

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ДАВЛЕНИЯ НА ПОДПОРНЫЕ СТЕНЫ

Малинин П.А., Чернопазов С.А., Воробьев А.В.
ЗАО «ИнжПроектСтрой»

Расчет подпорных стен является одной из самых известных и, естественно, наиболее изученных проблем механики грунтов. Так, например, наиболее известные теории принадлежат Кулону (1773) и Ренкину (1875).

Тем не менее, при более детальном изучении состояния вопроса оказалось, что огромное количество теоретических и эмпирических формул, являющихся результатом исследований различных авторов не только не облегчают, а, наоборот, затрудняют проведение конкретных расчетов, т.к. приводят к дополнительной задаче - необходимости выбора той или иной теории.

Данная задача предстала и перед специалистами предприятия «ИнжПроектСтрой», которые в настоящее время продолжают совершенствовать уже завоевавшую популярность программу GeoWall, предназначенную для расчета ограждений котлованов и подпорных стен.

В настоящей статье приводится анализ сопоставления результатов расчета давления грунта, определенного по формулам действующего СНиП 2.06.07-87 «Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения» [1], а также по формулам, приведенным в монографиях Г.К.Клейна [3,4], которые получили признание у специалистов, занимающихся вопросами расчета подпорных стен.

Действующий СНиП регламентирует рассчитывать коэффициенты бокового отпора, определяющие активное и пассивное давление на подпорное сооружение, по следующим формулам ([1], Приложение 9):

$$I_{ahj} = \left[\frac{\cos(j - e)}{\cos(e) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(j + j_s) \cdot \sin(j)}{\cos(e + j_s - r) \cdot \cos(e - r)}} \right)} \right]^2 \quad (1)$$

$$I_{ahc} = \left[\frac{\cos(j - e + r)}{\cos(e) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(j + j_s) \cdot \sin(j)}{\cos(e + j_s - r) \cdot \cos(e - r)}} \right)} \right]^2 \cdot \frac{\cos(e) \cos(e + j_s)}{\cos(e - r) \cdot \cos(e + j_s - r)} \quad (2)$$

$$I_{phj} = \left[\frac{\cos(j - e)}{\cos(e) \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{\sin(j + j_s) \cdot \sin(j + r)}{\cos(e + j_s) \cdot \cos(e - r)}} \right)} \right]^2 \quad (3)$$

$$I_{phc} = I_{phj} + tg(e) \cdot tg(j_s) \quad (4)$$

где j - угол внутреннего трения грунта;

j_s - угол трения грунта по расчётной плоскости;

e - угол наклона тыловой поверхности стены;

r - угол наклона поверхности грунта к горизонту.

Между тем, в монографиях [2,3] аналогичные формулы имеют иной вид:

$$K_a = \frac{\cos^2(f - l)}{\cos^2(l) \cdot \cos(y + l) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(f + y) \cdot \sin(f - a)}{\cos(y + l) \cdot \cos(a - l)}} \right]^2} \quad (5)$$

$$K_p = \frac{\cos^2(f + l)}{\cos^2(l) \cdot \cos(y - l) \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(f + y) \cdot \sin(f + a)}{\cos(y - l) \cdot \cos(a - l)}} \right]^2} \quad (6)$$

где f - угол внутреннего трения грунта;

y - угол трения грунта по расчётной плоскости;

l - угол наклона тыловой грани стены;

a - угол наклона поверхности грунта к горизонту;

Сопоставление показывает, что формулы отличаются на величину коэффициента $\cos(y + l)$, присутствующего в знаменателе формул (5)-(6).

Для оценки влияния наличия данного коэффициента на определение давления на подпорные стены, решена статически определимая задача о расчете внутренних усилий системы «анкер-стена-грунт» по методу, описанному в [4].

При решении задачи были использованы следующие допущения:

- угол наклона поверхности грунта к горизонту равен нулю;
- угол наклона тыловой грани стены к вертикали равен нулю.

На рисунках 1-4 приведено сравнение результатов расчета.

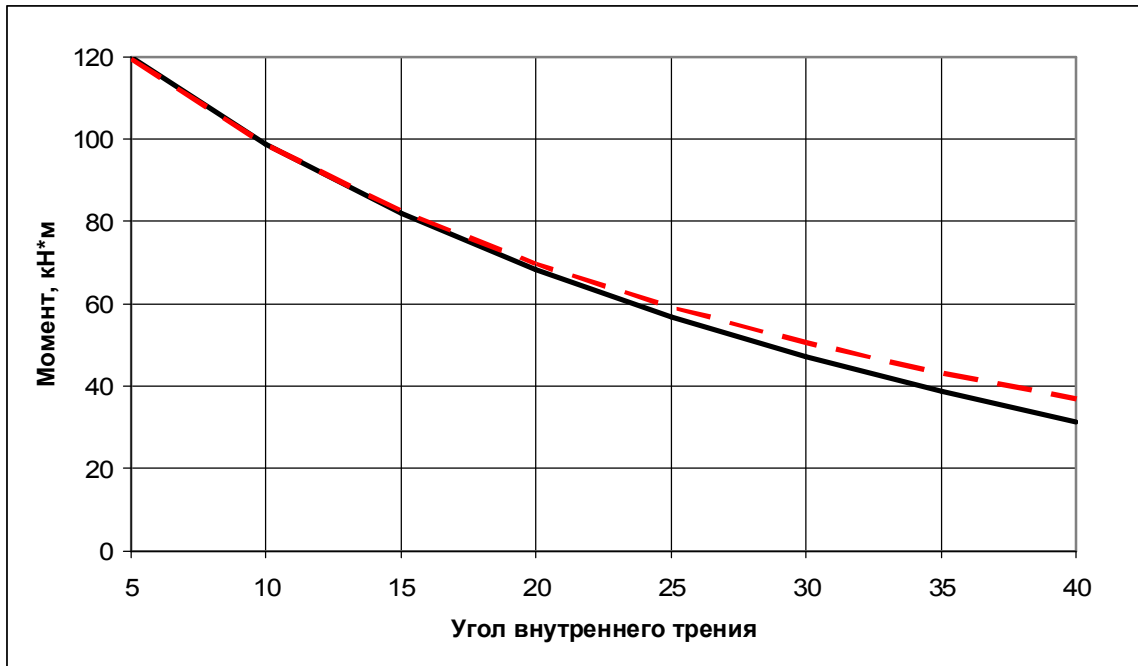


Рис. 1. Сопоставление значений максимального изгибающего момента. Сплошной линией показан график, полученный с использованием формул (1)-(4). Пунктирной линией – по формулам (5)-(6).

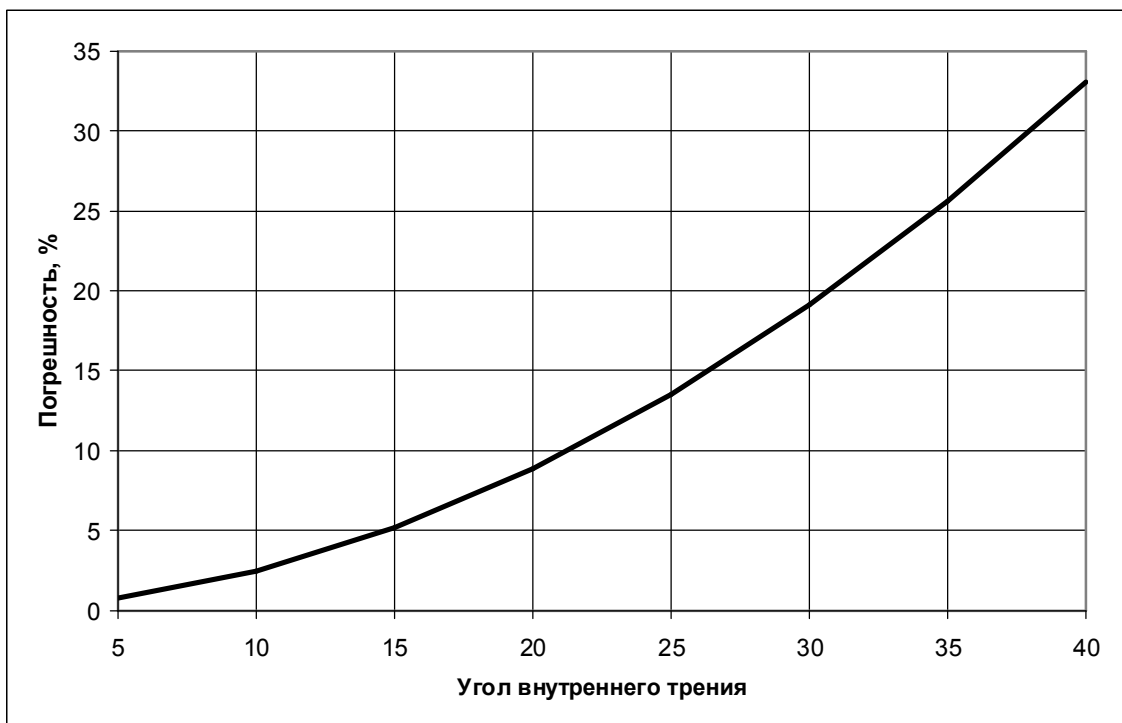


Рис. 2. Расхождение значений в процентах.

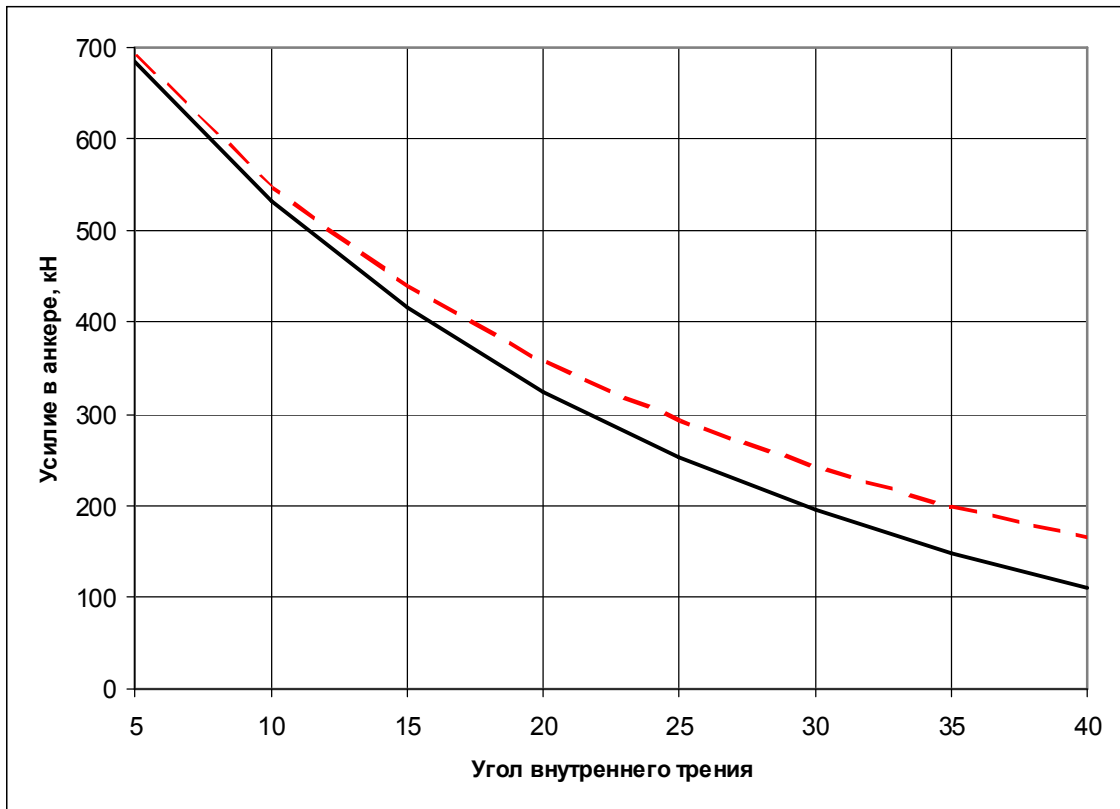


Рис. 3. Сопоставление значений растягивающего усилия в анкере. Сплошной линией показан график, полученный с использованием формул (1)-(4). Пунктирной линией – по формулам (5)-(6).

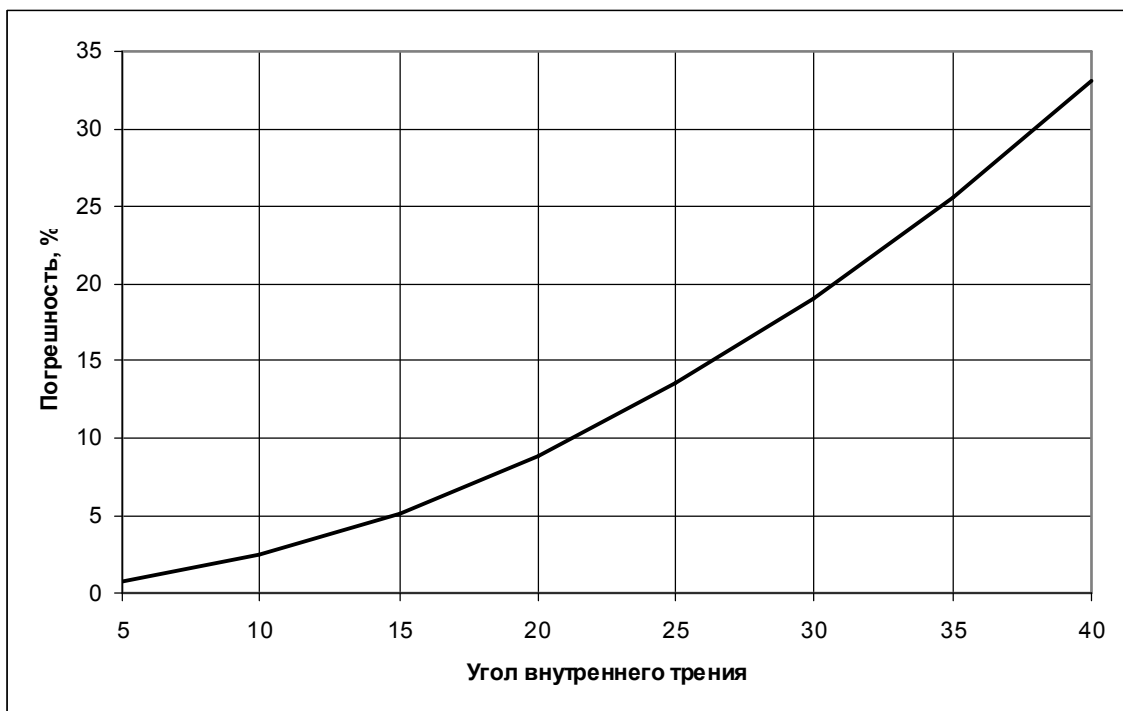


Рис. 4. Расхождение значений растягивающего усилия в анкерной конструкции в процентах.

Таким образом, незначительное, на первый взгляд, различие в формулах (1)-(4) и (5)-(6), приводит к значительной разнице результатов расчета давления на подпорную конструкцию, и следовательно растягивающего усилия в анкере.

Так, например, в глинистых грунтах различие составляет 10-20%, а в песчаных и сильно разрушенных скальных грунтах, обладающих более высоким углом внутреннего трения, различие в расчетах достигает достаточно большой величины - 35%.

К сожалению, невозможно ответить на вопрос, какая из формул более точно отвечает реальному механизму деформирования грунтового массива и воздействию на подпорное сооружение, т.к. действующий СНиП не содержит вывода формул, а также результатов их экспериментального подтверждения.

Напротив, в монографиях Г.К.Клейна приводится не только подробный вывод, но и описание многочисленных экспериментальных исследований, на основе которых можно судить об адекватности модельных построений.

В этой ситуации каждый расчетчик должен самостоятельно сделать для себя вывод о применении формул, рекомендованных действующим СНиП, или иных формул, дающих более высокие значения усилий, действующих в анкерах.

Список литературы:

1. СНиП 2.06.07-87 «Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения».
2. Michel Bakhoun «Structural Mechanics», 1992 г.
3. Г. К. Клейн. Строительная механика сыпучих тел. М., Стройиздат, 1977 г.
4. Г. К. Клейн. Расчет подпорных стен. Высшая школа, 1964 г.