

УДК 624.138

DOI 10.25628/UNIP.2021.48.1.010

ГЕЙДТ В. Д., ГЕЙДТ Л. В., ГЕЙДТ А. В.



**Гейдт
Владимир
Давидович**

кандидат технических наук, доцент, Тюменский индустриальный университет (ТИУ), Строительный институт, Тюмень, Российская Федерация

e-mail: geidtdv@tyuiu.ru

Влияние глубинного вибровоздействия на давление в скелете грунта

Для консолидации при устройстве искусственно улучшенного основания хорошо себя зарекомендовало влияние вибрации на процесс уплотнения грунта. Проведен комплекс экспериментальных исследований по изучению влияния процесса глубинной вибрации на свойства водонасыщенного искусственно улучшенного основания. Вибрирование способствует возникновению дополнительных избыточных давлений в поровой воде, росту скорости фильтрации за счет увеличения напорного градиента.

Ключевые слова: водонасыщенный грунт, консолидация, глубинная вибрация, скорость фильтрации, поровое давление.



**Гейдт
Лариса
Викторовна**

старший преподаватель, Тюменский индустриальный университет (ТИУ), Строительный институт, Тюмень, Российская Федерация

e-mail: geidtlv@tyuiu.ru

GEIDT V. D., GEIDT L. V., GEIDT A. V.

INFLUENCE OF DEEP VIBRATION ON THE PRESSURE IN THE SOIL SKELETON

For consolidation in the construction of an artificially improved base, the influence of vibration on the soil compaction process has proven itself well. A set of experimental studies was carried out to study the effect of the deep vibration process on the properties of water-saturated artificially improved soil. Vibration contributes to the appearance of additional excess pressure in the pore water, an increase in the filtration rate due to an increase in the pressure gradient. The search for ways to accelerate consolidation (compaction of the soil due to the extraction of pore water) is quite relevant.

Keywords: water-saturated soil, consolidation, deep vibration, filtration rate, pore pressure.



**Гейдт
Андрей
Владимирович**

аспирант, Тюменский индустриальный университет (ТИУ), Строительный институт, Тюмень, Российская Федерация

e-mail: geidtav@tyuiu.ru

Известно, что если сооружения возводятся на больших площадях, в основаниях которых залегают значительные толщи структурно-неустойчивых грунтов (торфов, заторфованных грунтов, слабых водонасыщенных глинистых грунтов), то в них обычно рекомендуется устройство вертикальных песчаных дренажей, которые значительно сокращают пути фильтрации поровой воды. В строительстве сформировалось целое направление по использованию вибродренирования при осушении таких оснований для ускорения консолидации основания. В этом направлении усилиями различных авторов, в частности, Л.С. Амаряном [1], выявлено влияние вибрации на процесс уплотнения торфа при малых давлениях и высокой влажности, отмечено интенсивное возрастание плотности при повышении амплитуды колебаний. В Архангельском лесотехническом институте [2, 3] проводились исследования изменения порового давления торфа при вибрации и установлено, что приращение порового давления от вибрации возрастает с увеличением сжимающей нагрузки и интенсивности вибровоздействия.

Проведенные нами исследования процесса развития порового давления при глубинной вибрации двухслойного основания заключались в следующем. Меняя режим колебания при заданном ускорении за счет изменения ам-

плитуды колебаний при постоянном значении частот и, наоборот, в образце, мы определяли избыточное поровое давление через определенные промежутки времени. При этом устанавливались качественные и количественные изменения величин осадки грунта (деформации), а также возникновение и характер роста динамического напора, приводящего в рассматриваемых условиях к падению общей прочности водонасыщенных грунтов.

Результаты этих экспериментов, проводимых на торфяных грунтах с непосредственной регистрацией параметров колебаний и замерами порового давления (динамического напора) и деформации грунта, позволили выявить закономерности, отвечающие задачам исследований.

При проведении опытов проводились контрольные измерения:

- интенсивность динамического воздействия;
- количество связанных вод до и после вибрации;
- величины порового давления в воде;
- величины деформации уплотнения грунта.

На некотором удалении от дренажа погружали вибратор на всю глубину торфяной толщи. В определенный момент времени включали вибратор. До момента включения вибратора грунт под действием дренирующей песчаной пригрузки уплотнялся согласно законам филь-

традиционной консолидации. При этом вблизи поверхности грунта и вокруг дрена образуются уплотненные зоны. В остальных областях грунт имеет повышенное значение коэффициента пористости e . С течением времени процесс оттока воды замедляется. Замедление обусловлено тем, что с уплотнением торфа резко уменьшаются его фильтрационные свойства. Можно сказать, что уплотненные слои грунта экранируют отток воды и не дают остальному грунту уплотняться.

В момент времени t_k включается вибрация. Далее под действием вибрации грунт в зоне вибровоздействия переходит в разжиженное состояние, часть песка начинает интенсивно проваливаться в вибрационный ствол, увеличивая тем самым его водопроницаемость. С определенного момента времени вибрационный ствол можно рассматривать как дрена. В полевых экспериментах это происходит в течение нескольких минут, а в лабораторных — нескольких секунд. Опыты показали, что по мере продолжения вибрации в первый момент времени по вертикали вибрационного ствола интенсивно начинает изливаться вода. С течением времени интенсивность стока воды замедляется. Имеет место (в лабораторных опытах) увеличение оттока воды и в других истоках, каковыми являются поверхности основания и другие дрена. Кроме того, обнаружено значительное повышение избыточного порового давления P . В первых, наблюдаемое увеличение избыточного порового давления уменьшается по мере удаления от вибровоздействия, во-вторых, повышение избыточного порового давления P тем выше, чем больше коэффициент пористости e .

Анализ результатов опытов позволил составить схему процессов, непрерывно протекающих в исследуемом торфяном грунте:

- постепенное ослабление внутренних связей, имеющих водно-коллоидную природу;
- возрастающий характер падения общей прочности грунта за счет одновременного ослабления их связности и взвешивающего действия динамического напора.

Проведенные нами с целью изучения влияния процесса глубинной вибрации на фильтрационные свойства уплотняемого водонасыщенного искусственно улучшенного основания эксперименты позволили установить довольно интересное с точки зрения консолидации явление. Оказалось, что процесс вибрации способствует

росту скорости фильтрации за счет увеличения напорного градиента. Эксперименты [4] показали, что при вибрационном воздействии увеличивается избыточное давление в поровой воде. Попытаемся объяснить полученные результаты опытов.

Казалось бы, влияние глубинного вибровоздействия сводится к тому, что в среду вносится дополнительное внешнее динамическое давление, в решении основного уравнения консолидации строго учитываются такого рода воздействия. Из полученных решений видно, что такое воздействие, хотя и приводит к осцилляционному характеру зависимости $\dot{e}$ от времени t , не влияет на ускорение консолидации грунта. Значит, влияние вибровоздействия на консолидацию грунта обусловлено иными причинами. Попытаемся их выявить.

Можно было бы допустить, что при глубинном вибровоздействии увеличивается водопроницаемость среды (коэффициент фильтрации). Не будем полностью отрицать возможность наличия такого эффекта. Однако, несмотря на многочисленность экспериментов по исследованию водопроницаемости торфа (например, [5–8]), данные об увеличении коэффициента фильтрации от вибровоздействия отсутствуют. Более того, есть работы [9], в которых на основании специально поставленных экспериментов сделан вывод о том, что глубинная вибрация не влияет на коэффициент фильтрации. Им и будем руководствоваться в дальнейшем.

Единственная возможность объяснения полученных результатов наблюдений заключается в том, что вибровоздействие изменяет физическое состояние среды. Оценим это изменение.

Известно [10], что между частицами скелета водонасыщенного грунта практически всегда имеется слой воды. Эта вода находится в связанном состоянии и ведет себя как твердое тело. Слой связанной воды участвует в передаче напряжения в скелете от частицы к частице. Если воду в этом слое перевести из твердого (связанного) состояния в жидкое (свободное) состояние, то непосредственное взаимодействие между двумя частицами через воду прервется и верхняя частица «повиснет» в воде, а давление $\Delta\sigma$, действующее на верхнюю частицу, будет передано слою воды, находящемуся в свободном состоянии. Это приведет к уменьшению напряжения в скелете на величину $\Delta\sigma$, и на эту же величину $\Delta\sigma$ увеличится поровое давление. Среду,

при которой вода между частицами находится в свободном состоянии, а сами частицы — во взвешенном состоянии (в «плавающем» режиме), называют разжиженной [11]. Отметим, что переход в разжиженное состояние необязательно сопровождается изменением пористости среды [12]. Примем, что в основном механизм влияния глубинной вибрации на физическое состояние среды заключается в том, что вибровоздействие переводит среду в указанное разжиженное состояние.

По результатам опытов [13] можно утверждать, что в случае отсутствия оттока воды при включении глубинного вибровоздействия происходит монотонное уменьшение давления в скелете $\sigma(t)$ до некоторого предельного значения σ_1 . При выключении вибровоздействия происходит монотонное увеличение $\sigma(t)$ до первоначального значения σ_0 , равного давлению в скелете до вибровоздействия (σ_0 — «восстанавливается»). Соответственно, поровое давление $P(t)$ при включении вибрации монотонно увеличивается до некоторой предельной величины P_1 , а после выключения вибрации поровое давление $P(t)$ монотонно уменьшается до первоначального значения P_0 . С учетом этого примем следующие «релаксационные» модельные представления:

1. При выключении вибрации скорость увеличения давления в скелете $d\sigma/dt$ пропорциональна величине давления, которое «предстоит восстановить», т.е.

$$\frac{d\sigma}{dt} = k_2 (\sigma_0 - \sigma), \quad (1)$$

где k_2 — коэффициент пропорциональности, имеющий размерность, обратную времени, т.е. величину $\tau_2 \equiv 1/k_2$ можно рассматривать как время релаксации по отношению к восстановлению структурных связей связанной воды.

2. Примем, что при включении вибровоздействия в гипотетических условиях отсутствия восстановления структурных связей (т.е. $k_2 = 0$) скорость уменьшения давления в скелете (скорость «разрушения структурных связей») пропорциональна величине $(\sigma - C_1)$.

Таким образом, $d\sigma/dt = -k_1 (\sigma - C_1)$, где k_1 — коэффициент пропорциональности. Величина $\tau_1 = 1/k_1$ имеет размерность времени и может интерпретироваться как характерное время разрушения связей.

3. Примем, что в реальных (негипотетических) условиях оба вышеотмеченных механизма при наличии

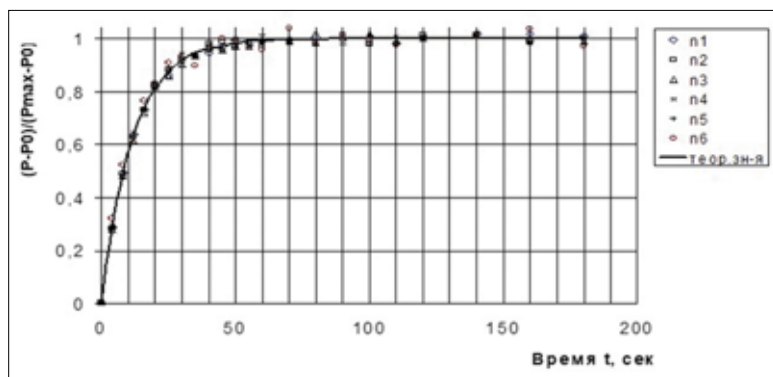


Иллюстрация 1. Сравнение опытных данных (точки) с теоретическими значениями (сплошная кривая). Вибратор включен при $t = 0$

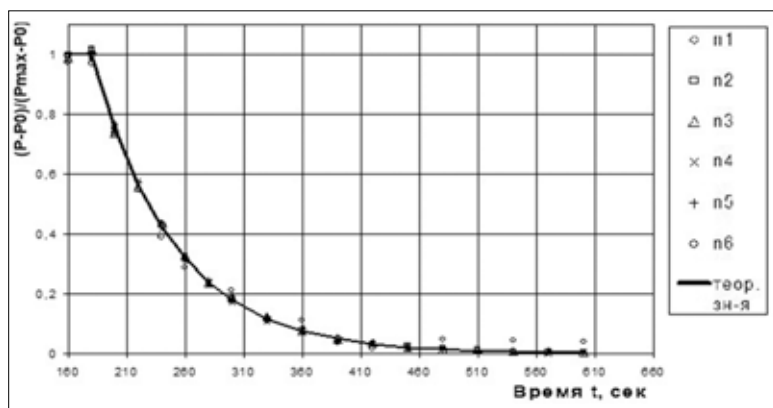


Иллюстрация 2. Сравнение опытных данных (точки) с теоретическими значениями (сплошная кривая). Вибратор выключен в момент времени $t = 180$ сек, начиная с момента включения вибратора

вибровоздействия действуют одновременно. Таким образом, при наличии вибровоздействия будем иметь:

$$\frac{d\sigma}{dt} = -k_1(\sigma - C_1) + k_2(\sigma_0 - \sigma), \quad (2)$$

где σ_0 — давление в скелете до включения вибровоздействия.

При этом необходимо учитывать, что в случае выключения вибровоздействия в формуле (2) необходимо положить $k_1 = 0$, тогда (2) совпадает с (1).

Общее решение уравнения (1) имеет вид:

$$\sigma(t) = Ce^{-kt} + \frac{k_2}{k}\sigma_0 + C_1k_1/k, \quad (3)$$

где $k = k_1 + k_2$, а константа C определяется начальными условиями.

Из (3) следует, что если вибрация включена в момент времени $t = 0$, когда

$\sigma(0) = \sigma_0$, тогда $C = (\sigma_0 - C_1)k_1/k$ и $\sigma(t)$ имеет вид:

$$\sigma(t) = \frac{k_1C_1}{k}[1 - e^{-kt}] + \frac{\sigma_0}{k}[k_1e^{-k_1t}e^{-k_2t} + k_2]. \quad (4)$$

Учитывая, что $\lim_{t \rightarrow \infty} \sigma(t) = \sigma_1$, получим

$$C_1 = \frac{k}{k_1}\sigma_1 - \frac{k_2}{k_1}\sigma_0. \quad (5)$$

$$\text{Тогда} \quad \sigma(t) = (\sigma_0 - \sigma_1)e^{-kt} + \sigma_1, \quad t \geq 0. \quad (6)$$

В случае выключения вибратора в момент времени t_0 из (1) имеем:

$$\sigma(t) = \sigma_0 + [\sigma(t_0) - \sigma_0]e^{-k_2(t-t_0)}, \quad t \geq t_0. \quad (7)$$

Если $t_0 \gg 1/k$, тогда $\sigma(t_0) = \sigma_1$ и (7) примет вид:

$$\sigma(t) = \sigma_0 + [\sigma_1 - \sigma_0]e^{-k_2(t-t_0)}, \quad t \geq t_0. \quad (8)$$

Заметим, что характерные временные масштабы релаксации среды на вибровоздействие много меньше характерного времени консолидации грунта, даже ускоренной глубинным вибровоздействием.

Зависимость порового давления $P(t)$ от времени t определяется соотношением $P(t) = q - \sigma(t)$, где q — внешняя нагрузка, а $\sigma(t)$ вычисляется по приведенным выше формулам в зависимости от начальных условий (моментов включения и выключения вибрации).

На Иллюстрациях 1 и 2 представлены зависимости величины $p^* = (P - P_0)/(P_{\max} - P_0)$ от времени t . Сплошной линией показаны эти величины, вычисленные с использованием формул (6), (7) и соотношения $P(t) = q - \sigma(t)$, соответственно после включения вибратора (Иллюстрация 1) и после выключения вибратора (Иллюстрация 2). При этом использовались следующие значения параметров: $q = 30$ кПа, $\sigma_0 = 20$ кПа, $\tau_1 = 15$ сек, $\tau_2 = 70$ сек — для всех датчиков, а параметр $\sigma_1 = 0$ для датчиков $n1, n2, n3$ и $n4$, и $\sigma_1 = 4$ кПа для датчика $n5$, $\sigma_1 = 16$ кПа для датчика $n6$. Указанные значения величин q, σ_0 , и σ_1 получены непосредственными измерениями, а величины τ_1 и τ_2 (или k_1 и k_2) подбирались из условия наилучшего соответствия измеренных значений p^* с расчетными значениями p^* . При этом следует заметить, что $P_0 = q - \sigma_0$ и $P_{\max} = q - \sigma_1$.

Для сравнения на Иллюстрации 1 и Иллюстрации 2 точками показаны соответствующие измеренные величины (см. Таблицу 1 и Таблицу 2), пересчитанные в величинах p^* . В Таблице 1 и в Таблице 2 вибратор включен при $t = 0$, а выключен в момент времени $t = 180$ сек. Здесь:

t — время (от момента включения вибратора до момента измерения); $n1, n2, \dots, n6$ — номера датчиков.

Заключение

В предложенных модельных представлениях отсутствует механизм взаимодействия механических волн со средой. Ясно, что параметры k_1 и k_2 (или τ_1 и τ_2), σ_0 и σ_1 , в свою очередь, могут зависеть от целого ряда величин, таких как характеристики волн, расстояние до источника механических волн, коэффициент пористости e и др. Поэтому для описания процесса консолидации грунта с учетом характеристик волн и среды, различных геометрических факторов и внешнего силового воздействия необходимы дальнейшие исследования.

1 Описан «релаксационный» характер зависимости напряжения в скелете от времени после включения и выключения вибрации. Предложена релаксационная модель, позволяющая при глубинном вибровоздействии описывать зависимость давлений в грунте от времени в фиксированной точке в условиях, когда e (коэффициент пористости) не зависит от времени.

2 Сравнение модельных предсказаний величин p^* со значениями p^* , полученными соответствующим пе-

Таблица 1. Показания датчиков измерения избыточного давления в поровой воде P в долях внешней нагрузки q (для Иллюстрации 1)

t (сек)	$n1$	$n2$	$n3$	$n4$	$n5$	$n6$
0	0,3377	0,3353	0,3345	0,3371	0,3304	0,3304
4	0,5178	0,5216	0,5267	0,5248	0,4815	0,3706
8	0,6493	0,6515	0,6573	0,6599	0,5919	0,3955
12	0,7506	0,7461	0,7441	0,7635	0,6596	0,4146
16	0,8173	0,8208	0,8128	0,8303	0,7265	0,4276
20	0,8738	0,8763	0,8612	0,8804	0,764	0,4467
25	0,9107	0,9077	0,9048	0,9118	0,788	0,4436
30	0,9388	0,9542	0,9448	0,9484	0,8249	0,4562
35	0,9629	0,9594	0,9529	0,9655	0,8258	0,4552
40	0,9677	0,9855	0,9761	0,9915	0,841	0,4584
45	0,97	0,9986	0,9782	0,9881	0,8578	0,4646
50	0,9993	0,9779	1,0014	0,9774	0,8696	0,4636
55	0,9998	0,9959	0,9887	1,007	0,8673	0,4631
60	0,9963	0,9934	1,0008	1,0016	0,853	0,4686
70	0,9884	1,0126	0,9946	0,9968	0,8697	0,4688
80	0,9852	0,9863	0,9966	0,9871	0,8718	0,4712
90	1,0132	1,0137	0,9934	0,9966	0,8784	0,4671
100	1,0067	0,992	1,0038	0,994	0,8647	0,4604
110	0,9905	1,0116	0,9986	0,9908	0,8581	0,4664
120	0,9987	0,987	1,0099	1,0083	0,8587	0,4621
140	0,9872	0,9918	0,9941	1,0142	0,8602	0,4696
160	1,0144	1,0129	1,0026	1,0051	0,8586	0,4714
180	0,9985	0,9983	1,0043	1,0054	0,8607	0,4718

Таблица 2. Показания датчиков измерения избыточного давления в поровой воде P в долях внешней нагрузки q (для Иллюстрации 2)

t (сек)	$n1$	$n2$	$n3$	$n4$	$n5$	$n6$
160	1,0144	1,0129	1,0026	1,0051	0,8586	0,4714
180	0,9985	0,9983	1,0043	1,0054	0,8607	0,4718
200	0,8328	0,8232	0,8345	0,834	0,7242	0,4369
220	0,7056	0,7125	0,7038	0,7011	0,6294	0,4043
240	0,6114	0,6113	0,6222	0,6215	0,5545	0,3872
260	0,5459	0,541	0,5464	0,5487	0,5062	0,3728
280	0,4973	0,4915	0,5017	0,4945	0,4655	0,3675
300	0,4528	0,4525	0,4539	0,4548	0,4307	0,3608
330	0,4071	0,4081	0,4156	0,4126	0,3975	0,351
360	0,3878	0,3838	0,3833	0,3818	0,3781	0,3419
390	0,3647	0,3661	0,3686	0,3686	0,3567	0,3353
420	0,3589	0,3519	0,3516	0,3498	0,3552	0,3421
450	0,3422	0,3484	0,346	0,3488	0,3465	0,3339
480	0,3432	0,3399	0,3432	0,3375	0,342	0,3308
510	0,3417	0,3364	0,3424	0,3432	0,3413	0,3317
540	0,3359	0,3327	0,3417	0,3381	0,339	0,3341
570	0,3389	0,3358	0,3342	0,3367	0,339	0,3338
600	0,3302	0,3379	0,3347	0,3337	0,3382	0,3332

ресчетом результатов измерений, демонстрирует приемлемость вышеуказанных рассуждений.

Однако проведенные исследования позволяют сделать вывод, что вибровоздействие может быть эффективным средством ускорения консолидации [14]. Ясно, что ускоре

ние консолидации заторфованного основания является крайне важным в практике инженерной подготовки Западной Сибири для того, чтобы добиться сокращения сроков инженерной подготовки до периода одного короткого лета.

Список использованной литературы

- Амарян Л. С. Исследование виброкомпрессионных свойств торфа // Известия МВ и ССО СССР. — 1969. — № 12. — С. 12–20.
- Коваленко Н. П., Худяков А. Д., Гореликов В. С. Предпостроечное уплотнение торфяной залежи. — Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1971. — 93 с.
- Коваленко Н. П., Соколов Е. Д., Марко Ю. Я. Изучение процесса изменения порового давления при уплотнении водонасыщенного торфа // Труды АЛТИ. — Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1971. — С. 26–82.
- Гейдт В. Д., Гейдт Л. В., Гейдт А. В. Механизм влияния глубинной вибрации на изменение физического состояния грунта // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. — 2019. — № 1 (40). — С. 79–82.
- Абелев М. Ю. Строительство гражданских и промышленных сооружений на слабых водонасыщенных грунтах. — М.: Стройиздат, 1983. — 248 с.
- Арутюнов И. С. и др. Особенности уплотнения торфов буровзрывным способом // Проблемы строительства Западно-Сибирского нефтегазового комплекса: сб. науч. тр. НИПИинженергазостроя. — М.: НИЦВНИИПКтехоргнефтегазостроя, 1990. — С. 52–58.
- Hansbo S. Consolidation of clay with special reference to influence of vertical sand drains // Swedish Geot. Institute. Proc. — 1960. — № 18. — Р. 1–160.
- Hansbo S. Consolidation of Clay by Band-Shaped Prefabricated Drains // Ground Engineering. — 1979. — Vol. 12. — № 5. — Р. 16–25.
- Кушнир С. Я. Консолидационные явления в торфяных грунтах при динамических воздействиях // Строительство на торфах и деформации сооружений на сильно-сжимаемых грунтах: материалы II Балт. конф. по механике грунтов и фундаментостроению. — Таллин: ВНИПИКТИ, 1988. — С. 210–213.
- Цытович Н. А. Вопросы теории и практики строительства на слабых глинистых грунтах // Всесоюзное совещание по строительству на слабых глинистых грунтах. — Таллин: Инж.-геол. комис. Госстроя Эстон. ССР, 1965. — С. 5–17.
- Иванов П. Л. Уплотнение малосвязных грунтов взрывами. — М.: Недра, 1983. — 230 с.
- Иванов П. Л. Явление разжижения и последующего уплотнения водонасыщенных грунтов при взрывных воздействиях // Гидротехническое строительство. — 1957. — № 9. — С. 33–38.
- Гейдт В. Д., Гейдт Л. В. Лабораторные исследования скорости консолидации грунта при устройстве песчаных дрена: на примере Западной Сибири // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. — 2018. — № 1 (36). — С. 67–71.
- Коновалов П. А. Строительство сооружений на заторфованных территориях. — М.: Стройиздат, 1995. — 343 с.
- grunta // Akademicheskij vestnik UralNIIProekt RAASN. — 2019. — № 1 (40). — С. 79–82.
- Abelev M. Yu. Stroitel'stvo grazhdanskih i promyshlennyh sooruzhenij na slabых водonasyshchennyh gruntah. — М.: Strojizdat, 1983. — 248 s.
- Arutyunov I. S. i dr. Osobennosti uplotneniya torfov burovzryvnym sposobom // Problemy stroitel'stva Zapadno-Sibirskogo neftegazovogo kompleksa: sb. nauch. tr. NIPIinzhneftegazstroya. — М.: NICVNIIPKtekhorgneftegazstroya, 1990. — С. 52–58.
- Hansbo S. Consolidation of clay with special reference to influence of vertical sand drains // Swedish Geot. Institute. Proc. — 1960. — № 18. — R. 1–160.
- Hansbo S. Consolidation of Clay by Band-Shaped Prefabricated Drains // Ground Engineering. — 1979. — Vol. 12. — № 5. — R. 16–25.
- Kushnir S. Ya. Konsolidacionnye yavleniya v torfyanyh gruntah pri dinamicheskikh vozdeystviyah // Stroitel'stvo na torfah i deformacii sooruzhenij na sil'noszhimaemyh gruntah: materialy II Balt. konf. po mekhanike gruntov i fundamentostroeniyu. — Tallin: VNIPIKTI, 1988. — С. 210–213.
- Cytovich N. A. Voprosy teorii i praktiki stroitel'stva na slabых glinistykh gruntah // Vsesoyuznoe soveshchanie po stroitel'stву na slabых glinistykh gruntah. — Tallin: Inzh.-geol. komis. Gosstroya Eston. SSR, 1965. — С. 5–17.
- Ivanov P. L. Uplotnenie malosvyaznykh gruntov vzryvami. — М.: Nedra, 1983. — 230 s.
- Ivanov P. L. Yavlenie razzhizheniya i posleduyushchego uplotneniya vodonasyshchennykh gruntov pri vzryvnykh vozdeystviyah // Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo. — 1957. — № 9. — С. 33–38.
- Gejdt V. D., Gejdt L. V. Laboratornye issledovaniya skorosti konsolidacii grunta pri ustrojstve peschanykh dren: na primere Zapadnoj Sibiri // Akademicheskij vestnik UralNIIProekt RAASN. — 2018. — № 1 (36). — С. 67–71.
- Konovalov P. A. Stroitel'stvo sooruzhenij na zatorfovannykh territoriyah. — М.: Strojizdat, 1995. — 343 s.

Статья поступила в редакцию в феврале 2021 г.
Опубликована в марте 2021 г.

Vladimir Geidt

PhD in Engineering, Associate Professor, Industrial University of Tyumen (IUT), Construction institute, Tyumen, Russian Federation
e-mail: geidtd@tyuiu.ru
ORCID ID: 0000-0001-9015-3841

Larisa Geidt

Senior Lecturer, Industrial University of Tyumen (IUT), Construction institute, Tyumen, Russian Federation
e-mail: geidtlv@tyuiu.ru
ORCID ID: 0000-0002-1616-454X

Andrey Geidt

Graduate student, Industrial University of Tyumen (IUT), Construction institute, Tyumen, Russian Federation
e-mail: geidtav@tyuiu.ru

References

- Amarian L. S. Issledovanie vibrokompresionnykh svojstv torfa // Izvestiya MV i SSO SSSR. — 1969. — № 12. — С. 12–20.
- Kovalenko N. P., Hudyakov A. D., Gorelikov V. S. Predpostroechnoe uplotnenie torfyanoj zalezhi. — Arhangel'sk: Sev.-Zap. kn. izd-vo, 1971. — 93 s.
- Kovalenko N. P., Sokolov E. D., Marko Yu. Ya. Izuchenie processa izmeneniya porovogo davleniya pri uplotnenii vodonasyshchennogo torfa // Trudy ALTI. — Arhangel'sk: Sev.-Zap. kn. izd-vo, 1971. — С. 26–82.
- Gejdt V. D., Gejdt L. V., Gejdt A. V. Mekhanizm vliyaniya glubinnoy vibracii na izmenenie fizicheskogo sostoyaniya