

УДК 539.3

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СЖИМАЕМОСТИ ГЛИНЫ\*

© 2015 г.

**Брагов А.М., Ломунов А.К.**

*Научно-исследовательский институт механики  
Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород, Российская Федерация*

bragov@mech.unn.ru

*Поступила в редакцию 23.10.2015*

Исследования сжимаемости глины в широком диапазоне изменения скоростей деформации проведены с использованием статической машины и двух взаимодополняющих динамических методик: при скорости деформации  $\sim 10^3 \text{ с}^{-1}$  и давлениях до 500 МПа эксперименты проводились с помощью модификации разрезного стержня Гопкинсона с пассивным ограничением радиальной деформации; при скорости деформации  $\sim 10^5 \text{ с}^{-1}$  и давлениях выше 500 МПа применялся плоскостной ударный эксперимент. В обоих методах реализовывалось условие одномерной деформации и объемного напряженного состояния. В осях напряжение–деформация построена единая кривая сжимаемости глины, которая не зависит от скорости деформации. Полученные результаты будут полезны для формулировки уравнений состояния глины.

*Ключевые слова:* метод Кольского, плоскостной ударный эксперимент, диаграмма деформирования, ударная адиабата, глина.

### **Введение**

Деятельность человека в области строительства, включая анализ распространения сильных сейсмических и взрывных волн и их взаимодействия с надземными и подземными сооружениями, задачи использования энергии взрыва при строительстве плотин, каналов и т.п., разработка полезных ископаемых приводят к необходимости изучения динамических свойств мягких грунтовых сред в широком диапазоне изменения амплитуд нагрузок и скоростей деформаций [1, 2].

Начальное состояние грунтовых материалов описывается большим количеством физических параметров: плотностью, влажностью, пористостью, зерновым составом и т.д. Важными физико-механическими характеристиками мягких грунтовых сред являются динамическая сжимаемость и сдвиговая прочность [3, 4].

В настоящее время для анализа процессов динамического деформирования в задачах, связанных с волновым взаимодействием различных тел и конструкций с мягкими грунтовыми средами, широко используется численное моделирование [5].

---

\* Динамические испытания по методу Кольского выполнены при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант №15-08-05517), плоскостные ударные эксперименты выполнены при поддержке РНФ (проект 15-19-10032).

Это требует достоверных экспериментальных данных о динамических свойствах мягких грунтов в большом спектре давлений и скоростей деформаций. Знание динамических характеристик мягких грунтов в широком диапазоне изменения давлений и скоростей деформации необходимо не только для оснащения уравнений состояния грунтовых сред, но и для проверки адекватности выбранной модели реальному поведению грунтовой среды под действием интенсивных динамических воздействий.

Как показывает анализ известных литературных источников, данных о динамических свойствах грунтов и их зависимостях от скорости деформации, давления и других факторов явно недостаточно. В настоящей статье представлены результаты экспериментального изучения сжимаемости глины с нарушенной структурой и влажностью 15% в широком диапазоне скоростей деформации и амплитуд нагрузок.

### 1. Методики испытаний и образцы

Для изучения влияния скорости деформации на механические свойства проведены статические испытания глины на сжатие в условиях одноосной деформации при комнатной температуре. Испытуемый грунтовой образец располагался в компрессионном устройстве: между торцами пуансонов в ограничивающей его радиальную раздачу жесткой обойме (рис. 1). Таким образом, деформированное состояние образца можно считать одномерным, а напряженное состояние – объемным осесимметричным. Помимо регистрации продольного перемещения пуансонов осуществлялась регистрация радиальной деформации обоймы (рис. 2). С помощью такого подхода удастся по результатам экспериментов определять осевую  $\sigma_x$  и радиальную  $\sigma_r$  компоненты тензора напряжений и с их помощью определять касательные напряжения, давление и коэффициент бокового распора.

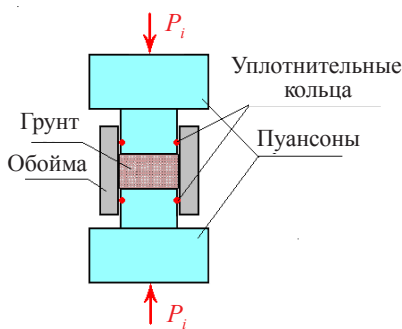


Рис. 1. Схема статического нагружения

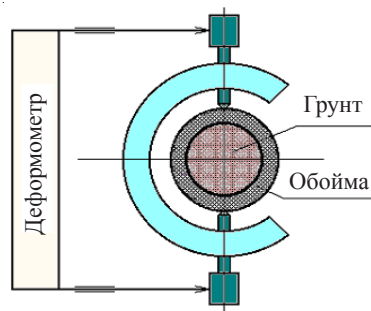


Рис. 2. Регистрация раздачи обоймы

Для уменьшения выдавливания влажного грунта в зазор между пуансонами и обоймой на концах пуансонов проточены канавки и в них размещены резиновые уплотнительные кольца. Испытания проводились на испытательной машине УМЭ-10ТМ. Измерение продольной деформации осуществлялось датчиком перемещений, а поперечная деформация обоймы измерялась датчиком с тензометрическим преобразователем.

Для динамических испытаний использовались две взаимодополняющие методики. В диапазоне относительно небольших давлений, меньших 0,3 ГПа, при ско-

рости деформации  $\sim 10^3 \text{ с}^{-1}$  использовалась установка [6], реализующая модифицированную методику разрезного стержня Гопкинсона (РСГ) с пассивным ограничением радиальной деформации [7, 8]. В области более высоких давлений при скорости деформации  $\sim 10^5 \text{ с}^{-1}$  динамическая сжимаемость исследовалась с помощью плосковолнового ударного эксперимента [9].

Модифицированная методика Кольского предполагает расположение грунтового образца в жесткой ограничивающей обойме, оснащенной тензодатчиками, и нагружение его в системе РСГ, что позволяет (наряду с получением диаграммы  $\sigma_x \sim \epsilon_x$  одноосного сжатия грунтового образца) определять кривую объемной сжимаемости  $P \sim \rho$  и зависимость сопротивления сдвигу от давления  $\tau \sim P$  [10–13]. Мерные стержни диаметром 20 мм и обоймы для этих испытаний изготавливались из алюминиевого сплава Д16Т (для экспериментов при амплитудах нагрузок до 100 МПа) и из высокопрочной стали (для экспериментов при больших амплитудах нагрузок). Для центровки обоймы относительно торцов мерных стержней на ней имелись тонкие кольцеобразные направляющие длиной 2 мм. Ранее было отмечено [14], что эти направляющие практически не влияют на напряженно-деформированное состояние обоймы и регистрируемые окружные деформации. Амплитуда нагружающего импульса, определяющая скорость деформации образца и величину развиваемого в нем напряжения, варьировалась путем изменения скорости ударника, который был изготовлен из того же материала, что и мерные стержни.

При плосковолновых экспериментах сборка с грунтовым образцом нагружалась ударом плоской пластины, разогнанной в стволе газовой пушки. Для изучения динамической сжимаемости мягких грунтовых сред применяется метод отражения, также называемый методом «сшивки импедансов» [15]. При этом удар метаемой пластиной-ударником производится не непосредственно по образцу, а через пластину-экран. Состояние грунтовой среды на фронте волны сжатия определяется по известным соотношениям [16]:

$$\sigma_x = \rho_0 D U, \quad \rho / \rho_0 = D / (D - U), \quad \epsilon_x = 1 - \rho_0 / \rho, \quad (1)$$

где  $\sigma_x$  – напряжение на фронте ударной волны (или волны сжатия),  $\rho_0$  и  $\rho$  – начальная плотность и плотность на фронте волны,  $D$  – скорость распространения волны в изучаемом материале,  $U$  – массовая скорость частиц среды на фронте волны.

Предполагается, что ударные адиабаты материалов ударника и экрана, а также начальная плотность исследуемого материала известны. Скорость  $V$  ударников измерялась с помощью электроконтактных датчиков. Для измерения скорости  $D$  распространения волны сжатия в грунтовом образце использовались диэлектрические датчики давления. Эти два параметра в совокупности с известными адиабатами ударника и пластины-экрана дают возможность определить точку ударной адиабаты исследуемой среды [16].

Необходимо отметить, что напряженно-деформированное состояние в ударной волне характеризуется теми же компонентами, что и при испытаниях материалов в жесткой обойме, то есть одномерностью деформации, величина которой определяется через изменение плотности (1) или через степень сжатия  $\epsilon_x = 1 - (D - U)/D$ . Проведение испытаний с различными скоростями соударения позволило получить ряд точек ударной адиабаты глины  $\sigma_x \sim \epsilon_x$ .

Керны глины для испытаний были взяты в Сосновском районе Нижегородской области с глубины 0,5 м. Для сохранения естественной влажности грунта керны

были тщательно упакованы в целлофановую пленку. Весовая влажность глины составила 15%. Начальная плотность глины составила  $1,87 \text{ г/см}^3$ . Далее из кернов бралось требуемое количество глины, и вручную формовались образцы необходимого размера.

При испытаниях по методу РСГ образцы формовались в обоймах с внутренним диаметром 20 мм, толщиной стенки 10 мм и длиной рабочей части 10 мм. Величина навески глины была подобрана таким образом, чтобы получаемая длина образца составляла  $\sim 10$  мм, то есть равнялась длине обоймы. При плосковолновых испытаниях слой грунта толщиной  $\sim 8$  мм располагался между двумя пластинами из сплава Д16Т. Волны сжатия в пластине-экране толщиной 5 мм возбуждались ударом пластины, разогнанной с помощью баллистической установки калибра 57 мм. Толщины пластины-ударника, пластины-экрана и образца выбирались таким образом, чтобы волны разгрузки от свободных поверхностей не могли исказить картину одномерной деформации образца в волне сжатия.

## 2. Результаты испытаний

В результате статических испытаний образцов в обойме получены кривые статической сжимаемости глины при скорости деформации  $10^{-3} \text{ с}^{-1}$  (рис. 3). Ввиду достаточно большой влажности глины и ее мелкодисперсной структуры поведение материала подобно поведению слабо сжимаемой жидкости, то есть кривые развития осевого напряжения  $\sigma_x \sim \epsilon_x$ , радиального напряжения  $\sigma_r \sim \epsilon_x$  и давления  $P \sim \epsilon_x$  близки друг к другу, тогда как касательные напряжения составляют очень малую величину. Коэффициент бокового распора оказался равным 0,95.

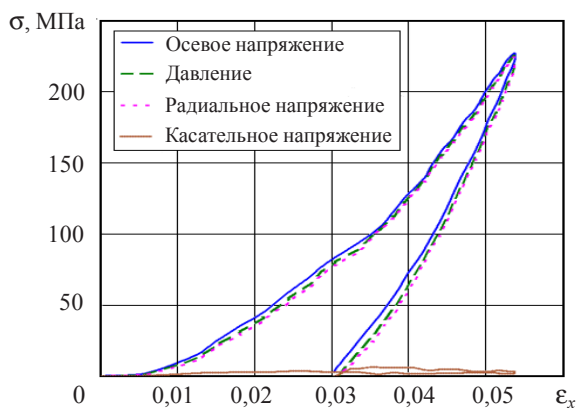


Рис. 3. Статическая сжимаемость глины

При динамических испытаниях вариация скорости ударника позволила получить ряд динамических диаграмм при различных уровнях скорости деформации, а также кривые сдвиговой прочности и бокового распора [12]. При каждом режиме проведено по 5–7 экспериментов, результаты которых усреднялись. По измерениям деформаций ограничивающей обоймы определена радиальная компонента тензора напряжений, что позволило получить кривые объемной сжимаемости глины при скоростях деформации от  $10^3 \text{ с}^{-1}$  до  $3 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$ . На рис. 4 показаны средние кривые объемной сжимаемости глины при скорости деформации  $3 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$ . Как и при статическом режиме нагружения, поведение глины подобно поведению слабо сжимаемой жидкости с коэффициентом бокового распора  $\sim 0,85$ . Поскольку касательные

напряжения в образце имели малую величину, параметры сдвиговой прочности, описываемой уравнением Мора–Кулона  $\tau = C + \text{tg}\varphi \cdot P$  [8], не определялись.

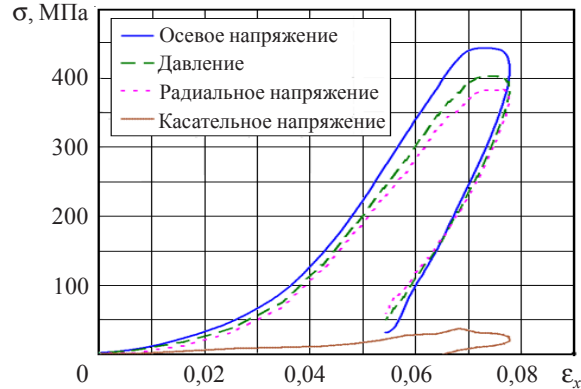


Рис. 4. Динамическая сжимаемость глины

Полученные результаты статических и динамических испытаний подобны и свидетельствуют о том, что нагрузочная ветвь диаграмм нелинейна. Влияние скорости деформации на ход как нагрузочной, так и разгрузочной ветви диаграммы не обнаружено. Величины максимальных достигнутых на диаграммах напряжений целиком определяются амплитудой приложенной нагрузки. Сравнение наклонов нагрузочных и разгрузочных ветвей диаграмм позволяет сделать вывод о том, что скорость волн разгрузки превышает скорость волн нагрузки для всех режимов нагружения.

В плосковолновых ударных экспериментах определяется ударная сжимаемость в осях  $\sigma_x \sim \epsilon_x$ . Для построения кривой гидростатического сжатия  $P \sim p$  необходимо измерять две компоненты тензора напряжений, что в случае грунтов методически осуществить достаточно сложно. Поэтому была предложена [11, 13] следующая зависимость для определения давления  $P$  в грунтовом образце при умеренных нагрузках на основе ударной адиабаты  $\sigma_x \sim \epsilon_x$  и линейной зависимости сопротивления сдвигу от давления, получаемой в результате испытаний по методу Кольского:

$$P = \frac{\sigma_x - 4/3C}{1 + 4/3 \text{tg}\varphi}. \quad (2)$$

Это выражение позволяет при известных значениях  $C$  и  $\text{tg}\varphi$  определить зависимость  $P \sim \epsilon_x$  или  $P \sim p$  в области ударного сжатия, что в совокупности с кривой  $P \sim \epsilon_x$ , полученной модифицированным методом Кольского, дает возможность построить единую зависимость  $P \sim \epsilon_x$  в достаточно широком и практически важном диапазоне изменения амплитуд нагрузок.

Нагружающее устройство для проведения плосковолновых ударных экспериментов представляет собой одноступенчатую газовую пушку и камеру с приемным устройством для размещения сборки с грунтовым образцом. Вариация скорости удара при плосковолновых испытаниях позволяет определить ряд точек ударной адиабаты. На рис. 5 представлены полученные результаты в осях  $D \sim U$ , которые могут быть описаны линейным отношением  $D = A + BU$  ( $D$  – скорость плоской волны,  $U$  – массовая скорость, значения констант  $A = 1346$  м/с,  $B = 3,055$ ).

Эта зависимость с использованием соотношений Гюгонио может быть преобразована к виду

$$\sigma_x = \frac{\rho A^2 \varepsilon_x}{(1 - B\varepsilon_x)^2}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon_x = 1 - \rho_0/\rho$ .

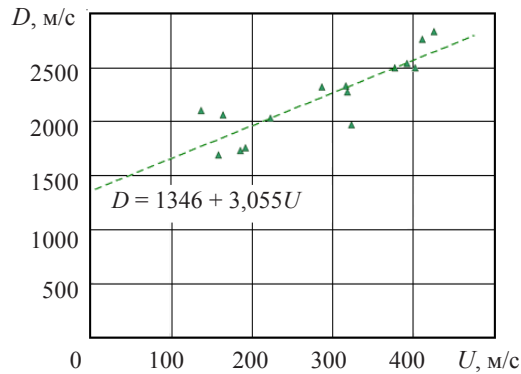


Рис. 5. Ударная адиабата

На рис. 6 приведена адиабата ударного сжатия в осях  $\sigma_x \sim \varepsilon_x$ , построенная с использованием зависимостей (3).

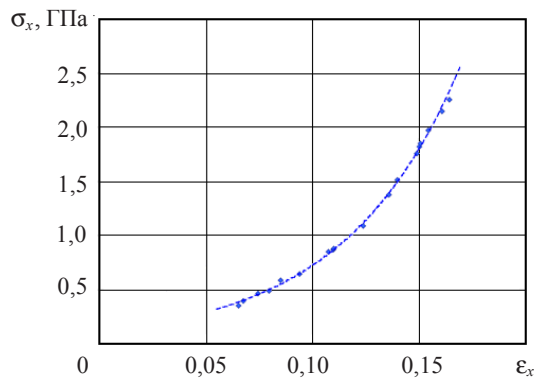


Рис. 6. Адиабата сжатия

Построенная единая кривая ударной сжимаемости в осях  $\sigma_x \sim \varepsilon_x$  показана на рис. 7, где адиабата ударного сжатия 3 совмещена со статической диаграммой 1 и диаграммой 2, полученной с использованием метода РСГ. Хорошо видно, что кривая сжимаемости глины не зависит от скорости деформации.

Так как влажная глина ведет себя подобно жидкости, для которой параметры сдвиговой прочности  $C$  и  $\text{tg } \varphi$  достаточно малы, определять давление  $P$  в образце по алгоритму, приведенному в [11, 13], и строить адиабату сжатия в осях  $P \sim \varepsilon_x$  не имеет смысла. С достаточной точностью можно считать  $P = \sigma_x$ . На рис. 8 показана кривая гидростатического сжатия глины в осях  $P \sim \rho$ .

Определение экспериментальным путем кривой динамической сжимаемости играет существенную роль в оснащении уравнения состояния мягких грунтов необходимыми параметрами.

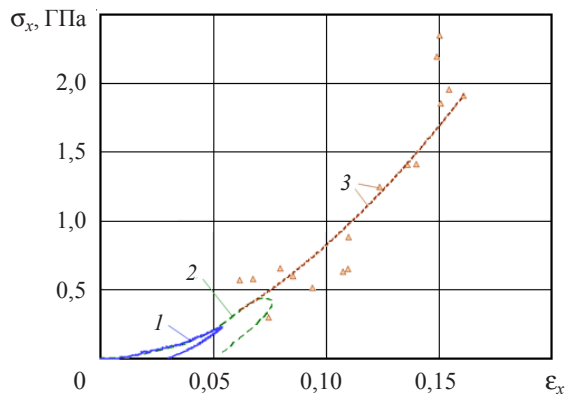


Рис. 7. Единые кривые сжатия глины

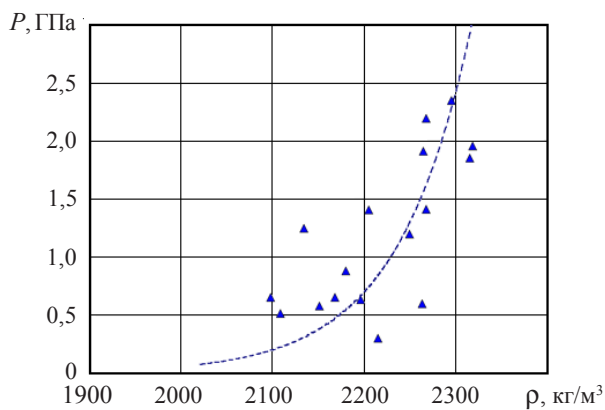


Рис. 8. Сжимаемость глины

### Заключение

В условиях одноосной деформации проведены статические и динамические испытания глины естественной влажности (15%) и получены диаграммы деформирования  $\sigma_x \sim \epsilon_x$ . Измерение окружной деформации ограничивающей обоймы позволило определить кривую объемной сжимаемости, коэффициент бокового распора и зависимость сопротивления сдвигу от давления.

Полученные результаты статических и динамических испытаний подобны и свидетельствуют о том, что нагрузочная ветвь диаграмм нелинейна. Влияние скорости деформации на ход как нагрузочной, так и разгрузочной ветви диаграммы не обнаружено. Величины максимальных достигнутых на диаграммах напряжений целиком определяются величиной приложенной нагрузки. Сравнение нагрузочных и разгрузочных ветвей диаграмм свидетельствует о том, что модуль деформации на нагрузочной ветви диаграммы существенно ниже аналогичного модуля при разгрузке. Это факт позволяет сделать вывод о том, что скорость волн разгрузки превышает скорость волн нагрузки.

Поведение влажной глины подобно поведению слабо сжимаемой жидкости, то есть кривые развития осевого напряжения  $\sigma_x \sim \epsilon_x$ , радиального напряжения  $\sigma_r \sim \epsilon_x$  и давления  $P \sim \epsilon_x$  близки друг к другу, тогда как касательные напряжения составляют очень малую величину. Коэффициент бокового распора составил величину  $\sim 0,9$ .

Результаты плосковолновых экспериментов показывают линейную зависимость между скоростью ударной волны и массовой скоростью частиц.

Построенная единая кривая ударной сжимаемости глины в осях  $\sigma_x \sim \epsilon_x$  свидетельствует о том, что скорость деформации в диапазоне давлений 0,05–3 ГПа не влияет на характер сжимаемости. На примере глины показано, что использование двух взаимодополняющих методов (модификации метода Кольского и плосковолнового ударного эксперимента) позволяет изучать динамическую сжимаемость мягких грунтов, которая до сих пор не была детально исследована.

Авторы выражают благодарность к.т.н. Д.А. Казакову за любезно предоставленные результаты статических испытаний глины.

#### Список литературы

1. Вовк А.А., Замышляев Б.В., Евтерев Л.С. и др. *Поведение грунтов под действием импульсных нагрузок*. Киев: Наукова думка, 1984. 286 с.
2. Ляхов Г.М. *Волны в грунтах и пористых многокомпонентных средах*. М.: Наука, 1982. 288 с.
3. Григорян С.С. Об основных представлениях динамики грунтов. *Прикладная математика и механика*. 1960. Т. 24, №6. С. 1057–1072.
4. Рахматулин Х.А., Сагомоян А.Я., Алексеев Н.А. *Вопросы динамики грунтов*. М.: Изд-во МГУ, 1964. 239 с.
5. Замышляев Б.В., Евтерев Л.С. *Модели динамического деформирования и разрушения грунтовых сред*. М.: Наука, 1990. 218 с.
6. Брагов А.М., Ломунов А.К. Использование метода Кольского для динамических испытаний конструкционных материалов. *Прикладные проблемы прочности и пластичности*. 1995. Вып. 51. С. 127–137.
7. Bragov A.M., Grushevsky G.M., Lomunov A.K. Use of the Kolsky method for studying shear resistance of soils. *DYNAMAT Journal*. 1994. V. 1(3). P. 253–259.
8. Брагов А.М., Гандурин В.П., Грушевский Г.М., Ломунов А.К. Методические особенности изучения динамической сжимаемости мягких грунтов в диапазоне давлений 0,05–1,5 ГПа. *Химическая физика*. 1995. Т. 14, № 2-3. С. 126–135.
9. Грушевский Г.М. *Экспериментальное и теоретическое изучение поведения грунтовых сред при ударном сжатии деформируемыми телами*: Дисс... канд. техн. наук. Н. Новгород, 1993.
10. Bragov A.M., Demenko P.V., Kruska L., Lomunov A.K., Sergeichev I.V. Investigation of dynamic compressibility and shear resistance of soft soils in a wide range of strain rate and pressure. *Numerical Methods in Geotechnical Engineering*. Mestat (ed.) Paris: Presses de l'ENPC/LCPC, 2002. P. 909–917.
11. Брагов А.М., Ломунов А.К., Сергеичев И.В., Прауд У., Сембелис К., Черч Ф. Методика определения основных физико-механических свойств мягких грунтов при скоростях деформации  $10^3$ – $10^5$  с<sup>-1</sup> и амплитудах нагрузок до нескольких гигапаскалей. *Письма в ЖТФ*. 2005. Т. 31, вып. 12. С. 83–87.
12. Брагов А.М., Грушевский Г.М., Ломунов А.К., Сергеичев И.В., Прауд У. Исследование динамической сжимаемости сухого песка в диапазоне амплитуд нагрузок до нескольких гигапаскалей. *Проблемы прочности и пластичности*. 2006. Вып. 68. С. 221–228.
13. Bragov A.M., Lomunov A.K., Sergeichev I.V., Tsembelis K., Proud W.G. Determination of physicomaterial properties of soft soils from medium to high strain rates. *International Journal of Impact Engineering*. 2008. Vol. 35, Is. 9. P. 967–976.
14. Брагов А.М., Котов В.Л., Ломунов А.К., Сергеичев И.В. Анализ особенностей измерения динамических характеристик мягких грунтов методом Кольского. *Прикладная механика и техническая физика*. 2004. Т. 45, №4. С. 147–153.
15. *Высокоскоростные ударные явления*. Под ред. Р. Кинслоу. М.: Мир, 1973. 532 с.



16. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. *Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений*. М.: Мысль, 1966. 686 с.

#### References

1. Vovk A.A., Zamyshlyayev B.V., Evterev L.S. i dr. *Povedenie gruntov pod deystviem impul'snykh nagruzok*. Kiev: Naukova dumka, 1984. 286 s.
2. Lyakhov G.M. *Volny v gruntakh i poristykh mnogokomponentnykh sredakh*. M.: Nauka, 1982. 288 s.
3. Grigoryan S.S. Ob osnovnykh predstavleniyakh dinamiki gruntov. *Prikladnaya matematika i mekhanika*. 1960. T. 24, №6. S. 1057–1072.
4. Rakhmatulin Kh.A., Sagomonyan A.Ya., Alekseev N.A. *Voprosy dinamiki gruntov*. M.: Izd-vo MGU, 1964. 239 s.
5. Zamyshlyayev B.V., Evterev L.S. *Modeli dinamicheskogo deformirovaniya i razrusheniya gruntovykh sred*. M.: Nauka, 1990. 218 s.
6. Bragov A.M., Lomunov A.K. Ispol'zovanie metoda Kol'skogo dlya dinamicheskikh ispytaniy konstruktsionnykh materialov. *Prikladnye problemy prochnosti i plastichnosti*. 1995. Vyp. 51. S. 127–137.
7. Bragov A.M., Grushevsky G.M., Lomunov A.K. Use of the Kolsky method for studying shear resistance of soils. *DYMAT Journal*. 1994. V. 1(3). P. 253–259.
8. Bragov A.M., Gandurin V.P., Grushevskiy G.M., Lomunov A.K. Metodicheskie osobennosti izucheniya dinamicheskoy szhimaemosti myagkikh gruntov v diapazone davleniy 0,05-1,5 GPa. *Khimicheskaya fizika*. 1995. T. 14, № 2-3. S. 126–135.
9. Grushevskiy G.M. *Ekspperimental'noe i teoreticheskoe izuchenie povedeniya gruntovykh sred pri udarnom szhatii deformiruemyimi telami*: Diss... kand. tekhn. nauk. N. Novgorod, 1993.
10. Bragov A.M., Demenko P.V., Kruszka L., Lomunov A.K., Sergeichev I.V. Investigation of dynamic compressibility and shear resistance of soft soils in a wide range of strain rate and pressure. *Numerical Methods in Geotechnical Engineering*. Mestat (ed.) Paris: Presses de l'ENPC/LCPC, 2002. P. 909–917.
11. Bragov A.M., Lomunov A.K., Sergeichev I.V., Proud W., Tsembelis K., Church F. Method for determining the main mechanical properties of soft soils at high strain rates ( $10^3$ – $10^5$   $s^{-1}$ ) and load amplitudes up to several gigapascals. *Technical Physics Letters*. Vol. 31, No 6. 2005. P. 530–531.
12. Bragov A.M., Grushevskiy G.M., Lomunov A.K., Sergeichev I.V., Praud U. Issledovanie dinamicheskoy szhimaemosti sukhogo peska v diapazone amplitud nagruzok do neskol'kikh gigapaskaley. *Problemy prochnosti i plastichnosti*. 2006. Vyp. 68. S. 221–228.
13. Bragov A.M., Lomunov A.K., Sergeichev I.V., Tsembelis K., Proud W.G. Determination of physicomechanical properties of soft soils from medium to high strain rates. *International Journal of Impact Engineering*. 2008. Vol. 35, Is. 9. P. 967–976.
14. Bragov A.M., Kotov V.L., Lomunov A.K., Sergeichev I.V. Measurement of the dynamic characteristics of soft soils using the Kolsky method. *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*. 2004. Vol. 45, No 4. P. 580–585.
15. *High-velocity impact phenomena*. R. Kinslow (Ed.). Tennessee Technological University: Academic Press, N.Y., 1970. 532 s.
16. Zel'dovich Ya.B., Rayzer Yu.P. *Fizika udarnykh voln i vysokotemperaturnykh gidrodinamicheskikh yavleniy*. M.: Mysl', 1966. 686 s.

## INVESTIGATION OF DYNAMICAL COMPRESSIBILITY OF CLAY

**Bragov A.M., Lomunov A.K.**

*Research Institute of Mechanics University of Nizhni Novgorod,  
Nizhni Novgorod, Russian Federation*

Investigations of compressibility of the clay in a wide range of strain rate were performed by using static loading device and two complementary dynamic methods: at a strain rate of about  $10^3$   $s^{-1}$  and

at pressure up to 500 MPa experiments were performed using a modification of the split Hopkinson bar with passive confinement of radial deformation, at a strain rate  $\sim 10^5 \text{ s}^{-1}$  and pressure above 500 MPa was used the plane-wave shock experiment. Both methods were implemented condition one-dimensional deformation and the volumetric stress state. There were build overall compressibility curves for clay in the axes of the stress-strain which is not dependent from strain rate. The results will be useful for the formulation of the equations of state of clay.

*Keywords:* Kolsky method, plane-wave shock experiment, stress-strain curve, shock adiabat, clay.