

ной плоскости изотропии по оси z , при этом деформации в направлении оси z ограничиваются. Производится равномерное сжатие образца напряжениями $\sigma_x' = \sigma_y'$. Затем напряжение по оси x увеличиваются с постоянным приращением $\Delta\sigma_x$, а напряжение по оси y уменьшаются с такой же величиной приращения $\Delta\sigma_x = \Delta\sigma_y$ до уровня напряжений σ_x'' и σ_y'' , после чего образец разгружается до напряжений $\sigma_z' = \sigma_x' = \sigma_y'$. Измеряются полные деформации ε_x и ε_y при напряжениях σ_x'' и σ_y'' и остаточные деформации после разгрузки до $\sigma_x' = \sigma_y'$: ε_{xp} и ε_{yp} . По полным и остаточным деформациям вычисляются упругие осевые деформации $\varepsilon_{ye} = \varepsilon_y - \varepsilon_{yp}$ и $\varepsilon_{xe} = \varepsilon_x - \varepsilon_{xp}$. Коэффициент упругости C_{44} определяется из отношения касательных напряжений τ_{xy} , определенных на площадках с максимальными касательными напряжениями $\tau_{xy} = [(\sigma_y'' - \sigma_y') - (\sigma_x'' - \sigma_x')]/2$, и упругих сдвиговых деформаций этих площадок $\gamma_{xye} = \varepsilon_{ye} - \varepsilon_{xe}$: $C_{44} = \tau_{xy}/\gamma_{xye}$.

При определении коэффициента C_{55} пятый образец вырезается и помещается в прибор таким образом, чтобы угол наклона плоскости изотропии по оси x к направлению действия напряжений σ_y и σ_z был 45° . Образец нагружается по девиаторической траектории в плоскости $yoх$, ортогональной плоскости изотропии по оси x , при этом деформации в направлении оси x ограничиваются. Шестой образец для определения коэффициента C_{66} вырезается и помещается в прибор таким образом, чтобы угол наклона плоскости изотропии по оси y к направлению действия напряжений σ_x и σ_z был 45° . Образец нагружается по девиаторической траектории в плоскости $хоz$, ортогональной плоскости изотропии по оси y , при этом деформации в направлении оси y ограничиваются. Нагружение и разгрузка образцов, измерение деформаций и определение максимальных касательных напряжений и сдвиговых деформаций производится аналогично испытанию четвертого образца, а коэффициенты упругости определяются соответственно по формулам $C_{55} = \tau_{yz}/\gamma_{yze}$ и $C_{66} = \tau_{xz}/\gamma_{xze}$.

Предлагаемая методика повышает точность определения постоянных коэффициентов упругости ортотропного материала за счет меньшего количества испытываемых образцов (по шести образцам определяются девять постоянных коэффициентов упругости), а также за счет проведения всех испытаний в одном приборе.

Приведенную методику можно использовать при определении как коэффициентов упругости, так и коэффициентов деформации, связывающих напряжения и полные деформации.

Список литературы

1 Прибор для исследования свойств грунтов : а. с. №302665 СССР, МКИ G01n 33/24 / А. Л. Крыжановский, Э. И. Воронцов, А. А. Музафаров., Б. Л. Морозов. – №1409204/29-14 ; заявл. 02.03.70 ; опубл. бюл. № 15 // Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки. – 1971. – № 15. – С. 162.

УДК 539.3; 551.332.53

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ НЕВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГРУНТОВ

Е. Ю. ТРАЦЕВСКАЯ

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Республика Беларусь

Один из основных законов механики песчаных и глинистых грунтов – закон уплотнения – гласит [1]: «Относительное изменение объема пор породы прямо пропорционально изменению давления», т. е. $de = ad\sigma$, где de – приращение коэффициента пористости при приращении давления $d\sigma$; a – коэффициент сжимаемости, МПа^{-1} .

Рассмотрим линейные механические деформации сжатия грунта, вызванные нормальными напряжениями. В общем случае для пылеватых и глинистых неводонасыщенных грунтов, как частного случая дисперсных грунтов, указанные зависимости являются нелинейными, на них влияет большое число факторов и поэтому не существует универсальных уравнений, описывающих эти взаимосвязи [2]. Однако в определенных условиях эти зависимости являются линейными и описываются простыми линейными уравнениями, известными в механике как закон Гука. Для нормальных напряжений он записывается в виде $\sigma = E\zeta$, где E – модуль упругости (модуль Юнга), МПа ; ζ – линейные деформации, вызванные нормальными напряжениями σ .

В механике грунтов рассматриваются различные режимы нагружения естественных оснований инженерных сооружений и соответственно условий проведения лабораторных и полевых опытных работ для определения их деформируемости, например численного значения модуля деформации. В данной работе рассматривается деформируемость моренных неводонасыщенных супесей при статическом и динамическом нагружениях. Сжимаемость дисперсных грунтов зависит от их структурно-текстурных особенностей. Грунты природного сложения всегда имеют меньшую сжимаемость по сравнению с теми же грунтами природного сложения. Их уплотнение происходит при нагрузке, превышающей прочность структурных связей (структурная прочность грунта – $P_{стр}$), определяемую по характерному перегибу на компрессионной кривой. При декомпрессии структурная прочность грунта не восстанавливается.

Общая линейная деформация $\zeta_{общ}$ при компрессионной сжимаемости грунтов складывается из двух частей – обратимой ($\zeta_{обр}$) и необратимой, или остаточной ($\zeta_{ост}$). Остаточные деформации возникают из-за уменьшения пористости и увеличения плотности сложения породы в результате нарушения структурных связей и перемещения частиц и их агрегатов относительно друг друга. Такие деформации называются структурными [1]. Обратимые деформации в свою очередь формируются из истинно упругих (идеально упругих) ($\zeta_{ид}$) и структурно адсорбционных (восстанавливающихся) ($\zeta_{восст}$) деформаций, природа которых различна. Истинно упругие деформации ($\zeta_{ид}$) обусловливаются силами упругости минеральных частиц, водных и коллоидных пленок, облегающих минеральные частицы, а также замкнутых пузырьков воды, воздуха или газов. Они протекают мгновенно.

Структурно адсорбционные деформации ($\zeta_{восст}$) связаны с изменением толщины гидратных оболочек, характерных для глинистых грунтов. Когда внешнее давление превышает сорбционные силы взаимодействия грунта с водой, толщина гидратных оболочек уменьшается. Структурно-адсорбционные деформации обратимы, развиваются медленно и для их завершения требуется время.

При уплотнении глинистых пород происходят одновременно и обратимые и необратимые деформации – упругие, структурные и структурно-адсорбционные. Для достижения равновесных деформаций под действием давления требуется определенное время. В связи с этим, квазиравновесное состояние (деформация – давление) в полевом или лабораторном опыте не означает, что все деформации в грунте произошли за время опыта, т. к. обычно за равновесное принимается такое состояние, которое удовлетворяет определенному критерию скорости деформации, регламентированному нормативными документами [3]. Однако в механике грунтов считается, что при достаточно большом числе циклов нагрузок и разгрузок остаточные деформации в породах постепенно затухают, а проявляются лишь упругие. Порода приобретает упругое уплотненное состояние и становится малосжимаемой [1].

Испытания нами проводились в лабораторных условиях. Были определены вертикальные деформации при компрессионных испытаниях в статическом и динамическом режимах нагружения образцов супеси моренной (число пластичности $I_p = 4,5$ %) нарушенного сложения. В ходе подготовки к эксперименту плотность и влажность образцов доводились до следующих значений: плотность $\rho = 1,66$ г/см³; влажность $\omega = 0,08$ и коэффициент пористости $e = 0,76$. В статических условиях показатели деформационных свойств определялись по методике, рекомендованной ГОСТ 12248–2010. При виброкомпрессионном уплотнении грунта использовали металлическую обойму диаметром 152 мм и высотой 410 мм, жестко закрепленную на вибростоле вибрационного электродинамического стенда 12248-2010. Амплитуда виброперемещений задавалась 0,3 мм, частота гармонических колебаний $f = 65$ Гц, масса образцов – $m = 7,0$ кг.

В статическом режиме нагружения в интервале давления 0,06–0,07 МПа модуль общих деформаций E_c составил 1,7 МПа; а при динамическом нагружении в тех же интервалах давления E_d соответственно равен 0,36 МПа. В статических условиях модули упругих деформаций определяли по методике, описанной В. И. Осиповым [4]. Модуль восстанавливающейся упругой деформации $E_{вос} = 16,8$ МПа; модуль истинной упругой деформации $E_{ист} = 126,0$ МПа. При динамическом режиме нагружения модуль упругих деформаций рассчитывался по значениям собственных частот образцов грунтов (φ) и составил $E_{упр} = 11,75$ МПа.

Полученные результаты могут также быть полезными при расчетах фундаментов зданий и сооружений, передающих вибродинамические воздействия на естественные основания.

Список литературы

- 1 Ломтадзе, В. Д. Инженерная геология. Инженерная петрология / В. Д. Ломтадзе. – Л. : Недра, 1984. – 511 с.
- 2 Грунтоведение / под ред. В.Т. Трофимова. – М. : Изд-во Московского университета, 2005. – 1023 с.
- 3 Зянги́ров, Р. С. К вопросу об определении модуля деформации грунтов / Р. С. Зянги́ров // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве Российской Федерации : материалы девятой общерос. конф. изыскательских организаций. – М. : ООО «Геомаркетинг». 2013. – С. 17–23.
- 4 Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. Т. 1. Полевые методы. – М. : Недра, 1984. – 422 с.

УДК 539.3:534.1

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАБИН ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЛОКОМОТИВОВ ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ С ТВЕРДЫМ ТЕЛОМ

С. В. УГРИМОВ, Н. В. СМЕТАНКИНА, А. Н. ШУПИКОВ

Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины, г. Харьков

Железнодорожный транспорт является одним из наиболее безопасных видов транспорта. Однако наблюдающаяся общемировая тенденция возрастания скорости перевозок выдвигает более жесткие требования к безопасности эксплуатации железнодорожного транспорта. Это комплексная проблема, которая требует решения многих задач. Обеспечение механической прочности конструкций при лобовых столкновениях с различными предметами является одной из таких важных задач. Наиболее опасным является удар твердым телом по лобовому остеклению кабин поездов. Кроме этого, представляет существенную опасность удар по лобовой обшивке кабин локомотивов, которые изготавливаются как из металла, так и из композитных материалов.

При эксплуатации железнодорожных транспортных средств на территории Украины и в странах СНГ часто наблюдаются деструкции лобового остекления. Большинство аварий возникает в результате удара предметами (камень, бутылка и т. д.), которые выпали или были выброшены из встречных поездов. Существуют также случаи столкновения с птицами. В связи с важностью этой задачи предусматриваются особые требования к механической прочности остекления и обшивки кабины локомотива к удару. Согласно требованиям Украины и стран СНГ, элементы конструкций кабин должны выдерживать удар (не допускать проникания) твердого тела массой 600 г на удвоенной скорости электровоза или тепловоза. Согласно стандартам Американской Федеральной Администрации (FAA), остекление поездов со скоростью движения выше 200 км/ч должно выдерживать удар стальным шаром массой 5,44 кг на максимальной скорости поезда, а для поездов со скоростью до 200 км/ч – удар угольным блоком массой 10,9 кг на скорости 48,3 км/ч и удар пули 22 калибра на скорости около 300 м/с. Аналогичные требования существуют и в других странах. Это свидетельствует о важности и актуальности этой задачи для железнодорожного транспорта. Именно этой проблеме и посвящена предлагаемая работа.

Проведено теоретическое и экспериментальное исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) остекления и композитной обшивки при ударе твердым телом. Для расчета использовалась оригинальная методика [1, 2]. Экспериментальное исследование образцов проводилось на специальном стенде ИПМаш НАН Украины. Метание твердых тел осуществлялось посредством пневматической пушки. Для оценки деформаций конструкций при ударе применялся метод широкополосного динамического тензометрирования.

Остекление и композитная обшивка представляет собой многослойные конструкции, механические характеристики слоев которых могут отличаться на несколько порядков. При этом сама область взаимодействия конструкции с ударяющими телами зачастую невелика и заранее неизвестна. Это выдвигает особые требования к применяемым моделям конструкции и к методам решения контактной задачи.

Предлагается для моделирования поведения остекления и композитной обшивки использовать гипотезы обобщенной теории многослойных конструкций [1, 3], которая относится к дискретно-структурным моделям и позволяет выбирать необходимую точность описания НДС в зависимости от композиции пакета слоев и условий нагружения. В основе модели лежат кинематические