

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ ОТКОСОВ ГЛУБОКИХ КОТЛОВАНОВ

С.В.Сольский¹, Д.П.Самофалов², Е.В.Булганин³, Е.П.Семанина⁴

В настоящее время значительно увеличилось количество строящихся сооружений с большой глубиной заложения фундаментов (до 20–25 м). При возведении таких сооружений глубокие строительные котлованы откосного типа сохраняются в течение продолжительного времени, зачастую необходимость их сохранения растягивается на несколько лет. На откосы таких котлованов воздействуют климатические факторы, за счет атмосферных осадков по откосам формируется поверхностный ручейковый сток, который в определенных условиях приводит к водной эрозии откосов. Такого рода водная эрозия откосов наблюдается на слабоводопроницаемых грунтах, интенсивность инфильтрации воды на поверхности которых ниже интенсивности выпадения осадков. На основе наблюдений [1] установлено что, борозды, образованные от выпавших непосредственно на откос осадков, как правило, равномерно покрывают откос, расстояние между ними колеблется от 1,5 до 2,5 м и в среднем составляет 2 м. Обычно на откосах протяженностью более 3–4 м эрозия в виде борозд за счет стока, вызванного атмосферными осадками, начинает прослеживаться на 1–2 м ниже бровки откоса. Характер эрозионных борозд, образованных на откосе за счет выпавших осадков, представлен на рис.1.

Чем больше высота откосов, тем значительнее их эрозия за счет выпадения осадков. Процесс эрозии откоса – это процесс размыва борозд, которые, по существу, являются руслами элементарной гидрографической сети, формирующейся на откосе. Следовательно, процесс эрозии откосов идентичен механизму размыва русел водотоков и может рассматриваться как процесс эрозионной деформации русел водотоков. Для прогнозирования эрозионных процессов русел рек и каналов в настоящее время разрабо-

¹ Доктор техн.наук
Тел.: (812) 493-93-47, E-mail: Solskiysv@vniig.ru

² Канд.техн.наук
Тел.: (812) 493-93-47

³ Инженер
Тел.: (812) 458-56-62, E-mail: BulganinEV@vniig.ru
АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 195220, Санкт-Петербург, Гжатская, 21

⁴ Студентка 4-го курса
Тел.: 8(981) 760-26-19, E-mail: Katesemanina@mail.ru
Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского Политехнического
Университета Петра Великого,
Политехническая ул., 29, СПбПУ Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия,
195251

таны рекомендации [2, 3], базирующиеся на теории динамики русловых потоков [4, 5, 6].



Рис. 1. Вид на западный откос котлована первого энергоблока Балтийской АЭС (2012 г.)

Для расчетов размыва русел в качестве исходных данных необходимо знать гидравлические параметры русла, расходы воды и геотехнические свойства грунтов русла. Расчетными критериями устойчивости русел являются так называемые неразмывающие скорости потока [4]. Если скорости воды в потоке меньше допустимых неразмывающих, считается, что водной эрозии от действия потока не ожидается.

При проектировании каналов и сооружений в руслах рек оценка процессов водной эрозии русел сводится к сравнению ожидаемых скоростей с неразмывающими для рассматриваемых грунтов, при этом обычно используются рекомендованные в нормативных документах таблицы расчетных допустимых неразмывающих скоростей. Таблицы разработаны для русел, поток в которых имеет глубину от 0,5 до 10 м, и основаны на зависимостях, полученных по опытным данным размыва русел в диапазонах указанных глубин [7].

Совершенно ясно, что процесс эрозии откосов при воздействии ручейкового стока значительно отличается от процесса, свойственного руслам рек и каналов. Глубина ручейков по эрозионным врезам, как правило, всего несколько сантиметров (не более 10–15 см), уклоны водного потока на 2–3 порядка выше, чем в реках и каналах.

Таким образом, эмпирические характеристики, полученные для довольно больших постоянных малоуклонных потоков, по-видимому, не корректно впрямую применять для расчетов эрозии откосов. Поэтому существующие зависимости, используемые для прогноза эрозии русел и каналов, требуют уточнения при применении их для оценки эрозии откоса, вызванной воздействием дождей. Научно-исследовательских работ, посвященных полевому или лабораторному определению эрозии откосов котлованов, авторами не выявлено.

В гидротехнике существует такой элемент грунтовой плотины, как размываемая вставка. Методика расчета данного сооружения близка к рас-

смотренной нами в данной статье, но ее нельзя применять для оценки параметров водной эрозии откосов глубоких котлованов, так как расчет ведется исходя из формулы пропускной способности водопропускной части резервного водосброса трапецидального сечения после размыва грунтовой вставки, работающей по схеме водослива с широким порогом. В нашем же случае сечение борозды, образованной ручейковым стоком, намного меньше, следовательно, и процесс воздействия воды на грунт будет отличаться [8].

Для изучения процессов водной эрозии откосов и, в частности, для оценки неразмывающих скоростей для разных грунтов в ручейках, образованных на откосах в результате выпадения атмосферных осадков, нами был проведен комплекс полевых и лабораторных исследований [1, 9]. Лабораторные опыты проводились на лотках, в которых моделировались фрагменты дневной поверхности откоса. Габариты лотков позволяли смоделировать струйное сосредоточенное движение воды по поверхности грунта, имитирующее потоки, наблюдаемые на откосах при выпадении дождей.

По результатам экспериментов, заключавшихся в дождевании фрагментов откоса в лотках при различной интенсивности дождевания поверхности, удалось обосновать ряд гидравлических критериев, позволяющих оценить возможность размыва откосов ручейковым стоком, вызванным выпадением атмосферных осадков. В частности, были обоснованы величины неразмывающих скоростей для различных связных грунтов и получены зависимости неразмывающих скоростей от механического состава грунтов откосов (табл. 1).

Таблица 1

Зависимость величины неразмывающей скорости от механического состава грунта

Тип грунта	Содержание глинистых частиц, %	Неразмывающая скорость, см/с
Песок пылеватой фракции	5 – 10	15 – 25
Супесь	10 – 15	25 – 35
Легкий суглинок	15 – 20	25 – 60
Тяжелый суглинок	20 – 30	60 – 75
Легкая глина	30 – 40	75 – 90

Работа В.Т.Трофимовой [10] была использована для обоснования классификации грунтов по гранулометрическому составу.

Кроме оценки неразмывающих скоростей на откосах, на основе результатов опытов были получены аналитические зависимости, отражающие связь скоростей ручейкового стока по эрозионным бороздам от расходов воды и связи скорости потока в зависимости от расходов при стоке воды по откосу, защищенному крупнозернистой пригрузкой.

Для непригруженного откоса получена зависимость вида

$$v = 4,75I^{0,5}Q^{0,53}, \quad (1)$$

где v – скорость движения воды, см/с; I – уклон откоса (в долях единицы); Q – расход, см³/с.

Для откоса, пригруженного гравием крупностью 5–10 мм, получена зависимость

$$v = 3,95I^{0,5}Q^{0,29}. \quad (2)$$

Для откоса, пригруженного галькой крупностью 20–30 мм, получена зависимость

$$v = 3,85I^{0,5}Q^{0,32}. \quad (3)$$

Как следует из лабораторных опытов, пригрузка откосов резко снижает скорость движения воды по откосу и, следовательно, может использоваться как мероприятие, направленное на снижение водной эрозии откоса.

Лабораторные опыты на лотках проводились при коэффициентах заложения откосов 1,5–3,0, поэтому использование полученных зависимостей рекомендовано при заложении откосов в указанном диапазоне.

Приведенные выше зависимости позволяют оценить величины расходов воды по ручейковой сети, при которых наступает процесс водной эрозии откосов, что рассматривается нами как первый шаг в предлагаемой методике прогноза водно-эрозионных процессов на реальном проектируемом откосе.

Для оценки эрозионной устойчивости откоса в конкретных условиях необходимо сравнить неразмывающие скорости с ожидаемыми в ручейковой сети на откосе. Скорость ручейкового стока на конкретном откосе определяется геометрическими параметрами откоса и расходом воды по ручейковой сети и может быть оценена зависимостью (1). Правомерность такого подхода подтверждается многочисленными исследованиями, посвященными склоновому стоку с речных водосбросов [11, 12, 13]. По нашему мнению, полученные зависимости (1) – (3) для инженерных расчетов достаточно точно отражают связь скорости ручейкового стока по откосу с расходом воды.

Как известно, поверхностным путем стекают дождевые и талые воды, не успевающие впитаться в грунт в период выпадения осадков или снеготаяния. Количество стекающей воды определяется характером дождя, его продолжительностью и интенсивностью, инфильтрационной способностью грунтов, морфометрическими особенностями дневной поверхности. В настоящее время теория стока поверхностных вод достаточно хорошо разработана [14]. Известен ряд теоретических моделей расчетов динамики дождевого стока [15].

Для поставленной задачи – оценить расход воды и скорость стекания воды по рытвинам на откосах – требуется определить сток с элементарного стокового элемента или с элементарного водосбора – бассейн с одним водотоком у подножья обращенных к нему склонов [12, 15].

Для проведения расчетов можно схематически (рис.2) представить откос в виде набора элементарных водосборных площадей эрозионных борозд. Основываясь на полевых исследованиях, нами предложена схема водосборной сети откосов, состоящая из равномерно расположенных борозд (с шагом 2 м), выполняющих роль водотоков. При этом положение водо-

раздельной линии принимается посередине между эрозионными бороздами (ручейковой сети). Принятая схема разбивки откоса представлена на рис. 2.

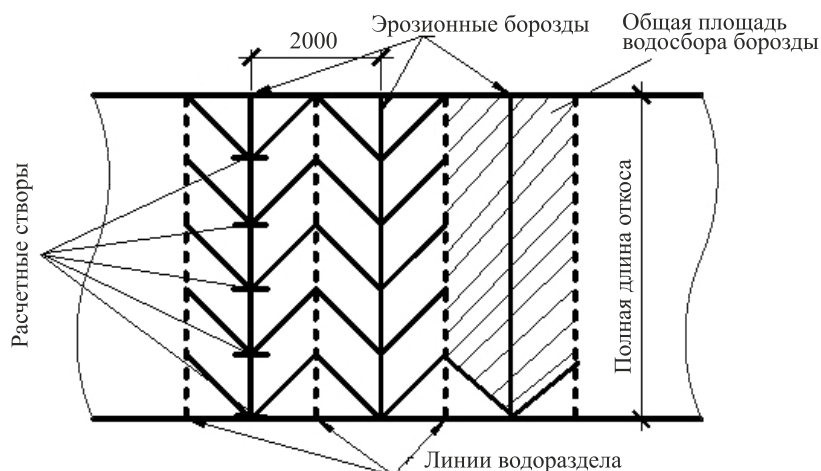


Рис. 2. Схема разбивки откоса на элементарные водосборы

Принятая схема, конечно, носит идеализированный, осредненный характер, но в целом соответствует природному процессу стока, так как по данным полевых обследований борозды, образованные за счет выпавших на откос атмосферных осадков, имеют примерно одинаковые параметры (ширину, глубину, длину) и водосборы борозд имеют практически равные площади.

В основу расчетов поверхностного стока на выделенных на откосе водосборах положен анализ водообразования, то есть процесса образования воды на поверхности в результате выпадения осадков. Водообразование на поверхности откоса возникает в результате превышения интенсивности дождя над скоростью впитывания воды грунтом. Сток в этом случае возможен, если объем водообразования больше водоаккумулирующей емкости микрорельефа на поверхности откоса. Не вдаваясь в элементы теории стока, с учетом того, что откосы имеют большие уклоны и поэтому скорость склонового стекания достаточно большая (то есть поверхностные воды от самых удаленных точек откоса проходят путь до подошвы, как правило, не более чем за одну – две минуты), максимальный расход в замыкающем створе будет соответствовать максимальному водообразованию, в свою очередь, напрямую определяемому интенсивностью дождя. Расход по эрозионной борозде в любой момент времени можно вычислить по предложенной нами зависимости

$$Q = 16,67 \cos \alpha (a - i) F \text{ (см}^3/\text{с)}, \quad (4)$$

где a – интенсивность дождя, мм/мин; i – интенсивность инфильтрации, мм/мин; F – площадь водосбора, м²; $\cos \alpha$ – косинус угла наклона откоса.

Расчет по зависимости (4) отличается от принятых обычно при определении расходов с элементарного водосбора введением коэффициента K .

Нужно отметить, что слой выпавших осадков в метеорологии [16] рассчитывается для условий горизонтальной дневной поверхности. Естественные водосборы и их водотоки, как правило, имеют незначительные

уклоны по сравнению с уклоном откоса и, соответственно, площадь естественного водосбора незначительно отличается от ее горизонтальной проекции. Элементарные водосборы, выделенные нами на откосах, имеют значительную крутизну и их водосборы по площади существенно больше, чем их горизонтальная проекция. Исходя из этого, слой осадков на выделенных водосборах откосах должен корректироваться. Объем осадков, выпадающих на водосбор, должен соответствовать величине, равной площади проекции откоса на горизонтальную плоскость. Реальная площадь больше площади горизонтальной проекции, к которой относится слой выпадающих атмосферных осадков (в реальности слой выпадающих осадков на наклонную плоскость будет меньше, чем на горизонтальную).

Размерность интенсивности осадков – мм/мин – выбрана согласно общепринятой оценке интенсивности дождя в мм/мин [17]. Встает вопрос, на какую интенсивности дождя следует вести расчеты. Как известно, при расчете водосточных сетей применяется понятие расчетной интенсивности, представляющей отношение количества осадков (в мм) к времени их выпадения (в мин.). Обычно в расчетах используют продолжительность дождя за 20-минутный интервал, равный обеспеченности 1 раз в год [18, 19]. В принципе, перед нами не стоит задача получить нормативную характеристику расходов, задача сводится к оценке диапазона скоростей воды, протекающей по рывтинам, при погодных условиях различных районов России. Поэтому, по аналогии с расчетом водосточных сетей, за отправной дождевой параметр принята наибольшая средняя интенсивность дождя продолжительностью 20 мин. Эту характеристику при обосновании параметров водоотводных ливневых систем принято называть *расчетным параметром интенсивности 20-минутного дождя*. Обоснованность принятия за расчетный период 20 мин. дождя иллюстрируется на диаграмме (рис. 3).

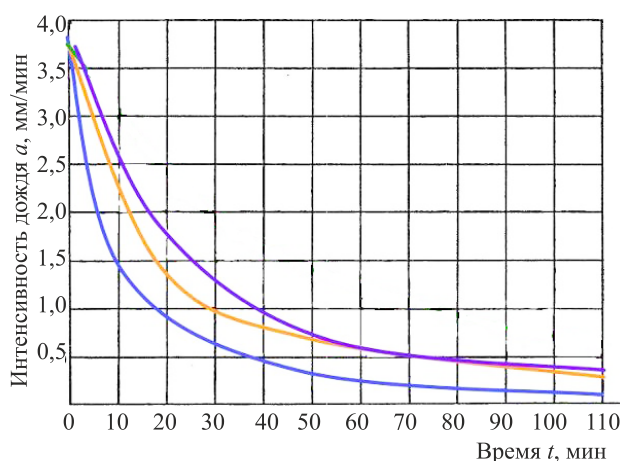


Рис. 3. Диаграмма интенсивности дождей для различных частей России [19]:
 — европейская часть России; — Туранская низменность; — Дальний Восток

Как видно из графика, именно в районе интервала 20 минут находится линия перегиба графика.

Как было отмечено выше, для определения расхода ливневого стока по борозде необходимо также знать интенсивность инфильтрации (ско-

рость впитывания дождевой воды грунтом). Вопросам определения инфильтрации или впитывания воды в грунт за время выпадения дождя посвящено много исследований [20, 21, 22]. В целом наиболее известной зависимостью по оценке впитывания является формула вида

$$K_t = K_0 + A / t^n, \quad (5)$$

где K_t – коэффициент впитывания за время t от начала процесса; K_0 – минимальная, установившаяся интенсивность впитывания (численно это не что иное, как коэффициент фильтрации грунта); t – время, мин. ($t > 1$); n – показатель степени; A – эмпирический параметр, отражающий физические свойства грунтов.

На начальном этапе процесса впитывания скорость впитывания определяется воднофизическими свойствами грунта, начальной его влажностью, а также интенсивностью осадков. С увеличением периода продолжительности выпадения осадков скорость впитывания снижается до величины, равной коэффициенту фильтрации грунта, а затем – для дождей высокой интенсивности – остается постоянной. Как показывают многочисленные экспериментальные опыты на минеральных грунтах, интенсивность впитывания, как правило, снижается до величины коэффициента фильтрации за достаточно короткий период времени [23]. Как правило, с начала дождя идет постепенное увеличение его интенсивности, поэтому к периоду дождя с наибольшей интенсивностью интенсивность инфильтрации будет численно соответствовать коэффициенту фильтрации. Поэтому за период выпадения наиболее интенсивной части дождя при расчетах стока величину водообразования с достаточной для расчетов точностью можно определить, как разность между интенсивностью осадков и интенсивностью впитывания, численно равной коэффициенту фильтрации грунтов. При расчетах надежности временных сооружений в гидротехнике [24] используют гидрологические параметры – 10% обеспеченность. В наших расчетах предлагается использовать тот же принцип. Таким образом, оценку эрозионной устойчивости рекомендовано проводить на основе использования в расчетных стокowych характеристиках, ожидаемых при выпадении дождя с максимальной интенсивностью в 20-минутном интервале, наблюдаемых 1 раз в 10 лет.

Для целей обоснования расчетной интенсивности осадков нами за основу взята карта-схема ливневых районов СССР (рис.4), и по районам, указанным на карте, рассчитаны 10% и 1% интенсивности дождевых осадков 20-минутной продолжительности (табл. 2). Интенсивности дождя определены согласно данным, взятым из работ [18, 24, 25].

В соответствии с табл. 2 и картой (см.рис. 4) нетрудно получить расчетный параметр интенсивности осадков для любого пункта на территории России.

Приведенные выше графики, формулы и табл. 2 позволяют на основании данных о геотехнических свойствах грунтов откосов, их параметров и климатических условий региона строительства прогнозировать скорости стока воды по ручейковой сети откосов и на основании сравнения рассчитанных скоростей с неразмывающими оценить водозерозионную устойчивость откосов.

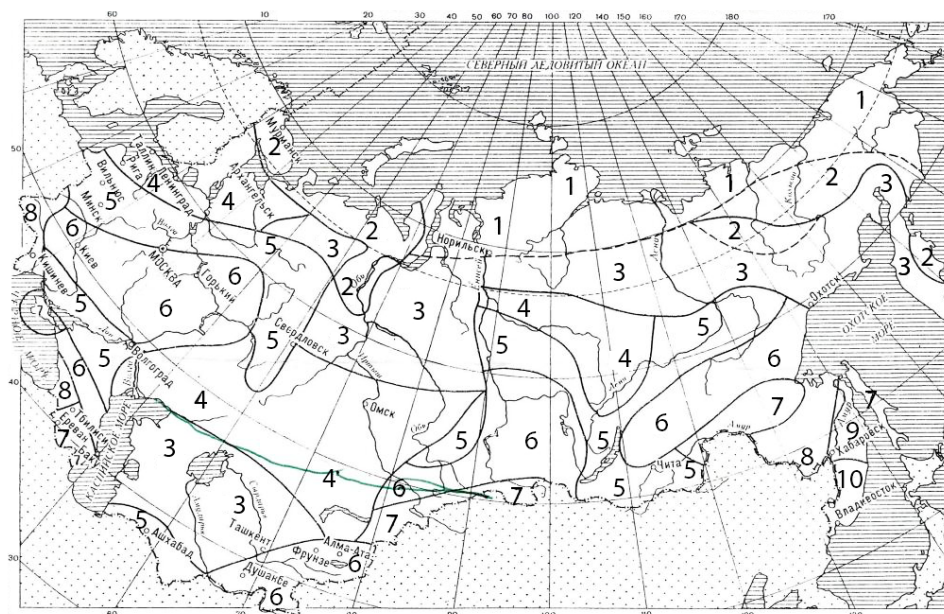


Рис. 4. Карта-схема ливневых районов территории бывшего СССР

Таблица 2

Расчетная интенсивность дождевых осадков 20-минутной продолжительности для ливневых районов России

№ региона	Обеспеченность интенсивности дождя, мм/мин		№ региона	Обеспеченность интенсивности дождя, мм/мин	
	10%	1%		10%	1%
1	0,37	0,68	6	0,83	1,71
2	0,49	0,85	7	0,92	1,96
3	0,49	1,19	8	1,34	2,39
4	0,77	1,52	9	1,37	2,52
5	0,8	1,64	10	1,39	2,96

Если в результате расчетов по методике прогнозируется, что незащищенный откос будет подвержен водной эрозии, рекомендуется выполнить мероприятия по защите откоса от эрозии, наиболее оптимальные из которых предложены ниже.

Прежде всего, следует рассмотреть возможность оптимизировать расстояние между бермами на откосе.

Как было отмечено ранее, скорость движения по откосам потоков, вызванных выпадением осадков, нарастает по мере движения воды к основанию откоса. Для обоснования эффективности этого мероприятия нами проведены определения расчетных скоростей на откосе с коэффициентом заложения 2 в условиях слабоводопроницаемых грунтов. Результаты расчета приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Расчетные расходы воды и скорости движения потока по откосу
с заложением 2 в слабоводопроницаемых грунтах для регионов России**

№ региона	Расход воды 10% обеспеченности, см³/с				Скорость стока, см/с			
	при длине откоса, м							
	2	3	5	10	2	3	5	10
1	16,8	30,8	55,5	117	17,3	22,7	30,9	44,8
2	22,3	40,8	73,5	155	18,2	23,9	32,5	47,1*
3	22,3	40,8	73,5	155	18,2	23,9	32,5	47,1*
4	35,0	64,2	115,5	245	23,1	30,3	41,3	60,3*
5	36,4	66,7	120,0	253	23,6	30,9	42,2	61,6*
6	37,7	69,2	124,5	262	24,1	31,5	43,0	62,8*
7	41,8	76,7	138,0	291	25,4	33,3	45,4*	66,7*
8	60,9	111,7	201,0	424	31,0	40,6	55,4*	81,4*
9	62,3	114,2	205,5	433	31,4	41,1	56,0*	82,3*
10	63,2	116,0	208,5	440	31,6	41,4	56,4*	82,9*

* – величины скоростей выше размывающих.

Как следует из таблицы, скорости движения потока по длине откоса значительно увеличиваются, так при длине откоса равной 5 м, по сравнению с откосом длиной 3 м скорости возросли на 35–40%. При длине откоса 10 м скорости фактически увеличиваются в 2 раза по сравнению с откосом длиной 3 м.

Снизить эрозионную опасность можно за счет уменьшения расстояния между бермами, чтобы при этом общие размеры котлована не превышали исходных, предлагается увеличить крутизну откоса. Для проверки устойчивости предложенной конструкции котлована был проведен расчет вариантов на программном комплексе PLAXIS [26]. Сравнение предложенного варианта с уменьшенными длинами отрезков откоса между бермами с общепринятыми при расстоянии между бермами проводилось по коэффициенту запаса устойчивости откоса K . В качестве расчетных моделей были приняты откосы общей высотой 25 м. В первом типовом случае превышения по высоте между бермами было принято 5 м, при коэффициенте заложения откосов равным 2. Во втором случае бермы устраивались по высоте через каждые 3 м при коэффициенте заложения откосов 1,5. Ширина берм в обоих случаях принималась равной 3 м. В итоге общая длина второго расчетного откоса с бермами через 3 м получилась меньше, чем длина откоса с бермами через 5 м.

В расчете было рассмотрено три варианта грунтов, составляющих откосы: супесь твердая пылеватая, супесь текучая, суглинок легкий. Оказалось, что в результате расчетов коэффициент запаса устойчивости для первого и второго варианта конструкции откоса практически совпали (табл.4).

Таблица 4

Результаты расчета коэффициентов запаса устойчивости для откосов

№ расчетного случая	K запаса – супесь твердая	K запаса – супесь текучая	K запаса – суглинков легкий
1	2,15	1,43	1,85
2	2,08	1,38	1,80

При этом, за счет уменьшения площадей и величин высоты откоса между бермами, при устройстве берм через 3 м, скорости потока уменьшаются значительно – примерно в 2 раза, то есть эрозия откосов ожидается в 2 раза меньше, чем при устройстве бермы через 5 м. Таким образом, предложенный подход может использоваться для снижения водной эрозии.

В том случае, когда за счет изменения параметров откоса не удастся снизить величину рассчитанной скорости потока и она окажется выше значения неразмывающей скорости, в целях предотвращения водной эрозии под воздействием атмосферных осадков откос можно защитить крупнодисперсной пригрузкой. Эффективность этого мероприятия можно оценить по результатам расчетов скорости потока с использованием зависимостей (2) и (3). Наиболее простой способ защиты откоса – это пригрузка щебнем или галькой слоем не менее 15 см, при этом необязательно пригружать откос полностью. Следует пригрузить только нижнюю часть откоса, где скорости стока в соответствии с расчетами будут превышать неразмывающие.

Выводы

1. В результате комплекса полевых и лабораторных исследований и аналитических проработок по изучению процессов водной эрозии откосов глубоких котлованов обоснованы величины неразмывающих скоростей для грунтов различного гранулометрического состава в ручейковой сети, формирующейся на откосах в результате выпадения атмосферных осадков. Кроме того, на основании лабораторных опытов получены зависимости, связывающие скорость воды в ручейковой сети с величиной расходов воды в рассматриваемых створах и коэффициентами заложения откосов. Для определения расходов воды в ручейковой сети разработана методика расчета интенсивности стока в зависимости от интенсивности выпадения осадков, позволяющая определить расчетный расход воды в ручейковой сети в любом створе на конкретном откосе.

2. Предложен алгоритм прогнозной оценки параметров водной эрозии откосов глубоких котлованов. На основе сравнения обоснованных в лабораторных условиях неразмывающих скоростей с расчетными, полученными по разработанной авторами методике для конкретных условий (местоположение рассматриваемого створа на откосе, механического состава грунта, интенсивности выпадения расчетного дождя, коэффициента заложения откоса и расстояния между бермами), обосновывается степень эрозионной устойчивости откоса.

3. Разработанная методика оценки параметров водной эрозии откосов глубоких котлованов может быть использована также для обоснования вариантов мероприятий по повышению водно-эрозионной устойчивости откосов глубоких котлованов. С использованием методики доказана высокая эффективность борьбы с эрозией откосов за счет уменьшения расстояний между бермами и использования в качестве противоэрозионных мероприятий пригрузки откосов крупнофракционным (10 – 40 мм) несвязным материалом. При этом возможно обосновать конкретно наиболее приемлемый фракционный состав пригрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Проблемы** проектирования и эксплуатации откосов глубоких котлованов с учетом длительного влияния стока поверхности и подземных вод / С.В.Сольский, Д.П.Самофалов, А.Н.Арефьева, Е.В.Булганин // Известия ВНИИГ имени Б.Е. Веденеева. 2014. Т. 271. С. 44-54.
2. **ВТР-II-25-80** Руководство по определению допускаемых неразмывающих скоростей водного потока для различных грунтов при расчете каналов / Ц.Е.Мирицхулава, А.В.Магомедова, Ю.П.Поляков. М.: Минводхоз СССР. 1981.
3. **Мирицхулава Ц.Е.** Размыв русел и методика оценки их устойчивости. М.: Колос. 1967.
4. **Великанов. М.А.** Динамика русловых потоков, 3 изд., т. 1-2, М.: Гидротехиздат. 1955. .
5. **Гончаров В.Н.** Динамика русловых потоков. Л.: Гидрометеиздат. 1962.
6. **Леви И.И.** Динамика русловых потоков, 2 изд., М.-Л.: Госэнергоиздат. 1957.
7. **Мелиорация** и водное хозяйство: Справочник. Том 3: Осушение / под ред. Б.С. Маслова / Е.П. Панов, А.И. Мурашко, Е.И. Кормыш. М.: Агропромиздат. 1985.
8. **Косиченко Ю.М., Михайлов Е.Д.** Методика расчета параметров резервного водосброса с размываемой вставкой // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2014. № 4(16). С.176–189.
9. **Лабораторные** исследования по оценке эрозионной устойчивости грунтовых откосов глубоких котлованов / С.В.Сольский, Д.П.Самофалов, А.Н.Ефремова, Е.В.Булганин // Известия ВНИИГ имени Б.Е. Веденеева. 2014. Т. 272. С. 5-14.
10. **Трофимова В.Т.** Грунтоведение. 6-е изд., доп. и перераб. М.: Изд-во МГУ. 2005.
11. **Алексеев Г.А.** Расчеты паводочного стока рек СССР. Л.: Гидрометеиздат. 1955.
12. **Виноградов Ю.Б.** Математическое моделирование процессов формирования стока Л.: Гидрометеиздат. 1988.
13. **СТП ВНИИГ 210.01.НТ*-2010.** Методика расчета гидрологических характеристик техногенно нагруженных территорий.
14. **Нежиховский Р.А.** Русловая сеть бассейна и процесс формирования стока воды. Л.: Гидрометеиздат. 1971.
15. **Перевозников Б.Ф.** Расчеты максимального стока при проектировании дорожных сооружений. М.: Транспорт. 1975.
16. **Гуральник И.И., Дубинский Г.П., Мамиконova С.В.** Метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1972.
17. **СП 32.13330.2012.** Канализация. Наружные сети и сооружения. М.: 2012.

18. **Дорожно-мостовая гидрология:** Справочник / Б.Ф. Перевозников, С.М. Бликштейн, М.Л. Соколов и др.; Под ред. Б.Ф. Перевозникова. М.: Транспорт. 1983.
19. **Бефани Н.Ф., Коновалова Н.И.** О расчетных формулах впитывания ливневых вод // Труды ОГМИ. 1958. Вып.15. С. 93-102.
20. **Алексеев Г. А.** Динамика инфильтрации дождевой воды в почву // Труды ГГИ. 1948. Вып.6/60. С. 43-72.
21. **Будаговский А.И.** Впитывание воды в почву. М.: АН СССР, институт географии. 1955.
22. **Самофалов Д.П.** О поиске оптимального способа определения расчетного коэффициента фильтрации при гидромелиоративных изысканиях // Сб. Мелиорация земель Брянской области. Брянск. 1976. С. 9 - 15
23. **СП 39.13330.2012.** Плотины из грунтовых материалов. Актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84. М. 2012.
24. **Смирнова Е.А.** Расчетные характеристики дождевых осадков на территории СССР / Международный симпозиум по паводкам и их расчетам. Л.: Гидрометеиздат. 1969. С. 105-114.
25. **Справочник** по климату СССР. Часть VI. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. Л.: Гидрометеиздат. 1968.
26. **Программа** двумерных геотехнических расчетов деформаций, устойчивости и потока подземных вод МКЭ PLAXIS 2D [<http://www.plaxis.nl/>].