DOI: 10.15593/24111678/2018.01.09

УДК 624.138.1

О.А. Маковецкий

ОАО «Нью Граунд», Пермь, Россия

НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСАДОК ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Основным методом контроля правильности принятого геотехнического решения является мониторинг за состоянием геотехнической ситуации и, в частности, геодезические наблюдения за развитием осадок зданий и сооружений, их анализ и прогноз дальнейшего поведения. Поэтому большой интерес представляет разработка метода перспективного прогноза осадок зданий, расположенных в системе геотехнических барьеров, основанного на данных краткосрочных наблюдений за их развитием в процессе строительства или начального периода эксплуатации. При оценке развития осадок от постоянного уровня действующих давлений предполагают, что она обусловлена одновременным протеканием фильтрационной и вторичной консолидации грунтов. Зависимость развития осадок в этом случае представлена в виде суммы осадок, протекающих в ходе фильтрационной консолидации, по теории Терцаги – Герсеванова – Флорина и осадок ползучести, обусловленных развитием реологических процессов в скелете грунта, подчиняющихся теории линейной наследственной ползучести. Обобщенные параметры консолидации в обоих уравнениях являются общими по физическому смыслу; следовательно, определенные по данным для развития осадки в строительный период параметры могут быть использованы для прогнозирования ее развития после окончания строительства.

Данные геодезических наблюдений в строительный период показывают зависимость развития осадок с ростом давления на основание. Ее можно трансформировать в зависимость развития осадок при мгновенно приложенной постоянной величине действующего давления. По результатам такого прогноза оценивается правильность принятого проектного решения или необходимость проведения дополнительных мероприятий по повышению деформационных характеристик основания. В статье приводится пример использования струйной цементации грунта для обеспечения стабилизации неравномерных осадок высотного здания на основании, сложенном слабыми грунтами. Проведена оценка инженерно-геологических условий площадки строительства и обоснована необходимость применения искусственно улучшенного основания «структурный геомассив». Анализ результатов геодезических наблюдением за развитием осадок показал достоверность предлагаемого метода прогнозирования осадок.

Ключевые слова: высотные здания, прогноз развития осадок, фильтрационная консолидация, ползучесть, натурные наблюдения.

O.A. Makovetskiy

Company “New Ground”, Perm, Russian Federation

THE OBSERVATIONAL METHOD OF PREDICTING THE SEDIMENT OF HIGH-RISE BUILDINGS

The main method of control of the correctness of the geotechnical solution is the monitoring of geotechnical situation, and in particular geodetic observations for development of the residue of buildings and structures, their analysis and the forecast of future behavior. Therefore of great interest to develop a method of prospective prediction residue of the buildings located in the system of geotechnical barriers, based on data from short-term observations of their development in the process of construction or initial operation period. In the evaluation of development residue from the constant current pressures suggest that it is due to the simultaneous flow of filtration and secondary consolidation of soils. The dependence of the precipitate in this case is represented as the sum of the residue occurring in the course of filtration consolidation theory, Terzaghi-Gersevanov-Florina and sediment creep, due to the development of rheological processes in the soil skeleton under the theory of linear hereditary creep. Generalized consolidation parameters in both equations are shared by the physical meaning, and therefore defined according to the development of precipitation during construction can be used to predict its development after construction.

Data of geodetic observations during construction indicate the dependence of the precipitate with increasing pressure on the Foundation. It can be transformed into the dependence of precipitate instantaneously applied constant value of the acting pressure. The results of this forecast assesse the correctness of design decisions or the need for additional measures to improve

the deformation characteristics of the Foundation. The article provides an example of the use of jet grouting for soil stabilization of non-uniform sediment tall buildings based on folded weak soils. The evaluation of engineering-geological conditions of the construction site and the necessity to use artificially enhanced base "structural geomassiv". Analysis of the results of geodetic monitoring of sediment showed the accuracy of the proposed method of predicting the sediment.

Keywords: tall buildings, the forecast for the development of the precipitate, filtration consolidation, creep, field.

В тех случаях, когда прогноз геотехнических аспектов поведения сооружения затруднен, целесообразно применить подход, понимаемый как «наблюдательный метод», который предполагает пересмотр проекта в процессе строительства. До начала строительства должны быть установлены приемлемые пределы изменения характеристик и оценен возможный диапазон данных характеристик. Это позволяет показать, что имеется приемлемая вероятность того, что реальные характеристики будут находиться внутри приемлемых пределов.

При проектировании высоконагруженных оснований высотных зданий (уровень давления 400–500 кПа) недостаточно исследовать только начальный участок графика «осадка – нагрузка»; необходимо описать весь процесс развития до величины осадок 100–150 мм [1, 2]. Анализ наблюдений за развитием осадок высотных зданий показал: чем больше скорость приложения нагрузки на основание, тем больше общая величина осадки; неучет режима нагружения приводит к количественным и качественным ошибкам при описании развития осадок. Оптимальной можно признать такую методику прогнозирования осадок, при которой режим нагружения моделировал бы строительную и эксплуатационную нагрузки [3–6].

Определения деформационных характеристик основания в зависимости от закономерности развития осадок

Строительный период: Определение деформационных характеристик основания базируется на методике Терцаги – Фрелиха (рис. 1) [7].

Рис. 1. Определение деформационных характеристик: *a* – график развития осадки во времени при линейном возрастании нагрузки: *1* – при мгновенном приложении нагрузки в момент времени $t = 0$, *2* – при линейном возрастании нагрузки до величины p_c ; *б* – график зависимости ускорения осадки от скорости осадки сооружения

Состояние уплотнения в момент времени t_c такое же, как если бы давление на основание p_t действовало в течение промежутка времени $t/2$. По истечении этого времени после мгновенного приложения p_t осадка составляет:

$$s_t = s' \frac{p_t}{p_c}, \quad (1)$$

где s' – осадка в момент времени $t/2$, вызванная уплотнением грунта давлением p_c , приложенным мгновенно в момент времени $t = 0$; p_c – полное давление на основание; p_t – давление на основание в момент времени t .

Получив в ходе геодезических наблюдений в строительный период зависимость развития осадок с ростом давления на основание, можно трансформировать ее в зависимость развития осадок при мгновенно приложенной постоянной величине действующего давления. В этом случае зависимость можно исследовать стандартными методами, используемыми для постоянных по величине и мгновенно приложенных к основанию нагрузок.

Поскольку для зависимости s_t выполняется условие постоянства напряжений во времени, то ее можно аппроксимировать экспоненциальной функцией вида

$$s(t) = s_{\Phi} (1 - e^{-Nt}), \quad (2)$$

где s_{Φ} , N – обобщенные параметры консолидации.

Развитие осадки во времени можно описать зависимостями, основанными на решении одномерной задачи фильтрационной консолидации Терцаги – Флорина:

– при $t < t_c$

$$s(t) = s_{\Phi} \left[\frac{t}{t_c} - \frac{8}{N\pi^2 t_c} (1 - e^{-Nt}) \right], \quad (3)$$

– при $t > t_c$

$$s(t) = s_{\Phi} \left[1 - \frac{8}{N\pi^2 t_c} (e^{-Nt_c} - 1) e^{-Nt} \right]. \quad (4)$$

Продифференцировав дважды уравнение (2), получаем зависимость « $\frac{\partial^2 s}{\partial t^2}$ – ускорение развития осадки» – « $\left(\frac{\partial s}{\partial t}\right)$ – скорость развития осадки»:

$$\frac{\partial^2 s}{\partial t^2} = -N \frac{\partial s}{\partial t} + \frac{s_{\Phi}}{t_c} N. \quad (5)$$

Построив график зависимости (5) по данным наблюдений за осадкой в строительный период (рис. 1, б), можем определить значения обобщенных параметров консолидации. Параметр N численно равен тангенсу угла наклона графика к оси абсцисс, а параметр s_{Φ} отсекается графиком на оси абсцисс.

Обобщенные параметры консолидации в обоих уравнениях являются общими по физическому смыслу; следовательно, параметры, определенные по данным для развития осадки в строительный период, могут быть использованы для прогнозирования ее развития после окончания строительства.

Таким образом, определение параметров консолидации по данным наблюдений за осадкой в строительный период выполняется в следующей последовательности:

1. На графике нагружения основания внешним давлением определяется период времени, соответствующий линейному возрастанию нагрузки до проектного значения.

2. График развития осадки во времени, полученный по данным натурных наблюдений, преобразуется в график «скорость развития» – «ускорение развития» осадки; по полученному графику определяются обобщенные параметры консолидации.

Суммарная осадка определяется выражением вида $S(t) = S_0 + S_f(t) + S_{\text{сек}}(t/t_f)$, где S_0 , $S_f(t)$ – начальная, фильтрационная и осадка ползучести соответственно.

Начальный период эксплуатации. При оценке развития осадок от постоянного уровня действующих давлений предполагаем, что она обусловлена одновременным протеканием фильтрационной и вторичной консолидации грунтов. Зависимость развития осадок в этом случае представим в виде суммы осадок, протекающих в ходе фильтрационной консолидации по теории Терцаги – Герсеванова – Флорина и осадок ползучести, обусловленных развитием реологических процессов в скелете грунта, подчиняющихся теории линейной наследственной ползучести [8–10]:

$$s(t) = s_{\phi}(t) + \int_0^t \sigma(t)k(t, \tau)dt. \quad (6)$$

Функцию фильтрационной осадки $s_{\phi}(t)$ определяем по изложенной выше методике:

$$s_{\phi}(t) = s_{\phi} \left(1 - Be^{-Nt}\right), \quad (7)$$

где s_{ϕ} , N , B – обобщенные параметры консолидации основания, определяемые по данным натурных наблюдений.

Для описания реологических свойств грунта (по М.Ю. Абелеву [7]) используем ядро ползучести экспоненциального вида

$$k(t, \tau) = \delta e^{-\delta_1 t}, \quad (8)$$

где δ , δ_1 – реологические параметры грунтового основания, определяемые по данным натурных наблюдений за осадкой.

В этом случае выражение будет иметь вид

$$s(t) = s_{\phi} \left[1 + \frac{\delta}{\delta_1} + \left(\frac{B\delta}{N - \delta_1} - B \right) e^{-Nt} - \left(\frac{B\delta}{N - \delta_1} + \frac{\delta}{\delta_1} \right) e^{-\delta_1 t} \right]. \quad (9)$$

Разделение участков фильтрационного уплотнения основания (первичная консолидация) и развития деформаций ползучести (вторичная консолидация) в этом случае выполняется по методике Казагранде из анализа графика $s = f(\lg(t))$.

Реологические параметры определяются из решения системы уравнений (9) для различных моментов времени.

Опытные данные натурных наблюдений за развитием осадок высотного здания

Покажем применение предлагаемого подхода для сравнительного анализа зависимостей развития осадок двух однотипных высотных жилых зданий в г. Перми.

По конструктивной схеме здание рамно-связевое, с полным железобетонным каркасом по «Унифицированной системе сборно-монолитного без ригельного каркаса КУБ 2.5», размеры в плане 15,0×30,0 м. Фундамент – железобетонная монолитная плита толщиной 900 мм.

Здания расположены на площадках со сходными в генетическом отношении инженерно-геологическими условиями: в геоморфологическом отношении площадки располагаются на делювиальном склоне IV левобережной надпойменной террасы р. Камы. В геологическом строении площадки принимают участие терригенные породы (аргиллиты с прослоями песчаника) уфимского яруса нижней перми, перекрытые четвертичными аллювиальными отложениями (суглинками). Основной несущий слой грунта – суглинок легкий и тяжелый пылеватый, мягко-и текучепластичный, с линзами супеси. Модуль деформации $E = 7,5 \dots 9,5$ МПа. Степень водонасыщенности (I_r) составляет 0,8–0,9. Ниже расположен суглинок легкий и тяжелый пылеватый, от тугопластичного до полутвердого, с линзами глины. Модуль деформации $E = 10,5 \dots 13,5$ МПа. Степень водонасыщенности (I_r) составляет 0,75–0,85. В основании разреза на глубинах 14–16 м от поверхности залегает аргиллит сильновыветрелый с прослоями песчаника. Модуль общих деформаций $E = 26,0 \dots 28,5$ МПа.

При устройстве первого этажа зданий на колоннах были установлены геодезические марки и выполнялись периодические измерения вертикальных перемещений конструкций в строительный период [11, 12].

Среднее давление под подошвой фундаментной плиты от постоянных нагрузок составляет 200 кПа. Продолжительность строительства составила 8 месяцев, временной график нагружения основания (рис. 2) принят линейным с шагом увеличения давления 25 КПа/месяц.

Рис. 2. График нарастания давления на основание

Здание № 1 строилось на естественном основании, с природными физико-механическими характеристиками грунтов. Здание испытало неравномерные деформации с общей тенденцией развития крена и увеличения осадок здания от марки № 1 к марке № 4. Абсолютная осадка на период наблюдений составляла 80–250 мм при допустимой величине 100 мм, относительная разность осадок – 0,0026–0,0044 при допустимой величине 0,002 (рис. 3).

Рис. 3. График развития осадок здания № 1 в строительный период

Анализ развития осадок основания в строительный период показал их нелинейный рост по сравнению с возрастанием давления на основание. Основной рост нелинейности начался на сроке нагружения 5 мес., при нагрузке на основание 150 кПа. Такой характер развития осадок может быть связан с развитием процесса ползучести в слое текучепластичных суглинков. При этом скорости нарастания осадок пропорциональны мощности слабых грунтов, максимальные скорости были достигнуты у оси 1. При развитии крена здания происходит перераспределение давления под фундаментной плитой, с увеличением их в зоне максимальных осадок, и без внешних воздействий ползучесть может стать прогрессирующей.

Для оценки развития геотехнической ситуации работы по возведению здания были приостановлены и в течение 80 сут были проведены геодезические наблюдения за развитием осадок при постоянной величине действующих нагрузок. Графики развития осадок геодезических марок показаны на рис. 4. Постоянная скорость развития осадок в этот период (18–20 мм в неделю) говорит об установившейся ползучести. Прогноз дальнейшего развития деформаций за счет ползучести по зависимости (9) показал недопустимые для данного здания величины.

Рис. 4. График развития осадок здания № 1 в период мониторинга

Для обеспечения выполнения проектных параметров по осадкам и кренам фундаментов было выполнено устройство в основании фундаментов разреженного горизонтального геотехнического барьера в виде искусственно улучшенного основания «структурный геомассив». Последовательность выполнения работ была определена в ходе компьютерного моделирования поведения системы «основание – здание» с учетом образования зон ослабления и повышения жесткости, относительно грунта естественного сложения. При производстве проводился ежедневный геодезический мониторинг за вертикальными перемещениями контрольных марок. Графики наблюдений приведены на рис. 5.

Период производства работ по устройству «структурного геомассива» можно разделить на три характерных этапа (рис. 6).

Выполнение грунтобетонных армирующих элементов в начальный момент времени резко снизило скорость нарастания осадок (4,5–5,0 мм в неделю) за счет «опресовки» цементным раствором зоны контакта фундаментной плиты с грунтом. Затем по мере развития зон ослабления в основании при устройстве грунтобетонных элементов (нулевая прочность которых в течение 14 ч первичной кристаллизации приводит к развитию технологических осадок) скорость развития осадок снова возросла до 10–11 мм в неделю. По мере набора прочности материалом армирующих элементов (14–28 сут) скорость развития осадок постепенно снижалась (7,3–6,9 мм в неделю). Затем при достижении грунтобетоном проектной прочности и формировании жесткой сетки внутреннего армирования основания резко упала (2,0–2,4 мм в неделю), что говорит о затухании процесса ползучести и стабилизации осадок.

Выполним прогноз развития осадок основания по зависимости (9); расчетные периоды: 1–56 день – устройство и набор прочности грунтобетонных армирующих элементов; 56–280 день – стабилизация деформаций ползучести. При входящем соотношении: модуль исходного грунта $E_1 = 10,0$ МПа, модуль деформации грунтобетонного армирующего элемента

$E2 = 400$ МПа, вязкость грунтобетона $\eta = 6,0 \cdot 10^5$ (МПа · ч) – выражение осадки ползучести будет иметь следующий вид:

$$s(t) = 20,4(1 - 0,019e^{-0,00083t}). \quad (10)$$

Рис. 5. График развития осадок здания № 1 в период производства работ

Рис. 6. Диаграмма изменения скорости развития осадок (мм в неделю) в процессе устройства основания

Полученное теоретическое выражение достаточно хорошо согласуется с графиками стабилизации осадки. Геодезические наблюдения за развитием осадок после окончания работ по устройству «структурного геомассива» и в процессе дальнейшего строительства здания (200 дней) (рис. 7) показали необратимость этого процесса, величина дополнительной осадки после стабилизации процесса ползучести слабого грунта составила 15–20 мм, что находится в расчетных пределах [13, 14].

Анализ результатов расчетов по определению реологических характеристик основания «структурный геомассив» показывает хорошую сходимость натуральных и лабораторных значений изменения модуля общих деформаций грунтобетонного армирующего элемента в период набора им прочности (возраст 14–56 сут, «интенсивно стареющий грунтобетон») и в период стабилизации деформаций ползучести (56–360 сут «стареющий грунтобетон»), что говорит о возможности использования лабораторных данных по определению характеристик ползучести грунтобетона для оценки ползучести всего «структурного геомассива» по модели композитного материала.

Рис. 7. График стабилизации осадок здания № 1

Здание № 2 сразу же строилось на искусственно улучшенном основании «структурный геомассив» с эффективным модулем деформации, равным 40 МПа.

График развития осадок, наблюдаемых в период строительства, приведен на рис. 8. Абсолютная осадка за период наблюдений составляла 30–35 мм при допустимой величине 100 мм, относительная разность осадок 0,001–0,0014 при допустимой величине 0,002.

Рис. 8. График развития осадок здания № 2 в строительный период

Анализ графиков по различным контрольным замерам показал, что развитие осадок происходило в соответствии с графиком нагружения за счет фильтрационного уплотнения основания без развития процессов ползучести. Критическая нагрузка на основание 150 кПа была достигнута на сроке 5 мес., к этому времени армирующие грунтобетонные элементы достигли проектной прочности и обеспечили искусственному основанию «структурный геомассив» требуемые деформационные характеристики. Собственные деформации ползучести грунтобетона на сроке «старения» 150 сут весьма малы, следовательно, малы и деформации всего основания. В этом случае прогноз развития осадок в начальный период эксплуатации здания можно выполнять на основании зависимости (4).

По результатам наблюдений за осадками были построены графики изменения скорости деформаций во время строительства, зависимости скорости развития осадок от величины осадок и зависимости ускорения от скорости развития осадок (рис. 9).

Расчетные параметры консолидации, определенные по полученной зависимости: $t_c = 8$ мес.; $p_c = 200$ кПа; $s_\phi = 49,3$ мм; $N = 0,126$ мес⁻¹. Выражение для определения расчетной осадки во времени в этом случае имеет вид

$$s(t) = 49,3 \left(1 - 0,063e^{-0,126t} \right). \quad (11)$$

Рис. 9. График зависимости ускорение – скорость развития осадки (здание № 2)

График развития осадки во времени, построенный по этой зависимости, и показатели осадки, полученные в ходе дальнейших геодезических наблюдений за период 18 мес. после окончания строительства, представлены на рис. 10. Проведенное сравнение показало их хорошую сходимость и возможность применения данной методики для прогнозирования осадок основания «структурный геомассив».

Рис. 10. График развития осадок здания № 2 при постоянной величине давления на основание 200 кПа

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что по данным наблюдений за развитием осадок оснований высотных зданий, сложенных слабыми водонасыщенными глинистыми грунтами и искусственными основаниями «структурный геомассив», в строительный период и в период начала эксплуатации можно получить расчетные зависимости для прогноза осадок на срок их стабилизации, пригодные для инженерной практики.

В этом случае прогнозируется дальнейшее развитие геотехнической ситуации с учетом фактического графика нагружения основания, осадок, обусловленных фильтрационным уплотнением, и осадок ползучести. Это позволяет правильно оценивать надежность строительных решений комплексов высотных зданий с применением системы геотехнических барьеров [15].

Список литературы

1. Foundation design for a tall tower in a reclamation area / F. Badelow, S. Kim, H. Poulos, A. Abdelrazaq // 7th International Conference on Tall Buildings. – Singapore: Research Publishing Services. – P. 815–823.
2. Poulos H. The design of foundations for high-rise buildings. – Institution of Civil Engineers. Proceedings. Civil Engineering, 163(CE6). – P. 27–32 .
3. Абелев М.Ю., Абелев К.М. Геотехнические исследования площадок строительства, сложенных слабыми водонасыщенными глинистыми грунтами // Геотехника. – 2010. – № 6. – С. 30–33.
4. Тер-Мартirosян З.Г., Тер-Мартirosян А.З. Некоторые проблемы подземного строительства // Жилищное строительство. – 2013. – № 9. – С. 2–5.
5. Шашкин А.Г. Проектирование зданий и подземных сооружений в сложных инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга. – М.: Геомакетинг, 2014. – 352 с.

6. Шулятьев О.А. Основания и фундаменты высотных зданий. – М.: Изд-во АСВ, 2016. – 392 с.
7. Абелев М.Ю. Строительство промышленных и гражданских сооружений на слабых водонасыщенных грунтах. – М.: Стройиздат, 1983. – 248 с.
8. Зарецкий Ю.К. Вязкопластичность грунтов и расчеты сооружений. – М.: Стройиздат, 1988. – 250 с.
9. Keedwell M.J. Rheology and soil mechanics. – London, 1984. – 323 p.
10. Practical problems in soil mechanics and foundation engineering. Vol. 1. Physical Characteristics of Soils, Plasticity, Settlement Calculations, Interpretation of in-Situ Tests / G. Sanglerat [et al.]. – Elsevier Science – Amsterdam, 1984. – 306 p.
11. Руководство по наблюдению за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1975. – 156 с.
12. Натурное испытание строительных сооружений – шаг к повышению деформационной безопасности / И.Н. Шардаков [и др.] // Вестник Пермского научного центра УрО РАН. – 2014. – № 4. – С. 4–11.
13. Коновалов П.А., Зехниев Ф.Ф., Безволев С.Г. Расчет эффективности укрепления слабых оснований нагружением, дренированием и армированием // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2003. – № 1. – С. 2–8.
14. Poulos H. Tall buildings and deep foundations – Middle East challenges / In Mamdouh Hamza, Marawan Shahien and Yasser El-Mossallamy (Eds.) // Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Amsterdam, Netherlands: IOS Press. – P. 3173–3208.
15. Травуш В.И., Маковецкий О.А. Устройство системы вертикальных и горизонтальных геотехнических барьеров при строительстве высотных зданий на слабых грунтах // Жилищное строительство. – 2016. – № 9. – С. 40–44.

References

1. Badelow, F., Kim, S., Poulos, H., Abdelrazaq, A. Foundation design for a tall tower in a reclamation area. *7th International Conference on Tall Buildings*, Singapore: Research Publishing Services, pp. 815-823.
2. Poulos, H. The design of foundations for high-rise buildings. *Institution of Civil Engineers. Proceedings. Civil Engineering*, 163(CE6), 27-32
3. Abelev M.Iu. Abelev K.M. Geotekhnicheskie issledovaniia ploshchadok stroitel'stva, slozhennykh slabymi vodonasyschennymi glinistymi gruntami [Geotechnical studies of construction sites composed of weak water-saturated clay soils]. *Geotekhnika*, 2010, no 6, pp. 30-33.
4. Ter-Martirosian Z.G., Ter-Martirosian A.Z. Nekotorye problemy podzemnogo stroitel'stva [Some of the problems underground construction]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2013, no 9, pp. 2-5.
5. Shashkin A.G. Proektirovanie zdaniy i podzemnykh sooruzhenij v slozhnykh inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh Sankt-Peterburga [The design of buildings and underground structures in difficult engineering-geological conditions of Saint-Petersburg]. Moscow, Geomarketing, 2014, 352 p.
6. Shuliat'ev O.A. Osnovaniya i fundamenty vysotnykh zdaniy [Foundations of high-rise buildings]. Moscow, ASV, 2016, 392 p.
7. Abelev M.Iu. Stroitel'stvo promyshlennykh i grazhdanskykh sooruzhenij na slabyykh vodonasyschennykh gruntakh [Construction of industrial and civil structures on weak water-saturated soil]. Moscow, Strojizdat, 1983, 248 p.
8. Zareckij Ju.K. Vjaskoplastichnost' gruntov i raschety sooruzhenij [Viscoplasticity of soils and calculation of structures]. Moscow, Strojizdat, 1988, 250 p.
9. Keedwell M.J. Rheology and soil mechanics. London, 1984, 323 p.
10. Sanglerat G. et al.: Practical problems in soil mechanics and foundation engineering. Vol. 1. Physical Characteristics of Soils, Plasticity, Settlement Calculations, Interpretation of in-Situ Tests. Elsevier Science, Amsterdam, 1984, 306 p.
11. Rukovodstvo po nabljudeniju za deformacijami osnovanij i fundamentov zdaniy i sooruzhenij [Guidance on monitoring deformations of bases and foundations of buildings and structures]. Moscow, Strojizdat, 1975, 156 p.
12. Shardakov I.N. i dr. Naturnoe ispytanie stroitel'nykh sooruzhenij – shag k povysheniju deformacionnoj bezopasnosti [Full – scale testing of building structures- a step towards improving the security of deformation]. *Vestnik Permskogo nauchnogo centra UrO RAN*, 2014, no 4, pp. 4-11.

13. Konovalov P.A., Zehniev F.F., Bezvoley S.G. Raschet jeffektivnosti ukreplenija slabyh osnovanii nagruzheniem, drenirovaniem i armirovaniem [The calculation of the efficiency of strengthening of weak bases loading, drainage and reinforcement]. *Osnovaniya, fundamenty i mehanika gruntov*, 2003, no 1, pp. 2-8.

14. Poulos H., Tall buildings and deep foundations - Middle East challenges. In Mamdouh Hamza, Marawan Shahien and Yasser El-Mossallamy (Eds.), *Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Amsterdam, IOS Press, pp. 3173-3208.

15. Travush V.I., Makoveckij O.A. Ustrojstvo sistemy vertikal'nyh i gorizonta'nyh geotekhnicheskikh bar'etrov pri stroitel'stve vysotnyh zdaniy na slabyh gruntah [The system's vertical and horizontal geotechnical barriers in the construction of high-rise buildings on soft soils]. *Zhilishhnoe stroitel'stvo*, 2016, no 9, pp. 40-44.

Получено 14.02.2018

Об авторе

Маковецкий Олег Александрович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент, зам. директора по науке ОАО «Нью Граунд» (614019, Россия, г. Пермь, Кронштадская, 35, e-mail: oleg-mak@inbox.ru).

About the author

Oleg A. Makovetskiy (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Vice-Chief, “New Ground” (35, Kronshtadskaya st., Perm, 614019, Russian Federation, e-mail: oleg-mak@inbox.ru).