

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРНОЙ ПРОЧНОСТИ ГРУНТОВ МЕТОДОМ ПОСТОЯННО ВОЗРАСТАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ

В.В. ДЕНИСЕНКО¹, П.А. ЛЯШЕНКО²

¹*Кубанский государственный технологический университет,
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2;
электронная почта: devivi@yandex.ru*

²*Кубанский государственный аграрный университет,
350044, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Калинина, 13;
электронная почта: lyseich1@yandex.ru*

Отмечено, что широко используемы в настоящее время компрессионные испытания грунтов методом ступенчато возрастающей нагрузки (методом СВН) позволяют получить одно, весьма приближенное, значение структурной прочности грунтов, соответствующее окончанию разрушения их структурных связей. Кроме того, метод СВН не обеспечивает соответствие режимам нагружения грунтов при строительстве, при котором нагрузка увеличивается практически непрерывно. Приведен анализ результатов испытаний образцов-близнецов грунтов природного сложения методом постоянно возрастающей нагрузки (методом ПВН), в сравнении с методом СВН, с помощью автоматических компрессионных приборов с постоянно и ступенчато возрастающей нагрузкой, разработанных авторами совместно с СевКавТИСЗом (г. Краснодар). Установлено, что метод ПВН повышает точность определения структурной прочности грунтов, обеспечивает получение значений нагрузки, при которых начинается и заканчивается разрушение природной структуры грунтов, и позволяет оценивать степень сохранности природной структуры грунтов при отборе для испытаний.

Ключевые слова: компрессионные испытания, возрастающая нагрузка, сжимаемость, структурная прочность, структурные связи.

Лабораторное определение структурной прочности грунтов P_c в настоящее время производится графически по ГОСТ 12248 [1] или способу Казагранде [2] по результатам компрессионных испытаний методом ступенчато возрастающей нагрузки (методом СВН), принятым в нашей стране и во многих зарубежных странах за стандартный [1]. Метод СВН позволяет получить одно весьма приближенное значение P_c [3], соответствующее окончанию разрушения структурных связей испытываемых грунтов [2, 4]. В то же время разрушение структурных связей в грунтах при увеличении сжимающей нагрузки происходит не сразу и не одновременно, их т.к. прочность не одинакова. При этом разрушение одних связей вызывает увеличение напряжений в других за счет перераспределения внешней нагрузки. Поэтому разрушение структурных связей происходит в некотором интервале сжимающей нагрузки [2], который

<http://ntk.kubstu.ru/file/361>

установить методом СВН невозможно. Кроме того метод СВН не обеспечивает соответствие режимам нагружения оснований зданий и сооружений при строительстве [5], при котором нагрузка увеличивается практически непрерывно [6].

Нами проведены исследования по определению P_c методом постоянно возрастающей нагрузки (методом ПВН), который из известных методов компрессионных испытаний в наибольшей степени соответствует режимам нагружения оснований зданий и сооружений при строительстве [7, 8].

Исследования производились на 88 парах образцов-близнецов глинистых грунтов природного сложения различной консистенции:

- глинах твердых и полутвердых с коэффициентом пористости $e = 0,578-1,014$ и природной влажностью $W = 8-43 \%$;
- суглинках твердых, полутвердых, туго- и мягкопластичных с $e = 0,494-1,279$ и $W = 11-35 \%$;
- супесях твердых и пластичных с $e = 0,658-0,921$ и $W = 6-27 \%$.

Образцы-близнецы с одинаковыми значениями плотности и влажности отбирались одним и тем же работником парами и группами из 3-5 штук. Физические характеристики грунтов определялись по ГОСТ 5180 [9].

В каждой паре образцов-близнецов один образец испытывался методом ПВН, а другой – методом СВН.

Испытания образцов грунтов проводились с помощью автоматических компрессионных приборов, разработанных авторами совместно с СевКавТИСЗом (г. Краснодар), обеспечивающих приложение на образцы грунтов постоянно возрастающей нагрузки – АКП-4Н и ступенчато возрастающей нагрузки – АКП-3С.

Каждая пара образцов-близнецов испытывалась до одинаковой конечной сжимающей нагрузки от 300 до 500 кПа.

При методе ПВН скорость ПВН принималась из условия обеспечения практически полной консолидации грунтов за время их нагружения.

При методе СВН нагружение до конечной нагрузки осуществлялось ступенями, последовательно принимающими значения 50, 100, 150, 200, 300, 400 и 500 кПа по стандартной методике [1].

По всем образцам-близнецам, испытанными методами ПВН и СВН, определялись относительная деформация ε , коэффициент относительной сжимаемости m_v и модуль компрессионной деформации E_k и строились графики $\varepsilon(P)$ и $E_k(P)$. Расчет значений ε и E_k при методе СВН производился через интервалы приращения сжимающей нагрузки, соответствующие стандартным ступеням, которыми производились испытания $\Delta P = 50$ и 100 кПа, а при методе ПВН – через интервалы $\Delta P = 10$ кПа, позволяющие получить высокую точность определения m_v и E_k при относительно небольшой трудоемкости расчетов.

Полученные результаты показывают, что график $\varepsilon(P)$ при методах ПВН и СВН имеют сходные очертания, разность значений ε при методах ПВН и СВН не превышает 0,01 единиц. Значение E_k при методах ПВН и СВН имеют один порядок. Точки значений E_k при методе СВН ложатся, в целом, рядом с графиком $E_k(P)$ при методе ПВН. Однако при методе ПВН при расчета E_k в качестве интервала приращения ΔP может быть принята любая удобная для расчетов сколь угодно малая величина, позволяющая представить E_k в виде непрерывной функции от P . Поэтому график $E_k(P)$ более детализировано отражает изменение осадки грунта на любых участка возрастания нагрузки.

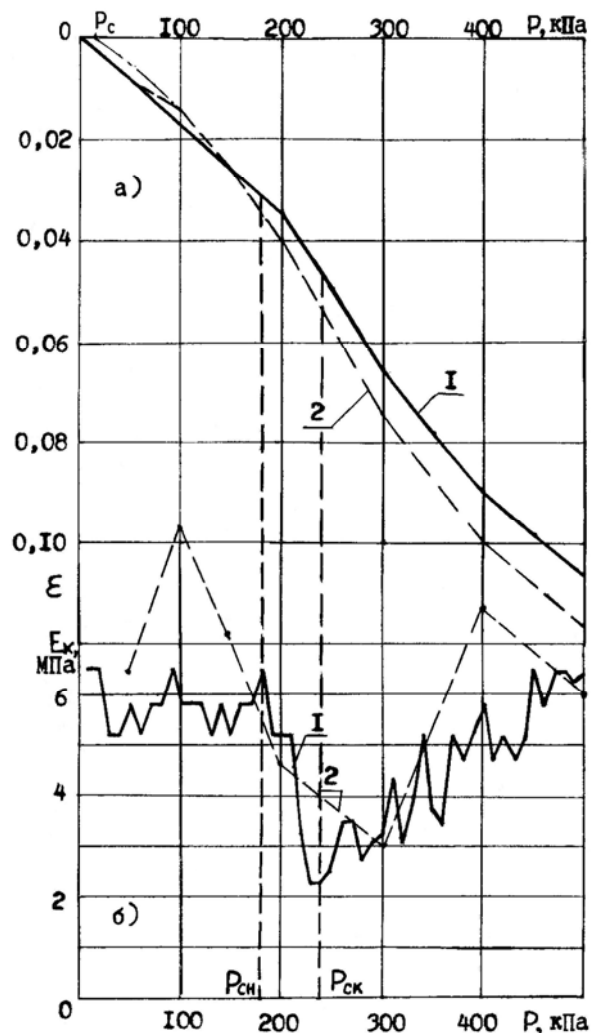
Определение P_c рассмотрим на 4-х пар образцов-близнецов грунтов №№ 35, 36, 45 и 49 (табл. 1), испытанных методами ПВН и СВН (рис. 1-4).

Таблица 1. Характеристики физических свойств образцов-близнецов грунтов, испытанных методами ПВН и СВН

Номер образцов-близнецов	Природная влажность, W , %	Природная плотность, ρ , г/см ³	Плотность частиц, P_s , г/см ³	Коэффициент пористости, e	Коэффициент водонасыщения, S_r	Показатель текучести, I_L	Число пластичности, I_p , %
25	20	1,82	2,71	0,783	0,69	< 0	15
36	32	1,95	2,73	0,845	1,00	0,14	21
45	19	1,70	2,70	0,862	0,60	< 0	17
49	18	1,72	2,70	0,849	0,57	< 0	11

Графики $E_k(P)$ показывают, что, несмотря на плавное увеличение нагрузки с постоянной скоростью при методе ПВН, осадка грунтов происходит неравномерно. Это подтверждает то, что прочность структурных связей в грунтах неодинакова и их разрушение при увеличении нагрузки происходит неодновременно.

С увеличением нагрузки на образец значение E_k вначале изменяется незначительно и практически сохраняется на одном уровне (рис. 1 и 3) или несколько увеличивается (рис. 2). Затем происходит резкое уменьшение значений E_k , которое продолжается в большем (рис. 3) или меньшем (рис. 1 и 2) интервале сжимающейся нагрузки, сменяющееся постепенным увеличением E_k .

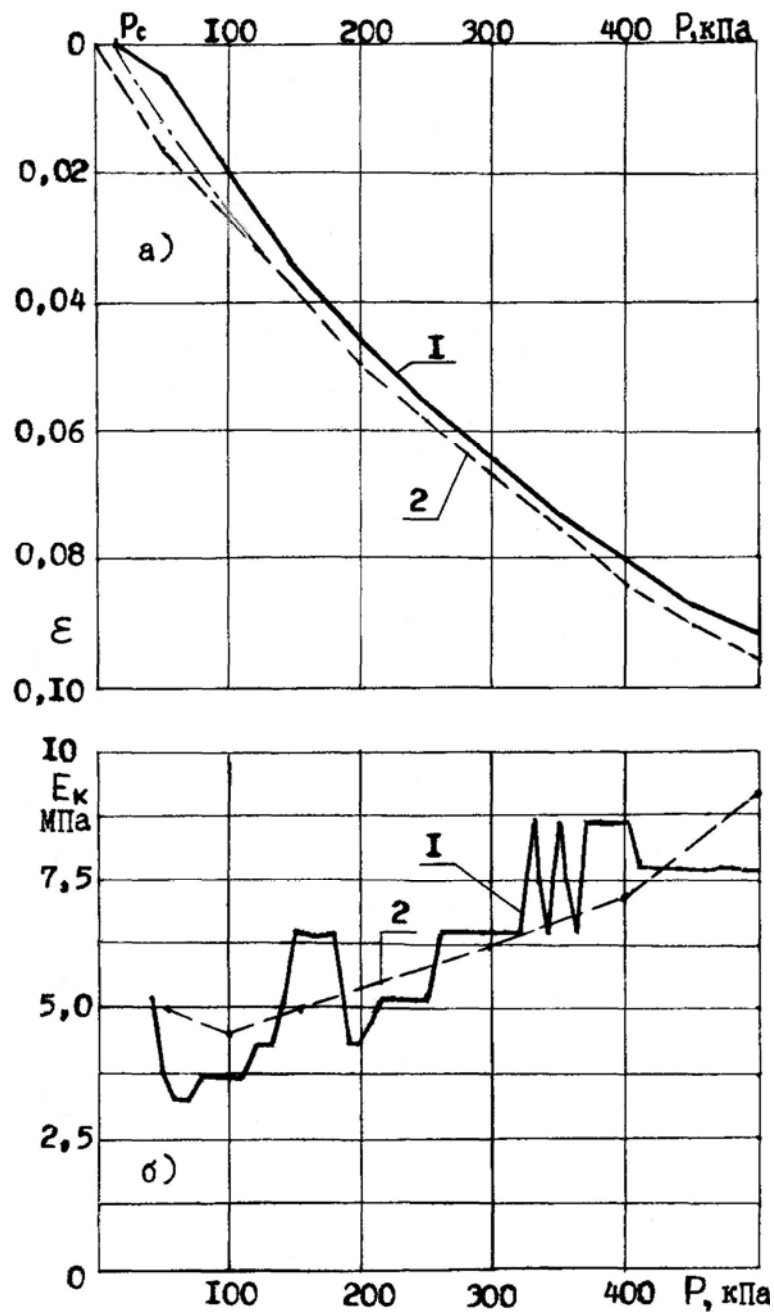


1 – метод ПВН; 2 – метод СВН;

а) – график $\epsilon(P)$; б) – график $E_k(P)$

Рис. 1. График изменения ϵ и E_k в зависимости от P

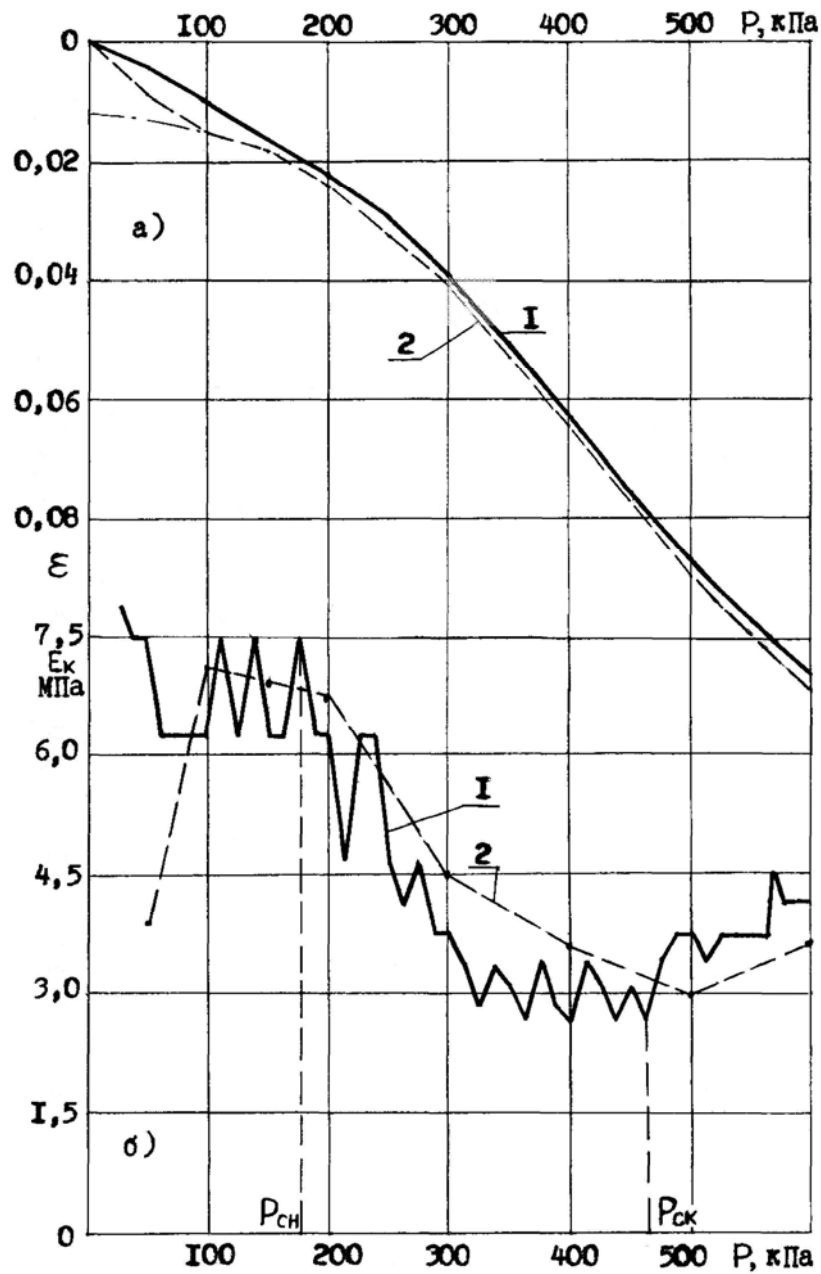
образцов-близнецов № 35 (табл. 1), испытанных методами ПВН и СВН



1 – метод ПВН; 2 – метод СВН;

а) – график $\varepsilon(P)$; б) – график $E_k(P)$

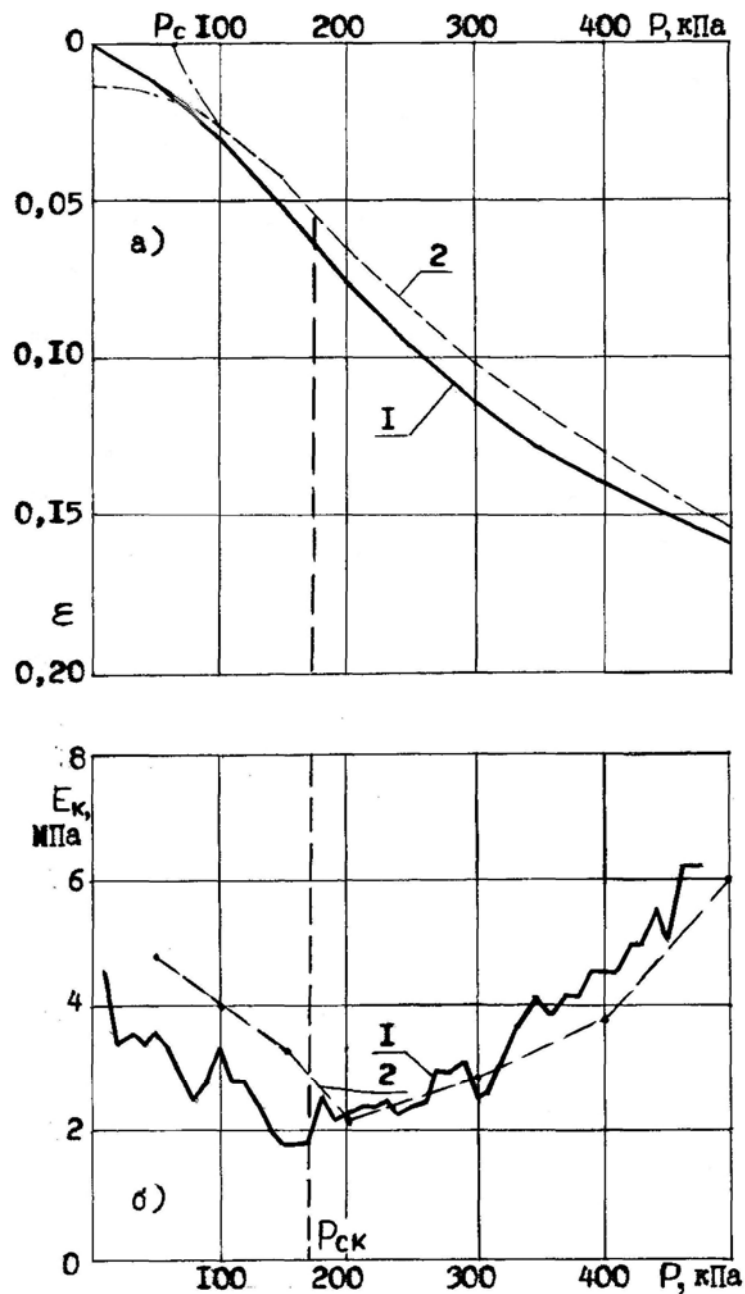
Рис. 2. График изменения ε и E_k в зависимости от P образцов-близнецов № 36 (табл. 1), испытанных методами ПВН и СВН



1 – метод ПВН; 2 – метод СВН;

а) – график $\varepsilon(P)$; б) – график $E_{\kappa}(P)$

Рис. 3. График изменения ε и E_{κ} в зависимости от P образцов-близнецов № 49 (табл. 1), испытанных методами ПВН и СВН



I – метод ПВН; 2 – метод СВН;
 а) – график $\varepsilon(P)$; б) – график $E_k(P)$

Рис. 4. График изменения ε и E_k в зависимости от P образцов-близнецов № 45 (табл. 1), испытанных методами ПВН и СВН

Практически на всех графиках $E_k(P)$ наблюдается три участка изменения $E_k(P)$, характеризующихся незначительным подъемом, резким спадом и вновь подъемом графика $E_k(P)$. Это соответствует представлению о структурной прочности, как о нагрузке на грунт, при превышении которой начинаются

существенные структурные изменения, сопровождающиеся ломкой цементационных связей и пространственной перестройкой частиц грунта.

Очевидно, первый участок графиков $E_k(P)$ с сохранением на одном уровне или небольшим увеличением значений E_k – это интервал нагрузки, в котором структурные связи грунтов сохраняются в ненарушенном состоянии. Второй участок с резким спадом значений E_k – это интервал нагрузки, в котором происходит разрушение структурных связей [2, 10]. Третий участок с постоянным подъемом значений E_k – это участок в котором происходит уплотнение грунта с разрушенными структурными связями [10].

Нагрузку, с которой на втором участке графика $E_k(P)$ начинается резкий спад значений E_k , назовем началом разрушения структурных связей грунтов и обозначим $P_{сн}$, а нагрузку, с которой начинается подъем значений E_k после второго участка, назовем окончанием разрушения структурных связей грунтов и обозначим $P_{ск}$ (рис. 1-4).

Следует отметить, что участки нагрузки, на которых происходило разрушение структуры грунтов на всех графиках $\varepsilon(P)$ выделяются выпуклой формой (см. рис. 1а-4а).

В некоторых случаях $P_{сн}$ мало или равно нулю (рис. 4). Это говорит о том, что структурные связи образцов грунтов нарушены до начала компрессионных испытаний. Если условия залегания таких грунтов в массиве исключают их нарушение, то оно произошло при отборе образцов из массива или монолитов. Следовательно, метод ПВН может быть использован для оценки степени нарушения природного состояния грунтов при их отборе из массива или монолитов, особенно при разработке средств для отбора образцов ненарушенной структуры в поле и лаборатории.

Пусть при отборе монолитов способом, принятым за эталонный (например, вручную из шурфа) значение $P_{сн} > 0$. Обозначим его через $P_{сн}^0$. Тогда степень сохранности природной структуры грунта при отборе монолитов любым другим (не эталонным) способом C_s можно оценить как отношение

$$C_s = \frac{P_{сн}}{P_{сн}^{\dot{Y}}}, \quad 0 \leq C_s \leq 1.$$

Определение P_c при методе ПВН может быть произведено так же по графику $m_v(P)$, при этом все рассуждения по анализу графиков $E_k(P)$ относятся и к графику $m_v(P)$, на которых также выделяется интервал $P_{сн}-P_{ск}$.

При методе СВН из-за больших по величине мгновенно прикладываемых ступеней нагрузки невозможно заметить неравномерность разрушения структурных связей грунтов и из-за малого числа точек на графиках $\varepsilon(P)$ или $\varepsilon(\lg P)$ и большого шага между ними невозможно выделить интервал нагрузки, в котором начинается и заканчивается разрушения структуры грунта. В некоторых случаях P_c графически вообще не определяется.

Так, в рассматриваемых опытах значения P_c , определенные способом Казагранде [2], для образцов № 35 (рис. 5а) меньше $P_{сн}$ (см. рис. 1б), для образцов № 36 (рис. 5б) – больше $P_{ск}$ (см. рис. 2б), а для образцов №№ 49 и 45 (рис. 6) – находятся в интервале $P_{сн}-P_{ск}$ (см. рис. 3б и 4б). Значения значения P_c , определенные способом по ГОСТ 12248-2010 [1], для образцов № 35 в 12 раз меньше $P_{сн}$ (см. рис. 1а), для образцов № 36 – почти в 3 раза меньше $P_{ск}$ (см. рис. 2а), для образцов № 49 – не определяется (см. рис. 3а), а для образцов № 45 в зависимости с какой погрешностью провести лекальную кривую или не определяется или равно 60 кПа (см. рис. 4а), что почти в 3 раза меньше $P_{ск}$ (см. рис. 4б).

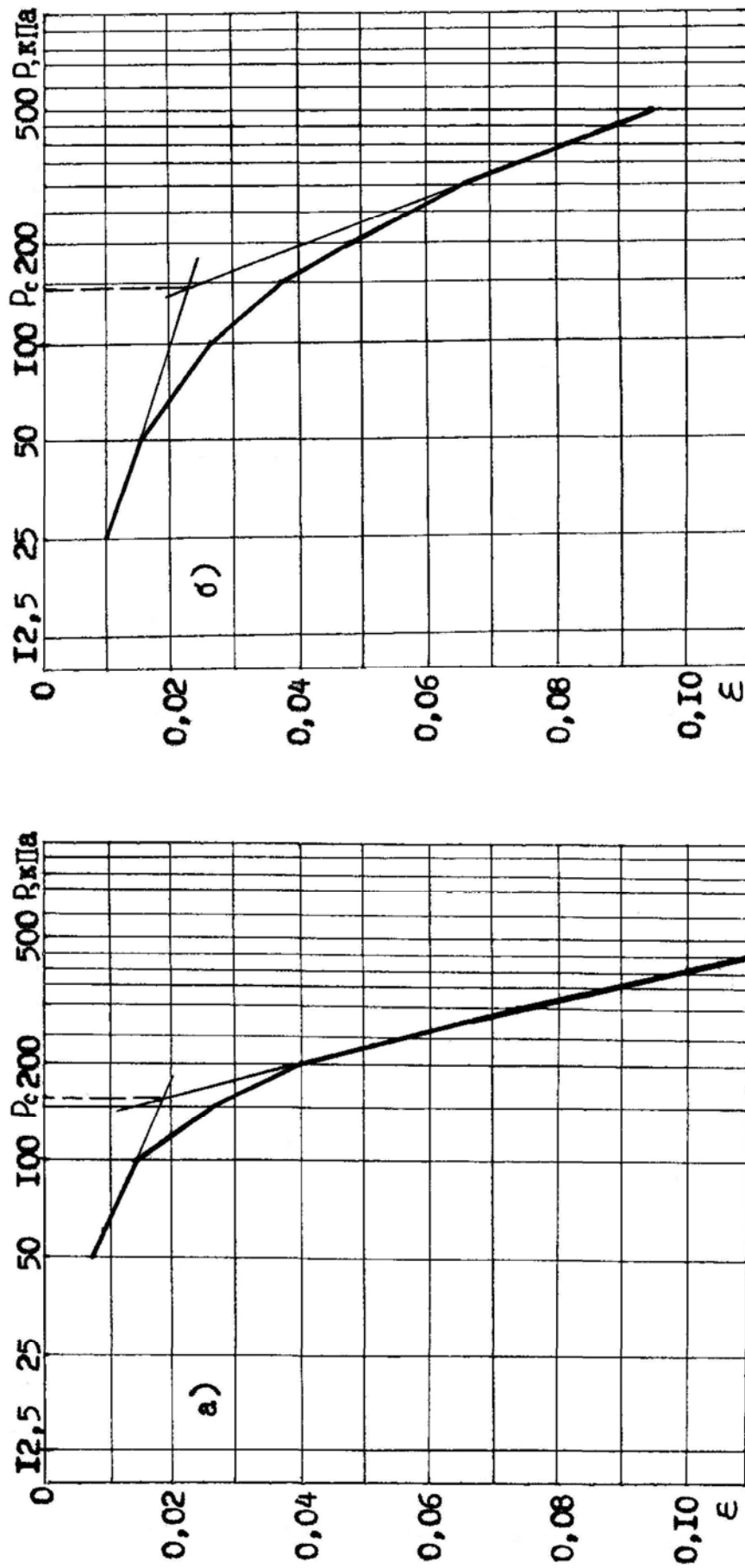


Рис. 5. Определение P_c способом Казагранде для образцов, испытанных методом СВН

а) – образец грунта № 35; (табл. 1); б) – образец грунта № 36 (табл. 1)

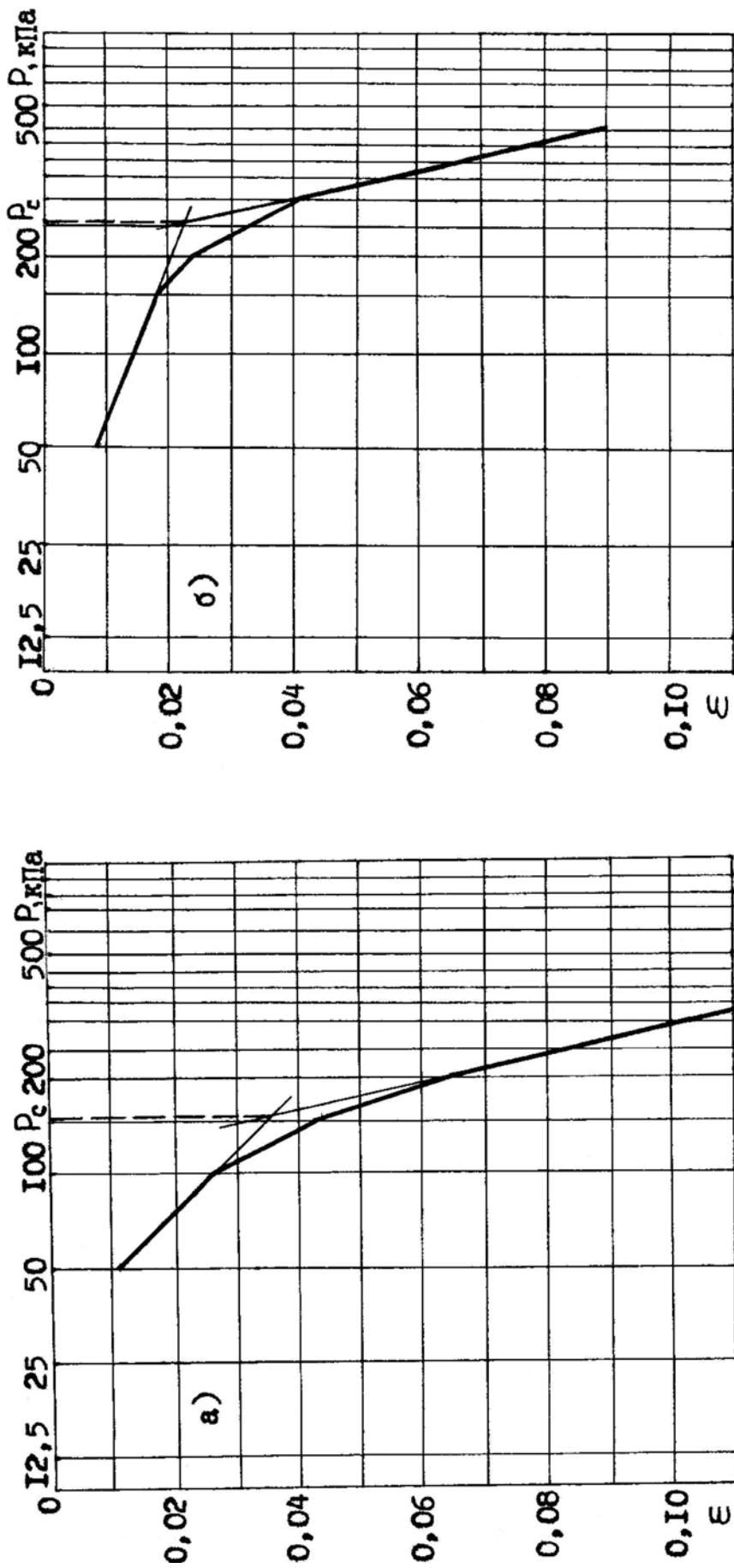


Рис. 6. Определение P_c способом Казагранде для образцов, испытанных методом СВН

а) – образец грунта № 45 (табл. 1); б) – образец грунта № 49 (табл. 1)

Погрешность определения $P_{сн}-P_{ск}$ при методе ПВН не превышает двух интервалов приращения нагрузки ΔP , с которыми производится обработка результатов испытания. Например, при обработке результатов испытаний образцов грунтов №№ 35, 36, 45 и 49 (см. рис. 1-4) значения $P_{сн}-P_{ск}$ определены с погрешностью ± 10 кПа.

Таким образом, установлено, что метод ПВН повышает точность определения структурной прочности грунтов, обеспечивает получение значений нагрузки, при которых начинается и заканчивается разрушение природной структуры грунтов, и позволяет оценивать степень сохранности природной структуры грунтов при отборе для испытаний.

Погрешность определения структурной прочности грунтов методом ПВН не превышает двух интервалов нагрузки, с которыми производится обработка результатов испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12248-2010 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.
2. **Гольдштейн М.Н.** Механические свойства грунтов (Напряженно-деформативные и прочностные характеристики). – М., Стройиздат, 1979. – 304 с.
3. **Широков В.Н.** Определение структурной прочности в компрессионных испытаниях // Инженерная геология. – 1987, № 6. – С. 111-114.
4. **Аликонис А.К.** К вопросу определения структурной прочности глинистого грунта // Научные труды высших учебных заведений ЛитССР. Строительные материалы и конструкции. – 1974., т. 3, вып.13. – С. 11-15.
5. **Тейлор Д.** Основы механики грунтов. – М., Госстройиздат, 1960. – 298 с.
6. **Росихин Ю.В., Битайнис А.Г.** Осадки строящихся сооружений. – Рига, Зинатне, 1980. – 339 с.

7. **Денисенко В.В., Ляшенко П.А.** Анализ методов компрессионных испытаний грунтов // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – Краснодар: КубГТУ, 2015, № 2. – 22 с. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/0337>.

8. Авт. св. СССР № 1506020 Е 02 D 1/00. Способ определения деформационных характеристик грунтов / **М.И. Горячев, В.В. Денисенко, П.А. Ляшенко** // Открытия. Изобретения. 1989, № 33.

9. ГОСТ 5180-84 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.

10. **Janbu N., Tokheim O., Senneset K.** Consolidation test with continuous loading // Tenth International Conference (Stockholm, 15-19 June, 1981). – Rotterdam, 1981, V. 1. – P. 645-654.

REFERENCES

1. GOST 12248-2010 Soils. Laboratory methods for determining the characteristics of strength and deformability.

2. **Goldstein M.N.** Mechanical properties of soils (voltage-deformability and strength characteristics). – M., Stroyizdat, 1979. – 304 p.

3. **Wide V.N.** Determination of structural strength in compression tests // Engineering Geology. – 1987, № 6. – P. 111-114.

4. **Alikonis A.K.** On the determination of the structural strength of clay soil // Proceedings of higher educational institutions of the Lithuanian SSR. Building materials and construction. – 1974, vol. 3, vyp.13. – P. 11-15.

5. **Taylor D.** Fundamentals of soil mechanics. – M., Gosstroizdat, 1960. – 298 p.

6. **Rossikhin Y.V., Bitaynis A.G.** Precipitation built structures. – Riga, Zinatne, 1980. – 339 p.

7. **Denisenko V.V., Lyashenko P.A.** Analysis of methods of compression tests of soils // Electronic Network polythematic journal "Proceedings KubGTU." – Krasnodar: KubGTU, 2015, № 2. – 22. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/0337>.

8. Aut. sv. USSR № 1506020 E 02 D 1/00. A method for determining the deformation characteristics of soils / **M.I. Goryachev, V.V. Denisenko, P.A. Lyashenko** // Discoveries. Inventions. 1989, № 33.

9. GOST 23161-2012 Soils. Laboratory methods for determining characteristics of subsidence.

10. **Janbu N., Tokheim O., Senneset K.** Consolidation test with continuous loading // Tenth International Conference (Stockholm, 15-19 June, 1981). – Rotterdam, 1981, V. 1. – P. 645-654.

IMPROVE THE ACCURACY OF THE STRUCTURAL STRENGTH SOIL METHOD CONSTANTLY INCREASING LOAD

V.V. DENISENKO¹, P.A. LYASHENKO²

¹*Kuban State University of Technology,
2, Moskovskay st., Krasnodar, Russian Federation, 350072
e-mail: devivi@yandex.ru*

²*Kuban State Agrarian University,
13, Kalinina st., Krasnodar, Russian Federation, 350044
e-mail: lyseich1@yandex.ru*

Noted that the widely used currently compression tests of soils by stepwise increasing load (using SVN) allow one to obtain very approximate value of the structural strength of the soil, the corresponding end of the destruction of their structural relationships. In addition, the method does not provide SVN corresponding mode of loading of soils during construction, in which the load is increased almost continuously. The analysis of the test results of samples twin natural soil by adding ever-increasing load (by PVN), compared with the method of IOS, with automatic compression devices with ever-increasing workload and steps developed by the authors, together with SevKavTISZom (Krasnodar). It was found that the method of improving the accuracy of the DID structural strength of soils, provides load values at which begins and ends with the destruction of the natural soil structure, and allows to evaluate the degree of preservation of the natural structure of the soil in the selection test.

Key words: compression test, increasing the load, compressibility, structural strength, structural connections.