

УДК 624.131

DOI: 10.17213/mgvgif/2026-5-305-313

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ ЦЕХА ВИБРООПОР ЛЭП г. МИНГЕЧЕВИР

Ф. Г. Габибова

Азербайджанский НИИ Строительства и Архитектуры, г. Баку, Азербайджан

Аннотация. Приведены результаты исследований просадочных грунтов основания, проектируемого цеха виброопор ЛЭП г. Мингечевир. Геолого-литологический разрез грунтового основания на глубину 35-38 м сложен деллювиально-проаллювиальными четвертичными отложениями представленными просадочными и водонасыщенными суглинками. Приведены подробные исследования грунтов выше уровня грунтовых вод, залегающих на глубине 12,5-17 м. Эти грунты относятся по II типу грунтовых условий по просадочности. Грунты, отобранные из скважин ниже уровня грунтовых вод более плотные, но из-за длительного нахождения под водой потеряли свойство просадочности, перейдя в класс водонасыщенных сильносжимаемых суглинков.

Ключевые слова: просадочный грунт, основание здания, вода, шурф, скважина, суглинок, монолит, плотность

STUDY OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF SUBSIDENCE SOILS OF THE FOUNDATION OF THE VIBRATION SUPPORT WORKSHOP FOR ELECTROTRANSMISSION LINES IN MINGECHEVIR

F. G. Gabibov

Azerbaijan Research Institute of Construction and Architecture, Baku, Azerbaijan

Annotation. This article presents the results of a study of the subsidence soils of the foundation of a planned power transmission line vibration support workshop in Mingechevir. The geological and lithological cross-section of the foundation soil to a depth of 35-38 m is composed of colluvial-proalluvial Quaternary deposits consisting of subsidence and water-saturated loams. Detailed studies of soils above the groundwater table, located at a depth of 12.5-17 meters, are presented. These soils are classified as Type II soil conditions based on subsidence. Soils sampled from wells below the groundwater table are denser, but due to prolonged exposure to water, they have lost their subsidence properties, becoming classified as water-saturated, highly compressible loams.

Keywords: subsidence soil, building foundation, water, pit, borehole, loam, monolith, density

Введение

Лессовидные просадочные грунты распространены в Азербайджанской Республике в основном в Казахском, Бейлаганском районах, а также в г. Мингечевир и его окрестностях. Исследованию просадочных грунтов Азербайджанской Республики посвящены работы А. А. Мустафаева [1], С. А. Алиева [2], П. С. Алиш-заде [3], Ф. Г. Габибова [4] и других.

Современным методам проектирования и строительства зданий и сооружений на просадочных грунтах посвящены труды В. И. Крутова, А. С. Ковалева и В. А. Ковалева [5], Ф. Г. Габибова [6–8] и другие.

Необходимость в проектировании и строительстве нового цеха виброопор ЛЭП появилась в связи с тем, что действующий цех был сильно деформирован в результате просадочных деформаций и находится в аварийном состоянии.

Всего на строительной площадке было пробурено 8 скважин с диаметром 168 мм, глубиной от 35 до 38 м с отбором керпов и 10 шурфов-дудок диаметром 800 мм и глубиной от 5 м до 8,7 м с отбором грунтовых монолитов. Всего было отобрано 66 керпов из скважин и 66 монолитов из шурфов.

Участок проектируемого цеха расположен на правом берегу Верхне-Карабахского канала. Морфологически площадка находится в пределах предгорной наклонной равнины, идущей от Богдагского хребта к югу. Большая часть исследуемой территории покрыта отвальными грунтами мощностью 1,8–2,0 м, представленными строительным мусором, производственными отходами с примесью суглинков.

Площадка сложена делювиально-пролювиальными четвертичными отложениями, которые, в основном представлены суглинками с частыми прослоями и линзами песков и супесей, с редкими включениями гравия, щебня и легких глин.

По монолитам в шурфах наблюдается горизонтальная слоистость со слабым наклоном с севера на юг.

Литологический разрез площадки представлен глинистыми грунтами, от легких суглинков, редко переходящими в глины, местами с прослойками и линзами песков (супесей).

Грунтовые воды обнаружены в скважинах на глубинах от 12,5 до 17,5 м.

Исследование просадочности грунтов основания

Состояния и анализ физико-механических показателей грунтов, полученных из шурфов и скважин, позволяет разделить разрезанную толщу условно на два слоя: выше уровня грунтовых вод (глубина залегания до 12–17 м), где грунты обладают просадочными свойствами и ниже грунтовых вод, где грунты сильносжимаемые без просадки.

В табл. 1 приведены свойства грунтов, полученные из шурфов и скважин. Из табл. 1 видно, что физические показатели грунтов, отобранных из скважин выше уровня грунтовых вод и ниже, практически одинаковые. Отличаются лишь показателям влажности и плотности. В тоже время, эти же показатели, полученные по монолитам, отобранным из шурфов, дают более достоверные сведения об их плотности и влажности. Эти показатели характеризуют толщу мощностью 8,0 м.

Таблица 1. Физические свойства грунтов в естественном состоянии

Показатели	Из скважин		Пески-су-песи	Из шурфов	
	глины-суглинки			Глины-су-глинки	Пески-су-песи
	выше уровня грунтовых вод	ниже уровня грунтовых вод			
Естест. влажн. W , %	$\frac{7,6-25,3}{12,6}$	$\frac{15,5-25,3}{19,6}$	$\frac{3,2-12,9}{8,6}$	$\frac{7,2-26,5}{11,7}$	$\frac{5,4-18,0}{9,6}$
Объем. вес естест. грунта γ , г/см ³	$\frac{1,47-2,13}{1,77}$	$\frac{1,95-2,20}{2,06}$	$\frac{1,70-2,07}{1,84}$	$\frac{1,49-1,79}{1,61}$	$\frac{1,47-1,68}{1,57}$
Объем вес ске- лета грунта $\gamma_{ск}$, г/см ³	$\frac{1,34-1,95}{1,66}$	$\frac{1,56-1,89}{1,71}$	$\frac{1,62-1,27}{1,75}$	$\frac{1,36-1,60}{1,44}$	$\frac{1,38-1,54}{1,43}$
Удельный вес	$\frac{2,73-2,79}{2,77}$		$\frac{2,72-2,78}{2,75}$	$\frac{2,72-2,79}{2,76}$	$\frac{2,73-2,75}{2,74}$
Пористость n , %	$\frac{32-61}{44}$	$\frac{30-49}{38,4}$	$\frac{33,9-40,9}{37,1}$	$\frac{41,4-51,1}{46,9}$	$\frac{44,0-49,6}{47,7}$
Коэффициент пористости e	$\frac{0,43-1,06}{0,776}$	$\frac{0,471-0,708}{0,62}$	$\frac{0,514-0,691}{0,523}$	$\frac{0,706-1,044}{0,923}$	$\frac{0,786-1,986}{0,914}$
Степень водо- насыщения G	$\frac{0,22-0,94}{0,48}$	$\frac{0,8-0,89}{0,84}$	$\frac{0,36-0,71}{0,57}$	$\frac{0,21-0,73}{0,35}$	$\frac{0,17-0,53}{0,29}$
Влажность предела текуч. W_2	$\frac{10-44}{30}$	$\frac{14-24}{21}$	$\frac{23-40}{32}$	$\frac{21-25}{24}$	
Влажность предела раска- тывания. W_p	$\frac{10-24}{18}$	$\frac{0-17}{16}$	$\frac{14-23}{19}$	$\frac{0-19}{18}$	
Число пла- стичности I	$\frac{7-20}{12}$	$\frac{0-7}{5}$	$\frac{8-21}{12}$	$\frac{0-7}{6}$	
Песок > 0,05 мм	$\frac{8,2-79,5}{39,0}$	$\frac{12,0-84,8}{60,4}$	$\frac{10,4-81,3}{36,9}$	$\frac{25,8-81,7}{59,2}$	
Пыль 0,05-0,005	$\frac{2,6-57,3}{30,1}$	$\frac{2,5-20,0}{10,1}$	$\frac{19,3-67,0}{41,3}$	$\frac{12,8-42,8}{25,9}$	
Глина < 0,005 мм	$\frac{8,6-56,1}{30,9}$	$\frac{4,6-16,2}{9,5}$	$\frac{15,0-49,1}{31,8}$	$\frac{9,1-21,1}{14,9}$	
Показатель консистенции	$\frac{-1,3 \div 0,27}{-0,45}$	$\frac{0,02 \div 0,41}{-0,13}$	$\frac{2,0-0,7}{-0,53}$	$\frac{-1-0,21}{-0,54}$	$\frac{0-(-2,1)}{-0,82}$
Примечание: в числителе показаны пределы изменений показателей, в знаменателе среднее значение					

Верхняя 8-ми метровая толща исследуемых грунтов до уровня грунтовых вод, сложенная суглинками, характеризуется следующими показателями (по шурфам). Средняя влажность около 12 %. Объемный вес грунта

1,61 г/см³, объемный вес скелета грунта 1,44 г/см³, удельный вес 2,76 г/см³, пористость 48 %, коэффициент пористости 0,923, степень водонасыщения 0,35, число пластичности 12 %. Содержание песка 27 %, пыли 41 %, глины 32 %, показатель консистенции ниже нуля, т. е. консистенция твердая.

Ниже уровня воды (по скважинам), влажность около 20 %, объемный вес 2,06 г/см³, объемный вес скелета 1,71 г/см³, пористость 38,4 %, коэффициент пористости 0,62, степень водонасыщения 0,84, число пластичности 12 %. Содержание песка 39 %, пыли 30 %, глины 31 %. Консистенция полутвердая. Плотность грунтов, отобранных из скважин выше уровня воды 1,77, объемный вес скелета 1,56, степень водонасыщения 0,48, консистенция твердая. Таким образом, монолиты, отобранные из скважин выше уровня воды и ниже, отличаются по плотности и влажности, остальные показатели близки.

Сопоставляя результаты исследований, полученных из скважин с монолитами, отобранными на идентичных глубинах из шурфов, можно отметить, что монолиты грунтов? отобранных из скважин (выше уровня грунтовых вод) оказались несколько более уплотненными.

Просадочность грунтов исследовалась в лабораторных условиях на монолитах природной структуры и влажности, отобранных из шурфов 1÷10. Показатели просадочности определены по ГОСТ 23161-78. Графики определения просадочности грунтов, отобранных на различных глубинах из шурфов 1 и 2 приведены на рис. 1–4.

В табл. 2 приведены результаты определения относительной просадочности $\sigma_{пр}$ от нагрузки P образцов, отобранных в шурфе 1 на различных глубинах.

Таблица 2. Зависимость относительной просадочности образцов грунтов от внешней нагрузки (шурф 1)

Глубина отбора	Начальное давление просадочности, МПа	Природная нагрузка, МПа	Внешняя нагрузка P , МПа				
			0,05	0,1	0,2	0,3	0,4
1	0,06	0,019	0,07	0,033	0,079	0,095	0,102
2	0,03	0,37	0,012	0,063	0,114	0,136	0,147
3	0,06	0,054	0,008	0,025	0,073	0,094	0,105
4	0,05	0,078	0,010	0,048	0,090	0,108	0,20
5	0,04	0,097	0,013	0,061	0,113	0,135	0,149
6	0,07	0,116	-	0,025	0,067	0,088	0,101
8	0,06	0,134	0,007	0,043	0,096	0,119	0,133
Среднее значение	0,05	-	0,007	0,037	0,079	0,096	0,107

Примечание: естественная нагрузка σ_g берется при влажности равной верхнему пределу текучести грунта.

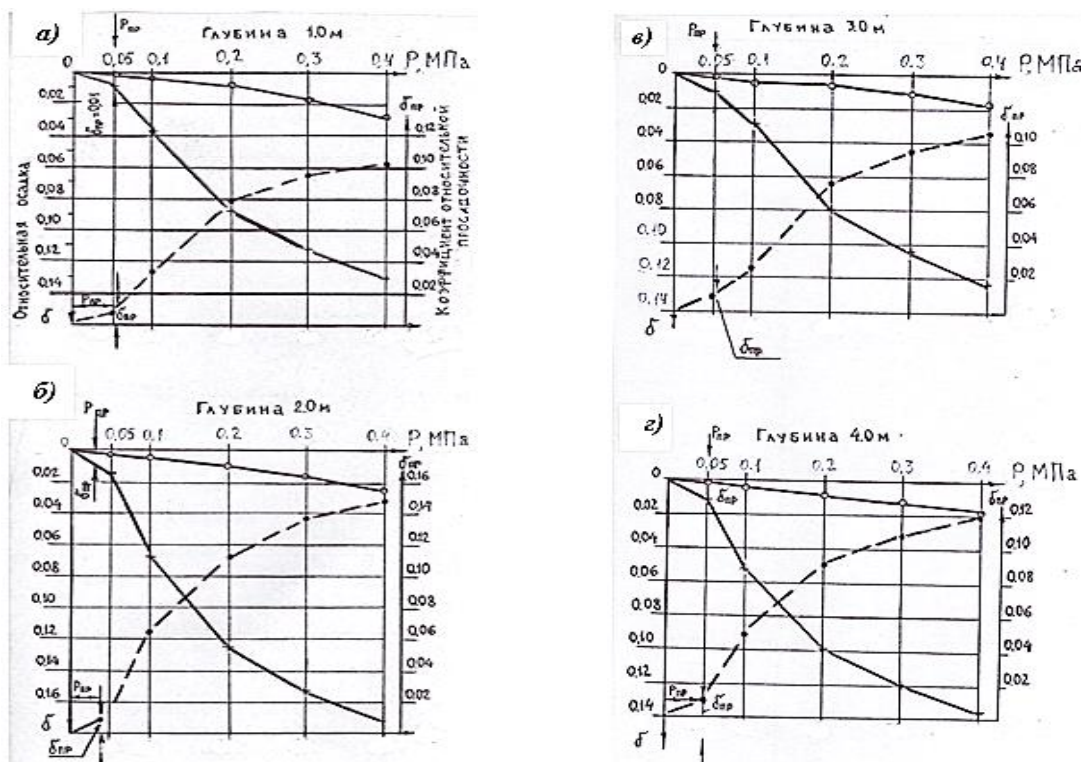


Рис. 1. Графики определения просадочности грунтов, отобранных на различных глубинах (шурф 1): а – глубина 1,0 м; б – глубина 2,0 м; в – глубина 3,0 м; г – глубина 4,0 м

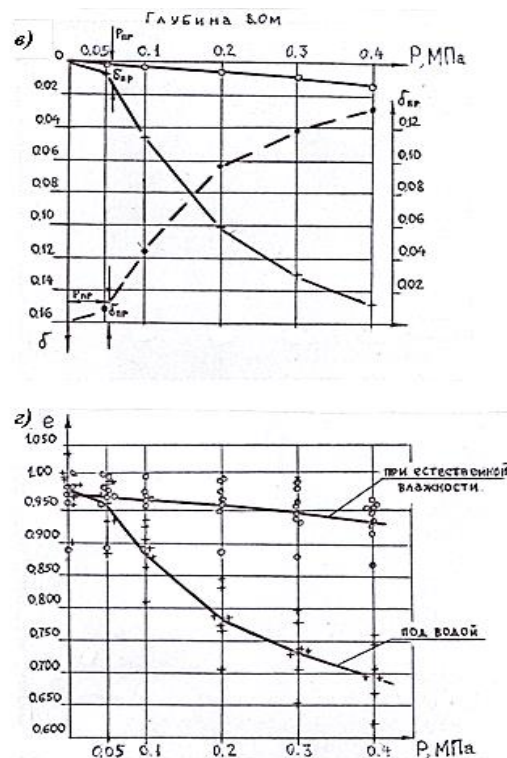
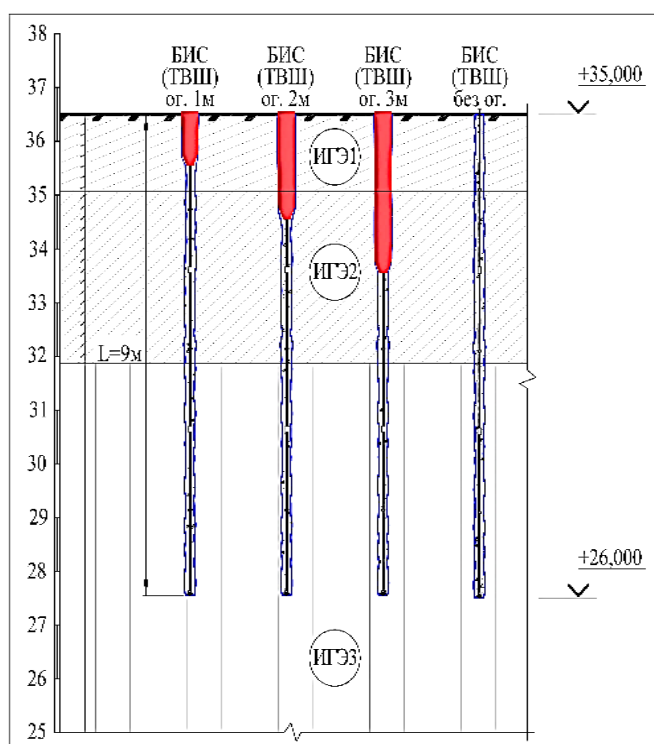


Рис. 2. Графики определения просадочности грунтов, отобранных на различных глубинах и осредненных компрессионных кривых (шурф 1): а – глубина 5,0 м; б – глубина 6,0 м; в – глубина 8,0 м; г – осредненные компрессионные кривые

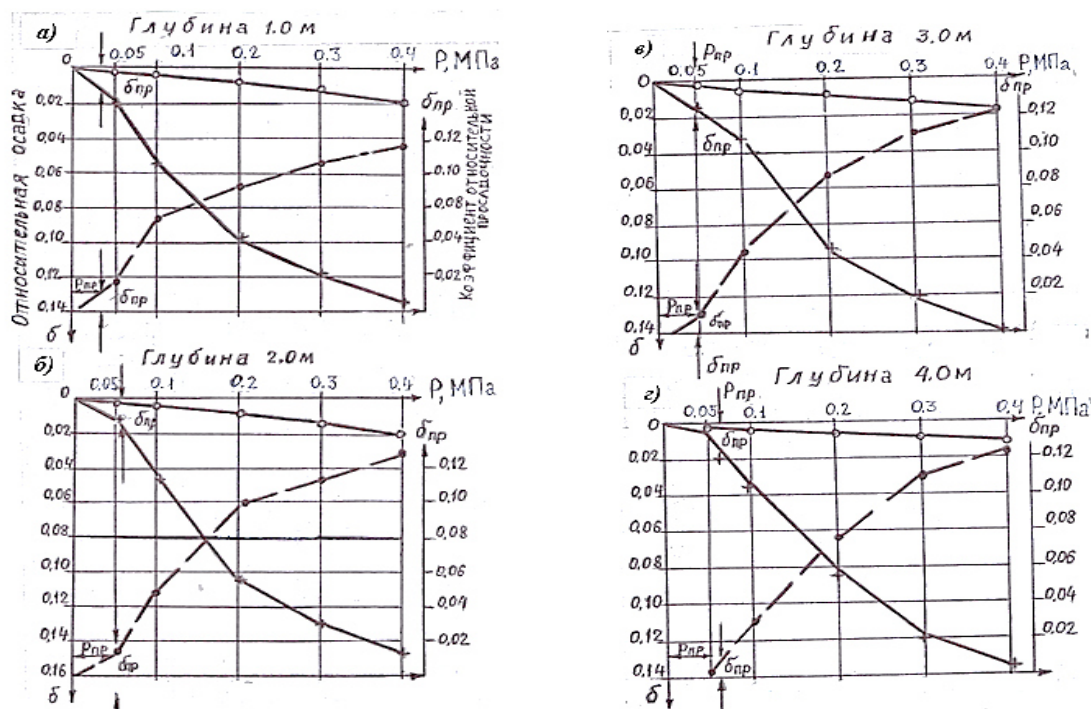


Рис. 3. Графики определения просадочности грунтов, отобранных на различных глубинах (шурф 2): а – глубина 1,0 м; б – глубина 2,0 м; в – глубина 3,0 м; г – глубина 4,0 м

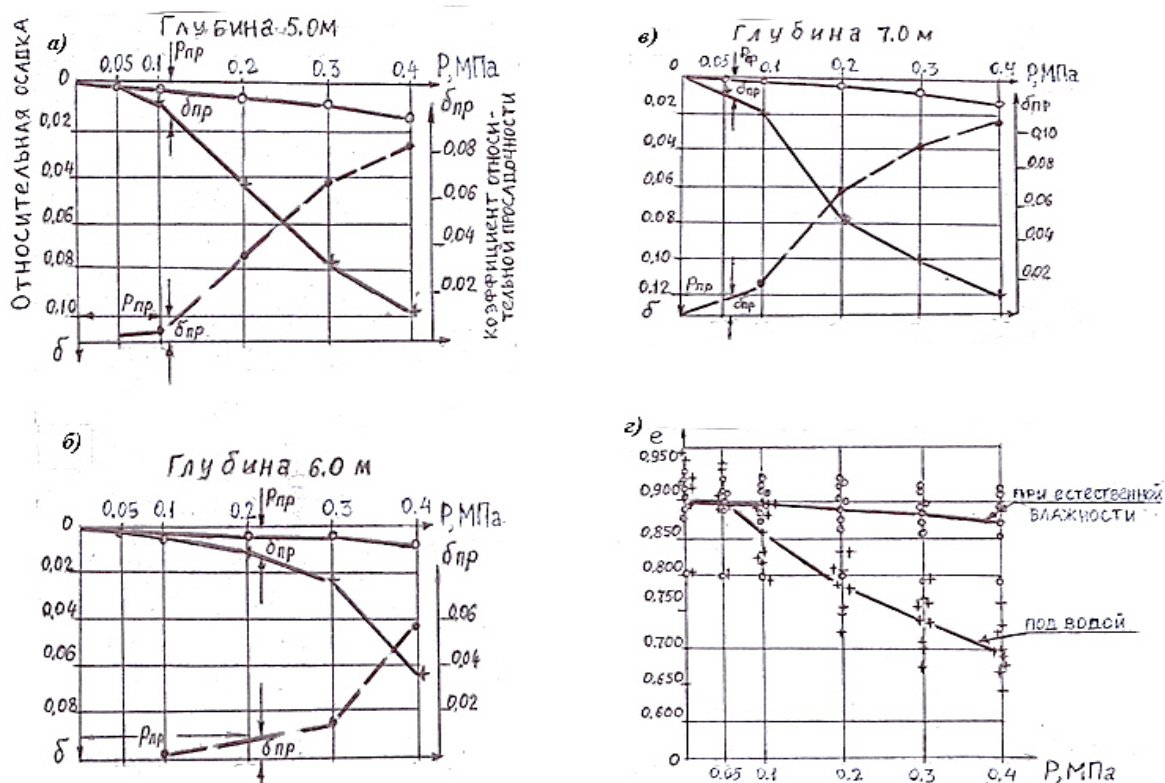


Рис. 4. Графики определения просадочности грунтов, отобранных на различных глубинах и осредненных компрессионных кривых (шурф 2): а – глубина 5,0 м; б – глубина 6,0 м; в – глубина 7 м; г – осредненные компрессионные кривые

В табл. 3 приведены показатели сжимаемости и просадки образцов, отобранных в шурфе 1 на различных глубинах.

В табл. 4 приведены результаты определения относительной просадочности $\sigma_{пр}$ от нагрузки P образцов, отобранных в шурфе 2 на различных глубинах.

Таблица 3. Показатели сжимаемости и просадки образцов грунтов (шурф 1)

Глубина, м	Нагрузка, Р, МПа						Естест- венная нагрузка σ _g	Коэффици- ент проса- дочности при природ. нагр. ε _{sl}	Суммарная просадоч- ность при естест. нагр. S _{slg} , см
	0	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4			
	Коэффициент пористости, e								
1,0	$\frac{0,971}{0,957}$	$\frac{0,966}{0,931}$	$\frac{0,962}{0,884}$	$\frac{0,952}{0,787}$	$\frac{0,936}{0,736}$	$\frac{0,915}{0,704}$	0,009	0,002	0,2
2,0	$\frac{1,015}{1,015}$	$\frac{1,009}{0,985}$	$\frac{1,004}{1,878}$	$\frac{0,994}{0,764}$	$\frac{0,981}{0,704}$	$\frac{0,964}{0,666}$	0,037	0,006	0,8
3,0	$\frac{0,986}{0,986}$	$\frac{0,980}{0,965}$	$\frac{0,977}{0,927}$	$\frac{0,971}{0,826}$	$\frac{0,963}{0,777}$	$\frac{0,953}{0,743}$	0,054	0,008	1,6
4,0	$\frac{0,964}{0,964}$	$\frac{0,959}{0,939}$	$\frac{0,955}{0,863}$	$\frac{0,949}{0,773}$	$\frac{0,939}{0,729}$	$\frac{0,929}{0,697}$	0,078	0,023	3,9
5,0	$\frac{1,007}{1,037}$	$\frac{1,002}{1,005}$	$\frac{0,996}{0,901}$	$\frac{0,987}{0,787}$	$\frac{0,976}{0,730}$	$\frac{0,965}{0,690}$	0,097	0,030	6,9
6,0	$\frac{0,979}{0,993}$	$\frac{0,974}{0,993}$	$\frac{0,970}{0,935}$	$\frac{0,964}{0,844}$	$\frac{0,955}{0,795}$	$\frac{0,946}{0,759}$	0,116	0,040	7,9
8,0	$\frac{0,897}{0,897}$	$\frac{0,893}{0,880}$	$\frac{0,890}{0,808}$	$\frac{0,886}{0,703}$	$\frac{0,878}{0,651}$	$\frac{0,870}{0,617}$	0,134	0,050	17,9
Сред.	$\frac{0,974}{0,978}$	$\frac{0,969}{0,958}$	$\frac{0,964}{0,885}$	$\frac{0,957}{0,783}$	$\frac{0,946}{0,731}$	$\frac{0,934}{0,696}$	-	0,026	-
<i>a</i>	-	-	$\frac{0,010}{0,093}$	$\frac{0,007}{0,102}$	$\frac{0,011}{0,052}$	$\frac{0,012}{0,036}$	-		
<i>E</i>	-	-	$\frac{19,5}{300}$	$\frac{24,0}{2,00}$	$\frac{17,5}{3,50}$	$\frac{16,0}{4,50}$	-		

Примечание: в числителе в естественном состоянии в знаменателе под водой

Таблица 4. Зависимость относительной просадочности образцов грунтов от внешней нагрузки (шурф 2)

Глубина отбора, м	Нач.давл. прос., МПа	Естест. нагр., МПа	Внешняя нагрузка Р, МПа				
			0,05	0,12	0,2	0,3	0,4
			Относительная просадочность, $\sigma_{пр}$, МПа				
1	0,03	0,018	0,017	0,053	0,092	0,106	0,115
2	0,05	0,038	0,011	0,048	0,097	0,116	0,127
3	0,05	0,054	0,012	0,046	0,087	0,110	0,124
4	0,06	0,073	0,003	0,031	0,077	0,110	0,124
5	0,12	0,092	-	0,005	0,037	0,068	0,084
6	0,21	0,112	-	0,002	0,009	0,016	0,057
7	0,06	0,130	0,006	0,017	0,071	0,093	0,106
8	0,12	0,149	-	0,005	0,026	0,042	0,055
Среднее значение	0,08	-	0,006	0,25	0,062	0,082	0,099

Примечание: естественная нагрузка σ_g берется при влажности равной верхнему пределу текучести грунта

В табл. 5 приведены определенные показатели сжимаемости и просадки образцов, отобранных в шурфе 2 на различных глубинах.

Таблица 5. Показатели сжимаемости и просадки образцов грунтов (шурф 2)

Глубина, м	Нагрузка Р, МПа						Естест- венная нагрузка. σ_g	Коэффици- ент проса- дочности при природ. нагр. ε_{s1}	Суммарная просадоч- ность при естест. нагр. S_{slg} , см
	0	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4			
	Коэффициент пористости								
1	0,937	$\frac{0,933}{0,901}$	$\frac{0,930}{0,928}$	$\frac{0,924}{0,748}$	$\frac{0,912}{0,707}$	$\frac{0,890}{0,677}$	0,018	0,006	0,60
2	0,923	$\frac{0,918}{0,897}$	$\frac{0,915}{0,822}$	$\frac{0,908}{0,721}$	$\frac{0,899}{0,673}$	$\frac{0,885}{0,640}$	0,36	0,008	1,40
3	$\frac{0,923}{0,937}$	$\frac{0,918}{0,909}$	$\frac{0,914}{0,839}$	$\frac{0,908}{0,751}$	$\frac{0,900}{0,700}$	$\frac{0,893}{0,666}$	0,054	0,016	3,00
4	$\frac{0,937}{0,965}$	$\frac{0,932}{0,954}$	$\frac{0,930}{0,897}$	$\frac{0,925}{0,801}$	$\frac{0,920}{0,732}$	$\frac{0,913}{0,968}$	0,073	0,016	4,60
5	$\frac{0,980}{0,916}$	$\frac{0,886}{0,214}$	$\frac{0,884}{0,900}$	$\frac{0,879}{0,834}$	$\frac{0,873}{0,769}$	$\frac{0,861}{0,727}$	0,092	0,008	4,68
6	0,803	$\frac{0,802}{0,803}$	$\frac{0,800}{0,707}$	$\frac{0,797}{0,781}$	$\frac{0,794}{0,764}$	$\frac{0,791}{0,688}$	0,112	0,002	4,70
7	$\frac{0,944}{0,957}$	$\frac{0,942}{0,942}$	$\frac{0,8939}{0,920}$	$\frac{0,935}{0,808}$	$\frac{0,928}{0,759}$	$\frac{0,917}{0,721}$	0,130	0,024	7,10
8	$\frac{0,884}{0,897}$	$\frac{0,879}{0,897}$	$\frac{0,876}{0,878}$	$\frac{0,868}{0,831}$	$\frac{0,859}{0,793}$	$\frac{0,852}{0,761}$	0,149	0,016	8,70
Среднее значение	$\frac{0,905}{0,916}$	$\frac{0,901}{0,902}$	$\frac{0,898}{0,860}$	$\frac{0,893}{0,784}$	$\frac{0,885}{0,737}$	$\frac{0,876}{0,697}$	-	0,012	-
коэфф. см/кг	-	-	$\frac{0,005}{0,06}$	$\frac{0,00}{0,0}$	$\frac{0,008}{0,047}$	$\frac{0,009}{0,040}$	-		
модуль, МПа	-	-	$\frac{27,0}{3,50}$	$\frac{38,0}{2,50}$	$\frac{24,0}{3,50}$	$\frac{21,0}{4,00}$	-		
Примечание: в числителе в естественном состоянии, в знаменателе под водой									

Примечание: в числителе в естественном состоянии, в знаменателе под водой

Относительная просадочность исследуемых образцов грунта в пределах 8-ми метровой толщи колеблется от 0,002 до 0,032 при естественной нагрузке. Возможная просадка составляет от 0,8 до 25,6 см, то есть при естественной (бытовой) нагрузке грунта относятся и I и II группе просадочности. Под нагрузкой 0,2 МПа, возможная просадка составляет от 7,6 до 65 см.

В целом в геотехническом отношении для проектируемого сооружения рассматриваемые грунты относятся к II группе по просадочности.

Модуль деформации грунта в естественном состоянии составляет 16 МПа, а в водонасыщенном состоянии — 3,5 МПа.

Сдвиговые показатели по монолитам отобранным из скважин ниже уровня грунтовых вод имеют следующий вид: угол внутреннего трения $\varphi = 21^\circ 30'$; коэффициент внутреннего трения $\operatorname{tg} \varphi = 0,394$, сила сцепления $c = 0,05$ МПа.

По монолитам, отобранным из шурфов, $\varphi = 17^\circ$; $\operatorname{tg}\varphi = 0,306$, $c = 0,015$ МПа. Как видно грунты ниже уровня грунтовых вод хоть имеют искаженные показатели, но из-за длительного нахождения в воде под воздействием давления вышележающих грунтов прошли первую стадию уплотнения, потеряли свойство просадочности, перейдя в класс водонасыщенных суглинков.

Выводы

1. Геолого-литологический разрез проектируемого цеха железобетонных виброопор ЛЭП в г. Мингечевир на глубину 35-38 м сложен деллювиально-пролювиальными четвертичными отложениями, представленными суглинками с линзами и прослоями песков, супесей глин.

2. Глубина залегания грунтовых вод находится в пределах 12,5-17,0 м.

3. Грунты, расположенные выше уровня грунтовых вод, обладают просадочными свойствами при величине начального просадочного давления от 0,015 МПа до 0,15 МПа. Эти грунты относятся ко II типу грунтовых условий по просадочности.

4. Грунты, отобранные из скважин ниже уровня грунтовых вод, имеют некоторое технологическое уплотнение, но из-за длительного нахождения под водой (более 30 лет) под воздействием бытового давления вышележающих слоев прошли первую стадию уплотнения, потеряли свойство просадочности, перейдя в класс водонасыщенных сильносжимаемых суглинков.

Список источников

1. Мустафаев, А. А. Основы механики просадочных грунтов / А. А. Мустафаев. – М.: Стройиздат, 1978. – 263 с.
2. Алиев, С. К. Земляное полотно автомобильных дорог на лесовых просадочных грунтах / С. К. Алиев. – Баку: ЭЛМ, 2005. – 633 с.
3. Алиш-заде, П. С. Лесовые грунты Азербайджана / П. С. Алиш-заде. – Баку: АЗНИИНТИ, 1984. – 22 с.
4. Габибов, Ф. Г. Теория и практика улучшения свойств структурно-неустойчивых глинистых грунтов при решении геотехнических и инженерно-геоэкологических проблем / Ф. Г. Габибов. – Баку: Издательство «ЭЛМ», 2011. – 422 с.
5. Крутов, В. И. Проектирование и устройство оснований и фундаментов на просадочных грунтах / В. И. Крутов, А. С. Ковалев, В. А. Ковалев. – М.: Издательство АСВ, 2013. – 544 с.
6. Габибов, Ф. Г. Набивная свая для набухающих и просадочных грунтов. Евразийский патент на изобретение № 045842. – 2023.
7. Габибов, Ф. Г. Забивная свая для набухающих и просадочных грунтов. Евразийский патент на изобретение № 046576. – 2024.
8. Gabibov, F. G. Study of vulnerability and protection of buildings and structures on structurally unstable clay soils. RT&A, Special Issue №6 (81), Part-1, Volume 19, December 2024, pp. 125-130.

© Габибов Ф. Г., 2026