

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Аспирант К. Ш. ШАДУНЦ

КОНТРОРСНО-ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ ДРЕНАЖИ
КАК СРЕДСТВО СТАБИЛИЗАЦИИ ГЛИНИСТЫХ СКЛОНОВ
И ОТКОСОВ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1963

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Аспирант К. Ш. ШАДУНЦ

КОНТРОЛЬНО-ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ ДРЕНАЖИ
КАК СРЕДСТВО СТАБИЛИЗАЦИИ ГЛИНИСТЫХ СКЛОНОВ
И ОТКОСОВ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель — доктор
технических наук, профессор
М. Н. Гольштейн.

Днепропетровск
1963

2040a

Работа выполнена в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта.

Автореферат разослан

«28» сентября 1963 года.

Публичная защита диссертации состоится на заседании Ученого Совета по строительно-эксплуатационным специальностям.

«1» ноября 1963 года.

Отзывы по настоящему автореферату просьба направлять по адресу: г. Днепропетровск—10, Севастопольская, 15, ДИИТ, Ученому секретарю Совета.

ВВЕДЕНИЕ

Железнодорожный путь на значительном протяжении проходит по склонам и насыпям, сложенным глинистыми грунтами. В этих условиях наиболее частым видом деформаций являются оползневые смещения. Они в ряде случаев приводят к прекращению движения и всегда к затратам больших средств для обеспечения устойчивости земляного полотна. Суммарные расходы на лечение больных участков иногда превышают стоимость строительства нового пути равной протяженности.

Для борьбы с оползнями в глинистых грунтах на железных дорогах Союза широко применяют различные дренажные и удерживающие сооружения. Однако, они часто не дают ожидаемого эффекта, так как глинистые грунты плохо осушаются гравитационными дренажами, а в текуче-пластичном состоянии переползают через удерживающие сооружения или обтекают их.

Среди существующих типов противооползневых сооружений наиболее рациональными являются контрфорсно-дренажные, предназначенные для одновременного осушения и удержания смещающихся грунтов. Однако применяемые конструкции имеют ряд недостатков, которые снижают их эффективность. Поэтому создание эффективного метода укрепления откосов и склонов имеет важное практическое значение.

Диссертация посвящена разработке конструкции контрфорсно-вентиляционного дренажа, обеспечивающего осушение и удержание глинистых грунтов, и созданию надежного расчета удерживающей способности контрфорсных сооружений.

Исследования велись автором под руководством профессора М. Н. Гольдштейна в период с 1959 по 1962 год в научно-исследовательской лаборатории механики грунтов Днепропетровского института инженеров ж. д. транспорта. Полевые наблюдения за работой противооползневых сооружений были проведены по заданию МПС на оползневых участках бывшей Молдавской ж. д. Кроме того, использованы материалы наблюдений на Северо-Кавказской, Закавказской

казской и Львовской дорогах. Экспериментальные исследования проведены на большой центробежной машине ДИИТа.

Полевые и лабораторные исследования позволили уточнить характер работы гравитационных и вентиляционных дренажей, а также контрфорсных сооружений в глинистых грунтах. На основании результатов исследований была создана методика расчета величины зон, осушаемых вентиляционным дренажом, и удерживающего влияния контрфорсов.

Диссертация состоит из следующих глав:

Глава I. Причины оползневых деформаций и методы борьбы с ними.

Глава II. Полевые наблюдения за работой противооползневых сооружений.

Глава III. Дренирование глинистых грунтов.

Глава IV. Экспериментальные исследования работы контрфорсных сооружений.

Глава V. Расчет удерживающей способности контрфорсных сооружений.

З а к л ю ч е н и е.

В приложении к диссертации приводится проект наставления по расчету контрфорсов.

I. Причины оползневых деформаций и методы борьбы с ними.

Для эффективной борьбы с оползневыми подвижками необходимо установление причин оползневых деформаций и количественная оценка степени влияния этих причин на оползневой процесс. Значительная работа в этом направлении проделана советскими учеными: Н. Я. Денисовым, А. М. Дранниковым, Е. П. Емельяновой, Г. И. Тер-Степаняном и др., которые уделяли особое внимание влиянию на устойчивость склонов действия грунтовых вод и изменения напряженного состояния грунтового массива.

Изучение состояния вопроса борьбы с оползнями показывает, что, несмотря на большое количество исследований в области дренирования и удержания оползневых грунтов, проведенных в СССР и за рубежом, ряд серьезных вопросов остается невыясненным. В частности, недостаточно изучен характер работы гравитационного дренажа в глинистых грунтах, нет экспериментального обоснования расчетных схем, предложенных для расчетов ряда удерживающих сооружений.

В комплекс противооползневых мероприятий все чаще включаются вентиляционные дренажи, запроектированные на основании конструкций, разработанных Н. Я. Денисовым, С. С. Новиковым, В. П. Пономаревым. Но необходимое количество дренажей не может быть достаточно обосновано при проектировании вследствие отсутствия методов расчета величины зон, осушаемых вентиляцией.

Расчеты контрфорсных сооружений в настоящее время производятся по методам Г. М. Шахунянца, Н. Н. Маслова, Б. В. Пашенко, Д. И. Кероселидзе, Хеннеса. Анализ существующих методов расчета показывает, что они не охватывают всех возможных случаев расположения контрфорсов на склонах и не применимы для грунтов, обладающих только сцеплением.

Наиболее полная методика расчета, разработанная Г. М. Шахунянцем, предусматривает проверки устойчивости отдельных частей укрепленного откоса. На основании этих проверок могут быть выбраны размеры контрфорсов и места их расположения. Однако принятая для определения удерживающей способности торца контрфорсов расчетная схема не учитывает возможности обтекания контрфорсов грунтом и может быть применена при сравнительно небольших расстояниях от торца контрфорса до бровки срыва.

II. Полевые наблюдения за работой противооползневых сооружений

В результате трехлетних полевых наблюдений за работой противооползневых сооружений было установлено, что для стабилизации глинистых грунтов, содержащих водонасыщенные песчаные прослойки, наиболее эффективны контрфорсные дренажи.

Наблюдения за расходами воды из дренажей, устроенных в супглинистых и глинистых грунтах, показали, что они обычно интенсивно отводят воду лишь в период постройки, когда происходит осушение пересекаемых прорезями линз и пропластков водоносных песков и супесей. Влажность глинистых грунтов даже в зоне влияния прорезей изменяется мало. Зоны влияния дрен незначительны, и для обеспечения устойчивости склонов приходится устраивать их на небольшом расстоянии друг от друга. Для стабилизации склонов необходимо не только осушение грунтов, но и создание искусственных упоров. Контрфорсный эффект дренажей, заполнение которых состоит из каменной наброски и гравелистых материалов, ничтожен.

Был установлен характер разрушения контрфорсно-дренажных прорезей и укрепляемых ими откосов. Контрфорсные дренажи, воспринимая давление грунта, должны передавать его на устойчивое основание. Для успешной работы необходимо, чтобы между грунтом и материалом заполнения контрфорса развились, как по его боковым поверхностям, так и по основанию, достаточные силы трения. Наряду с этим, должна быть обеспечена прочность самого сооружения. В устраиваемых в настоящее время конструкциях контрфорсных дренажей эти требования не выполняются.

В сооружениях, применяемых для укрепления насыпей, при крупных блоковых деформациях последних происходит смещение по несцементированному заполнителю. В тех случаях, когда осно-

вание контрфорсных дренажей расположено на слабых глинистых грунтах, наблюдается проседание заполнителя с нарушением уклона водоотводных лотков. В выемках чаще происходит выдавливание заполнителя прорезей с раскрытием широких трещин разрыва в средней части сооружения, а при недостаточно глубоком заложении – смещение заполнения по основанию.

Кроме перечисленных деформаций, в случае укрепления контрфорсными дренажами оползневых склонов наблюдались разрывы заполнителя сооружений при пересечении ими оползней, отдельные участки которых смещались с различной скоростью. Были отмечены искривления в плане и частичное разрушение сооружений, которые оказались расположенными под достаточно большими углами к направлению оползневых подвижек.

Основной причиной разрушения контрфорсных дренажей является то, что их заполнитель, предназначенный не только для создания упора, но и для дренирования воды, устраивается из кладки насухо. В тех случаях, когда боковые обратные фильтры из гравийно-песчанистого материала или шлака не устраиваются, происходит быстрое заиливание заполнителя. Но при устройстве таких фильтров значительно уменьшаются удерживающие силы трения по боковым поверхностям сооружений, так как поверхность сдвига проходит в материале фильтра, который из-за неплотной укладки имеет меньшее сопротивление смещению, чем величина трения между каменным заполнением и грунтом.

Одной из наиболее частых ошибок при проектировании и строительстве контрфорсных дренажей является стремление довести прорезь почти до линии существующего или возможного оползневого срыва. При таком расположении не используется лобовое сопротивление контрфорсов. Откос оказывается разрезанным на несколько частей с неравной степенью устойчивости. Возможен отрыв неустойчивого участка от удерживающих масс и, как мы наблюдали в ряде случаев, смещение грунта в промежутках между прорезями.

В глинистых грунтах, при незначительной глубине контрфорсно-дренажных прорезей, давление на боковые поверхности контрфорсов невелико из-за наличия в грунте сил сцепления. Поэтому основным удерживающим усилием оказываются силы, развивающиеся по торцу контрфорса. Ряд неудач устройства контрфорсных дренажей может быть объяснен именно тем, что в расчет принимались отсутствующие в действительности силы трения по боковым поверхностям контрфорсов, устроенных в глинистых грунтах.

Результаты полевых наблюдений и исследований опубликованы подробно в работах автора [1, 3].

III. Дренаживание глинистых грунтов.

Гравитационное дренаживание глинистых грунтов затруднено из-за их малой водоотдачи. Даже при устройстве глубоких дренажей с тем, чтобы нейтральное давление в грунте превышало величину давления высачивания, в водосбор поступает ничтожное количество воды. Эффект гравитационного дренаживания в глинах, помимо осушения песчаных прослоек, состоит в снятии фильтрационного давления и в уменьшении нейтрального давления в пределах зон влияния дренажей.

Положение дренажных прорезей на оползнях в плане должно определяться, исходя из требований эффективного дренаживания и возможно меньшего ослабления оползневого склона за счет нарушения сплошности грунта. С точки зрения производства работ и для снятия фильтрационного давления лучшими являются продольные относительно направления смещения оползня дренажи.

Как известно, глинистые грунты могут быть осушены испарением из них влаги с помощью вентиляционных дренажей. Процесс высыхания глинистого грунта начинается с испарения влаги в наиболее крупных порах. Когда этот процесс захватывает связанную воду, начинается ее перемещение к центрам испарения из окружающих более мелких пор. При большой скорости испарения с поверхностного слоя вода не успевает поступать из глубинных слоев, и фронт испарения начинает перемещаться вглубь со все замедляющейся скоростью. В тот момент, когда скорость испарения станет равной скорости подсосывания влаги, фронт высыхания останавливается. При замерах влажности грунта у вентиляционных дренажей было установлено, что их влияние заметно на расстоянии, примерно, 1 м в каждую сторону от дренажа, причем, наиболее активно осушение происходило в слое толщиной около 20 см. Это объясняется тем, что после образования поверхностного трехфазного слоя водо-и паропроницаемость грунта резко понижается и процесс высыхания практически останавливается.

В соответствии с исследованиями А. В. Лыкова, процесс изменения влажности при сушке грунта может быть описан уравнением Фурье:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = a \frac{\partial^2 W}{\partial x^2},$$

где a — коэффициент влагопроводности.

Поэтому для определения зон влияния вентиляционных дренажей возможно применение гидравлического интегратора конструкции В. С. Лукьянова. В диссертации рассмотрена линейная задача из-

менения во времени влажности грунта в горизонтальном сечении осушаемого массива.

В качестве начальных условий принято, что влажность массива грунта до устройства дренажа равна среднегодовой за период наблюдений, а влажность на стенке прорези равна гигроскопической. В процессе расчета на интеграторе изменения влажности для соблюдения принятого масштаба времени необходимо после каждого отсчета вводить поправки в величины гидравлических сопротивлений. Как показал Я. М. Миниович, изменения влажности влияют на величину коэффициента влагопроводности только при влажностях, равных или меньших гигроскопической. Поэтому при отодвигании границы зоны, осушенной до гигроскопической влажности, вглубь грунта коэффициент влагопроводности в ее пределах уменьшается на один порядок.

Проверочный расчет, произведенный для экспериментального участка, показал хорошее совпадение с результатами натуральных наблюдений. Наибольшее расхождение не превышало одного процента влажности.

Определение зон влияния дренажных сооружений позволяет правильно рассчитать их количество, необходимое для стабилизации склона. В диссертации предложен метод ориентировочного определения числа дренажей, основанный на учете изменения коэффициента устойчивости в пределах осушенных зон.

В связи с незначительностью зон влияния и повышения устойчивости в первый период работы дрен в глинистом грунте, наиболее рациональной является конструкция, сочетающая в себе качества упора и дренажа.

На основании анализа полевых и лабораторных исследований разработаны конструкции контрфорсно-вентиляционных дренажей. При их устройстве грунт осушается, в основном, испарением влаги током воздуха, а контрфорсное удержание обеспечивается лобовым сопротивлением смещению грунта по торцам столбов или свай. Таким образом, учтена специфика глинистых грунтов: плохая водоотдача и способность держать вертикальные откосы.

Дренажное заполнение сооружений не воспринимает сдвигающих усилий и подбирается по признаку хорошей воздухопроводности. Применение свай дает возможность устраивать контрфорсы индустриальными методами.

IV. Экспериментальные исследования работы контрфорсных сооружений.

Для создания достоверного метода расчета противооползневых контрфорсных сооружений, помимо полевых наблюдений, на основании которых составлены существующие расчетные схемы, было

необходимо провести экспериментальные исследования. Эксперименты должны были показать картину деформаций грунта в зоне влияния сооружения, а также характер разрушения самих сооружений. Для исследования применено центробежное моделирование. Опыты проводились на большой центробежной машине ДИИТа с моделями откосов и насыпей, изготовленными из песка, перемятого лессовидного суглинка и двух видов глин. Линейный масштаб опытов менялся в пределах от 25 до 200. В большинстве опытов для сопоставления проводились испытания двух идентичных по характеристикам грунта моделей, на одной из которых устраивались удерживающие сооружения. Контрфорсные стены в моделях изготавливались из гипса, который моделировал кладку на растворе и бетон, и из песка, моделировавшего несцементированный заполнитель. Контрфорсные сваи изготавливались из металлического прута \varnothing 8 мм. Поверху они объединялись металлическими насадками. Для наблюдения за деформациями на одной боковой стенке моделей наносилась тушь в предварительно подготовленные лунки сетка линий. Фиксация смещений внутренних слоев грунта производилась с помощью полосок из того же, окрашенного тушью, грунта, которые закладывались в модель при ее изготовлении. Такая методика подготовки моделей позволила избежать введения в них инородных тел.

Для наблюдения за деформациями моделей в процессе опытов применялись потенциометрические датчики перемещений конструкции Гидропроекта и датчики разрыва цепи, изготовленные в ДИИТе. Дистанционная передача сигнала на шлейфовый осциллограф МПО-2 и миллиамперметры от датчиков, расположенных во вращающейся каретке машины, производилась через специальный токосъемник, сконструированный в ДИИТе. Визуальные наблюдения за состоянием моделей проводились с помощью специальной телевизионной установки.

Одна серия опытов была проведена без загрузки моделей откосов. Деформации происходили под влиянием центробежной силы при увеличении числа оборотов машины. Во второй серии опытов модели насыпей испытывались при одном и том же числе оборотов, но при различной величине нагрузки на бровке откоса.

Опыты с контрфорсами, устроенными в моделях откосов из глины и суглинка, позволили получить картину деформаций грунта. Судя по результатам, существующие расчетные схемы, кроме предложенной Н. Н. Масловым, экспериментально (при принятых соотношениях размеров моделей и характеристик грунта) не подтверждаются. Опыты показали, что деформации грунта на поверхности моделей также отличаются от деформаций, происходящих в более глубоких слоях.

Деформации более глубоких слоев грунта перед торцами контрфорсов оказались в начальный момент подобными деформациям выпирания грунта из-под фундаментов в предельном состоянии. Перед торцами контрфорсов образовывался клин уплотненного грунта и линии смещений, подобные линиям скольжения (рис. 1).

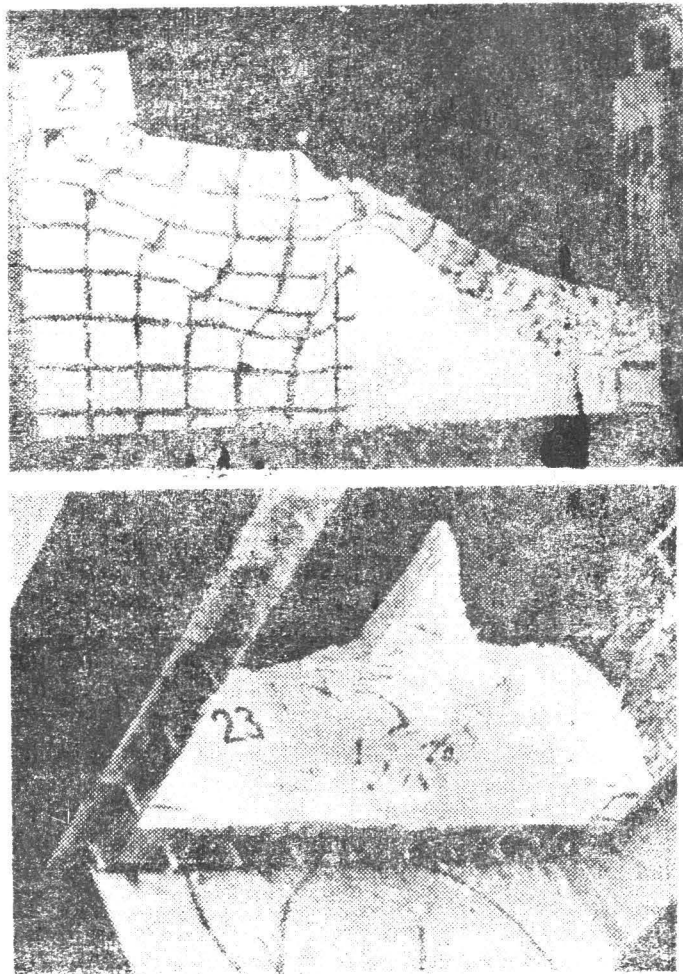


Рис. 1.

Контрфорсы, выполненные из нецементированного заполнителя, деформировались вместе с откосом, причем сдвиг заполнителя произошел почти по прямой на уровне пересечения контрфорса с

поверхностью скольжения откоса. Было установлено, что между шириной торцов контрфорсов и критической высотой удерживаемых ими откосов существует линейная зависимость. При оползнях откосов моделей насыпей из глинистого грунта, укрепленных рядами контрфорсных свай, грунт продавливался между препятствиями, подобно продавливанию пластичного металла через матрицы. И здесь деформации во внутренних слоях отличались от деформаций грунта на поверхности. Окрашенные полосы, заложенные в моделях, изогнувшись перед сваями, образовали поле линий скольжения (рис. 2). Опыты с моделями насыпей, которые были укреплены сваями, забитыми на различных расстояниях, дали возможность установить зависимость величины критической нагрузки на насыпь от расстояния между сваями.

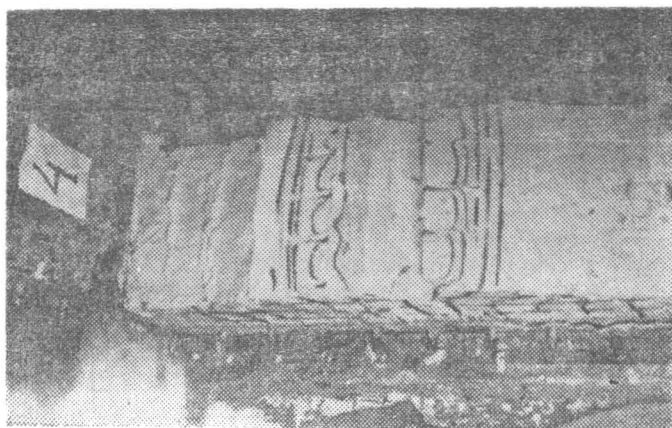


Рис. 2.

Экспериментальные исследования позволили обоснованно выбрать расчетные схемы и получить количественные данные для сравнения с результатами расчетов.

V. Расчет удерживающей способности контрфорсных сооружений.

Если принять на основании экспериментов, что при смещении глинистого грунта на откосах, укрепленных контрфорсными столбами, происходит плоская деформация пластичного материала, в

результате которой грунт, сжимаясь, проталкивается между препятствиями, то для расчета удерживающей способности контрфорсов могут быть применены методы теории пластичности.

Перед торцами контрфорсов образуется область пластических деформаций. Она состоит из двух участков, симметрично идущих к середине расстояния между контрфорсами. Положение линий скольжения, ограничивающих пластичную зону, определяется путем числового расчета поля линий скольжения по методу R, S — кривизн линий скольжения. Величины R, S получаются в результате решения уравнений, выведенных на основании второй теоремы Хенки:

$$\left. \begin{aligned} dS + R d\varphi &= 0 \text{ вдоль линии } \alpha \\ dR - S d\varphi &= 0 \text{ вдоль линии } \beta \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Здесь α и β — линии скольжения первого и второго семейства.

Исходные точки линий скольжения выбираются так, что числовые приращения $\Delta\varphi$ — угла между узловыми точками, — являются постоянными.

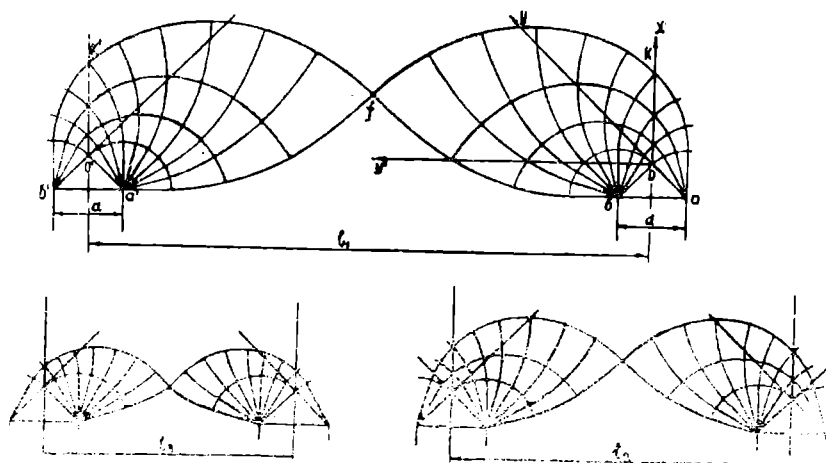


Рис. 3.

На основании решения уравнений (1) были выведены алгоритмы для составления программы вычисления значений координат узловых точек поля линий скольжения на цифровой электронной счетной машине «Урал-1». Расчеты на машине выполнены в вычислительном центре ДИИТа. Построенные по результатам расчетов линии скольжения (рис. 3) довольно хорошо отражают картину деформаций грунта, полученную экспериментально.

При наличии сетки поля линий скольжения можно подобрать ряд точек встречи пластических зон для различных величин обжатия грунта. В результате преобразований с использованием уравнений Хенки получены уравнения для определения продавливающего усилия. При этом принято допущение, что вниз по склону за плоскостью торцов контрфорсов к грунту никаких внешних сил не приложено. Силами трения по боковым поверхностям контрфорсных столбов пренебрегаем в запас прочности. На основании расчетов построен график зависимости величины продавливающей силы от расстояния между контрфорсами.

Поле линий скольжения и график зависимости продавливающей силы от расстояния между препятствиями могут быть использованы при решении ряда подобных задач, например, при расчетах параллельных ленточных фундаментов, устроенных на пластичных глинах.

Устойчивость насыпей, укрепленных контрфорсами, зависит от устойчивости неукрепленной насыпи и удерживающего влияния контрфорсов. Исследования, проведенные нами на Львовской дороге, показали, что грунты расползающихся насыпей обладают незначительным углом внутреннего трения ($\varphi < 4^\circ$). Это дает основание применить при анализе устойчивости таких насыпей математическую теорию пластичности. В теории пластичности имеется точное решение задачи об устойчивости усеченного клина, нагруженного равномерно распределенной нагрузкой. Однако в этом решении не учитывается влияние на устойчивость собственного веса клина. Для практических целей можно при расчетах в первом приближении учесть влияние собственного веса грунта, используя поле линий скольжения, построенное для невесомой насыпи. Сравнение картины деформаций модели из реального грунта, испытанной в центрифуге, с расчетной схемой показывает, что совпадение достаточно близкое.

Применив такой прием, получаем после преобразований следующую формулу для определения критического давления на насыпь:

$$q = 2c(1 + \alpha) - \frac{\gamma b}{2} \left[1 + \frac{8\sqrt{2}}{3} \sin \frac{\alpha}{2} \sin \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2} \right) - \sqrt{2} \sin (\alpha - 45^\circ) \right]; \quad (2)$$

здесь c — сцепление;

α — угол между откосом насыпи и вертикалью;

γ — объемный вес грунта;

b — половина ширины насыпи поверху.

Расчеты по формуле (2) дают хорошее совпадение с экспериментами. Анализ формулы показывает, что при обычных величинах давления подвижного состава на основную площадку земляного полотна 0,7—0,9 кг/см² (с учетом динамики) расползание насыпи возможно в случае, если $c < 0,3 - 0,4$ кг/см².

Вопрос об определении расстояния между контрфорсными сваями в зависимости от конфигурации насыпи, механических свойств грунта и нагрузки на основную площадку земляного полотна является основным при проектировании укрепления насыпей. В табл. 1 приведены величины отношения напряжения выдавливания к удвоенному сцеплению в грунте в зависимости от отношения расстояния между сваями к их диаметру. Эти величины определены по существующим и предлагаемому методу. Полученные результаты можно сравнить с результатами экспериментов на центрифуге.

Таблица 1.

	Отношение напряжения выдавливания к удвоенному сцеплению в грунте при расстояниях между сваями (d —диаметр свай)				
	$2d$	$3d$	$4d$	$5d$	$6d$
По Хеннесу	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17
По Г. М. Шахуняццу	3,10	2,10	1,55	1,24	1,04
По Н. Н. Маслову	1,0	0,67	0,50	0,40	0,33
По предлагаемому методу	1,19	0,86	0,68	0,57	0,50
Опытные данные	1,31	0,85	0,63	0,51	0,41

Для определения напряжения выдавливания при обработке экспериментальных данных были учтены величины сопротивления выдавливанию грунта между контрфорсными сваями. Как видно из таблицы, наиболее близкое совпадение с опытом дает предлагаемый метод расчета.

Для расчета отдельно стоящих контрфорсных сооружений, устроенных в грунтах, которые обладают и трением и сцеплением, применен метод теории предельного равновесия.

Смещение грунта, расположенного перед торцами контрфорсов, возможно лишь в случае, если напряжения в грунте превысят второе критическое давление (переход от фазы сдвигов к фазе выпирания). Величина критического давления на каждый погонный метр торца контрфорсов по высоте может быть определена по формуле:

$$P = 2a(cN_c + \gamma H_{cp}N_\varphi N_T), \quad (3)$$

где $2a$ — ширина торца контрфорса в м;

c — сцепление в т/м²;

H_{cp} — средняя высота слоя сползающего грунта в м;

γ — объемный вес грунта т/м³;

N_φ — коэффициент пассивного давления;

N_c и N_τ — безразмерные коэффициенты, зависящие от угла внутреннего трения φ .

Величины коэффициентов, определенные при различных значениях угла внутреннего трения, приведены в табл. 2.

Таблица 2.

φ°	5	10	15	20	25	30	35	40
N_c	7,24	9,61	12,81	17,74	25,07	36,78	57,50	95,70
N_τ	0,47	1,21	2,41	4,50	8,11	14,85	28,34	56,79
N_φ	1,19	1,42	1,70	2,04	2,46	3,00	3,58	4,60

Сопоставление показало достаточно хорошее совпадение результатов расчета по формуле (3) с натурными измерениями предельного давления грунта на контрфорс и с данными эксперимента.

Определение сил трения, действующих по боковым поверхностям контрфорсных стен, может быть произведено графоаналитическим методом.

Расстояние между контрфорсами, при котором обеспечивается удерживающее усилие, соответствующее заданному коэффициенту устойчивости склона, может быть рассчитано по формуле:

$$L = \frac{P_n R' + 2SR''}{kR \Sigma T_{cd} - R \Sigma T_{уд}}, \quad (4)$$

где P_n — лобовое сопротивление смещению, равное критическому давлению, умноженному на высоту торца контрфорса в промежутке между поверхностью грунта и уровнем поверхности смещения;

R' — расстояние от центра вращения откоса до направления силы P ;

k — заданный коэффициент устойчивости;

$\Sigma T_{уд}$, ΣT_{cd} — суммы удерживающих и сдвигающих сил, определяемые для свободного, не удерживаемого контрфорсами откоса;

R — радиус вращения свободного откоса;

S — равнодействующая сил трения, которые действуют по боковой поверхности контрфорса;

R'' — расстояние от центра вращения до направления силы S .

Расстояния между контрфорсами, определенные по формуле (4), достаточно близки к величинам, полученным экспериментально, и гораздо ближе к расстояниям, которые приняты на основании практического опыта, чем определенные по другим расчетным методикам.

Последовательный расчет контрфорсов, включая расчет конструкции, изложен в проекте «Наставления по расчету контрфорсов», которое приводится в диссертации в качестве приложения.

В ы в о д ы

В диссертации на основании экспериментальных и теоретических исследований разработана методика расчета зон влияния вентиляционных дренажей на гидравлическом интеграторе ИГЛ. Предложен способ ориентировочного определения числа дренажных сооружений, обеспечивающих необходимое увеличение устойчивости склонов.

На основании анализа работы различных противооползневых сооружений в глинистых грунтах предложены конструкции контрфорсно-вентиляционного дренажа, обеспечивающие осушение и удержание водонасыщенных глинистых грунтов.

Экспериментальные исследования работы контрфорсных сооружений в различных грунтовых условиях, проведенные методом центробежного моделирования, позволили выбрать обоснованные схемы расчета. Показано, что величина удерживающего усилия, которое возникает на торцах ряда контрфорсных сооружений, устроенных в глинистом грунте с малым углом внутреннего трения, может быть определена по зависимостям, выведенным на основании теории пластичности.

Предложен приближенный способ расчета устойчивости расположенных глинистых насыпей методом теории пластичности. Получена зависимость расстояний между контрфорсными столбами, при которых достигается устойчивость насыпи, от характеристик грунта и нагрузки на насыпь.

Для расчетов отдельно стоящих контрфорсов, устроенных в грунтах, которые обладают и трением и сцеплением, применен метод теории предельного равновесия. Выведена формула для определения лобового сопротивления контрфорсов. Значения входящих в нее коэффициентов табулированы.

Результаты расчетов по предложенным методикам достаточно хорошо согласуются с данными лабораторных и натуральных экспериментов и результатами натуральных наблюдений.

В приложении к диссертации дан составленный автором проект «Наставления по расчету контрфорсов», которое предназначено для использования при проектировании.

Разработанные методы расчета дают возможность объективной оценки эффективности контрфорсно-вентиляционных сооружений и обоснованного выбора количества сооружений, необходимых для стабилизации склонов.

П Е Р Е Ч Е Н Ь

работ автора, в которых опубликованы материалы диссертации.

1. К расчету контрфорсных сооружений. Сборник «Вопросы геотехники» № 5, Днепропетровск, 1962.
2. Укрепление откосов слабых насыпей сваями. Сборник «Вопросы геотехники» № 5, Днепропетровск, 1962. (Совместно с Л. С. Лapidусом).
3. Оползни в Молдавии и методы борьбы с ними. Изд. «Картя Молдове-кяскэ», 1963.

г. Днепропетровск, тип. металлургического института. Зак. 1936—150.
Подп. к печ. 30. 8. 63 г. БТ 11772. Объем 1 физ. п. л., 0,913 усл. п. л.