

P. Gaillard, G. I. Yakovlev, G. N. Pervuchin, D. V. Oreshkin / Bulletin 12/25; pub. 22.06.12.

8. **The Peculiarities** of Hardening of Composite Anhydrite Cement Pozzolanna Binding Materials with not Burned Natural Anhydrite / Ja. Zvironaite [et al.] // Materials Science (Medziagotura). – 2010. – Vol. 16, No 2. – P. 159–164.

9. **Samal, S.** Carbon Nanotube Reinforced Ceramic Matrix Composites – A Review / S. Samal, S. Bal // Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering. – 2008. – Vol. 7, No 4. – P. 355–370.

10. **Наномодифицирование** керамических материалов строительного назначения / Г. И. Яковлев [и др.] // Строительные материалы. – 2013. – № 4. – С. 62–64.

11. **Шайбадуллина, А. В.** Отделочная фасадная композиция, модифицированная углеродными нанотрубками, для защиты от электромагнитных полей / А. В. Шайбадуллина, Г. И. Яковлев, В. С. Бурдин // Строительные материалы. – 2013. – № 2. – С. 41–43.

REFERENCES

1. **Structurization** of Concrete Binding Matrices with the help of Multi-Walled Carbon Nanotubes / G. I. Yakovlev [et al.] // Stroitelnye Materialy (Building Materials). – 2011. – No 11. – P. 22–24.

2. **The Influence** of Multi-Walled Carbon Nanotubes Additive on Properties of Non-Autoclaved and Autoclaved Aerated Concretes / Ja. Keriene [et al.] // Construction and Building Materials. – 2013. – Vol. 49. – P. 527–535.

3. **Application** of Multi-Walled Carbon Nanotube Dispersions while Producing Silica Autoclaved Aerated Concrete / G. I. Yakovlev [et al.] // Stroitelnye Materialy (Building Materials). – 2013. – No 2. – P. 25–29.

4. **Nanobewehrung** von Schaumbeton. Beton- und Stahlbetonbau / G. Yakovlev [et al.]. – 2017. – Vol. 102, Is. 2. – P. 120–124.

5. **Sanchez, F.** Nanotechnology in Concrete – a Review / F. Sanchez, K. Sobolev // Construction and Building Materials. – 2010. – No 24 (11). – P. 60–71.

6. **Abu Al-Rub, R. K.** On the Aspect Ratio Effect of Multi-Walled Carbon Nanotube Reinforcements on the Mechanical Properties of Cementitious Nanocomposites / R. K. Abu Al-Rub, A. I. Ashour, B. M. Tyson // Construction and Building Materials. – 2012. – Vol. 35. – P. 647–655.

7. **Procede** D'introduction de Nanocharges Carbonees Dans un Inorganique Durcissable: pat. No 2 969 143. C 04 B 16/12 (2012.01), C 04 B 28/00 / A. Korzhenko, M. Havel, P. Gaillard, G. I. Yakovlev, G. N. Pervuchin, D. V. Oreshkin / Bulletin 12/25; pub. 22.06.12.

8. **The Peculiarities** of Hardening of Composite Anhydrite Cement Pozzolanna Binding Materials with not Burned Natural Anhydrite / Ja. Zvironaite [et al.] // Materials Science (Medziagotura). – 2010. – Vol. 16, No 2. – P. 159–164.

9. **Samal, S.** Carbon Nanotube Reinforced Ceramic Matrix Composites – A Review / S. Samal, S. Bal // Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering. – 2008. – Vol. 7, No 4. – P. 355–370.

10. **Nanomodification** of Ceramic Materials Used for Construction Purposes / G. I. Yakovlev [et al.] // Stroitelnye Materialy (Building Materials). – 2013. – No 4. – P. 62–64.

11. **Shaybadullina, A. V.** Finishing Façade Composition Modified for Electromagnetic Immunity with the Help of Carbon Nanotubes / A. V. Shaybadullina, G. I. Yakovlev, V. S. Burdin // Stroitelnye Materialy (Building Materials). – 2013. – No 2. – P. 41–43.

Поступила 12.11.2013

УДК 624.131.221:539.376

ФИЛЬТРАЦИОННАЯ И ВЯЗКОПОЛЗУЧАЯ ОСАДКА ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ МЕСОПОТАМИИ

Канд. техн. наук, доц. БАРАНОВ Н. Н., асп. АЛЬ-РОБАЙ АЛИ А. А.

Белорусский национальный технический университет

E-mail: geotechnika@tut.by

FILTRATION AND VISCOUS CREEPING SETTLEMENT OF MESOPOTAMIA LOAMY SOILS

BARANOV N. N., AL-ROBAI ALI A. A.

Belarusian National Technical University

В статье приводятся расчеты по определению значений величин полных осадок с учетом ползучести для ряда районов Месопотамии (Аль-Дивания, Хидр и Хила). Коэффициенты фильтрационного уплотнения приняты по данным инженерно-геологических изысканий, а параметры ползучести – по опубликованным данным исследований (Н. А. Цытович, З. Г. Тер-Мартиросян и др.). Полученные в расчете значения существенно превышают величины, определенные по действующим нормативам.

Ключевые слова: деформация глинистых оснований, вязкоползучая осадка, коэффициенты затухания ползучести и ядра ползучести.

Ил. 1. Табл. 2. Библиогр.: 8 назв.

The paper contains calculations for determination of values pertaining to full settlements with due account of creeping phenomenon for a number of the Mesopotamia regions (Al-Diwaniya, Khidr and Hillah). Coefficients of filtration compaction have been accepted in accordance with engineering and geological research and creeping parameters have been accepted on the basis of the published data of the investigations (N. A. Tsyto- vich, Z. G. Ter-Martirosian et al.). The values obtained in calculations significantly exceed values that have been determined in accordance with the existing norms.

Keywords: deformation of clay beds, viscous creeping settlement, creeping degradation ratio, creeping nucleus coefficient.

Fig. 1. Tab. 2. Ref.: 8 titles.

Введение. Формирование толщи отложений на территории Ирака сопровождалось много- кратными изменениями трансгрессивной и ре- грессивной фаз в геологической деятельности моря. Трансгрессия имела место начиная с поздней юры и продолжалась до раннего мела. В последующем происходили неоднократные обмеления и регрессии с перерывами в осадко- накоплении и колебаниями уровня моря.

Значительный подъем уровня моря имел место в палеоцене. В конце раннего эоцена происходило обмеление, а в среднем осадкона- копление продолжалось с повышением уровня моря. В позднем миоцене – плиоцене началась фаза обмеления, что привело к отложению кон- тинентальных осадков. В некоторых частях территории наступила новая трансгрессия, что вызвало отложение глинистых и илистых мор- ских осадков. В отдельных районах формиро- вались отложения речных осадков (аллювий). Геоморфологически центральные и южные об- ласти Ирака сложены различными отложения- ми (морскими и аллювиальными), относящи- мися по возрасту от плиоцена до современного периода.

В инженерно-геологических разрезах оса- дочной толщи Месопотамской низменности прослеживается сложный характер залегания песчаных и глинистых пород (сменяющиеся пласты, отдельные слои с выклиниванием, лин- зы, мощные однородные толщи). В некоторых регионах глинистые породы залегают с поверх- ности до значительных глубин (Аль-Дивания – до 15 м, Хидр – до 10 м и др.). При оценке строительных свойств грунтов в районе Аль- Дивании установлено, что нормативные значе- ния осадок оснований достигают предель- ных значений при контактных давлениях $p_k \approx 80\text{--}120$ кПа [1].

Особенности деформаций глинистых ос- нований. При длительном (непрерывном) дей-

ствии нагрузок в основании сооружений мо- гут накапливаться значительные деформации. В глинистых породах осадки протекают одно- временно с фильтрационной консолидацией (первичное уплотнение), но не заканчиваются вместе с ней, а продолжают и по ее окончании.

Глинистые грунты представляют собой очень сложные системы дисперсных тел с внут- ренними связями двух родов: жесткими (хруп- кими) и вязкими (водно-коллоидными). Если грунты рассматривать в виде вязко-пластичной пористой среды, то момент окончания рассея- ния порового давления (завершения нагрузе- ния скелета) не будет соответствовать моменту окончания деформирования. Вследствие вязко- го сопротивления и взаимной переориентации глинистых частиц в скелете протекают plasti- ческие перемещения (вторичное деформиро- вание). Это явление известно под названием ползучесть (вязкопластичная консолидация) и обусловлено формой глинистых частиц и их физическими свойствами. Сведения о глини- стых минералах приведены в табл. 1 [2].

Под ползучестью грунтов понимают посте- пенное нарастание во времени деформаций среды при постоянных напряжениях (последей- ствие). При малых напряжениях явления пол- зучести постепенно затухают. В случае доста- точно больших напряжений в первый период времени, который называется периодом не- установившейся (затухающей) ползучести, ско- рость деформации постепенно уменьшается. Однако по прошествии некоторого времени наступает второй период ползучести, когда скорость деформации становится равной неко- торой постоянной величине. Это период уста- новившейся ползучести.

Для слабых глин высокой влажности период неустойчивой нарастающей ползучести мал и основной вид ползучести соответствует периоду установившейся ползучести. В раз- личных стадиях ползучести скелет грунта об- ладает двумя основными категориями кон-

тактов между минеральными частицами: контактами (точечные, линейные, пластинчатые), разрушение которых носит хрупкий характер, и контактами, имеющими вязкую схему разрушения. Первыми постепенно разрушаются хрупкие (точечные и линейные) контакты в местах соприкосновения поверхностей минеральных частиц. Одновременно с разрушением хрупких происходит разрушение и вязких контактов между оболочками физически связанной (пленочной) воды. Однако по мере смещения частиц и их агрегатов наряду с разрушением части существующих происходит одновременное образование новых вязких контактов.

По мере увеличения напряжений или их длительности постепенно возрастают смещения, вследствие чего хрупкие контакты начинают разрушаться, а разрушение вязких в какой-то мере компенсируется образованием новых. Наличие вязких контактов определяет постепенное нарастание деформаций. К началу стадии установившейся ползучести все хрупкие контакты следует считать разрушенными, а разрушение существовавших вязких контактов компенсируется возникновением новых (так называемое восстанавливающееся сцепление).

Таким образом, можно считать, что возникновение деформаций ползучести в грунтах с течением времени определяется неоднородной деформативностью и прочностью различных элементов структуры грунта. В отличие от песчаных зерен, имеющих близкие к округлым компактные очертания, глинистые частицы представлены тонкими чешуйками, пластинками, нитями и др. (табл. 1). Следует учитывать и наличие в грунте частиц слюды, очень скользких, практически не сопротивляющихся сдвигу. Таким образом, после разрушения хрупких контактов (первичная консолидация) деформации ползучести (вторичное уплотнение) протекают

вследствие изменения ориентировки и смещения плоских и чешуйчатых глинистых частиц и имеющих место процессов их сдвига.

Данные наблюдений за осадками на слабых глинистых грунтах отличаются от расчетных результатов по методикам нормативных документов. Одной из причин отличий является недоучет пластических (вязкоползучих) деформаций в конечной осадке. На ряде объектов при наличии в основании мощного слоя глинистого грунта с модулем общей деформации E , не превышающим нескольких мегапаскалей, пластическая деформация составила до 50 % конечной осадки [3].

Природа слабых глинистых грунтов своеобразная, и процесс деформирования основания развивается по иным закономерностям. Увеличение нагрузки на слабые грунты вызывает их уплотнение в пределах всей их толщи до подстилающих малосжимаемых грунтов, которые могут залегать на глубинах, значительно превосходящих размер активной зоны, устанавливаемой из соотношения природного и дополнительного давлений.

Осадка ползучести. Вторичная (вязко-ползучая) консолидация сопровождается уплотнением и упрочнением водно-коллоидных оболочек глинистых частиц, закрытием микротрещин и возникновением новых структурных связей. Наиболее применимой для глинистых грунтов теорией ползучести является интегральная теория наследственной ползучести Больцмана – Вольтерра, впервые примененная к грунтам В. А. Флориным [4]. Теория ползучести носит название теории наследственной ползучести, поскольку она исходит из принципа учета (наследования) предшествующего напряженного состояния и его последующего влияния на поведение грунта.

Таблица 1

Глинистый минерал	Форма частиц	Физическое свойство
Монтмориллонит	Отдельные чешуйки	Очень мягкий, жирный, совершенная спайность
Гидрослюды (гидромусковит, иллит)	Чешуйчатые и тонкопластинчатые агрегаты	Жирные на ощупь
Каолинит	Чешуйки и пластинка, обломки червеобразных кристаллов	Гибкий, не упругий
Пальгорскит	Спутанно-волокнистое строение	Тонкие плоские куски, легко гнущиеся при деформации
Глауконит	Округлые зернышки или шарики	Хрупкий, низкой твердости

Для глинистых грунтов оправдываемое опытом экспоненциальное ядро ползучести характеризуется параметрами δ и δ_1 (где δ – коэффициент ядра ползучести; δ_1 – коэффициент затухания ползучести). Характеристики δ и δ_1 можно найти из опытов на компрессию грунта. Параметр δ_1 определяется по тангенсу угла наклона прямой линии зависимости относительной скорости осадки от времени в полулогарифмическом масштабе [5]. Значение величины δ находят из других соображений (необходимые для расчета характеристики и порядок приводятся в [5, с. 197–199]) по формуле

$$\delta = \delta_1 \frac{a_{o,вт}}{a_{o,перв}},$$

где $a_{o,перв}$ и $a_{o,вт}$ – соответственно коэффициенты первичного и вторичного уплотнений.

Так как ядро ползучести представляет собой скорость ползучести грунта при постоянном единичном напряжении, то ползучесть скажется лишь на протяжении осадок во времени. Тогда полная осадка S_{tk} (за счет фильтрационной консолидации и одновременно ползучести скелета грунта) определится из выражения [6]

$$S_{tk} = a_{o,перв} h \sigma_{zp} \left(1 + \frac{\delta}{\delta_1} \right),$$

где h – толщина деформируемого слоя; σ_{zp} – дополнительное давление от внешней нагрузки на рассматриваемой глубине.

Ориентировочная полная осадка. Ниже приводятся расчеты по определению значений величин полных осадок с учетом ползучести. Размеры подошвы фундамента приняты равными $B \times L = 1,5 \times 1,5$ м, а контактное давление $p_k = 1,0$ кг/см². Эпюра изменения дополнительного давления σ_{zp} по глубине представлена на рис. 1. Коэффициент фильтрационного (первичного) уплотнения $a_{o,перв}$ для глин района Аль-Дивании по данным инженерно-геологических исследований

$$a_{o,перв} = 0,00047 \text{ кПа}^{-1} = 0,047 \text{ см}^2/\text{кг}.$$

Параметр ползучести глины δ_1 и коэффициент вторичного уплотнения $a_{o,вт}$ приняты по опубликованным данным исследований [7, 8]:

$$\delta_1 = 0,014 \text{ 1/мин}; a_{o,вт} = 0,180 \text{ см}^2/\text{кг}.$$

Коэффициент ядра ползучести δ

$$\delta = \delta_1 \frac{a_{o,вт}}{a_{o,перв}} = 0,014 \cdot \frac{0,180}{0,047} = 0,0536 \text{ 1/мин}.$$

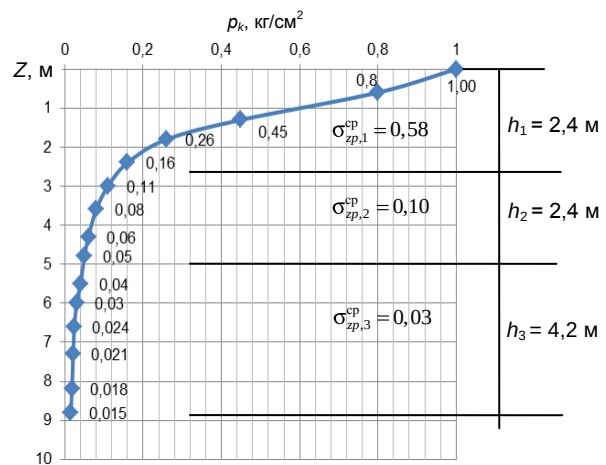


Рис. 1. Эпюра σ_{zp} , кг/см², и расположение деформируемых слоев

Суммарная конечная осадка S_{tk} для выделенных по принципу линеаризации слоев: $h_1 = 2,4$ м; $h_2 = 2,4$ м; $h_3 = 4,2$ м и $h_4 = 5,0$ м при действии осредненных дополнительных давлений:

$$\sigma_{zp,1}^{cp} = 0,58 \text{ кг/см}^2; \sigma_{zp,2}^{cp} = 0,10 \text{ кг/см}^2;$$

$$\sigma_{zp,3}^{cp} = 0,03 \text{ кг/см}^2; \sigma_{zp,4}^{cp} = 0,01 \text{ кг/см}^2;$$

$$S_{tk} = 0,047 \cdot (240 \cdot 0,58 + 240 \cdot 0,10 + 420 \cdot 0,03 + 5 \cdot 0,01) \cdot \left(1 + \frac{0,0536}{0,0140} \right) = 41,0 \text{ см}.$$

Для других регионов рассчитанные по вышеприведенной схеме аналогичные ориентировочные значения полных осадок представлены в табл. 2.

Таблица 2

Район	Мощность деформируемого пласта, м	Коэффициент первичного уплотнения, $a_{o,перв}$, см ² /кг	Полная осадка, см
Аль-Дивания	14	0,0470	41,0
Хидр	7	0,0538	40,0
Хила	9	0,0445	39,5

Полученные в расчете значения величин S_{tk} существенно превышают вероятные осадки, данные о которых приводятся в [1]. Это обстоятельство следует учитывать при выборе типов фундаментов и конструктивной схемы проектируемого сооружения.

ВЫВОДЫ

1. На эксплуатируемых объектах, построенных на глинистых грунтах, обнаруживаются расхождения в значениях величин осадок, рассчитанных по методикам нормативных документов, с данными наблюдений. Расхождения могут быть связаны с недоучетом пластической (вторичной вязкоползучей) части деформации.

2. Неточности в прогнозе конечных осадок оснований сооружений на слабых глинистых грунтах могут зависеть и от занижения размера активной (сжимаемой) зоны. В скелете глинистых грунтов, представляющих скопление частиц своеобразной формы (чешуйки, пластинки, нити и др.) со специфическими физическими свойствами (мягкие, гибкие, жирные на ощупь, гнущиеся при деформировании и т. п.), протекают пластические перемещения (ползучесть). Сдвиговые деформации глинистых частиц могут происходить при действии даже незначительных напряжений, поэтому нижнюю границу сжимаемой толщи следует устанавливать по эпюре дополнительных напряжений до пренебрежимо малых значений.

3. Наиболее применимой для глинистых грунтов является интегральная теория наследственной ползучести, исходящая из принципа учета (наследования) предшествующего напряженного состояния и его влияния на последующий процесс деформирования. Полную конечную осадку следует определять за счет фильтрационной консолидации и одновременно ползучести скелета грунта. Выполненный ориентировочный расчет полной осадки для глинистых оснований некоторых районов Месопотамии свидетельствует, что осадки, обусловленные вторичной консолидацией, могут значительно превосходить осадки от первичной (фильтрационной) консолидации.

4. Учитывая высокую деформативность слабых глинистых отложений Месопотамской низменности, при возведении зданий и сооружений представляется целесообразным:

- устройство монолитных железобетонных ленточных фундаментов под стены, а в необходимых случаях с целью увеличения жесткости – в виде перекрестных лент;
- применение сплошных жестких плит под всей площадью сооружения (возможен вариант ребристых плит);
- отдельные плитные фундаменты связывать монолитными рандбалками в единую систему;
- повышение жесткости зданий устройством монолитных железобетонных поясов в уровне цоколя и междуэтажных перекрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Аль-Робай Али, А. А.** Строительные свойства пойменных отложений реки Дивании (рукав Евфрата, Средний Ирак) / А. А. Аль-Робай Али // Наука и техника. – 2012. – № 5. – С. 51–55.
2. **Бетехтин, А. Г.** Курс минералогии / А. Г. Бетехтин. – М.: Изд-во лит-ры по геологии и охране недр, 1956. – С. 431–468.
3. **Мангушев, Р. А.** Сопоставление расчета осадок зданий по различным методам при наличии в основании слоев слабых грунтов / Р. А. Мангушев, К. Х. Нгуен // Вестник МГСУ. – 2008. – № 3. – С. 119–123.
4. **Флорин, В. А.** Основы механики грунтов. – Т. II: Деформация и устойчивость оснований сооружений / В. А. Флорин. – Л.: Госстройиздат, 1961. – С. 500–535.
5. **Прогноз скорости осадок оснований сооружений: консолидация и ползучесть многофазных грунтов** / Н. А. Цытович [и др.]. – М.: Стройиздат, 1967. – С. 192–225.
6. **Цытович, Н. А.** Механика грунтов / Н. А. Цытович. – М.: Высш. шк., 1983. – С. 236–252.
7. **Тер-Мартirosян, З. Г.** О вторичной консолидации глин / З. Г. Тер-Мартirosян, Н. А. Цытович // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1965. – № 5. – С. 12–15.
8. **Цытович, Н. А.** О методике определения параметров ползучести не полностью водонасыщенных глинистых грунтов по результатам недренированных испытаний / Н. А. Цытович, З. Г. Тер-Мартirosян // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1966. – № 3. – С. 16–18.

REFERENCES

1. **Al-Robai Ali, A. A.** Construction Properties of Flood Deposits in the Diwaniyah River (arm of the Euphrates, Middle Iraq) / A. A. Al-Robai Ali // Nauka i Tekhnika (Science & Technique). – 2012. – No 5. – P. 51–55.
2. **Betekhtin, A. G.** Mineralogy Course / A. G. Betekhtin. – M.: Publishing House of Literature on Geology and Protection of Mineral Resources, 1956. – P. 431–468.
3. **Mangushev, R. A.** Comparison of Building Settlement Calculations Using Various Methods with Weak Soil Layers at Foundation / R. A. Mangushev, K. H. Nguyen // Vestnik MGSU. – 2008. – No 3. – P. 119–123.
4. **Florin, V. A.** Fundamentals of Soil Mechanics. – Vol. II. Deformation and Sustainability of Building Foundations / V. A. Florin. – L.: Gosstroyizdat, 1961. – P. 500–535.
5. **Prediction of Building Foundation Settlement Rate (Consolidation and Creeping Flow of Multi-Phase Soils)** / N. A. Tsytoich [et al.]. – M.: Stroyizdat, 1967. – P. 192–225.
6. **Tsytoich, N. A.** Soil Mechanics / N. A. Tsytoich. – M.: Vysshaya Shkola (Higher School), 1983. – P. 236–252.
7. **Ter-Martirosian, Z. G.** On Secondary Consolidation of Clays / Z. G. Ter-Martirosian, N. A. Tsytoich // Osnovaniya, Fundamenty i Mekhanika Gruntov (Foundations and Soil Mechanics). – 1965. – No 5. – P. 12–15.
8. **Tsytoich, N. A.** On Methodology for Determination of Creeping Parameters in Incomplete Water-Saturated Clay Soils in Accordance with the Results of Undrained Tests / N. A. Tsytoich, Z. G. Ter-Martirosian // Osnovaniya, Fundamenty i Mekhanika Gruntov (Foundations and Soil Mechanics). – 1966. – No 3. – P. 16–18.

Поступила 30.05.2013