

## Технические науки. Архитектура и строительство

<https://doi.org/10.63377/3005-4966.3-2024-05>

УДК: 624.131.3:001.33:006.354

МРНТИ: 52.29.29:52.29.35

**Примеры расчета по определению сопротивления сдвига сыпучих (несвязанных) грунтов**

**\*<sup>1</sup>Сагыбекова А.О., <sup>1</sup>Тыныштық Д.Ш., <sup>1</sup>Мажитов А.Ш., <sup>1</sup>Фольц Л.А.**

<sup>1</sup>Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Казахстан

\*Автор-корреспондент email: [sao-81@mail.ru](mailto:sao-81@mail.ru)

<p>Поступила: 17 мая 2024 Рецензирование: 28 июня 2024 Принята в печать: 03 сентября 2025</p>	<p><b>Аннотация</b></p> <p>В данной статье рассматриваются вопросы прочности сыпучих грунтов (песок, гравий, галька и др.), которые играют ключевую роль в инженерно-геологических изысканиях и проектировании фундаментов. Особое внимание уделяется анализу сопротивления сдвига несвязанных грунтов в лабораторных условиях. Основным механизмом сопротивления сдвига таких грунтов являются силы внутреннего трения, которые зависят от плотности грунта, величины нормального давления и угла внутреннего трения. В работе представлены два метода лабораторного определения параметров сдвига: одноплоскостный прибор прямого сдвига и стабилометр (триосное напряжённое состояние). Рассмотрены примеры проведения экспериментов с песчаными грунтами, в которых получены значения сцепления и угла внутреннего трения. Для одноплоскостного прибора прямого сдвига использовались данные трёх испытаний при различных нормальных нагрузках, позволяющие построить линейный график зависимости сопротивления сдвига от нагрузки. Для стабилометра приведена методика построения кругов Мора и нахождения общей касательной, определяющей параметры прочности. Обсуждены трудности, возникающие при проведении лабораторных исследований, связанные с обеспечением одинаковой плоскости сдвига образцов, точностью измерений и влиянием неоднородности грунтов. Подчёркнута важность правильного выбора метода испытаний в зависимости от поставленной задачи и условий исследования. Приведённые данные имеют практическое значение для проектирования оснований и фундаментов зданий и сооружений, повышения надёжности инженерных конструкций, а также для совершенствования методов оценки прочностных характеристик сыпучих грунтов.</p> <p><b>Ключевые слова:</b> грунты, сопротивление сдвига, песок, земляное полотно, пучинистые грунты, стабилизирующие добавки.</p>
<b>Сагыбекова А.О.</b>	<b>Информация об авторах:</b> Кандидат технических наук, КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан, ORCID ID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-5679-5816">https://orcid.org/0000-0001-5679-5816</a> . E-mail: <a href="mailto:sao-81@mail.ru">sao-81@mail.ru</a>
<b>Тыныштық Д.Ш.</b>	Магистрант, КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан, ORCID ID: <a href="https://orcid.org/0009-0009-9274-4528">https://orcid.org/0009-0009-9274-4528</a> . E-mail: <a href="mailto:4_dotya@mail.ru">4_dotya@mail.ru</a>
<b>Мажитов А.Ш.</b>	магистрант, кафедра «Транспортное строительство и производство строительных материалов», КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан, ORCID ID: <a href="https://orcid.org/0009-0002-3706-9215">https://orcid.org/0009-0002-3706-9215</a> . E-mail: <a href="mailto:azatmajitov@gmail.com">azatmajitov@gmail.com</a>
<b>Фольц Л.А.</b>	магистрант, кафедра «Транспортное строительство и производство строительных материалов», КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан, ORCID ID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-7656-5898">https://orcid.org/0000-0002-7656-5898</a> . E-mail: <a href="mailto:foltz.leon.9@gmail.com">foltz.leon.9@gmail.com</a>

Техникалық ғылымдар. Сәулет және құрылыш

<https://doi.org/10.63377/3005-4966.3-2024-05>

ӘОЖ: 624.131.3:001.33:006.354

ФТАМР: 52.29.29:52.29.35

## Борпылдақ (байланыссыз) топырақтардың сыйсуз кедергісін анықтау үшін есептеу мысалдары

**\*<sup>1</sup>Сагыбекова А.О., <sup>1</sup>Тыныштық Д.Ш., <sup>1</sup>Мажитов А.Ш., <sup>1</sup>Фольц Л.А.**

<sup>1</sup>Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан

\*Автор-корреспондент email: [sao-81@mail.ru](mailto:sao-81@mail.ru)

### Түйіндеме

Бұл мақалада инженерлік-геологиялық зерттеулер мен іргетастарды жобалауда шешуші рөл атқаратын борпылдақ Топырақтардың (құм, қызыршақ тас, малтатас және т.б.) беріктігі мәселелері қарастырылады. Зертханалық жағдайда байланысты емес топырақтың сыйсуына төзімділікті талдауға ерекше назар аударылады. Мұндай Топырақтардың сыйсуына төзімділіктің негізгі механизмі-бұл топырақтың тығыздығына, қалыпты қысымның мөлшеріне және ішкі үйкеліс бұрышына байланысты ішкі үйкеліс құштері. Жұмыста сыйсу параметрлерін зертханалық анықтаудың екі әдісі ұсынылған: бір жазықтықты тікелей сыйсу құралы және тұрақтандырыш (Триос кернеу қүйі). Құмды топырақтармен тәжірибе жүргізу мысалдары қарастырылады, онда адгезия және ішкі үйкеліс бұрышының мәндері алынады. Бір жазықтықты тікелей сыйсу құралы үшін әртүрлі қалыпты жүктемелердегі үш сынақ деректері пайдаланылды, бұл сыйсу кедергісінің жүктемеге тәуелділігінің сзықтық графигін құруға мүмкіндік береді. Тұрақтандырыш үшін Мор шенберлерін құру және беріктік параметрлерін анықтайтын жалпы тангенсті табу әдісі келтірілген. Үлгілердің бірдей сыйсу жазықтығын, өлшеу дәлдігін және топырақтың гетерогенділігінің әсерін қамтамасыз етуге байланысты зертханалық зерттеулер жүргізу кезінде туындастын қындықтар талқыланды. Тапсырма мен зерттеу шарттарына байланысты сынақ әдісін дұрыс тандаудың маңыздылығы атап өтілді. Жоғарыда келтірілген мәліметтер ғимараттар мен құрылыштардың негіздері мен іргетастарын жобалау, инженерлік құрылымдардың сенімділігін арттыру, сондай-ақ борпылдақ топырақтың беріктік сипаттамаларын бағалау әдістерін жетілдіру үшін практикалық маңызға ие.

**Түйін сөздер:** топырақтар, ығысуға төзімділік, құм, жер асты қабаты, көтергіш топырақ, тұрақтандыруши қоспалар.

Макала келді:  
17 мамыр 2024  
Саралтамадан өтті:  
28 маусым 2024  
Қабылданды:  
03 күркүйек 2024

<b>Сагыбекова А.О.</b>	<b>Авторлар туралы ақпарат:</b> Т.е.к., Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан, ORCID ID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-5679-5816">https://orcid.org/0000-0001-5679-5816</a> . e-mail: <a href="mailto:sao-81@mail.ru">sao-81@mail.ru</a>
<b>Тыныштық Д.Ш.</b>	<b>Магистрант, Л. Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан Республикасы.</b> ORCID ID: <a href="https://orcid.org/0009-0009-9274-4528">https://orcid.org/0009-0009-9274-4528</a> . E-mail: <a href="mailto:4_dotya@mail.ru">4_dotya@mail.ru</a>
<b>Мажитов А.Ш.</b>	<b>Магистрант, Л. Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан Республикасы.</b> ORCID ID: <a href="https://orcid.org/0009-0002-3706-9215">https://orcid.org/0009-0002-3706-9215</a> . E-mail: <a href="mailto:azatmajitov@gmail.com">azatmajitov@gmail.com</a>
<b>Фольц Л.А.</b>	<b>Магистрант, Л. Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан Республикасы.</b> ORCID ID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-7656-5898">https://orcid.org/0000-0002-7656-5898</a> . E-mail: <a href="mailto:foltz.leon.9@gmail.com">foltz.leon.9@gmail.com</a>

<https://doi.org/10.63377/3005-4966.3-2024-05>

UDC: 624.131.3:001.33:006.354

IRSTI: 52.29.29:52.29.35

## Calculation examples for determining the shear resistance of loose (non-cohesive) soils

**\*<sup>1</sup>Sagybekova A.O., <sup>1</sup>Tynyshtyk D. Sh., <sup>1</sup>Mazhitov A. Sh., <sup>1</sup>Foltz L.A.**<sup>1</sup>Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Republic of Kazakhstan\*Corresponding author email: [sao-81@mail.ru](mailto:sao-81@mail.ru)

### Abstract

Received:  
17 May 2024  
Peer-reviewed:  
28 June 2024  
Accepted:  
03 September 2024

This article discusses the strength of loose soils (sand, gravel, pebbles, etc.), which play a key role in engineering and geological surveys and foundation design. Special attention is paid to the analysis of shear resistance of unrelated soils in laboratory conditions. The main mechanism of shear resistance of such soils is the internal friction forces, which depend on the density of the soil, the magnitude of the normal pressure and the angle of internal friction. The paper presents two methods for laboratory determination of shear parameters: a single-plane direct shear device and a stabilometer (triaxial stress state). Examples of experiments with sandy soils are considered, in which the values of adhesion and the angle of internal friction are obtained. For a single-plane direct shear device, data from three tests under different normal loads were used to build a linear graph of the dependence of shear resistance on load. A method for constructing Mohr circles and finding a common tangent that determines the strength parameters is given for the stabilometer. The difficulties encountered in carrying out laboratory studies related to ensuring the same sample shear plane, measurement accuracy, and the influence of soil heterogeneity are discussed. The importance of choosing the right test method is emphasized, depending on the task at hand and the research conditions. These data are of practical importance for the design of foundations and foundations of buildings and structures, improving the reliability of engineering structures, as well as for improving methods for assessing the strength characteristics of loose soils.

**Keywords:** soils, shear resistance, sand, subgrade, heaving soils, stabilizing additives.

### Information about authors:

*Sagybekova A.O.* Candidate of Technical Sciences, 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](mailto:sao-81@mail.ru)

*Tynyshtyk D.Sh.* Master's student, KAZADI named after L.B. Goncharov, Almaty, Republic of Kazakhstan, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-9274-4528>. E-mail: [4\\_dotya@mail.ru](mailto:4_dotya@mail.ru)

*Mazhitov A.Sh.* Master's student, KAZADI named after L.B. Goncharov, Almaty, Republic of Kazakhstan, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-3706-9215>. E-mail: [azatmazitov@gmail.com](mailto:azatmazitov@gmail.com)

*Foltz L.A.* Master's student, KAZADI named after L.B. Goncharov, Almaty, Republic of Kazakhstan, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7656-5898>. E-mail: [foltz.leon.9@gmail.com](mailto:foltz.leon.9@gmail.com)

## Введение

В практике дорожного строительства Казахстана низкопрочные, малосвязывающие грунты дополнительно усиливаются с добавлением различных стабилизаторов, таких как цемент, известь, шлак и другие [4]. Эти материалы позволяют повысить прочность и устойчивость грунтовых оснований, особенно на трассах с интенсивным движением и неблагоприятными геологическими условиями. Например, при укреплении оснований дорожной одежды на автомобильной дороге «Омск–Майкапчагай» в качестве стабилизатора грунта использовался алюминиевый шлам, который показал положительные результаты.

Международный опыт показывает, что в передовых странах мира для повышения прочности и устойчивости грунтов применяются современные стабилизирующие добавки, такие как Soiltac, Polibond, Polidor, Consolid и другие жидкие закрепители грунта, усовершенствованные для экологически безопасных решений (Eco) [1-2]. Эти материалы с 2006 года начали внедряться и в автодорожной отрасли Казахстана. Однако процесс их применения сопровождается рядом технологических проблем: оптимальная норма распределения, определение области и объектов применения, адаптация к местным климатическим и грунтовым условиям [3-4].

Кроме того, при использовании полибонда в качестве стабилизатора грунта на ведомственных автомобильных дорогах АО «Казатомпром» были зафиксированы случаи разрушения земляного полотна и грунтового основания дорожных одежд из-за слабого сцепления грунта. Это указывает на необходимость более тщательного выбора типа и дозировки стабилизатора, а также на разработку эффективной технологии укрепления.

Также необходимо учитывать влияние климатических факторов, таких как сезонные колебания температуры, увлажненность грунтов и их водонасыщенность, на эффективность применения стабилизаторов. Это требует проведения дополнительных исследований по оценке долговечности и устойчивости грунтов с добавлением стабилизирующих материалов в реальных условиях эксплуатации.

Таким образом, совершенствование методов стабилизации грунтов с применением современных добавок и адаптация зарубежного опыта к местным условиям являются важной задачей для повышения надежности и долговечности автомобильных дорог Казахстана.

## Методы

В данном исследовании для определения сопротивления сдвигу сыпучих грунтов (песок, гравий, галька и др.) были использованы следующие методы:

- Лабораторные методы: Испытания образцов песчаного грунта на приборах одно-плоскостного прямого сдвига (конструкция Маслова-Лурье) при различных уровнях нормальных нагрузок; Испытания образцов песка в стабилометрах (триосное напряженное состояние) для определения параметров прочности (сцепления и угла внутреннего трения) при различных уровнях бокового давления.
- Графический метод: Построение графика зависимости сопротивления сдвигу  $S_{sp}$  от нормальной нагрузки  $p$  (рисунок 1); Построение кругов Мора для главных напряжений ( $p_1$  и  $p_2$ ), проведение касательной к этим кругам и определение угла внутреннего трения  $\phi_p$  и сцепления  $C_p$  (рисунок 2).
- Аналитические расчёты: Определение угла наклона линии на графике или касательной к кругам Мора для вычисления угла внутреннего трения  $\phi_p$  (по тангенсу угла наклона); Определение сцепления  $C_p$  по отрезку, который отсекается на оси ординат графика или касательной к кругам Мора.
- Экспериментальные методы: Проведение серии лабораторных испытаний песчаного грунта при различных плотностях и нагрузках для построения экспериментальных зави-

симостей; Сравнение экспериментальных данных с теоретическими моделями для верификации результатов.

## Результаты

Сопротивление сдвигу сыпучих грунтов (песок, гравий, галька и т.д.) обуславливается в основном силами внутреннего трения. Сопротивление сдвигу несвязанных грунтов определяется выражением [1,2]:

$$S_{pn} = p \cdot \operatorname{tg}\varphi + C_n \quad (1)$$

где  $S_{pn}$  – сопротивление сдвигу несвязанных грунтов, зависящее от нормальной нагрузки  $p$  и пористости грунта  $n$ ;  $\varphi_n$  – угол внутреннего трения, величина которого зависит от;  $C_n$  – сцепление (зацепление), зависящее также от пористости грунта  $n$ .

Определение сопротивления песчаных грунтов сдвигу в лабораторных условиях производят на приборах двух типов:

- в одноплоскостных приборах прямого сдвига (наиболее распространенная конструкция Маслова-Лурье);
- в приборах трехосного напряженного состояния – стабилометрах.

Необходимым условиям испытания на сдвиг песков является одинаковая плоскость всех испытуемых образцов грунта.

При испытаниях в одноплоскостных приборах прямого сдвига необходимо минимум три испытания на сдвиг при различных значениях нормальных нагрузок  $p_1$ ,  $p_2$  и  $p_3$ , соответствующие этим нагрузкам сопротивления сдвигу будут  $S_{1pn}$ ,  $S_{2pn}$ ,  $S_{3pn}$ .

По данным испытаний строится график сдвига (рисунок 1). Здесь по оси абсцисс откладываются нормальные напряжения  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ , а по оси ординат в том же масштабе – соответствующие им сопротивления сдвигу,  $S_{2pn}$ . Затем на указанных точек восстанавливаются перпендикуляры до их пересечения, если точки пересечения соединить прямой линией, то она представит собой прямую, соответствующую уравнению (1).

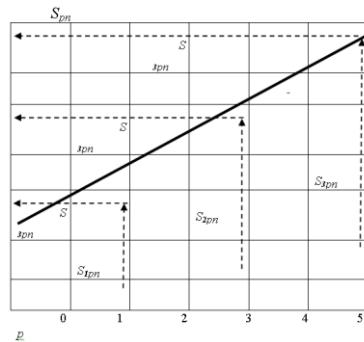


Рисунок 1. График зависимости сопротивления сдвигу песка от нормальной нагрузки [2]

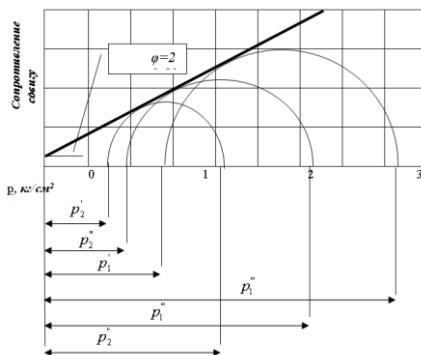
При испытании песков в приборах трехосного напряженного состояния – стабилометрах требуется также провести минимум три испытаний. Предельное равновесие при этом выражается следующей зависимостью [2]:

$$p_2 = p_1 \cdot \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \frac{\varphi_n}{2}) - 2 \cdot C_n \cdot \operatorname{tg}(45^\circ - \frac{\varphi_n}{2}) \quad (2)$$

где  $p_1$  – большее главное напряжение (вертикальная нормальная нагрузка), которое вызывает разрушение образца грунта, обжатого с боков нагрузкой  $p_2$  (меньшее главное напряжение);  $\varphi_n$  – угол внутреннего трения;  $C_n$  – сцепление.

Зависимость между главными напряжениями  $p_1$  и  $p_2$  и касательными  $\tau$  напряжениями можно представить с помощью кругов Мора. Предельный круг напряжений Мора строится для значений  $p_1$  и, удовлетворяющих условиям предельного равновесия (2).

Если в опытных испытаниях боковой нагрузке  $p_2$  образец был раздавлен при нагрузке  $p_1$ , при  $p_2 = p_1''$  и при  $p_2'' = p_1'''$ , то параметры сдвига  $\varphi_n$  и  $C_n$  по данным этих опытов определяются следующим образом: строится система координат в одинаковом масштабе, т.е. ординаты – сопротивление сдвигу  $S_{pn}$ , абсциссы – нормальные напряжения  $p$ . Для построения кругов напряжений на оси абсцисс откладываются значения главных напряжений  $p_1$  и  $p_2$  ( $p_1^{'}, p_2^{'}, p_1^'', p_2^'', p_1^''', p_2'''$ ) и на их разности, как на диаметре, строится окружности (рисунок 2). К этим кругам приводят общую касательную, составляющую с осью абсцисс угол  $\varphi_n$  и отсекающую на оси сцепления  $C_n$ . Эта касательная соответствует условию уравнения (2) [3].



**Рисунок 2.** Диаграмма сдвига песка по данным испытаний в стабилометре [2]

*Примеры обработки данных лабораторного испытания.* Для рыхлых песков прямая диаграммы сдвига идет от начала координат и поэтому достаточно испытаний двух образцов песка [3].

*Пример 1. Условия задание.* Песок намывается в подходную к мосту насыпь с объемным весом  $\gamma_{ck}=1,63 \text{ т}/\text{м}^3$ . При указанной плотности песок был испытан на сдвиг в одноплоскостном сдвиговом приборе, в результате чего получены следующие данные. Определить параметры сдвига песка при угле внутреннего трения  $\varphi_n$  и сцепления зацепления  $C_n$ .

*Исходные данные:* при вертикальной нагрузке  $p_1=1 \text{ кг}/\text{см}^2$  сопротивление сдвигу соответствует  $S_{1pn}=0,8 \text{ кг}/\text{см}^2$ ; при вертикальной нагрузке  $p_2=2 \text{ кг}/\text{см}^2 - S_{2pn}=1,5 \text{ кг}/\text{см}^2$ ; при вертикальной нагрузке  $p_3=3 \text{ кг}/\text{см}^2 - S_{3pn}=2,2 \text{ кг}/\text{см}^2$ .

*Условия оформления результатов испытаний.* Данные экспериментальных испытаний на сдвиг наносятся на график зависимости сопротивление сдвигу  $S_{pn}$  от нормальной нагрузки  $p$  (см. рис. 1) и опытные точки соединяются прямой [3].

*Ход решения.* Отрезок, отсекаемый этой прямой на оси ординат, принимается за сцепление зацепления  $C_n$ . Его величина обычно снимается прямо с графика с учетом масштаба чертежа. В условиях примера сцепление зацепления равно:  $C_n=0,1 \text{ кг}/\text{см}^3$ .

Угол внутреннего трения  $\varphi$  расчитывается по тангенсу угла наклона прямой сдвига (см. рис. 2.2). Поскольку в условиях примера опытные точки идеально ложатся на прямую сдвига, тангенс угла наклона прямой очевидно будет равен:

$$\operatorname{tg} \varphi_n = \frac{S_{pn}'' - S_{pn}'}{p_2 - p_1} = \frac{S_{pn}''' - S_{pn}''}{p_3 - p_2} \quad (3)$$

Следовательно:

$$\operatorname{tg} \varphi_n = \frac{1,5 - 0,8}{2 - 1} = \frac{2,2 - 1,5}{3 - 2} = 0,7.$$

**Пример 2. Условия задание.** Так же, как в предыдущей задаче. Определить параметры сдвига песка.

**Исходные данные.** При испытаний песка одной и той же плоскости в стабилометре получены следующие данные: при боковом давлении  $p_2 = 0,6 \text{ кг}/\text{см}^2$  образец разрушился под вертикальной нагрузкой  $p_1 = 2,35 \text{ кг}/\text{см}^2$ ; при боковом давлении  $p_2 = 0,85 \text{ кг}/\text{см}^2$  –  $p_1 = 3,10 \text{ кг}/\text{см}^2$ ; при  $p_2 = 1,30 \text{ кг}/\text{см}^2$  –  $p_1 = 4,30 \text{ кг}/\text{см}^2$ .

**Ход решения.**

1. На разность главных напряжений  $p_1 - p_2$  строим круг Мора и проводим касательную к этим кругам (см. рис. 2).

2. Сцепление зацепления  $C_n$  определяем с учетом масштаба графика по отрезку, который отсекает на оси ординат, касательная к кругам Мора. Эта величина равна:  $C_n = 0,2 \text{ кг}/\text{см}^2$ .

3. Определяем угол наклона касательно к кругам Мора. Для этого с графика снимаем любые две ординаты  $S_{pn}$ . Например, для  $p_1 = 2 \text{ кг}/\text{см}^2$  –  $S_{pn} = 1,25 \text{ кг}/\text{см}^2$ , также для  $p_2 = 3 \text{ кг}/\text{см}^2$  –  $S_{pn} = 1,80 \text{ кг}/\text{см}^2$ .

Тогда:

$$\operatorname{tg} \varphi_n = \frac{1,80 - 1,25}{3 - 2} = 0,55$$

таким образом,  $\operatorname{tg} \varphi_n = 0,55$ .

## Обсуждение

Результаты проведённых лабораторных исследований позволяют сделать выводы о закономерностях изменения сопротивления сдвигу песчаных грунтов в зависимости от нормальной нагрузки и применения различных методов испытания.

Испытания на приборах одноплоскостного прямого сдвига (конструкция Маслова-Лурье) подтвердили, что сопротивление сдвигу песчаного грунта возрастает с увеличением нормальной нагрузки. Линейная зависимость, отображённая на графике зависимости сопротивления сдвигу от нормальной нагрузки, чётко демонстрирует влияние сцепления (Сп) и угла внутреннего трения ( $\phi_p$ ) на прочностные характеристики грунта. В примерах лабораторных испытаний для рыхлого песка наблюдалось сцепление Сп около  $0,1 \text{ кг}/\text{см}^2$  и угол внутреннего трения  $\phi_p$  примерно  $27^\circ$ , что соответствует типичным показателям для песчаных грунтов.

Испытания в стабилометре (триосное напряжённое состояние) также подтвердили полученные ранее данные, продемонстрировав зависимость сопротивления сдвигу от разницы главных напряжений  $p_1$  и  $p_2$ . Построение кругов Мора и проведение общей касательной позволили определить угол внутреннего трения  $\phi_p$  и сцепление Сп, которые оказались близкими к данным одноплоскостных испытаний. Это говорит о согласованности методов и их высокой информативности.

Особое внимание следует уделить экспериментальным трудностям, связанным с обеспечением одинаковой плоскости всех испытуемых образцов и необходимостью строгого соблюдения методологии испытаний для получения корректных данных. Также стоит отметить, что значения сцепления Сп, полученные графически, могут варьироваться в зависимости от масштаба графиков и точности проведения испытаний. Наблюдаемые отклонения в результатах (например, при испытаниях на стабилометре) могут быть связаны с неоднород-

ностью структуры песчаного грунта, различиями в плотности и влажности образцов, а также влиянием человеческого фактора при подготовке и проведении экспериментов.

Таким образом, проведенное исследование показало, что применение лабораторных методов, включая одноплоскостное испытание и стабилометрические испытания, позволяет эффективно оценивать прочностные характеристики песчаных грунтов. Графический и аналитический методы обработки результатов обеспечивают достаточную точность для инженерных расчётов. В то же время, для повышения достоверности полученных данных важно строго следовать методике проведения испытаний и учитывать возможные погрешности.

## Выводы

Результаты данных расчетов распространяются на грунты, обработанные жидкостным стабилизатором ECO-ROADS (далее стабилизатор), применяемые:

- при устройстве верхней части рабочего слоя земляного полотна;
- при устройстве внутрихозяйственных дорог при отсутствии движения тяжелых транспортных средств;
- при сооружении и реконструкции земляного полотна из пучинистых грунтов для снижения относительной деформации пучения.

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

**Ссылка на данную статью:** Сагыбекова А.О., Тыныштық Д.Ш., Мажитов А.Ш., Фольц Л.А. Примеры расчета по определению сопротивления сдвигу сыпучих (несвязанных) грунтов // Вестник Казахского автомобильно-дорожного института = Bulletin of Kazakh Automobile and Road Institute = Kazakh avtomobil-zhol institutyn Khabarshysy. 2024;3 (7):39-46. <https://doi.org/10.63377/3005-4966.3-2024-05>

**Cite this article as:** Sagymbekova A.O., Tynyshtyk D.Sh., Mazhitov A.SH., Foltz L.A. Primery rascheta po opredeleniyu soprotivleniya sdvigu sypuchih (nesvyazannyh) gruntov [Calculation examples for determining the shear resistance of loose (non-cohesive) soils]. Vestnik Kazahskogo avtomobil'no-dorozhnogoinstituta= Bulletin of Kazakh Automobile and Road Institute = Kazakh avtomobil-zhol institutyn Khabarshysy. 2024;3 (7): 39-46. <https://doi.org/10.63377/3005-4966.3-2024-05>

## Литература

- [1] Бартоломей А.А. Механика грунтов. Москва: АСВ, 2004.
- [2] Малышев М.В., Болдырев Г.Г. Механика грунтов. Основания и фундаменты (в вопросах и ответах). Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004.
- [3] Далматова Б.И. Проектирование фундаментов зданий и подземных. Москва: АСВ; Санкт-Петербург: СПб ГАСУ, 2001.
- [4] ГОСТ 25100-95\* Грунты. Классификация.

## References

- [1] Bartolomey A.A. Mekhanika gruntov [Soil mechanics]. Moscow: ASV; 2004. (in Russ.).
- [2] Malyshev M.V., Boldyrev G.G. Mekhanika gruntov. Osnovaniya i fundamenti (v voprosakh i otvetakh) [Soil mechanics. Foundations and bases (in questions and answers)]. Moscow: Association of construction universities; 2004. (in Russ.).
- [3] Dalmatov B.I. Proektirovanie fundamentov zdaniy i podzemnykh sooruzheniy [Design of building foundations and underground structures]. Moscow: ASV; Saint Petersburg: SPb GASU; 2001. (in Russ.).
- [4] GOST 25100-95\* Grunty. Klassifikatsiya [Soils. Classification]. (in Russ.).