

УДК 624.137.5

РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ УГОЛКОВОГО ТИПА С УЧЕТОМ И БЕЗ УЧЕТА АНИЗОТРОПИИ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА

A.C. ВАСИЛЕНКО*(Представлено: канд. техн. наук, доц. А.П. Кремнев)*

В данной работе рассматривается расчет железобетонной подпорной стенки уголкового типа с учетом и без учета анизотропии глинистого грунта включающий анализ ее устойчивости и деформативных характеристик.

Введение. Ленточная глина озёрно-ледникового происхождения в Республике Беларусь – важный элемент четвертичных отложений, связанный с деятельностью последнего оледенения (Поозерское, аналог Валдайского) около 12-15 тыс. лет назад. Данный тип грунта распространен в северных и северо-западных районах Беларуси, где активно формировались приледниковые озёра, к таким районам относятся: Поозерье (Браславские, Нарочанские озёра), Гродненская и Витебская области. В составе ленточной глины озёрно-ледникового происхождения в Республике Беларусь преобладают глинистые минералы (каолинит, иллит), включения органики (остатки диатомей, пыльца). Удельное сцепление (c), угол внутреннего трения (ϕ), модуль упругости (E) ленточных глин озёрно-ледникового происхождения, зависит от состава, влажности, плотности и структуры грунта. Для ленточных глин Беларуси характерны низкие прочностные показатели из-за высокой пластичности, водонасыщенности и тонкозернистой структуры.

Анизотропия прочностных свойств глин севера Беларуси исследовалась в работах Вишнякова Н. Н. [1]. Им были описаны результаты экспериментальных исследований при трехосных испытаниях и одноосном сжатии. Испытания проводились под разными углами к плоскости слоистости грунта и показали значительные различия в значениях прочностных характеристик грунтов.

Цель данной работы заключалась в анализе результатов расчета железобетонной подпорной стенки уголкового типа с учетом и без учета анизотропии глинистого грунта.

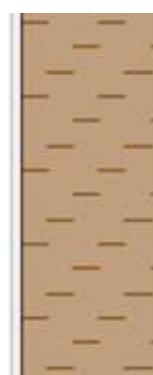
Ход работы. Нами был проведен подробный расчет железобетонной подпорной стенки углового типа, при помощи программного комплекса GEO 5, включающий анализ ее устойчивости и деформативных характеристик. Характеристики материалов подпорной стенки представлены на рисунке 1.

Удельный вес стены: $\gamma = 23,00 \text{ [кН/м}^3]$	
Бетон	Арматура продольная
Каталог	Пользователь
C25/30 (пользовательский)	S500 (пользовательский)
$R_b = 17,00 \text{ МПа}$	$R_s = 435,00 \text{ МПа}$
$R_{bt} = 1,15 \text{ МПа}$	

Рисунок 1. – Характеристики материалов подпорной стенки

Рассматривались два варианта расчета: один с учетом анизотропных свойств глинистого грунта, при котором учитывалась направленная структура и различие механических характеристик грунта в различных направлениях, а другой — без учета анизотропных свойств глинистого грунта, при котором предполагалась однородность свойств грунта во всех направлениях. Характеристики глинистого грунта озерно-ледникового происхождения, полученные нами при условии учета анизотропии представлены на рисунке 2.

Глина низкой/ средней пластичности (CL, CI), консистенция	
полутвёрдая	
Удельный вес:	$\gamma = 18,45 \text{ кН/м}^3$
Напряжённое состояние:	эффективное
Угол внутреннего трения:	$\phi_{ef} = 25,00^\circ$
Удельное сцепление грунта:	$c_{ef} = 12,00 \text{ кПа}$
Угол трения конструкция-грунт:	$\delta = 0,00^\circ$
Грунт:	связный
коэффициент Пуассона:	$\nu = 0,35$
Удельный вес водонасыщенного грунта:	$\gamma_{sat} = 18,45 \text{ кН/м}^3$



**Рисунок 2. – Характеристики глинистого грунта озерно-ледникового происхождения
при условии учета анизотропии**

Характеристики глинистого грунта озерно-ледникового происхождения, полученные нами при условии игнорирования анизотропии представлены на рисунке 3.

Глина низкой/ средней пластичности (CL, CI), консистенция полутвёрдая	
Удельный вес:	$\gamma = 18,45 \text{ кН/м}^3$
Напряжённое состояние:	эффективное
Угол внутреннего трения:	$\phi_{ef} = 23,00^\circ$
Удельное сцепление грунта:	$c_{ef} = 10,00 \text{ кПа}$
Угол трения конструкция-грунт:	$\delta = 0,00^\circ$
Грунт:	СВЯЗНЫЙ
коэффициент Пуассона:	$\nu = 0,35$
Удельный вес водонасыщенного грунта:	$\gamma_{sat} = 18,45 \text{ кН/м}^3$

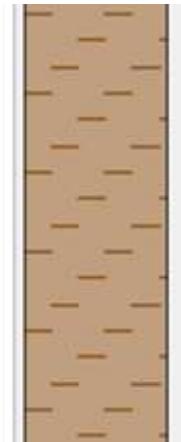


Рисунок 3. – Характеристики глинистого грунта озерно-ледникового происхождения при условии игнорирования анизотропии

Были созданы и подробно проанализированы как расчетная схема, так и схема загружения подпорной стенки углового типа, которые представлены на рисунках 4 и 5 соответственно.

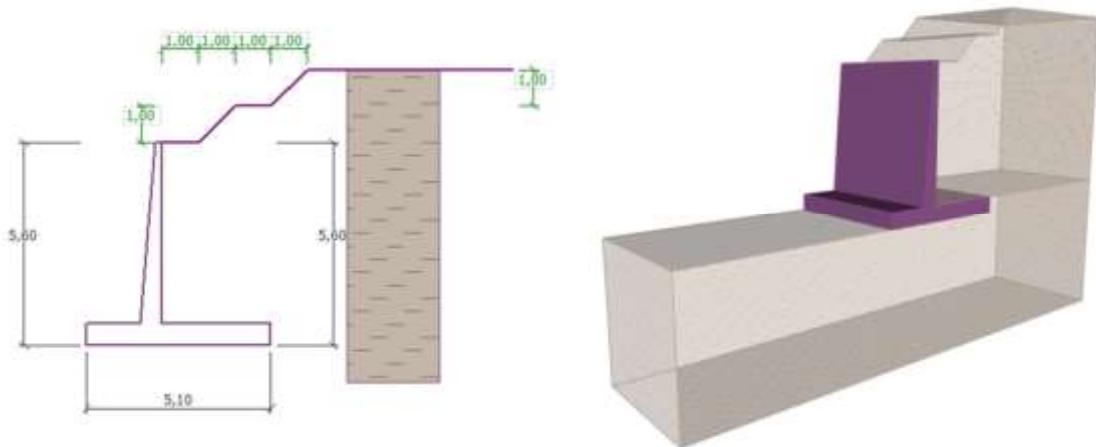


Рисунок 4. – Расчетная схема подпорной стенки углового типа

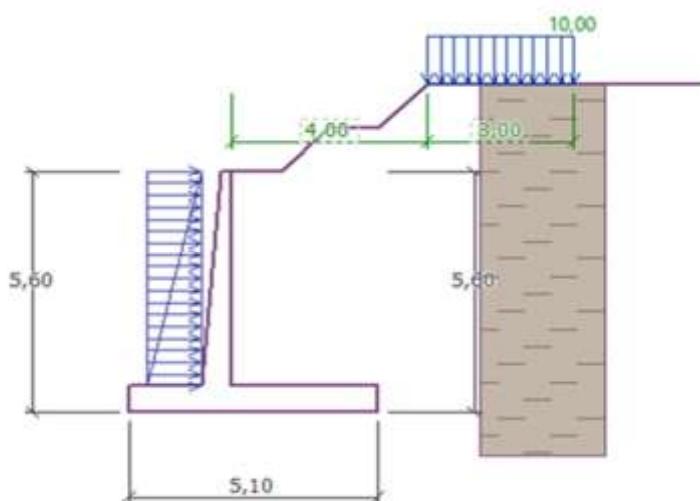


Рисунок 5. – Схема загружения подпорной стенки углового типа

В расчетной схеме учтены все основные параметры конструкции, такие как геометрические размеры, расположение элементов, а также виды и распределение нагрузок, действующих на стенку. Схема загружения подробно иллюстрирует виды и направления сил, воздействующих на конструкцию.

В процессе проведения расчетов подпорной стенки углового типа, выполненных как с учетом, так и без учета анизотропных свойств глинистого грунта, нами были получены комплексные результаты, включающие детальные проверки устойчивости конструкции на опрокидывание и горизонтальные перемещения [2]. Кроме того, была проведена общая оценка состояния стенки, учитывающая все действующие нагрузки и влияние различных факторов на ее надежность и долговечность. Численные значения расчета, представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Численные значения расчета подпорной стенки с учетом и без учета анизотропии

Расчетные параметры подпорной стенки	С учетом анизотропии	Без учета анизотропии
1. Удерживающий момент M_{res} , кНм/м	1389,38	1362,33
2. Опрокидывающий момент M_{ovr} , кНм/м	379,53	327,58
3. Коэффициент запаса по моменту	3,66	4,16
4. Горизонтальная удерживающая сила H_{res} , кН/м	196,5	217,26
5. Горизонтальная сдвигающая сила H_{act} , кН/м	99,78	78,59
6. Коэффициент запаса по сдвигающей силе	1,97	2,76

Кроме численных результатов расчетов, в программе были построены эпюры распределения изгибающего момента и сдвигающей силы для подпорной стенки углового типа, выполненные в двух вариантах: с учетом анизотропных характеристик грунта и без их учета [3]. Эпюры представлены на рисунках 6 и 7.

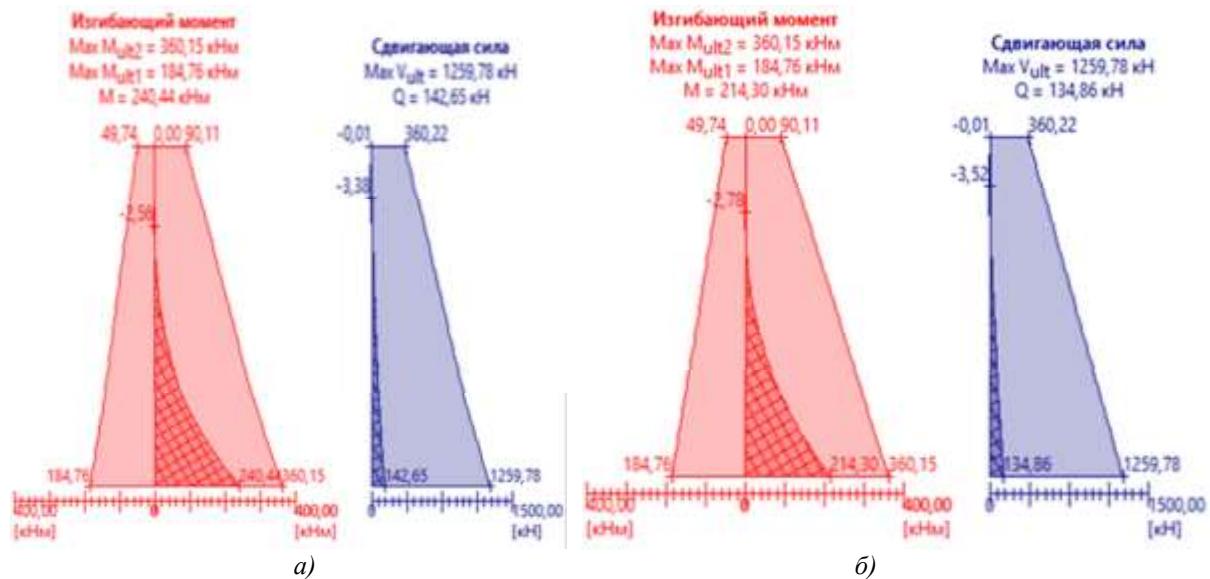


Рисунок 6. – Эпюры внутренних усилий с учетом анизотропии (а) и без учета анизотропии (б)

Заключение. Полученные в ходе расчетов результаты свидетельствуют о необходимости учета влияния прочностной анизотропии грунтов на устойчивость и несущую способность подпорных конструкций. Игнорирование анизотропии свойств грунта, приводит к завышению расчетных значений коэффициентов запаса, увеличивая тем самым потенциальный риск необоснованной оценки устойчивости подпорных конструкций. Учет анизотропии при выполнении расчётов позволяет получить более точные результаты, максимально соответствующие естественной природе грунтового массива, что критически важно для объективной оценки устойчивости [4; 5].

Анализ эпюр, представленных на рисунках 8 и 9, подтверждает существенное влияние анизотропии на силовые параметры: наблюдаемый рост изгибающих моментов и сдвигающих усилий требует пересмотра проектных решений – усиления конструкции, оптимизации геометрии или схем армирования. Игнорирование этого фактора, хотя и позволяет минимизировать материальные затраты за счёт снижения нагрузок, несет в себе скрытые угрозы. В условиях выраженной анизотропии подобное упрощение в расчетах, может привести к деформациям, критической потере прочности и даже аварийным сценариям [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Кремнёв, А.П. Анизотропия прочностных свойств глин севера Беларуси [Электронный ресурс] / А.П. Кремнёв, Н.Н. Вишняков — Режим доступа: <https://doi.org/> (дата обращения:10.10.2025).
2. Специальные варианты подпорных стенок [Электронный ресурс] // Стенок. – URL: <https://gabicom.ru/gabioni/specialnie-varianti-podpornih-stenok/> (дата обращения: 11.04.2025).
3. Виды подпорных стенок и их классификация [Электронный ресурс] // Классификация. – URL: <https://1landscapedesign.ru/gabion/vidy-podpornyx-stenok.html> (дата обращения:15.02.2025).
4. Анализ типов подпорных сооружений [Электронный ресурс] // Сооружений. – URL:https://docviewer.yandex.by/view/1722513313/*=JH%2B7efy%2F118ilk5Xd6nc9DT%2F8RV7InVybCI6Imh0dHBzOi8vZG9ydmVzdC5ydS9pbWFnZXMvcm9t%3D%3D&lang=ru (дата обращения: 05.03.2025).
5. Бетонные подпорные стенки. Толстостенные и тонкостенные [Электронный ресурс] // Стенки. – URL: <https://gabionpro.ru/articles/betonnye-podpornye-stenki> (дата обращения: 28.02.2025).