

УДК 624.131

С. И. Шиян

КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ ГЕОМЕХАНИКИ И ОЦЕНКИ ДЛИТЕЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВЫХ МАССИВОВ

Описаны возможности компьютерной программы «Устойчивость. Напряженно-деформированное состояние», разработанной группой сотрудников Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета под руководством проф. А. Н. Богомолова. Для анализа напряженного состояния грунтовых массивов в плоской постановке в программе формализованы аналитические решения краевых задач теории упругости для односвязных областей с криволинейными границами, полученные с использованием методов теории функций комплексного переменного, и метод конечных элементов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: напряженное состояние, методы теории функций комплексного переменного, метод конечных элементов, устойчивость откосов и склонов, длительная устойчивость грунтовых массивов, оползневое давление.

The article describes the possibilities of the computer program “Stability. Stress Strain State”, developed by the group of workers of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering under the lead of the Professor A. N. Bogomolov. In this program, in order to analyze stress strain state of soil massives in flat position, the authors formalize the analytical solutions of boundary problems of the theory of elasticity for one-coherent areas with curved boundary received with the help of the methods of the theory of functions of complex variable and finite elements method.

Key words: stress strain state, methods of the theory of functions complex variable, finite elements method, stability of slants and slopes, long-term stability of soil massives, landslide pressure.

Компьютерная программа «Устойчивость. Напряженно-деформированное состояние» разработана творческим коллективом, состоящим из сотрудников, аспирантов и докторантов кафедр информатики и вычислительной математики и гидротехнических и земляных сооружений (ГЗС) Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета, под руководством проф. А. Н. Богомолова и при непосредственном участии автора настоящей работы, который являлся докторантом кафедры ГЗС.

Федеральной службой по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам авторам и правообладателям компьютерной программы [1] выдано Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2009613499.

Компьютерная программа «Устойчивость. Напряженно-деформированное состояние», по сути, состоит из трех блоков, объединенных общим интерфейсом.

Первый блок отвечает за определение полей напряжений в однородных грунтовых массивах, криволинейная внешняя граница которых определяется отображающей функцией [2]. В этом блоке для проведения вычислений формализовано аналитическое решение первой основной граничной задачи теории упругости для односвязной однородной и изотропной области с криволинейной границей [2—4], полученное методами теории функций комплексного переменного [5].

Второй блок отвечает за определение полей напряжений в неоднородных грунтовых массивах со сложной геометрией поперечного сечения при помощи метода конечных элементов. Формализация МКЭ так же проведена с учетом разработок автора [6; 7].

После определения тем или иным способом полей напряжений в исследуемой области массивы численных значений напряжений импортируются в третий блок и превращаются, по сути дела, в базу данных для проведения дальнейших вычислений.

На рис. 1 изображены рабочие окна интерфейса первого блока компьютерной программы «Устойчивость. Напряженно-деформированное состояние», управляя которыми, можно определить поля напряжений в исследуемой области.

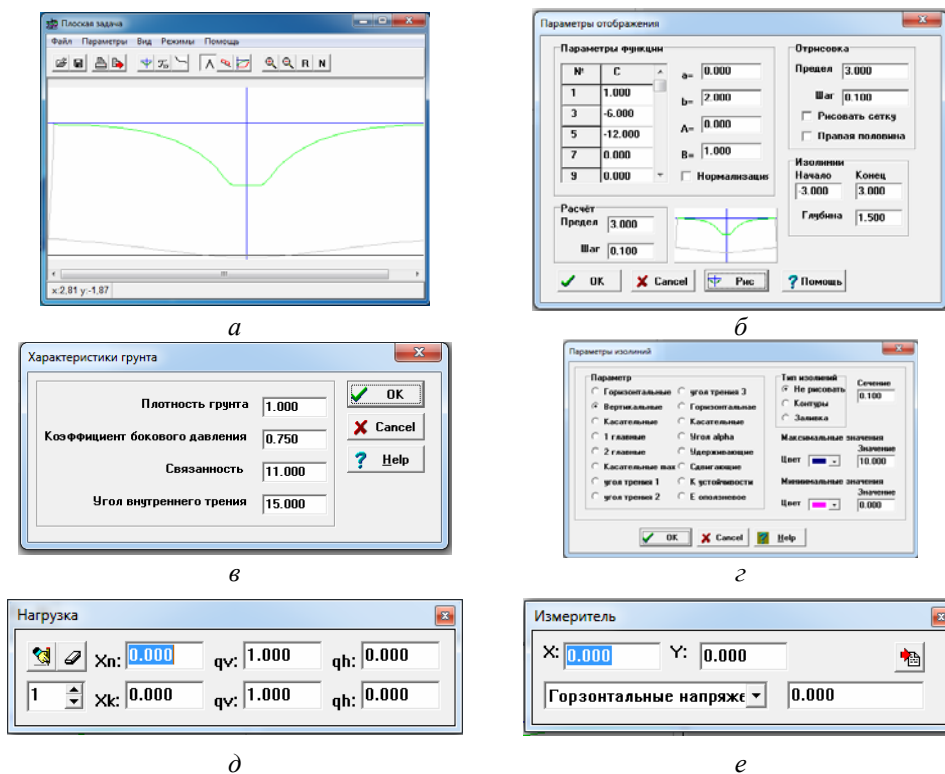


Рис. 1. Рабочие окна первого блока компьютерной программы: главное окно программы (а); окно построения расчетной области (б); окно значений физико-механических свойств грунта (в); окно построения изолиний напряжений и ОПД (г); окно нагрузок (д); окно измерителя расчетных величин (е)

Решение первой краевой задачи теории упругости и алгоритм программы [1] построены таким образом, что позволяют вычислять значения напряжений в однородных изотропных областях с криволинейной границей как от действия только сил гравитации, так и при условии, что к их границам приложено любое количество сосредоточенных и распределенных нагрузок любой интенсивности, протяженности и ориентации.

На рис. 2 в качестве примеров изображены картины изолинии безразмерных (буквами обозначены: удельный вес грунта и генеральный размер, в данном случае — глубина выреза на границе рассматриваемой области) в долях γh напряжений, возникающих в однородных областях с криволинейными границами различной конфигурации, от действия собственного веса грунта при численном значении коэффициента бокового давления $\xi_0=0,75$.

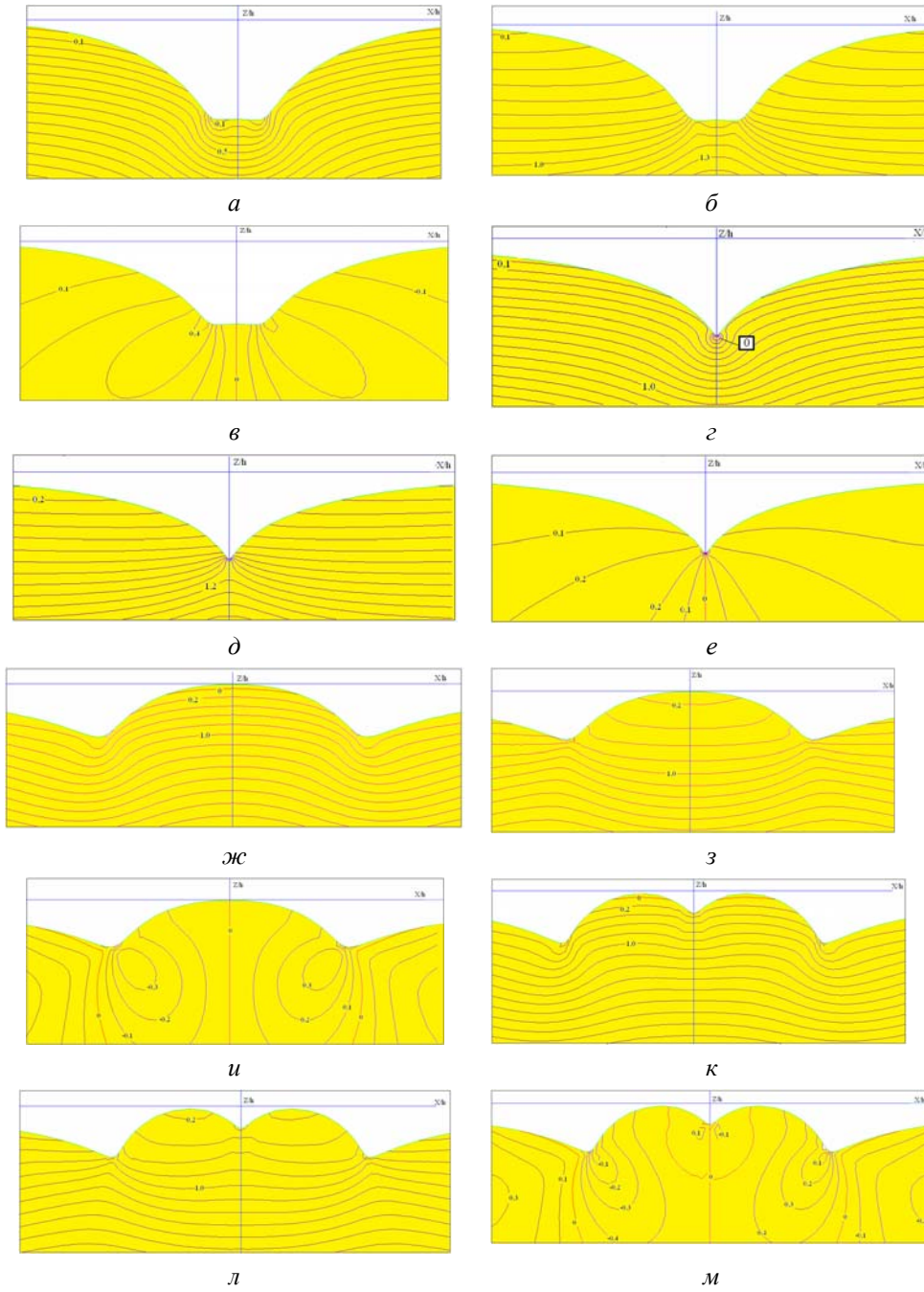


Рис. 2. Изолинии безразмерных (в долях γh) гравитационных напряжений σ_z ; σ_x и τ_{zx} в полуплоскости с трапецевидным вырезом при $\xi_0=0,75$ и численных значениях коэффициентов отображающей функции: $C_0=0$; $C=1,0$; $C_{-1}=1,0$; $C_{-3}=6$; $C_{-5}=-12$; $C_{-7}=0$; $C_{-9}=0$; $C_{-11}=0$ (а—в); $C=7$; $C_{-1}=2,0$; $C_{-3}=0,5$; $C_{-5}=0$; $C_{-7}=0$; $C_{-9}=0$; $C_{-11}=0$ (г—е); $C_0=0$; $C=1,7$; $C_{-1}=2,0$; $C_{-3}=6$; $C_{-5}=-19$; $C_{-7}=-47$; $C_{-9}=0$; $C_{-11}=0$ (ж—и) и $C_0=0$; $C=1,7$; $C_{-1}=2,0$; $C_{-3}=6$; $C_{-5}=-19$; $C_{-7}=-55$; $C_{-9}=180$; $C_{-11}=0$ (к—м)

На рис. 3 также в качестве примера изображены изолинии безразмерных нормальных вертикальных σ_z , нормальных горизонтальных σ_x и касательных τ_{xz} напряжений (растягивающие напряжения считаются отрицательными), возникающих в грунтовом массиве, имеющем такое же поперечное сечение, как на рис. 2, $a-b$. К его поверхности приложены две распределенные нагрузки и одна сосредоточенная сила (одна равномерно распределенная $q/\gamma h=2$, вторая имеет эпюру в виде треугольника, причем $q_{\max}/\gamma h=3$, сосредоточенная сила $P/\gamma h^2=2$), наклоненная под углом $\alpha=45^\circ$ к горизонту.

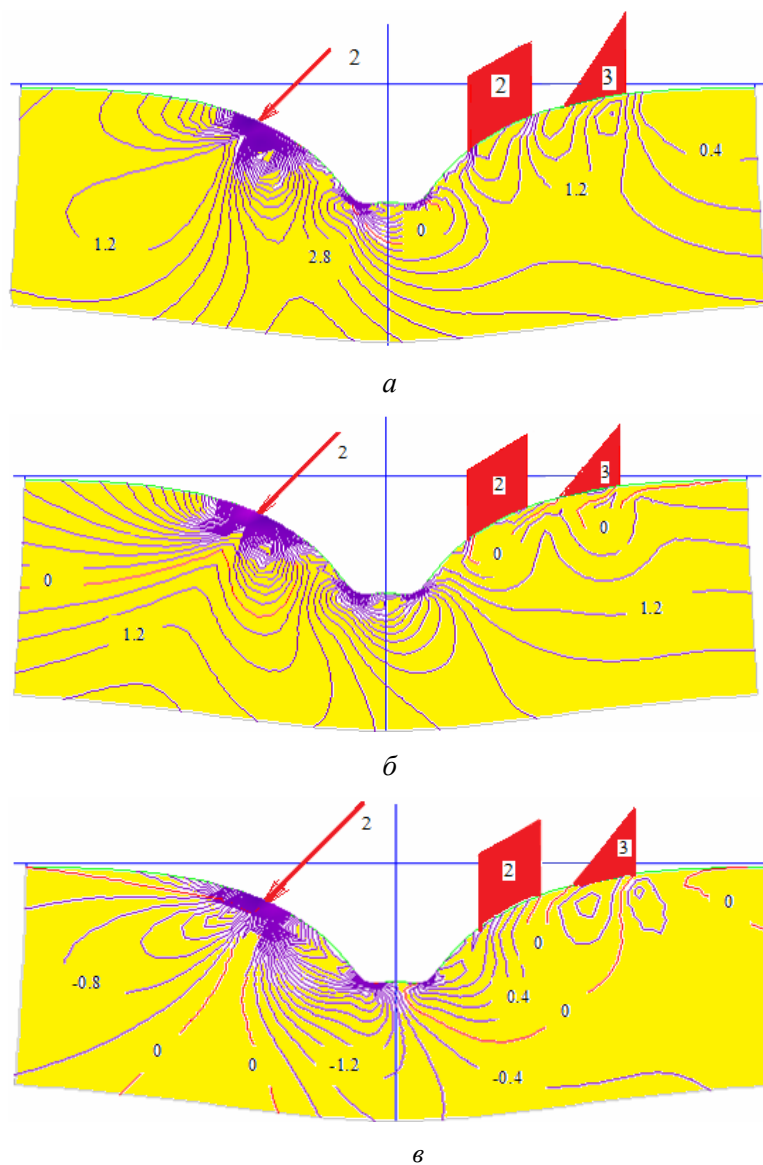


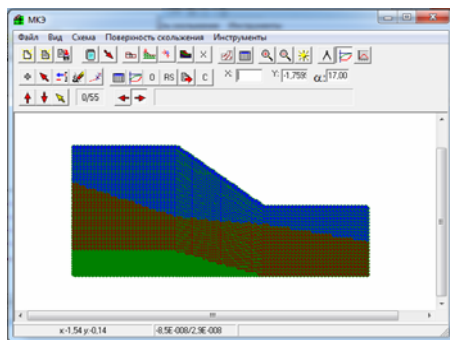
Рис. 3. Изолинии нормальных вертикальных σ_z (a); нормальных горизонтальных σ_x ($б$) и касательных τ_{xz} ($в$) напряжений в нагруженных откосах выемки

Отметим, что напряжения могут быть вычислены при любом имеющем физический смысл численном значении коэффициента бокового давления грунта ξ_0 , который является параметром, отвечающим за распределение напряжений в грунтовом массиве, возникающих за счет сил гравитации. Собственно говоря, этому коэффициенту могут быть присвоены любые значения, кроме нуля, т. е. $\xi_0 \in (-\infty; 0) \cup (0; +\infty)$, что позволяет учесть растягивающие либо сжимающие тектонические силы.

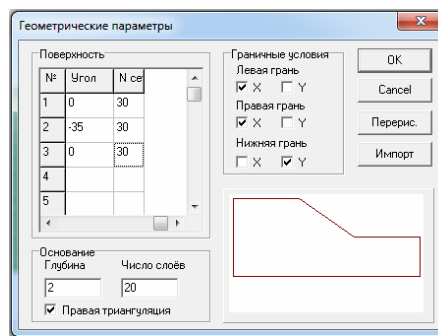
На рис. 4 изображены рабочие окна интерфейса второго блока компьютерной программы «Устойчивость. Напряженно-деформированное состояние», управляя которыми, определяем поля напряжений в исследуемой неоднородной области. В качестве такой области в рассматриваемых примерах выбран неоднородный (слоистый) грунтовый откос.

Повторимся, что после определения полей напряжений в исследуемой области массивы численных значений напряжений импортируются в третий блок и превращаются, по сути дела, в базу данных для проведения дальнейших вычислений.

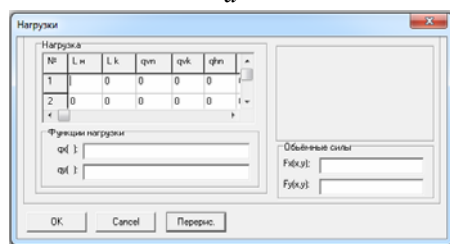
Возможности этого блока проиллюстрируем на примере, приведенном на рис. 4.



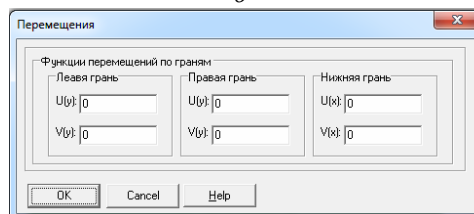
а



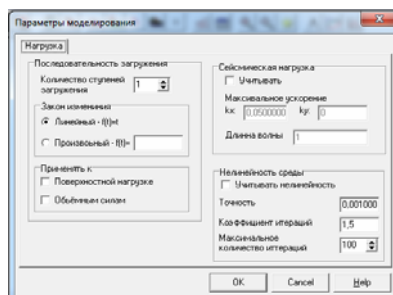
б



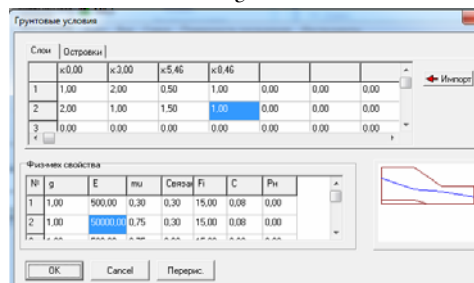
в



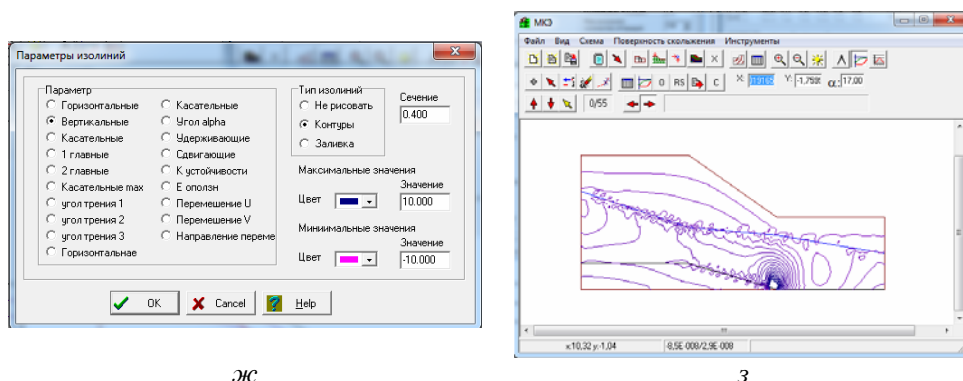
г



д



е



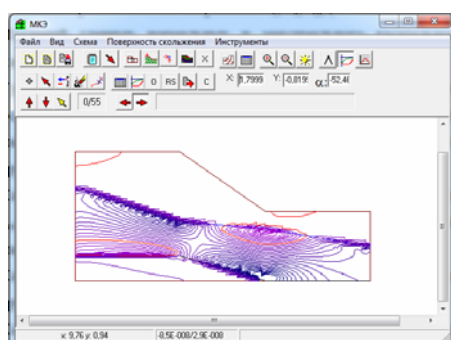
жс

з

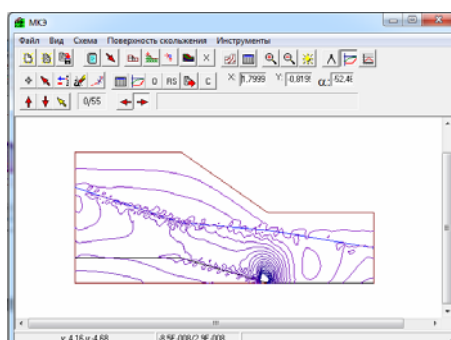
Рис. 4. Рабочие окна второго блока компьютерной программы: главное окно программы (а); окно построения расчетной области (б); окно статических нагрузок и объемных сил (в); окно перемещений (г); окно переменных нагрузок и задания нелинейных свойств среды (д); окно задания физико-механических свойств грунта (е); окно построения изолиний напряжений, перемещений и ОПД (жс); главное окно с результатом построения изолиний вертикальных напряжений (з)

Итак, третий блок компьютерной программы позволяет осуществлять вычисления и проводить построение:

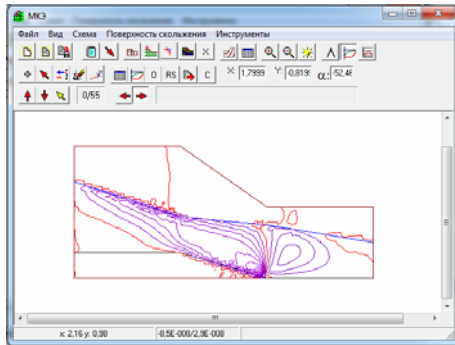
- 1) изолиний трех компонент напряжения σ_z ; σ_x ; τ_{zx} ;
- 2) изолиний главных нормальных и максимального касательного напряжений;
- 3) границ областей пластических деформаций, построенные на основании условия прочности Кулона и результатов решения смешанной задачи теории упругости и теории пластичности грунтов, полученного проф. А. Н. Богомоловым [2];
- 4) картин изолиний нормального горизонтального $\sigma_x^{пл}$ и касательного $\tau_{zx}^{пл}$ напряжений внутри ОПД, построенных на основании смешанного решения;
- 5) картины распределения углов наиболее вероятного сдвига в точках грунтового массива;
- 6) картины изолиний удерживающих, сдвигающих сил, коэффициента запаса устойчивости и сил оползневого давления;
- 7) картины изолиний вертикальных и горизонтальных перемещений, а также векторов направления перемещений.



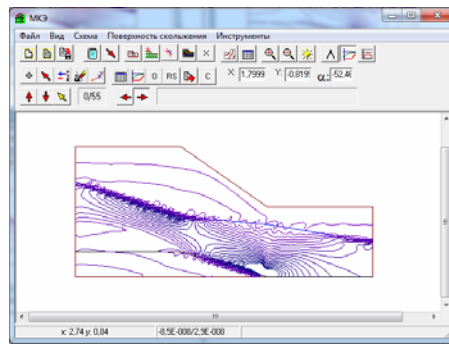
а



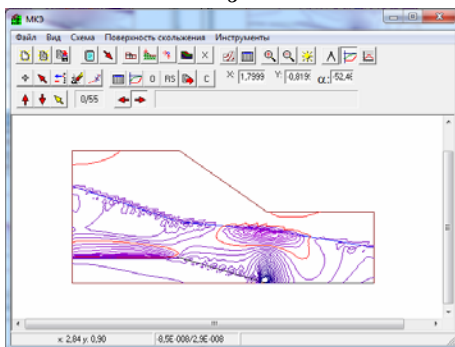
б



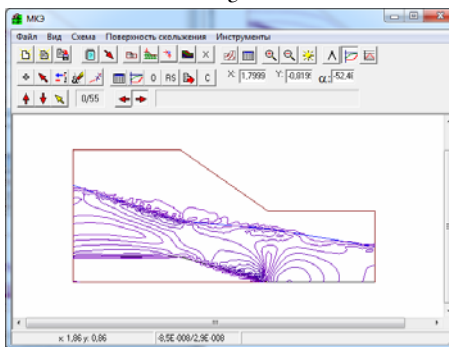
б



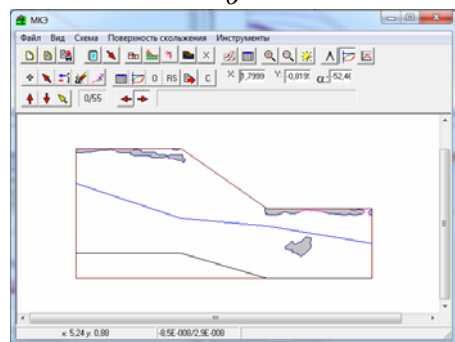
в



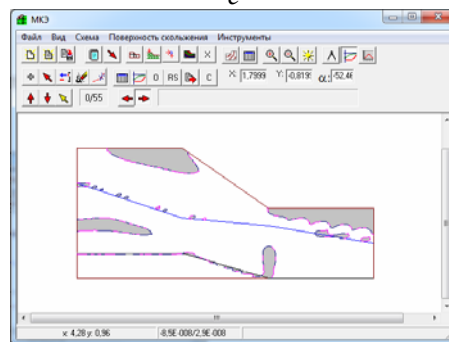
д



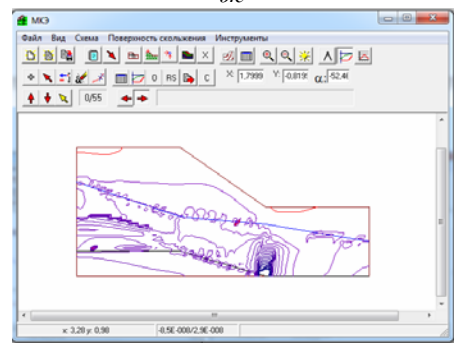
е



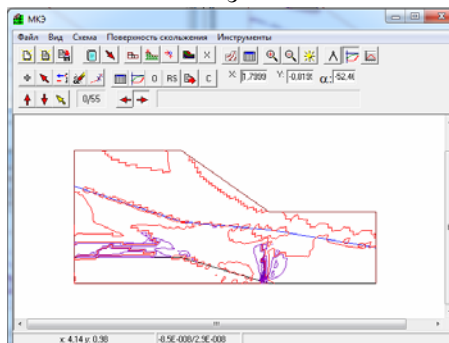
ж



з



и



к

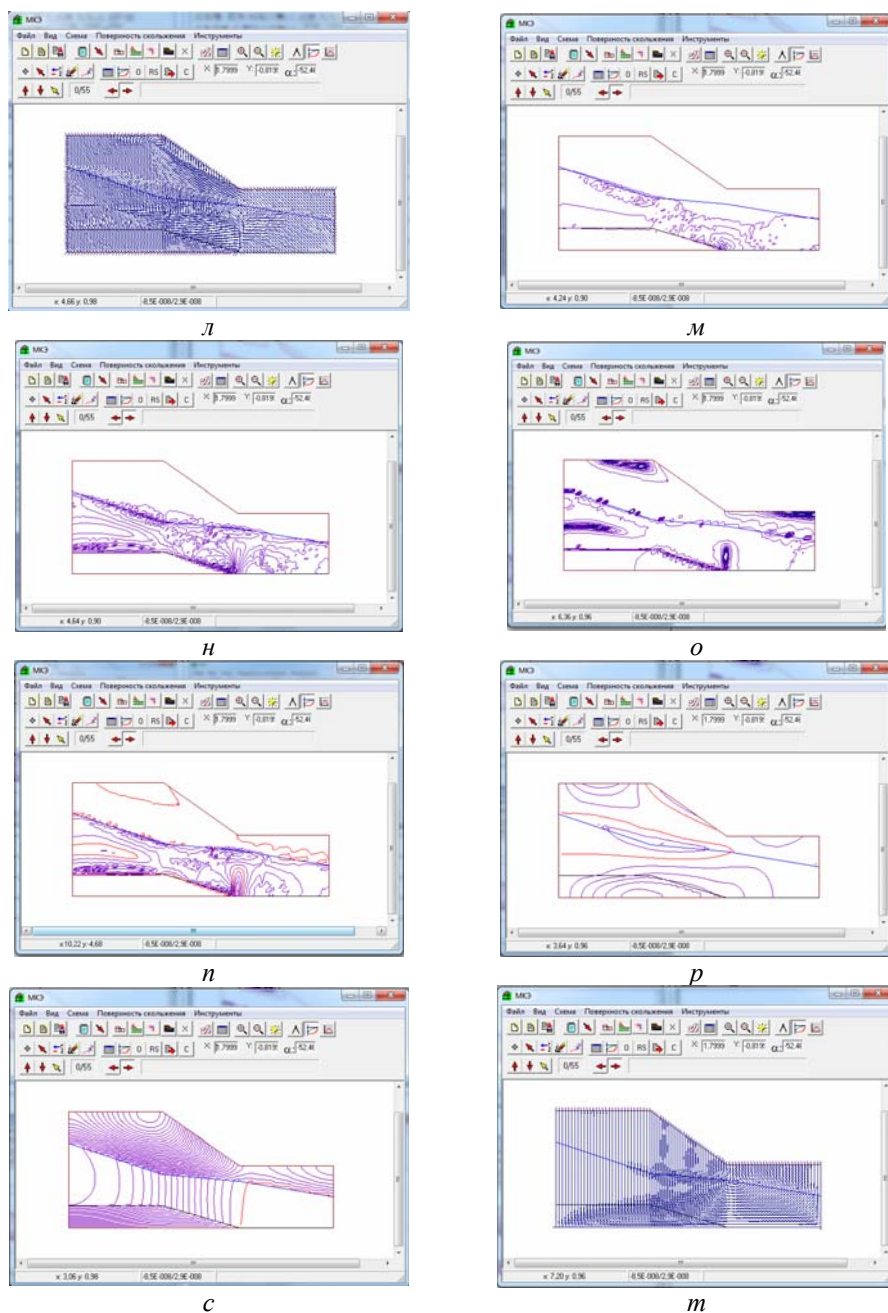


Рис. 6. Картины изолиний нормальных горизонтальных σ_x (а), нормальных вертикальных σ_z (б), касательных τ_{zx} (в), первого, второго главных и максимального касательного σ_1 , σ_2 , τ_{max} напряжений (г—е) соответственно; области пластических деформаций, построенные на основе смешанного решения (ж) и условия прочности Кулона (з); картины изолиний нормального горизонтального (и) и касательного (к) напряжений, построенных при их упругопластическом распределении напряжений; картины ориентации площадок сдвига (л); картины изолиний удерживающих (м), сдвигающих сил (н), коэффициента запаса устойчивости (о) и $E_{оп}$ (п), горизонтальных (р), вертикальных (с) перемещений и векторов полных перемещений (т)

Таким образом, представленная компьютерная программа «Устойчивость. Напряженно-деформированное состояние» позволяет проводить все процедуры, которые необходимы для оценки длительной устойчивости грунтовых массивов на основе сформулированного нами критерия длительной устойчивости и безопасной эксплуатации грунтовых массивов и сооружений, который гласит: *если области предельного состояния изначально отсутствуют в грунтовом массиве, составляющем грунтовое сооружение, и нет причин для их образования, то устойчивости грунтового сооружения ничто не угрожает, и он, теоретически, может существовать сколь угодно долго в работоспособном состоянии.*

Качественным признаком длительной устойчивости откоса является отсутствие в грунтовом массиве ОПСГ, количественным показателем — коэффициент запаса устойчивости откоса K , величина которого, вычисленная для наиболее вероятной линии скольжения, превышает значения, определенные нормативными документами, т. е. $K > K_n$.

И качественный признак, и количественный показатель могут быть определены на основе результатов анализа напряженно-деформированного состояния грунтового массива, например при помощи описанной в настоящей статье компьютерной программы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Устойчивость (Напряженно-деформированное состояние) : свидетельство о гос. регистрации программ для ЭВМ : пат. Рос. Федерации № 2009613499 / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, М. Ю. Нестратов, Н. Н. Нестратов, Н. Н. Потапова, М. М. Степанов, А. Н. Ушаков ; опубл. 18.12.2009, Бюл. № 23 ; заявл. 19.05.2009 ; зарег. в Реестре программ для ЭВМ 30.06.2009. 1 с.
2. Богомолов А. Н. Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упругопластической постановке. Пермь : ПГТУ, 1996. 149 с.
3. Шиян С. И., Богомолов А. Н., Ушаков А. Н. Решение основных граничных задач для полуплоскости методами теории функций комплексного переменного. Волгоград : ВолгГАСУ, 2009. 134 с.
4. Современные методы расчета фундаментов / С. И. Шиян, С. И. Евтушенко, А. Н. Богомолов, А. Н. Ушаков. Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2011. 238 с.
5. Мусхелишвили Н. И. Основные граничные задачи теории упругости для полуплоскости // Сообщ. АН Груз. ССР. 1941. Т. 2. № 10.
6. Компьютерная программа для генерации конечно-элементной сетки на основе использования системы AutoCAD : информ. л. 51-065-01 / М-во науки и технологий Рос. Федерации ; Рос. объединение информ. ресурсов научн.-техн. развития РОСИНФОРМРЕСУРС ; Волгогр. Центр науч.-техн. информации ; [сост. М. М. Степанов, А. Н. Богомолов, С. И. Шиян]. Волгоград : ЦНТИ, 2000. 3 с.
7. Шиян С. И., Богомолов А. Н., Степанов М. М. Компьютерная программа для решения геотехнических задач на основе анализа напряженно-деформированного состояния грунтового массива методом конечных элементов // Социально-экономические и технологические проблемы развития строительного комплекса региона. Наука. Практика. Образование : материалы III Всерос. науч.-технич. конф., Волгоград — Михайловка. 2009. С. 131—138.
1. Ustoichivost' (Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie) : svidetel'stvo o gos. registratsii programm dlya EVM : pat. Ros. Federatsii № 2009613499 / A. N. Bogomolov, O. A. Bogomolova, M. Yu. Nestratov, N. N. Nestratov, N. N. Potapova, M. M. Stepanov, A. N. Ushakov ; opubl. 18.12.2009, Byul. № 23 ; zayavl. 19.05.2009 ; zareg. v Reestre programm dlya EVM 30.06.2009. 1 s.
2. Bogomolov A. N. Raschet nesushchei sposobnosti osnovanii sooruzhenii i ustoichivosti gruntovykh massivov v uprugoplasticheskoi postanovke. Perm' : PGU, 1996. 149 s.
3. Shiyani S. I., Bogomolov A. N., Ushakov A. N. Reshenie osnovnykh granichnykh zadach dlya poluploskosti metodami teorii funktsii kompleksnogo peremennogo. Volgograd : VolgGASU, 2009. 134 s.
4. Sovremennyye metody rascheta fundamentov / S. I. Shiyani, S. I. Evtushenko, A. N. Bogomolov, A. N. Ushakov. Novocherkassk: YuRGU (NPI), 2011. 238 s.
5. Muskhelishvili N. I. Osnovnye granichnye zadachi teorii uprugosti dlya poluploskosti // Soobshch. AN Gruz. SSR. 1941. T. 2. № 10.
6. Komp'yuternaya programma dlya generatsii konechno-elementnoi setki na osnove ispol'zovaniya sistemy AutoCAD : inform. l. 51-065-01 / M-vo nauki i tekhnologii Ros. Federatsii ; Ros. ob"edinenie inform. resursov

nauchn.-tekhn. razvitiya ROSINFORMRESURS ; Volgogr. Tsentr nauch.-tekhn. informatsii ; [sost. M. M. Stepanov, A. N. Bogomolov, S. I. Shiyan]. Volgograd : TsNTI, 2000. 3 s.

7. Shiyan S. I., Bogomolov A. N., Stepanov M. M. Komp'yuternaya programma dlya resheniya geotekhnicheskikh zadach na osnove analiza napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya gruntovogo massiva metodom konechnykh elementov // Sotsial'no-ekonomicheskie i tekhnologicheskie problemy razvitiya stroitel'nogo kompleksa regiona. Nauka. Praktika. Obrazovanie : materialy III Vseros. nauch.-tekhnich. konf., Volgograd — Mikhailovka. 2009. S. 131—138.

© С. И. Шиян, 2014

*Поступила в редакцию
в сентябре 2014 г.*

Ссылка для цитирования:

Шиян С. И. Компьютерная программа для решения прикладных задач геомеханики и оценки длительной устойчивости грунтовых массивов // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2014. Вып. 3(34). Ст. 19. Режим доступа: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

For citation:

Shiyan S. I. [Computer program for the solution of applied tasks of geomechanics and estimation of long-term stability of soil masses]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2014, no. 3(34), paper 19. (In Russ.). Available at: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>