

Кроме того, опыт применения различных видов крепей для поддержания наклонных стволов показал, что в условиях как устойчивых, так и малоустойчивых пород характеристики крепи не существенно влияют на величину конвергенции боковых пород ствола. Последняя определяется, в основном, размерами и свойствами вышележащей породной толщи. Т.е., в данном случае, крепь предназначена главным образом для предотвращения образования в кровле и боках зон растягивающих напряжений, которые в условиях расслаивающихся пород приводят к их локальному расслоению и обрушению в ствол. Поэтому в качестве критерия для количественной оценки эффективности использования различных вариантов крепи целесообразно выбирать такие параметры, как, например, величина погонной (на единицу длины ствола) массы расслоившихся пород. Как показали результаты, полученные в работе [2], такой подход позволяет учесть ряд особенностей в поведении массива и получить его характеристики, легко адаптируемые к силовым параметрам крепей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Діагностика стану систем “кріплення – масив” та “підйомна посудина – жорстке армування” шахтних стовбурів. Порядок та методика виконання. ГР 3-032-2004 / А.Ф. Булат, Б.М. Усаченко, С.І. Скіпочка, С.Р. Ильїн, В.М. Сергієнко та ін. – К.: Мінпромполітики України, 2004. - 40 с.
2. Скипочка С.И., Мухин А.В., Черватюк В.Г. Геомеханика охраны выемочных штреков в неустойчивых породах. - Днепрпетровск: НГАУ, 2002. – 125 с.

**УДК 622.25**

С.В. Борщевский, М.Ю. Прокопова

### **РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ МОНОЛИТНОЙ БЕТОННОЙ КРЕПИ НА ПЭВМ**

Для проектування параметрів кріплення розроблено Windows-додаток „Еліпс”, який реалізований у середовищі програмування Microsoft Visual Basic 6.0. Крім розрахунків товщини кріплення в будь-якому заданому перерізі, програма виконує графічний контроль розрахованих параметрів шляхом побудови поперечного перерізу стволу з урахуванням деформації опалубки та відхилень її центру в заданому напрямку

### **REALIZATION OF A TECHNIQUE OF DESIGNING OF PARAMETERS MONOLITHIC CONCRETE PROP ON PСМ**

For designing parameters prop the Windows-application "Ellipse" realized in environment of programming Microsoft Visual Basic is developed 6.0. Except for account of thickness prop in any given section, the program carries out the graphic control of the designed parameters by construction of cross section of a trunk in view of deformation deck and deviation of its centre in the given direction.

Последнее время все большее внимание в мире оказывается вопросу развития всевозможных ресурсосберегающих технологий. Любая система обладает определенной инертностью, а в некоторых случаях и невозможностью быстрой остановки, что, естественно, приводит к перерасходу энергоносителей. Примером тому могут служить тепло- гидроэнергетика и атомная энергетика. Запус-

тив ядерный реактор на атомной электростанции, практически не представляется возможным гибко регулировать выработку электроэнергии в зависимости от её потребления из сети. Гидроэлектростанции в этом плане несколько лучше в плане регулировки за сет переключения шлюзов и гидротурбин, однако обладают малым коэффициентом полезного действия и для их размещения необходимы специальные условия, связанные с затоплением определенных площадей (сельскохозяйственных угодий) создаваемыми плотинами. В этом плане более эффективными являются тепловые электростанции, использующие твердое топливо. Использование относительно дешевого, но импортируемого из других стран газа не во всех случаях стратегически целесообразно в целом для страны, с точки зрения её энергетической независимости. В настоящее время и на отдаленную перспективу уголь – единственный энергоноситель, объемы которого потенциально достаточные для практически полного обеспечения потребностей национальной экономики Украины.

Результаты проведенного анализа тенденций развития мировой энергетики свидетельствуют о том, что в структуре мировых запасов органического топлива на уголь приходится 67 процентов, на нефть – 18 и на естественный газ – 15 процентов. В Украине эти показатели составляют соответственно 95,4 процента, 2 и 2,6 процента. Общий объем запасов отечественного угля составляет около 117,5 млрд. тонн, из них промышленных на действующих шахтах – 6,5 млрд. тонн, из которых почти 3,5 млрд. тонн – энергетический уголь.

Резюмируя вышеизложенное можно с уверенностью сказать, что налицо актуальность развития угольной промышленности Украины. В процессе же строительства вертикальных стволов, являющихся жизненно важными артериями угледобывающих предприятий проходчики и проектировщики сталкиваются с вопросами расчета рациональных параметров бетонной крепи.

Выполненные нами исследования показали, что с увеличением глубины и диаметра ствола усиливается отклонение формы крепи от проектной, т.е. крепь становится не круговым кольцом, а приобретает форму, внешний контур которой представляет собой окружность, а внутренний (в результате деформации опалубки) – овал (близкий к эллипсу), при этом их центры могут не совпадать в силу возможного отклонения центрального отвеса при установке опалубки. Все это приводит к формированию кольца крепи переменной толщины, которая в зависимости от глубины и диаметра изменяется в пределах от 48,8% до 148,5% от проектной. В связи с этим максимальные напряжения и деформации в местах ее максимального утонения увеличиваются, а несущая способность крепи снижается.

Задачей исследований является изучение изменения напряженно-деформированного состояния крепи в результате изменения формы и положения ее внутреннего контура и установление зависимости увеличения максимальных напряжений и деформаций крепи относительно исходных (при проектном положении опалубки) от глубины и диаметра ствола.

Для решения поставленной задачи используется метод конечных элементов (МКЭ), реализованный в форме перемещений [1]. Для численного моделирования по этому методу используем программный комплекс «ЛИРА-Windows»

(версия 8.01) [2]. Реализованный вариант МКЭ использует принцип возможных перемещений

$$a(u, v) = (f, v) \quad (1)$$

где  $u$  – искомое точное решение;  $v$  – любое возможное перемещение;  $a(u, v)$ ,  $(f, v)$  – возможные работы внутренних и внешних сил.

Занимаемая конструкцией крепи область разбивается на конечные элементы  $\Omega_r$ , назначаются узлы и их степени свободы  $L_j$  (перемещения и углы поворота узлов).

Степеням свободы соответствуют базисные (координатные, аппроксимирующие) функции  $\mu_i$ , отличные от нуля только на соответствующих звездах элементов и удовлетворяющие равенствам

$$L_j \mu_i = \begin{cases} 1, i = j; \\ 0, i \neq j. \end{cases} \quad (2)$$

Приближенное значение  $U_h$  ищется в виде линейной комбинации базисных функций, удовлетворяющей главным (кинетическим) условиям

$$U_h = \sum_{i=1}^N u_i \mu_i, \quad (3)$$

где  $u_i$  – числа,  $N$  – количество степеней свободы.

Подставляя в (1)  $U_h$  вместо  $U$  и  $\mu_j$  ( $j = 1, \dots, N$ ) вместо  $v$ , получим систему МКЭ

$$\sum_{i=1}^N u_i a(\mu_i, \mu_j) = (f, \mu_j), \quad i = 1, \dots, N. \quad (4)$$

Обозначив через  $K$  матрицу жесткости с элементами  $k_{i,j} = a(\mu_i, \mu_j)$ ,  $P$  – вектор нагрузок с элементами  $P_i = (f, \mu_j)$  и  $X$  – искомый вектор с элементами  $U_i$ , запишем систему (4) в матричной форме

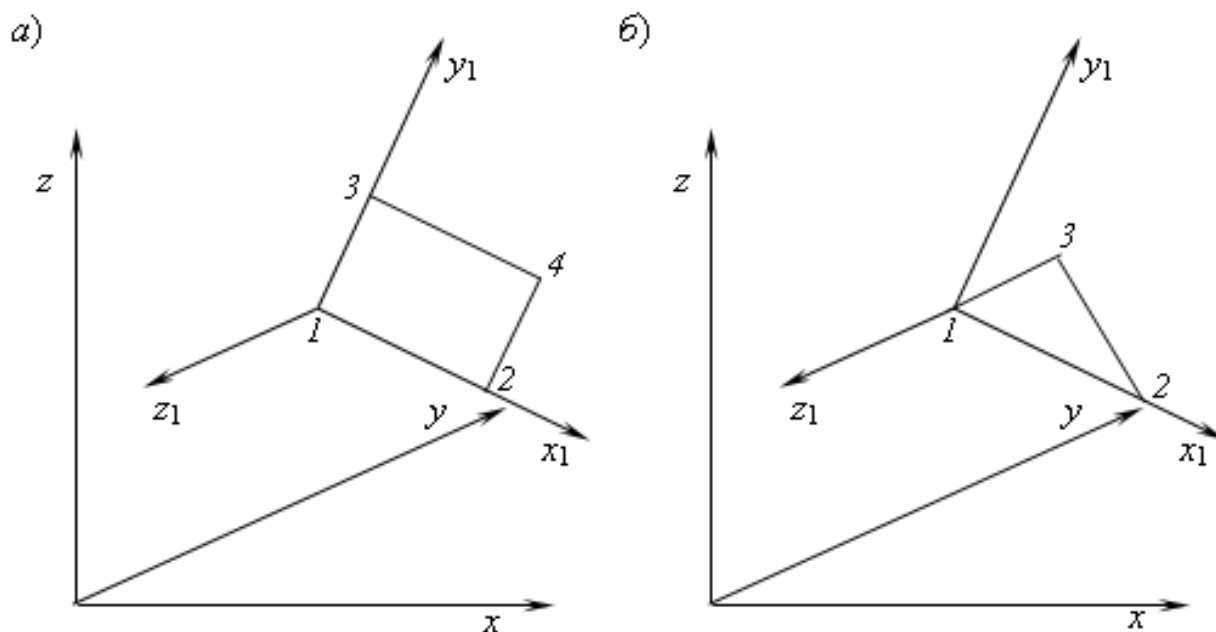
$$KX = P. \quad (5)$$

Таким образом, применение МКЭ сводит задачу к системе линейных алгебраических уравнений (5). Решив ее, находим вектор  $X$ , затем из (3) – остальные компоненты напряженно-деформированного состояния (НДС).

Так как крепь ствола работает совместно с вмещающим породным массивом, для изучения возникающего при этом НДС моделируем породный массив, в центре которого расположено круглое отверстие (моделирующее сечение

ствола), ограниченное по контуру конечными элементами, моделирующими бетонную крепь.

Так как производится исследование изменения НДС от смещения внутреннего контура крепи и изменения формы поперечного сечения, постановки объемной задачи не требуется, поэтому ставится плоская задача с использованием для моделирования массива универсальных прямоугольных (рис. 1, а), а для моделирования крепи, в соответствии с рекомендациями [3], – универсальных треугольных (рис. 1, б) конечных элементов пластины с заданными жесткостными характеристиками.



а – универсальный прямоугольный конечный элемент пластины, принятый для моделирования вмещающих пород; б – универсальный треугольный конечный элемент пластины, принятый для моделирования монолитной бетонной крепи;  $x, y, z, x_1, y_1, z_1$  – соответственно глобальная и локальная системы координат

Рис. 1 – Конечные элементы, принятые для моделирования

Для исследования НДС монолитной бетонной крепи под воздействием нагрузок со стороны вмещающего породного массива, а также изменения НДС в результате отклонений крепи от проектных положения и формы для стволов различных диаметров, глубин, толщин крепи и вмещающих пород автором были разработаны 96 конечно-элементных моделей крепи и вмещающих пород, которые делятся на 2 группы:

– **I группа** (включает 48 моделей) – модели, определяющие **базовое НДС**, которое возникает при отсутствии отклонений крепи от проектных положения и формы.

– **II группа** (включает 48 моделей) – модели, характеризующие **критическое НДС**, которое возникает при изменении формы опалубки с глубиной и допустимом отклонении центрального отвеса ( $\pm 30$  мм) в направлении большой полуоси эллипса опалубки, так как при таком смещении наблюдается максимальное уто-

нение кольца крепи и ожидаются максимальные напряжения в бетоне.

В отличие от базовых моделей, задающих бетонное кольцо постоянной толщины, в моделях II группы внутренний контур крепи выполнен в виде эллипсов, большая полуось и эксцентриситет которых рассчитаны в зависимости от глубины и диаметра ствола по программе «Эллипс».

Расчетная толщина крепи  $\delta_{кр}$  определяется как разность между радиусом ствола в проходке  $R_{пр}$  и радиусом ствола в свету  $R_{св}$  (рис. 1).

Фактическая толщина крепи ствола зависит от формы сечения в проходке, формы сечения в свету, радиального отклонения вертикальной оси ствола от проектного положения, точности установки опалубки в заходке.

Фактическое сечение ствола в проходке имеет случайную форму, зависящую от физико-механических свойств вмещающих пород, их залегания, паспорта буровзрывных работ, квалификации рабочих и ряда других факторов. Обобщенно она характеризуется коэффициентом излишка сечения ствола (КИС).

По данным исследований [4], средняя величина КИС при проходке стволов в Донецком бассейне составляет 1,1...1,2. Вследствие этого фактические разницы сечений ствола в проходке превышают проектные на 16...20%, в то время как требования СНиП [94] допускают увеличение проектных размеров выработки по радиусу ствола в породах с  $f = 0,4...1,5$  – не более 50 мм, а с  $f = 8...20$  – не более 100 мм. Для расчета параметров крепи с учетом концентрации напряжений вследствие технологических погрешностей при креплении разработано Windows-приложение «Эллипс», реализованное в среде программирования *Microsoft Visual Basic 6.0*. [5]. Интерфейс приложения показан на рис. 2. Кроме расчета толщины крепи в любом заданном сечении, программа выполняет графический контроль рассчитанных параметров путем построения поперечного сечения ствола с учетом деформации опалубки и отклонения ее центра в заданном направлении.

Исходными данными для расчета по программе «Эллипс» являются:

- диаметр ствола в свету  $D_{св}$ , м;
- проектная толщина крепи  $\delta$ , мм;
- глубина участка ствола  $H$ , м, для которой анализируется крепь;
- величина  $\Delta_{отв}$ , мм, и направление  $\beta$ , град., отклонения центрального отвеса;

ввод этих данных организован с помощью инструмента *Visual Basic Option Button*, поэтому пользователю достаточно только установить «флажок» в нужном окне, задающем направление отклонения центра: «вдоль большой оси», «вдоль малой оси», «в произвольном направлении» (с заданием угла  $\beta$ ) или же произвести расчет «без отклонения».

Алгоритм расчета по программе «Эллипс» приведен в табл. 1.

Построение конечно-элементных моделей и расчет параметров конструкции произведены с помощью компьютерного вычислительного комплекса «ЛИРА-Windows» (версия 8.01) [2].

#### **Выводы.**

1. Расчет монолитной бетонной крепи должен производиться с учетом по-

вышения максимальных напряжений в бетоне из-за ожидаемых технологических погрешностей возведения крепи, при этом в расчет толщины монолитной бетонной крепи стволов должен включаться поправочный коэффициент концентрации напряжений  $k_T$ , значения которого определяются по данным табл. 5.1 или по формуле

$$k_T = \begin{cases} 0,071H - 0,131\delta + 1,068 - \text{для крепких пород } (f > 7); \\ 0,113H - 0,341\delta + 1,16 - \text{для пород средней крепости } (f = 4 - 7); \\ 0,506H + 0,00419D - 0,13\delta + 1,053 - \text{для слабых пород } (f = 2 - 3), \end{cases}$$

где  $H$  – глубина участка ствола, км;  $\delta$  – толщина крепи, м;  $D$  – проектный диаметр ствола в свету, м.

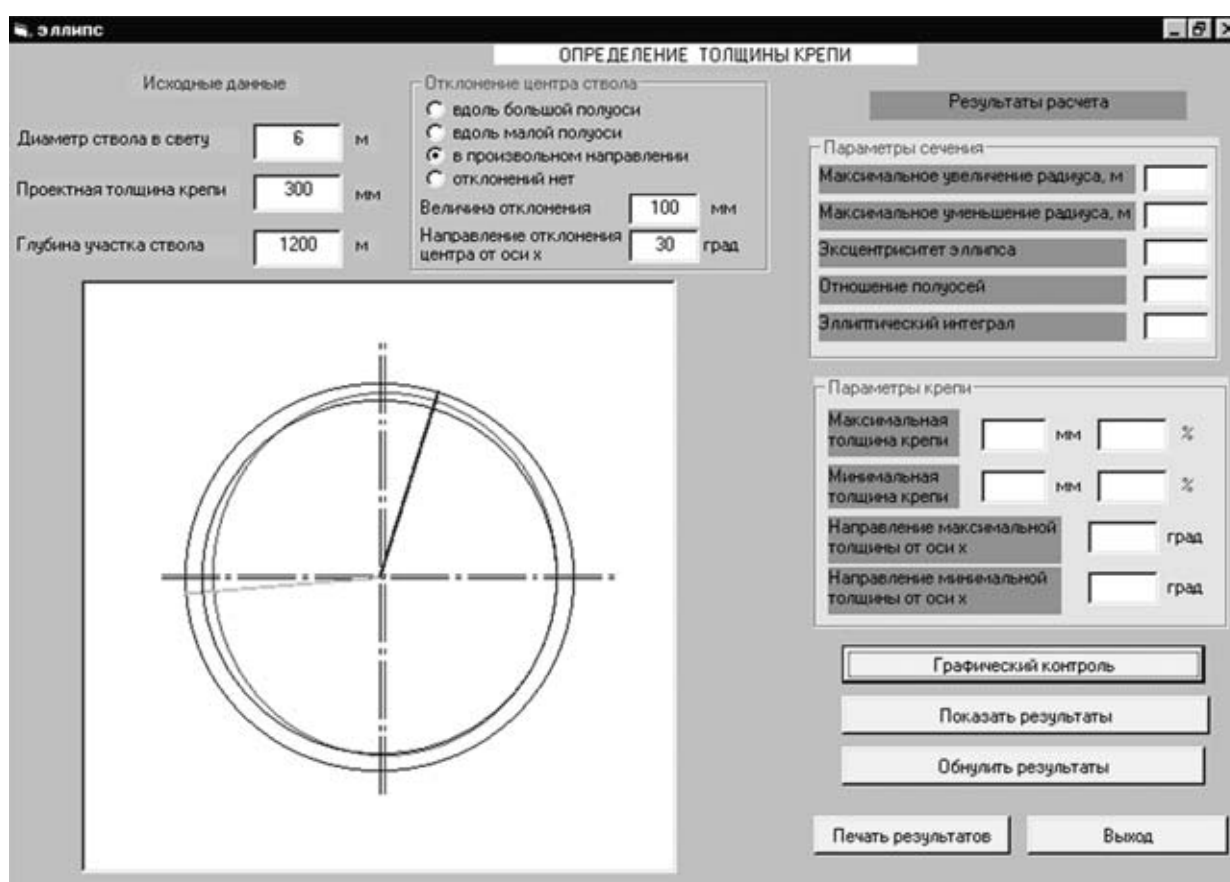


Рис. 2 – Интерфейс Windows-приложения «Эллипс»

2. При проходке глубоких стволов, начиная с глубины 600 м, должна применяться новая опалубка, или увеличиваться диаметр ствола в черне с целью обеспечения повышенной толщины крепи, учитывающей концентрацию напряжений в местах максимального утонения кольца.

3. Расчет глубины заделки расстрела (консоли) в крепь должен производиться с учетом возможного радиального отклонения крепи ствола от проектного положения, при этом необходимый запас глубины заделки может выра-

жаться поправочным коэффициентом, находящимся в пределах 1,06-1,56 и зависящим от глубины, диаметра ствола и угла  $\alpha_f$  между продольной осью расстрельной балки и нормалью к поверхности крепи ствола в месте заделки.

Таблица 1 – Алгоритм расчета толщины крепи и графического построения сечения ствола по программе «Эллипс»

Этап	Определяемый параметр, действие	Расчетные формулы
1	2	3
<i>Ввод исходных данных</i>		
1	Считывание из соответствующих текстовых блоков (TextBox) $D_{CB}$ , м; $\delta$ , мм; $H$ , м; $\Delta_{отв}$ , мм; $\beta$ , град и перевод значений в требуемую размерность	
1	2	3
2	Ввод константы $\pi = 3,1415926$	
<i>Аналитическая часть</i>		
3	Максимальный радиус ствола в свету*, м	$R_{max} = D_{CB}/2 + (38,65H^2 - 0,8983 D_{CB}^2 + 8,287HD_{CB} - 52,74H + 11,05D_{CB} - 4,873)/1000$
4	Радиус ствола в проходке, м	$R_{пр} = \frac{D_{CB}}{2} + \frac{\delta}{1000}$
5	Численное значение эллиптического интеграла 2-го рода	$E = \frac{\pi D_{CB}}{4R_{max}}$
6	Эксцентриситет эллипса опалубки**	$\varepsilon = \begin{cases} a_1 E(\varepsilon)^4 + b_1 E(\varepsilon)^3 + c_1 E(\varepsilon)^2 + d_1 E(\varepsilon) + e_1, & E(\varepsilon) \in [1,56; \pi/2]; \\ a_2 E(\varepsilon)^4 + b_2 E(\varepsilon)^3 + c_2 E(\varepsilon)^2 + d_2 E(\varepsilon) + e_2, & E(\varepsilon) \in (1,52; 1,56]; \\ a_3 E(\varepsilon)^3 + b_3 E(\varepsilon)^2 + c_3 E(\varepsilon) + d_3, & E(\varepsilon) \in [1,42; 1,52], \end{cases}$ где $a_i, b_i, c_i, d_i, e_i$ – коэффициенты аппроксимации зависимости $\varepsilon = f(E)$
7	Минимальный радиус ствола в свету, м	$R_{min} = R_{max} \sqrt{1 - \varepsilon^2}$
8	Малая и большая полуоси эллипса и их отношение	$a = R_{max}$ $b = R_{min}$ $b/a = R_{min}/R_{max}$
9	Фактическая толщина крепи ствола***, мм	$\delta_i = \sqrt{((R_{пр} - b) \cdot \cos \alpha_i - \Delta_{отв} \cdot \cos \beta)^2 + ((R_{пр} - a) \cdot \sin \alpha_i - \Delta_{отв} \cdot \sin \beta)^2}$ где $\alpha_i$ – переменный угол, задающий направление радиуса, по которому рассчитывается $\delta_i$ ; $\alpha_i \in (0, 2\pi)$ ; $\Delta\alpha = \pi/720 = 15'$ .
10	Минимальная и максимальная толщина крепи, мм	$\delta_{max} = \max \{ \delta_i \}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad n = 2\pi/\Delta\alpha;$ $\delta_{min} = \min \{ \delta_i \}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad n = 2\pi/\Delta\alpha;$
11	Направления $\delta_{max}$ и $\delta_{min}$	$\alpha_{max} = \alpha(\delta_{max})$ $\alpha_{min} = \alpha(\delta_{min})$

1	2	3
12	Относительное изменение толщины крепи, %	– максимальное утонение $\Delta^- = \frac{\delta_{\min}}{\delta} \cdot 100\%$ – максимальное утолщение $\Delta^+ = \frac{\delta_{\min}}{\delta} \cdot 100\%$
13	Коэффициент концентрации напряжений в крепи вследствие технологических отклонений от проекта	$k_T = \begin{cases} 0,071H - 0,131\delta + 1,068 & \text{– для крепких пород } (f > 7); \\ 0,113H - 0,341\delta + 1,16 & \text{– для пород средней крепости } (f = 4); \\ 0,506H + 0,00419D - 0,13\delta + 1,053 & \text{– для слабых пород } (f = 1) \end{cases}$
14	Рекомендуемая для текущей глубины толщина крепи, мм	$\delta_k = m_y r_0 \left( \sqrt{\frac{m_{\delta 1} m_{\delta 3} m_{\delta 7} R_{пр}}{m_{\delta 1} m_{\delta 3} m_{\delta 7} R_{пр} - 2k_p k_T P}} - 1 \right) - \delta_{пб}$
<i>Графическая часть</i>		
15	Координатная плоскость	Разбивка в графическом окне (Picture Box) координатной сетки с координатами углов (-5; 5)-(-5;-5).
16	Проектные оси ствола	Построение штрих-пунктирных линий черного цвета с координатами (0; y <sub>i</sub> ) и (x <sub>i</sub> , 0)
17	Проектные контуры ствола в свету и проходке	Построение окружностей черного цвета с центром в точке O(0,0) радиусами R <sub>св</sub> и R <sub>пр</sub>
18	Координаты центра опалубки	$\begin{cases} x_3 = \Delta_{отв} \cdot \cos \beta; \\ y_3 = \Delta_{отв} \cdot \sin \beta. \end{cases}$
19	Оси опалубки	Построение штрих-пунктирных линий красного цвета с координатами (x <sub>3</sub> ; y <sub>3i</sub> ) и (x <sub>3i</sub> , y <sub>3</sub> )
20	Фактический контур крепи в свету	Построение эллипса красного цвета с центром в точке O <sub>1</sub> (x <sub>3</sub> , y <sub>3</sub> ) и соотношением полуосей b/a
21	Направление максимальной толщины крепи	Построение линии синего цвета от точки O(0,0) до точки A <sub>1</sub> (R <sub>пр</sub> ·cos α <sub>max</sub> ; R <sub>пр</sub> ·sin α <sub>max</sub> )
22	Направление минимальной толщины крепи	Построение линии зеленого цвета от точки O(0,0) до точки A <sub>2</sub> (R <sub>пр</sub> ·cos α <sub>min</sub> ; R <sub>пр</sub> ·sin α <sub>min</sub> )
<i>Вывод результатов</i>		
23	Графический контроль	Вывод в графическом поле Picture Box поперечного сечения ствола
24	Параметры сечения	Вывод в соответствующих текстовых полях TextBox следующих значений: – максимальное увеличение радиуса ствола в свету, м – максимальное уменьшение радиуса ствола в свету, м – эксцентриситет эллипса опалубки – отношение полуосей; – эллиптический интеграл
25	Параметры крепи	Вывод в соответствующих текстовых полях TextBox следующих значений: – максимальная толщина крепи, мм и % от проектной – минимальная толщина крепи, мм и % от проектной



1	2	3
		<ul style="list-style-type: none"> <li>– направление максимальной толщины крепи от оси <math>x</math>, град</li> <li>– направление минимальной толщины крепи от оси <math>x</math>, град</li> <li>– коэффициент концентрации напряжений вследствие технологических отклонений от проекта;</li> <li>– рекомендуемая для проектирования толщина крепи, мм</li> </ul>

Примечания. \* Определяется в соответствии с полученной корреляционной зависимостью  $\Delta R = 38,65H^2 - 0,8983D^2 + 8,287HD - 52,74H + 11,05D - 4,873$ , где  $H$  – глубина ствола, км;  $D$  – диаметр ствола, м.

\*\* Эксцентриситет эллипса рассчитывается в программе по зависимости в виде сплайн-функции, полученной из таблиц эллиптических интегралов.

\*\*\* Толщина крепи определяется программой для каждой пары точек  $A(x_{э.і}, y_{э.і})$  и  $B(x_{о.пр.і}, y_{о.пр.і})$ , расположенных на соответствующих радиусах, проведенных от центра ствола под углом  $\alpha_i$ , который меняется с шагом  $\Delta\alpha = \pi/720$  от 0 до  $2\pi$ .

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронцов Г.В., Резниченко А.И., Нечаев Л.Б. Расчет напряженно-деформированного состояния конструкций по методу конечных элементов. – Новочеркасск: НГТУ, 1994. – 119 с.
2. Программный комплекс «ЛИРА-Windows». Руководство пользователя. В 8 т. – Киев: НИИАСС, 1997.
3. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений. – М.: Недра, 1994. – 382 с.
4. Проектирование вертикальных стволов/ А.А. Привалов, П.С. Сыркин, И.А. Мартыненко и др. – Новочеркасск: НПИ, 1992. – 102 с.
5. Кузьменко В.Г. Microsoft Visual Basic 6.0. Самоучитель. – М.: Бином-Пресс, 2002. – 400 с.

УДК 622.257.12:678.7

А.А. Романов

## ВИСОКОЕФЕКТИВНА КОМПОЗИЦІЯ „КСАЙПЕКС” ТА РЕГЛАМЕНТИ ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ГІДРОЗАХИСТУ ПІДЗЕМНИХ І НАЗЕМНИХ СПОРУД

Рассмотрены вопросы гидрозащиты подземных и наземных сооружений композицией „Ксайпекс”.

## HIGHLY EFFECTIVE COMPOSITION “ХАЈРЕХ” AND REGLAMENTS OF ITS EMPLOYMENT FOR UNDERGROUND AND LAND CONSTRUCTIONS HYDRO-PROTECTION

Questions of the underground and land constructions hydro-protection by composition “Хайрех” are considered.

Довготривала експлуатація бетонних і залізобетонних конструкцій підземних та наземних споруд суттєво знижує їх проектні характеристики, що в першу чергу пов'язано із підвищенням їх водопроникності. Обстеження і дослідження, які проведені у гідротехнічних тунелях, водопровідних спорудах під магістральними каналами, насосних станцій із заглибленими доковими частинами дали змогу виявити наступний дефект у їхньому стані.

Найбільш поширеними дефектами бетону у гідротехнічних спорудах (ГТС) є: тріщиноутворення, відшарування, вивали та порушення механічних зв'язків між елементами конструкцій.