

*ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ПРИЛОЖЕНИЯ  
ПОСТОЯННО ВОЗРАСТАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ НА КОНСОЛИДАЦИЮ  
ГРУНТОВ ПОСЛЕ НАГРУЖЕНИЯ*

**В.В. ДЕНИСЕНКО<sup>1</sup>, П.А. ЛЯШЕНКО<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Кубанский государственный технологический университет,  
350002, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2,  
электронная почта: denvivi@yandex.ru*

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

При лабораторном определении сжимаемости грунтов компрессионными испытаниями наибольшее соответствие режимам нагружения грунтов оснований при строительстве обеспечивает метод постоянно возрастающей нагрузки (метод ПВН), который повышает достоверность и точность определения показателей сжимаемости грунтов и сокращает длительность их испытаний. Однако метод ПВН не достаточно изучен для широкого практического применения. Авторами проведены исследования влияния скорости приложения ПВН на консолидацию грунтов после нагружения. Установлено, что: скорость приложения ПВН оказывает влияние на фильтрационную консолидацию и ползучесть грунтов в процессе и после нагружения; для каждого грунта имеется такое граничное значение скорости приложения ПВН, ниже которого скорость приложения ПВН не влияет на его показатели сжимаемости; критерием выбора скорости приложения ПВН является условие обеспечения степени консолидации грунтов при окончании нагружения, равной  $\geq 0,952$ .

**Ключевые слова:** постоянно возрастающая нагрузка, образец грунта, сжимающая нагрузка, скорость приложения нагрузки, осадка образца, стабилизация осадки.

При компрессионных испытаниях грунтов, применяемых для определения показателей сжимаемости грунтов в процессе производства инженерно-геологических изысканий, наибольшее распространение в настоящее время получил метод ступенчато возрастающей нагрузки (метод СВН), при котором приложение нагрузки на грунт прикладывается ступенями с выдержкой каждой до стабилизации осадки грунта. Метод СВН прост в реализации, но требует больших затрат времени и не соответствует режиму нагружения грунтов оснований при строительстве, при котором нагрузка увеличивается во времени практически постоянно [1-3]. Наибольшее соответствие режимам нагружения грунтов оснований при строительстве обеспечивает метод постоянно возрастающей нагрузки (метод ПВН) [1], который повышает достоверность и точность определения показателей сжимаемости грунтов и сокращает

длительность их испытаний. Однако метод ПВН не достаточно изучен для широкого практического применения [1], в частности, не изучено влияние скорости приложения ПВН на консолидацию грунтов после их нагружения.

Нами проведены исследования влияния скорости приложения ПВН на консолидацию грунтов после нагружения на образцах-близнецах глинистых грунтов природного сложения различной консистенции (таблица 1).

Таблица 1 – Физические свойства испытанных образцов-близнецов грунтов

Номер образцов-близнецов	Природная влажность, $W$ , %	Плотность, $\rho$ , т/м <sup>3</sup>	Плотность частиц, $\rho_s$ , т/м <sup>3</sup>	Коэффициент пористости, $e$	Коэффициент водонасыщения, $S_r$	Число пластичности, $I_p$ , %	Показатель текучести, $I_L$
81	20	2,01	2,70	0,753	0,72	12	<0
82	20	2,01	2,70	0,753	0,72	12	<0
83	20	2,01	2,70	0,753	0,72	12	<0
84	20	2,01	2,70	0,753	0,72	12	<0
85	29	2,02	2,72	0,738	1,0	21	<0
86	43	1,91	2,69	1,014	1,0	26	0,23
88	36	1,91	2,63	0,872	1,0	27	0,04
97	25	2,06	2,71	0,649	1,0	15	<0
98	25	2,06	2,71	0,649	1,0	15	<0
99	25	2,06	2,71	0,649	1,0	15	<0
101	25	2,02	2,70	0,667	1,0	16	<0
103	35	1,93	2,76	0,930	1,0	35	0,03
104	20	2,10	2,70	0,543	0,99	13	<0

Образцы-близнецы грунтов с одинаковыми значениями плотности и влажности отбирались одним и тем же работникам парами и группами из 3-5 штук, физические характеристики грунтов определялись по ГОСТ 5180 [4-6].

Пары образцов-близнецов грунтов испытывались до одинаковой конечной нагрузки от 300 до 750 кПа (таблица 2) при полном водонасыщении на автоматическом компрессионном приборе АКП-4Н с постоянно возрастающей нагрузкой [7], разработанном на базе автоматического компрессионного прибора АКП-3С со ступенчато возрастающей нагрузкой [8-10].

Скорость приложения ПВН для образцов грунтов каждой пары близнецов задавалась произвольно и в различных опытах имела различную величину. Диапазон скоростей приложения ПВН при испытаниях пар образцов-близнецов грунтов (таблица 1) составил от 7,8 до 250 кПа/ч (таблица 2).

Таблица 2 – Режимы испытаний групп образцов-близнецов

Номер образцов грунтов	Скорости приложения ПВН, $V$ , кПа/ч	Относительная дополнительная осадка, $Q$ , %	Относительная влажность образцов-грунтов, $W/W_1$	Величина конечной нагрузки, $P_k$ , кПа
81	40,0	7,9	0,78	480
82	20,0	4,0		
83	160,0	29,4		
84	80,0	18,4		
85а	50,0	23,8	0,57	300
85б	50,0	26,2		
85в	100,0	43,7		
85г	25,0	16,8		
85д	12,5	11,8	0,68	680
86а	227,0	41,2		
86б	113,0	21,7		
86в	57,0	12,2		
86г	28,0	7,5	0,58	680
88а	227,0	5,6		
88б	113,0	5,6		
88в	57,0	4,3		
97	10,4	3,3	0,61	500
98	10,4	3,8		
99	83,0	6,8		
101а	31,2	7,3	0,55	750
101б	250,0	10,9		
101в	62,5	8,0		
101г	62,5	8,0		
103а	15,6	7,6	0,50	750
103б	31,8	9,5		
103в	7,8	5,0		
103г	62,5	11,6		
104а	62,5	10,6	0,55	750
104б	31,2	8,0		
104в	15,6	6,6		

В процессе испытаний каждого образца грунта производилась регистрация с точностью 0,005 мм: осадки грунта за время приложения ПВН и стабилизированной осадки грунта при постоянной конечной нагрузке  $P_k = const$ .

По всем испытанным образцам грунтов определялись относительная дополнительная осадка  $Q$  при постоянной конечной нагрузке  $P_k$  и степень консолидации  $U$  при окончании нагружения [11]. Расчет этих показателей производился через интервал нагрузки  $\Delta P = 10$  кПа, позволяющий получить высокую точность определений [12-15].

Анализ графиков зависимости величины стабилизированной осадки грунта  $S_c$  при постоянной конечной нагрузке  $P_k$  от времени  $t_c$  после окончания приложения ПВН до стабилизации осадки грунта  $S_c(lgt_c)$ , построенных по результатам испытаний 8 групп образцов-близнецов (таблицы 1 и 2) с различными скоростями приложения ПВН  $V$ , показывает, что в зависимости от скорости приложения ПВН и физических свойств испытываемых грунтов процесс их консолидации после приложения ПВН при постоянной конечной нагрузке протекает по-разному, оказывая влияние на величину дополнительной осадки  $S_c$ .

Так, при испытании глины твердой с числом пластичности  $I_p = 21 \%$ , природной влажностью  $W = 29 \%$ , коэффициентом пористости  $e = 0,738$  и коэффициентом водонасыщения  $S_r = 1,0$  (рисунок 1) при скорости приложения ПВН равной  $V = 100$  кПа/ч величина  $S_c$  в 1,4 больше, чем при испытании в 1,6 раза большей скоростью  $V = 160$  кПа/ч суглинка твердого с близким  $e = 0,753$ , но меньшим  $I_p = 12 \%$ ,  $W = 20 \%$  и  $S_r = 0,72$  (рисунок 2).

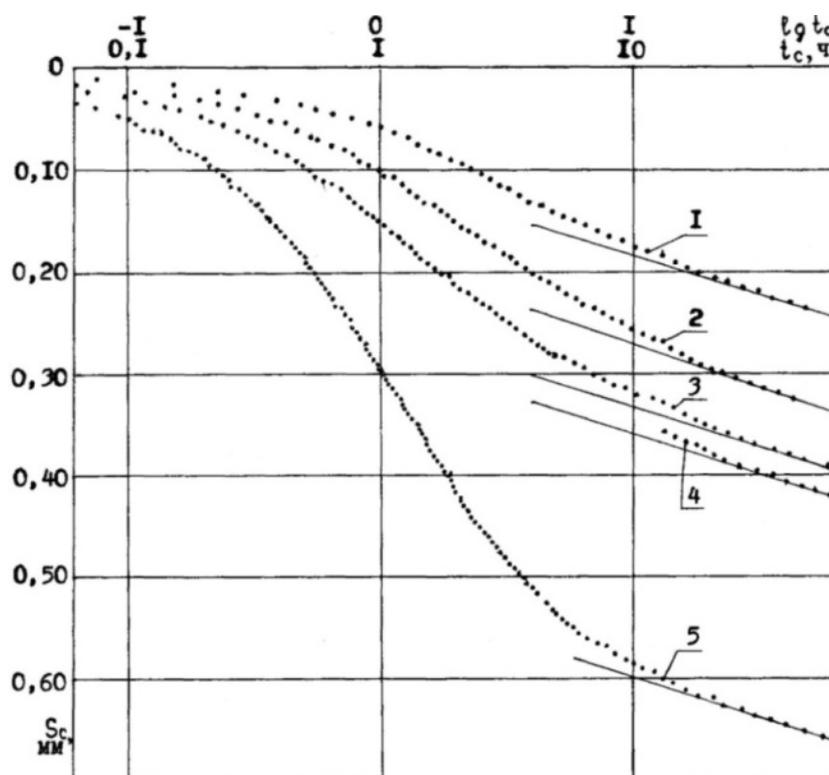


Рисунок 1 – Кривые консолидации образцов-близнецов №№ 85а-85д при постоянной конечной нагрузке  $P_k$ , приложенной с различной скоростью ПВН  $V$ :  
 1 – № 85д,  $V = 12,5$  кПа/ч; 2 – № 85г,  $V = 25$  кПа/ч; 3 – № 85а,  $V = 50$  кПа/ч;  
 4 – № 85б,  $V = 50$  кПа/ч; 5 – № 85в,  $V = 100$  кПа/ч

При испытании глины полутвердой с  $I_p = 26\%$ ,  $W = 43\%$ ,  $e = 1,014$  и  $S_r = 1,0$  (рисунок 3) при  $V = 227$  кПа/ч величина  $S_c$  более 4,5 раз больше, чем при испытании с такой же скоростью приложения ПВН глины, полутвердой с близкими  $I_p = 27\%$ , и  $S_r = 1,0$ , но меньшими  $W = 36\%$  и  $e = 0,872$  (рисунок 4а).

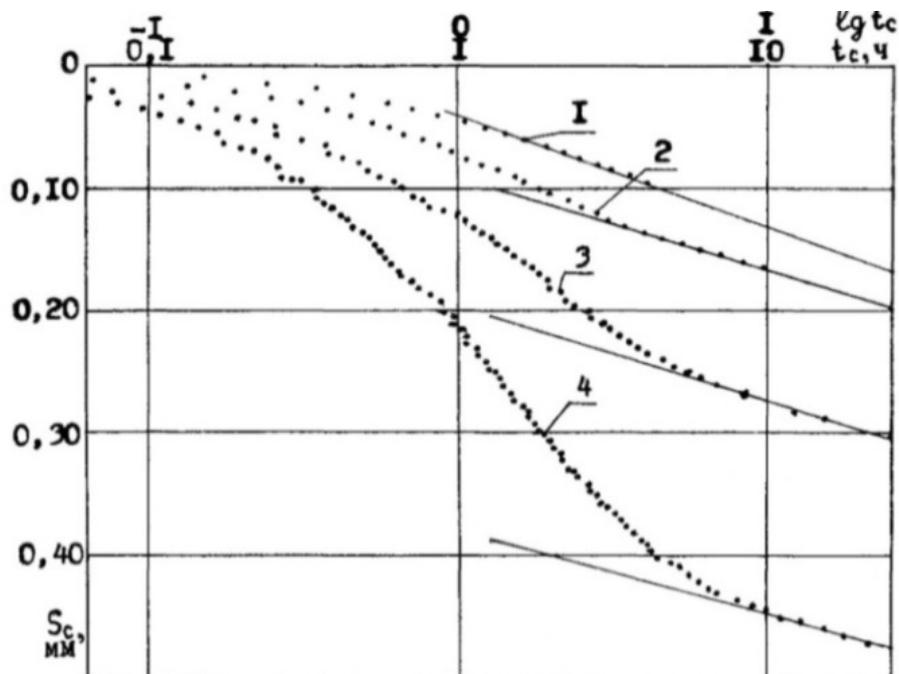


Рисунок 2 – Кривые консолидации образцов-близнецов №№ 81-84 при постоянной конечной нагрузке  $P_k$ , приложенной с различной скоростью ПВН  $V$ :

- 1 – № 82,  $V = 20$  кПа/ч; 2 – № 81,  $V = 40$  кПа/ч;
- 3 – № 84,  $V = 80$  кПа/ч; 4 – № 83,  $V = 160$  кПа/ч

При испытании суглинков полутвердых с  $I_p = 13-16\%$ ,  $W = 20-25\%$ ,  $e = 0,543-0,687$  и  $S_r = 0,99-1,0$  (рисунки 4б, 5а, 5в) величина дополнительной осадки  $S_c$  при скорости  $V = 62,5$  и  $83$  кПа/ч в 4 раза меньше, чем при испытании со скоростью  $V = 80$  кПа/ч суглинка твердого с близкой  $W = 20\%$ , меньшим  $I_p = 12\%$  и  $S_r = 0,72$ , но большим  $e = 0,753$  (рисунок 2).

При испытании глины полутвердой с  $I_p = 35\%$ ,  $W = 35\%$ ,  $e = 0,930$  и  $S_r = 1,0$  (рисунок 5б) при скорости  $V = 62,5$  кПа/ч величина дополнительной осадки  $S_c$  практически равна величине  $S_c$ , полученной при испытании с большей в 3,6 раза скоростью  $V = 227$  кПа/ч, глины полутвердой с близкими  $W = 36\%$ , и  $S_r = 1,0$ , с большим  $e = 0,930$ , но меньшим  $I_p = 27\%$  (рисунок 4а).

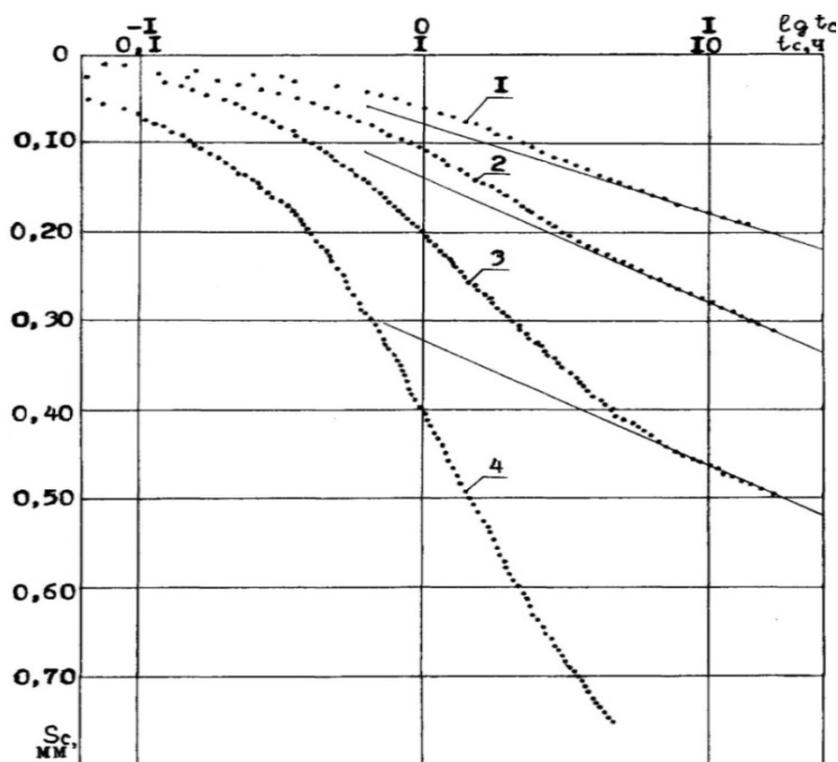


Рисунок 3 – Кривые консолидации образцов-близнецов №№ 86а-86г при постоянной конечной нагрузке  $P_k$ , приложенной с различной скоростью ПВН  $V$ :

1 – № 86г,  $V = 28$  кПа/ч; 2 – № 86в,  $V = 57$  кПа/ч;  
 3 – № 86б,  $V = 113$  кПа/ч; 4 – № 86а,  $V = 227$  кПа/ч

Кривые консолидации грунтов имеют или S-образную форму (кривые № 3 и № 4 на рисунках 2 и 3 и кривые № 3 и № 5 на рисунке 1) или сглаженную форму (рисунки 4а-4б, 5а-5в, кривые № 1 и № 2 на рисунках 1, 2 и 3).

Кривые консолидации грунтов S-образной формы свидетельствуют о том, что дополнительная осадка  $S_c$  испытываемых образцов грунтов проходила в два этапа: фильтрационной консолидации и ползучести скелета грунтов. Для этих грунтов скорости приложения ПВН были велики и грунты не достаточно консолидировались во время приложения ПВН.

Кривые консолидации грунтов сглаженной формы свидетельствуют о том, что дополнительная осадка  $S_c$  образцов проходила за счет ползучести скелета грунтов, а скорости приложения ПВН обеспечивали фильтрационную консолидацию грунтов во время приложения ПВН.

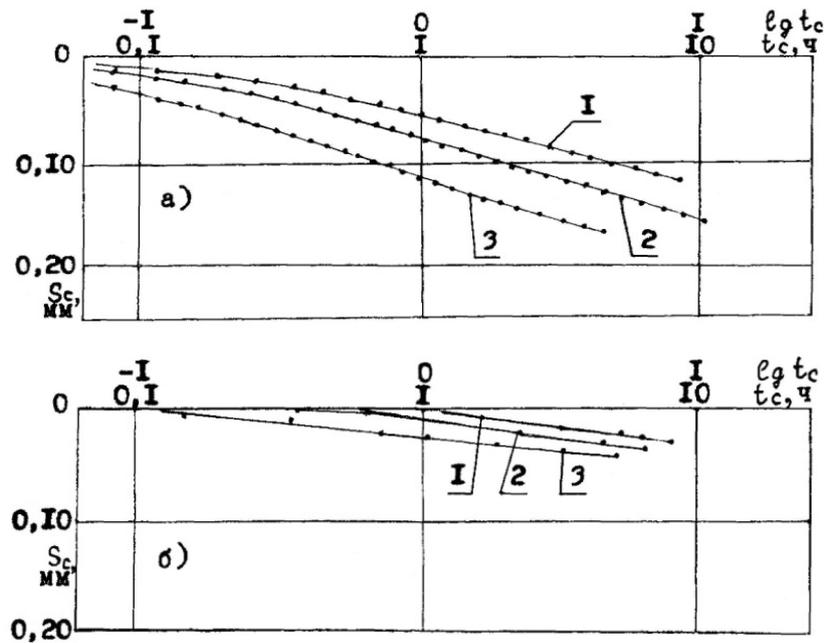


Рисунок 4 – Кривые консолидации образцов-близнецов №№ 88а-88в, 97-99 при постоянной конечной нагрузке  $P_k$ , приложенной с различной скоростью ПВН  $V$ :  
 а) 1 – № 88в,  $V = 57$  кПа/ч; 2 – № 88б,  $V = 113$  кПа/ч; 3 – № 88а,  $V = 227$  кПа/ч;  
 б) 1 – № 97,  $V = 10,4$  кПа/ч; 2 – № 98,  $V = 10,4$  кПа/ч; 3 – № 99,  $V = 83$  кПа/ч

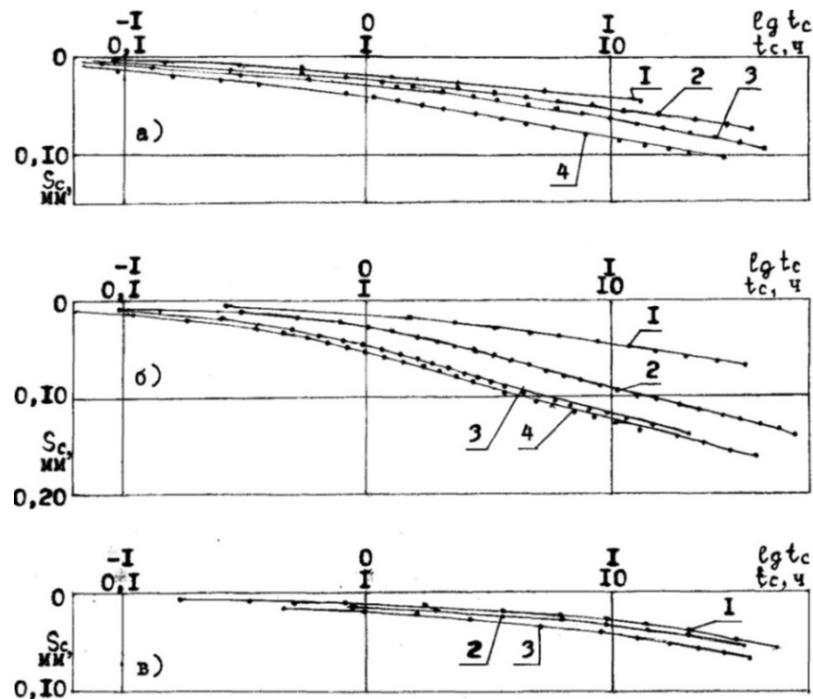


Рисунок 5 – Кривые консолидации образцов-близнецов №№ 101а-101г, 103а-103г и 104а-104в при постоянной конечной нагрузке  $P_k$ , приложенной с различной скоростью ПВН  $V$ :  
 а) 1 – № 101в,  $V = 62,5$  кПа/ч; 2 – № 101г,  $V = 62,5$  кПа/ч;  
 3 – № 101а,  $V = 31,2$  кПа/ч; 4 – № 101б,  $V = 250$  кПа/ч;  
 б) 1 – № 103в,  $V = 7,8$  кПа/ч; 2 – № 103а,  $V = 15,6$  кПа/ч;  
 3 – № 103б,  $V = 31,8$  кПа/ч; 4 – № 103г,  $V = 62,5$  кПа/ч;  
 в) 1 – № 104в,  $V = 15,6$  кПа/ч; 2 – № 104б,  $V = 31,2$  кПа/ч;  
 3 – № 104а,  $V = 62,5$  кПа/ч

Наклон участков кривых, где происходила фильтрационная консолидация грунтов, зависит от скорости приложения ПВН  $V$ : чем больше скорость  $V$ , тем больше наклон кривых консолидации грунтов.

Участки кривых консолидации грунтов, где происходила ползучесть скелета грунтов, имеют приблизительно одинаковый наклон. Это говорит о том, что скорость приложения ПВН не оказывает существенного влияния на ползучесть скелета грунтов при постоянной нагрузке после окончания нагружения.

Кривые консолидации грунтов (рисунки 1-5) аппроксимируются функцией

$$S_c = \frac{t_c}{c + f \cdot t_c}, \quad (1)$$

где  $t_c$  – время после окончания приложения ПВН до стабилизации осадки грунта при  $P_k = const$ , ч;

$c$  и  $f$  – постоянные для конкретного опыта величины соответственно, ч/мм и 1/мм. Для проведенных опытов вычисленные значения  $c$  и  $f$  приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры аппроксимации кривых консолидации образцов грунтов после приложения ПВН

Номер образцов грунтов	Скорость ПВН, $V$ , кПа/ч	Параметры аппроксимирующей функции		Средняя квадратичная погрешность, $\sigma_n \cdot 10^3$ , мм	Коэффициент консолидации грунта, $C_v$ , мм <sup>2</sup> /ч	Показатель ползучести скелета грунта, $K \cdot 10^3$
		$c$ , ч/мм	$f$ , 1/мм			
82	20,0	13,480	8,043	0,410	–	3,33
81	40,0	8,376	5,274	0,670	23,9	3,11
84	80,0	4,151	3,340	0,775	50,2	3,08
83	160,0	2,538	1,996	0,460	93,3	2,75
85д	12,5	13,130	4,120	0,865	12,4	3,01
85г	25,0	7,132	3,001	0,795	26,1	3,34
85а	50,0	4,374	2,547	0,720	38,4	3,26
85б	50,0	7,627	2,264	0,475	21,3	3,18
85в	100,0	1,842	1,519	0,330	94,2	3,3.9
86г	28,0	11,240	4,512	0,830	19,3	4,17
86в	57,0	6,178	2,945	0,470	25,0	5,84
86б	113,0	3,104	1,839	0,510	47,0	5,65
86а	227,0	1,371	1,064	0,565	106,0	–
86в	57,0	8,797	8,062	0,955	–	4,61
86б	113,0	6,100	6,097	0,720	1,3	3,20
88а	227,0	2,439	5,653	1,090	2,6	3,63
97	10,4	136,600	18,780	0,415	–	1,32

Окончание таблицы 3

98	10,4	34,250	26,440	1,775	–	1,67
99	83,0	14,210	23,510	1,735	–	0,96
101a	31,2	38,970	10,370	0,845	–	1,64
Ю1в	62,5	23,720	20,510	0,545	–	0,79
101г	62,5	46,590	12,630	0,855	–	1,48
101б	250,0	14,410	9,501	1,655	–	1,78
103в	7,8	83,96	13,560	0,650	–	1,46
103a	15,6	36,99	7,048	0,530	0,2	2,52
103б	31,8	17,34	6,915	0,495	0,5	2,68
103г	62,5	15,80	6,286	0,650	0,6	2,46
104в	15,6	197,60	14,500	1,120	–	1,33
104б	31,2	97,75	18,710	1,490	–	0,98
104a	62,5	66,70	14,570	0,925	–	1,16

Примечания

1  $\sigma_n$  – среднее квадратичное отклонение экспериментальных значений дополнительной осадки  $S_c$  от расчетных.

2  $c$  и  $f$  определены методом наименьших квадратов

Покажем, что параметры  $c$  и  $f$  имеют определенный физический смысл.

При больших значениях  $t_c \gg 1$  формулу (1) можно представить в виде

$$S_c \cong \frac{1}{f}, \quad (2)$$

т.е.  $f$  имеет значение, обратное величине стабилизированной осадки испытываемого грунта  $S_c$ .

$$f = \frac{1}{S_c} \quad (3)$$

При малых значениях времени  $t_c \ll 1$  формулу (1) можно представить в виде

$$S_c \cong \frac{t_c}{c}. \quad (4)$$

С другой стороны, решение задачи о фильтрационной консолидации грунтов при методе ступенчато возрастающей нагрузки (методе СВН) с мгновенным приложением нагрузки, равномерно распределенной по толщине образца грунта, можно представить при  $t_c \ll 1$  в виде

$$S_c \cong \frac{2 \cdot m_0 \cdot C_v \cdot P_k \cdot t_c}{h}, \quad (5)$$

где  $m_0$  – коэффициент сжимаемости,  $m^2/H$ ;

$C_v$  – коэффициент консолидации, м<sup>2</sup>/с;

$P_k$  – конечная нагрузка на образец, Н/м<sup>2</sup>;

$t_c$  – время после окончания приложения ПВН до стабилизации осадки образца грунта при  $P_k = const$ , с;

$h$  – высота образца, м.

Так как способ приложения нагрузки явно не отражен в начальных условиях задачи фильтрационной консолидации грунтов при методе СВН, то можно использовать решение этой задачи для случая консолидации грунтов после достижения конечной сжимающей нагрузки, приложенной постепенно с заданной скоростью, а не мгновенно.

Поэтому приравниваем соответствующие части формул (4) и (5) и получаем:

$$\frac{1}{c} = \frac{2 \cdot m_0 \cdot C_v \cdot P_k}{h}, \text{ откуда } c = \frac{h}{2 \cdot m_0 \cdot C_v \cdot P_k}. \quad (6)$$

Преобразовав формулу (6), получаем выражение для коэффициента консолидации грунта, уплотненного путем приложения ПВН до значения  $P_k$ :

$$C_v = \frac{h}{2 \cdot m_0 \cdot c \cdot P_k}. \quad (7)$$

Практически все кривые консолидации грунтов (рисунки 1-5) имеют прямолинейный участок, отражающий линейную зависимость между  $lgt_c$  и  $S_c$ , которую можно представить в виде

$$S_c = h \cdot K \cdot (lgt_c - lgt_0), \quad (8)$$

Из формулы (12) имеем

$$K = \frac{S_c}{h \cdot (lgt_c - lgt_0)}, \quad (9)$$

где  $K$  – безразмерный показатель ползучести скелета грунта, определяемый как тангенс угла наклона прямолинейного участка кривой консолидации  $S_c(lgt_c)$  к оси  $lgt$  и имеющий смысл скорости ползучести;

$lgt_0$  – точка пересечения продолжения прямолинейного участка кривой консолидации с осью  $lgt$ .

Численные значения коэффициента консолидации  $C_v$  и показателя ползучести скелета  $K$  грунтов, вычисленные с помощью формул (7) и (9), для рассматриваемых опытов приведены в таблице 3. Их анализ показывает, что при постоянной нагрузке после нагружения величина коэффициента консолидации грунтов  $C_v$  зависит, а величина показателя ползучести скелета грунтов  $K$  не зависит от скорости приложения ПВН  $V$ . Величина коэффициента консолидации  $C_v$  увеличивается с увеличением скорости приложения ПВН  $V$  (рисунок 6).

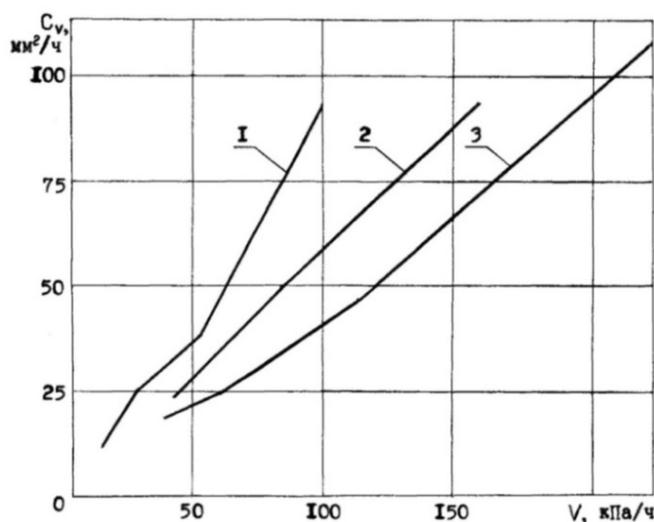


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента консолидации от скорости приложения ПВН  $C_v(V)$  для групп образцов-близнецов №№ 85а-85д, 86а-86г, 81-84:  
1 – №№ 85а-85д; 2 – №№ 81-84; 3 – №№ 86а-86г

В опытах, в которых после приложения ПВН наблюдалась фильтрационная консолидация и ползучесть скелета грунтов, скорости приложения ПВН  $V$  были велики.

Практически во всех опытах, в которых после окончания приложения ПВН имела место только ползучесть скелета грунтов, относительная дополнительная осадка грунтов составляла  $Q \leq 5\%$  (таблицы 3 и 2). Это свидетельствует о том, что при выборе скорости приложения ПВН  $V$ , обеспечивающей фильтрационную консолидацию грунтов за время их нагружения постоянно возрастающей нагрузкой, величину дополнительной осадки грунтов  $Q \leq 5\%$ , соответствующую

степени консолидации грунтов при окончании приложения ПВН  $U \geq 0,952$ , следует считать оптимальной.

Таим образом, установлено, что:

Кривые консолидации грунтов при постоянной нагрузке после приложения ПВН аппроксимируются функцией времени, параметры которой зависят от скорости приложения ПВН и для каждого грунта имеют свои значения;

2 При малых скоростях приложения ПВН фильтрационная консолидация грунтов заканчивается в процессе приложения ПВН, т.е. к моменту достижения конечной нагрузки. При больших скоростях приложения ПВН того же грунта фильтрационная консолидация продолжается и после окончания приложения ПВН, т.е. при постоянной конечной нагрузке;

3 Ползучесть скелета грунтов всегда имеет место при постоянной нагрузке после окончания приложения ПВН, а величина показателя ползучести скелета грунтов не зависит от скорости приложения ПВН;

4 Для каждого грунта имеется такое граничное значение скорости приложения ПВН, ниже которого скорость приложения ПВН не влияет на его показатели сжимаемости, и такое предельное значение, при котором степень консолидации грунта при окончании приложения ПВН будет не меньше заданной;

5 Критерием выбора скорости приложения ПВН является условие обеспечения степени консолидации грунтов при окончании приложения ПВН, равной  $U \geq 0,952$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Денисенко В.В., Ляшенко П.А. Анализ методов компрессионных испытаний грунтов // Научные труды Кубанского государственного технологического университета, 2015, № 2. – С. 104-125.

2. Денисенко В.В., Ляшенко П.А. Ускоренное определение сжимаемости грунтов методом ПВН // Проект. – М., 1994, № 1. – С. 7-9.

3. Денисенко В.В., Ляшенко П.А. Новые результаты компрессионных испытаний грунтов // Проект. – М., 1995, № 2-3. – С. 76-77.

4. Авт. св. СССР № 1174817 G01N 1/20. Устройство для измельчения проб грунта / Денисенко В.В., Байков О.Н. // Открытия. Изобретения. – М., 1985, № 31.

5. Авт. св. СССР № 1200160 G01N3/00. Устройство для уплотнения проб грунтов / Денисенко В.В., Байков О.Н. // Открытия. Изобретения. – М., 1985, № 47.

6. Авт. св. СССР № 1546563 E02D 1/04, G01N 3/00. Устройство для уплотнения проб грунтов / Денисенко В.В. // Открытия. Изобретения. – М., 1990, № 8.

7. Денисенко В.В., Ляшенко П.А. Об экспериментальных компрессионных приборах для исследования сжимаемости грунтов постоянно возрастающей нагрузкой // Научные труды Кубанского государственного технологического университета, 2015, № 9 – С. 363-384.

8. Ляшенко П.А. Микроструктурная деформируемость глинистых грунтов. – Краснодар: КубГТУ, 2001. – 123 с.

9. Денисенко В.В., Литвинов Ю.А., Ляшенко П.А., Байков О.Н., Плахтеев Г.В. Автоматический компрессионный прибор АКП-3С // Отчет о НИОКР по теме № 42/87 Госстроя РСФСР. – Краснодар: СевКавТИСИЗ, 1987. – 320 с.

10. Денисенко В.В., Скрипаль С.М., Плахтеев Г.В., Байков О.Н., Горячев М.И., Дорошенко Г.И., Ляшенко П.А. Автоматизация срезного прибора ПСГ-3А // Отчет о НИОКР теме № 76/86 Госстроя РСФСР. – Краснодар: СевКавТИСИЗ, 1986. – 432 с.

11. Денисенко В.В., Ляшенко П.А. Исследование влияния скорости приложения постоянно возрастающей нагрузки на дополнительную осадку грунтов после окончания приложения нагрузки // Научные труды Кубанского государственного технологического университета, 2016, № 12 – С. 53-64.

12. Ляшенко П.А. Сопротивление и деформации глинистого грунта. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 163 с.

13. Ляшенко П.А., Денисенко В.В. Вычисление характеристик микроструктуры грунта в опыте с компрессионным сжатием образца // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2009, № 45 (01). – С. 66-82.

14. Ляшенко П.А., Денисенко В.В. Контактное взаимодействие элементов микроструктуры глинистого грунта // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2012, № 78 (04). – С. 291-318.

15. Денисенко В.В., Ляшенко П.А. О критерии выбора скорости нагружения грунтов постоянно возрастающей нагрузкой // Библиографический указатель депонированных рукописей. – М.: ВНИИТПИ, 1993, вып. 1, № 11393. – 15 с.

#### REFERENCES

1. Denisenko V.V., Lyashenko P.A. Analiz metodov kompressionnykh ispytaniy gruntov // Nauchnye trudy Kubanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta, 2015, № 2. – S. 104-125.

2. Denisenko V.V., Lyashenko P.A. Uskorennoe opredelenie szhimaemosti gruntov metodom PVN // Proekt. – M., 1994, № 1. – S. 7-9.
3. Denisenko V.V., Lyashenko P.A. Novye rezultaty kompressionnykh ispytaniy gruntov // Proekt. – M., 1995, № 2-3. – S. 76-77.
4. Avt. sv. SSSR № 1174817 G01N 1/20. Ustroystvo dlya izmelcheniya prob grunta / Denisenko V.V., Baykov O.N. // Otkrytiya. Izobreteniya. – M., 1985, № 31.
5. Avt. sv. SSSR № 1200160 G01N3/00. Ustroystvo dlya uplotneniya prob gruntov / Denisenko V.V., Baykov O.N. // Otkrytiya. Izobreteniya. – M., 1985, № 47.
6. Avt. sv. SSSR № 1546563 E02D 1/04, G01N 3/00. Ustroystvo dlya uplotneniya prob gruntov / Denisenko V.V. // Otkrytiya. Izobreteniya.- M., 1990, № 8.
7. Denisenko V.V., Lyashenko P.A. Ob eksperimentalnykh kompressionnykh priborakh dlya issledovaniya szhimaemosti gruntov postoyanno vozrastayushchey nagruzkoy // Nauchnye trudy Kubanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta, 2015, № 9 – S. 363-384.
8. Lyashenko P.A. Mikrostrukturnaya deformiruemost glinistykh gruntov. – Krasnodar: KubGTU, 2001. – 123 s.
9. Denisenko V.V., Litvinov Yu.A., Lyashenko P.A., Baykov O.N., Plakhteev G.V. Avtomaticheskyy kompressionnyy pribor AKP-3S // Otchet o NIOKR po teme № 42/87 Gosstroya RSFSR. – Krasnodar: SevKavTISIZ, 1987. – 320 s.
10. Denisenko V.V., Skripal S.M., Plakhteev G.V., Baykov O.N., Goryachev M.I., Doroshenko G.I., Lyashenko P.A. Avtomatizatsiya sreznogo pribora PSG-3A // Otchet o NIOKR teme № 76/86 Gosstroya RSFSR. – Krasnodar: SevKavTISIZ, 1986. – 432 s.
11. Denisenko V.V., Lyashenko P.A. Issledovanie vliyaniya skorosti prilozheniya postoyanno vozrastayushchey nagruзки na dopolnitelnuyu osadku gruntov posle okonchaniya prilozheniya nagruзки // Nauchnye trudy Kubanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta, 2016, № 12 – S. 53-64.
12. Lyashenko P.A. Soprotivlenie i deformatsii glinistogo grunta. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – 163 s.
13. Lyashenko P.A., Denisenko V.V. Vychislenie kharakteristik mikrostrukтуры grunta v opyte s kompressionnym szhatiem obraztsa // Politematicheskyy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2009, № 45 (01). – S. 66-82.
14. Lyashenko P.A., Denisenko V.V. Kontaknoe vzaimodeystvie elementov mikrostrukтуры glinistogo grunta // Politematicheskyy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2012, № 78 (04). – S. 291-318.

15. Denisenko V.V., Lyashenko P.A. O kriterii vybora skorosti nagruzheniya gruntov postoyanno vozrastayushchey nagruzkoy // Bibliograficheskiy ukazatel deponirovannykh rukopisey. – M.: VNIINTPI, 1993, vyp. 1, № 11393. – 15 s.

*STUDY OF SPEED APPLICATIONS CONSTANTLY INCREASING LOAD  
CONSOLIDATION OF SOILS AFTER LOADING*

**V.V. DENISENKO<sup>1</sup>, P.A. LYASHENKO<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Kuban State Technological University,  
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350002,  
e-mail: denvivi@yandex.ru*

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

In a laboratory determination of the compressibility of soil compression tests the most appropriate mode of loading the bases in the construction of soil provides a method of continuously increasing load (method PVN), which increases the reliability and accuracy of the compressibility of the soil parameters and reduces the duration of the test. However, the method is not sufficiently studied PVN for wide practical application. The authors studied the effect of PVN application rate on the consolidation of the soil after loading. It is found that: the speed of PVN application affects the filtration consolidation of soils and creep during and after loading; for each soil has a limit value PVN application rate, below which the speed of the PVN applications does not affect the compressibility characteristics; selection criterion speed applications PVN is a condition for the degree of soil consolidation at the end of detection equal  $\geq 0,952$ .

**Key words:** constantly increasing load of soil sample, compressive load, the speed of load application, a sample of sediment, sludge stabilization.