© А.Н. Воробьёв, С.Н. Прутков, 2006

УДК 622.272

А.Н. Воробьёв, С.Н. Прутков

АЛГОРИТМ И ПРОГРАММА РАСЧЕТА МЕЖДУКАМЕРНЫХ ЦЕЛИКОВ И ПРОЛЕТОВ КАМЕР

Семинар № 15

Алгоритм расчёта соответствует методам, разработанным в работах [1] и [2]. Он основан на представлении породного массива в виде системы породных рациональных элементов арочного или эллиптического типа. При этом напряжения в целиках определяются как реакции породных элементов, опирающихся на целики, а устойчивость камеры определяется устойчивостью рациональных элементов.

Вначале вводятся исходные данные. Этими данными являются глубина «H» залегания месторождения в м, первоначально принимаемая ширина камеры «B» в м, коэффициент толщины рациональных элементов «k» как отношение их толщины к пролёту камеры, объёмный вес вмещающих пород «g» в МН/м. куб., предел прочности целиков на сжатие «Rz» в МПа, предел прочности вмещающих пород на сжатие «Rm» в МПа, первоначальное количество сводов в камере «n».

Программирование осуществлялось на современном объектно-ориентированном языке Visual Basic.

Проект состоит из формы и программного кода. Форма снабжена тремя элементами управления CommandButton со свойствами Caption «Исходные данные и расчёт», «Вход» и «Графика».

При запуске программы в отдельных окнах запрашиваются величины исходных данных. На рис. 1 запрашивается глубина залегания месторождения, аналогично запрашиваются остальные исходные данные.

После запроса исходных данных производится расчёт целиков и пролётов камер.

Высота первого рационального свода берётся равной одной четвёртой пролёта камеры как наиболее устойчивого свода [1]. Расчёт высоты n-го свода определяется по формуле

$$h_n = h_1 \cdot (1 + k)^n . \qquad (1)$$

Найденная в работе [1] из рекуррентных соотношений нагрузка на первый рациональный элемент равна

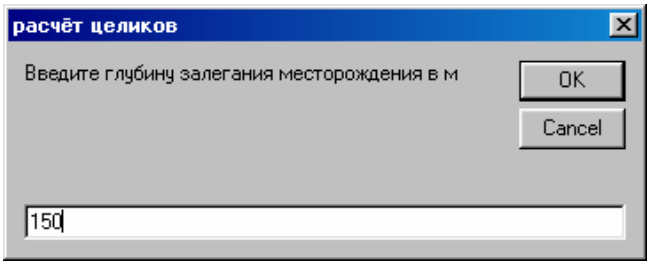

Рис. 1. Окно запроса исходных данных

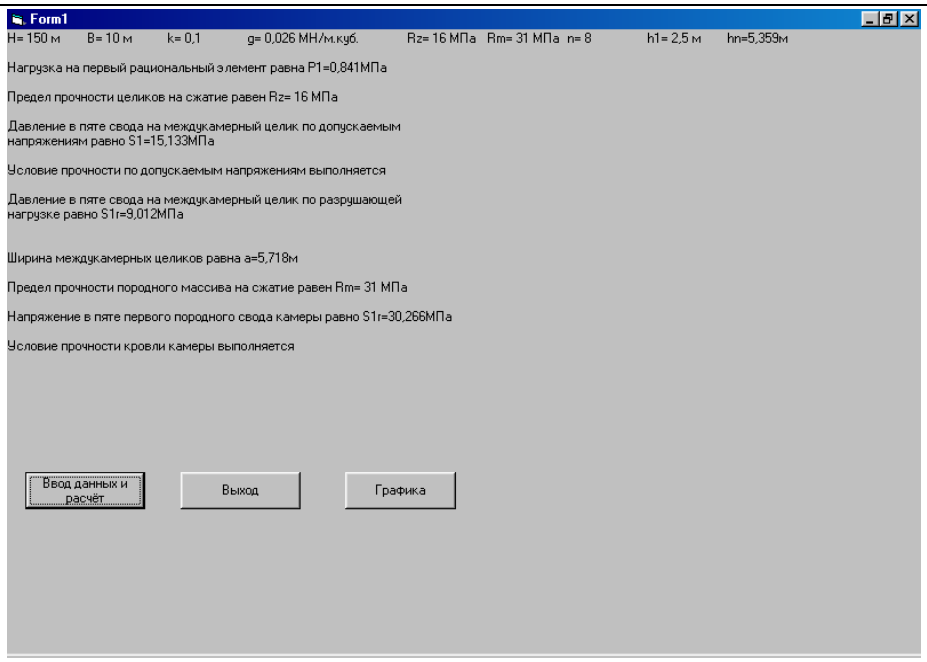

Рис. 2. Результаты расчёта пролёта камер и междукамерных целиков

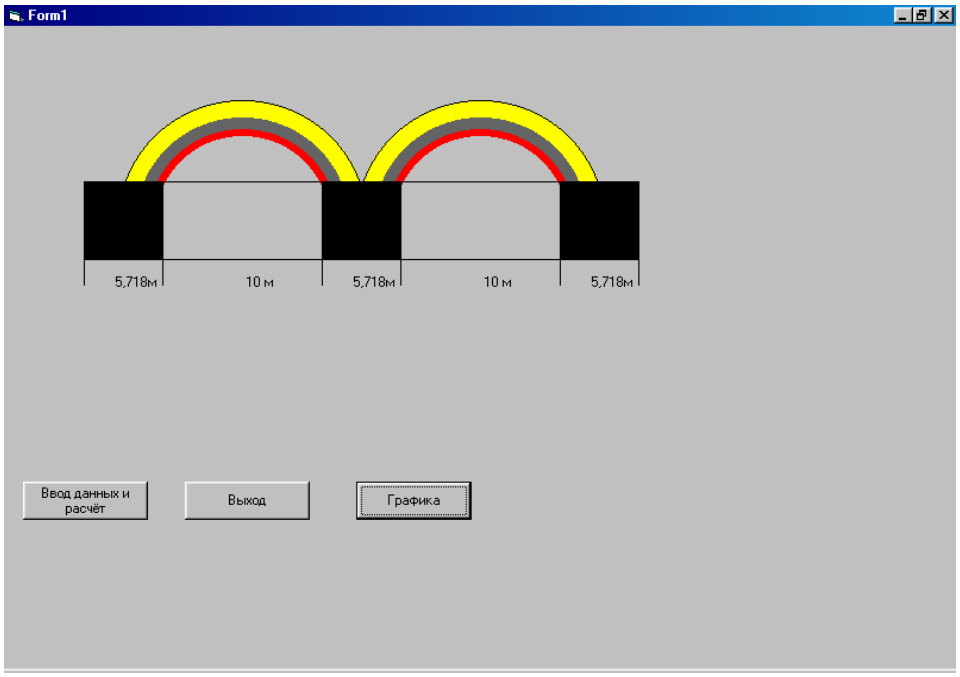

Рис. 3. Графическое изображение результатов расчёта

$$p_1 = \frac{g \cdot (H - h_n)}{(1 + (1-k)^2 \cdot (1 - (1-k)^{2 \cdot n}) \cdot (1 - (1-k)^2)}. \quad (2)$$

По выражениям, найденным в работе [2], проверяется условие прочности междукамерных целиков по допускаемым напряжениям, когда наибольшее напряжение в целике не превосходит предел прочности Rz целика на сжатие. Нарушение данного соотношения не означает потери прочности целика, так как он может выдержать общую разрушающую нагрузку. Далее по формуле работы [2] проверяется условие прочности целиков по разрушающей нагрузке. Если условие прочности выполняется, то ширина целиков определяется как удвоенная толщина рациональных элементов в месте опирания на целики. Если условие не выполняется, то необходимо менять параметры разработки: ширину камеры «B» либо количество сводов.

Ширина междукамерных целиков определяется по наибольшим напряжениям в первом наиболее нагруженном породном своде. Если напряжения не превосходят предел прочности породного массива «Rm» на сжатие, то ширину камеры можно оставить либо проверить большую величину до выполнения условия прочности. В противном случае ширину камеры нужно увеличивать либо предусмотреть мероприятия по упрочнению породного массива.

На рис. 2 показаны результаты расчёта по программе при следующих исходных данных: H = 150 м; B = 10 м; k = 0,1; g = 0,026 МН/м^3; Rz = 16 МПа; Rm = 31 МПа. При этих данных условия прочности выполняются. Для определения более рациональных параметров с учётом меньших потерь полезного ископаемого можно провести дополнительны расчёты.

Из расчётов следует, что при ширине камеры B = 10 м необходимая ширина междукамерных целиков составляет 5,718 м.

В программе предусмотрено графический вывод результатов расчета в виде расчётной схемы с найденными размерами пролётов камеры и междукамерных целиков. Графическое изображение результатов расчёта представлено на рис. 3.

```
'Программа расчёта междукамерных целиков и пролетов камер
'для пластовых месторождений
Dim H As Single
Dim B As Single
Dim k As Single
Dim g As Single
Dim Rz As Single
Dim Rm As Single
Dim n As Integer
Dim a As Single

Private Sub Command1_Click()
H = InputBox("Введите глубину залегания месторождения в м")
B = InputBox("Введите первоначальную ширину камеры в м")
k = InputBox("Введите коэффициент толщины рациональных элементов")
g = InputBox("Введите объёмный вес вмещающих пород в МН/м.куб.")
Rz = InputBox("Введите предел прочности целиков на сжатие в МПа")
Rm = InputBox("Введите предел прочности вмещающих пород на сжатие в МПа")
```

```
n = InputBox("Введите количество сводов в камере") 'n <= 1 / k
h1 = 1 / 4 * B 'высота первого свода камеры
hn = h1 * (1 + k) ^ n 'высота n-го свода камеры
'Нагрузка на первый рациональный элемент камеры
P1 = g * (H - hn) / (1 + (1 - k) ^ 2 * (1 - (1 - k) ^ (2 * n)) / (1 - (1 - k) ^ 2))
Print "Нагрузка на первый рациональный элемент равна P1="; Format(P1, "0.000"); "МПа"

'Условия прочности

'Условие прочности междукамерных целиков по допускаемым напряжениям
S1 = P1 * (1 - k) * 2 * 1 / k 'давление в пяте свода на целик
Print
Print "Предел прочности целиков на сжатие равен Rz="; Rz; "МПа"
Print
Print "Давление в пяте свода на междукамерный целик по допускаемым"
Print "напряжениям равно S1="; Format(S1, "0.000"); "МПа"
Print
If S1 > Rz Then
Print "Условие прочности по допускаемым напряжениям не выполняется"
Else
Print "Условие прочности по допускаемым напряжениям выполняется"
End If

'Условие прочности целиков по разрушающей нагрузке
S1r = P1 * 2 / k * (1 - (1 - k) ^ (2 * n)) / (1 - (1 - k) ^ 2) / n
Print
Print "Давление в пяте свода на междукамерный целик по разрушающей "
Print "нагрузке равно S1r="; Format(S1r, "0.000"); "МПа"
Print
If S1r > Rz Then
Print "Условие прочности целиков по разрушающей нагрузке не выполняется"
Else
a = 2 * h1 * ((1 + k) ^ n - 1)
Print
Print "Ширина междукамерных целиков равна a="; Format(a, "0.000"); "м"
End If

'Проверка прочности кровли камеры
S1k = P1 * (1 - k) * 4 * 1 / k 'Напряжение в пяте первого свода камеры
Print
Print "Предел прочности породного массива на сжатие равен Rm="; Rm; "МПа"
Print
Print "Напряжение в пяте первого породного свода камеры равно S1r="; Format(S1k, "0.000"); "МПа"
If S1k > Rm Then
```

```
Print
Print "Условие прочности кровли камеры не выполняется"
Else
Print
Print "Условие прочности кровли камеры выполняется"
End If
End Sub

Private Sub Command2_Click()
End
End Sub

Private Sub Command3_Click()
Cls
'Рисуем своды
Do
Circle (3000, 2500), 1100 + x, vbRed, 0, 3.14
x = x + 1
Loop Until x > 100
x = 0
Do
Circle (3000, 2500), 1200 + x, RGB(100, 100, 100), 0, 3.14
x = x + 1
Loop Until x > 150
x = 0
Do
Circle (3000, 2500), 1350 + x, vbYellow, 0, 3.14
x = x + 1
Loop Until x > 210
Circle (3000, 2500), 1560, vbBlack, 0, 3.14
x = 0
Do
Circle (6000, 2500), 1100 + x, vbRed, 0, 3.14
x = x + 1
Loop Until x > 100
x = 0
Do
Circle (6000, 2500), 1200 + x, RGB(100, 100, 100), 0, 3.14
x = x + 1
Loop Until x > 150
x = 0
Do
Circle (6000, 2500), 1350 + x, vbYellow, 0, 3.14
x = x + 1
Loop Until x > 210
Circle (6000, 2500), 1560, vbBlack, 0, 3.14
```

```
'Рисуем целики и камеры
Line (1000, 3000)-(2000, 2000), vbBlack, BF
Line (2000, 3000)-(4000, 2000), vbBlack, B
Line (4000, 3000)-(5000, 2000), vbBlack, BF
Line (5000, 3000)-(7000, 2000), vbBlack, B
Line (7000, 3000)-(8000, 2000), vbBlack, BF
'Ставим размерные линии
Line (1000, 3000)-(1000, 3350)
Line (2000, 3000)-(2000, 3350)
Line (4000, 3000)-(4000, 3350)
Line (5000, 3000)-(5000, 3350)
Line (7000, 3000)-(7000, 3350)
Line (8000, 3000)-(8000, 3350)
'Ставим размеры
PSet (1400, 3200), RGB(200, 200, 200)
Print Format(a, "0.000"); "м"
PSet (3000, 3200), RGB(200, 200, 200)
Print B; "м"
PSet (4400, 3200), RGB(200, 200, 200)
Print Format(a, "0.000"); "м"
PSet (6000, 3200), RGB(200, 200, 200)
Print B; "м"
PSet (7400, 3200), RGB(200, 200, 200)
Print Format(a, "0.000"); "м"
End Sub
```

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воробьёв А.Н.* Обоснование и разработка методов расчёта и совершенствования конструкций крепей горных выработок на основе теорий арочных систем и тонких оболочек. Дисс. докт. техн. наук. М., МГГУ, 1993.

2. *Воробьёв А.Н., Прутков С.Н.* Метод расчёта пролётов камер, барьерных и междукамерных целиков на основе теории арочных систем. М., МГГУ, ГИАБ, 2006.

Коротко об авторах

Воробьёв А.Н. – профессор, доктор технических наук,
Прутков С.Н. – аспирант,

Московский государственный горный университет.