

within some period and not show evidence of surface hydration. This allows for creating a fast hardening solid structure of the magnesia stone due to simultaneous hydration of the burnt magnesite and interaction of magnesium hydroxide with fine ground quartz.

Adding of a fine-dispersed silica  $MgO - H_2O$  in the system results in generation of magnesium silicate hydrates, which harden the magnesia stone.

## REFERENCES

1. Bajkov A. A. *Sobranie trudov : [v 5 t.] / A. A. Bajkov. – M. – l. : AN SSSR, 1948 – 1952. – T 5: Trudy v oblasti vyazhushhix veshhestv i ogneupornyx materialov. – 1948. – 271 s.*
2. Butt Yu. M. *Tverdenie vyazhushhix pri povyshennykh temperaturax / Yu. M. Butt, L. N. Rashkovich. – M, 1961. – S. 132.*
3. Vajvad A. Ya. *magnezialnye vyazhushhie veshhestva / A. Ya. Vajvad. – Riga : Znanie, 1971. – S. 330.*
4. Dementev K. G. *Nauchnye osnovy texniki stroitelnyx cementov / K. G. Dementev. – K. : Tipografiya S. V. Kulzhenko, 1905. – 236 s.*
5. Kaminskas A. Yu. *Texnologiya stroitelnyx materialov na magnezialnom syre / A. Yu. Kaminskas. – Vilnyus : Makslas, 1987. – 344 s.*
6. Kornienko G. G. *Obrazovanie gidrosilikatov magniya / G. G. Kornienko, D. S. Sishinskij // Stroitelnye materialy. – 1959. – № 8. – S. 32.*
7. Pirogov A. A. *Vozdushnotverdeyushhie vysokoogneupornye magnezialnye betony / A. A. Pirogov // Ogneupory. – 1958. – № 10. – S. 445 – 455.*

### **Відомості про авторів:**

*Дерев'яно Віктор Миколайович, д. т. н., проф., завідувач кафедри водопостачання, водовідведення і гідравліки Придніпровської державної академії будівництва та архітектури.*

*Бігун Олександр Іванович, к. т. н., доцент кафедри експлуатації гідромеліоративних систем і технології будівництва Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету.*

*Гришко Ганна Миколаївна, к. т. н., старший викладач кафедри експлуатації гідромеліоративних систем і технології будівництва Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету, e-mail: gryshko\_anna@mail.ru.*

*Максименко Андрій Анатолійович, інженер, старший науковий співробітник.*

УДК 624. 138

## **ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ, УПЛОТНЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНО ДЕЙСТВУЮЩЕЙ НАГРУЗКОЙ**

*Ю. А. Киричек, д. т. н., проф., В. С. Коник, инж.*

**Ключевые слова:** *коэффициент пористости, модуль деформации, влажность, угол внутреннего трения, удельное сцепление, расчетное сопротивление основания, длительность загрузки*

**Актуальность.** Грунтовое основание под воздействием длительно действующей нагрузки природных и техногенных факторов изменяет физико-механические характеристики грунтов. Практический интерес представляют исследования характеристик грунта до возведения сооружения и после длительной его эксплуатации с целью определения возможности увеличения нагрузок на основание реконструируемых зданий. По результатам разрабатываются методы прогноза изменения характеристик грунтов под воздействием длительно действующей нагрузки с учетом природных и техногенных факторов. В данной статье рассмотрены методы прогноза изменения механических характеристик грунтов уплотненных длительно действующей нагрузкой.

**Анализ публикаций.** Изменения характеристик грунтов в процессе эксплуатации здания изучали такие ученые как П. А. Коновалов, Е. А. Сорочан, Н. Н. Морарескул, С. Б. Ухов и другие. Но этот вопрос и на сегодняшний день остается достаточно актуальным.

**Цель:** анализ изменения механических характеристик грунтов в процессе эксплуатации сооружений.

**Исследования.** Из проведенных П. А. Коноваловым исследований песчаных и глинистых грунтов оснований под фундаментами эксплуатируемых зданий и грунтов в естественном состоянии, где были представлены результаты исследования уплотнения 14 зданий видно, что коэффициенты пористости грунтов отличаются незначительно [1]. При обследовании дома № 18 на Вадковском переулке были отобраны грунты под подошвой фундамента и грунты вне подошвы, которые в лабораторных условиях подвергали компрессионным испытаниям. Изменение коэффициентов пористости грунтов в обоих случаях совпадает с незначительным отклонением при различных давлениях. Отличие между ожидаемыми и фактическими коэффициентами пористости составляло 4 – 5 %. Вследствие этого можно ориентировочно определить коэффициент пористости под подошвой фундаментов по компрессионной кривой. При увеличении давления с 196,2 – 294,3 кПа до 304,11 – 392,4 кПа дополнительного уплотнения фактически не отмечается. Уменьшение коэффициентов пористости грунтов оснований при нагрузках около 98,06 кПа для глинистых грунтов несколько больше, чем для песков, а при переходе к большим давлениям пески уплотняются более интенсивно, чем глинистые грунты, так как абсолютные величины уплотнения при нагрузках 294,3 – 392,4 кПа примерно одинаковые.

Изменение пористости грунтового массива под эксплуатируемым зданием характеризуется уплотнением грунта в стороны от обреза фундамента на расстоянии 0,7 – 1,2*b*. При больших локальных нагрузках под фундаментами наблюдается значительное локальное уплотнение грунтов. Изменение коэффициента пористости по глубине в основаниях фундаментов эксплуатируемых зданий происходит неравномерно. Наибольшее уплотнение отмечено на глубине 0,5 – 1*b* от подошвы фундамента. В зависимости от срока эксплуатации здания коэффициент пористости при нагрузках 0,25 – 0,3 МПа изменяется следующим образом: для песков – 8,9 % (при сроке эксплуатации до 50 лет) и 12,8 % (более 50 лет); для глинистых грунтов – 7 % (до 50 лет) и 9,8 % (более 50 лет). Глинистые грунты в основаниях фундаментов эксплуатируемых зданий уплотняются медленнее, чем песчаные.

Многочисленные исследования свидетельствуют о том, что наибольшее влияние на величину дополнительных осадок при надстройке оказывает изменение механических характеристик связанное с уплотнением грунта под действием веса здания [1 – 3]. При длительном воздействии нагрузок на грунты в процессе эксплуатации зданий основания фундаментов претерпевают следующие изменения:

- уменьшается коэффициент пористости, вследствие чего упрочняется грунт оснований и увеличивается модуль деформации грунтов;
- повышается влажность в пределах площади застройки, что приводит к снижению несущей способности грунтов.

Исследования образцов с ненарушенной структурой, отобранных из-под подошвы фундаментов зданий, показывают, что при увеличении давления значение удельного сцепления для тугопластичных суглинков с коэффициентом пористости  $e = 0,48 - 0,52$  значительно увеличивается [1]. Анализ показывает, что:

- при нагрузках 215,82 – 245,25 кПа удельное сцепление значительно увеличивается в зоне глубиной 0,3 – 0,5*b* величина  $c$  в нижних слоях по глубине основания в пределах деформируемой зоны под фундаментами практически постоянна так же, как она постоянна по глубине в грунтовой массе без нагрузки;
- в слоях, залегающих ниже границы сжимаемой толщи, удельное сцепление уменьшается до естественной величины.

Одновременно было отмечено, что угол внутреннего трения практически не зависит от ранее действующего давления на грунты оснований под подошвой фундаментов.

Обобщая результаты исследований изменения физико-механических свойств грунтов оснований под подошвой фундаментов эксплуатируемых зданий с точки зрения изменения величины допустимого давления, можно отметить:

- для глинистых грунтов предельная величина нормативного давления несколько увеличивается за счет уплотнения грунтов, значительно возрастает за счет увеличения удельного сцепления и несколько снижается за счет повышения влажности грунтов в пределах пятна застройки;

- для песчаных грунтов предельная величина нормативного давления несколько увеличивается только за счет уплотнения грунтов оснований.

Из исследований П. А. Коновалова следует, что если расчетное сопротивление  $R$  определять по СНиП 2.02.01-83 путем интерполяции нормативных значений  $\varphi$  и  $c$  исходя из характеристик грунта как вне подошвы фундаментов, так и под ней, окажется что при уплотнении грунтов оснований расчетное сопротивление увеличится в среднем для глинистых грунтов – от 0 до 56 % и для песчаных – от 0 до 44 %.

Изменение во времени коэффициента пористости, угла внутреннего трения и коэффициента неоднородности песчаного грунта, образцы которого, отбирались из массива, расположенного ниже подошвы фундаментов зданий, подтверждены исследованиями Е. А. Сорочана [3]. Исследования подтверждают, что в песчаных грунтах характеристики изменяются следующим образом: коэффициент пористости снижается на 16 – 22 %, угол внутреннего трения увеличивается на 11 %, удельное сцепление возрастает в 10 раз.

Разработанные эмпирические формулы позволяют определить угол внутреннего трения и удельное сцепление в зависимости от длительности загрузки:

$$\phi_t = \phi_0 + m_\phi t \quad (1)$$

$$c_t = c_0 + m_c t \quad (2)$$

где  $\phi_0, c_0$  – характеристика неуплотненного природного грунта;  $m_\phi$  – коэффициент, принимаемый равным для песков крупных и средней крупности – 0,0614, мелких – 0,0369 и пылеватых – 0,0662;  $m_c$  – коэффициент, принимаемый равным соответственно 0,000372; 0,00049 и 0,00109;  $t$  – время загрузки.

Используя новые характеристики грунта, определяют расчетное сопротивление оснований:

$$Rc = RK_E \quad (3)$$

где  $R$  – расчетное сопротивление основания, определенное с учетом характеристик грунта, вычисленных по формулам (1) и (2);  $K_E$  – коэффициент зависящий от фактического давления по подошве, МПа и длительности загрузки основания, годы.

Из опытных данных и наблюдений Е. А. Сорочана можно сделать вывод, что фактическое контактное давление по подошве фундамента превышает расчетное в 1,23 – 1,88 раза. Увеличение давления по подошве фундамента в процессе эксплуатации здания не привело к деформациям сооружений и не нарушило их эксплуатационную пригодность. Осадка штампа на грунте находившемся под длительным нагружением, значительно меньше чем на грунте природного сложения. Модуль деформации в процессе длительного нагружения грунта увеличивается, что обуславливается уплотнением грунта под действием возрастающей нагрузки, а так же вибрацией от технического оборудования.

Так как определение расчетного сопротивления под подошвой фундамента длительно эксплуатируемого здания является достаточно сложной задачей, были разработаны еще несколько методов определения расчетного сопротивления грунта под подошвой фундаментов длительно эксплуатируемых зданий. Эти методы позволяют определить расчетное сопротивление основания, учитывая изменения прочностных характеристик грунта.

Одним из таких методов является метод ТГАСУ, разработанный Томским государственным архитектурно-строительным университетом. Это расчетное сопротивление уплотненного грунта  $R_{yn}$  предлагается определять по формуле (7) СНиП, но с учетом новых свойств грунтов [2]. Расчетное сопротивление основания эксплуатируемого здания определяется по формуле (4):

$$R_{yn} = \frac{\gamma_{c1}\gamma_{c2}}{k} \left[ M_\gamma k_z b K \gamma + M_q d_1 \gamma'_{II} + (M_q - 1) d_b \gamma_{II} + M_c c_{II} Kc \right] K_s \quad (4)$$

где  $K'\gamma$  и  $K_c$  – коэффициенты, учитывающие изменение  $\gamma_{II}$  и  $c_{II}$  за период эксплуатации здания, величины  $M_\gamma, M_q$  и  $M_c$  принимаются по СНиПу, но для нового угла внутреннего трения грунта:

$$\bar{\varphi} = \varphi_{II} K_\varphi \quad (5)$$

Здесь  $\varphi_{II}$  – угол внутреннего трения грунта,  $K_{\varphi}$  – коэффициент, учитывающий изменение  $\varphi_{II}$  за период эксплуатации здания. Все коэффициенты берутся из таблиц в зависимости от начальных (природных) свойств грунтов. Коэффициент  $K_s$  учитывает степень реализации предельной осадки за период эксплуатации здания. Возможность использования метода ТГАСУ для широкого диапазона грунтов оснований является его достоинством.

**Вывод.** Таким образом, длительная эксплуатация зданий приводит к развитию ряда как позитивных, так и негативных процессов в грунтах основания. К позитивным относится уплотнение грунтов оснований в верхней части сжимаемой толщи под подошвой фундаментов, вследствие этого происходит уменьшение пористости, увеличение прочностных и снижение деформационных характеристик, а также повышение несущей способности грунтов. Также в основании длительно эксплуатируемых зданий наблюдаются и негативные процессы, которые приводят к ухудшению свойств грунтов. Например, увеличение влажности грунтов в верхней части основания, что вызванное сезонным промерзанием и оттаиванием грунтов, утечками техногенных вод из коммуникаций, которые расположены в пятне застройки здания. Повышение уровня подземных вод или увеличение влажности может значительно ухудшить прочностные и деформационные характеристики грунтов основания. [4]. Однако систематических исследований изменения механических характеристик грунта недостаточно для надежного долговременного прогноза работы оснований и фундаментов зданий и сооружений.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Коновалов П. А.** Основания и фундаменты реконструируемых зданий / П. А. Коновалов. – М. : Стройиздат, 1988. – 288 с.
2. **Морарескул Н. Н.** Реконструкция городов и геотехническое строительство [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://georec.narod.ru/>
3. **Сорочан Е. А.** Фундаменты промышленных зданий / Е. А. Сорочан. – М. : Стройиздат, 1986. – 303 с.
4. **Ухов С. Б.** Механика грунтов основания и фундаменты / С. Б. Ухов. – М. : Высшая школа, 2007. – 562 с.

### SUMMARY

The soil bases under the influence of the load duration, natural and anthropogenic factors change the physical and mechanical characteristics. The study of the soil characteristics before the construction of buildings and after its long exploitation in order to determine the possibility of increasing loads on the basis of reconstructed buildings are of practical interest. Based on the results of such studies the methods for predicting changes in the characteristics of soils under the influence of the load duration, taking into account natural and anthropogenic factors can be developed.

Numerous studies show that the greatest impact on the amount of additional sediment at the superstructure has a change in the mechanical characteristics associated with soil compaction under the weight of the building. With long-term effects of pressures on soils in the process of operation of buildings base foundations undergo the following changes:

- Void ratio decreases, resulting in strengthening soil bases and the deformation modulus of soil increases;
- The humidity within the building area increases, which leads to decrease of bearing capacity of soil.

From the results of research, P. Konovalov, E. Sorochan, L. Morareskula it has been known that long-term operation of buildings leads to the development of a number of both positive and negative processes in the foundation soil. Compaction of foundation soils at the top of the compressible strata under the foundation refers to positive factors resulting in a decrease in porosity, increasing their strength and deformation properties, increasing the bearing capacity of soils. Also, negative processes which lead to weaken the properties of soils are fixed the base of long time operated buildings. For example, the increase humidity of soils in the upper part of the base, caused by seasonal freezing and thawing of soil, leaks of water from technogenic communications which are located in a spot of

building construction. The increase of the level of groundwater, or the increase in humidity can cause deterioration of the strength and deformation characteristics of the foundation soils.

## REFERENCES

1. Konovalov P. A. Osnovaniya i fundamenti rekonstruiruemых zdaniy / P. A. Konovalov. – М. : Strojizdat, 1988. – 288 s.
2. Morareskul N. N. Rekonstrukciya gorodov i geotexnicheskoe stroitelstvo [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://georec.narod.ru/>
3. Sorochan E. A. Fundamenti promyshlennyx zdaniy / E. A. Sorochan. – М. : Strojizdat, 1986. – 303 s.
4. Uhov S. B. Mexanika gruntov osnovaniya i fundamenti / S. B. Uhov. – М. : Vysshaya shkola, 2007 – 562 s.

### *Відомості про авторів:*

*Кіричек Юрій Олександрович, д. т. н., проф., завідувач кафедри землевпорядкування, будівництва автодоріг та геодезії Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, e-mail: yakirichek@gmail.com.*

*Конник Вікторія С, спеціаліст II категорії Інституту експертизи проектування та вишукування та вишукувань Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, e-mail: viktoriya.konik7@mail.ru.*

УДК 691.54:514.18

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СМЕСИТЕЛЕЙ

*К. К. Мирошниченко, д. т. н., проф.*

**Ключевые слова:** *смеситель, лопасть, фибробетон, дисперсная арматура, геометрическое моделирование*

**Актуальность проблемы.** В последние годы все больше возрастает спрос на такой перспективный материал как фибробетон. Благодаря своим свойствам он все больше привлекает внимание ученых и производителей. Но до настоящего времени практически не была решена проблема получения качественного фибробетона. Это сдерживает его широкое использование для различных изделий и конструкций, которые подвергаются большим динамическим и статическим нагрузкам.

**Анализ литературы.** Анализ существующих разработок по данной проблеме [1–8] показал, что за последние годы проведено ряд исследований в этом направлении, однако они не носят системного, фундаментального характера. В этих работах не уделяется серьезного внимания исследованиям процессов, происходящих в смеси после воздействия на нее различных по форме лопастей смесителей.

Научных работ в этом направлении с фиброармированными смесями мало. Приготовление дисперсноармированного материала на практике осуществляется по традиционным технологическим схемам [9 – 20].

Существующий парк оборудования для получения бетонов и растворов практически нельзя использовать для получения качественных фиброармированных бетонов. Плохое качество перемешивания дисперсной арматуры различного происхождения с компонентами бетонной смеси не обеспечивает получения однородного материала.

**Цель работы.** С применением геометрического моделирования разработать различные варианты лопастей рабочих органов смесителей, обеспечивающих эффективное перемешивание строительных составов из фибробетона в условиях строительной площадки.

**Изложение материала.** Проведенный в последние несколько лет комплекс теоретических исследований позволил сформулировать принципы проектирования ресурсосберегающей эффективной технологии приготовления фибробетона с использованием геометрического моделирования для формообразования различного типа лопастей смесителей, обеспечивающих образование в емкости разнонаправленных потоков смеси, которые смешиваясь между собой,