

КУДРЯВЦЕВ С.А., ВАЛЬЦЕВА Т.Ю., МИХАЙЛИН Р.Г.

Дальневосточный государственный университет путей сообщения
г. Хабаровск, Россия

БЕРЕСТЯНЫЙ Ю.Б., ФЕДОРЕНКО Е.В.

Научно-внедренческое предприятие «ДВ-Геосинтетика»
г. Хабаровск, Россия

УДК 624.131

ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ВЫСОКОГО ОТКОСА НА ПОБЕРЕЖЬЕ ЯПОНСКОГО МОРЯ ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЛИГОНА ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Ключевые слова: армогрунтовая конструкция, крутой откос, георешетка, берегозащита, сетконы, высокий откос.

В статті наводиться досвід проектування та будівництва армогрунтової конструкції підвищеного рівня відповідальності з використанням інтегральних георешіток. Висвітлюються питання розрахунків армування високого відкосу, як в аналітичній формі, так і на основі геотехнічного моделювання, а також питання розробки берегозахисних заходів від впливу морських хвиль.

В статье приводится опыт проектирования и строительства армогрунтовой конструкции повышенного уровня ответственности с использованием интегральных георешеток. Освещаются вопросы расчетов армирования высокого откоса, как в аналитической форме, так и на основе геотехнического моделирования, а также вопросы разработки берегозащитных мероприятий от действия морских волн.

In the given article the designing and building experience of high slope with reinforcement of the raised responsibility level with the use of integrated geogrids is presented. Questions of calculations of reinforcing of a high slope, both in the analytical form, and on the basis of geotechnical modeling, and points of working out bank protective measures against action of sea waves are light up.

ВВЕДЕНИЕ

Рекультивация существующего полигона твёрдых бытовых отходов (ТБО) в г. Владивостоке выполняется в рамках подготовки города к проведению саммита АТЭС 2012. Местоположение свалки отходов – живописное место в районе бухты Горностай, находящейся вблизи города. Протяжённость свалки вдоль побережья составляет более 500 м.

Сложность объекта заключается в сложившейся ситуации: гора мусора, высотой до 50 метров спускается откосом под углом до 42° непосредственно к волноприбойной зоне Уссурийского залива. Побережье в данном районе не имеет защиты от сильных штормов Японского моря. Таким образом, наиболее сложной задачей для проектирования является обеспечение защиты высокого откоса от воздействий волн расчётных штормов и стабильности сооружения при гравитационном воздействии.

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ

В соответствии с существующими нормами проектирования [1] объект имеет повышенный уровень ответственности. Его расчётный период жизненного цикла, определённый заказчиком, составляет от 80 до 120 лет.

Из рассмотренных вариантов конструкций [2] защиты высокого откоса выбран вариант высокой армогрунтовой стены, запроектированной на компактном, но прочном основании (рис. 1).

Следует отметить, что в России практики строительства армогрунтовых сооружений таких размеров и уровня ответственности не существует. На основе предоставленных исходных данных сформированы и обоснованы следующие расчетные характеристики грунтов: материал

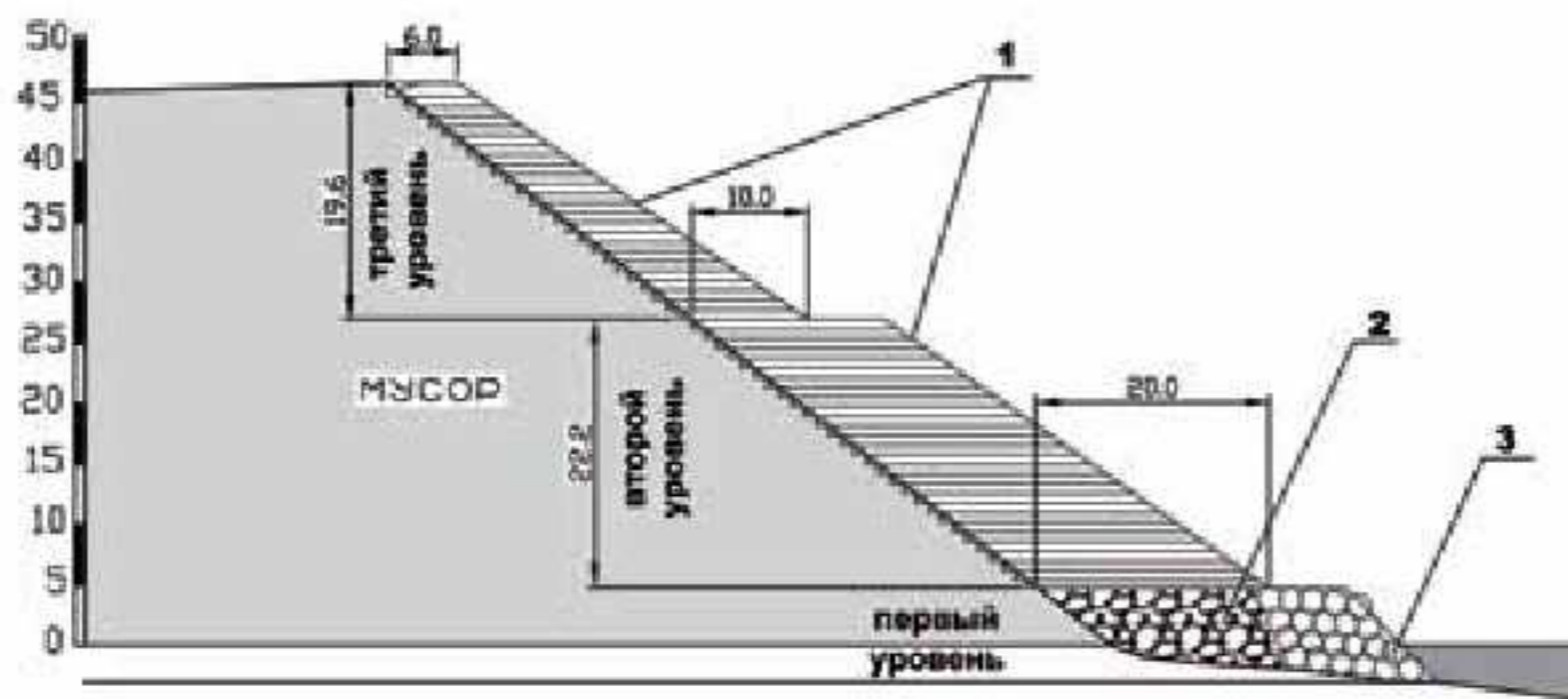


Рис. 1 Геометрические параметры сооружения:

1 – геотехническая обойма из георешетки и грунта; 2 – несортированный скальный грунт; 3 – сетчатые контейнеры (сетконы), заполненные скальным грунтом

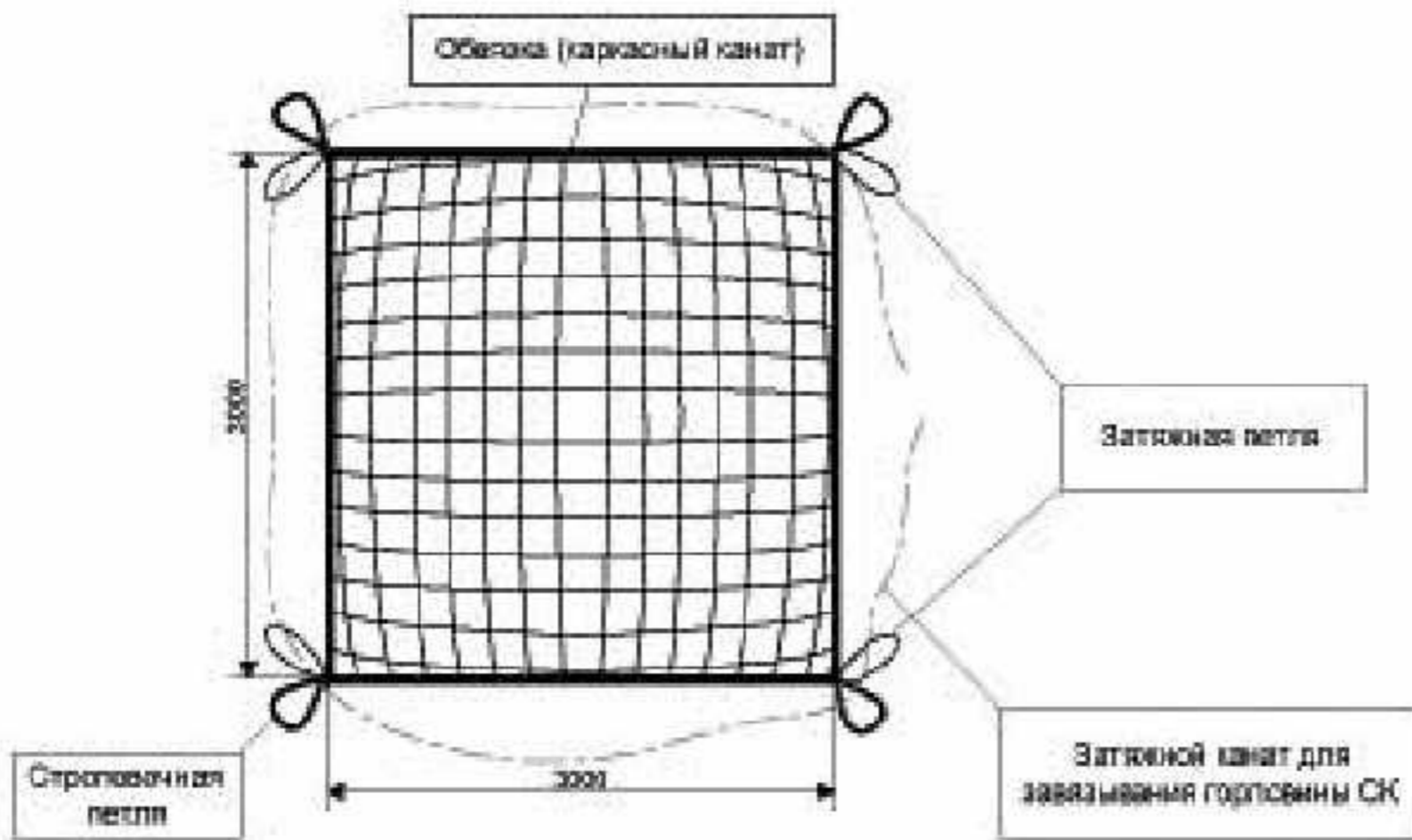


Рис. 2. Сферический сетчатый контейнер

засыпки армогрунтового сооружения: угол $\varphi=29,5^\circ$; $c = 0,0104$ МПа; $E_0=47$ МПа; $\gamma=20,5$ кН/м³; примерные расчетные характеристики ТБО: $c=0,020$ МПа; $\varphi=37^\circ$; $E_0=5$ МПа; $\gamma=16$ кН/м³; характеристики грунтов основания: $c=0,087$ МПа; $\varphi=36^\circ$; $E_0=200$ МПа; $\gamma=22$ кН/м³. В качестве армирующих элементов приняты интегральные геосинтетические материалы: второй ярус – одноосная георешетка с номинальной прочностью при разрыве 170 кН/п.м., третий ярус – двухосная георешетка с прочностью 40 кН/м.

Стадии проектирования предшествовало выполнение ряда задач расчётно-теоретического характера, серии лабо-

раторных исследований моделей с армирующими элементами [3] и полевых испытаний конструкций укрепления береговой зоны и создания армогрунтовой защитной стены высокого откоса. Модельные испытания выполнены в большом грунтовом лотке лаборатории № 12 механики грунтов Военно-технического университета железнодорожных войск г. Санкт-Петербурга. В дальнейшем лабораторные эксперименты моделировались методом конечных элементов. Установлено, что при усилении сооружения геосинтетическими материалами, конструкция выдерживает нагрузку на 40 % выше, чем без усиления при расхождении результатов штамповых испытаний и численного моделирования не более, чем на 14%.

В конструкции защиты основания сооружения (первый уровень) от штормовых волн использован скальный грунт из глыб небольших размеров, заключённых в сетчатые контейнеры – сетконы (рис. 2) с объёмом 2,5...3 м³.

Для определения прочности элементов сетконов и их износоустойчивости изготовлены несколько типоразмеров оболочек и выполнены серии полевых испытаний (рис. 3). Выявлено, что наилучшие показатели, при характерных воздействиях, имеют оболочки с ячейей сетки 25 см при диаметре вязочных канатов из синтетического волокна более 10 мм.

Для защиты от расчётных штормовых волн дополнительно запроектированы волноломы из тетраподов весом до 5 т.

Второй и третий уровни защиты выполнены в виде армогрунтовой конструкции с использованием, соответственно, одноосной и двухосной георешёток в качестве полотен для формирования геобойм защитной стены (рис. 4).

В заполнении бойм использован местный щебенисто-глыбовый грунт с глинистым заполнителем.

Первоначально для определения параметров армирования конструкции, геометрических размеров сооружения и требуемых физико-механических характеристик



Рис. 3. Полевые испытания сетконов

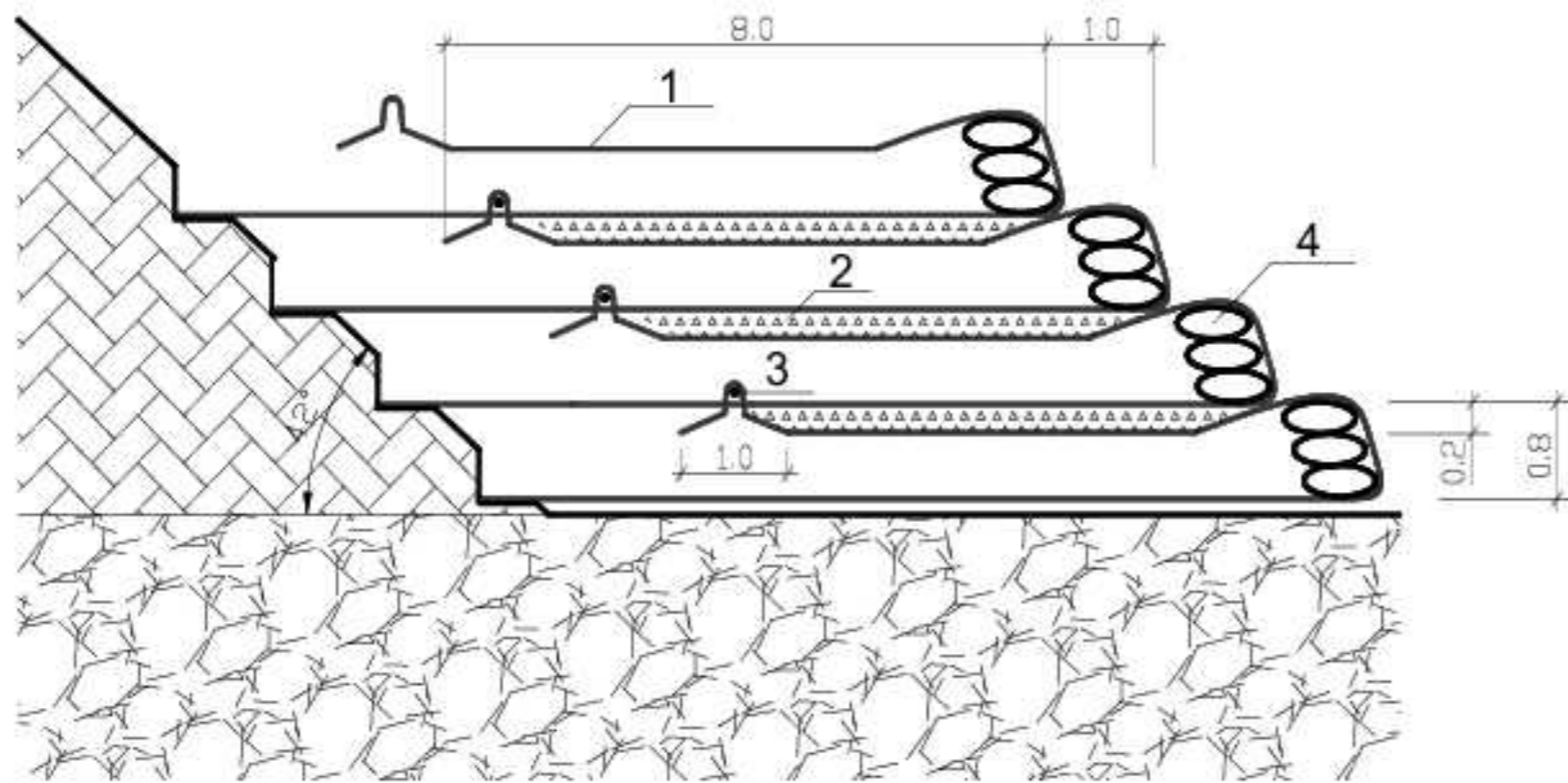


Рис. 4 Формирование второго уровня защиты высокого откоса из одноосной георешётки:
 1 – георешётка; 2 – засыпка пазухи скальным грунтом фракции до 0,1м или щебнем фр.40-70;
 3 – узел соединения георешётки при использовании соединительного элемента;
 4 – мешки с грунтом для формирования геотехнической обоймы

геоматериалов использованы аналитические способы расчетов с применением отечественных и зарубежных методик. Согласно методу предельного равновесия сил и моментов (1) необходимо проверить выполнение условия для каждого клина:

$$\sum E_{уд,i} \geq E_{сд}, \quad (1)$$

где:

$\sum E_{уд,i}$ – сумма удерживающих сил, кН/м;
 $E_{сд}$ – сдвигающие силы, кН/м.

Удельная (на 1 метр ширины) растягивающая нагрузка в георешетке на глубине z вычисляется по формуле:

$$T_i = k_{E,z} \left[\frac{\gamma_3 z_i + q}{k_E (\gamma_c z_i + 3q) \left(\frac{z_i}{L}\right)^2} \right] h_i, \quad (2)$$

где:

h_i – максимальное расстояние до следующей георешетки (шаг), м;

γ_3 – удельный вес грунта засыпки, кН/м³;

$k_{E,z}$ – коэффициент активного давления грунта;

q – величина распределенной нагрузки, кН/м²;

γ_c – удельный вес грунта природного склона, составляющего заднюю стенку армированного блока; кН/м;

z – расчетная высота, м.

По формуле (2) определена удельная (на 1 метр ширины) растягивающая нагрузка в георешетке и построен график зависимости «шаг армирования – глубина расположения арматуры» (рис. 5), необходимый для оптимизации размещения решеток таким образом, чтобы напряжения в каждой не превышали расчетную прочность.

При помощи графика (рис. 5) определено местоположение георешеток в массиве армогрунтового сооружения.

Для уточнения отдельных расчётных параме-

тров элементов сооружения, в связи с несовершенством существующих аналитических методов, использованы возможности численного моделирования работы геотехнических конструкций. Это позволило комплексно оценить работу всех деталей сооружения и оптимизировать их технические параметры.

Численное моделирование работы конструкций выполнено с применением программного комплекса «FEM models», разработанного геотехниками г. Санкт-Петербурга. С использованием возможностей программного комплекса «FEM models» выполнено послойное моделирование устройства каждого яруса, что дало возможность определить фактические параметры напряженно-деформированного состояния конструкции в целом (рис. 6) и в каждом армирующем элементе.

Для реализации решаемой задачи разработана новая методика расчетного обоснования, позволяющая включать в упругопластическое решение численных методов характеристики геосинтетических материалов. Используются основные параметры геосинтетических материалов, применяемых в конструкции: физико-механические характеристики и показатели работы в конкретной грунтовой среде.

Численное моделирование работы конструкций реализует упругопластическое решение методом конечных элементов с использованием процедуры «начальных напряжений». При решении упругопластической задачи (плоская деформация) используется схема идеально-пластической среды с критерием прочности Кулона:

$$f = \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} + (\sigma_x + \sigma_y) \sin \varphi - 2c \cos \varphi = 0 \quad (3)$$

где:

$\sigma_x; \sigma_y; \tau_{xy}$ – осевые напряжения;

φ – угол внутреннего трения;

c – удельное сцепление.

Для рассматриваемой среды основные параметры границы предельной поверхности c, φ постоянны и не зависят от накопленной пластической деформации. При достижении предельной поверхности f происходит равнообъемное течение, и пластический потенциал F параллелен

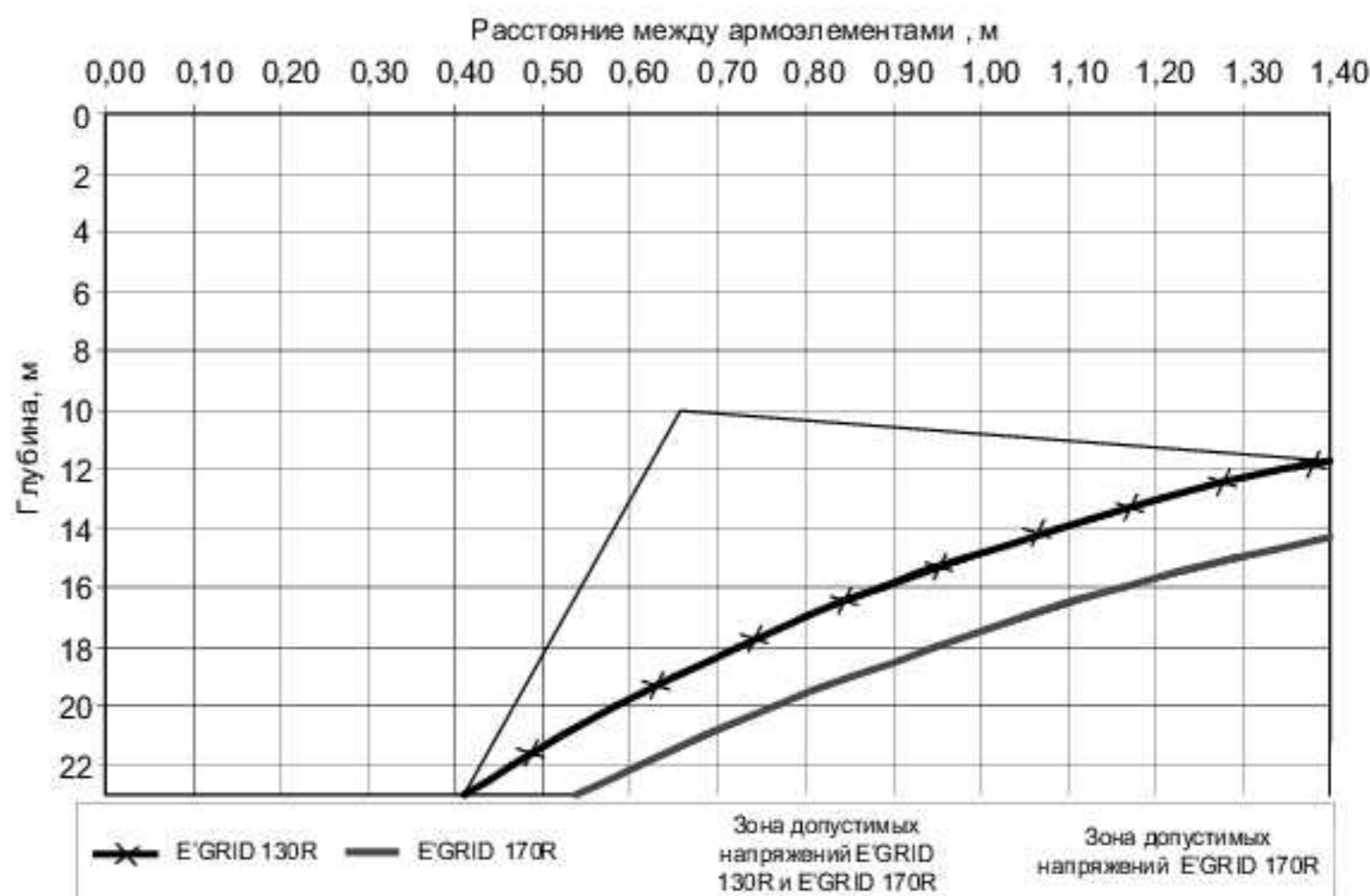


Рис. 5 График для определения параметров армирующих прослоек второго уровня

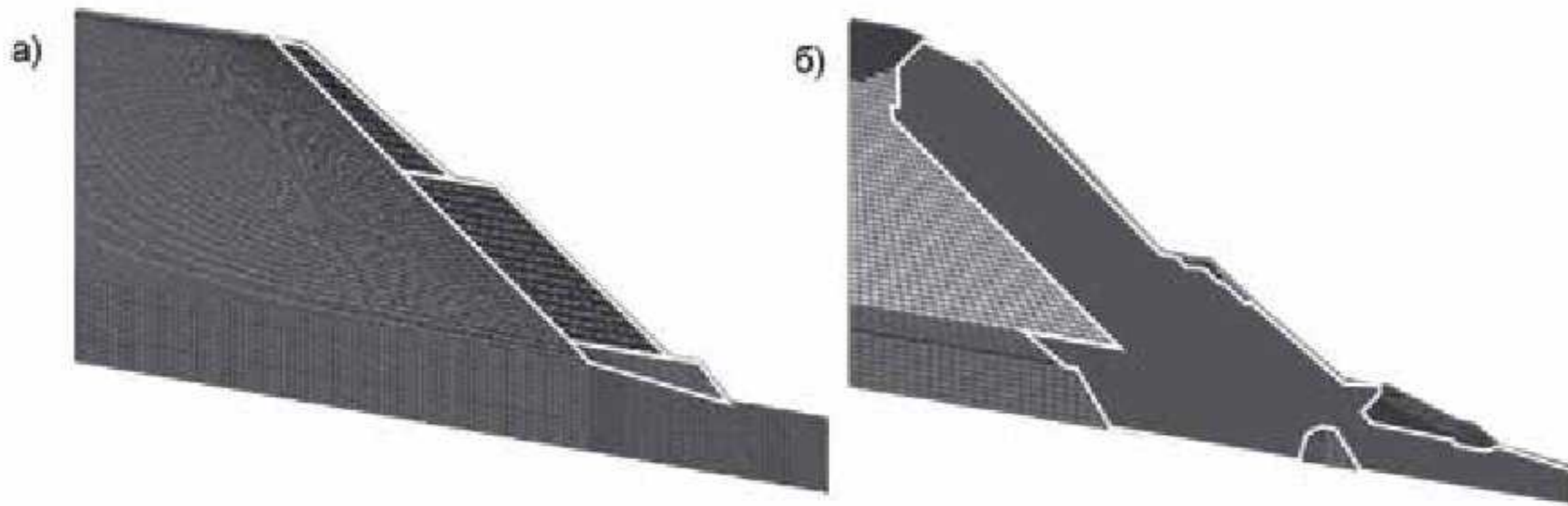


Рис. 6 Геотехническое моделирование армогрунтовой конструкции: а – расчетная схема; б - зоны развития пластических и упругих деформаций

гидростатической оси. При выходе за критерий предельного состояния на каждом цикле итерации поверхность текучести совпадает с поверхностью начала пластичности, таким образом, приращение пластических деформаций происходит в результате нейтрального нагружения.

При идеализации модели грунтового основания связь между напряжениями и деформациями описывается законом Гука.

Основным преимуществом разработанной модели грунтового основания является то, что она учитывает природное напряженное состояние массива, его весовость, базируется на основных характеристиках свойств грунтов (E , ν , γ , c , φ , I_L), определяемых по стандартным методикам. При этом уже не требуются испытания моделей армогрунтовых конструкций при изменении условий проектирования, а в расчёты могут быть приняты номинальные характеристики геоматериалов, гарантированные производителем. Разработанная методика включения геоматериалов в расчетную схему численного моделирования позволяет более корректно выполнять расчетное обоснование конструкций армирования грунтовых сооружений.

Полученные проектные показатели деформируемости конструкции в целом имеют невысокие значения при её значительных габаритах.

ВЫВОДЫ:

Разработанная армогрунтовая конструкция инженерной защиты высокого откоса полигона ТБО в практике российского проектирования и строительства является уникальной. Отсутствие действующих нормативных документов и адекватных расчётных методик потре-

бовало при проектировании сооружения выполнения комплекса расчётно-теоретических исследований, лабораторных модельных и полевых испытаний элементов инженерной защиты высокого откоса.

Достоверные результаты оптимальных показателей прочности и деформируемости сооружения получены только при комплексном использовании базовых аналитических методов расчёта и численных методов геотехнического моделирования с включением в расчётные схемы результатов лабораторных модельных испытаний и полевых экспериментов.

Используемая при проектировании конструкции инженерной защиты новая методика включения геоматериалов в расчетную схему численного моделирования позволяет корректно выполнять расчетное обоснование конструкций армирования грунтовых сооружений. Использование разработанной методики позволяет принимать в расчёты подобных конструкций численными методами номинальные характеристики армирующих элементов из геосинтетических материалов, гарантированные производителем.

Применение современных геотехнологий и новых геосинтетических материалов в строительстве имеет сегодня прогрессивную тенденцию. Они во многом являются экономически более выгодной и надежной альтернативой традиционным решениям. Поэтому всесторонние исследования в области рационального использования возможностей геосинтетических материалов при их работе в грунтовых средах, разработка новых расчётных методик и поиск совершенных подходов к решениям таких задач современной геотехники сегодня имеют высокую актуальность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРИ

1. Проектирование, строительство и рекультивация полигонов твердых бытовых отходов в Московской области: ТСН 30-308-2002, 2000.
2. Джоунс К.Д. Сооружения из армированного грунта / Джоунс К.Д. – М., 1989.
3. Кудрявцев С.А. Разработка рациональных конструкций и узлов полигона твёрдых бытовых отходов для города Хабаровска. / Кудрявцев С.А., Берестяный Ю.Б., Вальцева Т.Ю. // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: НДІБК, 2008. - С.256 – 263.