

**ШОКАРЕВ АНДРЕЙ ВИКТОРОВИЧ**

Аспирант кафедри городского строительства и хозяйства, факультет строительства и водных ресурсов Запорожской государственной инженерной академии, член украинского общества механики грунтов, геотехники и фундаментостроения.

Основные направления научной деятельности: мониторинг зданий и сооружений, интерактивные технологии компенсации неравномерный осадок зданий.

Автор 2 научных работ.

E-mail: shokarev\_andrii@mail.ru

УДК

## **МЕТОДИКА КОРРЕКТИРОВКИ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ ЗДАНИЙ В ПРОЦЕССЕ УСТРАНЕНИЯ ИХ СВЕРХНОРМАТИВНЫХ КРЕНОВ**

Ключевые слова: крен, расчетная модель, подработка грунта, мониторинг

*В процессе устранения сверхнормативных кренов зданий и сооружений численное моделирование их напряженно-деформированного состояния проводится по уточненным расчетным моделям. Корректировка расчетных моделей выполняется по данным мониторинга основных контролируемых параметров. Для применения метода наблюдения на практике разработана автоматизированная измерительно-информационная система.*

*У процесі усунення наднормативних кренів будинків і споруд чисельне моделювання їх напружено-деформованого стану проводиться по уточнених розрахункових моделях. Коректування розрахункових моделей виконується за даними моніторингу основних контрольованих параметрів. Для застосування методу спостереження на практиці розроблена автоматизована вимірювально-інформаційна система.*

*When eliminating abnormal tilts of buildings and constructions, the numerical simulation of their stress-strain conditions is carried out by the improved calculation models. The calculation models are modified based on the results of the main controlled variables monitoring. The computer-aided measuring and information system was developed for the practical usage of the described inspection method.*

**1 ВВЕДЕНИЕ**

На стадии проектирования строительного объекта прогнозируются его неравномерные осадки и крен. На надежность прогноза напряженно-деформированного состояния системы «основание – фундамент - верхнее строение» влияют различные факторы, среди которых можно выделить: объем и качество инженерно-геологических изысканий, правильный выбор расчетных моделей, а также методов численного моделирования напряженно-деформированного состояния грунтового основания. Однако, строительная практика довольно часто фиксирует расхождение между прогнозируемыми и фактическими значениями неравномерных осадок и кренов зданий и сооружений, и как следствие, возникающих непроектных усилий в несущих конструкциях (Maffei, 2001, Jamiolkowski, 2001). Если крен строительного объекта превышает предельное значение, может произойти исчерпание несущей способности строительных конструкций.

Наблюдениями за деформациями более 50 зданий в процессе их монтажа и в первые годы эксплуатации установлено, что чем больше их абсолютная осадка, тем больше может быть и неравномерная осадка (рис. 1).

Согласно исследований ряда ученых доля неравномерной осадки от максимальной может колебаться от 33 до 75%. Допустимые максимальные осадки зданий и сооружений установлены в Украине в довольно широких диапазонах 8...40 см. На основании численного расчета системы «основание – фундамент - верхнее строение», на восприятие неравномерных осадок, назначаются соответствующие конструктивные мероприятия, но в ряде случаев это может быть экономически не выгодно. Поэтому, при проектировке зданий и сооружений целесообразно было бы снизить предельные осадки оснований, а при возникновении в ходе строительства в конструкциях предельных усилий уменьшать их за счет регулирования

планово-высотного положения строительного объекта путем воздействия на подсистемы «фундамент - верхнее строение» или «основание – фундамент».

Воздействие на подсистему «фундамент - верхнее строение» обычно производится путем подъема верхнего строения домкратами; или путем его опускания – за счет использования активных конструктивных систем, размещенных при строительстве в цокольных несущих элементах. Воздействие на подсистему «основание – фундамент» осуществляется обычно путем изменения параметров деформируемости и прочности грунтов оснований или их подработкой (Кривосheyev, 2005).

Данная процедура может осуществляться на всех этапах жизненного цикла объекта, как при этом строительстве, так и в эксплуатационный период.

## 2 МЕТОДИКА КОРРЕКТИРОВКИ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ ЗДАНИЙ В ПРОЦЕССЕ УСТРАНЕНИЯ ИХ СВЕРХНОРМАТИВНЫХ КРЕНОВ

Для расчетного обоснования проектных решений зданий и сооружений сегодня имеются большие возможности численного моделирования с использованием различных расчетных моделей. Но для каждого строительного объекта может иметь место недопустимое несоответствие прогнозируемых (проектных) и фактических данных напряженно-деформированного состояния системы «основание – фундамент - верхнее строение».

Выходом из такой ситуации может являться предоставление возможности корректировки напряженного состояния строительных конструкций в процессе возведения объекта. Для реализации такого подхода необходимо выполнить расчет прогнозируемых неравномерных осадок и определить экономически целесообразную предельно допустимую осадку для каждого конкретного объекта. После достижения зданиями и сооружениями в процессе их возведения принятых предельных осадок производится устранение возникших неравномерных осадок.

Количество циклов компенсации неравномерных осадок строительного объекта определяется из соотношения:

$$n = \frac{S - S_u}{S_u}, \quad (1)$$

где  $S$  - потенциальная (прогнозируемая) величина осадки;  $S_u$  - принятая предельно допустимая величина осадки.

Момент начала регулирования планово-высотного положения здания для каждого цикла определяется из условия:

$$S' = S_u - S'', \quad (2)$$

где  $S'$  - фактическая максимальная величина неравномерных осадок здания, возникающая в процессе их возведения;  $S''$  - дополнительная осадка, которая произойдет за время выравнивания здания.

В процессе строительства здания может выполняться частичное преобразование грунтов с целью обеспечения соблюдения условия:

$$S_o < S_u, \quad (3)$$

где  $S_o$  - остаточная деформация основания на момент завершения строительства.

Моделирование системы «основание – фундамент - верхнее строение» при устранении сверхнормативного крена здания, осуществляется в следующей последовательности:

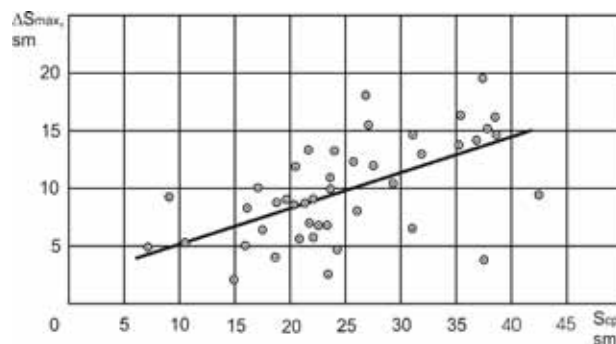


Рис. 1 Зависимость максимальных неравномерных осадок ( $\Delta S_{max}$ ) от средних ( $S_{cp}$ ) полученная для 9-ти этажных крупнопанельных зданий возведенных на обводненных лессовых грунтах (53% осадок реализуется в процессе монтажа зданий; 83% - в первый год их эксплуатации; 90% - во второй год их эксплуатации)

- создается пространственная модель здания с учетом нелинейной работы материалов конструкций, податливости стыков, одностороннего характера связей конструкций фундаментов с основанием;
- определяются дополнительные воздействия на здания за период строительства, как деформационные (крен, перекосы, дефекты), так и силовые, на которые выполняется расчет модели;
- проверяется адекватность расчетной модели путем сопоставления результатов натурных наблюдений и результатов расчета;
- по данным мониторинга выполняется оценка напряженно-деформированного состояния рассматриваемой системы как в процессе возведения объекта, так и при корректировке его планово-высотного положения;
- выполняется комплексный анализ полученных результатов с целью выявления конструкций, работающих в предельном состоянии и осуществляется корректировка производства работы, а также принимаются другие управленческие решения.

Для реализации методики возведения зданий и сооружений с интерактивной компенсацией неравномерных осадок наиболее целесообразно использовать адаптационные системы (домкратные или конструктивные), а также подработку грунтов основания. В последнем случае при устройстве фундамента в его тело по всей площади закладывается сеть вертикальных и наклонных каналов, например из труб, проходящих через всю толщину фундамента. Шаг, диаметр и угол наклона труб определяется по расчету. Регулирование высотного положения фундамента осуществляется путем удаления расчетного количества грунта из основания через эти каналы (рис.2).

## 3 МЕТОД НАБЛЮДЕНИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

В настоящее время строительство зданий и сооружений обычно выполняется на основании одного фиксированного проекта, который разрабатывается с учетом наиболее вероятностной интерпретации исходных данных (геологии, конструктивного решения объекта, предлагаемой технологии производства работ и т.д.). Однако в процессе реализации такого проекта могут возникать обстоятельства технологического, организационного и другого характера, которые не возможно учесть на стадии проектирования из-за сложности решаемых задач и геотехнической непредсказуемости

системы «основание - фундамент».

Сегодня в геотехнике все шире применяется метод наблюдений, который заключается в непрерывном, комплексном процессе проектирования и строительства. Метод базируется на мониторинге и анализе основных параметров системы «основание-фундамент-верхнее строение» в режиме реального времени, что позволяет корректировать проект на любой стадии производства работ (Осерек, 2007).

Для реализации способа возведения зданий и сооружений с применением интерактивной компенсации неравномерных осадок может использоваться автоматизированная измерительно-информационная система «Мониторинг» (рис. 3).

Система разработана на основе индуктивных преобразователей с периодическим сбором измерений информации о контролируемых физических величинах, с последующим их обработкой и хранением в ЭВМ (Shokarev, 2006).

При этом контролируются следующие параметры системы «основание – фундамент - верхнее строение»:

- направление и величина смещения конструкций
- угол наклона
- осадка
- величина раскрытия трещин

Преимуществом автоматизированной системы является возможность с помощью мобильного телефона запрограммировать период, когда система включится и опросит датчики, установленные на строительных конструкциях. Данные передаются в центр обработки информации в виде SMS сообщений.

В автоматизированную измерительно-информационную систему входят следующие технические средства: датчики крена (рис. 4) и раскрытия трещин, измеритель индуктивности, блок сбора и передачи информации.

Технические характеристики датчиков: точность измерений – 0,001 мм; диапазон температур: – 300...+700; вес – 0,22...0,6 кг; габариты: диаметр 25...76 мм; длина – 190...246 мм; корпус датчиков влаго и пылезащищенный.

Измерители индуктивности обеспечивают измерение в диапазоне 100...5000 мкГн и имеют USB интерфейс, что позволяет работать в интерактивном режиме. Блок сбора информации обеспечивает: питание системы от сети 220 В или встроенного аккумулятора; сбор информации по линиям связи от 99 датчиков за 11...20 сек.; переход в режим энергосбережения; запоминание всех настроек в энергонезависимой памяти.

Разработанная компьютерная программа «Pendulum» позволяет для точки установки датчика крена рассчитывать направление, величину смещения конструкции, в т.ч. по осям X, Y в мм, а также крен. Это позволяет по результатам мониторинга производить оценку напряженно-деформированного состояния строительных конструкций с использованием программного комплекса «Лира».

#### 4 ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЯ В ПРОЦЕССЕ УСТРАНЕНИЯ ЕГО СВЕРХНОРМАТИВНОГО КРЕНА

Приведем пример оценки напряженно-деформированного состояния 9-этажного крупнопанельного здания с размерами в плане 24x12м при устранении его крена. Конструктивная схема здания бескаркасная. Пространственная жесткость обеспечивается несущими продольными и поперечными стенами из керамзитобетона толщиной 350... 450мм, а также железобетонными дисками перекрытия.

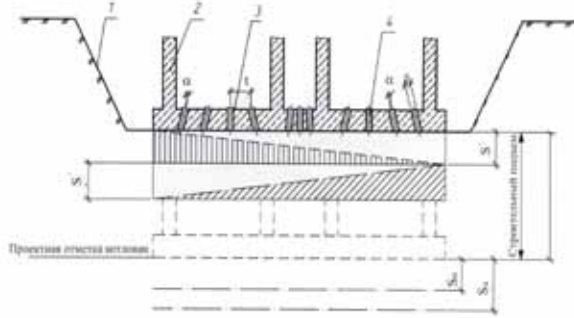


Рис. 2 Схема возведения здания с применением интерактивной компенсации неравномерных осадок: 1 – котлован; 2 – фундамент; 3, 4 – соответственно вертикальная и наклонная скважина;  $d, t, \alpha$  – диаметр, шаг и угол наклона скважин;  $S_u$  – принятая предельно допустимая осадка;  $S_o$  – остаточная осадка на момент завершения строительства.

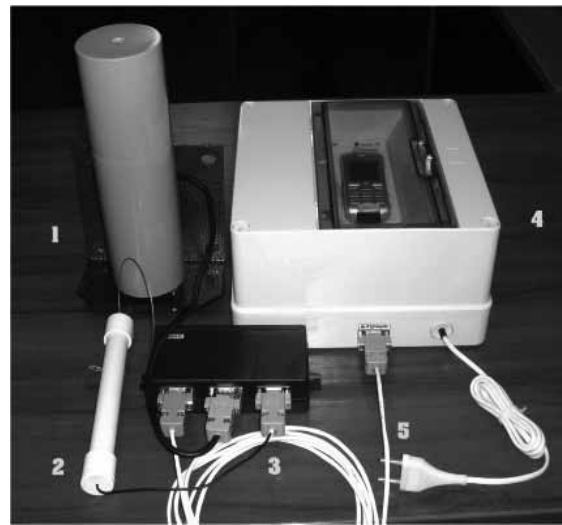


Рис. 3 Технические средства входящие в измерительно-информационную систему «Мониторинг»: 1 – датчик крена; 2 – датчик раскрытия трещин; 3 – измеритель индуктивности; 4 – блок сбора и передачи информации; 5 – линия связи

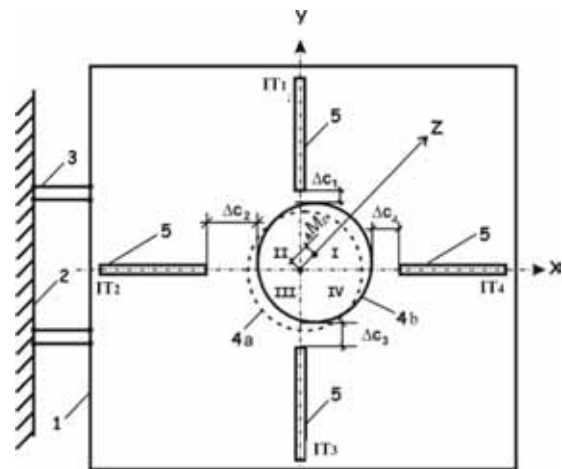


Рис. 4. Конструкция универсального индуктивного датчика крена.  
1 – корпус датчика; 2 – контролируемый объект; 3 – конструкция крепления датчика; 4 – маятник: а) в начальном положении, б) в смещенном положении; 5 – индуктивный преобразователь, (ИП<sub>1</sub> ... ИП<sub>4</sub>);  $\Delta C_1$  ...  $\Delta C_4$  – расстояния между маятником и индуктивными преобразователями (в начальном положении -  $\Delta C_1 = \Delta C_2 = \Delta C_3 = \Delta C_4$ ); x, y – оси координат; Z – направление смещения маятника;  $\Delta M_z$  – величина смещения оси маятника

В процессе эксплуатации здание подвергалось воздействию просадочных деформаций, при этом продольные и поперечные крены достигли сверхнормативных значений. В результате расчета модели здания на воздействия и нагрузки, возникшие в процессе эксплуатации, получена деформированная схема от суммарного действия внешних нагрузок и просадочных деформаций, перемещения узлов расчетной модели для каждого из загружений. При расчете анализировались главные напряжения в элементах здания, по которым можно судить о прочности материала конструкций. На рис.5 представлены изменения перемещений узлов и распределения главных напряжений в элементах здания при воздействии просадочных деформаций в процессе эксплуатации здания.

В элементах здания возникли напряжения, превышающие расчетные сопротивления материалов конструкций, что привело к образованию трещин и других дефектов, которые были обнаружены при обследовании здания. Главные сжимающие напряжения достигают  $2720,1 \text{ т/м}^2$  при предельно допустимых  $1850,0 \text{ т/м}^2$ ; главные растягивающие напряжения –  $717,8 \text{ т/м}^2$  при предельно допустимых  $160,0 \text{ т/м}^2$ .

Так как здание не соответствует условиям нормальной эксплуатации из-за сверхнормативных кренов, вследствие просадочных деформаций было принято решение устранения его сверхнормативного крена.

Устранение крена здания осуществлялось путем выбуривания расчетного количества грунта из-под подошвы фундамента. Для этого вдоль фасада здания был вырыт котлован на глубину один метр ниже подошвы фундамента. Ослабление слоя основания (уплотненного лессового суглинка) осуществлялось путем бурения двух рядов горизонтальных цилиндрических скважин длиной до 15 метров с переменным диаметром  $160...220 \text{ мм}$ . Увлажнение стенок скважин позволило ускорить процесс развития технологических осадок до требуемой величины. Работа по формированию контркрена здания продолжалась 14 дней. В продольном направлении были достигнуты неравномерные осадки здания  $41...55 \text{ мм}$ , а в поперечном направлении –  $92...178 \text{ мм}$ .

Для определения напряженно-деформированного состояния здания по остаточным деформациям и сопоставления их с величинами, определенным по данным мониторинга, необходимо выполнить расчет системы, моделирующей процесс выравнивания. Расчетная модель подвергалась деформационным воздействиям по этапам в соответствии с результатами наблюдений за поведением здания.

В процессе устранения крена здания деформационные и силовые характеристики стабилизировались, напряжения в системе достигли безопасных значений. На рис.6 представлены изменения перемещений узлов и распределения главных напряжений в здании при его выравнивании.

В результате проведенных исследований изменения напряженно-деформированного состояния здания в процессе устранения его крена, можно сделать вывод о том, что в процессе выравнивания здания локальной подработкой грунтового основания путем бурения горизонтальных цилиндрических скважин напряжения, возникающие в несущих элементах, не всегда снижаются и в некоторых случаях могут превышать предельно допустимые значения для материала конструкций. Это объясняется сложной реакцией пространственной системы на внешние воздействия, неравномерным распределением жесткостей элементов в здании, наличием дефектов и зон предельных напряжений. Разработанная методика корректировки расчетных моделей позволяет контролировать параметры напряженно-деформированного состояния зданий на основании результатов мониторинга.

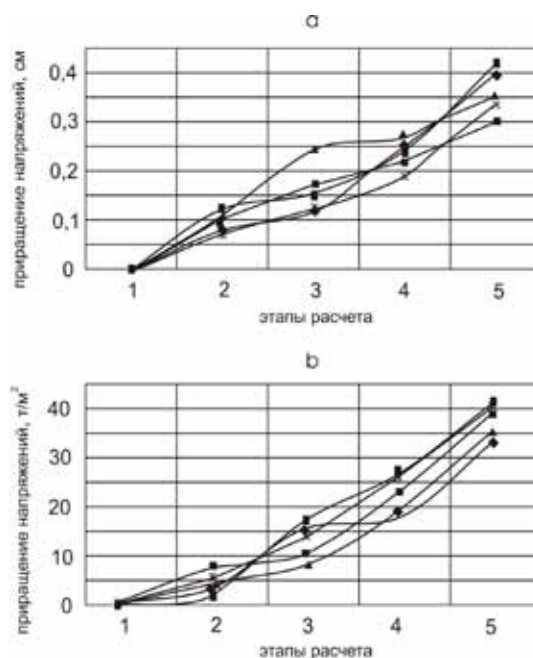


Рис. 5. Изменение перемещений узлов (а) и распределение главных напряжений (б) в продольных стенах здания при воздействии просадочных деформаций в процессе эксплуатации здания

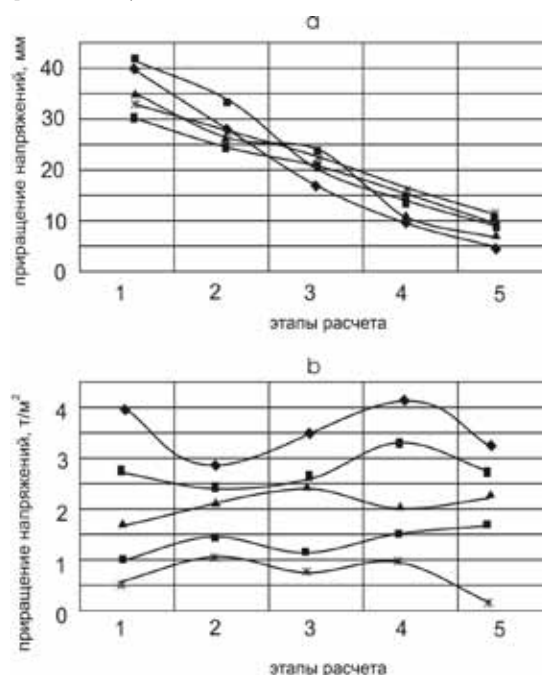


Рис. 6. Изменение перемещений узлов (а) и распределение главных напряжений (б) в продольных стенах здания при его выравнивании

При устранении сверхнормативных кренов зданий необходимо решать следующий комплекс задач:

1. Анализ проектной документации, обследование строительных конструкций здания, уточнение их возможных предельных состояний, создание модели информационного поля объекта, разработка интерактивного проекта устранения сверхнормативного крена строительного объекта.
2. Монтаж измерительно-информационной системы на объекте; ежедневное получение входящей информации в виде информационных сигналов; реализация технического, программного, метрологического, орга-

низационного, інформаційного забезпечення; отримання вихідної інформації в формі фізичних величин і параметрів.

- Численне моделювання напружено-деформованого стану будівлі з використанням програмного комплексу «Ліра».

$$\sigma_{i=n}^{x,y} = \int (\varepsilon_{i=n}^{x,y}), \quad (4)$$

де  $\sigma$  - напруження в будівельних конструкціях;  $\varepsilon$  - деформації.

$$\varepsilon_{i=n} = \int_0^t (i, f, \theta) dt, \quad (5)$$

де  $i$  - крен,  $f$  - прогин (выгиб),  $\theta$  - кут закручування фундаменту.

- Сопоставление фізичних величин і параметрів з допустимими по нормам, перевірка умов надійності, поточна корекція інформаційної моделі об'єкта.
- Корекція технологічних осадок, наприклад, шляхом розпушення (закріплення) ґрунту і т.д.

## 5. ВИСНОВКИ

- При усунуванні сверхнормативних кренів будівлі і споруд необхідно враховувати зміну їх напружено-деформованого стану в процесі виробничих робіт.
- Розроблена методика корекції розрахункових моделей будівлі по даним моніторингу.
- В управлінську схему робіт по інтерактивній компенсації нерівномірних осадок необхідно включати автоматизовані вимірювально-інформаційні системи. Автоматизовані вимірювально-інформаційні системи дозволяють, в режимі реального часу, здійснювати моніторинг параметрів напружено-деформованого стану об'єкта і при необхідності коректувати технологію виробництва робіт.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Maffei C.E., Concalves H.Y.S., Pimenta P.M., Muracami C.A. The plumbing of 2,2° inclined tall building // The first international conference of the Third Millennium: XV international conference on soil mechanics and geotechnical engineering, 27-31 August 2001. - Istanbul, 2001. - Vol. 3. - P. 1799-1802.
- Jamiolkowski M.B. The leaning tower of Pisa: End of an Odyssey // The first international conference of the Third Millennium: XV international conference on soil mechanics and geotechnical engineering, 27-31 August 2001. - Istanbul, 2001. - Vol. 4. - P.2979-2996.
- P.I. Krivosheyev, G.M. Grigor'ev, A.S. Tregub, I.N. Moskalina, A.A. Petrakov Geotechnical protection techniques for buildings adjacent to site territories // Geotechnology in Harmony with the Global Environment: Proceedings of the XVI International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 12-16 September 2005. - Osaka, 2005. - Vol.4. - P.2824-2824.
- Ocepek D., An Observational method for designing high cutting slopes in urban areas // Geotechnical Engineering in Urban Environments: XIV European conference on soil mechanics and geotechnical engineering, 24-27 September 2007. - Madrid, 2007. - Vol.2. - P.857-862.
- Shokarev V., Havkin A., Kurkin N., Kuznetsov R., Hilko S. Urban infrastructure objects monitoring on territories formed by loess soil // Active geotechnical design the XIII Danube European Conference on Geotechnical Engineering, 29-31 May 2006. - Ljubljana, 2006. - Vol.2. - P.499-502.

## ABSTRACT

Zocenko N.L., Velikodniy Yu. I., Titarenko V.A., Lapin N.I., Larceva I.I. **Stabilisation experience shear slopes of river valleys**//The world of geotechnik.- 2010.- №2.- P.4-10.

The results of studies of the stability of site-specific slope of the high bank of the river Dnepr are shown; special attention is paid to the preparation of original data for calculation. With the finite element method the effectiveness of restraint equipment are evaluated. To reduce the landslide pressure method of the fixing soils by cementation with boring and mixing technology is used.

Luchkovskiy I.Ya **What is "Settlement resistance of a ground of the base"**//The world of geotechnik.- 2010.- №2.- P.11-16.

In article the analysis of true depths of working areas of limiting balance under the bases, received on modern domestic size standards [1, 2] about introduction of raising factors  $\gamma_1$  and  $\gamma_2$  is given at definition of settlement resistance of a ground of base R that has allowed to develop theoretically well-founded technique of definition R

Savickiy O.A. **Peak-frequency characteristics of vacillatings of the vibrator on the laminose viscoelastic base**//The world of geotechnik.- 2010.- №2.- P.17-21.

The amplitude-frequency response of vibromachines for determination of the dynamic properties of a soil base at inertial influence from a motor with eccentric is studied. Problem of oscillations of the rectangular plate (die block) on viscoelastic layer is considered as a dynamic contact problem.

Results of calculations are compared with experimental data of other authors

Horungiy V.I. **Calculation of flexible breast walls with use of normative SNiP 2.02.03-85"pile bases"**//The world of geotechnik.- 2010.- №2.- P.22-24.

Design procedure of the piles applied in retaining walls, with use of the specifications based on the theory of the elastic basis with factor of bed, accruing proportionally to depth is considered. The conclusion of additional formulas for settlement schemes of the piles which have been not considered in SNiP of 2.02.03-85"PILE BASES" is given.

Shokarev A. V. **Technique of updating of settlement models of buildings in the course of elimination of their tilts above permitted standard** // The world of geotechnik.- 2010.- №2.- P.25-29.

When eliminating abnormal tilts of buildings and constructions, the numerical simulation of their stress-strain conditions is carried out by the improved calculation models. The calculation models are modified based on the results of the main controlled variables monitoring. The computer-aided measuring and information system was developed for the practical usage of the described inspection method

Kozeletsky P.M, Senatorov V.N. **International federation of concrete (fib): new editions**//The world of geotechnik.- 2010.- №2.- P.30-33.

Paper contents the Abstracts of the last fib Bulletins and information on future Conferences under the aegis of this Federation