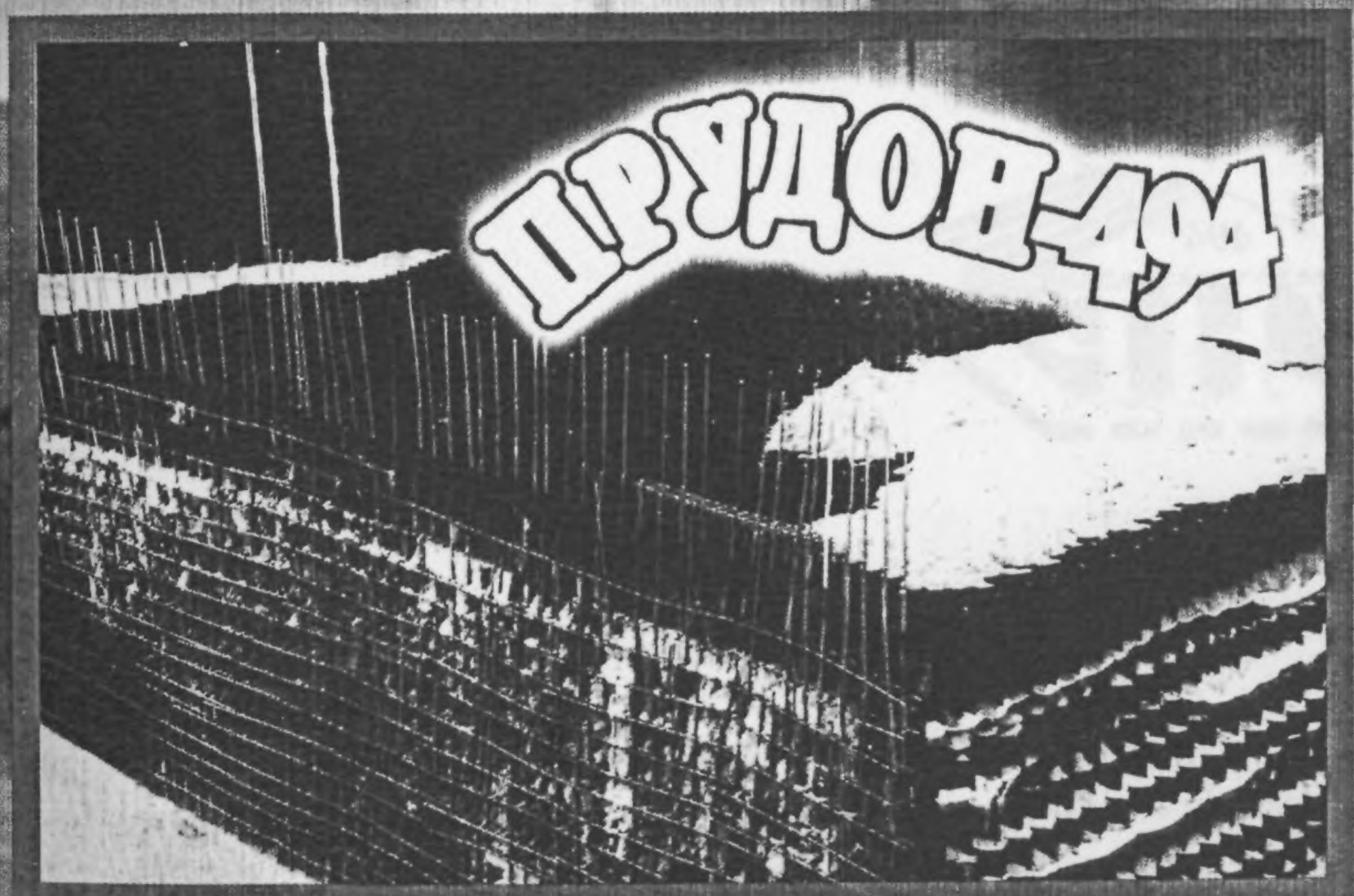
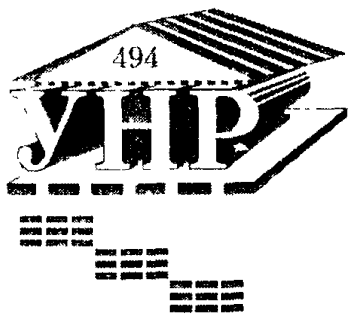
Л.И. СЕМЕНДЯЕВ

МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАСЫПЕЙ, АРМИРОВАННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ



Москва
2001

gost.e-ecolog.ru



Данные материалы (информация) являются коммерческим продуктом и не подлежат применению и копированию в любой форме без письменного разрешения ОАО 494 УНР и разработчика (к.т.н. Л.Н.Семенцяева)

140170, Московская обл., г. Бронницы, ул. Строительная, 4
Тел (095) 950-82-38, 554-74-94
Тел/факс (095) 953-86-70
Факс (095) 950-87-02

E-mail unr494@dts.ru

Л.И. Семендяев

МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАСЫПЕЙ, АРМИРОВАННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Москва
2001

АННОТАЦИЯ

В работе изложен новый подход к решению задачи расчета армогрунтовых насыпей, построенный на непосредственном учете совместной работы грунта и армирующих прослоек на каждом горизонте, учете совместной работы потенциальных поверхностей обрушения левого и правого откосов насыпи. Определен состав задач, результаты последовательного решения которых позволяют обосновать надежную и экономичную схему армирования конструкции различными материалами. Приведены примеры расчета схем армирования откосов насыпей при различных условиях распределения внешней нагрузки, для различных материалов и конструкций.

Работа выполнена к.г.н. Семендяевым Л.И. (Союздорнии).

МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАСЫПЕЙ, АРМИРОВАННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Основные предпосылки:

- наличие потенциальной поверхности смещения неустойчивой части конструкции (КЦПС);
- регулируемая величина деформирования исходного контура конструкции (метод смещений)

Исходные данные:

- геометрия и структура конструкции;
- характеристики *c, φ, γ* грунтов;
- прочностные и деформационные характеристики армирующего материала.

Дополнительные условия:

- распределенная внешняя нагрузка;
- минимально допустимое заглубление верхнего горизонта армирования;
- минимально допустимое расстояние между соседними горизонтами армирования.

Основные этапы:

- расчет условий армирования основания;
- расчет оптимальной схемы армирования откоса;
- учет взаимного влияния левого и правого откосов насыпи;
- расчет длины заделки полос армирующего материала;
- расчет условий закрепления поверхностных частей откоса.

Основные результаты:

- возможность рассмотрения различных армирующих материалов (геополотно, геосетки, георешетки и др.) с известными характеристиками;
- равномерное нагружение армирующего материала по всем горизонтам;
- минимально необходимое (не назначенное) количество горизонтов армирования;
- оптимальное место расположения каждого горизонта в теле земляного полотна (переменный шаг армирования);
- применение в одной конструкции различных армирующих материалов.
- обеспечение не ниже требуемой степени устойчивости конструкции при минимально необходимом расходе армирующих материалов.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр
1 Состояние вопроса	5
2 Выбор потенциальной поверхности обрушения неустойчивой части откоса	7
3 Интегральная модификация метода КЦПС	8
4 Расчет устойчивости и условий армирования основания насыпи	11
5 Расчет схемы армирования откоса	14
6 Особенности расчета армированных насыпей	24
7 Расчет условии закрепления участков откоса между соседними горизонтами армирования	32
8 Примеры расчетов	34
9 Основные выводы	41
10 Использованная литература	44

К.т.н. Семендяев Л.И. (Союздорнии)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАСЫПЕЙ, АРМИРОВАННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Метод армирования земляных сооружений с целью повышения степени их устойчивости известен давно, однако только в последние годы сфера его использования существенно расширилась в связи с тем, что строительство земляных сооружений приходится осуществлять в сложных условиях, а также в связи с тем, что в широком ассортименте появились новые армирующие материалы, в первую очередь геотекстильные (геополотно, геосетки, георешетки и т.п.). Разнообразие таких материалов и их характеристик позволяет сегодня успешно решать задачу повышения надежности работы земляных сооружений различного назначения, в том числе и повышения до требуемого уровня степени устойчивости откосов земляного полотна автомобильных дорог. Такая задача возникает при строительстве земляного полотна в стесненных условиях, строительстве высоких насыпей, использовании при сооружении земляного полотна местных грунтов, отличающихся сравнительно невысокими прочностными показателями, и в ряде других случаев.

Методические аспекты решения задачи расчета армогрунтовых конструкций, в том числе и армированных откосов земляного полотна, развивались зарубежными и отечественными исследованиями на протяжении многих лет. Основы теоретического метода расчета армированного грунта были разработаны во Франции в 1966 году А. Видалем и Ф. Шлоссером. Дальнейшее развитие метода нашло свое отражение в исследованиях М.Д. Болтона, С. Чоудри, Ромстада, Жюрана, Т.С. Ингольда, Д. Лещинского, J.R. Gours (метод смещений) и др. Много внимания этой проблеме уделили и отечественные исследователи А.П. Демидов, Э.М. Добров, И.Е. Евгеньев, В.И. Заворицкий, В.Д. Казарновский, В.С. Коваль, А.А. Колесов, Ю.Р. Перков, Ю.В. Пудов, Н.Н. Смуров, Ю.Е. Хечинов, А.А. Цернант, Е.В. Щербина и др.

Вместе с тем наряду с известными достижениями в этом направлении существуют и проблемы, требующие дополнительных исследований. В первую

очередь это относится к необходимости повышения уровня соответствия расчетных схем решения задачи реальным условиям работы армирующих прослоек в конструкции.

Существующие методы расчета армированных откосов земляного полотна в своем большинстве носят приближенный характер, так как не в полной мере учитывают особенности работы армирующего материала в грунте, его (материала) деформативные свойства. Практически во всех разработках размещение армирующих прослоек по высоте земляного сооружения принимается фиксированным с постоянным шагом армирования. Как правило, при этом расчет ориентирован лишь на определение степени устойчивости конструкции в целом без решения задач по обеспечению требуемой степени устойчивости всех ее частей, равномерного нагружения всех горизонтов армирования, наиболее целесообразного с точки зрения повышения устойчивости откоса до требуемого уровня размещения прослоек в теле земляного полотна. При этом не рассматриваются задачи определения оптимального (минимально необходимого) количества горизонтов армирования, обоснованного места расположения каждого из них в теле земляного полотна, минимального расхода армирующих материалов и др.

Проведенный анализ существующих методов расчета армированных откосов, а также результатов экспериментальных исследований, выполненных в последние годы многими исследователями, позволил разработать новый, более обоснованный в сравнении с известными отечественными и зарубежными аналогами, метод расчета армогрунтовых конструкций, построенный на непосредственном учете условий взаимодействия грунта и армирующего материала на каждом горизонте армирования. При этом в качестве армирующего элемента может быть рассмотрен любой конкретный материал произвольного типа (геополотно, геосетки, георешетки и др.) с известными значениями прочностных и деформационных характеристик.

Разработанная методика оптимизационного расчета схемы армирования откосов насыпей земляного полотна построена в соответствии с рабочей гипотезой

метода смещений на предположении существования потенциальной поверхности обрушения неустойчивой части откоса. При этом допускается регулируемая величина смещения неустойчивой части откоса по потенциальной поверхности. В качестве такой поверхности, как и в большинстве известных методов, рассматривается круглоцилиндрическая поверхность.

2. ВЫБОР ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОБРУШЕНИЯ НЕУСТОЙЧИВОЙ ЧАСТИ ОТКОСА

При решении задачи расчета схемы армирования откоса определяющее значение имеет выбор потенциальной поверхности обрушения его неустойчивой части. Многие существующие методики расчета армированных откосов в качестве такой поверхности рассматривают дугу окружности, захватывающую не только толщу откоса, но и верхние слои основания. Вместе с тем, представляется целесообразным задачу оценки и обеспечения устойчивости основания насыпи решать автономно, а расчет схемы армирования откосов осуществлять при условии устойчивого, недеформируемого основания. В таком случае можно предположить, что потенциальная поверхность должна проходить через подошву откоса, что подтверждается результатами многочисленных расчетов. При этом будет решаться задача обеспечения требуемой степени устойчивости (Ктр) откоса в целом, а не его части.

Существующая практика расчетов свидетельствует о том, что нередко в качестве потенциальной поверхности возможного обрушения неустойчивой части откоса рассматривается критическая дуга окружности, которой соответствует наименьшее в конкретных условиях значение коэффициента устойчивости откоса. Такой подход является обоснованным лишь в том случае, если рассчитанное значение коэффициента устойчивости незаармированого откоса удовлетворяет условию

$$1 \le Куст < Ктр \qquad (1)$$

В противном случае, если Куст <1, в качестве потенциальной поверхности

обрушения неустойчивой части откоса целесообразно рассматривать не критическую (Куст) поверхность, а предельную, которой соответствует значение коэффициента устойчивости, наименее в конкретных условиях отличающееся от 1 (Кпр=1)

С учетом существующих представлений только при выбранной таким образом потенциальной поверхности обрушения неустойчивой части откоса может быть обоснованно рассчитана схема его армирования, обеспечивающая требуемую степень устойчивости откоса

3. ИНТЕГРАЛЬНАЯ МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА КЦПС

В отечественной автодорожной практике при оценке устойчивости откосов земляного полотна чаще всего используется метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения (КЦПС). Классическая расчетная схема метода предусматривает разбиение отсека обрушения на вертикальные блоки определенной ширины Степень устойчивости откоса при этом оценивается по значению коэффициента устойчивости, вычисляемого по формуле

$$K=\frac{\sum (P_i tg\varphi_i \cos\alpha_i + c_i \ell_i)}{\sum P_i \sin\alpha_i} = \frac{\sum_{i}^{n} (N_i tg\varphi_i + c_i \ell_i)}{\sum_{i}^{n} T_i}, \text{где} \qquad (2)$$

n - количество расчетных блоков, на которые разбивается отсек обрушения;

P_i - вес грунта блока,

α_i - угол наклона поверхности скольжения блока к горизонту;

φ_i, c_i - соответственно угол внутреннего трения и сцепление грунта на поверхности скольжения,

ℓ_i - длина хорды, соединяющей концы дуги скольжения в пределах блока

При практическом использовании классической расчетной схемы метода КЦПС в большинстве случаев не учитывается, что точность результатов

вычислений во многом определяется шириной расчетных блоков, в пределах каждого из которых дуга скольжения заменяется хордой. В некоторых случаях накопленная таким образом погрешность может достигать 15-20% как в сторону увеличения расчетного значения коэффициента устойчивости, так и в сторону его уменьшения. Гарантированная точность метода при заданной поверхности скольжения достигается в случае разбивки отсека обрушения на достаточно большое количество расчетных блоков, когда длина хорды, определяющей основание блока, с достаточной точностью совпадает с длиной дуги окружности в пределах блока. Это обстоятельство и было положено в основу интегральной модификации расчетной схемы метода КЦПС, в полном объеме реализующей основную рабочую предпосылку метода - обрушение откоса по дуге окружности, а не по ломаной /1/. С ее использованием обеспечивается необходимая точность вычислений без привлечения дополнительных мероприятий и расширяется сфера возможного использования метода.

Расчетная схема реализации метода КЦПС в этом случае определяется следующими соотношениями (см. формулу (2)):

$$\ell_i = R\left|_{x1}^{x2} arcSin\frac{(x-a)}{R}\right. ; \qquad (3)$$

$$T_i = \frac{\gamma}{R}\left|_{x1}^{x2}\left\{(1-b)ax + 5(Ba+b-A)x^2 - \frac{B}{3}x^3 + \frac{\sqrt{\left[R^2-(x-a)^2\right]^3}}{3}\right\}\right. ; \qquad (4)$$

$$N_i = \frac{\gamma}{R}\left|_{x1}^{x2}\left\{\frac{A-b+Ba}{2}\left[(x-a)\sqrt{R^2-(x-a)^2} + R^2 arcSin\frac{(x-a)}{R}\right]\right.\right.$$

$$\left.\left. - \frac{B\sqrt{\left[R^2-(x-a)^2\right]^3}}{3} + R^2x - \frac{(x-a)^3}{3}\right\}\right., \text{ где:} \qquad (5)$$

a, b, R - ссоответственно координаты центра и радиус окружности скольжения;

A, B - параметры уравнения y=A+Bx поверхности блока,

x1, x2 - левая и правая границы расчетного блока;

$\left|\frac{x2}{x1}\right| = x2 - x1$ - известная формула двойной подстановки;

Границы расчетных блоков определяются в автоматическом режиме программным путем. Ими являются точки излома контура откоса, пересечения дуги с контуром откоса и границами конструктивных слоев и др. В рамках соотношений (3-5) ширина таких блоков и их количество не влияют на точность результатов расчетов

Помимо этого, разработана расчетная схема реализации интегральной модификации метода КЦПС, позволяющая определять, в случае необходимости, положение не только критической (Kmin), но и любой другой поверхности возможного обрушения неустойчивых частей конструкции, в том числе и в общем случае условно предельной, которой соответствует значение коэффициента устойчивости, наименее отличающееся с учетом конкретных условий от 1.

При разработке схемы армирования откоса немаловажное значение имеет требуемая степень устойчивости откоса. Как правило, требуемое значение коэффициента устойчивости откоса устанавливается без достаточных обоснований. Вместе с тем при проектировании земляного полотна автомобильных дорог в сложных условиях требуемое значение коэффициента запаса устойчивости его откосов должно назначаться с учетом конкретных условий. В Союздорнии /2/ разработан специальный подход, в соответствии с которым требуемое значение коэффициента запаса устойчивости откосов насыпи (выемки) определяется по формуле

$$K_{тр} = K_н N_c N_o / M_o, \text{ где} \qquad (6)$$

Кн - коэффициент надежности по назначению сооружения (см СНиП 2.02.01-83), для дорог I категории Кн=1.25, для дорог II категории Кн=1.2, для дорог III категории Кн=1.15, для дорог IV категории Кн=1.1;

Nc - коэффициент сочетания нагрузок, Nc= 1-0.9;

No-коэффициент перегрузки, No=1 .2 для насыпей;

Mo-коэффициент условий работы, Mo=0.9 для пылевато-глинистых грунтов в стабилизированном состоянии (выемки) и Mo=0.85 в нестабилизированном состоянии.

Вместе с тем использование формулы (6) приводит в некоторых случаях к завышенному (до 1.7) значению Kтр Практика расчетов сложных участков земляного полотна автомобильных дорог свидетельствует о том, что эксплуатационная надежность таких конструкций обеспечивается при Kтр=1 2-1 4

4. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ И УСЛОВИЙ АРМИРОВАНИЯ ОСНОВАНИЯ НАСЫПИ

При проектировании и строительстве земляного полотна автомобильных дорог (и других грунтовых сооружений) в сложных условиях проблема обеспечения его длительной работоспособности является комплексной и ее решение базируется на результатах последовательного рассмотрения следующих основных задач:

- оценки устойчивости и стабильности и в случае необходимости обеспечения требуемой степени работоспособности основания насыпи,

- оценки устойчивости откосов насыпи и в случае необходимости обеспечения требуемой степени их устойчивости с использованием различных мероприятий, в том числе и метода армирования;

- расчета условий закрепления участков откоса между соседними горизонтами армирования, непосредственно примыкающих к образующей откоса, и расчета мероприятий по закреплению поверхности откоса.

Оценка устойчивости откоса может быть целесообразной только при условии устойчивого основания насыпи. В противном случае такая задача становится некорректной, поскольку нарушение в той или иной форме устойчивости основания может привести к частичному или полному выходу из строя конструкции в целом безотносительно к степени устойчивости собственно

откосов насыпи С другой стороны, при устойчивом основании конкретизируются условия решения задачи оценки и обеспечения требуемой степени устойчивости откосов насыпи

Задача оценки и обеспечения требуемой степени устойчивости и стабильности основания насыпи в зависимости от конкретных условий может иметь различные пути решения. В связи с тем, что в практике дорожного строительства нередко встречаются случаи, когда трасса автомобильной дороги проходит по участкам распространения грунтов, относящихся в соответствии с дорожной классификацией к разряду "слабых", при расчете индивидуальных конструкций земляного полотна необходимо учитывать это обстоятельство

Как известно /3/, к земляному полотну, сооружаемому с использованием "слабых" грунтов в основании насыпи, помимо общих требований, и изложенных в действующих нормативных документах, предъявляются ряд дополнительных, в том числе:

-должна быть исключена возможность выдавливания оставляемого "слабого" грунта из-под насыпи в процессе ее возведения и эксплуатации (обеспечена устойчивость основания);

интенсивная часть осадки должна завершиться до сооружения покрытия (обеспечена стабильность).

При этом оценка устойчивости основания может быть осуществлена с использованием известного метода Союздорнии /3/, а прогноз осадки основания от веса насыпи может быть осуществлен как с использованием известных представлений /3/, так и нового подхода /4,5/, построенного на реализации математических корреляционных моделей процессов лабораторных компрессионных и консолидационных испытаний образцов грунта расчетных слоев основания. По результатам такой оценки могут быть назначены /3/ мероприятия по обеспечению требуемого уровня устойчивости и стабильности основания насыпи.

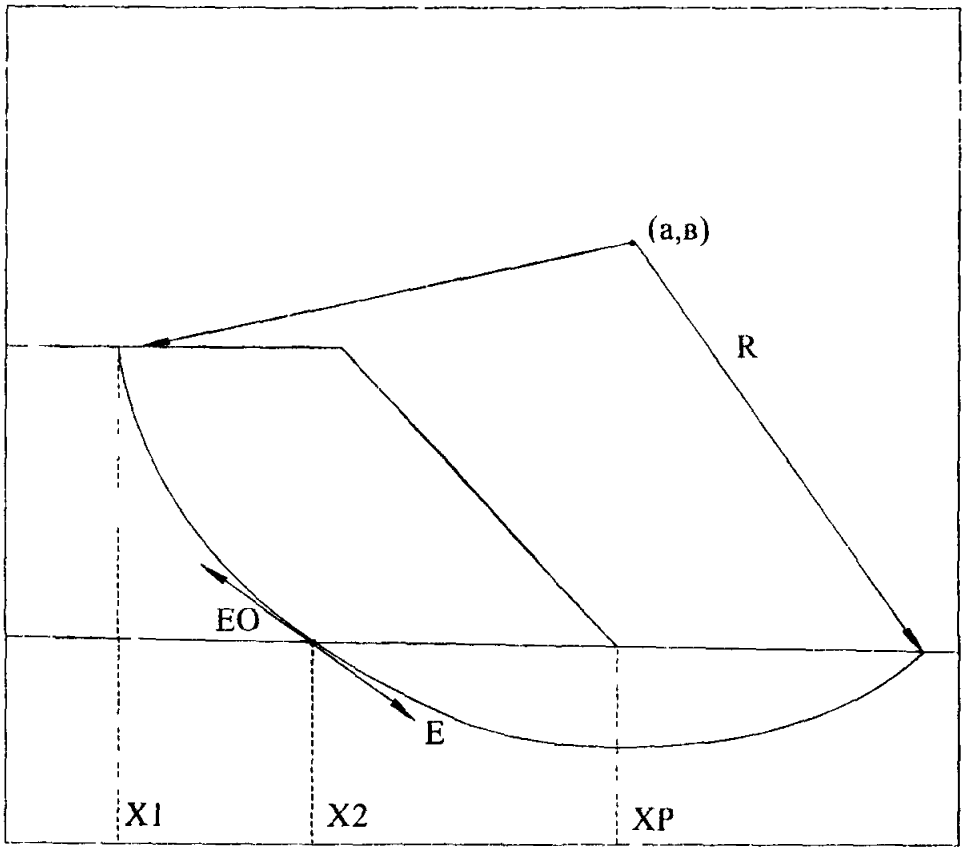


Рис. 1. Схема обрушения откоса с заходом дуги в основание.

В тех случаях, когда основание насыпи сложено из недеформируемых грунтов, задача оценки его эксплуатационной надежности может быть решена исходя из несколько иных соображений. При этом методика решения такой задачи может быть построена на использовании интегральной модификации метода КЦПС и реализующего ее программного комплекса. На основе указанных разработок может быть осуществлена оценка степени устойчивости откосов насыпи с учетом работы основания по предельному состоянию. Если по результатам расчетов оказывается, что поверхность обрушения захватывает не только откосную часть насыпи, но и верхние слои основания (рис 1), и при этом расчетное значение коэффициента устойчивости меньше требуемого, расчет схемы армирования основания насыпи может быть осуществлен путем сопоставления

расчетной величины оползневой нагрузки E, действующей в точке X2 пересечения поверхности основания с дугой окружности. По величине такой нагрузки, накопленной по протяженности дуги от т.X1 выхода ее на поверхность откоса до т. X2, может быть выбран армирующий материал, прочностные показатели которого в случае его укладки непосредственно на основание насыпи позволяют полностью воспринять нагрузку E.

При этом необходимо учитывать роль основания в формировании значения коэффициента устойчивости конструкции в целом. С этой целью следует оценивать баланс удерживающих и сдвигающих сил, действующих на нижнем участке дуги между точками ее пересечения с основанием. С учетом требуемого значения коэффициента запаса устойчивости конструкции в целом баланс сил на указанном участке может обеспечить некоторый запас устойчивости, определяемый в том числе и работой основания насыпи. Расчетная величина ЕО такого запаса должна быть учтена путем уточнения значения нагрузки E (рис.1), в соответствии с которой рассчитываются условия армирования основания насыпи.

Если же по результатам расчетов оказывается, что расчетное значение коэффициента устойчивости конструкции (при условии захвата дугой слоев основания) не меньше требуемого, можно переходить к решению следующей задачи-расчету схемы армирования откоса (насыпи в целом) относительно потенциальных поверхностей обрушения его неустойчивых частей.

5. РАСЧЕТ СХЕМЫ АРМИРОВАНИЯ ОТКОСА

Расчет схемы армирования откоса осуществляется в соответствии с основной рабочей гипотезой метода смещений, заключающейся в том, что армирующая прослойка включается в работу лишь после того, как произошло некоторое смещение неустойчивой части откоса по потенциальной поверхности. Регулируемая величина Sдоп смещения поверхности откоса вызывает деформирование прослойки. В соответствии с расчетной схемой метода смещений

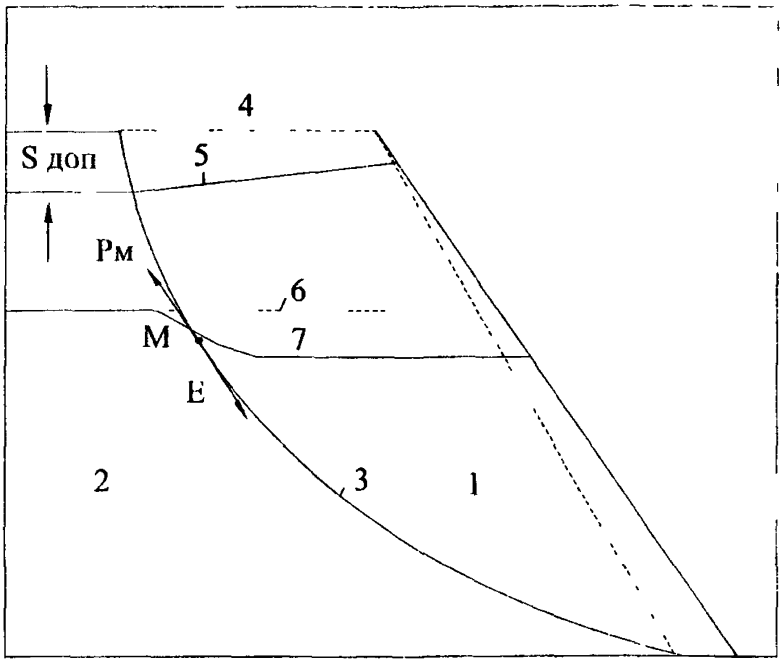


Рис. 2. Схема деформирования армирующей прослойки.

1 - неустойчивая часть откоса;

2 - устойчивая часть насыпи;

3 - потенциальная поверхность смещения;

4 - исходный контур откоса;

5 - деформированный контур откоса;

6 - исходное расположение прослойки;

7 - положение прослойки после деформации откоса.

прослойка после деформирования занимает положение, представленное на рис 2 При этом в некоторой окрестности точки М пересечения прослойки с потенциальной поверхностью приобретенное положение полосы армирующего материала совпадает с потенциальной поверхностью, что определяет возможность рассмотрение баланса сил в плоскости, касательной к потенциальной поверхности в т М.

При расчете схемы армирования откоса предусмотрено выполнение некоторых дополнительных условий [6].

В общем случае должен быть предусмотрен учет дополнительной внешней нагрузки, распределенной на фиксированном интервале поверхности насыпи. Помимо этого, место расположения в теле откоса верхнего горизонта армирования выбирается исходя из условия минимально допустимого по технологическим или некоторым другим соображениям его заглубления от поверхности откоса. Примерно по тем же соображениям в качестве естественного ограничения определяется и величина минимально допустимого расстояния по вертикали между соседними горизонтами армирования. Численное значение такой величины может изменяться в зависимости от конкретных условий и существенно влияет на результаты расчетов.

Расчет схемы армирования откоса осуществляется относительно потенциальной поверхности обрушения его неустойчивой части, условия выбора которой определены ранее. Целесообразность рассмотрения в качестве потенциальной предельной (Куст=1) поверхности, особенно для откосов повышенной крутизны, может быть проиллюстрирована информацией, представленной на рис 3, полученной для одного из реальных объектов. Схема армирования откоса, рассчитанная относительно критической (Куст=0.53) поверхности обрушения, в итоге оказывается расположенной в зоне возможного обрушения неустойчивой части откоса относительно предельной поверхности обрушения (Куст=1).

На начальном этапе анализируется целесообразность осуществления мероприятий по повышению степени устойчивости откоса до требуемого уровня, в том числе и с использованием метода армирования. Для этого оценивается устойчивость незаармированного откоса. Если при этом расчетное значение коэффициента устойчивости откоса оказывается не меньше требуемого значения (Кtр), нет необходимости в расчете мероприятий по увеличению степени устойчивости откоса до требуемого уровня.

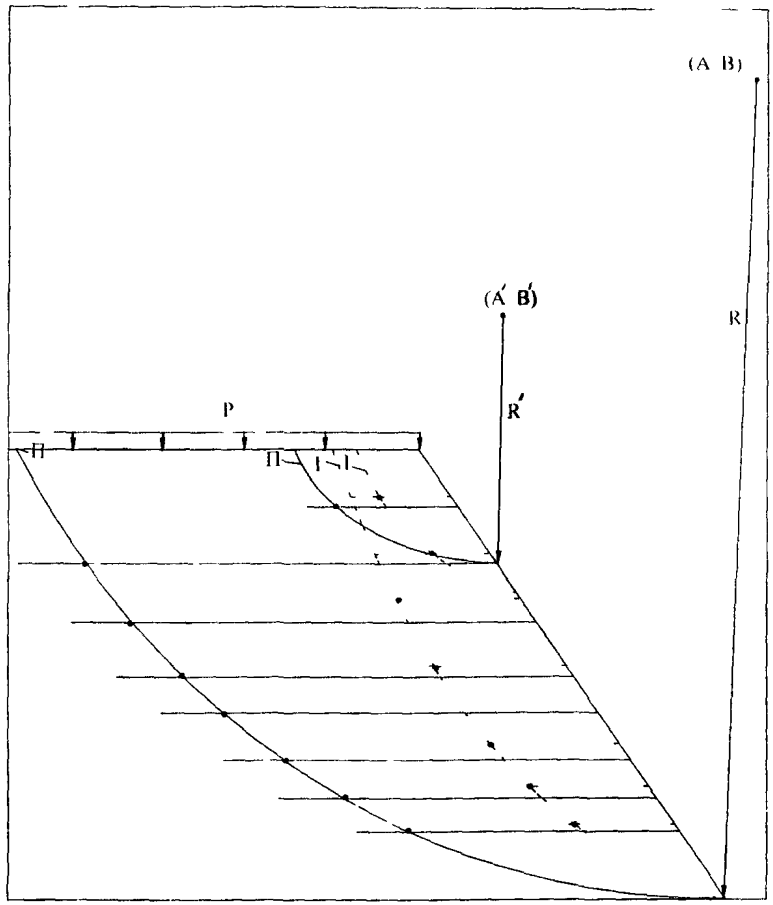


Рис 3 Схемы армирования откоса относительно I критических (штриховые линии, Куст–0,53) и II предельных (сплошные линии, Куст–1) поверхностей обрушения его неустойчивых частей

В противном случае в рамках поставленной задачи с учетом дополнительных условий (обеспечение требуемой (Ктр) степени устойчивости откоса, минимально допустимого заглубления 1 го сверху горизонта армирования откоса от поверхности, минимально допустимого расстояния между соседними горизонтами армирования, максимального растягивающего усилия, допустимого в армирующем материале)

- определяется потенциальная поверхность возможного обрушения неустойчивой части незаармированного откоса (Куст≥ 1);

- рассчитывается схема армирования откоса относительно потенциальной поверхности возможного обрушения его неустойчивой части;

- рассчитывается минимально необходимая длина анкерной заделки полосы армирующего материала в устойчивой части откоса на каждом горизонте армирования;

- рассчитывается минимально необходимое количество полос армирующего материала на каждом горизонте армирования;

- рассчитывается минимально необходимый расход армирующего материала на каждом горизонте армирования.

При этом потенциальная поверхность возможного обрушения неустойчивой части откоса определяется с учетом определенных выше положений

Расчет схемы армирования откоса относительно потенциальной поверхности возможного обрушения его неустойчивой части осуществляется сверху вниз

Расчет оптимального для конкретной конструкции места расположения каждого из горизонтов армирования осуществляется в следующей последовательности По известной величине Р разрывной нагрузки материала условие допустимости расположения армирующей прослойки на заданном горизонте определяется из соотношения

$$Рм=КиР. \qquad (7)$$

Коэффициент Ки регулирует уровень использования при расчетах прочностных и деформационных свойств армирующего материала. В зависимости от особенностей армирующего материала, значений его характеристик, естественных условий и условий работы материала в конструкции значения Ки могут изменяться в достаточно широком диапазоне (ориентировочно $0.3 \leq Ки \leq 0.75$ - Е.В. Щербина, МГСУ и др).

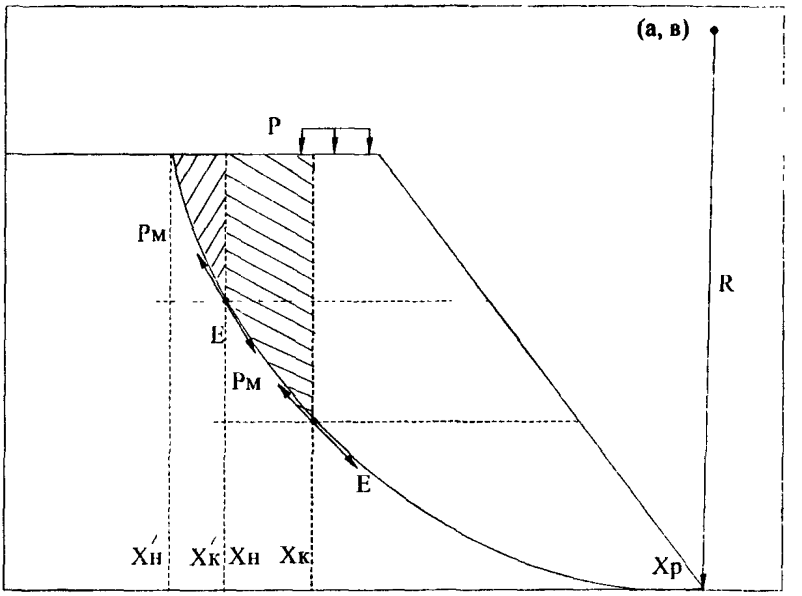


Рис.4. Схема определения оптимального места расположения в теле откоса горизонтов армирования.

Оптимальное место расположения очередного горизонта армирования откоса определяется поиском такой точки **Хк**, в соответствии с которой на отрезке (Хн,Хк) выполняется (см. рис.4) условие

$$E(Хн,Хк)=Рм, \qquad (8)$$

где Хн - "х"-координата точки пересечения горизонта расположения предыдущей армирующей прослойки (или точки выхода дуги потенциальной поверхности обрушения на поверхность откоса для верхнего горизонта) с дугой скольжения;

$$E(Хн,Хк)=КтрСд(Хн,Хк)-Уд(Хн,Хк)- \qquad (9)$$

оползневая нагрузка на горизонт в пределах отрезка (Хн,Хк);

Ктр - требуемое значение коэффициента запаса устойчивости откоса;

Сд(Хн,Хк) - суммарная величина сдвигающих сил в пределах отрезка;

Уд(Хн,Хк) - суммарная величина удерживающих сил на том же отрезке дуги.

При этом расчетный горизонт расположения прослойки в грунте откоса

соответствует середине высоты (толщины) полосы армирующего материала. Расчетное значение Хк итерационным путем выбирается таким образом, чтобы расстояние между соседними горизонтами армирования не оказалось меньше предельно допустимого. В случае возникновения такой ситуации необходимо либо использовать другой армирующий материал, обладающий более высокими прочностными показателями, либо увеличивать количество полос на горизонте исходного армирующего материала с повторением расчетов до тех пор, пока расстояние по вертикали между соседними горизонтами армирования окажется не меньше предельно допустимого.

При выполнении перечисленных условий оптимальное место расположения очередного (i-го) горизонта армирования можно считать определенным. После этого можно переходить к расчету места расположения следующего (i+1-го) горизонта армирования аналогичным образом, полагая

$$Хн(i+1)=Хк(i). \qquad (10)$$

При этом в каждом случае анализируется текущее значение Хк. Если в процессе расчетов Хк оказывается больше Хр (см.рис.4), задача определения минимально необходимого количества горизонтов армирования (и полос материала) и оптимального места расположения каждого из них в теле насыпи относительно потенциальной поверхности возможного обрушения неустойчивой части откоса в целом может считаться решенной.

Вместе с тем, как показали результаты многочисленных расчетов, при использовании в качестве армирующих современных материалов с высокими прочностными показателями (прочность на разрыв больше 5-10 т/м) в результате проведенных таким образом расчетов может оказаться, что все горизонты армирования располагаются в низовой части откоса. В таких случаях целесообразно рассматривать задачу для верховой, незаармированной по результатам предшествующих расчетов (рис.3), части откоса, начиная с определения места расположения локальной (A', B', R') условно предельной поверхности возможного обрушения неустойчивой части верховой зоны откоса.

При этом возможны два варианта решения указанной локальной задачи: с

использованием исходного армирующего материала или же с заменой его на другой, более экономичный и обладающий меньшими значениями прочностных показателей. В первом случае (исходный армирующий материал) с целью обеспечения требуемой степени устойчивости приоткосных частей насыпи может быть назначена схема армирования верховой части откоса с расстоянием между соседними горизонтами, включая верхний горизонт основной схемы армирования, равным или несколько большим минимально допустимого. В таком случае степень устойчивости верховой части откоса будет обеспечена с некоторым запасом. Во втором случае (замена армирующего материала) решение задачи расчета схемы армирования верховой части откоса осуществляется в соответствии с общими принципами. Различие заключается лишь в том, что при назначении схемы армирования верховой части откоса следует рассматривать в качестве расчетной конструкции верхнюю часть основной, незаармированную по результатам решения общей задачи.

По итогам решения такого комплекса задач может быть рассчитана схема оптимального армирования откоса с учетом условий, определяемых положением общей и локальной предельных поверхностей скольжения.

Расход армирующего материала для каждой конструкции определяется как общим количеством горизонтов армирования, так и количеством полос материала на каждом горизонте, а также минимально необходимой длиной полос материала на каждом горизонте.

Длина полосы армирующего материала на горизонте армирования назначается из условий полного перекрытия неустойчивой части откоса и предотвращения возможности выдергивания материала из грунта устойчивой части откоса за счет действия оползневой нагрузки. При этом условие заделки прослойки в устойчивой части откоса Ю.В. Пудовым /1/ предложено определять по формуле

$$L = K\frac{E_{cn} Sin\alpha}{K_{\varphi}(P+\gamma h)(tg\varphi_1 + tg\varphi_2)}, \qquad (11)$$

где L - минимально необходимая длина заделки армирующей прослойки

в устойчивой части откоса,

E_{on} - оползневая нагрузка на участке дуги между очередным и вышележащим горизонтами армирования;

α - угол между касательной к поверхности скольжения и нормалью к плоскости прослойки в месте их пересечения;

К - коэффициент, определяемый соотношением

$$K=Ктр/Куст, \qquad (12)$$

Куст – коэффициент устойчивости откоса относительно потенциальной поверхности обрушения;

Р – интенсивность внешней нагрузки в точке пересечения горизонта армирования с дугой окружности;

γ – удельный вес грунта над прослойкой;

h - глубина расположения горизонта армирования от поверхности;

K_φ - коэффициент учета трения между грунтом и материалом прослойки (для песчаных грунтов K_φ=0,83-0,9 – Е.В. Щербина, МГСУ);

φ_1, φ_2 - угол внутреннего трения грунта соответственно над и под прослойкой.

В тех случаях, когда предусматривается армирование насыпи в целом, а не только ее приоткосных частей, нет необходимости в расчете длины анкерной заделки полос армирующего материала. Длина полосы материала на каждом горизонте армирования определяется при этом расстоянием между точками пересечения горизонта с образующими левого и правого откосов насыпи.

Рассчитанная таким образом длина Lmin заделки полосы армирующего материала на горизонте предотвращает возможность ее выдергивания из грунта устойчивой части откоса Вместе с тем расчетное значение Lmin не во всех случаях обеспечивает достижение требуемой степени Ктр устойчивости конструкции в целом и ее частей. С целью обоснованного обеспечения не ниже требуемой степени устойчивости конструкции длину заделки полосы армирующего материала на горизонте целесообразно определять в соответствии с условием (рис 5)

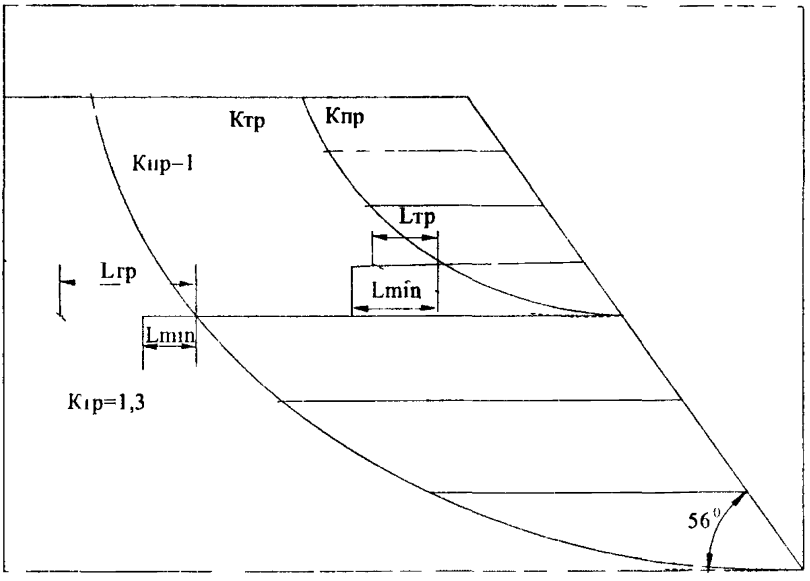


Рис 5 Схема расчета длины заделки полос армирующего материала в устойчивой части откоса

$L_i = \max(L_{min}, L_{тр})$, где (13)

i - номер горизонта армирования,

Lmin минимально необходимая на горизонте длина заделки полосы армирующего материала, рассчитанная по формуле (11),

Lтр - расстояние по горизонту между потенциальной (Кпр на рис 5) поверхностью и поверхностью, которой соответствует значение коэффициента устойчивости К=Ктр

6. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА АРМИРОВАННЫХ НАСЫПЕЙ

Все известные методы рассматривают схему армирования только одного отдельно взятого откоса конструкции. Вместе с тем в насыпи земляного полотна присутствуют, как правило, два откоса - левый и правый. В зависимости от конструктивных особенностей насыпи, ширины проезжей части автомобильной дороги и некоторых других обстоятельств во многих случаях оказывается достаточным рассмотрение условий армирования только одного откоса насыпи с автоматическим переносом полученного для него решения на другой и на насыпь в целом. Однако в некоторых случаях такая схема армирования насыпи может оказаться некорректной.

В своем большинстве существующие методики расчета армированных откосов построены на предположении существования потенциальной поверхности обрушения неустойчивой части откоса. В качестве такой поверхности чаще всего рассматривается кругло цилиндрическая поверхность (дуга окружности на поперечном разрезе насыпи), относительно которой и рассчитывается схема армирования откоса. При этом, как свидетельствуют результаты расчетов, в сложных случаях (высокая насыпь, крутые откосы, внешняя нагрузка и условия ее распределения и др.) расстояние от бровки откоса до выхода потенциальной дуги на поверхность дороги может быть значительным, по крайней мере сопоставимым с высотой насыпи.

На рис.3 представлены результаты построения потенциальной предельной (Куст=1) поверхности обрушения неустойчивой части песчаного откоса одного из реальных объектов (Бережковская набережная, г.Москва), в соответствии с которыми расстояние от точки выхода такой дуги на поверхность земляного полотна до бровки откоса составляет примерно 8.5м при высоте конструкции 9.38м и коэффициенте заложения откоса m=0.67 (56°) с учетом равномерно распределенный по всей поверхности внешней нагрузки интенсивностью 3.3т/м.

Результаты проведенных расчетов также свидетельствуют и о том, что в случаях использования при строительстве земляного полота других грунтов, в том

числе и глинистых повышенной влажности, точка выхода на поверхность потенциальной дуги может располагаться на расстоянии 25м и более от бровки откоса

При расчете схемы армирования насыпи из песка с аналогичными конструктивными показателями и дополнительными условиями представленные на рис. 3 результаты расчета схемы армирования одного из откосов материалом типа STABILENKA 200/45 могут быть перенесены на другой откос и на насыпь в целом лишь в том случае, если расстояние от точки выхода потенциальной дуги обрушения неустойчивой части откоса на поверхность насыпи до бровки откоса не превышает половины ширины верха земляного полотна. В противном случае полученное таким образом решение задачи расчета схемы армирования отдельно взятого откоса нуждается в коррекции применительно к насыпи в целом.

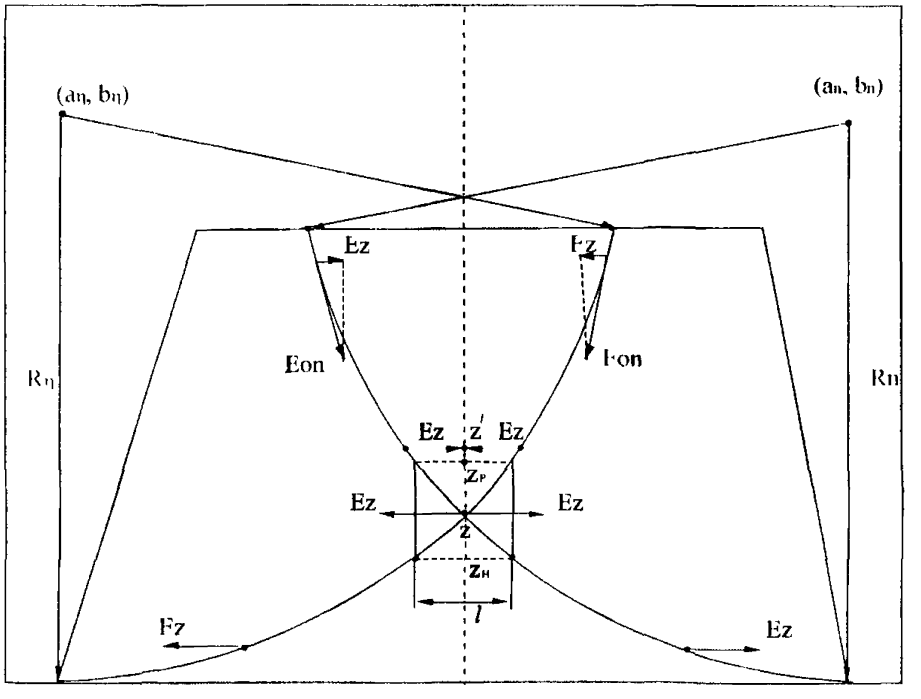


Рис.6. Учет взаимодействия потенциальных поверхностей обрушения неустойчивых частей левого и правого откосов насыпи.

При сравнительно небольшой ширине проезжей части дороги может оказаться [7], что потенциальные дуги обрушения левого и правого откосов насыпи пересекаются в ее теле. При этом в случае симметричного поперечного профиля насыпи точка пересечения таких поверхностей будет расположена на вертикали, проходящей через осевую линию дороги (рис.6). В таком случае решение задачи расчета схемы армирования насыпи требует учета условий взаимной работы двух поверхностей, поскольку они обе оказывают влияние на формирование величины растягивающих усилий, действующих на грунт в некоторой окрестности точки Z пересечения дуг.

Для определенности в дальнейшем под термином "оползневая нагрузка" будем понимать значение Еоп, рассчитанное относительно одной отдельно взятой поверхности обрушения неустойчивой части одного из откосов.

Учет совместной работы левой и правой дуг окружностей позволяет сделать заключение о том, что существует некоторая вертикальная окрестность т. Z, в которой расчетная величина растягивающих усилий оказывается увеличенной в сравнении с величиной Еоп. При этом коэффициент увеличения горизонтальной составляющей Еоп изменяет свое значение от Ку=1 соответственно на верхней (тZв) и нижней (т.Zн) границах такой окрестности (зоны) до Ку=2 в точке Z при симметричном (рис.6) поперечном профиле насыпи.

Для определения конкретных границ (т.т. Zв иZн) такой зоны целесообразно воспользоваться известным представлением о том, что существует минимально необходимая величина длины заделки (расстояния от точки приложения растягивающей нагрузки), за пределами которой растягивающее усилие, приложенное к армирующей прослойке, полностью гасится. В качестве такой оценочной величины может быть принята минимально необходимая длина L заделки полосы армирующего материала в устойчивой части откоса, при которой

устраняется возможность проскальзывания прослойки по грунту (см ф-лу (11))

Для случая взаимного расположения потенциальных поверхностей обрушения неустойчивых частей левого и правого откосов насыпи, представленного на рис 6, участки земляного полотна, расположенные между двумя дугами в окрестности вертикали, проходящей через осевую линию дороги, различаются условиями формирования баланса растягивающих и сжимающих сил в зависимости от высотного расположения горизонта

В верхней части насыпи возникают переменные по высоте симметричные сжимающие усилия, определяемые левой и правой дугами Обе силы величиной $Ez=E_{on}Sin\alpha$ направлены навстречу друг другу с точками приложения на соответствующих дугах Сжимающий эффект таких сил будет обеспечиваться до тех пор, пока их векторные величины не встретятся на оси дороги (Г Z' на рис 6) При расположении горизонтов армирования выше такой точки нет необходимости учитывать условия совместной работы левой и правой дуг при определении растягивающего усилия Начиная с высотной отметки, определяемой Г Z', суммарный баланс двух встречных сил Ez создает растягивающий эффект При этом для некоторой точки ZB растягивающий баланс таких сил вертикали, проходящей через ось дороги, становится эквивалентным Ez.

Вместе с тем известно, что конкретному значению Ez, рассчитанному с учетом места расположения расчетной точки на поверхности обрушения откоса, соответствует вполне конкретное значение протяженности горизонтального интервала, пределы которого ограничивают зону действия растягивающих усилий А это означает, что можно определить такое положение Г ZB (и Г ZH), при котором горизонтальное расстояние между дугами совпадает с длиной ограниченного интервала. Если расстояние между дугами на горизонте больше такой ограничительной величины, растягивающие усилия, определяемые относительно

одной дуги, не передается по горизонту на другую. В противном случае при расчете схемы армирования насыпи для случая, представленного на рис.6, необходимо учитывать дополнительные условия изменения величины растягивающих усилий на горизонтах от уровня Z_B до уровня Z_H, определяемые взаимной работой потенциальных поверхностей обрушения неустойчивых частей левого и правого откосов насыпи. При этом на границах зоны (т.Z_H и т.Z_B) растягивающие усилия $E=E_z$, а на уровне Z соответственно $E=2EZ$. В пределах высотных интервалов от Z_B до Z и от Z до Z_H с учетом определенных таким образом диапазонов изменение значений E можно предположить линейным.

Таким образом, задача расчета схемы армирования насыпи для сложных случаев может быть решена с использованием уже известных методик оптимизационного расчета армированных откосов, если при этом будут учтены определенные выше условия изменения величины растягивающих усилий, являющиеся проявлением результатов совместной работы потенциальных поверхностей обрушения левого и правого откосов насыпи в окрестности точки их пересечения в теле земляного полотна. Учет результатов совместной работы двух потенциальных поверхностей в некоторых случаях может конкретизировать схему армирования насыпи, рассчитанную относительно одного из ее откосов.

При проектировании и строительстве земляного полотна автомобильных дорог в сложных условиях пересеченного рельефа местности и в некоторых других случаях могут рассматриваться варианты несимметричного поперечного профиля насыпи. Такие ситуации могут возникнуть при прохождении трассы автомобильной дороги по косогорным участкам местности, при строительстве автомобильных дорог в стесненных, в том числе и городских условиях.

Разработка индивидуальных проектных решений конструкции насыпи в случаях, когда ее левый и правый откосы различаются либо высотой, либо

заложением, требует проведения дополнительных исследований как при оценке устойчивости конструкции, так и при назначении мероприятий по повышению степени ее устойчивости до требуемого уровня

Применительно к таким конструкциям при ограниченной ширине поверхности земляного полотна зона, в пределах которой сказывается взаимное влияние потенциальных поверхностей возможного обрушения неустойчивых частей левого и правого откосов насыпи, в зависимости от конкретных условий может быть смещена не только по высоте насыпи, но и относительно оси дороги При этом такое смещение происходит, как правило, в сторону более благополучного по внешним признакам откоса - более пологого, меньшей высоты и т.п (рис.7).

В пределах такой зоны в наибольшей степени совместное влияние двух потенциальных поверхностей сказывается в точке их пересечения и ослабевает по мере удаления от нее. С учетом информации, представленной на рис 6, область распространения зоны повышенной напряженности в теле насыпи ограничена как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Количественные оценки

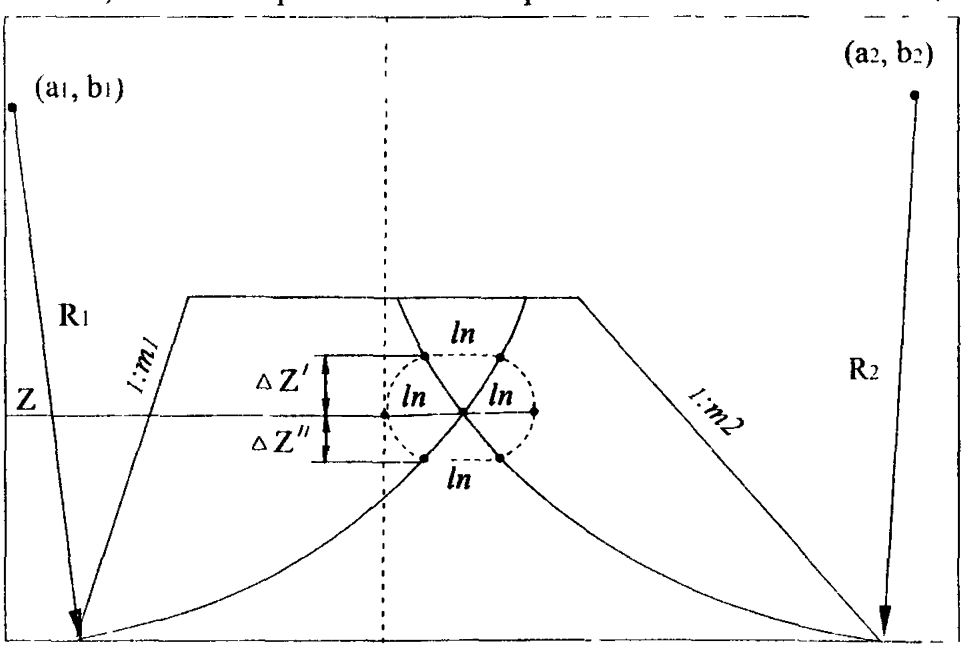


Рис.7. Зона взаимного влияния на устойчивость армогрунтовой насыпи потенциальных поверхностей обрушения ее левого и правого откосов.

границ возможного распространения такой зоны в армогрунтовой насыпи могут быть определены исходя из следующих соображений.

Рассматривается условный горизонт армирования, расположенный на уровне точки пересечения двух потенциальных поверхностей возможного обрушения неустойчивых частей левого и правого откосов насыпи. Помимо этого, рассматривается дополнительный условный горизонт, расположенный выше первого на определенном удалении от него. Расчетное расстояние между такими условными горизонтами может быть определено как среднее расстояние между реальными горизонтами армирования, расположенными в вертикальной окрестности точки пересечения потенциальных поверхностей и удаленных от нее не более, чем на величину

$$\ell_u = 1.5\Delta Z\min, \qquad (14)$$

где $\Delta Z\min$-минимально допустимое расстояние между соседними горизонтами армирования.

В тех случаях, когда в указанном диапазоне не окажется основных горизонтов армирования, расстояние между условными горизонтами может быть принято равным величине ℓ_u

Относительно определенных таким образом двух условных горизонтов в соответствии с формулой (11) рассчитываются величины минимально необходимой длины заделки условной полосы армирующего материала, расположенной на уровне нижнего условного горизонта, в устойчивых частях левого (ℓ_1) и правого (ℓ_2) откосов насыпи.

Тогда расчетные вертикальные границы распространения зоны взаимного влияния двух потенциальных поверхностей в вертикальном направлении могут быть определены поиском таких горизонтов, расположенных выше и ниже нижнего условного горизонта, на которых горизонтальное расстояние между потенциальными поверхностями равно величине (рис.7)

$$\ell_n = \ell_1 + \ell_2 \qquad (15)$$

Горизонтальные границы зоны определяются симметрией относительно

точки пересечения потенциальных поверхностей и удалены от нее влево и вправо (рис.7) на расстояние ℓ_n.

Потенциальная опасность существования такой зоны в армогрунтовой конструкции в каждом конкретном случае определяется ее размерами и местом расположения - уровнем близости к поверхности и откосным частям насыпи. Ограниченность зоны повышенной напряженности в теле армогрунтовой конструкции не предполагает принципиального пересмотра схемы армирования насыпи, рассчитанной относительно менее устойчивого ее откоса. Для устранения возможного негативного влияния такой зоны на устойчивость армогрунтового сооружения целесообразно усилить схему армирования насыпи, рассчитанную относительно одного из ее откосов, одной полосой исходного армирующего материала ограниченной ($2\ell_n$) ширины, уложенной вдоль осевой линии дороги на горизонте расположения точки пересечения потенциальных поверхностей с симметрией относительно нее. На уровне (рис.7)

$$Z'' = Z - \frac{2}{3}\Delta Z'' \qquad (16)$$

для устранения дополнительных напряжений в части зоны, расположенной ниже точки пересечения потенциальных поверхностей, целесообразно разместить еще одну дополнительную полосу армирующего материала, возможно, обладающего меньшими в сравнении с исходным значениями прочностных характеристик.

При расчете схемы армирования реальных конструкций уровни расположения таких дополнительных полос армирующего материала могут быть несколько смещены (на величину, не превышающую 0.5 ΔZmin) с целью их совмещения с горизонтами основного армирования.

7. РАСЧЕТ УСЛОВИЙ ЗАКРЕПЛЕНИЯ УЧАСТКОВ ОТКОСА МЕЖДУ СОСЕДНИМИ ГОРИЗОНТАМИ АРМИРОВАНИЯ.

Схема армирования откоса (и насыпи в целом), разработанная относительно потенциальных поверхностей возможного обрушения его неустойчивых частей, обеспечивает требуемую степень устойчивости откоса Вместе с тем во многих случаях могут проявиться локальные зоны нарушения устойчивости поверхностных частей откоса, расположенных между соседними горизонтами армирования и непосредственно примыкающих к его образующей Для предотвращения таких проявлений необходима разработка мероприятий по закреплению поверхности откоса. В каждом случае перечень таких мероприятий может быть различным, однако их расчет должен осуществляться на основании

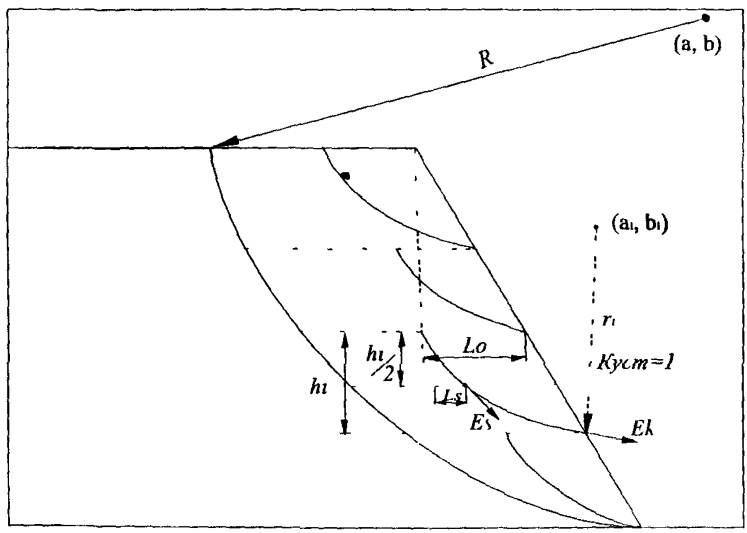


Рис 8 *Схема расчета условий закрепления поверхностных* зон откоса между соседними горизонтами армирования

конкретной для каждого объекта информации, определяемой как собственно конструкцией, так и разработанной схемой ее основного армирования.

Исходная информация для расчета всех известных технологических решений задачи закрепления поверхности откоса может быть в полном объеме получена путем анализа условий возможного обрушения участков откоса между соседними горизонтами армирования с учетом в общем случае влияния вышерасположенных частей откоса, внешней нагрузки и условий ее распределения по верху насыпи.

Нарушение устойчивости таких участков может произойти по дуге круглоцилиндрической поверхности (рис.8), расположенной в зоне между соседними горизонтами армирования. При этом вышележащие толщи откоса и попадающая в интервал зоны действия такой дуги часть общей внешней нагрузки рассматриваются как дополнительная нагрузка на уровень расположения вышележащего горизонта армирования. Положение такой локальной дуги определяется условием минимального отклонения расчетного значения коэффициента устойчивости обрушаемой части откоса в пределах зоны от 1, но не меньше 1. Количество таких локальных по верхностей на 1 больше рассчитанного ранее количества горизонтов армирования.

Для каждой локальной поверхности возможного обрушения участка откоса между соседними горизонтами армирования могут быть определены практически все показатели, необходимые для расчета различных мероприятий по закреплению поверхности откоса. В том числе могут быть рассчитаны следующие (рис.8) величины:

-расстояние Lo от образующей откоса до пересечения дуги с вышележащим горизонтом армирования;

- расстояние hi между очередным и вышележащим горизонтами армирования,

- минимально необходимая длина Ls заделки полосы армирующего материала на уровне, равноудаленном от соседних горизонтов армирования;

- **расчетная величина Es оползневой нагрузки на уровне**, соответствующем hi/2;

- расчетная величина Ек полной оползневой нагрузки в пределах зоны.

С использованием таких результатов могут быть рассчитаны различные мероприятия, применяемые в практике дорожного строительства для закрепления поверхности откосов от полу обойм с использованием гибких синтетических материалов до жестких конструкций на анкерной основе

8. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ.

На основе предложенных методических разработок и реализующего их комплекса программ для ПЭВМ был проведен ряд сопоставительных расчетов При этом рассчитанные варианты предполагали устойчивое и недеформируемое основание насыпи Проезжая часть дороги предполагалась достаточно широкой с тем, чтобы не учитывать условия совместной работы поверхностей обрушения левого и правого откосов насыпи Расчеты проводились в предположении однородных по структуре песчаных (с=0, (φ—25 град) откосов высотой 10м с углом заложения 45 град (m=1) для различных величины и интервалов распределения внешней нагрузки, различных армирующих материалов При этом максимальное растягивающее усилие, допустимое в материале, определялось в соответствии с формулой (7) при Ku=0 42 Требуемое значение коэффициента устойчивости откоса во всех рассмотренных случаях было принято равным Ктр=1 7, минимально допустимое заглубление верхнего горизонта армирования от поверхности насыпи 1м, минимально допустимое расстояние между соседними горизонтами армирования 0 5м

Табл 1 Результаты расчета схем армирования откосов

	P=0				P=3т/м (0 5-2м)				P=3т/м (0-50м)			
N	H	K	ДН	L	H	K	ДН	L	H	K	ДН	L
	а) материал 1 (разрывная нагрузка 12 т/м)											
1	1 05	1	1 05	3 78	1 05	1	1 05	3 82	1.36	1	1 36	13.53
2	2 56	1	1 51	12.22	2 56	1	1 51	12 26	2 28	1	0 91	13 11
3	3 60	1	1 04	11 76	3 60	1	1 04	11 80	3 02	1	0 74	12 78
4	4 40	1	0 80	11 43	4 40	1	0 80	11 49	3 67	1	0 65	12 47
5	5 08	1	0 68	11 12	5 08	1	0 68	11 18	4.25	1	0 59	12 15
6	5 69	1	0 61	10 79	5 69	1	0 61	10 85	4 80	1	0 54	11 82
7	6 26	1	0 57	10 42	6 26	1	0 57	10 49	5 32	1	0 52	11 46
8	6 81	1	0 55	9 99	6 81	1	0 55	9 91	6.31	2	0 99	11.28
9	7 36	1	0 55	9 46	7 74	2	0 93	9 80	7 32	2	1 02	10 06
10	7 94	1	0 59	8 75	8 45	1	0 72	8 03	7 96	1	0 64	8 60
11	8 97	1	1 03	6 86	9 23	1	0 77	5 87	8 98	1	1 02	6 05
Всего		11		106 6 м		12		115 3 м				13 144 6 м
	в) материал II (разрывная нагрузка 2 38 т/м)											
1	1 15	1	1 15	11 12	1 16	1	1 16	11 16	1 14	4	1 14	13 33
2	1 98	2	0 83	11 36	1 98	2	0 83	11 40	1 75	3	0 61	12 81
3	2 55	2	0 57	11.23	2 55	2	0 57	11.27	2 26	3	0 52	12 64
4	3.21	3	0 66	11 36	3 21	3	0 66	11 41	2 86	4	0 60	12 63
5	3 75	3	0 54	11.21	3 76	3	0 54	11 26	3 40	4	0 53	12 40
6	4 38	4	0 62	11 22	4 38	4	0 62	11 27	4 00	5	0 60	12 28
7	4 93	4	0 55	11 00	4 93	4	0 55	11 05	4 56	5	0 56	11 96
8	5 43	4	0 50	10 75	5 43	4	0 50	10 81	5 08	5	0 52	11 62
9	6 01	5	0 58	10 59	6 01	5	0 58	10 65	5 58	5	0 50	11.25
10	6 56	5	0 55	10 19	6 56	5	0 55	10.25	6 17	6	0 59	10 87
11	7 10	5	0 54	9 71	7 13	6	0 57	9 74	6 76	6	0 59	10.26
12	7 66	5	0 55	9 11	7 69	6	0 56	9 28	7 27	5	0 51	9 50
13	8 17	4	0.51	8.28	8 21	4	0 52	8 30	7 88	5	0 60	8 74
14	8 81	3	0 64	6 98	8 90	3	0 69	6 88	8 60	3	0 73	7 04
Всего		50		507 9 м		52		529 5 м		63		704 5 м

В табл 1 приведены только основные результаты расчета схем армирования некоторых откосов при различных условиях

Здесь P-интенсивность внешней нагрузки, т/м, (0 5-2м)-интервал распределения внешней нагрузки в расстояниях от бровки откоса N-порядковый номер горизонта армирования сверху вниз, H-расстояние от поверхности откоса до горизонта армирования, м, K-количество полос

армирующего материала на горизонте армирования, ДН-расстояние между вышележащим и очередным горизонтами армирования, L-длина одной полосы армирующего материала на горизонте с учетом его анкерной заделки Lmin в устойчивой части откоса

В строке "Всего" по каждому варианту приведены общее количество армирующего материала и его суммарный расход с учетом количества горизонтов армирования, количества полос материала и длины одной полосы на каждом горизонте армирования

Информация, представленная в табл 1, свидетельствует о том, что во всех рассмотренных случаях оптимальной является схема армирования откоса с переменным шагом Только в этом случае выполняется условие равномерного нагружения всех горизонтов армирования При этом в некоторых случаях необходимо усиление отдельных горизонтов армирования - размещение на них более одной полосы армирующего материала

Анализ результатов расчетов многих вариантов свидетельствует о том, что оптимальная схема армирования откосов характеризуется отличительными особенностями При обоснованно выбранном армирующем материале, когда в соответствии с результатами расчетов на каждом горизонте армирования рекомендуется укладывать в основном по одной полосе материала, минимальное расстояние между соседними горизонтами армирования отмечается на уровнях, определяемых третью высоты откоса от его основания Наиболее разреженная схема армирования в таких случаях соответствует верхней и нижней частям откоса (см табл 1)

Помимо этого, существенное влияние на схему армирования откоса оказывает величина и условия распределения по его поверхности внешней нагрузки Так, например, при ограниченном интервале распределения внешней нагрузки (удаленность левой и правой границ такого интервала от бровки откоса соответственно 2м и 0 5м в табл 1) изменяются условия армирования откоса на некоторых горизонтах увеличивается количество полос армирующего материала с соответствующим изменением условий расположения горизонтов армирования по

высоте откоса и других расчетных показателей. При увеличении интервала распределения внешней нагрузки (0-50м в табл 1) существенно изменяется и схема армирования откоса.

При условии использования в качестве армирующего материала, обладающего сравнительно невысокими прочностными показателями, рассчитанные схемы армирования откосов (2-я часть табл 1) отличаются увеличенным количеством горизонтов армирования, повышенным количеством полос армирующего материала на горизонтах армирования и, соответственно, увеличенным расходом армирующего материала. Целесообразность использования в качестве армирующих таких материалов может быть определена путем технико-экономического сопоставления различных вариантов или исходя из других соображений

На рис. 9-11 приведены рассчитанные схемы армирования откосов 10-метровой песчаной насыпи для их разных заложений. При этом в качестве мероприятий по закреплению поверхностных частей откоса предусмотрено их сплошное армирование георешетками типа «Прудон - 494» В соответствии с результатами проведенных расчетов определены горизонты, на которых вместо более прочных армирующих материалов (типа STABILENKA 200/45) могут быть применены георешетки Расчеты проводились в предположении устойчивого недеформируемого основания, отсутствия внешней нагрузки Длина заделки полос армирующего материала в устойчивых частях откоса определялась в соответствии с формулой (11). Схемы армирования откосов рассчитывались исходя из условия обеспечения Кгр=1.3.

Результаты, представленные на рис. 9-11, свидетельствуют о том, что предложенные методические разработки позволяют обосновать принципиальную возможность применения в одной конструкции различных армирующих материалов как в основной схеме армирования, так и в качестве инженерных мероприятий по закреплению поверхностных частей откосов. При этом в некоторых случаях предусмотрено увеличенное (более 1) количество полос армирующего материала на отдельных горизонтах.

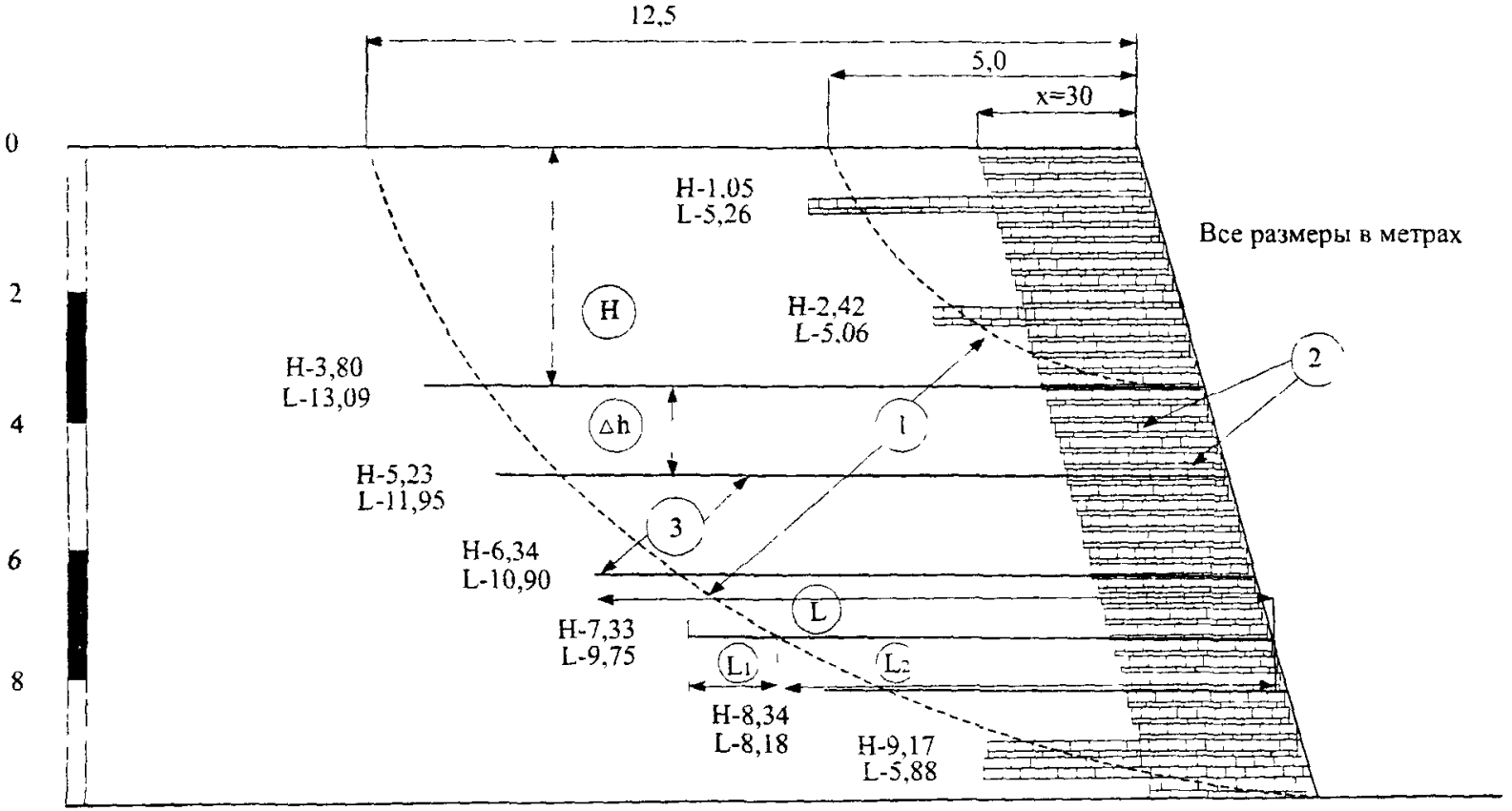


Рис.9. Схема армирования насыпи с углом заложения откоса 75°
1 - расчетные поверхности скольжения; 2 - георешетки "Прудон - 494"
3 - геотекстильный материал

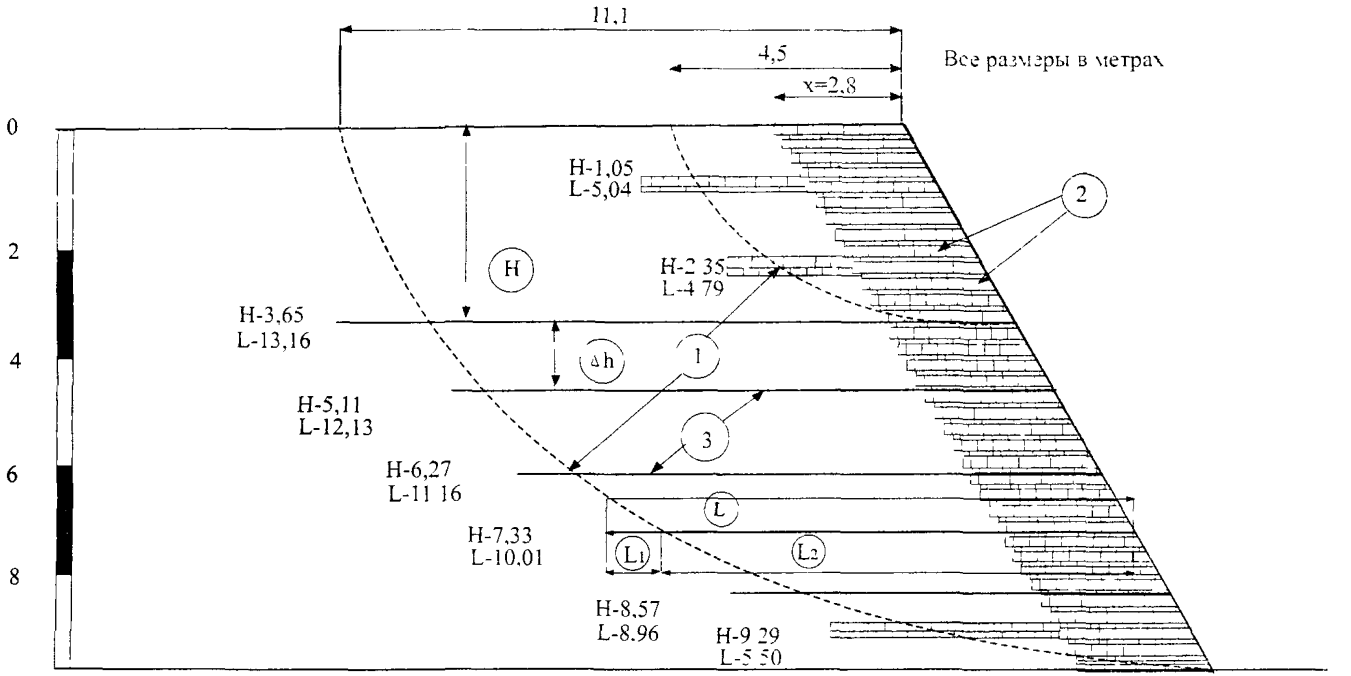


Рис 10 Схема армирования насыпи с углом скольжения откоса 60°
1 - расчетные поверхности скольжения. 2 - георешетки "Прутон - 494"
3 - геотекстильный материал

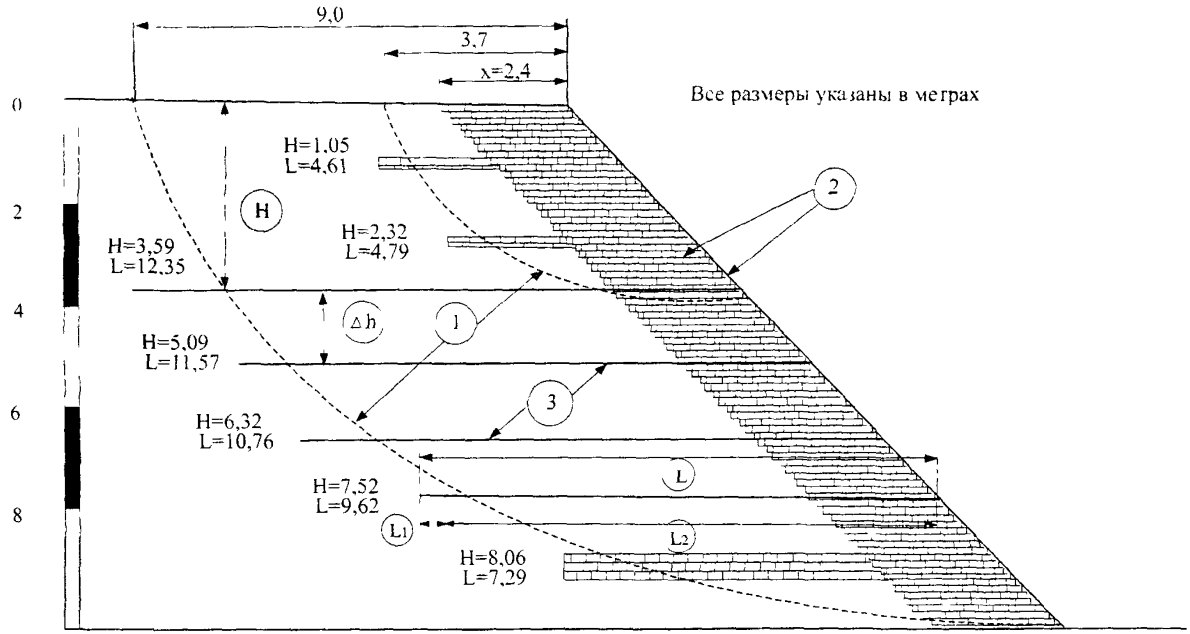


Рис. 11. Схема армирования насыпи с углом скольжения откоса 45^0
1 - расчетные поверхности скольжения; 2 - георешетки "Прудон - 494"
3 - геотекстильный материал"

9. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ.

1. В работе представлены основы методики оптимизационного расчета схемы армирования насыпи, построенные на использовании основной рабочей гипотезы известного метода смещений - допускается регулируемая величина деформирования исходного контура конструкции.
2. Расчет схемы армирования осуществляется с учетом распределенной на произвольном интервале внешней нагрузки, минимально допустимого уровня заглубления верхнего горизонта армирования, минимально допустимого расстояния между соседними горизонтами армирования.
3. В качестве армирующего элемента допускается использование различных материалов, в том числе и синтетических (геополотно, геосетки, георешетки), с известными характеристиками.
4. Расчет схемы армирования осуществляется на основе реализации известного представления о существовании потенциальной поверхности возможного обрушения неустойчивых частей конструкции. В качестве такой поверхности выбрана круглоцилиндрическая.
5. Определены критерии поиска потенциальных поверхностей возможного обрушения неустойчивых частей конструкции на разных стадиях расчета.
6. Предложено схему армирования насыпи определять в соответствии с результатами последовательного решения следующих основных задач.

- определения условий армирования основания насыпи;
- расчета схемы армирования насыпи относительно одного из ее откосов,
- уточнения схемы армирования насыпи с учетом совместной работы потенциальных поверхностей возможного обрушения неустойчивых частей ее левого и правого откосов, различающихся конструктивными особенностями;
- расчета условий закрепления поверхностных частей откоса между

соседними горизонтами армирования.

7. Разработана методика расчета схемы армирования откоса с учетом совместной работы грунта и армирующего материала на каждом горизонте армирования.
8. Предложен способ определения границ зоны, в пределах которой армированный грунт испытывает воздействие потенциальных поверхностей возможного обрушения неустойчивых частей левого и правого откосов насыпи. Разработаны условия уточнения схемы армирования насыпи в пределах такой зоны.
9. Разработаны методические подходы к решению задач по определению условий армирования основания насыпи и закрепления поверхностных частей откоса между соседними горизонтами армирования.
10. Приведены некоторые результаты расчетов, подтверждающие:

- полноту и универсальность методических и расчетных средств решения задачи расчета армогрунтовой насыпи при различных условиях с обоснованным обеспечением при этом требуемой степени ее устойчивости;
- целесообразность дополнительного рассмотрения условий армирования верховой и низовой частей откоса;
- равномерность нагружения армирующего материала по всем горизонтам армирования;
- целесообразность определения оптимального (не назначенного) количества горизонтов армирования и оптимального места расположения каждого из них в теле земляного полотна (переменный шаг армирования);
- возможность и целесообразность использования в одной конструкции различных армирующих материалов;
- возможность решения задачи при минимальном расходе армиующего материала (минимально необходимые количества горизонтов

армирования, полос армирующего материала при их минимально необходимой длине на каждом горизонте армирования), существенную зависимость результатов решения задачи от различных условий (величина и условия распределения внешней нагрузки, характеристики армирующего материала и др.).

10. ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Семендяев Л.И. Проблема комплексной оценки устойчивости земляного полотна автомобильных дорог при индивидуальном проектировании в сложных условиях пересеченной местности. -М.,1995. -77с.- (Автомоб. дороги: Обзорн. информ./Информавтодор; Вып.5).
2. Добров Э.М., Львович Ю.М., Кузахметова Э.К. и др. Глинистые грунты повышенной влажности в дорожном строительстве - М.Транспорт, 1992, 240с.
3. Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах (к СНиП 2.05.02-85)/Союздорнии, 1989,-192с.
4. Семендяев Л.И. Практическая реализация нового подхода к решению задачи прогноза осадки насыпи на слабых грунтах.//Автомоб. дороги: Информ.сб./Информавтодор.-М.,1998,-Вып.3.-С.25-33.
5. Семендяев Л.И. Использование показателя консолидации при прогнозе осадки на слабых грунтах.//Воплощение и развитие научных идей Н.Н. Маслова в практике строительства./МАДИ.-М.,1998.-С.220-227.
6. Семендяев Л.И. Оптимизированный расчет армированных откосов в условиях индивидуального проектирования.//Автомоб. дороги: Информ.сб./Информавтодор.-М.Д998.-Вып. 10.-С.8-20.
7. Семендяев Л.И. Некоторые особенности расчета армированных насыпей.//Автомоб.дороги:Информ.сб./Информавтодор.-М.1998.-Вып.12.-С.12-19.

gost.e-ecolog.ru