

УДК 624.137.5

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДПОРНЫХ СТЕН С УЧЕТОМ АНИЗОТРОПИИ ГРУНТОВ

А.С. Василенко, Н.Н. Вишняков, А.П. Кремнев

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, Республика Беларусь
e-mail: 19pgs.vasilenko.a@pdu.by

В данной работе рассматривается вопрос влияния анизотропии грунтов на расчетные параметры подпорных конструкций. В ходе численного моделирования при помощи программы GeoWall 7 (разработчик МалининСофт) было установлено, что учет прочностной анизотропии грунтов позволяет существенно снизить расчетные значения максимальных изгибающих моментов и максимальных горизонтальных перемещений в конструкциях подпорных сооружений, что позволяет получить более рациональные решения подпорных стен, отвечающих требованиям надежности, долговечности и минимальной стоимости.

Ключевые слова: Подпорное сооружение, анизотропия, грунт, критическая призма, давление.

CALCULATION OF THE STABILITY OF RETAINING WALLS TAKING INTO ACCOUNT THE ANISOTROPY OF SOILS

A. Vasilenko, N. Vishniakov, A. Kremnev

Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Republic of Belarus
e-mail: 19pgs.vasilenko.a@pdu.by

In this paper, the issue of the influence of soil anisotropy on the design parameters of retaining structures is considered. In the course of numerical modeling using the GeoWall 7 program (developed by MalininSoft), it was found that taking into account the strength anisotropy of soils can significantly reduce the calculated values of maximum bending moments and maximum horizontal displacements in the structures of retaining structures, which allows for more rational solutions of retaining walls that meet the requirements of reliability, durability and minimal cost.

Keywords: Retaining structure, anisotropy, soil, critical prism, pressure.

Введение. Подпорные сооружения – это различного рода подземные конструкции, совмещенные с грунтовой средой, которые обеспечивают устойчивость сооружений при действии на них горизонтального давления грунта [1]. Одним из примеров таковых сооружений являются подпорные стенки, устраиваемые с целью укрепления грунтовых откосов от обрушения, ограждения котлованов, предотвращения эрозии береговой зоны рек, морей, озер, при устройстве насыпей дорог в стесненных условиях (по склонам гор, в черте города и т.п.), а также при строительстве зданий и сооружений вблизи откосов. Подпорные стенки испытывают значительное горизонтальное давление со стороны грунта, зачастую подвергаются динамическим и вибрационным воздействиям от подвижного транспорта, давлению морозного пучения грунта, действию фильтрационных сил.

Расчет и проектирование подпорных стен начинается с определения величины горизонтального давления грунта. Существует два вида давления на подпорное сооружение: активное и пассивное. Активное давление – это боковое давление со стороны грунта, находящегося в предельном напряженном состоянии, в направлении смещения конструкции. Пассив-

ное давление – это боковое давление со стороны грунта, находящегося в предельном напряженном состоянии, в направлении противоположном смещению конструкции [1].

Существуют различные методы расчета значений активного и пассивного давления на подпорные сооружения: по Сорочану; по СП.22.13330.2011; по Соколовскому; по Eurocode 7; с учетом сейсмического воздействия (по СП.14.13330.2011 и СП.14.13330.2014). Расчет и проектирования подпорных стен в РБ выполняют согласно ТКП 45-5.01-237-2011. В тоже время, ни один из указанных методов не учитывают прочностную анизотропию грунтов, что существенно снижает точность определения внутренних усилий в конструкциях подпорных стен и, как следствие, приводит к удорожанию принимаемых в проекте конструктивных решений. На наш взгляд, при расчете подпорных стен, устроенных грунтах с выраженной прочностной анизотропией, таких как озерно-ледниковые супесчаные, глинистые, а также торфянистые, мерзлые, солонцеватые анизотропию следует учитывать в обязательном порядке.

Анизотропия грунта – это неоднородность его свойств по разным направлениям. Многочисленные экспериментальные исследования показали, что большинство типов грунтов обладают фильтрационной, деформационной, прочностной анизотропией, проявляющейся изменением данных свойств, при изменении направления внешнего воздействия.

Значительный вклад в изучение свойств грунтов, обладающих анизотропными свойствами, внесли такие ученые Лехницкий С.Г., Бугров А.К., Осипов Ю.Б., Вайтекунене А.И., Соколов Б.А. и др. Ими исследовались анизотропия и природа возникновения ее возникновения [2].

Основная часть. Задача данных исследований заключалась в определении степени влияния прочностной анизотропии грунтов на величину максимального изгибающего момента в конструкциях подпорных стен и на величину их максимальных перемещений.

Расчеты производились в специальной программе GeoWall 7 программного комплекса Malininsoft, которая предназначена для расчета на прочность гибких подпорных стен и оценки устойчивости грунта в районе заглубленной части стены. Поскольку на такое сооружение как подпорная стенка действуют значительные горизонтальные нагрузки, то расчет производился по первой группе предельных состояний (расчет по несущей способности). При моделировании упругого изгиба стены используется метод конечных элементов. Для решения задачи выполняются различные расчеты, основными из которых являются:

1. Расчет оказываемого давления на ограждение (активного и пассивного).
2. Расчет ограждения котлована на прочность.
3. Расчет давления грунта в состоянии покоя.
4. Расчет упругопластической реакции грунта.
5. Расчет от давления воды.
6. Расчет устойчивости грунта в районе заглубленной части стены.

По окончании проведения расчетов производится решение методом конечных элементов задачи упругого изгиба стены под действием суммарного давления грунта и воды с двух сторон ограждения. На рисунке 1 представлена расчетная схема подпорной стенки в общем виде.

Программа GeoWall 7 может решать задачу упругого изгиба стены, рассчитывать ограждение котлована на прочность, определять продольные силы в анкерах, подбирать сечение распорок из труб, рассчитывать обвязочный пояс, получать эффективные характеристики сечений стены [3]. С целью исследования анизотропии прочностных свойств на результаты расчета подпорных стен нами были проведены численные исследования, в которых были заданы следующие параметры ограждения: глубина котлована – 6 м; длина ограждения – 10 м; глубина заделки – 4 м; тип ограждения – шпунт; тип шпунта – Ларсен Л5-УМ; материал – 235.

На рисунке 2 представлена используемая нами расчетная схема ограждения.

В качестве примера грунта рассматривали супесчаный грунт со следующими расчетными характеристиками, полученными без учета анизотропии, которые приведены в таблице 1.

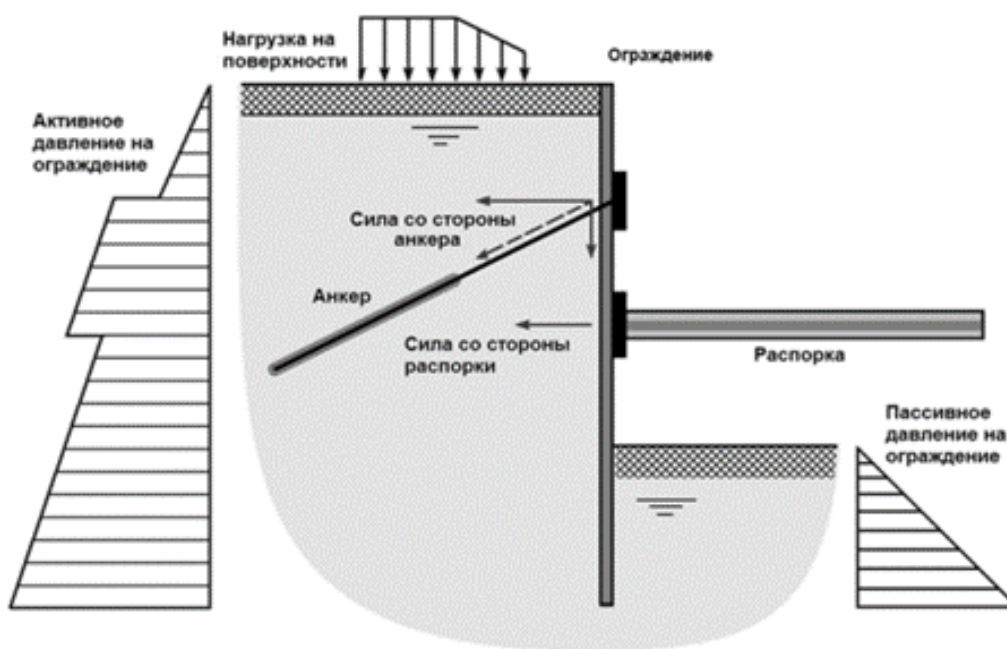


Рисунок 1. – Расчетная схема подпорной стенки в общем виде

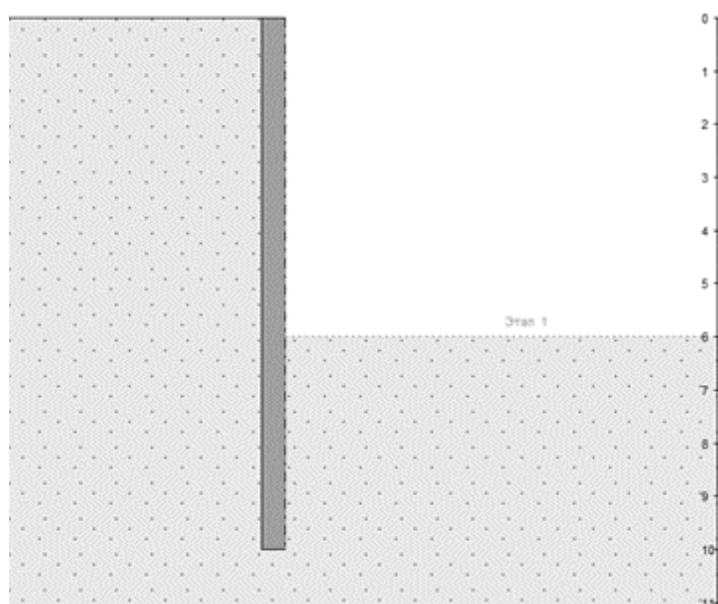
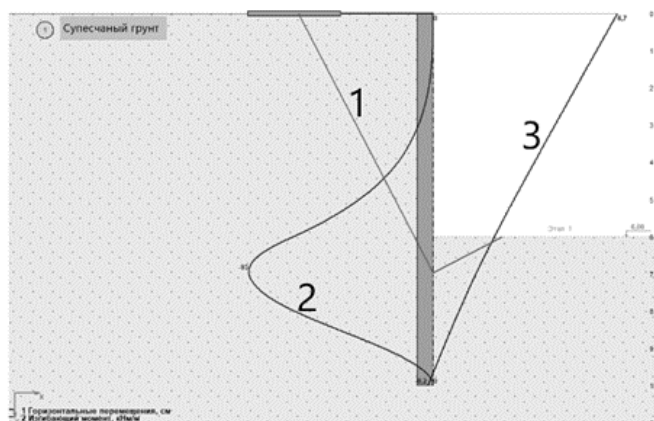


Рисунок 2. – Расчетная схема ограждения

Таблица 1.– Расчетные характеристики грунта

№	Грунт	h, м	$\gamma, \text{кН/м}^3$	$\gamma_{\text{sat}}, \text{кН/м}^3$	c, кПа	$\phi, ^\circ$	$k_s, \text{кН/м}^3$	v
1	Супесчаный	15	19,3	10,7	10	35	4000	0,3
2	Супесчаный	15	19,3	10,7	25	20	4000	0,3
3	Супесчаный	15	19,3	10,7	15	25	4000	0,3

Данные характеристики грунта, соответствуют условиям испытания его в сдвиговом приборе, то есть по плоскости сдвига параллельной горизонтальной поверхности основания. На рисунке 3 в приведена схема, полученная нами в результате расчета, на которой представлена критическая призма и эпюры, отражающие горизонтальное перемещение и изгибающий момент, для супесчаного грунта из первой строки таблицы 1.



1 – критическая призма, 2 – эпюра максимального изгибающего момента,
3 – эпюра максимального горизонтального перемещения

Рисунок 3. – Эпюры изгибающего момента и горизонтального перемещения для супесчаного грунта №1

Аналогичные данные и очертания эпюр получены после расчета с характеристиками супесчаных грунтов №2, №3. Результаты расчета приведены в таблице 2.

Таблица 2.– Результаты расчета

№	Грунт	Максимальный изгибающий момент М, кНм	Максимальное горизонтальное перемещение s_g , см
1	Супесчаный	93	6,7
2	Супесчаный	75	5,3
3	Супесчаный	110	10,6

Согласно полученным данным (см. рисунок 3), получаемая критическая призма имеет угол наклона к горизонту в пределах $50^\circ - 70^\circ$, а испытание грунтов в реальных условиях производится в горизонтальной плоскости с углом наклона равным 0° . Таким образом, в принятой методике расчета в закладываемые характеристики грунтов, не соответствующие реальной работе грунта в процессе его сдвига. Для того чтобы получить данные, соответствующие реальной работе необходимо учитывать ориентацию поверхности сдвига, к плоскости анизотропии.

Изменение прочностных свойств грунта в зависимости от ориентации поверхности сдвига к плоскости анизотропии учитывается по следующим зависимостям[4]:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \phi_{\alpha} &= \operatorname{tg} \phi_1 + (\operatorname{tg} \phi_2 - \operatorname{tg} \phi_1) \sin^2 \alpha \\ c_{\alpha} &= c_1 + (c_2 - c_1) \sin^2 \alpha \end{aligned}$$

где α – угол наклона площадки сдвига к плоскости слоистости;

$\operatorname{tg} \phi_1, c_1$ – характеристики прочности при сдвиге по направлению слоистости (вдоль плоскости изотропии);

$\operatorname{tg} \phi_2, c_2$ – то же при сдвиге поперек слоистости (поперек плоскости изотропии).

После пересчета характеристик с учетом анизотропии получили следующие значения, приведенные в таблице 3.

Таблица 3.– Расчетные характеристики грунта с учетом анизотропии

№	Грунт	h, м	$\gamma, \text{кН/м}^3$	$\gamma_{\text{sat}}, \text{кН/м}^3$	c, кПа	$\phi, ^\circ$	$k_s, \text{кН/м}^3$	v
1	Супесчаный	15	19,3	10,7	20	45	4000	0,3
2	Супесчаный	15	19,3	10,7	50	30	4000	0,3
3	Супесчаный	15	19,3	10,7	30	35	4000	0,3

Данные характеристики соответствуют условиям реальной работы грунта, при их расчете используется угол наклона критической призмы.

В ходе расчета подпорной стенки с учетом прочностных характеристик, указанных в таблице 3 получены одинаковые значения максимального изгибающего момента и горизонтальных перемещений для всех трех случаев: $M=70\text{кНм}$ $s_g = 3.9$ см. Это свидетельствует о том, что при заданных значениях прочностных характеристик грунта подпорная стенка фактически жестко заземлена в основании котлована, а глубина критической призмы практически равно нулю.

Сравнительный анализ полученных данных свидетельствует, что в первом случае при увеличении угла внутреннего трения на 10° и удельного сцепления в два раза максимальный изгибающий момент уменьшился на 25%, а максимальное горизонтальное перемещение уменьшилось на 42%. Во втором и третьем случаях при аналогичном с первым случаем изменении расчетных характеристик грунта уменьшение максимального момента составило 7% и 36% соответственно, а уменьшение максимального горизонтального перемещения составило 27% и 63% соответственно.

Заключение. В результате выполненных расчетов при помощи программы GeoWall 7 было установлено, что учет прочностной анизотропии грунтов позволяет существенно снизить расчетные значения максимальных изгибающих моментов и максимальных горизонтальных перемещений в конструкциях подпорных сооружений, что позволяет получить более рациональные решения подпорных стен, отвечающих требованиям надежности, долговечности и минимальной стоимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. ЛЕКЦИЯ 11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА НА ПОДПОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://studfile.net/preview/3977779/>. — Дата доступа: 15.04.2022
2. Баданин, А.Н. Анизотропные фундаменты мелкого заложения / А. Н. Баданин, Ю. К. Демченко – Россия, Санкт-Петербург : ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2014. – 18 с
3. Руководство пользователя GeoWall 7.2.0 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [GeoWall Help.pdf](#) — Дата доступа: 15.04.2022
4. Иванов, П.Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений / П.Л. Иванов – М.: Высш. шк., 1991. – 447 с.