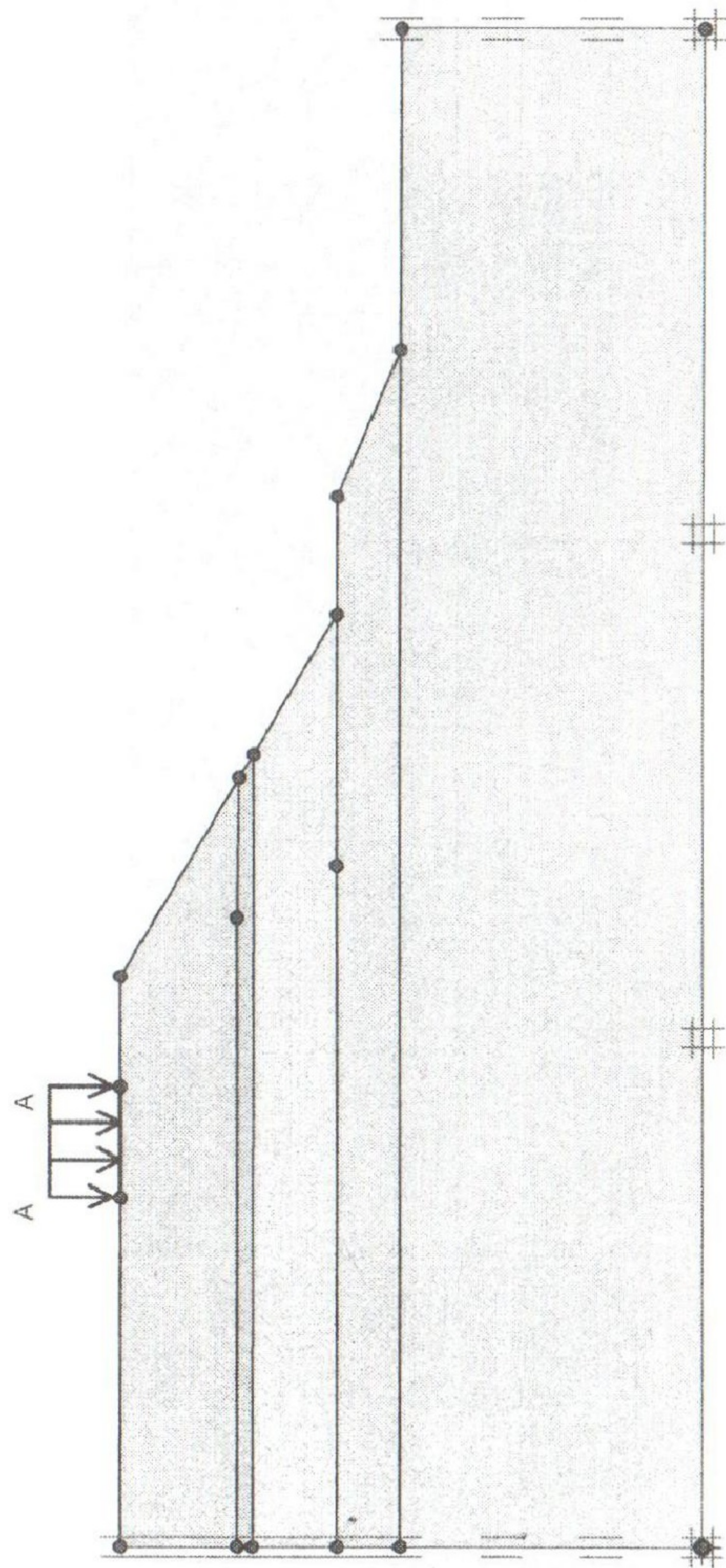


Рис. 6. Расчетная схема уположенного склона



Рис. 7. Уположенный склон



Рис. 8. Выход из штольни на морское побережье

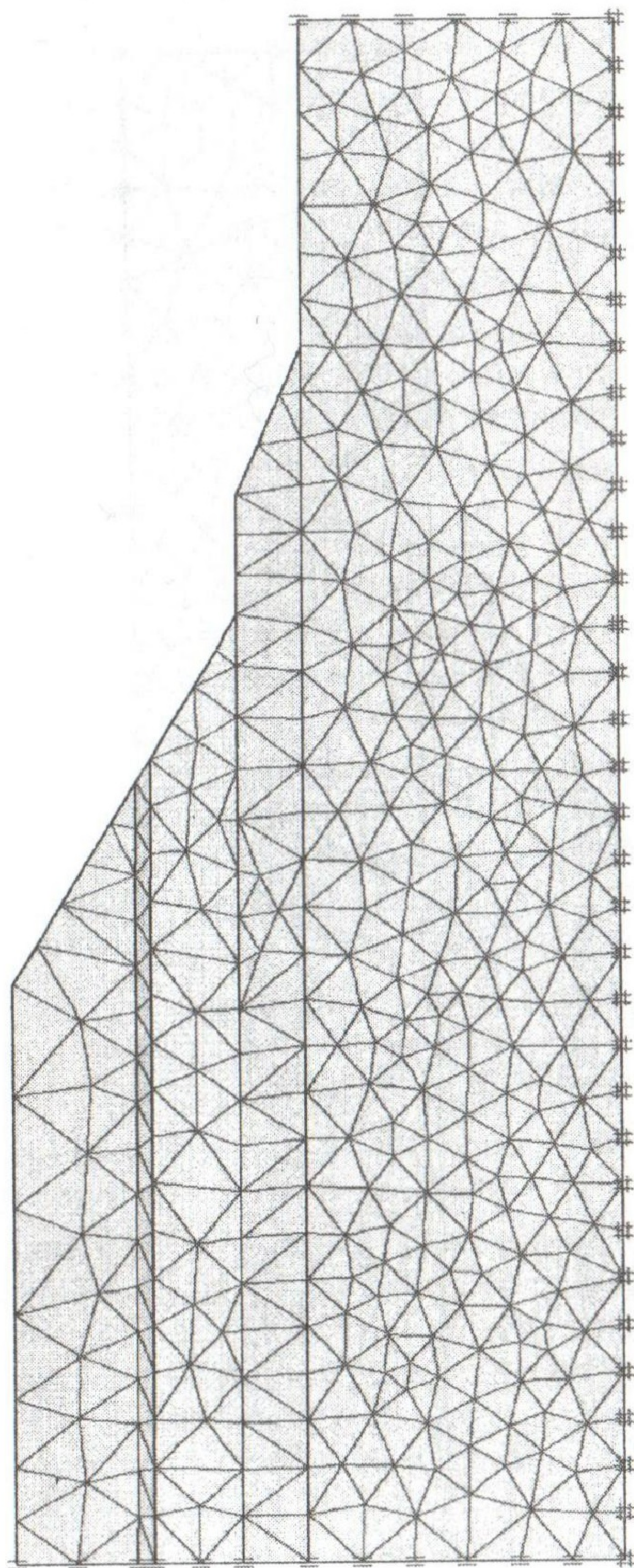


Рис. 9. Схема конечных элементов

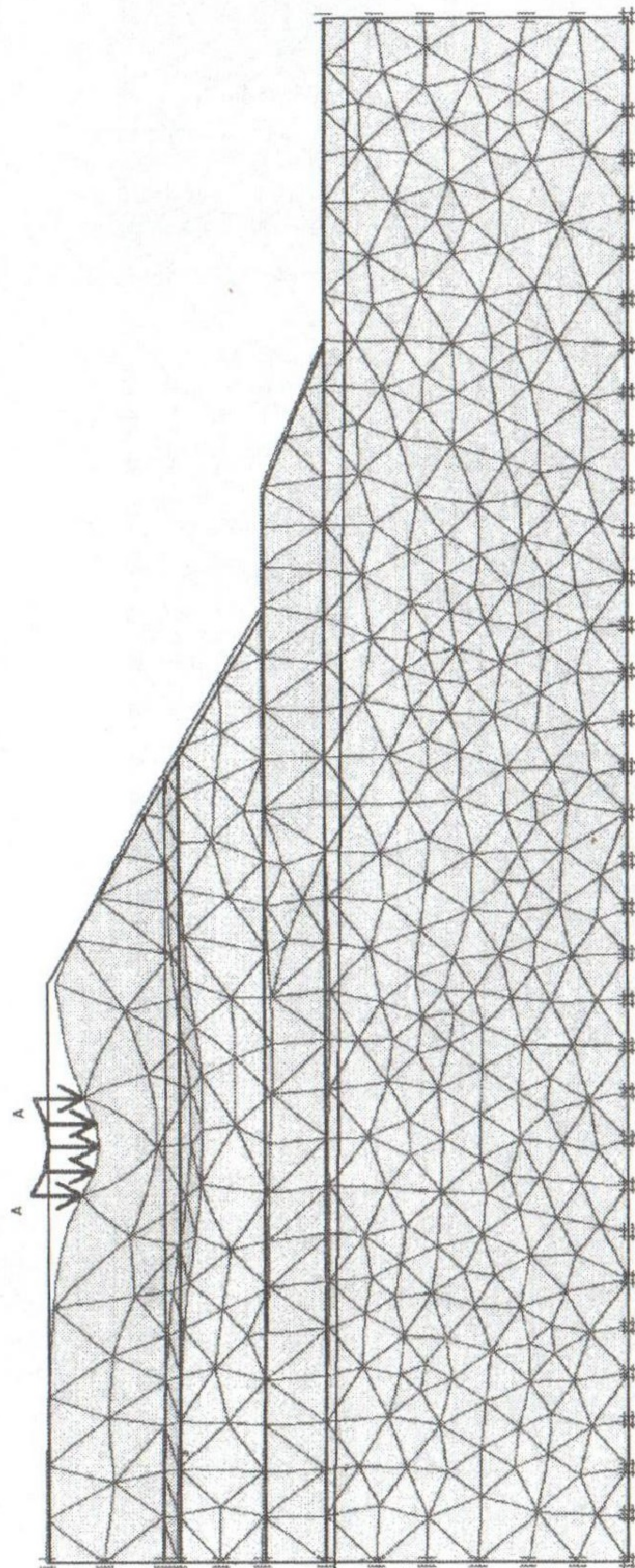


Рис. 10. Схема деформирования склона от действия нагрузки

Вертикальные перемещения грунта в склоне показаны на рисунке 11. Максимальная их величина расположена под серединой приложенной нагрузки и равна 0,322 м.

Эпюра нормальных напряжений σ_{22} от собственного веса грунта и действующей нагрузки изображена на рисунке 12. Максимальная их величина находится в левом нижнем углу этого рисунка и равна -1,45 МПа. Максимальные растягивающие напряжения расположены по верхнему контуру склона слева и справа от нагрузки. Эпюра касательных напряжений σ_{12} показана на рисунке 13.

Рассмотрим случай, когда водоотводные сооружения отсутствуют и дополнительно на склон действуют воды первого и второго водоносных горизонтов. Возникает оползень второго типа. Схема разрушения склона приведена на рисунке 14.

Вывод

Приведенные результаты показывают, что от действия потоков подземных вод первого и второго уровней в уположенных и тем более в неуположенных склонах могут возникать оползни как второго, так и третьего типа. Следовательно, утверждения некоторых участников совещания по изучению Одесских оползней, проходящего в июне 1958 г. [4], а также в последующее время, о том, что возведение галерей и штолен для отвода подземных вод является просто тратой денег, лишены, как показывают выше приведенные примеры, серьезных оснований.

Литература

1. Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства. – М.: Стройиздат, 1977. – 320 с.
2. Зарецкий Ю.К. Лекции по современной механике грунтов. – Ростов-на-Дону: Изд. Ростовского университета, 1989. – 606 с.
3. Гришин В. А., Дорофеев В. С. Некоторые нелинейные модели грунтовой среды. – Одесса: Внешрекламсервис, 2007. – 310 с.
4. Труды Одесского государственного университета имени И.И.Мечникова, вып. 7. Материалы по изучению Одесских оползней. – Одесса: - 1960. – 158 с

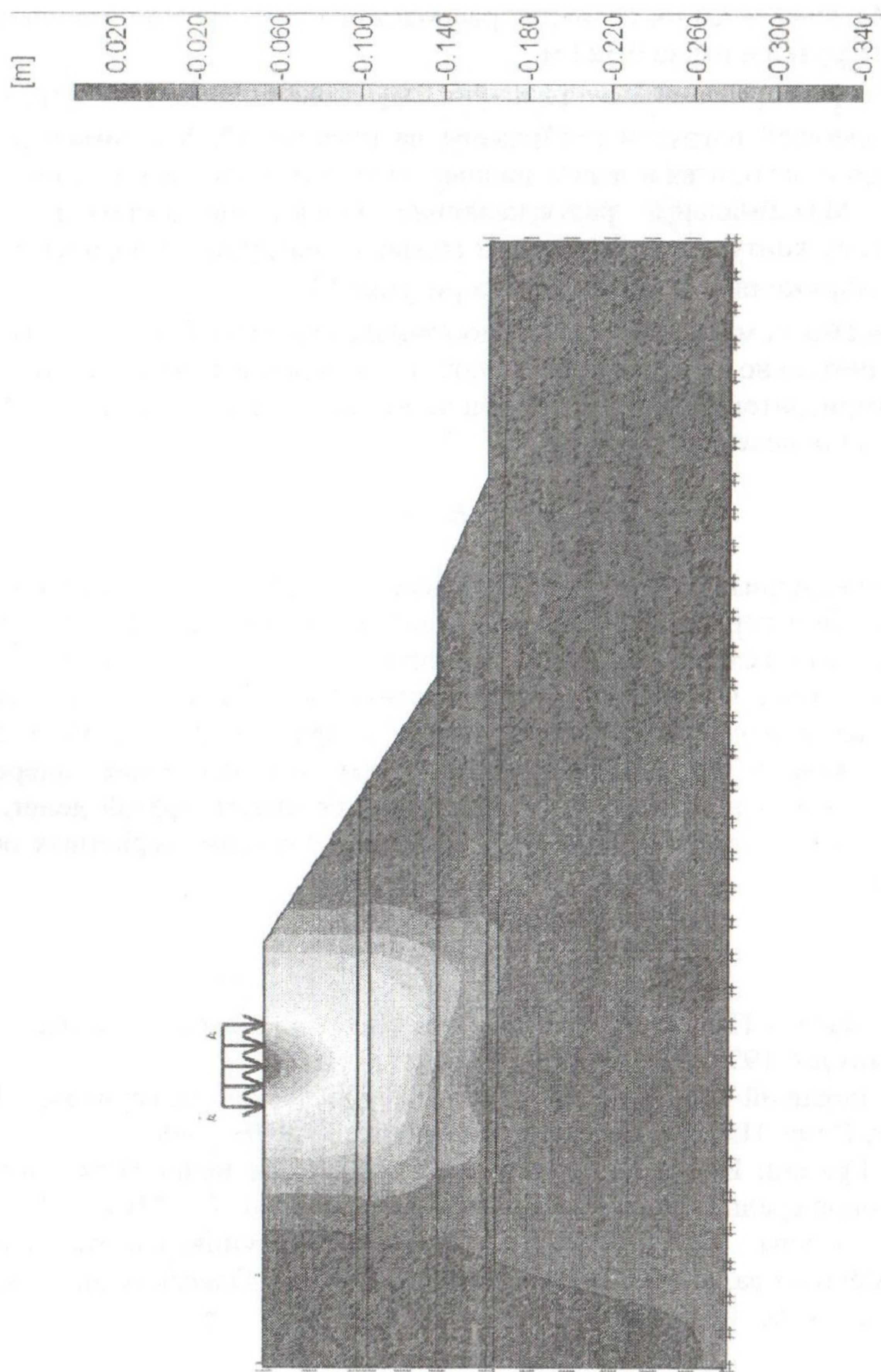


Рис. 11. Эпюра вертикальных перемещений грунта в склоне

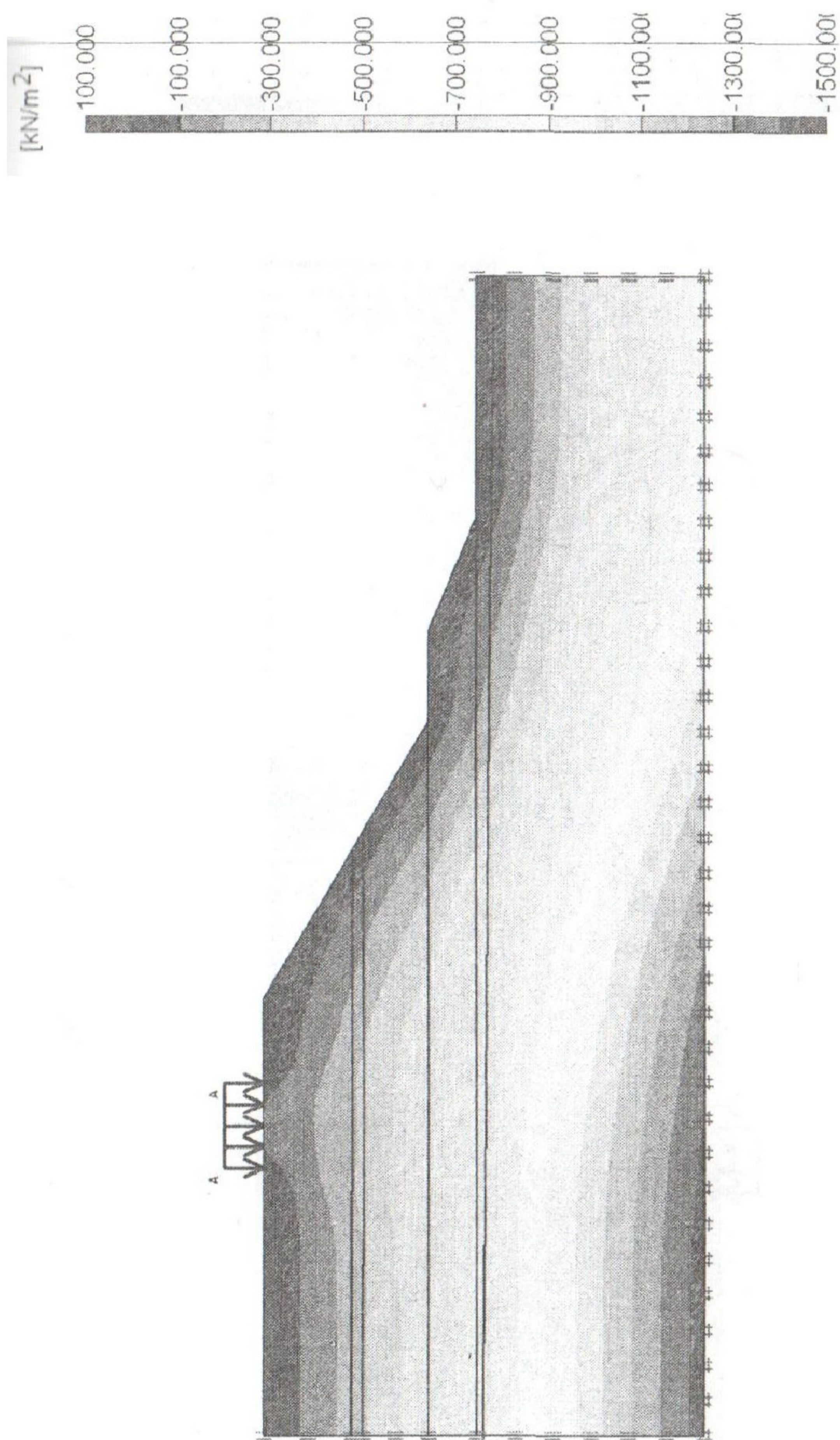


Рис. 12. Эпюра нормальных напряжений σ_{22}

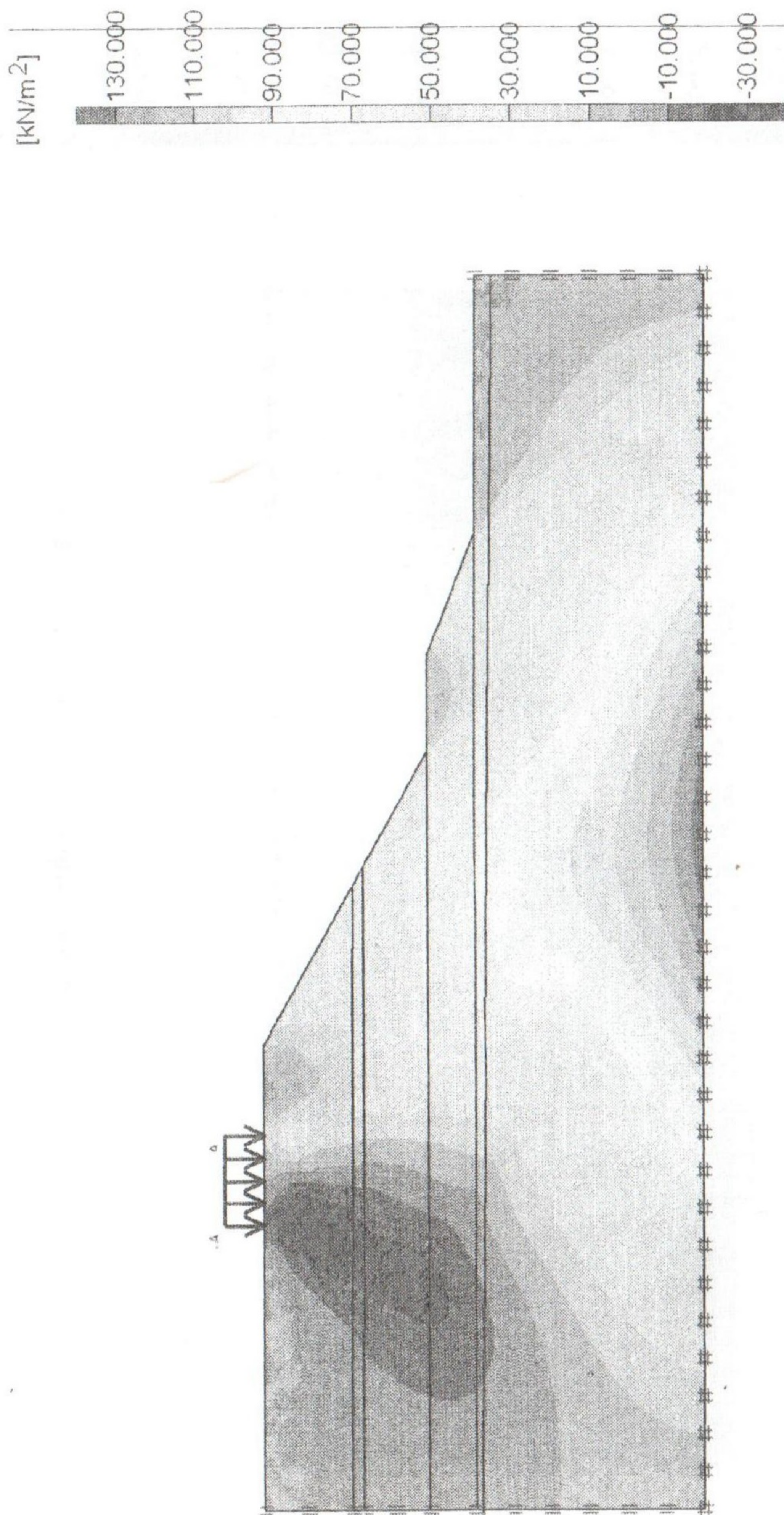


Рис. 13. Эпюра касательных напряжений σ_{12}

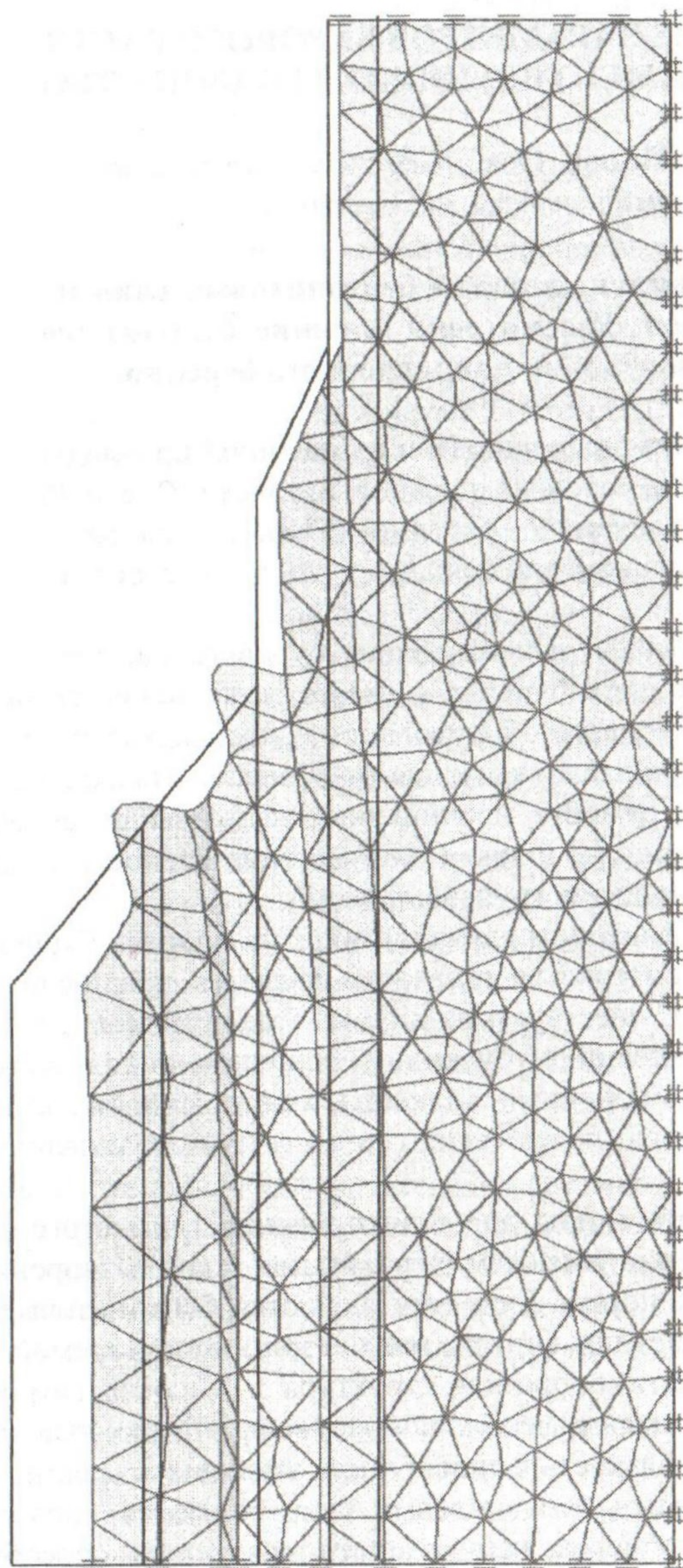


Рис. 14. Схема разрушения склона