



Обзорная статья

<https://doi.org/10.32523/3136-3385-2026-155-2-41-52>

Анализ деформационных параметров оснований методом штамповых испытаний грунтов в условиях промышленного строительства

А.С. Мукашева , **А.Ж. Жусупбеков** , **Г.А. Жаирбаева** ,
Г.Т.Тлеуленова* 

Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан

E mail: gulshattleulnova7@gmail.com, astana-geostroi@mail.ru, gulnaz.W@mail.ru, almagul_m75@mail.ru

Аннотация. В статье представлен обзор существующих типов грунтов и выполнен сравнительный анализ диапазонов модуля деформации различных дисперсных грунтов, определённых методом штамповых испытаний. Полевые исследования проведены на промышленной площадке с выполнением плановой и высотной привязки устьев скважин и точек испытаний. Всего выполнено 37 испытаний в соответствии с требованиями действующих нормативных документов и стандартов инженерно-геологических изысканий. На основании поэтапного нагружения построены графики зависимости осадки от давления $S = f(p)$, что позволило определить модули деформации грунтов основания и оценить их деформационные свойства. В работе учтены инженерно-геологические и гидрогеологические условия участка, включая послойное строение грунтов, физико-механические характеристики и уровень грунтовых вод. Особое внимание уделено преимуществам штампового метода, обеспечивающего определение характеристик грунтов в естественных условиях залегания при минимальном нарушении их структуры. Полученные результаты подтверждают эффективность применения штамповых испытаний для повышения точности расчётов осадок, оптимизации проектных решений и обеспечения надёжности промышленных зданий и сооружений. Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученных данных при проектировании оснований и фундаментов в сложных инженерно-геологических условиях.

Ключевые слова: деформации грунта, испытания штампом, осадка, прочность на сдвиг, модуль упругости.

Введение

Штамповые испытания широко используются в промышленном строительстве для оценки параметров деформации, таких как осадка, смещение и зависимость напряжения от деформации, в различных материалах и конструкциях. Эти испытания особенно полезны для оценки механических свойств материалов при различных условиях нагружения. За прошедшие годы было разработано несколько методов тестирования параметров, определяющих деформации, которые направлены на повышение точности и эффективности этих оценок. В данной статье представлен сравнительный анализ различных методов тестирования, используемых в сочетании с тестами на штамповку, с акцентом на их принципы, области применения, преимущества и ограничения. Анализ основан на результатах различных научных исследований, что позволяет получить всестороннее представление о текущем состоянии техники в этой области.

Основными параметрами деформации, оцененными с использованием метода штамповых испытаний грунтовых оснований являются: осадка, прочность на сдвиг и модуль упругости. Метод испытания штампом, также известный как испытание на нагрузку на пластину, широко используется на строительных участках для оценки деформационных свойств грунтовых оснований. Этот метод заключается в приложении нагрузки к пластине, помещенной на поверхность грунта и измерении возникающих осадок. Оценка ключевых параметров деформации грунтовых оснований имеет решающее значение для понимания осадки, прочности на сдвиг и модуля упругости, особенно при использовании метода штампового испытания. Эта техника испытаний на месте играет важную роль в определении характеристик деформации грунта, что необходимо для проектирования фундаментов прогнозирования поведения грунта под действием нагрузки и обеспечения целостности конструкции. Существует несколько основных оцениваемых параметров деформации: модуль объемной упругости K , модуль сдвига G , одометрический модуль E_{oed} и модуль упругости (модуль деформации) E . Модуль K связан с сжимаемостью грунта. Этот параметр имеет решающее значение для оценки потенциальной осадки грунтовых оснований, поскольку он напрямую влияет на то, как грунт будет деформироваться под нагрузкой [1]. Модуль K наряду с модулем G дает представление о прочности грунта на сдвиг, что является важным фактором в геотехническом проектировании фундаментов [3], [9]. Модуль G указывает на сопротивление грунта сдвиговому напряжению, что необходимо для прогнозирования поведения грунта в различных условиях нагрузки. Кроме того, важную роль в понимании упругого поведения грунта под нагрузкой играет модуль E_{oed} . Этот параметр особенно важен для оценки модуля упругости E , который измеряет способность материала упруго деформироваться под воздействием силы [2]. Модуль упругости является ключевым фактором в анализе осадки, поскольку он напрямую связан с расчетами осадки. Модуль деформации отражает поведение грунта под давлением и имеет важное значение для понимания как мгновенной, так и конечной осадки [5]. Испытание нагрузкой на пластину *in-situ*, которое часто используется в сочетании с методом испытания штампом, предоставляет ценные данные о модуле деформации и его нелинейных свойствах, что позволяет более точно оценить поведение грунта [1]. Таким образом, интеграция модуля K , модуля G , модуля E_{oed} и модуля деформации E обеспечивает всестороннее понимание

поведения грунта под нагрузкой, имеет решающее значение для эффективного анализа осадки. Метод штампового испытания, наряду с другими методами испытаний на месте, облегчает точное измерение этих параметров деформации, что в конечном итоге способствует более безопасной и надёжной практике геотехнического проектирования [8].

В ряде научных исследований штамповое испытание рассматривается как один из базовых методов полевых исследований, предназначенных для определения деформационных характеристик грунтовых оснований. Метод основан на установке жёсткой пластины (штампа) на поверхность или в забое выработки с последующим поэтапным приложением контролируемой нагрузки и регистрацией соответствующих осадок. В результате формируется зависимость «нагрузка-осадка», которая позволяет оценить напряжённо-деформированное поведение грунта в естественных условиях залегания. В исследовании, данный метод обеспечивает получение информативных параметров, используемых при расчёте оснований по деформациям и несущей способности.

В научных источниках отмечается, что испытания могут проводиться в статическом и динамическом режимах нагружения. Статические штамповые испытания считаются более точными при определении модуля деформации, поскольку обеспечивают поэтапное приложение нагрузки с выдержкой ступеней до стабилизации осадки. Динамические методы характеризуются большей оперативностью и применяются преимущественно для экспресс-оценок состояния основания и установления корреляционных зависимостей между динамическими и статическими модулями [1], [8]. При этом на результаты испытаний существенно влияют геометрические параметры штампа (диаметр, форма), глубина заложения, а также реологические особенности грунта. Анализ существующей научной литературы показывает, что ключевыми параметрами, определяемыми по результатам штампового испытания, являются осадка, модуль деформации (модуль упругости) и косвенно — прочность на сдвиг. Осадка представляет собой вертикальное перемещение поверхности грунта под действием внешней нагрузки и служит основой для прогнозирования общей и дифференциальной осадки сооружений [2]. На основании предельных значений осадки определяется допустимая несущая способность основания. Для повышения достоверности расчетов результаты штамповых испытаний часто сопоставляются с данными лабораторных одометрических и трёхосных испытаний [3].

В ряде исследований подчёркивается возможность косвенной оценки прочности грунта на сдвиг по характеру кривой «нагрузка-осадка». Несмотря на то что метод ориентирован преимущественно на анализ вертикальных деформаций, параметры прочности могут быть определены через интерпретацию предельного состояния основания и сопоставление с теоретическими моделями несущей способности [4], [5]. Для уточнения этих характеристик штамповые испытания нередко комбинируются с другими полевыми методами, например испытанием срезом лопаткой, что позволяет получить более комплексную оценку механического поведения грунтового массива [4]. Особое внимание в исследованиях уделяется определению модуля деформации, который является одним из основных расчётных параметров при проектировании фундаментов. Модуль деформации определяется по начальному или текущему наклону кривой «нагрузка-

осадка». Однако вследствие нелинейного характера поведения грунтов в области напряжений-деформаций для интерпретации результатов нередко применяются гиперболические и эмпирические модели [10]. Разработка корреляционных зависимостей между статическим и динамическим модулями также является предметом активных исследований [1].

В работе [6] исследовано, что на величину деформационных параметров существенно влияют тип и физико-механические свойства грунта. Исследованы песчаные грунты, как правило, характеризуются более высокими значениями модуля деформации и прочности на сдвиг по сравнению с глинистыми, склонными к значительным осадкам и ползучести. В другом исследовании [2], [7] рассматривается, что существенную роль играют влажность, плотность сложения, гранулометрический состав и структурные особенности грунта. Кроме того, условия нагружения и величина, скорость приложения нагрузки и история предшествующих нагрузок также оказывают заметное влияние на получаемые параметры [1], [7], [8].

Отдельное направление исследований связано с оценкой эффективности мероприятий по укреплению и улучшению грунтов. Например, применение грунтоцементных элементов и других методов армирования приводит к увеличению критических давлений и снижению осадок оснований [9], [10]. Штамповые испытания в таких случаях используются как инструмент контроля качества усиления и количественной оценки изменения деформационных характеристик. Таким образом, анализ научных публикаций свидетельствует о высокой информативности штампового метода при определении модуля деформации и оценке поведения грунтовых оснований. Комплексное применение штамповых испытаний в сочетании с лабораторными методами и современными моделями интерпретации позволяет повысить достоверность расчётных параметров и обеспечить надёжность проектных решений в области промышленного и гражданского строительства [11], [13].

Сравнение методов определения модулей деформации по результатам полевых и лабораторных исследований показывает, что испытание штампом широко применяется в инженерной практике и часто используется в сочетании с одометрическими и трёхосными испытаниями для проверки и уточнения параметров деформации грунтов [12].

Также штамповое испытание обеспечивает измерения на месте, лабораторные испытания предлагают более контролируемые условия для оценки поведения грунта. Однако результаты лабораторных испытаний не всегда совпадают с измерениями на месте из-за различий в условиях нагрузки и возмущения грунта во время отбора проб [3]. Полевые исследования выполнены на территории Северной промышленной зоны Республики Казахстан, где на момент проведения работ участок не был застроен. Рельеф площадки характеризуется равнинным типом с незначительными уклонами и локальными понижениями, обусловленными, по-видимому, эрозионными процессами и техногенным воздействием. Гидрографическая сеть слабо развита.

Таким образом, геоморфологические, гидрогеологические и техногенные особенности участка следует учитывать при выборе и проектировании фундаментов, особенно в контексте оценки деформационных характеристик грунтов основания. На данном объекте

была проведена плановая и высотная привязка устьев скважин и точек испытаний грунта штампами в количестве 37 точек.

Методология

Испытания грунта штампом проводились в соответствии с целью определения деформационных характеристик дисперсных грунтов, в частности модуля деформации E минеральных, органоминеральных и органических грунтов. Метод основан на измерении осадки штампа при ступенчатом нагружении основания. Подготовка к испытаниям осуществлялась перед проведением испытаний: на месте отбора были пробурены опытные скважины диаметром не менее 325 мм. Бурение производилось с обсадкой трубами до забоя, за исключением устойчивых к обрушению грунтов выше уровня грунтовых вод, где допускалось бурение без обсадной колонны.

Минимальная толщина однородного слоя испытуемого грунта составляла не менее двух диаметров штампа, что обеспечивает корректность измерений. На отметке проведения испытания отбирались образцы для лабораторного анализа. В лабораторных условиях определялись следующие физико-механические характеристики в зависимости от типа грунта:

- гранулометрический состав;
- влажность, плотность грунта и плотность частиц;
- влажность на границах раскатывания и текучести, число пластичности и показатель текучести;
- плотность сухого грунта, коэффициент пористости, коэффициент водонасыщения [14].

Процедура установки штампа и нагружения предусматривает, что штамп устанавливается на дне выработки с обязательной проверкой его горизонтальности. Для плотного контакта подошвы штампа с основанием выполнялось не менее двух поворотов штампа вокруг его вертикальной оси в противоположные стороны. В глинистых грунтах с показателем текучести $I_L > 0.75$ установка осуществлялась в специально выровненную выемку глубиной 40–60 см [15]. Поперечный размер выемки не превышал диаметр штампа более чем на 10 см. При необходимости стены выемки закреплялись. Нагружение осуществлялось с использованием домкрата или тарированного груза. Домкраты проходили предварительную тарировку, погрешность измерения нагрузки не превышала 5% от заданной степени давления. Условия опыта:

1. глубина испытания – 4 м;
2. вид грунта – песок;
3. схема нагружения – нагрузка;
4. степень нагрузки – кпа-50;
5. тип штампа – шв60-600;
6. площадь штампа – 600 см кв;
7. диаметр трубы – 127.00 мм;
8. технические условия стабилизации – 120 мин.

Режим нагружения, нагрузка на штамп увеличивалась степенями давления в

соответствии с таблицами «Ступени давления и время условной стабилизации деформации» для соответствующего типа грунта (глинистые, просадочные, органо-минеральные и органические). Время удержания каждой ступени определялось по достижении условной стабилизации, то есть когда осадка за последний час составляла не более 0.02 мм. При необходимости выдержка продлевалась, но не более 6 часов для глинистых и до 12 часов — для органо-минеральных и органических грунтов. После завершения цикла нагружения проводилось разгружение штампа с фиксацией величины обратимой деформации (отскока), необходимой для расчёта модуля деформации. Характеристики определились по результатам нагружения грунта вертикальной нагрузкой в забое горной выработки или в массиве грунта с помощью штампа. Результаты испытаний оформлялись в виде графиков зависимости осадки штампа от нагрузки.

Погружение винтового штампа производилось завинчиванием механически ниже забоя скважины. При испытаниях в скважинах глубина завинчивания винтового штампа ниже забоя скважины составляла 50 см для глинистых грунтов с $I_L > 0.75$ и водонасыщенных песков и 30 см для остальных грунтов.

В процессе завинчивания винтового штампа обеспечивается синхронность его вращения с погружением. Глубина погружения за один оборот соответствует шагу винтовой лопасти. После установки штампа монтируют устройство для нагружения штампа, анкерное устройство и измерительную систему. Внешний вид установки представлен на рисунке 1.



Рисунок 1. Проведение испытаний грунта штампами на площадке

Штамп имеет диаметр 277 мм и площадь опорной поверхности 600 см², что соответствует требованиям нормативной документации. Испытания проводились в опытной скважине диаметром 325 мм, обеспечивающей необходимый зазор и стабильность размещения оборудования.

Шаг винтовой лопасти составляет 50 мм. Система нагружения была реализована с использованием пневматического механизма, обеспечивающего плавное и контролируемое увеличение давления. Для фиксации осадки применялись высокоточные датчики перемещений с минимальной дискретностью измерения 0.01 мм. Контроль давления осуществлялся с использованием манометра класса точности 0.4, позволяющего регистрировать значения до 1600 кПа. Максимальное давление, создаваемое на грунт в ходе испытаний, составляло 1.0 МПа.

Испытания штампом были запланированы для всех инженерно-геологических элементов (ИГЭ) сжимаемой толщи, в котором указано, что в пределах сжимаемой толщи оснований зданий и сооружений полевые испытания следует проводить штампами площадью 600 см² либо в забое скважин, либо с использованием винтовой лопасти в массиве грунта.

Количество штамповых испытаний для каждого характерного ИГЭ составляло не менее трёх либо двух, если расхождения определяемых показателей не превышало 25% от среднего значения. По итогам полевых испытаний проводилось уточнение величин модуля деформации грунтов, предварительно определённых лабораторными методами.

Результаты и обсуждения

В исследовании было проведено 4 испытаний. По данным испытаний был построен график зависимости осадки штампа от давления $S=f(p)$. Модуль деформации вычислялся в диапазоне давлений. За начальное значение было принято давление, равное вертикальному эффективному напряжению от собственного веса грунта на отметке испытания и соответствующая осадка, за конечные значения, соответствующие четвертой точке графика на прямолинейном участке.

Таблица 1. Результаты расчета

№	Расчетные значения параметров	Δs , мм	Δp , МПа	E , МПа
1	Нагрузка	0.68	0.20	40.50
2	Разгрузка	-	-	-
3	Нагрузка повтор	-	-	-
4	Нагрузка повтор	-	-	-

Если при давлении приращение осадки будет вдвое больше, чем для предыдущей ступени давления, а при последующей ступени давления приращение осадки будет равно или больше приращения осадки.

При этом число точек в рассматриваемом диапазоне было 37. В противном случае при испытании грунта необходимо применять меньшие ступени давления. Основное уравнение для вычисления K_p модуля деформации представлено

выражением [8]:

$$K_p = \frac{h}{D}, \quad (1)$$

где: h – глубина расположения штампа относительно дневной поверхности грунта;
 D – диаметр штампа.

K_p принимают равным 1, при испытаниях грунтов штампами в котлованах, шурфах независимо от h/D . При испытаниях грунтов винтовым штампом в буровых скважинах ниже забоя принимают коэффициент K_p . Для выполнения расчетов принято $K_p=1$. Результаты расчетов представлены в таблице 1. По результатам испытаний был построен график зависимости осадки от давления (Рисунок 2), на основании которых определялся модуль деформации E в соответствии с формулами, приведёнными в ГОСТ 20276–2012 (таблица 2). Значения E учитывались при проектировании фундаментов и оценке пригодности основания.

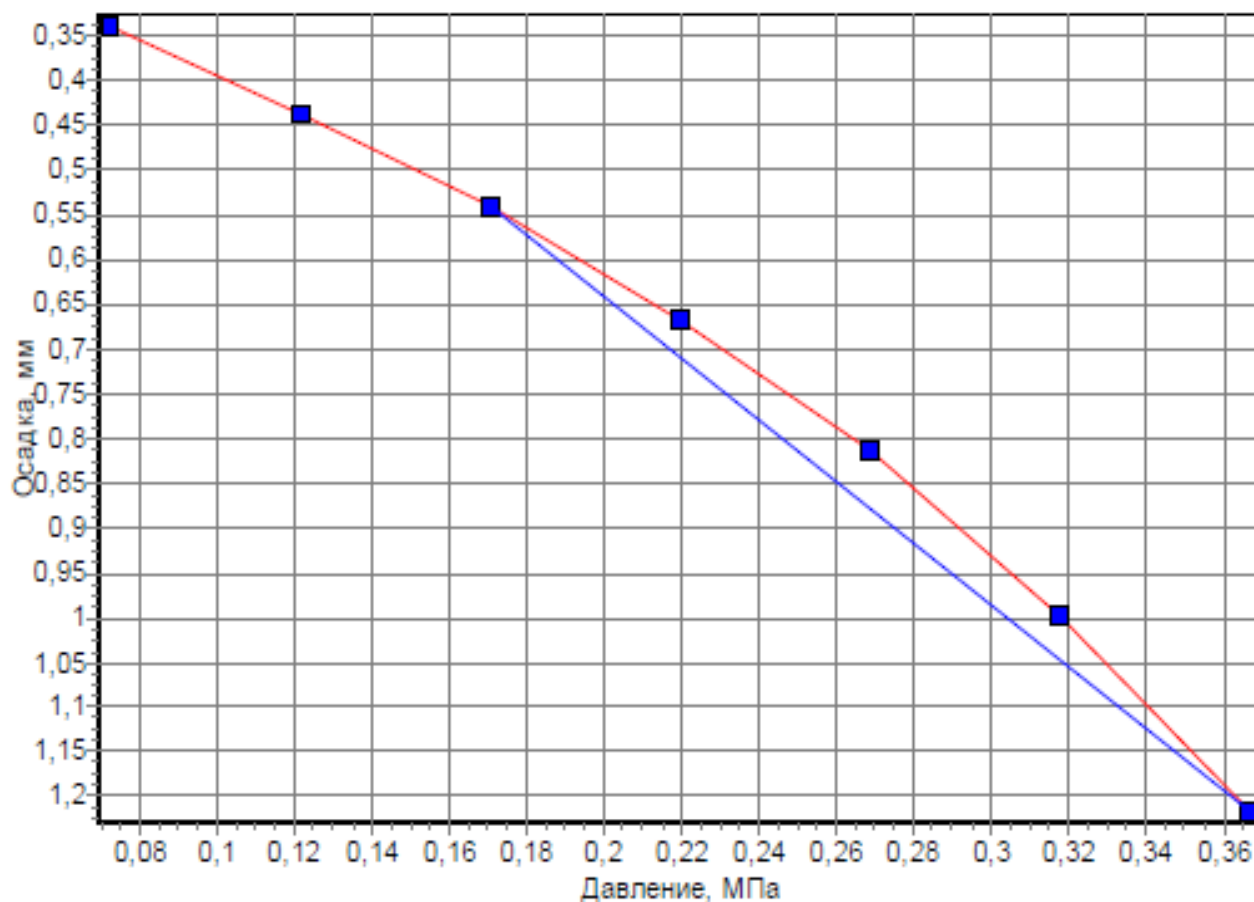


Рисунок 2. График штампового опыта ИГЭ 2 пески пылеватые аQII-III

Методом штамповых испытаний были определены модули деформации пылеватых песков и суглинков, которые соответственно были в диапазоне от 22.40 МПа до 45.53 МПа, среднее значение 53.60 МПа и от 15.10 МПа до 25.60 МПа, среднее значение 20.16 МПа. В

сравнении результатов песка и суглинка с лабораторными исследованиями погрешность составляет не более 5%.

Таблица 2. Результаты проведенных испытаний в виде определенных модулей деформации E грунтов основания

№	ИГЭ	Описание грунта	Номера испытаний	E, МПа	Среднее значение E
1	2	ИГЭ 2. Пески пылеватые аQII-III	1, 4, 7, 13, 17, 23, 31, 33, 35	40,50; 40,50; 40,50; 22,40; 22,40; 31,90; 41,70; 39,77; 45,53; 37,37	53, 60
2	3	ИГЭ 3. Суглинки N1-2pv	2, 5, 8, 11, 15, 20, 22, 28, 39	25,60; 15,40; 24,54; 15,10; 24,53	20, 16

Заключение

В результате выполненных штамповых испытаний, получены достоверные значения модулей деформации дисперсных грунтов основания. Всего выполнено 37 испытаний, по результатам которых построены зависимости осадки штампа от давления $S = f(p)$ и определены значения модуля деформации E в заданном диапазоне напряжений с учётом коэффициента условий испытания $K_{pr} = 1$, в данном случае модуля деформации (E) минеральных, органоминеральных и органических грунтов.

Таким образом, для песков модуль больше чем для суглинков, так как пески меньше сжимаемые грунты. Установлено, что модули деформации пылеватых песков изменяются в пределах 22.40–45.53 МПа, тогда как для суглинков они составляют 15, 10, 25, 60 МПа. Полученные результаты подтверждают, что песчаные грунты характеризуются большей жёсткостью и меньшей сжимаемостью по сравнению с суглинистыми, что обусловлено их структурно-текстурными особенностями.

Сопоставление полевых данных с результатами лабораторных исследований показало расхождение не более 5%, что свидетельствует о высокой достоверности полученных параметров. Полученные значения модулей деформации были использованы при проектировании фундаментов и позволили уточнить расчётные осадки, обеспечив повышение надёжности и обоснованности проектных решений.

Благодарность

Данное исследование финансируется АО «Фонд науки» Республики Казахстан (грант № DP25997309 «Разработка геоинформационной базы данных искусственного интеллекта для оптимизации оснований и фундаментов при строительстве в Казахстане»).

Вклад авторов

Мукашева А.С. — постановка научной задачи, сбор и анализ теоретических данных, написание основного текста статьи, формирование выводов и научных рекомендаций, координация совместной работы авторского коллектива.

Жусупбеков А.Ж. — участие в разработке концепции исследования, оценка деформационных параметров основания грунта, редактирование текста статьи, формирование научной интерпретации результатов.

Жаирбаева Г.А. — сбор и систематизация данных по модулю деформации групп оснований.

Тлеуленова Г.Т. — подготовка графических материалов (схем), участие в анализе распределения нагрузок, участие в обсуждении результатов, обеспечение корректности формулировок и научного стиля.

Список литературы

1. Experimental study of the modulus of deformation determined by static and dynamic plate load tests / S. Lehmann, S. Leppla, A. Norkus // The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. – 2020 – Vol. 4. – P. 109-124.
2. Determination of the geotechnical parameters of soils behavior for safe future urban development, Najran Area, Saudi Arabia: implications for settlements mitigation / A. K. Abd El Aal, A. Rouaiguia // Geotechnical and Geological Engineering – 2020. – Vol. 1, No. 38. – P. 695-712.
3. Comparison of soil deformation parameters determined by odometer and triaxial tests / Dirgeliene N. // ISEC Press. – 2024. – pp. 1-6.
4. Correlation Analysis of Soil Parameters Derive from Field Tests of Silty Clay Layers / X. Xu // IOS Press. – 2024. – pp.1061–1067. DOI:10.3233/ATDE241098
5. Strength and stiffness characterization of clays using Atterberg limits / S. M. Ahmed, S. S. Agaiby // Transportation Geotechnics. – 2020. DOI:10.1016/j.trgeo.2020.100420
6. Some practical applications of shear wave velocity measurements in dense sand / M. Long / EDP Sciences. – 2024. DOI:10.1051/e3sconf/202454419003
7. Effect of particle size, moisture content and density on the hyperbolic model parameters for non-cohesive soil / G. D. Dhadse, G. Ramtekkar, G. Bhatt // International Journal of Engineering, Transactions. – 2022. – Vol. 9, No. 35. – P. 1699–1706.
8. Determination of unloading—reloading modulus and exponent parameters (m) for hardening soil model of soft soil in Ho Chi Minh City / T. Ngo Duc, P. Vo, T. Tran Thi // Springer. – 2020. – P.677–689. DOI:10.1007/978-981-15-5144-4_65
9. Tray research of the strain state of soil bases reinforced by soil-cement elements under the strip stamp / Y. Vynnykov, R. Razdui, A. Aniskin // Academic journal Industrial Machine Building Civil Engineering. – 2019. – Vol. 53, No 2. – P. 90–97 DOI:10.26906/znp.2019.53.1898
10. Investigation of particularities of the stress-strain state of the sandy basis under loading conditions of rough stamps / G. M Skibin // IOP Publishing. – 2021. DOI:10.1088/1742-6596/1928/1/012065

11. ГОСТ 25100–2020. Грунты. Классификация. Москва: Стандартинформ, 2020. 40с.
12. Practical experience in the construction of roads in difficult soil conditions / A. Tulebekova, A. Zhussupbekov, A. Zhankina, A. Aldungarova, G. Mamurbekova // Journal of Water and Land Development. – 2024. – Vol.60, No. I-III. – pp. 138-148 DOI: 10.24425/jwld.2024.149115

A.S. Mukasheva, A.Zh. Zhussupbekov, G.A. Zhairbayeva, G.T. Tleulenova*

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan, Astana

Analysis of deformation parameters of foundations using the method of soil stamp testing in industrial construction conditions

Abstract. This article presents a review of existing soil types and a comparative analysis of the deformation modulus ranges of various dispersed soils determined by the plate load test method. Field investigations were carried out at an industrial site with planimetric and elevation referencing of borehole mouths and testing points. 37 tests were conducted in accordance with standard requirements. Based on step-by-step loading results, settlement pressure curves $S=f(p)$ was plotted, from which the deformation moduli of foundation soils were determined. The study considered the engineering-geological and hydrogeological conditions of the site, including the layered soil profile and the groundwater level. Particular attention was given to the advantages of the plate load test method, which allows the determination of soil parameters under natural in-situ conditions with minimal disturbance of soil structure. It was established that the use of refined deformation modulus values contributes to reducing calculated settlements and improving the reliability of design solutions. The obtained results confirm the practical significance of plate load tests as an effective tool in geotechnical investigations for the design of industrial buildings and structures and justify the need for an integrated interdisciplinary approach.

Keywords: soil deformation, stamp testing, settlement, shear strength, elastic modulus

References

1. Experimental study of the modulus of deformation determined by static and dynamic plate load tests / S. Lehmann, S. Leppla, A. Norkus // The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. – 2020 – Vol. 4. – P. 109-124.
2. Determination of the geotechnical parameters of soils behavior for safe future urban development, Najran Area, Saudi Arabia: implications for settlements mitigation / A. K. Abd El Aal, A. Rouaiguia // Geotechnical and Geological Engineering – 2020. – Vol. 1, No. 38. – P. 695-712.
3. Comparison of soil deformation parameters determined by odometer and triaxial tests / Dirgeliene N. // ISEC Press. – 2024. – pp. 1-6.
4. Correlation Analysis of Soil Parameters Derive from Field Tests of Silty Clay Layers / X. Xu // IOS Press. – 2024. – pp.1061–1067. DOI:10.3233/ATDE241098
5. Strength and stiffness characterization of clays using Atterberg limits / S. M. Ahmed, S. S. Agaiby // Transportation Geotechnics. – 2020. DOI:10.1016/j.trgeo.2020.100420
6. Some practical applications of shear wave velocity measurements in dense sand / M. Long / EDP Sciences. – 2024. DOI:10.1051/e3sconf/202454419003

7. Effect of particle size, moisture content and density on the hyperbolic model parameters for non-cohesive soil / G. D. Dhadse, G. Ramtekkar, G. Bhatt // International Journal of Engineering, Transactions. – 2022. – Vol. 9, No. 35. – P. 1699–1706.
8. Determination of unloading—reloading modulus and exponent parameters (m) for hardening soil model of soft soil in Ho Chi Minh City / T. Ngo Duc, P. Vo, T. Tran Thi // Springer. – 2020. – P. 677–689. DOI:10.1007/978-981-15-5144-4_65
9. Tray research of the strain state of soil bases reinforced by soil-cement elements under the strip stamp / Y. Vynnykov, R. Razdui, A. Aniskin // Academic journal Industrial Machine Building Civil Engineering. – 2019. – Vol. 53, No 2. – P. 90–97 DOI:10.26906/znp.2019.53.1898
10. Investigation of particularities of the stress-strain state of the sandy basis under loading conditions of rough stamps / G. M Skibin // IOP Publishing. – 2021. DOI:10.1088/1742-6596/1928/1/012065
11. ГОСТ 25100–2020. Грунты. Классификация. Москва: Стандартинформ, 2020. 40с.
12. Practical experience in the construction of roads in difficult soil conditions / A. Tulebekova, A. Zhussupbekov, A. Zhankina, A. Aldungarova, G. Mamurbekova // Journal of Water and Land Development. – 2024. – Vol. 60, No. I-III. – pp. 138-148 DOI: 10.24425/jwld.2024.149115

Сведения об авторах:

Мукашева А.С. – докторант кафедры «Строительство», ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 010008, Астана, Казахстан

Жусупбеков А.Ж. – доктор технических наук, профессор кафедры «Строительство», ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 010008, Астана, Казахстан

Жаирбаева Г.А. – докторант кафедры «Строительство», ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 010008, Астана, Казахстан

Тлеуленова Г.Т. – автор для корреспонденции, PhD, ассоциированный профессор кафедры «Строительство», ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 010008, Астана, Казахстан

Mukasheva A.S. – PhD student of the Department «Construction», L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010008, Kazakhstan

Zhussupbekov A.Zh. - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Construction», L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010008, Kazakhstan,

Zhairbayeva G.A. – PhD student of the Department «Construction», L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010008, Kazakhstan

Tleulnova G.T. – corresponding author, PhD, Associate Professor of the Department «Construction», L.N. Gumilyov Eurasian National University, 010008, Astana, Kazakhstan



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).