

Исследование параметров прочности грунтов при статическом и динамическом воздействиях

*¹Сагыбекова А.О., ¹Сартаев Д.Т., ¹Азанбеков О.А., ¹Азербаев А.А.

¹Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, г.Алматы, Казахстан

*Автор-корреспондент email: sao-81@mail.ru

Аннотация

Статья посвящена исследованию эффективности применения сдвиговых устройств для определения механических свойств грунтов, которые играют решающую роль при проектировании и строительстве инженерных сооружений. Рассматриваются различные конструкции сдвиговых приборов, особенности их применения в лабораторных и полевых условиях, а также методы регистрации и обработки полученных данных. Особое внимание уделяется влиянию параметров испытаний — таких как тип и влажность грунта, уплотнение, нагрузка — на точность результатов. Рассматривается значимость результатов сдвиговых испытаний для анализа устойчивости и надёжности геотехнических конструкций: фундаментов, насыпей, откосов, подпорных стен. Также затрагивается вопрос практической интерпретации полученных характеристик при инженерных расчётах и численном моделировании. Представленные в статье выводы подтверждают важность применения современных сдвиговых устройств как инструмента для комплексной оценки прочностных и деформационных характеристик грунтов. Полученные данные могут быть использованы при принятии проектных решений и обеспечении безопасной эксплуатации строительных объектов в различных инженерно-геологических условиях.

Ключевые слова: свойства почвы, испытания на сдвиг, суглинонок, влага, прочность, нагрузка.

Информация об авторах:

Сагыбекова А.О. Кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Транспортное строительство и производство строительных материалов», КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Казахстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5679-5816>. E-mail: sao-81@mail.ru

Сартаев Д.Т. магистрант образовательной программы 7М07314 – «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», кафедра «Транспортное строительство и производство строительных материалов», КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Казахстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2817-0955>. E-mail: sardt@mail.ru

Азанбеков О.А. магистрант образовательной программы 7М07314 – «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», кафедра «Транспортное строительство и производство строительных материалов», КазАДИ им.Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Казахстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5429-1809>. E-mail: azanbekov06@mail.ru

Азербаев А.А. магистрант образовательной программы 7М07314 – «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», кафедра «Транспортное строительство и производство строительных материалов», КазАДИ им.Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Казахстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7878-7972>. E-mail: azzz_08202@mail.ru

Техникалық ғылымдар. Сәулет және құрылыш

<https://doi.org/10.63377/3005-4966.1-2024-04>

ӘОЖ: 624.131

FTAMP: 73.29.11

Статикалық және динамикалық әсер ету кезінде топырақ беріктігінің параметрлерін зерттеу

*¹Сагыбекова А.О., ¹Сартаев Д.Т., ¹Азанбеков О.А., ¹Азербаев А.А.

¹Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ., Қазақстан

*Автор-корреспондент email: sao-81@mail.ru

Түйіндеме

Макала келді:
27 қараша 2023
Саралтамадан өтті:
05 ақпан 2024
Қабылданды:
26 ақпан 2024

Мақала инженерлік құрылымдарды жобалау мен салуда шешуші рөл атқаратын топырақтың механикалық қасиеттерін анықтау үшінвигысу құрылғыларын қолданудың тиімділігін зерттеуге арналған. Жылжымалы құрылғылардың әртүрлі конструкциялары, оларды зертханалық және далалық жағдайларда қолдану ерекшеліктері, сондай-ақ алынған деректерді тіркеу және өндөу әдістері қарастырылады. Сынақ параметрлерінің — топырақтың түрі мен ылғалдылығы, тығыздау, жүктеме сияқты — нәтижелердің дәлдігіне әсеріне ерекше назар аударылады. Геотехникалық құрылымдардың: Іргетастардың, үйінділердің, беткейлердің, тіреу кабыргаларының тұрақтылығы мен сенімділігін талдау үшін сұйықтың сияқтары нәтижелерінің маңыздылығы қарастырылады. Инженерлік есептеулер мен сандық модельдеу кезінде алынған сипаттамаларды практикалық түсіндіру мәселеі де қозғалады. Мақалада келтірілген тұжырымдар топырақтың беріктігі мен деформациялық сипаттамаларын кешенді бағалау құралы ретінде заманауиғысу құрылғыларын қолданудың маңыздылығын растайды. Алынған деректер жобалау шешімдерін қабылдау және әртүрлі инженерлік-геологиялық жағдайларда құрылышы объектілерін қауіпсіз пайдалануды қамтамасыз ету кезінде пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: топырақтың қасиеттері, ығысу сынақтары, саздақ, ылғал, беріктік, жүктеме.

Сагыбекова А.О.	Авторлар туралы ақпарат: Техника ғылымдарының кандидаты, "Көлік құрылышы және құрылыш материалдарын өндіру" кафедрасының қауымдастырылған профессоры. Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ., Қазақстан, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-5679-5816 . e-mail: sao-81@mail.ru
Сартаев Д.Т.	Л. Б. Гончаров аты материалдарын өндіру» кафедрасы 7М07314 – «Автомобиль жолда нындағы Қазақ автомобиль-жол институты «Көлік құрылышы және құрылышы материалдарын өндіру» кафедрасы 7М07314 – «Автомобиль жолдары мен аэродромдар құрылышы» білім беру бағдарламасының магистранты, Алматы қ., Қазақстан. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-2817-0955 . E-mail: sardt@mail.ru
Азанбеков О.А.	Л. Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты «Көлік құрылышы және құрылыш материалдарын өндіру» кафедрасы 7М07314 – «Автомобиль жолдары мен аэродромдар құрылышы» білім беру бағдарламасының магистранты, Алматы қ., Қазақстан. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-5429-1809 . E-mail: azanbekov06@mail.ru
Азербаев А.А.	Л. Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты «Көлік құрылышы және құрылыш материалдарын өндіру» кафедрасының магистранты, Алматы қ., Қазақстан Республикасы. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7878-7972 . E-mail: azzz_08202@mail.ru

Investigation of soil strength parameters under static and dynamic influences***¹Sagybekova A.O., ¹Sartaev D.T., ¹Azanbekov O.A., ¹Azerbaev A.A.**¹Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Republic of Kazakhstan*Corresponding author email: sao-81@mail.ru**Abstract**

Received:
27 November 2024
Peer-reviewed:
05 February 2024
Accepted:
26 February 2024

The article is devoted to the study of the effectiveness of the use of water devices to determine the mechanical properties of soils, which play a decisive role in the design and construction of engineering structures. Various designs of mobile devices, the features of their use in laboratory and field conditions, as well as methods of recording and processing the received data are considered. Particular attention is paid to the influence of test parameters — such as soil type and moisture, compaction, load — on the accuracy of the results. The importance of the results of water tests for the analysis of the stability and reliability of geotechnical structures: foundations, rubble, slopes, retaining walls is considered. The problem of practical interpretation of the characteristics obtained in engineering calculations and numerical modeling is also touched upon. The conclusions presented in the article confirm the importance of the use of modern water devices as a means of a comprehensive assessment of the strength and deformation characteristics of soils. The data obtained can be used when making design decisions and ensuring the safe operation of construction objects in various engineering and geological conditions.

Keywords: soil properties, shear tests, clay, moisture, strength, load.

Sagybekova A.O.	<p>Information about authors: Candidate of Technical Sciences, Senior lecturer of the Department "Transport Construction and Production of Building materials", Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Kazakhstan, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-5679-5816. E-mail: sao-81@mail.ru</p>
Sartaev D.T.	<p>Master's student of the educational program 7M07314 – "Construction of highways and airfields", Department of "Transport Construction and production of building materials", KAZADI named after L.B. Goncharov, Almaty, Republic of Kazakhstan, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-9976-4320. E-mail: sardt@mail.ru</p>
Azanbekov O.A.	<p>Master's student of the educational program 7M07314 – "Construction of highways and airfields", Department of "Transport Construction and production of building materials", KAZADI named after L.B. Goncharov, Almaty, Republic of Kazakhstan, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-5429-180. E-mail: azanbekov06@mail.ru</p>
Azerbaev A.A.	<p>Master's student of the educational program 7M07314 – "Construction of highways and airfields", Department of "Transport Construction and production of building materials", KAZADI named after L.B. Goncharov, Almaty, Republic of Kazakhstan, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7878-7972. E-mail: azzz_08202@mail.ru</p>

Введение

Исследование механических свойств грунтов является важным этапом геотехнических изысканий, направленных на обеспечение надёжности и устойчивости строительных объектов. Одной из ключевых задач экспериментальных исследований является получение точных и достоверных данных, характеризующих поведение грунтов под воздействием различных нагрузок. Среди множества методов определения прочностных характеристик грунтов особое место занимают сдвиговые испытания. Эти испытания считаются одними из наиболее простых в реализации и одновременно соответствуют требованиям действующих нормативных документов. Сдвиговые испытания позволяют получить информацию о сдвиговых характеристиках грунта, что имеет принципиальное значение при проектировании и строительстве различных инженерных сооружений. Цель настоящего исследования — анализ эффективности сдвиговых испытаний с использованием срезных приборов для получения достоверных данных о механических свойствах грунтов. В рамках работы рассматриваются различные конструкции приборов, условия их применения, а также влияние полученных результатов на обеспечение устойчивости геотехнических конструкций.

Методы

Сдвиговые приборы широко применяются для изучения свойств грунтов при вибродинамических и циклических испытаниях. Для исследований используются разнообразные конструкции сдвиговых приборов. В них динамическая нагрузка прикладывается, как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Однако большинство этих приборов не имеют измерительных устройств, контролирующих фактически действующее напряжение в грунте. В то же время очень важно при обработке экспериментальных данных использовать не предполагаемые, а фактически действующие напряжения в образце. Следует отметить, что подобные приборы обладают и целым рядом недостатков. Наиболее характерными из них являются: неоднородность напряженного состояния по высоте образца, трение образца грунта по стенкам прибора, трение грунта по торцам обойм прибора в процессе сдвига, наличие конструктивного зазора между сдвигаемыми обоймами, незначительная абсолютная деформация грунта из-за тонкой стенки обойм прибора и др.

Прибор производит сдвиг образца грунта по кинематической схеме деформирования. При этом скорость сдвига может изменяться от 0,5 до 0,01 мм/мин. В опытах, представленных ниже, скорость равнялась 0,15 мм/мин. Конструкция обойм сдвигового прибора позволяет получать величину относительной деформации образца до 27%. Характерной особенностью прибора является возможность выполнять сдвиг образца грунта несколько раз при постоянном значении нормального напряжения σ_p . После сдвига, без изменения вертикальной нагрузки, обойма прибора принудительно возвращается в начальное положение, и сдвиг образца повторяется заново. Это позволяет наиболее точно определить значение остаточного сопротивления сдвигу, а, следовательно, и остаточной прочности грунта. Работа прибора организована в статическом и динамическом режимах нагружения. Вибродинамическое воздействие на образец грунта передается за счет наложения на нормальное напряжение вертикальной составляющей от действия вращательного вибратора. Изменение нормального напряжения в приведенных в данной работе опытах составляло следующие значения: при 100 кПа – 25 кПа, при 200 кПа – 20 кПа, при 300 кПа – 15 кПа. Фактически действующее значение нормального напряжения σ_p регистрировалось мессодозой, встроенной в штамп нижней обоймы. Работа прибора происходила в автоматическом режиме.

Экспериментальные исследования влияния изменения нормального напряжения $\Delta\sigma_p$ на сопротивление сдвигу проведены с двумя видами суглинка. Образцы грунта были взяты с горы Кок-Тюбе (Зайлийский Алатау, Алматы). Суглинок мягкопластичный (№20-24) с глубины 22 метра, делювиального происхождения с естественной влажностью $W=0,138$, числом

пластичности $JP=0,098$, границей раскатывания $WP=0,205$, границей текучести $WL=0,303$, коэффициентом консистенции (показателем текучести) $JL=-0,68$, плотностью твердых частиц $\rho S=2,7 \text{ г}/\text{см}^3$, плотностью $\rho=1,55 \text{ г}/\text{см}^3$. При обработке экспериментальных данных использовались представления критерия прочности Кулона. В условиях динамического нагружения за основу принятая гипотеза, что для параметров, соответствующих остаточной прочности грунтов, угол внутреннего трения – есть величина постоянная, независящая от вида нагружения. Полученные экспериментальные данные позволяют выяснить условия применимости принятой гипотезы. При обработке результатов определение значения действующего при сдвиге нормального напряжения выполнялось из условия:

$$\sigma_n = \sigma_n \cdot cr - \alpha \Delta \sigma_n, (1)$$

Здесь в качестве параметра, характеризующего запаздывание изменения внутренних связей в грунте при динамике, введен коэффициент α , который может изменяться от -1 до $+1$. Физический смысл данного коэффициента в том, что действие вибрации накладывает дополнительное влияние на напряженное состояние образца грунта и приводит к изменению напряжений по высоте образца. Представляется, что периодически повторяющееся вибрационное воздействие формирует в образце грунта напряжения, которые за период вибонагружения по величине отличаются от среднего. Поэтому при обработке данных эксперимента очень важно правильно и точно установить значение нормального напряжения, действующего в образце грунта при вибрации. Значение коэффициента также определяется видом и состоянием грунта. Считается, что при динамическом воздействии в песке практически нет потери напряжений по высоте образца. Песок маловлажный и прилипание по стенкам прибора почти не происходит. При испытании глинистого грунта пластичное состояние обеспечивает частичное прилипание к стенкам прибора. Это приводит к тому, что образец грунта несколько меняет свою начальную плотность, увеличиваются силы трения по боковой поверхности обойм прибора, происходит концентрация касательных напряжений и потеря части нормального напряжения в плоскости сдвига.

Результаты

Результаты испытаний суглинков, проведенных для сравнения в статическом и динамическом режимах нагружения, включают в себя анализ данных сопротивления сдвигу при первичном и последующем воздействии, соответствующем остаточной прочности грунта. Изначально полученные данные кажутся противоречивыми. Например, испытания грунта с маркировкой 20-24 показали, что динамическое воздействие приводит к увеличению сопротивления сдвигу (рис.1).

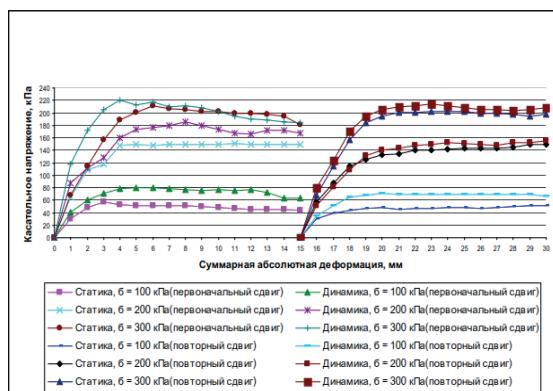


Рисунок 1. Диаграммы сопротивления сдвигу грунта №1 при статическом

и динамическом нагружениях [материал автора]

Этот эффект подтвержден при последующем воздействии. В то же время влияние динамической нагрузки оказывается несколько меньше, чем при первичном воздействии. Интерпретация результатов испытания при статике в смысле представлений закона трения Кулона устанавливает для грунта значения угла внутреннего трения $\varphi_{ст}=33,5^\circ$ и сцепления $c_{ст}=0,3\text{кПа}$. Испытания при динамике с учетом изменения напряженного состояния по условию (1) с коэффициентом $\alpha = -1$ устанавливают для грунта значения угла внутреннего трения $\varphi_{дин}=29^\circ$ и сцепления $c_{дин}=2\text{кПа}$.

Например, для грунта 20-24 влажность составляет 13,8. Вероятно, именно уровень влажности играет ключевую роль в особенностях поведения суглинка при динамическом воздействии, вызывая изменения в минералогическом составе грунта. Для всех испытаний вырисовывается общая закономерность, связанная с незначительным уменьшением угла внутреннего трения и повышением связности грунта.

Диаграмма предельного состояния приведена на рисунке 2.

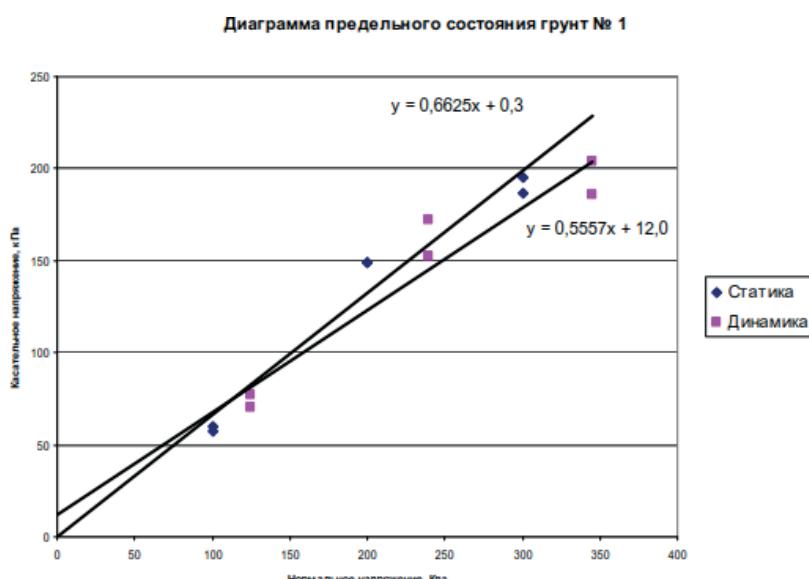


Рисунок 2. Диаграмма предельного состояния грунта №1 Изученные грунты преимущественно различаются по уровню влажности [материал автора]

Обсуждение

Результаты показывают, что влияние вибрации на прочность глинистых грунтов проявляется комплексно. Уменьшение угла внутреннего трения связано с изменением напряженного состояния и перераспределением касательных напряжений. Повышение сцепления может быть обусловлено микроструктурной перестройкой и времененным уплотнением под действием вибрации. Коэффициент α , отражающий потерю или накопление нормального напряжения, оказался значимым фактором в интерпретации динамических испытаний. Он зависит от влажности и структуры грунта. При испытаниях влажного суглинка наблюдалось большее прилипание к стенкам прибора, что увеличивало трение и снижало достоверность распределения напряжений по высоте.

Таким образом, представленные методы и полученные данные подтверждают целесообразность использования сдвиговых приборов с возможностью фиксации фактических напряжений, особенно при динамическом нагружении. Результаты позволяют уточнить условия применимости гипотезы постоянного угла внутреннего трения для оценки остаточной прочности грунтов при вибрационном воздействии.

Выводы

Испытания в сдвиговых приборах позволяют определить фактическое значение остаточной прочности для всех видов несkalьных грунтов. Проведение повторных сдвигов даёт возможность зафиксировать площадку скольжения, которая не всегда формируется при первичном сдвиге. На сформированной площадке сопротивление сдвигу соответствует длительной прочности грунта.

Для глинистых грунтов изменение сопротивления сдвигу под действием вибрации достаточно точно объясняется изменением напряжённого состояния в грунте и зависит от его влажности.

Воздействие вибрационной нагрузки на глинистые грунты проявляется в незначительном снижении угла внутреннего трения и увеличении связности.

Конфликт интересов. Корреспондент автор заявляет, что конфликта интересов нет.

Ссылка на данную статью: Сагыбекова АО, Сартаев ДТ, Азанбеков ОА, Азербаев АА. Исследование параметров прочности грунтов при статическом и динамическом воздействиях. Вестник Казахского автомобильно-дорожного института = Bulletin of Kazakh Automobile and Road Institute = Kazakh avtomobil-zhol institutyn Khabarshysy. 2024; 1(5),41-47. <https://doi.org/10.63377/3005-4966.1-2024-04>

Cite this article as: Sagybekova AO, Sartaev DT, Azanbekov OA, Azerbaev AA. Issledovanie parametrov prochnosti gruntov pri staticheskem i dinamicheskem vozdejstviyah [Investigation of soil strength parameters under static and dynamic influences]. Vestnik Kazahskogo avtomobil'no-dorozhnogoinstituta= Bulletin of Kazakh Automobile and Road Institute = Kazakh avtomobil-zhol institutyn Khabarshysy. 2024; 1(5),41-47. (In Rus.). <https://doi.org/10.63377/3005-4966.1-2024-04>

Литература

- [1] Ухов С.Б. и др. Механика грунтов, основания и фундаменты: Учеб. пособие для строит. спец. вузов. Москва: Высшая школа. 2002, 566.
- [2] Хомяков В.А., Исаханов Е.А., Квашнин М.Я. Некоторые особенности проведения испытаний грунтов в срезных приборах. Труды Международного геотехнического симпозиума «Фундаментостроение в сложных инженерно-геологических условиях». Санкт-Петербург, Россия. 2003, 235-237.
- [3] Исаханов Е.А. Реологические свойства плотных глинистых грунтов и расчеты сооружений. Алматы, Казахстан. 2000, 144.

References

- [1] Uhov SB i dr. Mekhanika gruntov, osnovaniya i fundamenti: Ucheb. posobie dlya stroit. spec. vuzov [Mechanics of soils, foundations and foundations: A textbook for builders. special universities]. Moscow: Vysshaya shkola. 2002, 566. (in Russ.).
- [2] Homyakov VA, Isahanov EA, Kvashnin MYa. Nekotorye osobennosti provedeniya ispytanij gruntov v sreznyh priborah [Some features of soil testing in cutting devices]. Trudy Mezhdunarodnogo geotekhnicheskogo simpoziuma «Fundamentostroenie v slozhnyh inzhenerno-geologicheskikh usloviyah» [Proceedings of the International Geotechnical Symposium «Foundation Construction in difficult engineering and geological conditions»]. Saint-Petersburg, Russia. 2003, 235-237. (in Russ.).
- [3] Isahanov EA. Reologicheskie svojstva plotnyh glinistyh gruntov i raschety sooruzhenij [Reological properties of dense clay soils and calculations of structures]. Almaty, Kazakhstan. 2000, 144. (in Russ.).