

**Общая устойчивость склонов, зданий и сооружений. Автоматизированные инженерные методы расчетов на современном этапе развития вычислительной техники**

1. В одной из наших публикаций мы обращали внимание на то, что обеспечение общей устойчивости склонов, зданий и сооружений, т.е. исключение оползневой опасности - посильная задача, затраты на решение которой, как правило, существенно меньше, чем на устранение последствий недооценки оползневых процессов [1]. (Оползень, по определению, - это смещение массы грунта вниз по склону вследствие потери ею общей устойчивости).

В нашей практике нам часто приходится сталкиваться с недостаточным пониманием важности своевременного и качественного решения рассматриваемой задачи и, как следствие, со значительными непредвиденными затратами на стадиях проектирования и строительства ответственных зданий и сооружений.

2. Вследствие бурного развития вычислительной техники отечественные специализированные научно-исследовательские и проектные организации обзавелись мощными дорогостоящими программными средствами, позволяющими решать самые сложные из рассматриваемых задач в исключительно сжатые сроки. При этом, используя математическое моделирование для оценки влияния различных факторов, в некоторых случаях удается существенно уточнить программу и объем полевых и лабораторных инженерных изысканий.

Интересно то, что в наиболее используемых программных продуктах реализованы методы расчета, которые до информационной революции относились к так называемым "инженерным", т.е. с достаточно ясной для широкого круга специалистов недеформационной моделью грунтового основания, использующей только простейшие прочностные параметры грунтов, получаемые в обычной грунтовой лаборатории. Это и понятно, т.к. для более сложных моделей грунтового основания, как правило, нет необходимых исходных данных, а реальная точность результатов относительно более "строгих" расчетов не настолько превышает точность "инженерных", чтобы оправдать дополнительный объем и существенное усложнение инженерных изысканий.

3. Однако современные "инженерные" методы расчетов и программы, на них основанные, должны удовлетворять определенным требованиям, касающимся надежности и "товарного вида" результатов, а также производительности работы.

3.1. Наш опыт показал, что заказчик, как правило, обращается к специалистам тогда, когда результат нужен "вчера". При этом полнота исходных данных зачастую такова, что частично компенсировать ее скудность можно только математическим моделированием, т.е. значительным увеличением количества расчетных случаев, на что требуется время. Время требуется также на поиск оптимального решения задачи с точки зрения сокращения строительных затрат и пр.



Обычно заказчик должен сделать выбор среди специализированных организаций, не имея возможности предварительно объективно оценить качество их работы. Предпочтение чаще отдается той организации, которая может быстрее и дешевле выполнить работу. Преимущество имеют также организации с хорошо раскрученным «брендом», независимо от качества их работы.

3.2. Методы расчетов должны быть привязаны к стандартным (гостированным) методам исследования грунтов. Наряду с традиционными лабораторными испытаниями образцов, добытых в выработках, хорошие результаты, как мы убедились на собственном опыте, в ряде случаев дают такие относительно простые скоростные геофизические методы, как сейсмоакустическое зондирование.

3.3. Методы расчетов и программы для ЭВМ, как правило, должны быть равно пригодными для расчетов устойчивости сооружений при скальных, нескальных, полускальных и комбинированных основаниях, не требовать грубой схематизации основания. Они должны обеспечивать прогнозирование оползней сдвига и выдавливания, оползней-потоков, сплывов, гидродинамического выноса и внезапного разжижения (при наличии прогноза изменения механических характеристик грунтов). Категорически нельзя согласиться с имеющим место в действующих строительных нормах (напр., в [2]) сохранением выделения в самостоятельные расчеты проверку на плоский, смешанный и глубинный сдвиги с подвидами в зависимости от типов конструкций и видов оснований. Методы расчетов и программы должны быть универсальными для широкого круга решаемых задач, включая определение оползневого давления на подпорные стены, сваи и другие, заглубленные в грунт конструкции.

3.4. Результаты расчетов должны быть понятны и убедительны для заказчика, как правило, не являющегося узким специалистом в рассматриваемом вопросе. Они должны быть наглядно представлены с использованием компьютерной графики. Отчетные материалы должны обязательно содержать исходные данные, позволяющие выполнить контрольные расчеты другими специалистами и по другим программам.

4. Результаты расчетов, технические решения и стоимость противооползневых и других сооружений, взаимодействующих с грунтом, существенно зависят от точности исходных данных, прежде всего расчетных параметров прочности грунтов. Грубые ошибки, как правило, удается исключить по результатам контрольных расчетов естественных склонов до и после потери ими устойчивости.

5. Учитывая, что расчеты устойчивости выполняются многими организациями и специалистами с использованием программ различного происхождения, нам представляется необходимым регламентировать требования к исходным данным, методам и программам расчета устойчивости, чтобы получить в равной степени надежные и сопоставимые результаты. Руководство, содержащее соответствующие требования, а также описание вариационного метода расчета устойчивости, отвечающего поставленным требованиям, и другие материалы, необходимые для оценки устойчивости склонов и проектирования защитных мероприятий, было разработано в ОАО «Гипроречтранс» по заданию Госстроя РФ в 1995 г.. Оно получило положительную оценку ведущих научно-исследовательских и проектных организаций страны (ВНИИГ им. Б.Е.Веденева, ПНИИС, ЦНИИС, АООТ «Гипрокоммустрой», ГНЦ «Водгео»). Однако из-за прекращения финансирования не было выпущено и осталось документом для внутреннего использования в ОАО «Гипроречтранс»[3]. В настоящее время этот документ, по своему содержанию соответствующий строительным нормам (СН) и являющийся развитием СНиП 2.02.01-83 [4], СНиП 22-02-2003 (2.01.15-90)[5] и СНиП 2.02.02-85[2], СП-11-105-97[6]



требует модернизации в связи с развитием техники, изменением нормативной базы и накопленным опытом его использования.

6. В указанных выше нормативных документах предусмотрено обязательное выполнение расчетов общей устойчивости сооружений, в том числе и при наличии свайного основания, если на фундамент передаются значительные горизонтальные нагрузки, если основание ограничено откосом, сложено крутопадающими слоями грунта и т.п.

Такие расчеты, как правило, производят по первой группе предельных состояний. При этом принимаются прочностные характеристики грунтов, определенные с односторонней доверительной вероятностью 0.95, и коэффициент надежности по ответственности больше 1 (на стадии проектирования) или равен 1 (при контрольных расчетах на стадии инженерных изысканий). Опыт показывает, что выполнение этих условий, как правило, обеспечивает и отсутствие опасных деформаций пластического характера в процессе эксплуатации сооружений.

Согласно указанным выше нормативным документам, критерием устойчивости является соблюдение неравенства

$$\gamma_{1c} * F \leq \gamma_c * R / \gamma_n \quad (1)$$

для любой поверхности в массиве грунта. В формуле (1):

F и R - расчетные значения соответственно сдвигающей силы (или момента этой силы) и силы предельного сопротивления (или момента этой силы);

$\gamma_{1c}$  - коэффициент сочетания нагрузок (для основного сочетания - 1.0, для особого - как правило, 0.9, для строительного периода - 0.95);

$\gamma_c$  - коэффициент условий работы (для примененного нами метода расчета - 1.0, однако в случае пылеватых песков и пылевато-глинистых грунтов в стабилизированном состоянии согласно СНиП [4] этот коэффициент должен приниматься равным 0.9, однако при соблюдении требований Руководства [3] в этом нет необходимости);

$\gamma_n$  - коэффициент надежности по ответственности (для зданий и сооружений первого класса - 1.2, второго - 1.15, третьего - 1.1, при контрольных расчетах на стадии инженерных изысканий - 1).

К особому сочетанию нагрузок и воздействий может быть отнесено возможное снижение со временем прочности глинистых грунтов под сдвигающей нагрузкой [3]. В действующих нормах обращено внимание на необходимость учета возможного снижения прочности глинистых грунтов, но расчет на это сочетание детально не рассмотрен. Для глинистых грунтов в расчет может быть введена остаточная прочность (предел длительной прочности). Причем, за предел длительной прочности можно принять результаты сдвиговых испытаний по подготовленной поверхности (так наз. "плашка по плашке").

Поиск в массиве грунта поверхности с максимальным значением разности  $E = \gamma_{1c} * F - \gamma_c * R / \gamma_n$  является многоэкстремальной вариационной задачей, решение которой с достаточной надежностью возможно только по программам, гарантирующим нахождение глобального экстремума. Это означает, что для расчета общей устойчивости, как правило, должны использоваться ориентированные на применение ЭВМ вариационные методы, позволяющие автоматически находить в массиве грунта поверхность (любой формы), которая ограничивает объем, имеющий наименьшую несущую способность, а также поверхности, разграничивающие устойчивые и неустойчивые зоны в массиве грунта. При этом должно учитываться наличие как одной, так и нескольких, если они имеются, неустойчивых зон в рассматриваемом массиве грунта.

О применении вариационных методов мечтал еще Н.М.Герсеванов в 30-е годы 20 столетия; начиная с 60-х годов разработкой их занимались Копачи, Ю.И.Соловьев,



А.Г.Дорфман, М.И.Шевченко, В.Н.Бухарцев, Бакер, Ямагами Такео, Де Натале и многие другие ученые, но реально в проектную практику они могли быть внедрены только в последние два десятилетия в связи с развитием вычислительной техники.

7. Указанным выше требованиям удовлетворяют, например, разработанные в ОАО «Гипроречтранс» программы "RUST-51w" и "кRUST-51" (а также их предшественники и более поздние разработки), в которых реализованы общепринятые методы расчета, регламентированные рядом нормативных документов в строительстве, в частности, [2] и [7], так называемые "методы блоков" или "наклонных сил". Эти программы прошли успешную многолетнюю апробацию на тысячах расчетов, в том числе для аварийных объектов и модельных экспериментов различных исследователей [8, 9].

Программа "RUST-51w" решает вариационную задачу поиска наилучшей поверхности скольжения произвольной формы одним из численных методов динамического программирования, обеспечивающим достаточно точное решение многоэкстремальной задачи. При этом критерием оптимизации является разность удерживающих и сдвигающих сил согласно условию (1), где  $F$  и  $R$  - расчетные значения соответственно сдвигающей силы и силы предельного сопротивления.

Т.к. величина  $E$  не дает представления о соотношении удерживающих и сдвигающих сил, то для наглядности вычисляется коэффициент устойчивости

$$K_s = (\gamma_c * R / \gamma_n) / \gamma_{ic} * F. \quad (2)$$

Критерием обеспечения расчетной устойчивости наряду с (1) является условие  $K_s \geq 1$ . Учитывая реальную точность инженерных расчетов, отклонения  $K_s$  от 1 в пределах 2% считаются допустимыми.

Расчеты выполняются для геомеханических моделей, построенных на основе инженерно-геологических (геолого-литологических) разрезов. В отличие от последних на них выделены расчетные геологические элементы (РГЭ), в том числе части инженерно-геологических элементов (ИГЭ), обладающие особыми свойствами (контактные ослабленные зоны, зоны ИГЭ с различающимися удельными весами и др.). При выделении РГЭ учитываются также требования программы RUST к структуре исходных данных, удобство обработки серии однотипных задач и т.д. Программа RUST-51w позволяет учитывать в расчете до 30 РГЭ, что как показывает опыт, вполне достаточно.

Программа позволяет учесть анизотропию РГЭ, включая вызванную системой трещин в трех направлениях с заполнением их менее прочной породой.

Известно, что грунт, как правило, если он не армирован специально, не работает на растяжение. Т.е. лежащий выше по склону грунт не может удерживать лежащий ниже, а нижележащий - тянуть лежащий выше. Программа может автоматически учесть это обстоятельство, показав трещину отрыва («закол»).

Программа позволяет учесть сопротивление сдвигу до 5 рядов вертикальных свай. При большем числе рядов и небольшом расстоянии между ними можно принять эквивалентную расчетную схему, либо сведя сваи в пять рядов, либо повысив соответствующим образом прочностные параметры в объеме грунта, вмещающего сваи.

К поверхности грунта может быть приложена вертикальная равномерно-распределенная ступенчатая (до 40 ступеней) нагрузка двух типов:

- постоянная (от зданий и сооружений), величина которой не зависит от положения поверхности сдвига;
- временная (от транспорта, толпы, грузов и т.п.), учет которой производится только в случае, если она уменьшает устойчивость.

В массиве грунта может быть приложено до 400 наклонных сосредоточенных сил, с помощью которых можно передать на грунт ниже его поверхности нагрузки от свай, ввести в расчет, например, фильтрационное давление воды, а также вес воды, приложенный к поверхности водоупора.



В случае, когда задана поверхность воды в грунте и положение водоупора, величины и направление фильтрационных сил определяются автоматически. Это касается и случая, когда к нижней поверхности водоупора приложена нагрузка от воды, находящейся под напором, если задана установившаяся пьезометрическая поверхность этой воды.

Рассчитываемый массив грунта автоматически разделяется на вертикальные блоки (до 200). Их количество зависит от сложности строения грунтового массива, его размеров и требуемой точности расчетов. При этом реальная погрешность, связанная с дискретностью математической модели, как показывают методические расчеты, не превышает 2% (в сторону завышения устойчивости).

Программа "RUST-51w" позволяет учитывать любую реализацию сил трения и сцепления по вертикальным плоскостям (между блоками), как постоянную для всего сдвигаемого массива грунта, так и переменную вдоль поверхности скольжения. Как правило, в ответственных случаях при расчетах устойчивости Руководство [3], а также другие, наиболее авторитетные источники, рекомендует в небольшой запас не учитывать указанные силы, однако при определении давления грунта на стены пренебрегать этими силами, как правило, не следует.

Отсчет горизонтальных расстояний на разрезах производится от нулевой точки ( $X=0$ ), положение которой определяется удобством представления результатов и практически не влияет на результаты расчета.

В результате расчета выдаются (в текстовом и/или графическом виде):

- поверхность, ограничивающая массив грунта, в котором получены достоверные результаты расчета;
- поверхности с максимальным положительным значением  $E$  (поверхности сдвига);
- поверхности с минимальным значением  $K_s$  (если  $1.0 < K_s < 1.05$ );
- наинижешие поверхности с  $E = 0$  и  $K_s = 1$  в створе с  $X = 0$  (если это необходимо, например, для определения минимального заглубления свай или шпунтового ряда исходя из требований обеспечения общей устойчивости и пр.);
- величины  $\gamma_{lc} * F$ ,  $\gamma_c * R / \gamma_n$ ,  $E$  и  $K_s$  для вертикального сечения с координатой  $X = 0$  по всей высоте массива;
- координаты точек выхода на поверхность грунта поверхностей скольжения, не пересекающих вертикальное сечение с  $X = 0$  (если они имеются), соответствующие значения  $E$ , а также координаты самих поверхностей скольжения;
- эпюры оползневого давления (если в этом есть необходимость);
- положение и относительная величина сил фильтрационного давления воды.
- таблица с условными обозначениями и параметрами прочности грунтов РГЭ.

Расчет устойчивости на сдвиг с проверкой равновесия горизонтальных или наклонных сил является необходимым, но не достаточным, т.к. в некоторых случаях возможна потеря устойчивости в результате поворота части массива грунта в результате проскальзывания его по круглоцилиндрической поверхности (если она кинематически возможна).

**Программа "kRUST-51"** предназначена для выполнения таких расчетов. Она работает на том же массиве исходных данных, что и программа "RUST-51w", но рассматривает только круглоцилиндрические поверхности скольжения, начинающиеся и заканчивающиеся на поверхности грунта на границах вертикальных блоков и заглубленных от точек, лежащих на поверхности грунта, до точек, касательных к нижней границе рассматриваемого массива грунта. Таким образом, осуществляется полный перебор с определенным шагом по горизонтали и вертикали, с помощью которого решается многоэкстремальная вариационная задача и выявляются как глобальная, так и локальные круглоцилиндрические поверхности скольжения.

Критерием обеспечения расчетной устойчивости является условие (2), в котором



$F$  и  $R$  - расчетные значения, соответственно, моментов сдвигающей силы и силы предельного сопротивления, определяемые аналогично тому, как это делается в известном методе Г.М.Шахунянца [10].

В результате расчета выдаются (в текстовом и/или графическом виде):

- поверхность с минимальным значением  $K_s$  ( $K_s < 1.05$ );
- поверхности с минимальным значением  $K_s$  (если  $K_s < 1.05$ ), проходящие через все границы блоков;
- величины  $\gamma_{ic} * F$ ,  $\gamma_c * R / \gamma_n$ ,  $K_s$  для указанных выше поверхностей;
- таблица с условными обозначениями и параметрами прочности грунтов РГЭ.

Реальная погрешность расчета, связанная с дискретностью математической модели, как показывают методические расчеты, не превышает 2% (в сторону занижения устойчивости).

Использование указанных выше программ позволяет существенно упростить поиск рациональных технических решений по обеспечению устойчивости склонов и сооружений. Так, в нашей практике не является чем-то необычным рассмотрение нескольких десятков вариантов вертикальной планировки склона для выбора оптимального.

8. Для использования совершенных программ необходима высокая квалификация специалистов, прежде всего в области инженерной геологии и механики грунтов.

Красиво оформленные результаты расчетов могут камуфлировать грубые ошибки, в частности, геомеханической модели. Недостаточно подготовленный и не имеющий соответствующего опыта специалист не сможет использовать достаточно полно возможности программ. Следует иметь в виду, что сложные программы требуют постоянного совершенствования и адаптации к нестандартным случаям расчетов. Это может быть сделано только в авторитетной специализированной организации. Известно, что изготовители сложных программ, подобных рассмотренным выше, как правило, продают только упрощенные версии своих изделий, приспособленные для решения узкого класса несложных задач, а решение сложных задач берут на себя. Причина этого нам понятна, и мы считаем это правильным.

9. ОАО «Гипроречтранс» в последние годы принял участие в ряде работ по определению устойчивости гражданских сооружений, располагаемых вблизи склонов, потенциально оползнеопасных (например, в г. Москве и области: комплекс высотных зданий «Воробьевы горы» на склоне р.Сетунь, 17-этажного дома у глубокого оврага р. Котловки, комплекса из трех 17- и двух 14-этажных на склоне р. Москвы в г. Лыткарино, комплекса АОЦ Московской области на берегу р. Москвы в Мякинино и др.). Причем во многих случаях эта работа поручалась параллельно двум или нескольким специализированным организациям, что в общем то правильно.

К сожалению, к уточненным инженерным изысканиям и расчетам мы часто приступали уже по завершении рабочего проектирования и даже после начала строительных работ, когда Заказчика заставляла сделать это экспертиза. При этом вопреки всем известным рекомендациям (например, [11]) и отрицательному международному опыту некоторые из перечисленных зданий проектировались на «сплошных фундаментах», иногда дополненных короткими висячими сваями «для выравнивания деформаций».

Информацию о деформациях ранее построенных подобных объектах в нашей стране не принято доводить до сведения даже специалистов, а слухи не принято комментировать. Но, например, Китай сообщил [12] о нескольких случаях разрушения и повреждения зданий, сооруженных вблизи от склонов. Во всех случаях причиной были деформации грунтовых массивов, вызвавшие неравномерные осадки, при склоне, устойчивом по расчету.



10. Сопоставление результатов расчетов устойчивости, выполненных разными организациями, позволяет выявить основные причины имеющихся иногда существенных расхождений в оценке устойчивости.

Оказалось, что различные общепринятые методы и программы расчетов при прочих равных условиях дают практически близкие оценки общей устойчивости, что лишний раз подтверждает указания п.4.2.11 СП 11-105-97[6].

Имеют место две основные причины существенных расхождений оценок и, следовательно, рекомендаций по строительству: 1) расчеты выполнены для разных поверхностей скольжения – в одних случаях для действительно наихудших, в других – для априори считающимися наихудшими; 2) по разному оцениваются прочностные характеристики грунтов.

Рассмотрим это на примере строительства АОЦ Московской области. В расчетах и оценках устойчивости участвовали здесь кроме ОАО «Гипроречтранс» ФГУП «Фундаментпроект», НИИОСП им. Н.М.Герсеванова, ОАО «Инженерный центр ЕЭС» филиал «Института Гидропроект», ФГУП «Геоцентр-Москва», а основные инженерно-геологические исследования были первоначально выполнены «АПБ «Архитекс», а затем дополнены и уточнены ОАО «Гипроречтранс».

В расчетном случае, показанном на рис.1, «Гипроречтранс» нашел по программе "RUST-51w" наиболее опасную поверхность скольжения и предупредил Заказчика о недостаточной устойчивости 17-этажного корпуса, если он отрезан от остальной части здания температурно-осадочным швом. Если же корпуса связаны между собой, то возможно развитие недопустимых деформаций и нарушение прочности здания (как в Китае). С этим согласился (без расчетов, на основании богатого опыта) «Геоцентр-Москва».

«Инженерный Центр ЕЭС» недопустимо упростил геомеханическую модель основания и не проверил устойчивость по наихудшей или близкой к ней поверхности скольжения. В итоге получил, по нашему мнению, необоснованно оптимистичный вывод, что *«возведение сооружений принципиального влияния на устойчивость территории не оказывает: коэффициент запаса устойчивости намного превосходит его нормативные значения независимо от положения заданных поверхностей скольжения относительно фундамента сооружений»*.

НИИОСП и «Фундаментпроект» в 2005 г. также пришли к выводу, что устойчивость здания соответствует требованиям нормативных документов, а негативный вывод «Гипроречтранса» объясняется тем, что последний использовал в расчетах заниженные, по их мнению, параметры прочности юрских глин (ИГЭ 30 и ИГЭ 30а), по которым частично проходит поверхность скольжения.

Действительно, по данным «АПБ «Архитекс» для ИГЭ 30 значения расчетных параметров прочности  $\varphi=18^\circ$ ,  $C=30$  кПа (по нашей уточненной статобработке даже  $C=40$  кПа)<sup>\*1</sup>, а по рекомендациям «Гипроречтранса» -  $\varphi=6^\circ$ ,  $C=50$  кПа<sup>\*2</sup>.

При этом «Архитекс» справедливо отмечает, что разуплотнение юрских глин за счет снятия части бытового давления (а это, судя по рельефу местности, действительно произошло не так давно по историческим меркам) не исключает *«изменение их физико-механических характеристик, что может привести к снижению устойчивости склона»*. Кроме того, учитывая то, что юрские глины обладают реологическими свойствами, *«при проведении долговременного прогноза устойчивости рекомендуется использовать... значение угла остаточной прочности ...  $\varphi=10^\circ$  при д.в. 0.95»*<sup>\*3</sup>.

С учетом последней рекомендации результаты расчета устойчивости с характеристиками грунта по «Архитекс» оказываются примерно теми же, что и при расчетах, выполненных ранее «Гипроречтрансом» по данным его изысканий.<sup>\*4</sup>

Исходя из изложенного выше, можно утверждать, что практика испытания грунтов и выбор расчетных параметров их прочности, принятые в «Гипроречтрансе», не приводят к необоснованно заниженным результатам расчетов устойчивости. Даже, если следовать



некоторым авторитетным источникам, их можно считать и несколько завышенными. Но мы полагаем, что они оптимально осторожные или, по К.Терцаги, разумно компромиссные *«между требованиями экономии и безопасности»*. И при этом соответствуют применяемым методам расчета устойчивости.

11. Как это не покажется схоластичным, исходные данные и, следовательно, результаты расчетов зависят от того, что мы рассчитываем: устойчивость здания определенной конструкции, расположенном вблизи склона («Гипроречтранс») или устойчивость склона с учетом нагрузки от здания («Фундаментпроект», НИИОСП).

В первом случае помимо нагрузки от здания на основание необходимо учитывать размеры, прочность и деформативность здания, скорость его возведения, последствия проявления значительных деформаций основания, предшествующих его разрушению. Необходимо также учитывать возможность техногенного обводнения основания вследствие утечек из инженерных сетей, баражного эффекта и пр. Не все эти параметры нам достоверно известны или могут быть непосредственно введены в расчет. Можно косвенно учесть влияние порового давления в водонасыщенной глине вследствие более высокой скорости приложения к ней нагрузки, чем скорость консолидации, путем применения соответствующей методики испытания образцов (напр., недренированно-неконсолидированный сдвиг или испытание на сжатие в условиях одноосного напряженного состояния). Можно снизить до приемлемых пластические деформации основания вследствие дополнительной нагрузки от здания, столь характерные как раз для юрских глин, введением в расчет параметров длительной прочности глинистых грунтов. Можно учесть высокую прочность и жесткость здания башенного типа, исключив возможность пересечения фундамента расчетной поверхностью скольжения. Можно расчетом определить размеры зоны пластических деформаций грунта основания под фундаментом и сопоставить их с допустимыми. Последнее особенно важно, учитывая, что не существует надежных способов расчета деформаций основания зданий, расположенных вблизи склонов. Здание, устойчивое по расчету, может получить недопустимый крен и дополнительные, даже разрушающие, усилия в элементах конструкции [12].

Следовательно, то, что хорошо для откоса или склона, например, в парковой зоне или для борта карьера, а также для строительной площадки, удаленной от склона, может оказаться плохим для здания вблизи склона.

12. В заключение еще раз отметим, что в настоящее время при наличии программ, решающих вариационную задачу, достоверность оценки оползневой опасности в значительной степени зависит от точности получения исходных данных о прочности грунтов, прежде всего глинистых.

Мы считаем, что необходимо реанимировать упомянутый выше не выпущенный нормативный документ, регламентирующий требования к расчетам устойчивости грунтовых массивов и к технике получения прочностных характеристик глинистых грунтов. Вместе с тем, учитывая сказанное выше, желательно в ближайшее время усовершенствовать программное обеспечение расчетов в направлении: 1) учета более чем одного горизонта подземных вод; 2) введения в проектную практику возможности учета зависимости прочностных параметров грунтов от вертикальной нагрузки.



## Литература

1. В.Э.Даревский, А.М.Романов. Сократить ущерб от оползней - посильная задача. / "Муниципалитет" 1-2.2002, спецвыпуск "Экология городов" №13-14, с. 54-55.
2. СНиП 2.02.02-85. Основания гидротехнических сооружений.
3. Руководство по количественной оценке с помощью ЭВМ общей устойчивости оползнеопасных склонов (окончательная редакция)/ АО Гипроречтранс, 1995 г.
4. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений.
5. СНиП 22-02-2003. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования.
6. СП-11-105-97. Инженерные изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов.
7. Проектирование причальных набережных. Пособие к СН-РФ 54.1-85/Гипроречтранс, М. 1991, книги 1-7.
8. Романов А.М. Даревский В.Э. Количественная оценка оползневой опасности в проектной практике. "Основания, фундаменты и механика грунтов", 1994, №5, с.9-12.
9. Романов А.М., Даревский В.Э. Программа RUST- эффективное средство выполнения расчетов устойчивости грунтовых массивов при проектировании набережных и инженерной защиты территорий. "Основания, фундаменты и механика грунтов", 1998, № 1.
10. Г.М.Шахунянц. Железнодорожный путь. М.: "Транспорт", 1969, 536 с.
11. М.Н.Гольдштейн, А.А.Царьков, И.И.Черкасов. Механика грунтов, основания и фундаменты. М.: "Транспорт", 1981, 320 с.
12. Yao Baokui, Sun Yuke. Evaluation on stability of slope and buildings on the slopes. "Proc. Int. Symp.Eng. Complex Rock Form., Beijing, – 7 Nov., 1986". Beijing, 1986, 592-599.
13. ГОСТ 12248-96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.
14. Е.Г.Чаповский. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. М.: Изд. «Недра», 1966, 304 с.
15. Б.К.Хоу. Основы инженерного грунтоведения. – М.: Стройиздат, 1966. – 460 с
16. Справочник по инженерной геологии.. М.: «Недра», 1968, 540 с.
17. Н.Н.Маслов, Э.М.Добров, Г.С.Канаян, В.И.Руденко. К вопросу об оценке устойчивости глинистых грунтов в основании сооружений в начальном периоде их работы. Труды к VII конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению. М.: Изд. лит. по строит., 1969.
18. М.Н.Гольдштейн. Механические свойства грунтов (напряженно-деформативные и прочностные характеристики) М.: Стройиздат, 1979.- 304 с.
19. Г.Л.Фисенко. Исследование пластических свойств грунтов при изучении оползней. В кн. «Оползни и борьба с ними». Ставрополь, кн. Изд., 1964, с.66-71.
20. Г.П.Чеботарев. Механика грунтов. Основания и земляные сооружения. М.: Стройиздат, 1968. –380 с.
21. Н.А.Цытович. Механика грунтов. М.: Госстройиздат, 1963, 636 с.
22. К.Терцаги и Р. Пек. Механика грунтов в инженерной практике. М.: Госстройиздат, 1958, 602 с.
23. Рекомендации по количественной оценке устойчивости оползневых склонов. / ПНИИС. – М.: Стройиздат, 1984. – 80 с.



## Примечания:

\*1 «Архитекс» проводил сдвиговые испытания грунтов по схеме медленного консолидированного среза с предварительным водонасыщением при нормальных давлениях 100, 300 и 500 кПа, предполагая, что глина находится в стабилизированном состоянии, т.к. её естественная влажность (38%) почти равна влажности на границе раскатывания (35,6%), а показатель консистенции  $V \ll 0.25$  (глина полутвердая), причем консолидация грунта завершится в процессе строительства. Известно, что для оценки оползневой опасности испытания в соответствии с указаниями раздела 5.1 ГОСТ12248-96[13] могут дать неверные параметры прочности и для твердых глин в стабилизированном состоянии, т.к. не учитывают, что прочность одной и той же глины может существенно различаться при разных обжимающих нагрузках. Результаты испытаний фактически характеризуют сопротивление сдвигу различных по плотности образцов и тем самым существенно завышают расчетное значение угла внутреннего трения. В подобных случаях используют вдвое более трудоемкий метод определения трения и сцепления, предложенный Ф.П.Саваренским[14], при котором из двух образцов, уплотненных под одинаковым давлением, один сдвигается под нагрузкой, равной уплотняющей, а другой - без нагрузки. Предполагается, что первый срез преодолевает трение и сцепление, а второй – только сцепление, причем сцепление для каждого вертикального давления оказывается иным, а значение угла внутреннего трения будет значительно меньшим, чем в испытаниях «АПБ «Архитекс».

Б.К.Хоу [15] предлагает проводить опыты с образцами, предварительно уплотненными постоянной нагрузкой (для этого требуется срезать в 3 раза больше образцов, чем при стандартных испытаниях), что и делает «Гипроречтранс» в особо ответственных случаях.

\*2 «Гипроречтранс» проводил испытания по схеме быстрого среза неконсолидированных водонасыщенных образцов, полагая, что тем самым будет снят вопрос учета порового давления в расчетах устойчивости и ряда других факторов снижающих устойчивость сооружения (см. ниже). Это отвечает рекомендациям справочника по инженерной геологии [16]: *«Сдвиг по схеме 1 [неконсолидированный] проводится без предварительного уплотнения образцов породы, с сохранением ее естественной влажности и плотности в ходе сдвига. В природных условиях это соответствует работе породы под воздействием собственного веса (в карьерах, откосах насыпей, на оползневых склонах) или переуплотненной породы, на которой не сказывается применение внешней нагрузки».*

\*3 Техника испытания грунтов методом одноплоскостного прямого среза в обеих организациях соответствовала требованиям ГОСТ 12248-96[13].

Однако мы категорически не согласны с применением указанного метода испытаний в рассматриваемом случае. При этом мы не вступаем в противоречие с ГОСТ 12248-96[13], который, регламентируя некоторые методы лабораторного определения прочности и деформируемости грунтов, в том числе и указанный выше, не считает их догмой, не связывает с поставленной задачей расчета основания, а позволяет применять и другие методы испытаний, обеспечивающие моделирование процесса нагружения грунта. Это соответствует и требованию СП 11-105-97, ч. П, п. 4.4.7[6], рекомендующего применять сочетание различных методов определения сопротивления грунтов сдвигу в зависимости от состояния грунтов, вида их напряженного состояния и характера деформаций.

Специалистам очевидна *«невозможность получения абсолютно достоверных значений расчетных механических характеристик» грунтов»* [17]. С одной стороны,



известно, что прочность глин, обладающих реологическими свойствами, может снижаться со временем, главным образом за счет снижения сцепления, до 2 и более раз. С другой стороны, *«полная сопротивляемость глинистого грунта сдвигу, эквивалентная приложенной нагрузке, может потребовать для своего проявления нередко многих лет или даже вообще не будет достигнута»* [18].

В [18], в частности, показано, что *«для различных участков поверхности скольжения следует применять различные испытания, учитывающие особенности траектории напряженного состояния и анизотропию свойств грунта»*, что никто не делает ввиду большой трудоемкости. Кроме того, *«в ходе деформирования грунта основания или тела земляного сооружения происходит постепенное развитие областей, в которых сопротивление сдвигу падает до установившегося значения  $s_u$ , что и определяет процесс прогрессирующего разрушения»*. Т.е. *«пиковая прочность»*, которую обычно определяют в лабораториях, *«не определяет устойчивости оснований»*, *«среднее сопротивление сдвигу по поверхности скольжения в момент перемещения будет меньше пикового»*. И, как итог, рекомендуемые способы определения расчетных механических характеристик грунтов при определении несущей способности оснований, устойчивости откосов: консолидированно-недренированный или ускоренный срез в стабиллометрах, неконсолидированно-недренированный или быстрый срез в стабиллометрах, **консолидированно-недренированный** или **ускоренный срез в срезном приборе**. Последнее предполагает учет в расчетах устойчивости порового давления, снижающий сопротивление сдвигу, что в изложенном выше и аналогичных методах не учитывается по причине его неопределенности.

Г.Л.Фисенко в работе [19] пишет: *«для целей оценки устойчивости горных пород в откосах необходимо проводить испытания на срез по схеме быстрого среза с разгрузкой (для установления пределов напряжений, вызывающих пластические деформации)... Такие же испытания необходимо производить... и при быстром возведении наземных сооружений, когда стабилизация грунта не успевает за ростом нагрузок»*.

Г.П.Чеботаревым [20] на основе американского и западно-европейского опыта в качестве рекомендуемых методов определения сопротивления сдвигу водонасыщенных глин предлагаются: *«испытания на сжатие в условиях одноосного напряженного состояния ... на месте бурения немедленно после извлечения образца из толщи»*. *«Испытания на сдвиг по одной плоскости проводятся в основном только для исследований специального назначения»*. Далее он пишет: *«Иногда проявляется тенденция ... любой материал с  $\varphi < 20^\circ$ , полученным при том же методе испытаний (быстрый сдвиг в условиях консолидации), относить к глинам и доверять только его сцеплению»*. Но автор этого не одобряет.

Но такую же осторожную позицию занимают, например, японские строительные нормы: сопротивление сдвигу связных грунтов приравнивают только кажущемуся сцеплению, полученному по результатам неконсолидированно-недренированного сдвига, или половине временного сопротивления на сжатие при испытаниях на простое сжатие ( $\tau = q/2$ ).

Но аналогичного мнения придерживается и Н.А.Цытович [21]: *«Для глинистых грунтов можно считать твердо установленным, что расчеты оснований на прочность и массивов грунта на устойчивость, о чем подробно было освещено на специальной конференции по сопротивлению сдвигу глинистых грунтов, должны производиться по полным напряжениям лишь тогда, когда сопротивление сдвигу определяется для недренированного состояния, или по эффективным напряжениям, что практически приводит к тем же результатам, если известна величина порового давления»*. Используемый в «Гипроречтранс» метод расчета устойчивости и, насколько нам известно, и аналогичные методы расчета других перечисленных выше организаций не учитывают поровое давление. И далее: *«Результаты недренированных испытаний (по закрытой системе) используются также при расчете оползневых склонов на*



*устойчивость... При расчете устойчивости глинистых пластов и склонов сопротивление сдвигу по поверхностям скольжения также может приближенно оцениваться по данным осевого сжатия ( $\tau \cong q/2$ )...».*

Такого же мнения придерживаются К.Терцаги и Р.Пек [22]. Кроме того, они считают, что твердая глина является особо ненадежным грунтом, т.к. она почти всегда ослабляется сетью волосных трещин, делящих ее на куски разных размеров. Если куски имеют размеры «2-3 см или меньше, то откос может потерять устойчивость в процессе строительства или через небольшой промежуток времени после его окончания». При больших размерах кусков «разрушение произойдет через много лет...». Особенно опасными они считают глины, содержащие слои и карманы водоносного песка или пыли, что мы имеем и в нашем случае. Такие грунты способны к внезапному расползанию, причем «пологий глинистый откос, который мог быть устойчивым в течение десятилетий или столетий, внезапно начинает двигаться широким фронтом», что связано с увеличением порового давления «в период исключительно влажных лет или во время таяния исключительно толстого снежного покрова».

В расчетах устойчивости рассматриваемого склона в 2004 г. институтом «Фундаментпроект» был «учтен эффект снижения угла внутреннего трения грунта в зоне напряженно-деформированных оснований возводимого административного общественного центра в юрских глинах до  $0^\circ$  вследствие возможного повышения в них порового давления от нагрузки». Однако в 2005 г. он от этого отказался (правда, при другом исполнителе).

Так что «Гипроречтранс», когда проводил испытания по схеме быстрого среза неконсолидированных водонасыщенных образцов, полагая, что тем самым будет в какой то степени снят вопрос учета порового давления в расчетах устойчивости и ряда других факторов снижающих устойчивость сооружения, не нарушил ни букву, ни дух ГОСТ [13], но был немного более смел, чем «Фундаментпроект» в 2004 г., и, учитывая, что массив грунта находится по расчету в состоянии, близком к предельному равновесию, более осторожен, чем «Фундаментпроект» в 2005 г.

По нашей оценке (по Ф.П. Саваренскому) при бытовом давлении 100 - 300 - 500 кПа и  $\varphi=6^\circ$ , расчетное удельное сцепление глины ИГЭ 30 может быть соответственно порядка 40 - 80 - 120 кПа, но при этом следует учесть предостережение Рекомендаций ПНИИС [20] (п.4.24): «лабораторные испытания в большинстве случаев дают завышенные значения этого показателя» (а по [23] – до 2 и более раз). И даже еще более жестко: «Расчетные величины сцепления, полученные срезом образцов (целиков) грунта ненарушенной структуры ... следует включать в расчеты устойчивости только для нижней половины линии скольжения, а для верхней половины этой линии расчетная величина сцепления принимается равной нулю. Таким образом, учитывается частичное нарушение структурных связей в массиве пород в начальной стадии формирования срезающих оползней сдвига».

\*<sup>4</sup> Используя имеющейся у нас экспериментальный вариант программы "RUST-51wэ", позволяющий учитывать зависимость прочностных характеристик грунтов от бытового давления, был выполнен расчет (не имеющий юридической силы) с приведенными выше гипотетическими данными для глины ИГЭ 30, а также с увеличенным для глины ИГЭ 30а сцеплением: при вертикальном давлении 100 – 300 – 500 кПа удельное сцепление принято соответственно равным 30 – 60 – 90 кПа. Расчет показал, что наихудшая поверхность скольжения оказалась близкой к показанной на рис. 1, коэффициент устойчивости ближе к 1, но все равно существенно меньше 1.



Расчет по программе RUST-51w. Файл 0001

АОЦ МО на берегу р. Москвы

Разрез 3 - 3. Строительный случай

Р Г Э	γ кН/м <sup>3</sup>	φ град.	c кПа
[ 1 ]	Фундамент здания	25.00	30 1000.00
[ 2 ]	Насыпь	19.00	28 0.00
[ 3 ]	Насыпь ниже УВ	10.00	28 0.00
[ 4 ]	ИГЭ3. Глина	18.10	10 12.00
[ 5 ]	ИГЭ5.Сыгл./пласт.	10.00	14 15.00
[ 6 ]	ИГЭ7. Песок пылеват.	10.00	25 1.00
[ 7 ]	ИГЭ10.Песок крупный	10.00	28 0.00
[ 8 ]	ИГЭ3а.Глина тек./пл.	10.00	7 8.00
[ 9 ]	ИГЭ8.Песок мелкий	10.00	26 0.00
[10 ]	ИГЭ16.Песок средний	19.70	33 1.00
[11 ]	ИГЭ15а.Песок мелкий	19.40	25 0.00
[12 ]	ИГЭ15. Песок ниже УВ	10.00	28 0.00
[13 ]	ИГЭ21а.Сыгл.ниже УВ	10.50	19 40.00
[14 ]	ИГЭ25.Песок ниже УВ	10.00	27 0.00
[15 ]	ИГЭ26.Песок ниже УВ	10.00	33 0.00
[16 ]	ИГЭ25.Песок ниже УВ	10.00	31 2.00
[17 ]	ИГЭ17.Песок мелкий	20.00	29 1.00
[18 ]	ИГЭ17.Песок мелкий	20.60	32 3.00
[19 ]	ИГЭ20.Песок ниже УВ	10.50	35 0.00
[20 ]	ИГЭ23.Сыпесь ниже УВ	10.00	22 11.00
[21 ]	ИГЭ25.Песок ниже УВ	10.00	31 2.00
[22 ]	ИГЭ2.Сыгл.ниже УВ	10.00	17 14.00
[23 ]	ИГЭ24.Песок ниже УВ	10.00	29 4.00
[24 ]	ИГЭ26.Песок средний	10.00	30 0.00
[25 ]	ИГЭ22.Сыглинок т./пл.	10.00	17 14.00
[26 ]	ИГЭ26.Песок средний	10.00	33 0.00
[27 ]	Водоупор (ИГЭ 30а)	400.00	6 30.00
[28 ]	ИГЭ30.Глина красная	18.20	6 50.00
[29 ]	ИГЭ33.Известняк	22.00	20 100.00

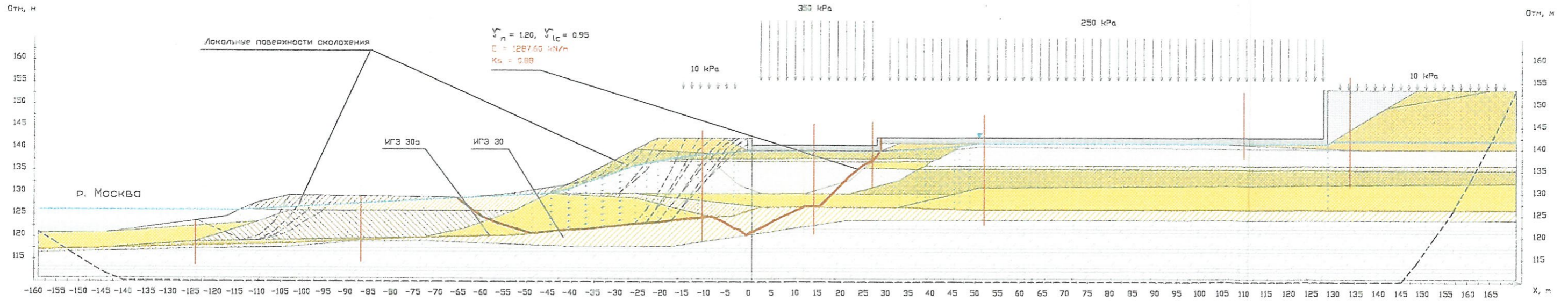


Рис. 1. К расчету устойчивости части здания при постоянных характеристиках ИГЭ 30 и ИГЭ 30а