

Г.С. Бихожаева , **Т.М. Дюсенгалиева**
Mukhametzhan Tynyshbayev ALT University, Алматы, Казахстан
E-mail: gulmira_180866@mail.ru

ПРОЧНОСТЬ БАРХАННЫХ ПЕСКОВ ПРИ ВИБРАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Аннотация. Устойчивость грунтовых искусственных сооружений, состоящих из несвязных грунтов, представляет собой одну из важнейших инженерных задач проблемы надежности, решение которой возможно лишь на основе комплексного подхода. Одной из наиболее значительных проблем, возникающих при расчетах устойчивости, является определение расчетных характеристик грунта, от которых зависит корректность и точность расчета. Такими характеристиками являются показатели прочности грунтов – угол внутреннего трения, коэффициент внутреннего трения и удельное сцепление. В настоящее время актуальна задача их экспериментального определения в условиях, максимально приближенных к действительному напряженно-деформированному состоянию грунтовых массивов в составе насыпей и выемок земляного полотна железных и автомобильных дорог. Целью настоящей работы являлось исследование влияния напряженно-деформированного состояния, соответствующего различным уплотняющим вертикальным нагрузкам на прочностные характеристики несвязных грунтов. Обработка результатов испытаний производилась с учетом изменения площади контактной поверхности грунта в плоскости сдвига и сил трения между грунтом и металлической обоймой прибора. Скорость сдвига при проведении испытаний исключала концентрацию касательных напряжений у краев грунтового образца. Напряженно-деформированное состояние грунта при срезе в приборе моделировало реальное напряженно-деформированное состояние грунта при сдвиге в натуральных условиях. Результаты, изложенные в данной работе, рекомендуется использовать в расчетах устойчивости грунтовых искусственных сооружений, состоящих из несвязных грунтов нарушенной структуры.

Ключевые слова. Насыпь, несвязный грунт, барханный песок, параметры прочности, сдвиговые характеристики.

Введение.

Искусственные сооружения на железных дорогах – насыпи земляного полотна, подпорные стены – устраиваются, как правило, из местных грунтовых материалов с нарушением их природного сложения, имеющих тенденцию к потере устойчивости, как в процессе строительства, так и в условиях длительной эксплуатации.

В основу существующей системы оценки несущей способности эксплуатируемых насыпей и выемок земляного полотна железных дорог заложен метод предельных состояний, являющийся также основным расчетным методом при проектировании новых насыпей и выемок. Априори известны предельные состояния, используемые в расчетах насыпей, выемок, подпорных стенок и других искусственных сооружений, а именно: потеря устойчивости формы равновесия под действием нагрузок (расчет на устойчивость), превышение деформациями допустимых значений (расчет осадки).

Искусственные сооружения обычно работают в условиях сложного воздействия разнообразных нагрузок. Помимо нагрузок от собственного веса на насыпи действуют вертикальные нагрузки от подвижного состава, горизонтальные силы от торможения, сейсмические силы при землетрясениях и многие другие [1,2].

Практика эксплуатации искусственных сооружений показывает, что потеря устойчивости происходит при изменении напряжённо-деформированного состояния объекта, вызванного самыми различными причинами природного и техногенного характера. Задача оценки устойчивости насыпей земляного полотна, сложенных глинистыми грунтами, требует учёта всех действующих факторов, способных привести к потере устойчивости.

Напряжённо-деформированное состояние грунтовых массивов зависит не только от воздействия внешних факторов, но и в гораздо большей степени от физико-механических характеристик грунтов, из которых он состоит. Характеристиками, оказывающими наибольшее влияние на точность расчёта устойчивости земляных сооружений, являются сдвиговые характеристики грунтов – коэффициент трения и удельное сцепление. Если для крупнозернистых грунтов вопрос определения этих характеристик, как в условиях статического, так и динамического нагружения, в той или иной степени решается, то для пылеватых песков у исследователей нет единого мнения по оценке прочности, особенно, при действии квазистатических, динамических и пульсирующих нагрузок.

Материалы и методы.

Для проведения экспериментальных исследований авторами использован модифицированный вариант прибора одноплоскостного среза ВСВ-25 конструкции Гидропроекта, общий вид которого показан на рисунке 1.

Преимуществом данного прибора перед отечественными аналогами является более равномерное распределение напряжений по площадке сдвига за счет симметричного воздействия вертикальных и горизонтальных сил. Увеличение толщины стенок обойм прибора позволило достигать величины относительной деформации сдвига образца значения равного 27% внутреннего диаметра каретки.

Для создания вибродинамического нагружения на образец грунта был специально сконструирован эксцентриковый вращательный вибратор (рисунок 2) с приводом от двигателя постоянного тока марки РЖК-25/3. Изменение расположения эксцентриков на ведомом валу позволяет изменять амплитуду пульсирующей нагрузки. Прибор работает в режиме управляемых деформаций (кинематический режим) и имеет дополнительное оборудование для временного фиксирования абсолютных деформаций среза образца грунта. Скорость сдвига может изменяться от 0,5 до 0,01 мм/мин. Изменение скорости сдвига регулируется изменением силы тока источника питания ВСА-5К.



Рисунок 1 - Прибор одноплоскостного среза ВСВ-25

Поступательное движение нижней подвижной обоймы прибора создается понижающим редуктором МПК-13И-5 через шпindel. Общий привод системы сдвигающего усилия осуществляется двигателем постоянного тока Д-10АРУ. При вибродинамическом воздействии частота колебаний регулируется лабораторным автоматическим трансформатором «ЛАТР». Величина частоты колебаний определяется по тахометру. Привод тахометра осуществляется через тросик спидометра автомобиля ГАЗ-53, соединенного с ведомым валом вращательного вибратора. Конструкция прибора позволяет создавать частоту вибрации в диапазоне от 0 до 30 Гц.

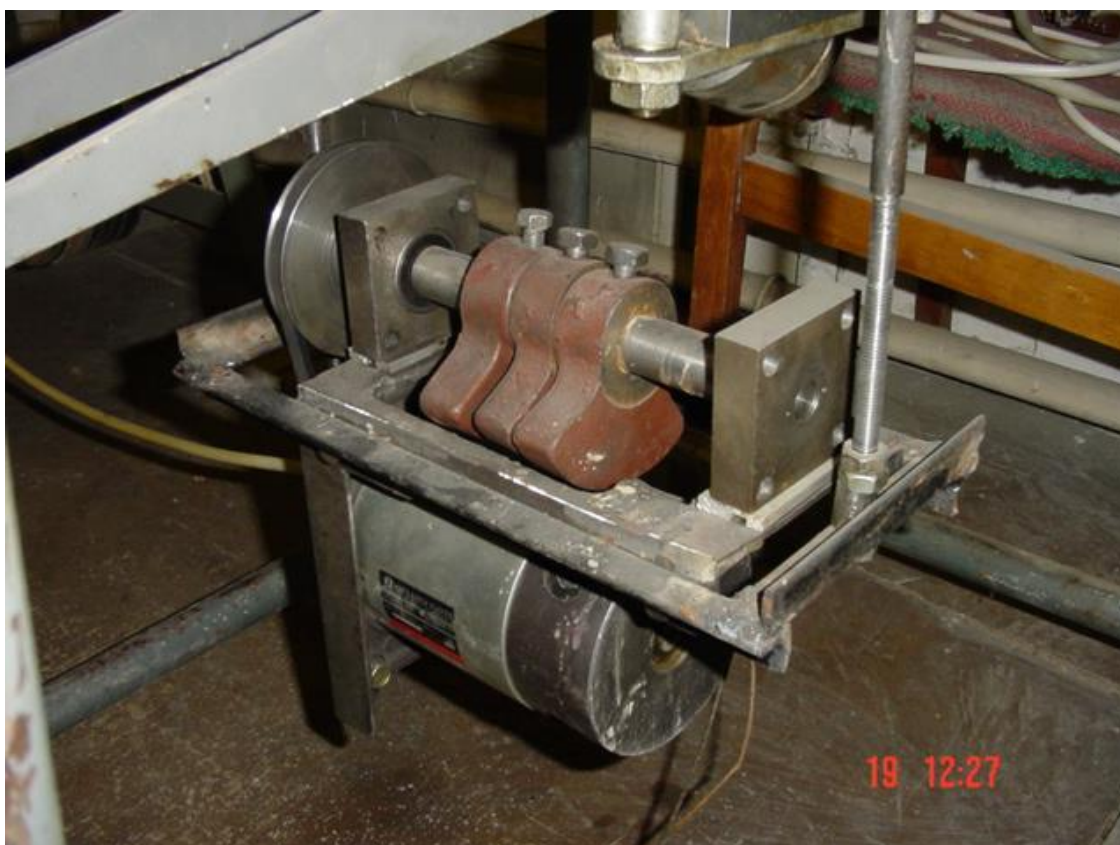


Рисунок 2 - Эксцентрикoвый вращательный вибратор

Контрольное и измерительное оборудование, позволяет получать количественные значения знакопеременной нормальной нагрузки $N \pm \Delta N$ как при статическом, так и вибродинамическом воздействиях, а также горизонтального сдвигающего усилия T и перемещения обoйм прибора U .

Более подробно информация о приборе изложена в работе [3].

Результаты.

Результаты сдвиговых испытаний [4] пылеватого песка при статическом нагружении приведены в таблицах 1-2, при вибрационном - в таблицах 3-5. По данным таблиц 1-2 построены диаграмма сдвига (график зависимости между перемещением и касательным напряжением) песчаного грунта (рисунок 3) и диаграмма его предельного равновесия для пиковой и остаточной прочности (рисунок 4) при статическом воздействии нормальной нагрузки. По данным таблиц 3-5 диаграмма сдвига (рисунок 5) и диаграмма предельного равновесия (рисунок 6) при динамическом воздействии нормальной нагрузки.

Таблица 1 – Статические испытания пылеватого песка на срез при давлении $\sigma = 100$ кПа

Перемещение я	Показания динамометра		Вертикальное давление	Приращение горизонтальных напряжений	Горизонтальные напряжения
	мм	делени й кН			
0	0	0	100	0	0
1	0.122	0.19154	100	0.3213	47.9374
2	0.169	0.26533	100	0.6426	67.1222
3	0.192	0.30144	100	0.9639	77.0777
4	0.202	0.31714	100	1.2852	81.1921
5	0.112	0.33284	100	1.6065	86.9554
6	0.213	0.33441	100	1.9278	88.2327
7	0.208	0.32656	100	2.2491	86.8718
8	0.197	0.30929	100	2.5704	82.7070
9	0.180	0.28260	100	2.8917	75.5593
10	0.162	0.25434	100	3.213	67.6232
11	0.150	0.23550	100	3.5343	62.2649
12	0.145	0.22765	100	3.8556	60.1597
13	0.141	0.22137	100	4.1769	58.4676
14	0.138	0.21666	100	4.4962	57.2250
15	0.139	0.21823	100	4.8195	58.0522

Таблица 2 - Статические испытания пылеватого песка на срез при давлении $\sigma = 300$ кПа

Перемещения	Показания динамометра		Вертикально е давление	Приращение горизонтальных напряжений	Горизонтальны е напряжения
	мм	делени й кН			
0	0	0	300	0	0
1	0.228	0.35796	300	0,9639	88.6628
2	0.235	0.54165	300	1,9278	135.4277
3	0.399	0.62643	300	2,8917	157.8300
4	0.442	0.69394	300	3,8556	176.4441
5	0.484	0.75988	300	4,8195	195.3568
6	0.498	0.78186	300	5,7834	202.7175
7	0.485	0.76145	300	6,7473	198.2678
8	0.490	0.76930	300	7,7112	201.8747
9	0.482	0.75674	300	8,6751	199.5559
10	0.468	0.73476	300	9,639	194.2696
11	0.438	0.68766	300	10,6023	180.9341
12	0.395	0.62015	300	11,5668	160.4994
13	0.372	0.58404	300	12,5307	149.3368
14	0.356	0.55892	300	13,4946	141.3058
15	0.325	0.51025	300	14,4585	124.8429

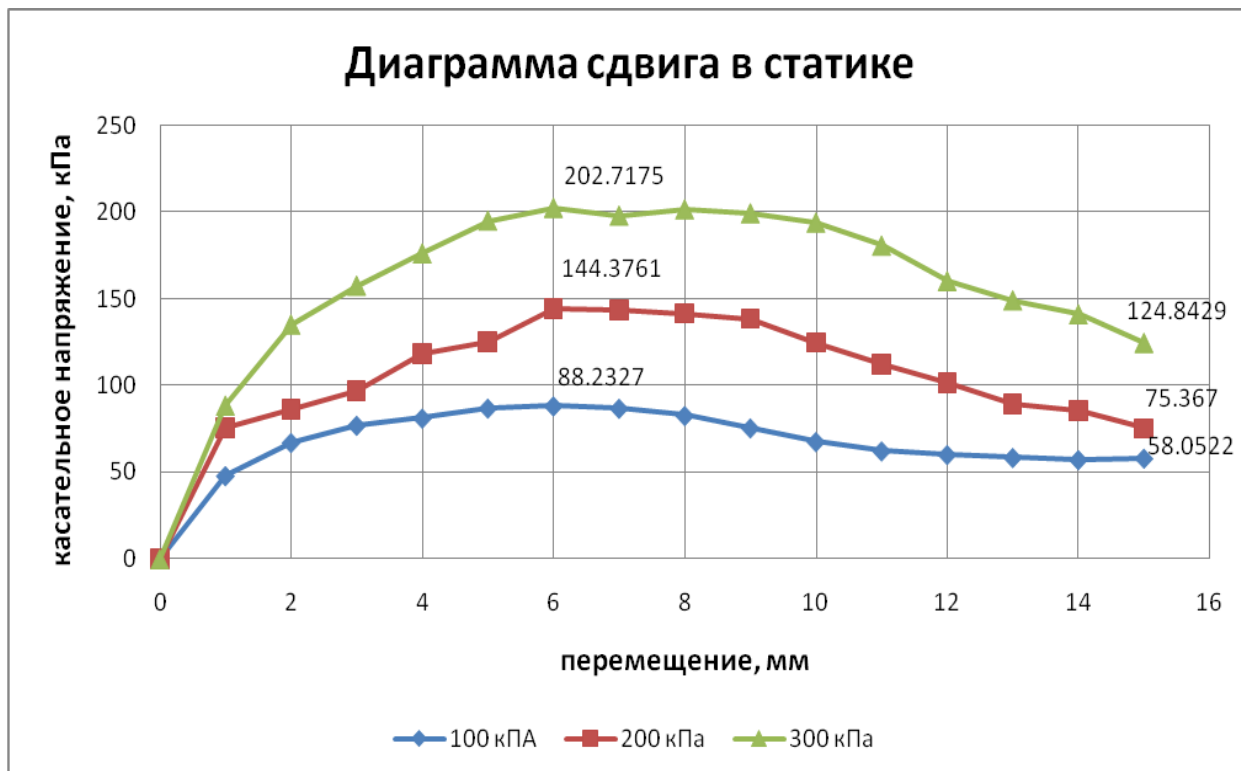


Рисунок 3 – График зависимости между перемещением и касательным напряжением в статике

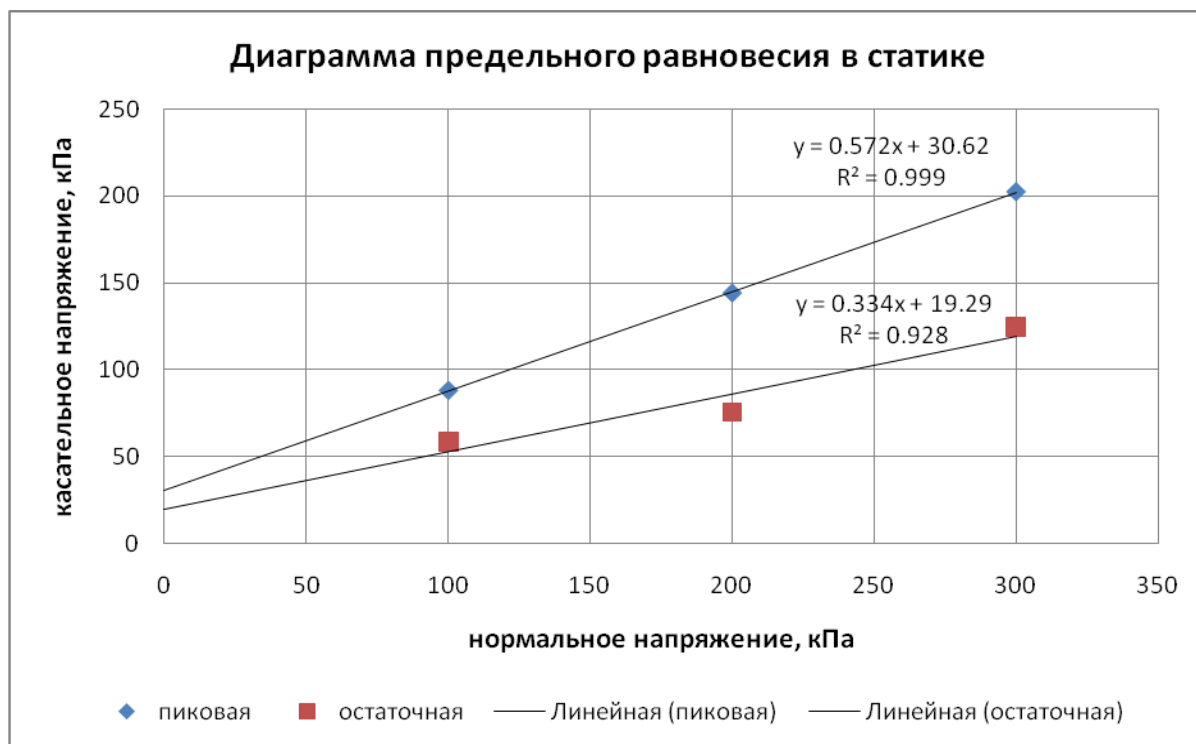


Рисунок 4 – Диаграмма предельного равновесия для пиковой и остаточной прочности в статике

Таблица 3 - Динамические испытания пылеватого песка на срез при давлении $\sigma = 100$ кПа

Перемещения	Показания динамометра		Вертикальное давление	Приращение горизонтальных напряжений	Горизонтальные напряжения
	мм	делений			
0	0	0	100	0	0
1	0.112	0.17584	100	0.3213	43.9410
2	0.148	0.23236	100	0.6426	58.5746
3	0.167	0.26219	100	0.9639	66.7100
4	0.181	0.28417	100	1.2852	73.0449
5	0.185	0.29045	100	1.6065	75.3184
6	0.186	0.29202	100	1.9278	76.3664
7	0.182	0.28574	100	2.2491	75.2097
8	0.176	0.27632	100	2.5704	73.0914
9	0.173	0.27161	100	2.8917	72.2859
10	0.169	0.26533	100	3.2134	70.9677
11	0.164	0.25748	100	3.5343	69.1025
12	0.161	0.25277	100	3.8556	68.1515
13	0.155	0.24335	100	4.1769	65.6230
14	0.152	0.23864	100	4.4962	64.5507
15	0.151	0.23707	100	4.8195	64.4844

Таблица 4 - Динамические испытания пылеватого песка на срез при давлении $\sigma = 200$ кПа

Перемещения	Показания динамометра		Вертикальное давление	Приращение горизонтальных напряжений	Горизонтальные напряжения
	мм	делений			
0	0	0	200	0	0
1	0.227	0.35639	200	0,6426	89.0810
2	0.322	0.50554	200	1,2852	127.7320
3	0.351	0.55107	200	1,9278	140.4701
4	0.352	0.55264	200	2,5704	141.8630
5	0.355	0.55735	200	3,213	144.1723
6	0.349	0.54793	200	3,8556	142.6178
7	0.346	0.54322	200	4,4982	142.3455
8	0.338	0.53066	200	5,1408	139.7725
9	0.320	0.50240	200	5,7834	132.4137
10	0.308	0.48356	200	6,426	127.6019
11	0.291	0.45687	200	7,0686	120.1343
12	0.256	0.43332	200	7,712	113.3240
13	0.257	0.40349	200	8,3538	104.1578
14	252	0.39564	200	8,9964	101.8784
15	250	0.39250	200	9,639	101.1959

Таблица 5 - Динамические испытания пылеватого песка на срез при давлении $\sigma = 300$ кПа

Перемещения	Показания динамометра		Вертикальное давление	Приращение горизонтальных напряжений	Горизонтальные напряжения
	мм	делений			
0	0	0	300	0	0
1	0.325	0.51025	300	0,9639	127.4273
2	0.412	0.64684	300	1,9278	162.6988
3	0.448	0.70336	300	2,8917	178.1507
4	0.469	0.73633	300	3,8556	187.8564
5	0.475	0.74575	300	4,8195	191.4781
6	0.483	0.75831	300	5,7834	196.1238
7	0.482	0.75674	300	6,7473	196.9221
8	0.475	0.74575	300	7,7112	195.0064
9	0.463	0.72691	300	8,6751	190.6710
10	0.435	0.68295	300	9,639	178.5027
11	0.412	0.64684	300	10,6023	168.2358
12	0.398	0.62486	300	11,5668	161.9979
13	0.389	0.61073	300	12,5307	158.0255
14	0.381	0.59817	300	13,4946	154.3874
15	0.382	0.59974	300	14,4585	155.3960

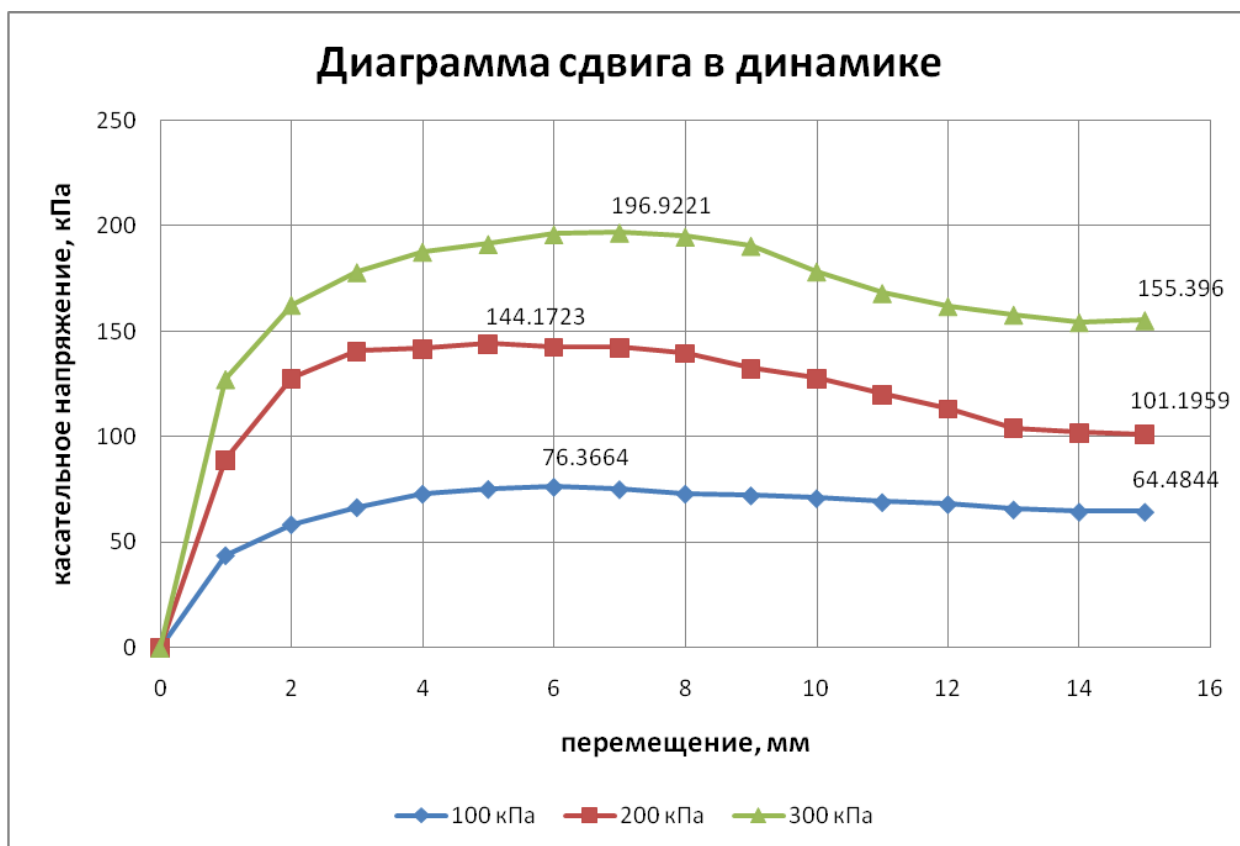


Рисунок 5 – График зависимости между перемещением и касательным напряжением в динамике

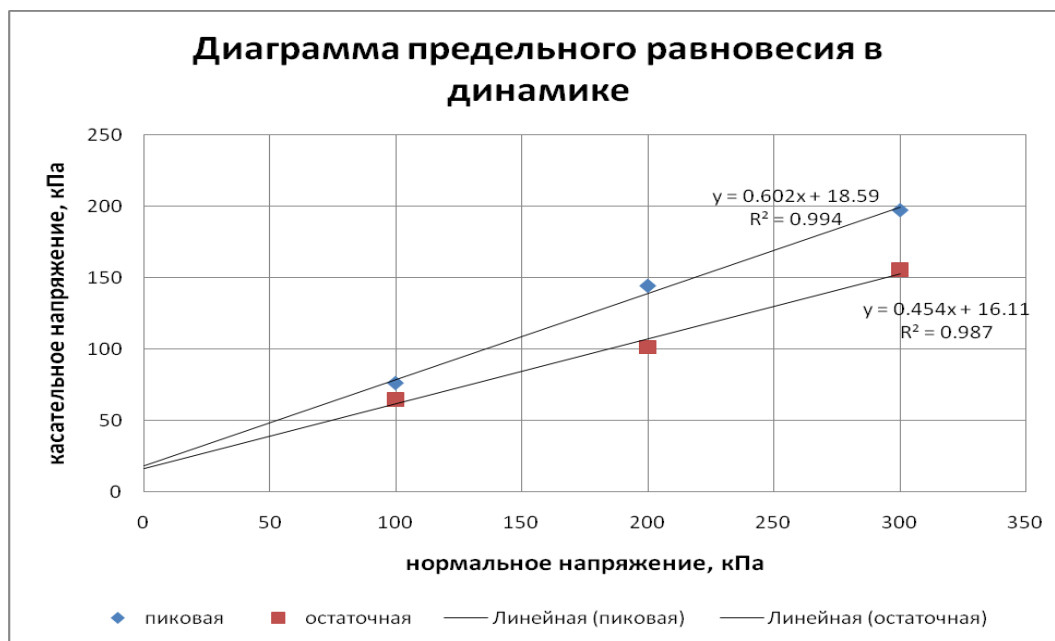


Рисунок 6 – Диаграмма предельного равновесия для пиковой и остаточной прочности в динамике

Обсуждение.

В процессе статических и вибродинамических срезных испытаний пылеватого песка получены следующие характеристики сопротивления сдвигу [5]:

– количественное значение угла внутреннего трения φ грунта, полученное для пиковой прочности при статическом воздействии составляло $\varphi_{ст}^{пик} = 29^{\circ}46'$, для остаточной – $\varphi_{ст}^{ост} = 18^{\circ}28'$; количественное значение удельного сцепления C для пиковой прочности $C_{ст}^{пик} = 30,62$ кПа, соответственно, для остаточной – $C_{ст}^{ост} = 19,29$ кПа;

– количественное значение угла внутреннего трения φ грунта, полученное для пиковой прочности при динамическом воздействии составляло $\varphi_{дин}^{пик} = 31^{\circ}03'$, для остаточной – $\varphi_{дин}^{ост} = 24^{\circ}25'$; количественное значение удельного сцепления C для пиковой прочности $C_{дин}^{пик} = 18,59$ кПа, соответственно, для остаточной – $C_{дин}^{ост} = 16,11$ кПа.

Заключение.

По результатам лабораторных испытаний можно сделать следующие выводы:

– сопротивление сдвигу пылеватых песков [6] характеризуется пиковой и остаточной прочностью как при статических, так и при вибродинамических воздействиях;

- для условий плоской деформации (при статических и вибродинамических воздействиях) устанавливаются характеристики сопротивления сдвигу пылеватых песков, соответствующие остаточной прочности и подчиняющиеся закону сухого трения Кулона. Параметр φ_k уравнения предельного равновесия оказывается постоянным и определяется только вещественным составом грунта. Установлено, что угол внутреннего трения пылеватых песков в условиях статического и вибродинамического нагружения инвариантен;

- влияние динамического воздействия может приводить как к уменьшению, так и к увеличению сопротивления сдвигу. Изменение сопротивления сдвигу пылеватых песков при вибродинамических воздействиях зависит от изменения напряженного состояния и

характеризуется изменением величины сцепления, зависящего от типа и характера взаимодействий между частицами грунта и возможности их изменений в процессе сдвига.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Яковлева Г.Г., Иванов Д.И. Моделирование прочности и устойчивости земляного полотна. – М.: Транспорт, 1980. – 255 с.
- [2] Коншин Г.Г. Вибросейсмическая диагностика эксплуатируемого земляного полотна. – М.: Транспорт, 1994. – 216 с.
- [3] Хомяков В. А., Исаханов Е. А., Квашнин М.Я. Некоторые особенности проведения испытаний грунтов в срезных приборах. Труды Международного геотехнического симпозиума. - Санкт-Петербург, 2003, С. 235 – 237.
- [4] ГОСТ 12248-96 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости – М.: Изд-во стандартов, 1996.
- [5] Квашнин М.Я. Экспериментальные исследования прочностных характеристик глинистых грунтов для прогноза устойчивости транспортных сооружений. Дисс. на соиск. уч. степени канд.тех.наук, Алматы, 2005.
- [6] ГОСТ 25100-95 Грунты. Классификация: государственный стандарт. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1996.

REFERENCES*

- [1] Yakovleva G.G, Ivanov D.I. Modeling the strength and stability of the roadbed. – M.: Transport, 1980. – P. 255.
- [2] Konshin G.G.. Vibroseismic diagnostics of the exploited roadbed. – M.: Transport, 1994. – P. 216.
- [3] Khomyakov V. A., Isakhanov E. A., Kvashnin M.Ya. Some features of soil testing in shear devices. Proceedings of the International Geotechnical Symposium. - Sanct- Peterburg, 2003, Pp. 235 – 237.
- [4] GOST 12248-96 Soils. Methods of laboratory determination of strength and deformability characteristics. – M.: Publishing House of Standards, 1996.
- [5] Kvashnin M.Ya. Experimental studies of the strength characteristics of clay soils for predicting the stability of transport structures. Diss. for the degree of Candidate of Technical Sciences, Almaty, 2005.
- [6] GOST 25100-95 Soils. Classification: state standard. – M.: IPK Publishing House of Standards, 1996.

Гульмира Бихожаева, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Mukhametzhan Tynyshbayev ALT University, Алматы, Қазақстан, gulmira_180866@mail.ru

Турлы Дүйсенғалиева, т.ғ.к., ассистент профессор, Mukhametzhan Tynyshbayev ALT University, Алматы, Қазақстан, t.dyusengalieva@alt.edu.kz

ДІРЛІ ӘСЕРІНЕН БАРХАН ҚҰМДАРДАРДЫҢ БЕРІКТІГІ

Аңдатпа. Біртұтас емес топырақтардан тұратын топырақ жасанды құрылымдарының тұрақтылығы сенімділік мәселесінің маңызды инженерлік міндеттерінің бірі болып табылады, оны шешу тек кешенді әдісі негізінде мүмкін болады. Тұрақтылықты есептеу кезінде туындайтын маңызды мәселелердің бірі - есептеудің дұрыстығы мен дәлдігі тәуелді болатын топырақтың есептік сипаттамаларын анықтау.

Мұндай сипаттамалар топырақтың беріктігінің көрсеткіштері болып табылады - ішкі үйкеліс бұрышы, ішкі үйкеліс коэффициенті және меншікті адгезия. Қазіргі уақытта оларды темір және автомобиль жолдарының жер төсемдерінің үйінділері мен қазбалары құрамындағы топырақ массивтерінің нақты кернеулі-деформацияланған күйіне барынша жақын жағдайларда эксперименттік анықтау міндеті өзекті болып табылады. Бұл жұмыстың мақсаты әлсіз байданысқан топырақтардың беріктік сипаттамасына, әртүрлі тығыздағыш тік жүктемелерге сәйкес келетін кернеулі деформацияланған күйдің әсерін зерттеу болды. Сынақ нәтижелерін өңдеу жазықтығындағы топырақтың жанасу бетінің ауданының өзгеруін және топырақ пен құрылғының металл қысқышы арасындағы үйкеліс күштерін ескере отырып жүргізілді. Сынақтарды жүргізу кезінде жылжу жылдамдығы топырақ үлгісінің шеттеріндегі тангенс кернеулерінің шоғырлануын болдырмады. Құрылғыдағы кесу кезінде топырақтың кернеулі деформацияланған күйі заттай жағдайда жылжу кезінде топырақтың нақты кернеулі деформацияланған күйін модельдеді. Осы жұмыста көрсетілген нәтижелерді бұзылған құрылымның байланыссыз топырақтарынан тұратын жасанды құрылымдардың тұрақтылығын есептеуде қолдану ұсынылады.

Түйінді сөздер. Үйінді, әлсіз байланысқан топырақ, бархан құм, беріктік параметрлері, жылжу сипаттамалары.

Gulmira Bikhoshaeva, candidate of technical sciences, associate professor, Mukhametzhhan Tynyshbayev ALT University, Almaty, Kazakhstan, gulmira_180866@mail.ru

Turly Dyusengalieva, candidate of technical sciences, assistant professor, Mukhametzhhan Tynyshbayev ALT University, Almaty, Kazakhstan, t.dyusengalieva@alt.edu.kz

THE STRENGTH OF SAND DUNES UNDER VIBRATION INFLUENCES

Annotation. The stability of artificial ground structures consisting of disconnected soils is one of the most important engineering tasks of the reliability problem, the solution of which is possible only on the basis of an integrated approach. One of the most significant problems encountered in stability calculations is the determination of the calculated characteristics of the soil, on which the correctness and accuracy of the calculation depend. Such characteristics are indicators of soil strength – the angle of internal friction, the coefficient of internal friction and specific adhesion. Currently, the task of their experimental determination is relevant in conditions as close as possible to the actual stress-strain state of soil massifs in the composition of embankments and excavation of the roadbed of railways and highways. The purpose of this work was to study the effect of the stress-strain state corresponding to various compacting vertical loads on the strength characteristics of non-cohesive soils. The test results were processed taking into account changes in the area of the contact surface of the soil in the shear plane and the friction forces between the soil and the metal holder of the device. The shear rate during the tests excluded the concentration of shear stresses at the edges of the soil sample. The stress-strain state of the soil during cutting in the device simulated the real stress-strain state of the soil during shear under field conditions. The results presented in this paper are recommended to be used in calculations of the stability of soil artificial structures consisting of disconnected soils of a disturbed structure.

Keywords. Embankment, loose soil, sand dunes, strength parameters, shear characteristics.
