

УДК 69.04

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСЧЁТНОГО КОМПЛЕКСА NASTRAN ДЛЯ РЕШЕНИЯ КОНТАКТНОЙ ЗАДАЧИ УЛУЧШЕННОГО КРУГЛОГО ФУНДАМЕНТА

БОГАТЫНСКИЙ А.В.^{1*}, асп.
ТИМЧЕНКО Р.А.^{2*}, д.т.н., проф.,
КРИШКО Д. А.^{3*}, к.т.н., ст. преп.

^{1*} Кафедра промышленного, гражданского и городского строительства, Государственное высшее учебное заведение "Криворожский национальный университет", ул. Виталия Матусевича, 11, 50027, Кривой Рог, Днепропетровская обл., Украина, тел. +38 (0564) 71-95-98, tioma432@e-mail.ua, ORCID ID: 0000-000-3423-3577

^{2*} Кафедра промышленного, гражданского и городского строительства, Государственное высшее учебное заведение "Криворожский национальный университет", ул. Виталия Матусевича, 11, 50027, Кривой Рог, Днепропетровская обл., Украина, тел. +38 (0564) 71-95-98, e-mail: radomirtimchenko@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0684-7013

^{3*} Кафедра промышленного, гражданского и городского строительства, Государственное высшее учебное заведение "Криворожский национальный университет", ул. Виталия Матусевича, 11, 50027, Кривой Рог, Днепропетровская обл., Украина, тел. +38 (0564) 71-95-98, e-mail: dak_sf@mail.ru, ORCID ID:0000-0001-5853-8581

Аннотация. *Цель.* С целью определения достоверности гипотезы механизма работы предложенного круглого фундамента решено провести сравнение результатов его работы полученные при помощи активного эксперимента и математическим моделированием. В качестве инструмента для реализации поставленной задачи использовано пространственную версию программного комплекса Nastran in-CAD, который позволяет решить поставленную задачу методом конечных элементов. *Методика.* Для экспериментальных исследований использовалась упрощенная модель предложенного фундамента. Вкладыши из низко модульного материала, расположенные в углублениях на контактной поверхности позволяют перераспределять напряжения, что особенно важно в условиях неравномерно деформируемого основания. Ещё одним преимуществом этой фундаментной конструкции является проявление арочного эффекта между опорными участками контактной поверхности. Целью проведения активного эксперимента была оптимизация конструктивных параметров фундаментной плиты. Для этого исследовалось влияние следующих факторов на несущую способность фундамента: x_1 – соотношение модуля деформации вкладыша и грунта основания $K = E^*/E$; x_2 – высота полостей h , мм. В качестве параметра оптимизации была выбрана максимизация несущей способности фундамента. *Результаты.* В результате мы можем видеть сходимость результатов полученных при помощи активного эксперимента и при помощи математического моделирования. Также мы можем наблюдать области упругого ядра под вкладышами из низко модульного материала. Это подтверждает гипотезу о возникновении арочного эффекта под предложенным фундаментом. В результате, при сравнении графиков осадки полученных разными методами, подтвердилось наличие эффекта саморегуляции при работе предложенного круглого фундамента. *Научная новизна и практическая значимость.* Картина деформации под конечно-элементной моделью предложенного фундамента показывает наличие разгружающих грунтовых сводов и, как следствие образования арочного эффекта. Исследование осадки модели фундамента позволяет говорить о подтверждении гипотезы о возникновении саморегулирующего эффекта.

Ключевые слова: несущая способность, неравномерные деформации основания, круглая фундаментная плита, ПК NASTRAN.

ВИКОРИСТАННЯ РОЗРАХУНКОВОГО КОМПЛЕКСУ NASTRAN ДЛЯ ВИРІШЕННЯ КОНТАКТНОЇ ЗАДАЧІ ПОЛІПШЕНОГО КРУГЛОГО ФУНДАМЕНТУ

БОГАТИНСЬКИЙ А. В.^{1*}, асп.,
ТИМЧЕНКО Р.О.^{2*} д.т.н., проф.,
КРІШКО Д. А.^{3*}, к.т.н., ст. викл.

^{1*} Кафедра промислового, цивільного та міського будівництва, Державний вищий навчальний заклад "Криворізький національний університет", вул. Віталія Матусевича, 11, 50027, Кривий Ріг, Дніпропетровська обл., Україна, тел. +38 (096) 326-76-81, e-mail: tioma432@e-mail.ua, ORCID ID: 0000-000-3423-3577

^{2*} Кафедра промислового, цивільного та міського будівництва, Державний вищий навчальний заклад "Криворізький національний університет", вул. Віталія Матусевича, 11, 50027, Кривий Ріг, Дніпропетровська обл., Україна, тел. +38 (0564) 71-95-98, e-mail: radomirtimchenko@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0684-7013

^{3*} Кафедра промислового, цивільного та міського будівництва, Державний вищий навчальний заклад "Криворізький національний університет", вул. Віталія Матусевича, 11, 50027, Кривий Ріг, Дніпропетровська обл., Україна, тел. +38 (0564) 71-95-98, e-mail: dak_sf@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5853-8581

Анотація. Мета. З метою визначення достовірності гіпотези механізму роботи запропонованого круглого фундаменту вирішено провести порівняння результатів його роботи отриманих за допомогою активного експерименту і математичним моделюванням. Як інструмент для реалізації поставленого завдання використано просторову версію програмного комплексу Nastran in-CAD, який дозволяє вирішити поставлену задачу методом кінцевих елементів. **Методика.** Для експериментальних досліджень використовувалася спрощена модель запропонованого фундаменту. Вкладиші з низькомодульної матеріалу, розташовані в поглибленнях на контактній поверхні дозволяють перерозподіляти напруження, що особливо важливо в умовах нерівномірно деформованої основи. Ще однією перевагою цієї фундаментної конструкції є виникнення арочного ефекту між опорними ділянками контактної поверхні. Метою проведення активного експерименту була оптимізація конструктивних параметрів фундаментної плити. Для цього досліджувався вплив наступних факторів на несучу здатність фундаменту: x_1 - співвідношення модуля деформації модуля вкладиша і ґрунту основи $K = E' / E$; x_2 - висота порожнин h , мм. В якості параметра оптимізації була обрана максимізація несучої здатності фундаменту. **Результати.** В результаті ми можемо бачити збіжність результатів отриманих за допомогою активного експерименту і за допомогою математичного моделювання. Також ми можемо спостерігати області пружного ядра під вкладишами з низькомодульної матеріалу. Це підтверджує гіпотезу про виникнення арочного ефекту під запропонованим фундаментом. У результаті, при порівнянні графіків осідань отриманих різними методами, підтвердилася наявність ефекту саморегуляції при роботі запропонованого круглого фундаменту. **Наукова новизна і практична значущість.** Картина деформації під скінченно-елементної моделлю запропонованого фундаменту показує наявність розвантажують склепін і, як наслідок виникнення арочного ефекту. Дослідження осідань моделі фундаменту дозволяє говорити про підтвердження гіпотези про виникнення саморегулюючого ефекту.

Ключові слова: несуча здатність, нерівномірні деформації основи, кругла фундаментна плита, ПК NASTRAN.

USING NASTRAN CALCULATION COMPLEX FOR CONTACT PROBLEM SOLUTION OF IMPROVED ROUND FOUNDATION

TIMCHENKO R. A. ^{1*}, *Dr.Sc.(Tech), Prof.*,
KRISHKO D. A. ^{2*}, *Cand.Sc., senior lect.*,
BOGATYNSKIY A. V. ^{3*}, *PhD student*,

^{1*} Department of industrial, civil and urban building, State higher educational institution "Kryvyi Rih National University", str. Vitaliy Matusevicha, 11, 50027, Kryvyi Rih, Ukraine, phone +38 (0564) 71-95-98, e-mail: radomirtimchenko@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0684-7013

^{2*} Department of industrial, civil and urban building, State higher educational institution "Kryvyi Rih National University", str. Vitaliy Matusevicha, 11, 50027, Kryvyi Rih, Ukraine, phone +38 (0564) 71-95-98, e-mail: dak_sf@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5853-8581

^{3*} Department of industrial, civil and urban building, State higher educational institution "Kryvyi Rih National University", str. Vitaliy Matusevicha, 11, 50027, Kryvyi Rih, Ukraine, phone +38 (096) 326-76-81, e-mail: tioma432@e-mail.ua, ORCID ID: 0000-000-3423-3577

Annotation. Goal. For the purpose of determining the validity of the hypothesis of the mechanism of the proposed circular foundation decided to make a comparison of the results of his work obtained by the active experiment and mathematical modeling. As a tool to perform this task, use spatial version of Nastran in-CAD software package that allows you to solve the problem by finite element method. **Methods.** For experimental studies used a simplified model of the proposed foundation. Inserts made of low modulus material, in the slots of the contact surface to redistribute stress, which is especially important in conditions of uneven deformable base. Another advantage of this design is the foundation of education arch effect between the support portions of the contact surface. The aim of the experiment was to optimize the active design parameters of the foundation slab. To investigate the effect of these factors on the bearing capacity of the foundation: x_1 - the ratio of module liner deformation and ground base $K = E' / E$; x_2 - the height of the cavities h , mm. The parameter optimization to maximize bearing capacity of the foundation was chosen. **Results.** As a result, we can see the convergence of the results obtained with active experiment and using mathematical modeling. Also, we can observe the elastic core area under the pads of the low modulus material. This confirms the hypothesis about the origin of the arch effect under the proposed foundation. As a result, when comparing the subsidence graphs obtained by different methods, confirmed the presence of self-regulation effect in the proposed circular foundation. **The scientific novelty and practical significance.** Painting under the strain finite element model proposed by the foundation indicates the presence of discharging arches and, as a consequence of the formation of the arch effect. Research subsidence foundation model allows us to speak about the confirmation of the occurrence of self-regulatory effect hypothesis.

Keywords: bearing capacity, non-uniform deformation of the base, round plate, PC NASTRAN.

Введение

Здания и сооружения, возводимые в особых грунтовых условиях, могут быть подвержены влиянию неравномерных деформаций основания. Нормативные документы [2, 8, 9] требуют в этом случае для обеспечения прочности и эксплуатационной надежности объектов строительства применять защитные конструктивные мероприятия, которых часто недостаточно, так как при оседаниях и просадках оснований возникают крены зданий, превышающие допустимые значения [7-11].

Устранение кренов – важнейшая инженерная задача, особенно если она решается в сложных инженерно-геологических условиях. Технические решения основанные на саморегулирующем эффекте являются самыми распространёнными в этой области.

Фундамент с вкладышами из низко модульных материалов (рис. 1) рассчитан на работу в условиях неравномерных деформаций основания.

Цель

С целью определения достоверности гипотезы механизма работы предложенного круглого фундамента (рис. 1) было проведено сравнение результатов его работы, полученные при помощи активного эксперимента и математического моделирования. В качестве инструмента для реализации поставленной задачи использовано пространственную версию программного комплекса Nastran in-CAD, который позволяет решить поставленную задачу методом конечных элементов.

Методика

Для экспериментальных исследований использовалась упрощенная модель предложенного фундамента [6]. Вкладыши из низко модульного материала, расположенные в углублениях на контактной поверхности позволяют перераспределять напряжения, что особенно важно в условиях неравномерно деформируемого основания.

Ещё одним преимуществом этой фундаментной конструкции является образования арочного эффекта между опорными участками контактной поверхности. Под фундаментом в процессе деформирования возникают такие условные зоны: I – зона упругого ядра; II – зона радиального сдвига; III – зона пластического течения (рис. 2.) [12].

Возникновение арочного эффекта между опорными элементами ($O'_i D'_i O'_{i+1}$) качественно меняет характер напряженно-деформированного состояния под фундаментом предложенной конструкции. Благодаря этому прерывистая плоская контактная поверхность фундамента превращается в непрерывную криволинейную. Очертание этой контактной поверхности зависит от конструкции фундамента и свойств грунта основания. В данной фундаментной конструкции арочный эффект

возникает в радиальном направлении и в направлении секторов.

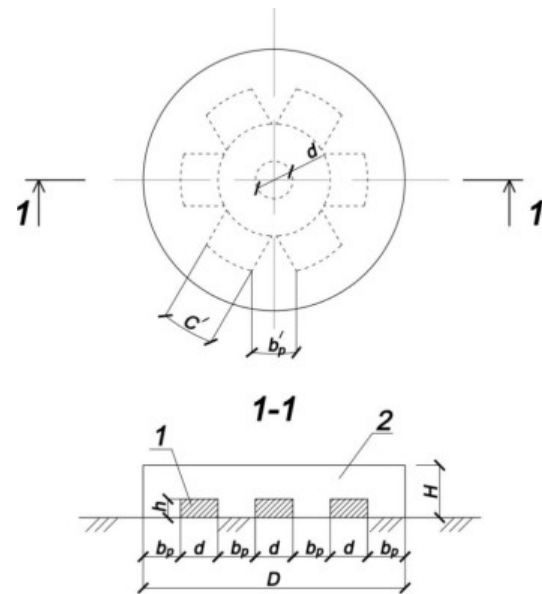


Рис. 1. Модель фундамента, используемая в исследованиях.

1 – вкладыш из материала модуль деформации которого меньше чем модуль деформации грунта основания; 2 – круглая фундаментная плита./

The foundation model used in the investigations.

1 - liner from deformation modulus of the material is less than the soil deformation modulus; 2 - a round base plate.

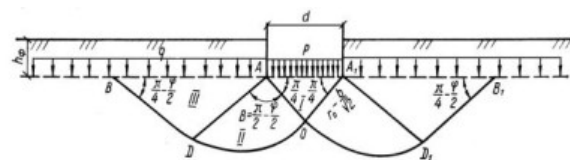


Рис. 2. Расчётная схема предельного напряженно-деформированного состояния грунта под ленточным фундаментом по В.Г. Березанцеву / *Calculated circuit stress-strain limit state of the soil under the foundation by V.G. Berezantsev*

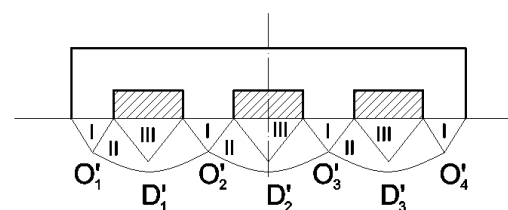


Рис. 3. Схема предельного напряженно-деформированного состояния грунта в разрезе под моделью фундамента.

O'_i – вершина упругого ядра; D'_i – вершина арки.
I – зона упругого ядра; II – зона радиального сдвига; III – зона пластического течения

Scheme stress-strain limit state of soil in the under a foundation model.

O'_i - the top of the elastic core; D'_i - the top of the arch.
I - the elastic core zone; II - radial shear zone; III - zone of plastic flow

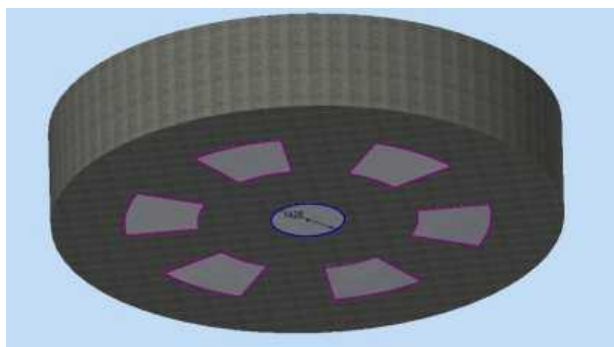


Рис.4. Модель предложенного фундамента в программном комплексе Nastran in-CAD /Proposed foundation model in Nastran in-CAD environment

Целью проведения активного эксперимента была оптимизация конструктивных параметров фундаментной плиты. Для этого исследовалось влияние следующих факторов на несущую способность фундамента:

– x_1 – соотношение модуля деформации вкладыша и грунта основания $K = E'/E$ (область интереса 0,1 – 0,7);

– x_2 – высота полостей h , мм (область интереса 5 – 15 мм.

В качестве параметра оптимизации была выбрана максимизация несущей способности фундамента.

Полный факторный эксперимент при 2-х факторах и линейной модели регрессии имел бы $2^2 = 4$ опыта [1,4,5], при этом показывая значение несущей способности только в 4-х узловых точках матрицы эксперимента. Для того, чтобы увеличить точность результатов функция отклика (несущая способность фундамента) была аппроксимирована полиномом второй степени при 9-ти опытах.

Модель песчаного основания в лоток укладывалась слоями толщиной 15 мм и уплотнялась трамбовкой. Загружение модели осуществлялось через специальную раму, на нижнюю часть которой укладывались нагружающие элементы.

Нагрузку увеличивали ступенями по 25 кПа. Каждую ступень давления выдерживали до условной стабилизации деформации грунта. За критерий условной стабилизации деформации принимали скорость осадки штампа, не превышающая 0,1 мм за 30 мин [3]. Каждая последующая ступень давлений также выдерживалась в течение времени условной стабилизации. Загружение модели фундамента в каждом опыте осуществлялось до полной потери несущей способности основания (возникновение выпора грунта). При этом фиксировали разрушающую нагрузку Y_i .

Результаты, полученные при активном эксперименте, показаны в табл. 1.

Для математического моделирования в качестве основания был выбран песчаный грунт со следующими характеристиками: $E_{осн} = 13$ МПа, $\varphi^n = 31^\circ$, $c^n = 1$ кПа, $\gamma^n = 26.5$ кН/м³, $\mu = 0,30$, коэффициент жесткости основания $s = 14285$ кН/м³. В качестве вкладышей был выбран материал резина с $E_{рез}=0,1-$

0,7 $E_{осн}$. Моделирование проводилось для тех же значений факторов, что и для активного эксперимента. Результаты моделирования также показаны в табл. 1.

Дополнительно проводился математический эксперимент с целью определения деформированных зон под круглым фундаментом предложенной конструкции. Для этого половина фундамента была установлена на тоже основание с такими же характеристиками, что и в первой серии опытов. Нагрузка и характеристики материала фундамента и вкладышей то же. Результат представлен на рис. 5.

Таким образом были установлены оптимальные значения факторов x_1 и x_2 , с точки зрения максимальной несущей способности. Вторая серия испытаний была проведена для сравнения осадки оптимальной модели фундамента и модели круглого фундамента при одинаковых условиях. Основание песчаное, характеристики которого совпадают с характеристиками основания из первой серии испытаний.

Результат сравнения показан на рис. 6.

Результаты

Таблица 1.

Результаты определения несущей способности фундамента / The results of the bearing capacity determination of foundations.

№	x_1	x_2	$Y_{акт}$, кПа	$Y_{модел}$, кПа	погрешность, %
1	0,1	0,5	192,9	183,3	5,3
2	0,4	1	163,3	151,9	7,5
3	0,7	1,5	188,4	197,8	-4,8
4	0,1	1	163,3	168,2	-2,9
5	0,4	1,5	188,4	190,3	-1,0
6	0,7	0,5	192,9	189,0	2,0
7	0,1	1,5	188,4	179,0	5,3
8	0,4	0,5	195,6	199,5	-2,0
9	0,7	1	170,2	160,0	6,4

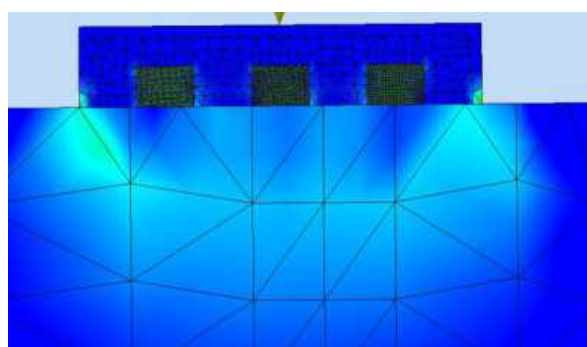


Рис. 5. Деформации основания под половиной модели фундамента / Base deformation under half of the foundation model.

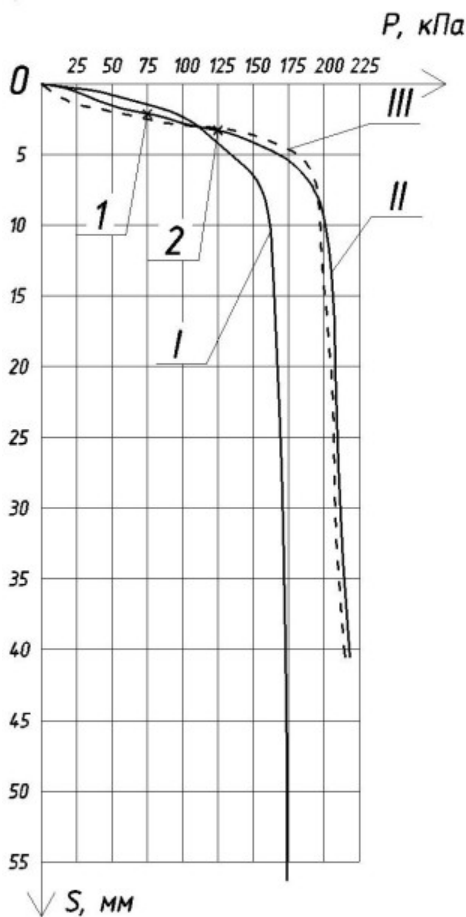


Рис. 6. Сравнение графика осадки образца моделирующего круглый фундамент с плоской контактной поверхностью I, предложенный фундамент с оптимальными характеристиками II и предложенного фундамента при помощи МКЭ III.

1-2 Площадка саморегулирования / Comparison of subsidence graph sample simulating a round foundation with a flat contact surface I, proposed foundation with optimum characteristics II and proposed foundation using FEM III. 1-2 self-site plate.

В результате мы можем видеть сходимость результатов полученных при помощи активного эксперимента и при помощи математического моделирования.

Также мы можем наблюдать области упругого ядра под вкладышами из низко модульного материала (рис. 5.). Это подтверждает гипотезу о возникновении арочного эффекта под предложенным фундаментом.

В результате, при сравнении графиков осадки полученных разными методами, подтвердилось наличие эффекта саморегуляции при работе предложенного круглого фундамента.

Научная новизна и практическая значимость

Гипотеза об улучшении работы предложенной конструкции фундамента по сравнению с моделью обычного фундамента подтверждается в силу небольших расхождений между результатами активного эксперимента (до 10%) и математического моделирования методом конечных элементов. Картина деформации под конечно-элементной моделью предложенного фундамента показывает наличие разгружающих сводов и, как следствие образования арочного эффекта.

Исследование осадки модели фундамента позволяет говорить о подтверждении гипотезы о возникновении саморегулирующего эффекта.

Выводы

Наличие эффекта саморегуляции и арочного эффекта под предложенным фундаментом с вставками из низко модульного материала позволяет говорить о повышенной эффективности работы данного фундамента не только в обычных условиях эксплуатации, а и при возникновении неравномерных деформаций основания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных решений. // Ю.П.Адлер, Е.В.Маркова, Ю.В.Грановский. – М.: Наука, 1976. – 276 с.
2. ДБН В. 1.1.-5-2000. Захист від небезпечних геологічних процесів. Будинки і споруди на підроблюваних територіях і просідаючих ґрунтах; Введ. з 2000-07-01. – Київ, 2000. – Ч. 1: Будинки і споруди на підроблюваних територіях). – 70 с.; Ч.2: Будинки і споруди на просідаючих ґрунтах. – 89 с.
3. ДСТУ Б В.2.1-17: 2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей. – К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2009. – 101 с.
4. Ершова, Н.М. Дисперсионный анализ данных наблюдений с помощью пакета анализа приложения Excel / Н.М. Ершова // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБтаА, 2009. - № 3. – С. 10-20.
5. Ершова, Н.М. Методика планирования и проведения эксперимента при обработке данных средствами Excel / Н.М. Ершова // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБтаА, 2009. – № 2. – С. 7-18.

6. Пат. 100021 Україна, МПК (2013) E02D. Фундамент під споруду баштового типу 00021 Україна, МПК (2013) E02D. Тімченко Р.О., Богатинський А.В. (Україна). – № у 2014 01294; Заявл. 10.02.2014; опубл. 10.07.2015, Бюл. № 18. № 18. – 7 с.
7. Рогова Т.Б. Сдвигения и деформации пород и земной поверхности при ведении горных работ./ Т.Б. Рогова. – Кемерово: КузГТУ, 2015. – 50 с.
8. Руководство по проектированию зданий и сооружений на подрабатываемых территориях. Часть I: Исходные данные для проектирования зданий и сооружений на подрабатываемых территориях // Донецкий ПромстройНИИпроект, НИИСК. – М.: Стройиздат, 1983. – 136 с.
9. Руководство по проектированию зданий и сооружений на подрабатываемых территориях. Часть III. Башенные, транспортные и заглубленные сооружения, трубопроводы. / НИИСК Госстроя СССР – М.: Стройиздат, 1985. – 211 с.
10. Самченко Р.В. Опыт устранения крена водонапорной башни / Р.В. Самченко // Будівельні конструкції. – К.: НДІБК, 2004. – Вип. 61, т. 2. – С. 122-125.
11. Тимченко Р.А. Методика расчета круглых плитных фундаментов в условиях неравномерно-деформируемого основания при сложном нагружении / Р.А. Тимченко – Кривой Рог: Криворожский технический университет, 2008. – 24 с.
12. Фидаров М.И. Проектирование и возведение прерывистых фундаментов. – М. Стройиздат, 1986. – 156 с.

REFERENCES

1. Adler U.P., Markova E.V. and Granovskiy U.V. *Planirovanie eksperimenta pri poiske optimalnykh resheniy* [An experiment planning in the search for optimal solutions]. Moscow, Nauka Publ., 1976, 276 p. (in Russian)
2. Derzhavni Budivelni Normy [State Building Guidelines] V. 1.1.-5-2000. *Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv. Budynky i sporudy na pidroblyuvanykh terytoriyakh i prosidayuchykh gruntakh* [Protection from dangerous geological processes. Buildings on undermined territories and subsidence soils]; Vved. z 2000-07-01. – Kyiv, 2000. – Ch. 1: *Budynky i sporudy na pidroblyuvanykh terytoriyakh* [Part 1: Buildings on undermined territories]. – 70 s.; Ch.2: *Budynky i sporudy na prosidayuchykh hruntakh* [Part 2: Buildings and structures on subsidence soils]. 89 p. (in Ukrainian)
3. Derzhavni Standarty Ukrainy [State Standards of Ukraine] V.2.1-17: 2009. *Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Metody laboratornoho vyznachennia fizychnykh vlastyvostey* [Bases and foundations of buildings and structures. Soils. Laboratory determination methods of physical properties]. Kyiv, *Ministerstvo rehionalnoho rozvytku ta budivnytstva Ukrainy* [Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine], 2009. 101 p. (in Ukrainian)
4. Ershova N.M. *Dispersionnyy analiz dannykh nablyudeniy s pomoshchyu paketa analiza prilozheniya Excel* [Dispersion analysis of observational data using the application of analysis package Excel]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Visnyk Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnipropetrovsk, PDABtaA Publ., 2009, no. 3, pp. 10-20. (in Russian)
5. Ershova N.M. *Metodika planirovaniya i provedeniya eksperimenta pri obrabotke dannykh sredstvami Excel* [Methods of planning and carrying out the experiment in the data processing with Excel] *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Visnyk Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnipropetrovsk, PDABtaA Publ., 2009, no. 2, pp. 7-18. (in Russian)
6. Пат. 100021 Україна, МПК (2013) E02D. *Fundament pid sporudu bashtovoho typu* [The foundation for tower-type building] 00021 Ukraine, МПК (2013) E02D. Тімченко Р.О., Богатинський А.В. (Україна). – № у 2014 01294; Заявл. 10.02.2014; опубл. 10.07.2015, Byul. no. 18. 7 p. (in Ukrainian)
7. Rogova T.B. *Sdvizheniya i deformatsii porod i zemnoy poverkhnosti pri vedenii gornykh robot* [Displacement and deformation of rocks and earth surface during mining operations]. Kemerovo, KuzGTU, 2015, 50 p. (in Russian)
8. *Rukovodstvo po proektirovaniyu zdaniy i sooruzheniy na podrabatyvaemykh terytoriyakh. Chast I: Iskhodnye dannye dlya proektirovaniya zdaniy i sooruzheniy na podrabatyvaemykh terytoriyakh* [Guidelines for the design of buildings and structures on undermined territories. Part I: Baseline data for the design of buildings and structures on undermined territories]. Donetsk PromstroyNIIProekt, NIISK. – Moscow, Stroyizdat Publ., 1983, 136 p. (in Russian)
9. *Rukovodstvo po proektirovaniyu zdaniy i sooruzheniy na podrabatyvaemykh terytoriyakh. Chast III. Bashennyye, transportnye i zaglublennyye sooruzheniya, truboprovody* [Guidelines for the design of buildings and structures on undermined territories. Part III. Tower, transport and buried structures, pipes]. NIISK Gosstroya SSSR – Moscow Stroyizdat Publ., 1985, 211 p. (in Russian)
10. Samchenko R.V. *Opyt ustraneniya krena vodonapornoj bashni* [Experience of water tower roll eliminate]. *Budivelni konstruktsii* [Building constructions]. Kyiv, NDIBK, 2004, V. 61, t. 2, pp. 122-125. (in Russian)
11. Timchenko R.A. *Metodika rascheta kruglykh plitnykh fundamentov v usloviyakh neravnomerno-deformiruemogo osnovaniya pri slozhnom nagruzhennii* [Methods of calculating the round slab foundation under uneven-deformable base with complex loading]. Krivoy Rog, Krivorozhskiy tehnikeskyy universitet, 2008, 24 p. (in Russian)
12. Fidarov M.I. *Proektirovanie i vozvedenie preryvistykh fundamentov* [Design and construction of the intermittent foundations]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1986, 156 p. (in Russian)