

УДК 624.151.6

КОМПЬЮТЕРНО–МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЯ И ФУНДАМЕНТА, ВОЗВЕДЕННОГО НА СЛАБОМ ГРУНТЕ

COMPUTER–SIMULATION OF STRESSES IN BUILDING AND BASEMENT BUILT ON SOFT SOILS

©**Баймахан А. Р.**

канд. техн. наук, Казахский национальный университет им. Аль–Фараби
г. Алматы, Казахстан, baimahan-aigerim@mail.ru

©**Baimakhan A.**

Ph.D., Al–Farabi Kazakh National University
Almaty, Kazakhstan, baimahan-aigerim@mail.ru

©**Байбатырова А. Н.**

Казахский государственный женский педагогический университет
г. Алматы, Казахстан, sarko_aisu@mail.ru

©**Baibatyrova A.**

Kazakh State Women’s Pedagogical University
Almaty, Kazakhstan, sarko_aisu@mail.ru

©**Оразхан Б.**

Казахский государственный женский педагогический университет,
г. Алматы, Казахстан, s200201@bk.ru

©**Orazkhan B.**

Kazakh State Women’s Pedagogical University
Almaty, Kazakhstan, s200201@bk.ru

©**Куттыбекова С.**

Казахский государственный женский педагогический университет
г. Алматы, Казахстан, saule_kuttybek@mail.ru

©**Kuttybekova S.**

Kazakh State Women’s Pedagogical University
Almaty, Kazakhstan, saule_kuttybek@mail.ru

©**Баймахан Р. Б.**

д–р техн. наук, Казахский государственный женский педагогический университет
г. Алматы, Казахстан, brysbek@yandex.ru

©**Baimakhan R.**

Dr. habil. Kazakh State Women’s Pedagogical University
Almaty, Kazakhstan, brysbek@yandex.ru

Аннотация. Современными методами компьютерного и математического моделирования исследуется сложное напряженное состояние системы «Здание–фундамент–грунт». Рассматривается случай, когда окружающее фундамент грунтовое основание имеет сильно неоднородное горизонтально–слоистое строение. Приводятся алгоритмы модели, результаты проведенных исследований и анализы расчетов по исследованию напряженного состояния фундаментного основания цокольного этажа. Эпюрами показываются величины нормальных к контуру фундамента компонент напряжений сжатия σ_n^θ и $\tau_{n\theta}$. Показывается,

что они имеют наибольшее значение на боковых и нижних угловых областях, и на середине основания под средней стенкой, которая является стойкой опоры.

Abstract. Modern methods of computer and mathematical modeling explores the complex state of stress “building–fundament–grunt” system. We consider the case when the foundation soil surrounding the foundation is strongly inhomogeneous horizontally layered structure. The algorithm of the model and results of research and analysis calculations to study the stress state of the foundation based on the ground floor. Diagrams showing the quantities of normal to dissent foundation compression stress component σ_n^θ and $\tau_{n\theta}$. There they have the highest value are on the side, the lower corner areas and in the middle of the basis of a dividing wall, which is a strut.

Ключевые слова: здание, фундамент, анизотропия, грунт, основание, напряжение.

Keywords: building foundations, anisotropy, the ground, the base voltage.

В последние годы часто стали наблюдаться наклонение, обрушение и разрушение без внешнего силового воздействия зданий и сооружений во многих странах мира. Такие случаи происходят, казалось бы, несмотря на соблюдения строительных норм. Известно, что одна из причин таких обрушений и разрушений при статическом состоянии связаны с плохими соединениями балок и других элементов конструкции из-за недобросовестности строителей. Есть и причина, связанная с недоисследованностью грунтовых условий, их прочностных свойств, анизотропии строения, степени влагоемкости, консолидации, влажности связанные. Немалую роль играет фильтрационные и инфильтрационные процессы, и наконец, степени неравномерности деформации грунта основания. В 2011 году только что построенные и заселявшие только что и еще не заселявшие людьми новые дома микрорайона «Бесоба» города Караганды начали одни за другими наклониться и обрушаться за считанные недели (Рисунок 1). Решением правительственной комиссии были снесены все дома нового микрорайона с огромными экономическими потерями. Встречается и случаи наклонение и падение высотных здания и сооружений к моменту завершения строительства. В том же году такая же картина повторился в г. Шанхай с 13-этажным домом. Такая же картина еще ранее имело место в городе Ниигата Японии (см. Рисунок 1).

Поэтому исследования напряженно–деформированных сложных грунтовых оснований и закономерностей образования в них концентраций напряжений высотных зданий и сооружений, взаимодействующих с фундаментами с учетом дополнительных факторов, разработкой новейших моделей, всегда остается актуальным и особо ответственным вопросом строительства.

С этой целью решен ряд практических задач по определению НДС таких сооружений методом конечных элементов с учетом анизотропии строения грунта.



а



б

в

Рисунок 1. Обрушенные дома: а — города Ниигаты, б — новый дом микрорайона города Караганды перед обрушением, в — накренившийся дом в городе Алматы [1].

Статическое состояние системы «здание–фундамент–грунт» описываем системой уравнений равновесия методом конечных элементов (МКЭ), который имеет вид [1]

$$[K] \cdot \{U\} = \{P\}, \quad (1)$$

где $[K]$ — матрица жесткости системы; $\{U\}$ — вектор перемещений; $\{P\}$ — вектор нагрузок от собственного веса.

Компоненты векторов деформации и напряжений в изопараметрических конечных элементах в гауссовых точках интегрирования $\xi_{i,j}, \eta_{i,j} (i, j = 1, 2, \dots, 9)$ вычисляются выражениями:

$$\{\varepsilon_k\}_{i,j} = [B_{k,m}]_{i,j} \{U_m\}, (k = 1, 2, 3, 4, 5; m = 1, 2, \dots, 16; i = j = 1, 2, \dots, 9) \quad (2)$$

$$\{\sigma_k\}_{i,j} = [D_{k,n}] \{\varepsilon_k\}, (n = 1, 2, 3, 4, 5; k = 1, 2, 3, 4, 5) \quad (3)$$

где $\{\varepsilon_k\}_{i,j} = \{\varepsilon_{k,x}, \varepsilon_{k,z}, \lambda_{k,xz}\}_{i,j}$, $\{\sigma_k\}_{i,j} = \{\sigma_{k,x}, \sigma_{k,z}, \tau_{k,xz}\}_{i,j}$ — деформации и напряжения;

$[B_k]_{i,j}, [D_{k,n}]$ — матрицы базисных функции и упругих характеристик элементов и

$\{U_m\} = \begin{bmatrix} u_\ell & 0 \\ 0 & \vartheta_\ell \end{bmatrix}, (\ell = 1, 2, \dots, 8)$ — перемещения узловых точек изопараметрического

элемента.

Для моделирования бесконечного полупространства грунтового основания воспользуемся моделью наклоннослоистого горного массива анизотропного строения Ж. С. Ержанова, Ш. М. Айталиева, Ж. К. Масанова [2]. Если длина фундамента и здания намного длиннее чем их поперечное сечение, тогда мы можем записать обобщенного закона Гука в соответствии с работой [2], в матричной форме который выглядит так

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\}, \quad (4)$$

где $\{\sigma\} = \{\sigma_x, \sigma_z, \tau_{yz}, \tau_{xz}, \tau_{xy}\}$ — компоненты напряжений.

Или в развернутом виде выражение (4) выглядит так

$$\begin{aligned} \sigma_x &= c_{11}\varepsilon_x + c_{13}\varepsilon_z + c_{14}\gamma_{yz} + c_{15}\gamma_{xz} + c_{16}\gamma_{xy}, \\ \sigma_z &= c_{31}\varepsilon_x + c_{33}\varepsilon_z + c_{34}\gamma_{yz} + c_{35}\gamma_{xz} + c_{36}\gamma_{xy}, \\ \tau_{yz} &= c_{41}\varepsilon_x + c_{43}\varepsilon_z + c_{44}\gamma_{yz} + c_{45}\gamma_{xz} + c_{46}\gamma_{xy}, \\ \tau_{xz} &= c_{51}\varepsilon_x + c_{53}\varepsilon_z + c_{54}\gamma_{yz} + c_{55}\gamma_{xz} + c_{56}\gamma_{xy}, \\ \tau_{xy} &= c_{61}\varepsilon_x + c_{63}\varepsilon_z + c_{64}\gamma_{yz} + c_{65}\gamma_{xz} + c_{66}\gamma_{xy}. \end{aligned} \quad (5)$$

Компоненты деформации $\{\varepsilon\} = \{\varepsilon_x, \varepsilon_z, \gamma_{yz}, \gamma_{xz}, \gamma_{xy}\}$ — вычисляются выражениями (2).

Коэффициенты упругости c_{ij} — уравнений (5) вычисляются с помощью следующих выражений [3]

$$\begin{aligned} c_0 &= (1 + \nu_1)(n(1 - \nu_1) - 2\nu_2^2), \\ c_{11} &= c_{22} = (E_1(n - \nu_2^2)) / c_0, \\ c_{13} &= (\nu_2 E_1) / (n(1 - \nu_1) - 2\nu_2^2), \\ c_{33} &= ((1 - \nu_1)E_1) / (n(1 - \nu_1) - 2\nu_2^2), \\ c_{44} &= G_2, \\ c_{66} &= \frac{E_1}{2(1 + \nu_1)}. \end{aligned} \quad (6)$$

Как видим из выражений (19) и (20) количество независимых коэффициентов 5.

На Рисунке 2 в упрощенном виде показана расчетная область задачи о напряженно-деформированном состоянии системы, состоящей из зданий, фундамента и грунтового основания горизонтально-слоистого анизотропного строения.

С помощью методик работ [4–7] поперечное сечение системы «здание–фундамент–грунт» (Рисунок 1а), были разбиты на 12520 изопараметрических конечных элементов четырехугольной формы с общим количеством узловых точек 12895. Данные о геометрических размерах и физико-механических свойствах этих сооружений и для грунтов основания анизотропного основания взяты из работ [6–11]

Для раскрытия механизма разрушения необходимо анализировать нормальных радиальных σ_r , тангенциально окружных σ_θ и касательных $\tau_{r\theta}$ компонент напряжений в угловой области фундамента.

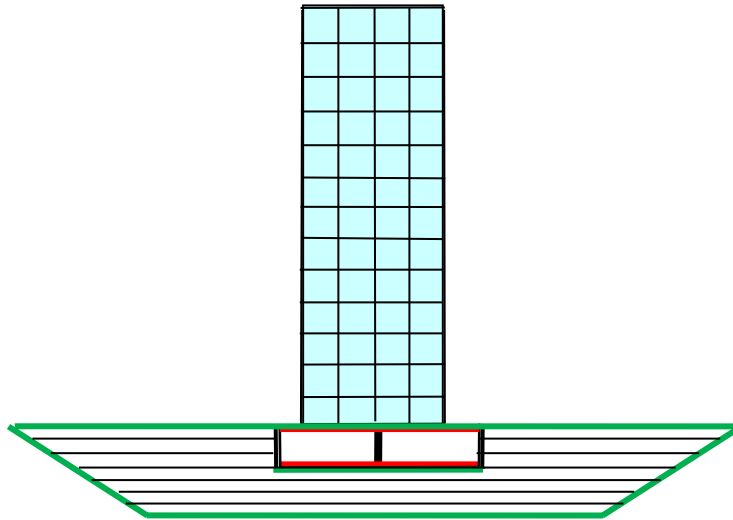


Рисунок 2. Исследуемая расчетная область системы, состоящей из здания, фундамента и грунтового основания анизотропного строения

В соответствии теории упругости, запишем этих радиальных, нормальных и касательных к контуру компонент напряжений сжатия и растяжения в полярных координатах [4].

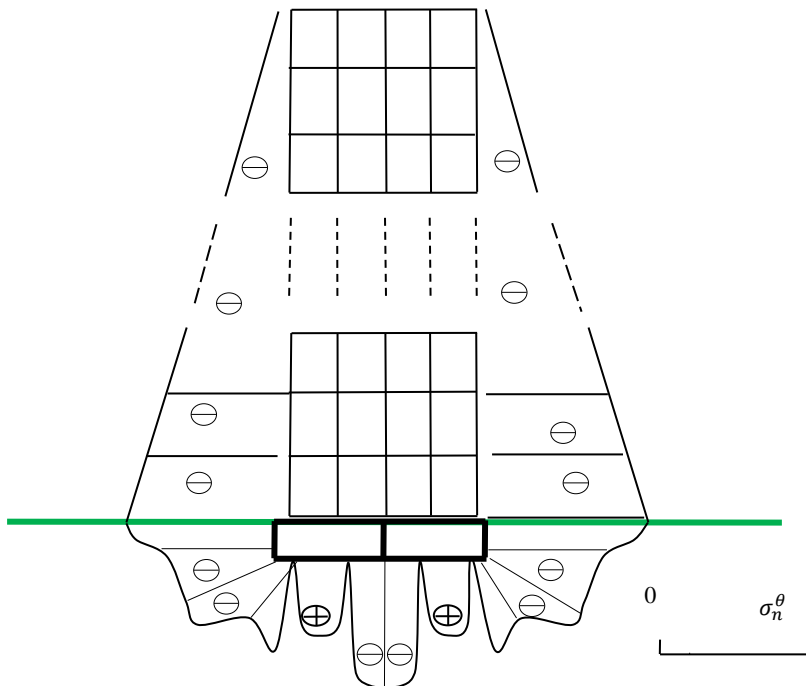


Рисунок 3. Эпюры нормальных тангенциальных напряжений σ_n^θ по периметру зданий и фундамента

$$\begin{aligned}
 \sigma_{nr} &= \sigma_x \cos^2 \theta + \sigma_z \sin^2 \theta + 2\tau_{xz} \sin \theta \cos \theta, \\
 \sigma_{n\theta} &= \sigma_x \sin^2 \theta + \sigma_z \cos^2 \theta - 2\tau_{xz} \sin \theta \cos \theta, \\
 \tau_{nr\theta} &= (\sigma_z - \sigma_x) \cos \theta \sin \theta + \tau_{xz} (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta).
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

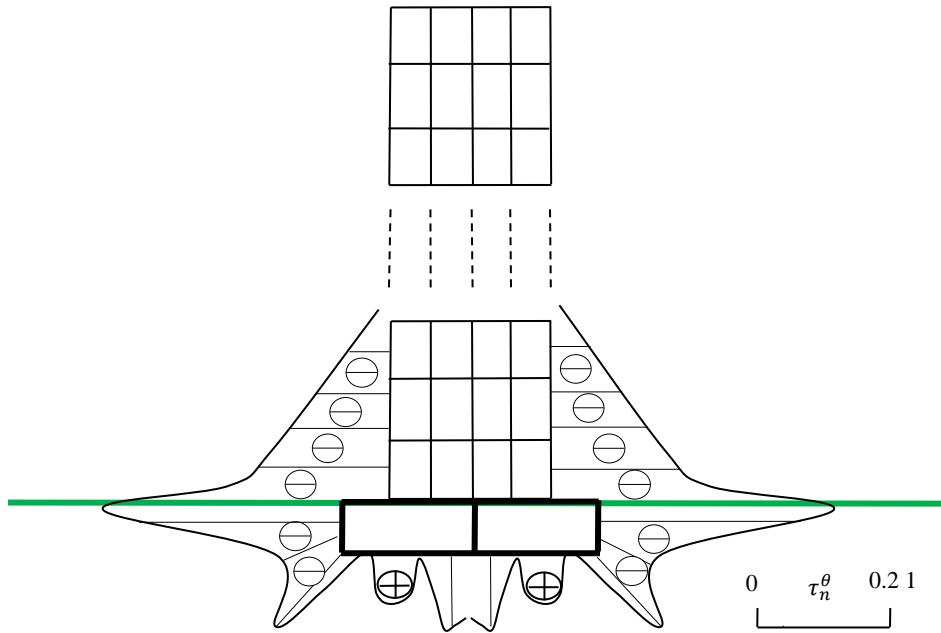


Рисунок 4. Эпюры нормальной касательной напряжений τ_n^θ , Мпа по периметру зданий и фундамента.

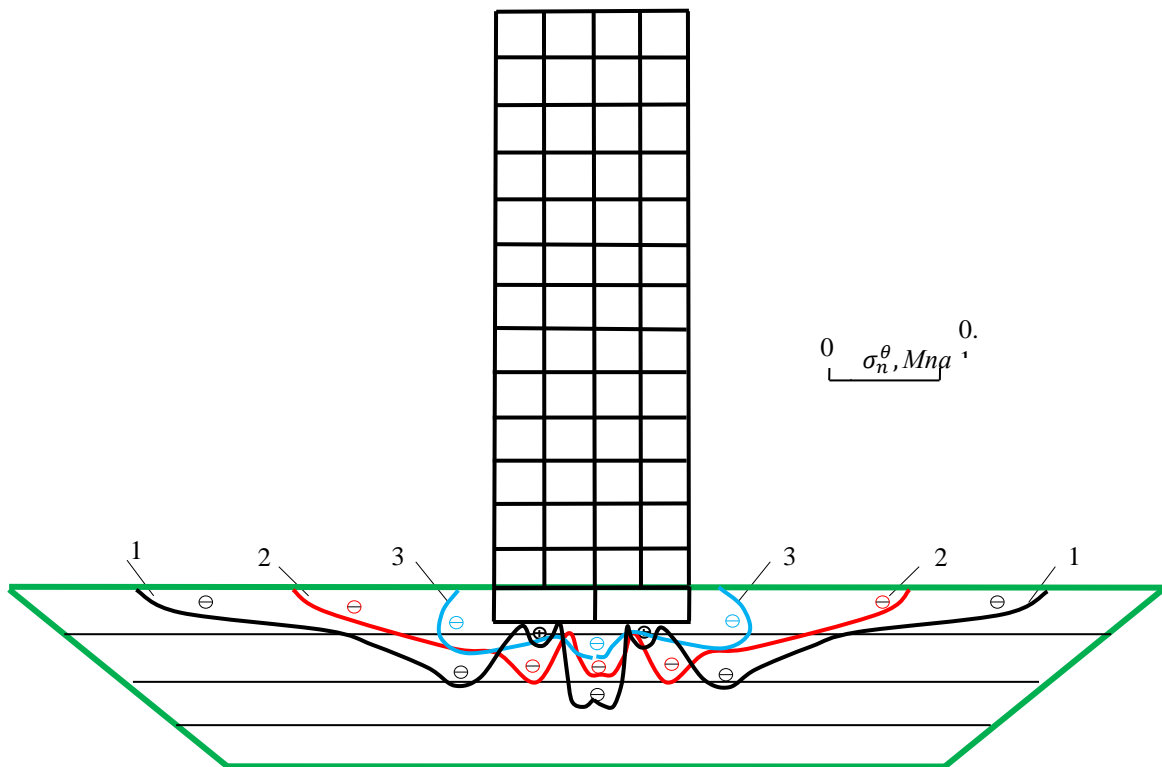


Рисунок 5. Эпюры нормальных тангенциальных напряжений σ_n^θ в грунтах около контура фундамента от гравитационного веса здания P , Мпа и геостатических сил в основании $\lambda\gamma H$, Мпа. Линии соответствуют различным контурам грунта на расстояниях r , см от фундамента: 1 — контуру при $r = 20$ см; 2 — контуру при $r = 40$ см и 3 — контуру при $r = 60$ см.

Физико–механические свойства материалов взяты из для грунтов анизотропного строения взяты из работы [2, 4, 5, 10].

На Рисунках 3 и 4 представлены некоторые результаты этих исследований в виде окружающих периметра фундамента нормальных тангенциальных σ_n^θ и касательных напряжений $\tau_{n\theta}$ от воздействия гравитационного веса здания P, Mna и геостатических сил в грунтовой области основании $\lambda\gamma H, Mna$.

Знаки соответствуют сжатию (–) и растяжению (+). Как видно из Рисунков 4 и 5, значительно большую растягивающей напряжении испытывают угловые области стенок зданий и цокольного этажа. Такие же отрывные напряжения наблюдается в углах затупления основании фундамента и средней стенки.

Закономерности убыванию концентрации напряжений σ_n^θ в грунтах на различных удалениях от фундамента в увеличенном виде показаны на Рисунке 5.

Таким образом, выясненные исследованиями закономерности напряженных состояний основании фундамента позволяет проектировщикам учесть эти обстоятельства и предпринимать меры по усилению частей сегментов основания.

Список литературы:

1. Техническое заключение по экспертному обследованию и оценке технического состояния строительных конструкций домов №№5, 6, 7/1 жилого комплекса «Бесоба» г. Караганды, район им. Казыбек би в рамках защитно–страховочных мероприятий по ликвидации ЧС. 2012.

2. Ержанов Ж. С., Айталиев Ш. М., Масанов Ж. К. Устойчивость горизонтальных выработок в наклонно–слоистом массиве. Алма–Ата, 1971. 160 с.

3. Ержанов Ж. С., Айталиев Ш. М., Масанов Ж. К. Сейсмонапряженное состояние подземных сооружений в слоистом анизотропном массиве. Алма–Ата: Наука, 1980. 206 с.

4. Баймахан Р. Б. Расчет сейсмонапряженного состояния подземных сооружений в неоднородной толще методом конечных элементов / под ред. акад. Ш. М. Айталиева. Алматы, 2002. 232 с.

5. Сейнасинова А. А. Расчет устойчивости слабосвязанного валунного грунта вблизи контура тоннельной выработки // Известия НАН РК, сер. физ.–мат. 2004. №1 (233). С. 95–100.

6. Курманбеккызы Н., Баймахан Р. Б., Кожоголов К. Ч. Разработка методики определения физико–механических свойств двухфазного водонасыщенного грунта // Бишкек, 2009. С. 4–8.

7. Баймахан А. Р., Сейнасинова А. А., Копенбаева А. С., Баймахан Р. Б. Анализ влияний водонасыщенности анизотропной грунтовой толщи основания на деформацию фундамента со зданием // Перспективы науки. 2015. №10. С. 56–59.

8. Яхияев Ф. К., Кожебаева А. С., Илиясова Г. Б. К реанимации склона анизотропного строения после оползня // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. Серия: «Науки о Земле». 2008. №3. С. 79–82.

9. Рысбаева А. К. Критерий определения устойчивости оползневых склонов // Международная научно–методическая конференция «Актуальные вопросы естественно–научных дисциплин» (23 января 2014 г.): материалы. Алматы: КазГАСА, 2014. С. 47–50.

10. Сейнасинова А. А. Напряженное состояние слабосвязанного массива в окрестности подземной выработки с учетом естественных и искусственных неоднородностей: автореф. дис. ... канд. физ.–мат. наук. Алматы, 2010. 18 с.

11. Кулмаганбетова Ж. К. Моделирование напряженно–деформированного состояния системы «здание — оползневые склоны»: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Алматы, 2010. 19 с.

12. Бугров А. К., Голубев А. И. Анизотропные грунты и основания сооружений. СПб.: Недра, 1993. 245 с.

References:

1. Tekhnicheskoe zaklyuchenie po ekspertnomu obsledovaniyu i otsenke tekhnicheskogo sostoyaniya stroitelnykh konstruksii domov no. 5, 6, 7/1 zhilogo kompleksa “Besoba” g. Karagandy, raion im. Kazybek bi v ramkakh zashchitno–strakhovochnykh meropriyatii po likvidatsii ChS. (2012).
2. Erzhanov, Zh. S., Aitaliev, Sh. M., & Masanov, Zh. K. (1971). Ustoichivost gorizontalnykh vyrabotok v naklonno–sloistom massive. Alma–Ata, 160.
3. Erzhanov, Zh. S., Aitaliev, Sh. M., & Masanov, Zh. K. (1980). Seismonapryazhennoe sostoyanie podzemnykh sooruzhenii v sloistom anizotropnom massive. Alma–Ata, *Nauka*, 206.
4. Baimakhan, R. B. (2002). Raschet seismonapryazhennogo sostoyaniya podzemnykh sooruzhenii v neodnorodnoi tolshche metodom konechnykh elementov. Pod red. akad. Sh. M. Aitalieva. Almaty, 232.
5. Seinasinova, A. A. (2004). Raschet ustoichivosti slabosvyazannogo valunnogo grunta vblizi kontura tonnelnoi vyrabotki. *Izvestiya NAN RK, ser. fiz.–mat.*, (1), 95–100.
6. Kurmanbekkyzy, N., Baimakhan, R. B., & Kozhogulov, K. Ch. (2009) Razrabotka metodiki opredeleniya fiziko–mekhanicheskikh svoystv dvukhfaznogo vodonasyshchennogo grunta. Bishkek, 4–8.
7. Baimakhan, A. R., Seinasinova, A. A., Kopenbaeva, A. S., & Baimakhan, R. B. (2015). Analiz vliyaniya vodonasyshchennosti anizotropnoi gruntovoi tolshchi osnovaniya na deformatsiyu fundamenta so zdaniem. *Perspektivy nauki*, (10), 56–59.
8. Yakhiyaev, F. K., Kozhebaeva, A. S., & Iiyasova G. B. (2008). K reanimatsii sklona anizotropnogo stroeniya posle opolznya. *Izvestiya Tulskogo gosudarstvennogo universiteta, Estestvennye nauki, Seriya: “Nauki o Zemle”*, (3), 79–82.
9. Rysbaeva, A. K. (2014). Kriterii opredeleniya ustoichivosti opolznevykh sklonov. Sbornik materialov mezhdunarodnoi nauchno–metodicheskoi konferentsii 23 yanvarya 2014 g. “Aktualnye voprosy estestvenno–nauchnykh distsiplin”. Almaty, *KazGASA*, 47–50.
10. Seinasinova, A. A. (2010). Napryazhennoe sostoyanie slabosvyazannogo massiva v okrestnosti podzemnoi vyrabotki s uchetom estestvennykh i iskusstvennykh neodnorodnostei: avtoref. diss. ... kand. fiz.–mat. Nauk, Almaty, 18.
11. Kulmaganbetova, Zh. K. (2010). Modelirovanie napryazhenno–deformirovannogo sostoyaniya sistemy “zdanie — opolznevye sklony”: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. Almaty, 19.
12. Bugrov, A. K., & Golubev, A. I. (1993). Anizotropnye grunty i osnovaniya sooruzhenii. St. Petersburg, *Nedra*, 245.

Работа поступила
в редакцию 21.02.2017 г.

Принята к публикации
24.02.2017 г.

Ссылка для цитирования:

Баймахан А. Р., Байбатырова А. Н., Оразхан Б., Куттыбекова С., Баймахан Р. Б. Компьютерно–математическое моделирование напряженного состояния здания и фундамента, возведенного на слабом грунте // Бюллетень науки и практики. Электрон. журн. 2017. №3 (16). С. 42–49. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/baimakhan-baibatyrova> (дата обращения 15.03.2017).

Cite as (APA):

Baimakhan, A., Baibatyrova, A., Orazkhan, B., Kuttybekova, S., & Baimakhan, R. (2017). Computer–simulation of stresses in building and basement built on soft soils. *Bulletin of Science and Practice*, (3), 42–49. Available at: <http://www.bulletennauki.com/baimakhan-baibatyrova>, accessed 15.03.2017. (In Russian).