

# Проектирование и моделирование в VBA, VLISP параметров траектории пилотной скважины при строительстве трубопроводов методом горизонтально-направленного бурения

Программирование и моделирование в VBA, VLISP позволяют оптимизировать разработку проектов строительства переходов трубопроводов методом горизонтально-направленного бурения. Моделирование и анализ вариантов осуществляется посредством пользовательских приложений разработанных для рассмотрения различных технологических процессов. Диалоговые окна пользовательских приложений состоят из блоков – исходных и результирующих данных. Формулы, промежуточные расчеты и условия описываются кодом с различными расчетными схемами.

**П**ервоначально на основании материалов инженерных изысканий учитывая характер водной преграды, геологические условия, планово-высотные деформации русла, допустимые радиуса трассировки, разрабатывается план и продольный профиль подводного перехода.

Траектория скважины определяется нормативным расположением участков перехода от естественных, искусственных препятствий, условиями подачи трубопровода в скважину и его стыковки с прилегающими участками линейной части.

При выборе створа перехода с учетом расположения точек входа и выхода на стадии предварительного профилирования, изыскательских работ следует предусмотреть устройство:

- на стартовом берегу – площадки №1 под буровую установку;
- на финишном берегу – площадки №2 для технологических операций по сборке – разборке компоновок и площадки №3 для монтажа, сварки, испытания рабочего трубопровода и кожуха.

Заглубление трубопровода следует принимать не менее 6 м от самой низкой отметки дна на участке перехода и не менее 3м от линии возможного размыва или прогнозируемого дноуглубления русла. В случае, если прогнозируются поглощения и грифоны, то на стадии проектирования пилотной скважины необходимо обозначить интервалы бурения пилотной скважины на пенных системах и отметки обустройства разгрузочного коллектора. Разгрузочный коллектор – закрытая горная выработка, соединяющая внутреннюю полость горизонтально-направленной скважины с системой регенерации бурового раствора, оснащенной автоматикой и погружным насосом, максимально приближенному к скважине. Разгрузочный коллектор предназначен для сброса избыточного давления и отбора промывочной жидкости в процессе строительства перехода (рис.1).

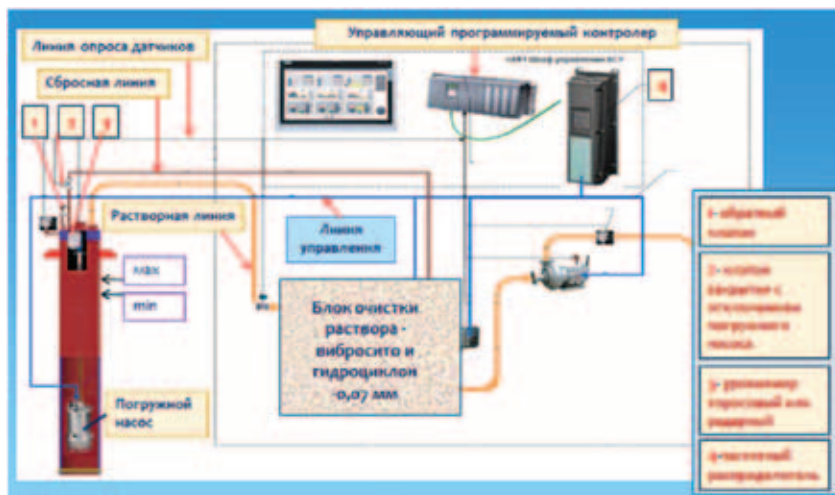


Рис. 1. Структурная схема системы управления разгрузочным коллектором закрытого типа

Окончательный проект профиля перехода должен быть обоснованным и экономически оправданным.

**На продольном профиле скважины должны быть указаны:**

- траектория скважины;
- координаты точек, длины составляющих участков и углы входа – выхода перехода;
- радиусы трассировки криволинейных участков;
- проектное положение трубопровода;
- глубина заложения;
- линии предельного размыва;
- буровые скважины и геологическое строение;
- координаты и конструкция разгрузочного коллектора;
- характерные уровни воды.

Прогноз деформаций русла и берегов составляется на расчетный 3-х кратный период эксплуатации перехода (100 лет).

Минимальное расстояние между параллельными трубопроводами, прокладываемыми способом ННБ, определяется проектом и должно быть не менее 10 м.

Углы входа и выхода скважины должны соотноситься с радиусом трассировки и параметрами водной преграды. Угол входа определяется топографическими и геологическими условиями и обычно находится в интервале 8–15°.

Угол выхода скважины, должен по возможности находиться в пределах 5–8°. Монтажная схема расстановки роликовых опор и трубокладчиков должна обеспечить подачу трубопровода при его протаскивании в скважину под углом равным углу выхода пилотной скважины. Диаметр дюкера накладывает ограничения на высоту его подъема и требует обустройства насыпной дамбы. Поэтому для трубопроводов большего диаметра следует назначать меньшие значения угла выхода.

**Длину прямолинейных участков следует принимать с учетом:**

- стыковки участка ННБ со смежными участками трубопровода;
- допустимых напряжений в трубопроводе при его протаскивании.

Радиусы трассировки проектируемой скважины должны быть не менее допустимого радиуса упругого изгиба трубопровода.

**Минимальный радиус упругого изгиба трубопровода принимается:**

$$R \geq 1200 D_n,$$

$D_n$  – наружный диаметр трубопровода, м.

В практических целях следует выбирать больший радиус трассировки. Диаметр ствола скважины ( $D_c$ ) принимается в зависимости от геологических условий в пределах:

$$D_c = (1,2 \div 1,5) D_n$$

Большие значения следует принимать для рыхлых грунтов, содержащих крупные фракции и обломки породы, а также в слоистых толщах.

В проекте переходов методом ННБ через искусственные водные преграды должны учитываться технические условия гидротехнических сооружений и требования их пользователей.

При проектировании перехода в скальных породах или гравийно-галечниковых (щебенистых) грунтах с отдельными валунами или их скоплениями, для сохранности изоляционного покрытия трубопроводной плети, должен быть применен кожух на всю длину скважины, с использованием предохранительных колец-центраторов.

С учетом вышеизложенных норм и рекомендаций по проектированию подводных переходов методом ННБ, построение траектории пилотной скважины может быть выполнено с помощью программных модулей на языке VBA и VLisp для AutoCad. Основные расчетные формулы и схема траектории предоставлены на рис. 2.

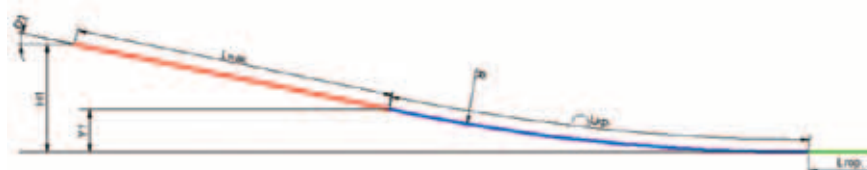


Рис. 2. Схематические параметры траектории на участке входа и расчетные формулы

$D1$  – угол входа, град;

$H1$  – разница высотных отметок по входу, м;

$Y1$  – вертикальная проекция

криволинейного участка, м;

$L_{нак.}$  – длина наклонного участка, м;

$L_{кр.}$  – длина криволинейного участка, м;

$R$  – радиус кривизны, м;

$L_{кр.} = 2\pi R D1 / 360$ ;

$Y1 = R(1 - \cos(D1))$ ;

$L_{нак.} = (H1 - Y1) / \sin(D1)$ ;

Аналогично для участка выхода.

**Один из вариантов программного кода для расчета длин и координат перехода:**

```
Const n As Single = 3.14
Dim R, L, L1, L2, L3, L4, L5, D, H1,
H2, Z1, Z2, XP1, XP2, XP3, XP4,
XP5, YP1, YP2, YP3, YP4, YP5 As
Single

Private Sub UserForm_Initialise ()
  ComboBox1.AddItem "0,426",
  ComboBox1.AddItem "0,530"
  ComboBox1.AddItem "0,720"
  ComboBox1.AddItem "0,820"
  ComboBox1.AddItem "1,020"
  ComboBox1.AddItem "1,220"
  ComboBox1.AddItem "1,420"
End Sub

Private Sub CommandButton1_Click ()
  D = (ComboBox1)
  ComboBox1 = Format (D, "Fixed")
  R = 1200 * D
  TextBox1.Value = Format (R, "000.00")
```

```
Z1 = (TextBox2.Value)
Z2 = (TextBox3.Value)
H1 = (TextBox4.Value)
H2 = (TextBox5.Value)
L2 = 2 * n * R * Z1 / 360
  TextBox6.Value = Format (L2, "000.0"),
  длина 1-го криволинейного участка
L4 = 2 * n * R * Z2 / 360
  TextBox7.Value = Format (L4, "000.0"),
  длина 2-го криволинейного участка
D1 = Z1 / 57.32
Y1 = R * (1 - Cos (D1))
S1 = Sin (D1)
L1 = (H1 - Y1) / S1
X1 = L1 * Cos(D1)
  TextBox8.Value = Format (L1, "000.0"),
  длина 1-го наклонного участка
D2 = Z2 / 57.32
Y2 = R * (1 - Cos (D2))
S2 = Sin (D2)
L5 = (H2 - Y2) / S2
X2 = L5 * Cos(D2)
```



```

    TextBox9.Value = Format (L5, "000.0"),
    длина 2-го наклонного участка
    L3=TextBox11.Value
    TextBox12=Val(TextBox11)
    TextBox12.Value=Format(L3, "000.0")
    L=L1+L2+L3+L4+L5
    TextBox10.Value = Format (L, "000.0")
    If L1<=0 Then
    TextBox10.Text = "Откорректировать
    траекторию"
    MsgBox "Отсутствует наклонный
    участок входа", vbCritical, "Необходимо
    уменьшить угол входа."
    End If
    If L5<=0 Then
    TextBox10.Text = "Откорректировать
    траекторию"
    MsgBox "Отсутствует наклонный
    участок выхода", vbCritical,
    "Необходимо уменьшить угол выхода."
    End If
    End Sub

```

```

Private Sub Label1_Click()
Label1.Caption = "Диаметр
трубопровода, м"
End Sub

```

```

Private Sub Label2_Click()
Label2.Caption = "Радиус упругого
изгиба, м"
End Sub

```

```

Private Sub Label3_Click()
Label3.Caption = "Угол входа, градус"
End Sub

```

```

Private Sub Label4_Click()
Label4.Caption = "Угол выхода, градус"
End Sub

```

```

Private Sub Label5_Click()
Label5.Caption = "Разница глубины
заложения трубопровода на
подрусловом участке"
End Sub

```

```

Private Sub Label6_Click()
Label6.Caption = "от точки входа, м"
End Sub

```

```

Private Sub Label7_Click()
Label7.Caption = "от точки выхода, м"
End Sub

```

```

Private Sub Label8_Click()
Label8.Caption = "Длина 1-го
криволинейного участка, м"
End Sub

```

```

Private Sub Label9_Click()
Label9.Caption = "Длина 2-го
криволинейного участка, м"
End Sub

```

```

Private Sub Label10_Click()

```

```

Label10.Caption = "Длина наклонного
участка входа, м"
End Sub

```

```

Private Sub Label11_Click()
Label11.Caption = "Длина наклонного
участка выхода, м"
End Sub

```

```

Private Sub Label12_Click()
Label12.Caption = "Длина перехода
по траектории, м"
End Sub

```

```

Private Sub Label13_Click()
Label13.Caption = "Длина
горизонтального участка, м"
End Sub

```

```

Private Sub Label14_Click()
Label14.Caption = "Длина
горизонтального участка, м"
End Sub

```

```

Private Sub CommandButton2_Click()
D = (ComboBox1)
ComboBox1.Text= "0,426"
TextBox1.Text="0"
TextBox2.Text="0"
TextBox3.Text="0"
TextBox4.Text="0"
TextBox5.Text="0"
TextBox6.Text="0"
TextBox7.Text="0"
TextBox8.Text="0"
TextBox9.Text="0"
TextBox10.Text="0"
TextBox11.Text="0"
TextBox12.Text="0"
End Sub

```

```

Private Sub CommandButton3_Click()
TextBox13.Text="0"
TextBox14.Text=Val(TextBox4)
TextBox4 = Format (H1, "000.0"),
координата точки входа №1
D1=Z1/57.32
X11=L1*Cos(D1)
TextBox15.Value=Format(X11, "000.0")
Y11=(R -(R*Cos(D1)))
TextBox16.Value=Format(Y11,"000.0"),
координата точки входа №2
X12=Val(TextBox15)+(R*Sin(D1))
TextBox17.Value=Format(X12, "000.0")
TextBox18.Text="0",
координата точки №3
X13=X12+L3
TextBox19.Value=Format(X13, "000.0")
TextBox20.Text="0",
координата точки №4
D2=Z2/57.32
X14=X13+(R*Sin(D2))
TextBox21.Value=Format(X14, "000.0")
Y14=(R-(R*Cos (D2))
TextBox22.Value=Format(Y14,"000.0"),

```

```

координата точки №5
X15=X14+(L5*Cos (D2))
TextBox23.Value=Format(X15, "000.0")
Y15=Y14+(L5*Sin(D2))
TextBox24.Value=Format(Y15,"000.0"),
координата точки №6
End Sub

```

```

Private Sub Label15_Click()
Label15.Caption = "точка №1"
End Sub

```

```

Private Sub Label16_Click()
Label16.Caption = "точка №2"
End Sub

```

```

Private Sub Label17_Click()
Label17.Caption = "точка №3"
End Sub

```

```

Private Sub Label18_Click()
Label18.Caption = "точка №4"
End Sub

```

```

Private Sub Label19_Click()
Label19.Caption = "точка №5"
End Sub

```

```

Private Sub Label20_Click()
Label20.Caption = "точка №6"
End Sub

```

```

Private Sub CommandButton4_Click()
TextBox13.Text="0"
TextBox14.Text="0"
TextBox15.Text="0"
TextBox16.Text="0"
TextBox17.Text="0"
TextBox18.Text="0"
TextBox19.Text="0"
TextBox20.Text="0"
TextBox21.Text="0"
TextBox22.Text="0"
TextBox23.Text="0"
TextBox24.Text="0"
End Sub

```

После набора соответствующего кода и активизации UserForm на языке VBA необходимо сформировать диалоговое окно «Расчет элементов траектории пилотной скважины», которое будет выглядеть аналогично рис. 3.

После активизации диалогового окна и загрузки исходных данных, оно будет выглядеть согласно рис. 4.

В параметре «Диаметр трубопровода, м» выбираем соответствующий диаметр стального трубопровода. Рекомендуемые значения углов входа и выхода для соответствующих диаметров трубопроводов указаны в таблице 1 и должны быть откорректированы с учетом углов стыковки с линейной частью.

**Таблица 1. Рекомендуемые углы входа-выхода для переходов выполняемых методом горизонтально-направленного бурения. Для стальных трубопроводов:**

Диаметр трубопровода, м	Угол	
	входа	выхода
	град.	
Д=1,420	9	5
Д=1,220	9–10	5
Д=1,020	10–12	6
Д=0,820	12	7
Д=0,720	12–14	8
Д=0,530	15	8

После определения глубины заложения горизонтального участка, вычисляется разница высотных отметок по входу-выходу и данные заносятся в соответствующие ячейки диалогового окна.

Нажатием кнопки “Расчет участков траектории” программа выполняет геометрический расчет элементов траектории:

- радиус упругого изгиба, м;
- длину наклонного участка входа, м;
- длину 1-го криволинейного участка, м;
- длину горизонтального участка, м;
- длину 2-го криволинейного участка, м;
- длину наклонного участка выхода, м;
- общую длину траектории, м.

Последующее нажатие кнопки “Расчет координат” позволяет выполнить расчет координат 6-ти узловых точек для интервалов от точки входа до точки выхода (№1, №2, №3, №4, №5, №6). Кнопки “Отмена” предназначены для сброса и перезагрузки соответствующего ряда данных. После расчета участков траектории и координат узловых точек диалоговые окна должны содержать информацию соответственно рис. 5 и рис. 6.

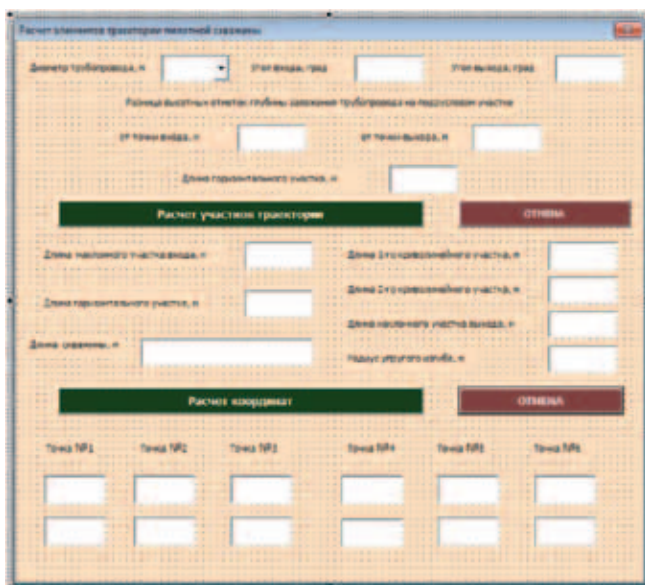


Рис. 3. Сформированное диалоговое окно на этапе окончания редактирования

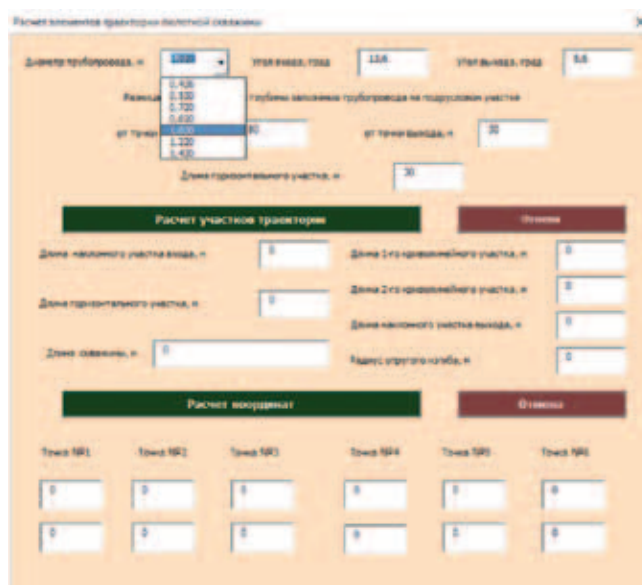


Рис. 4. Диалоговое окно после активизации и ввода исходных данных

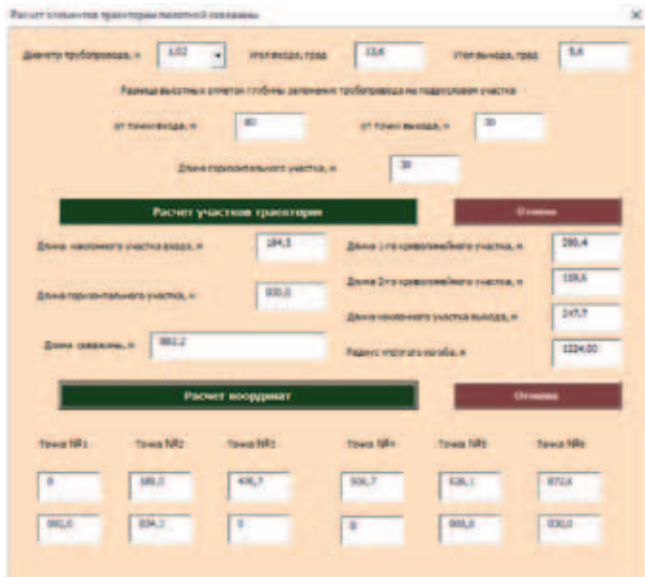


Рис. 6. Диалоговое окно после расчета координат узловых точек

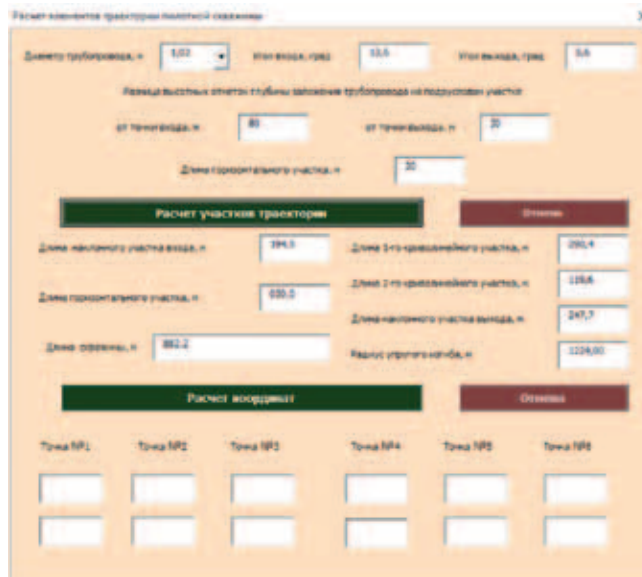


Рис. 5. Диалоговое окно после расчета участков траектории



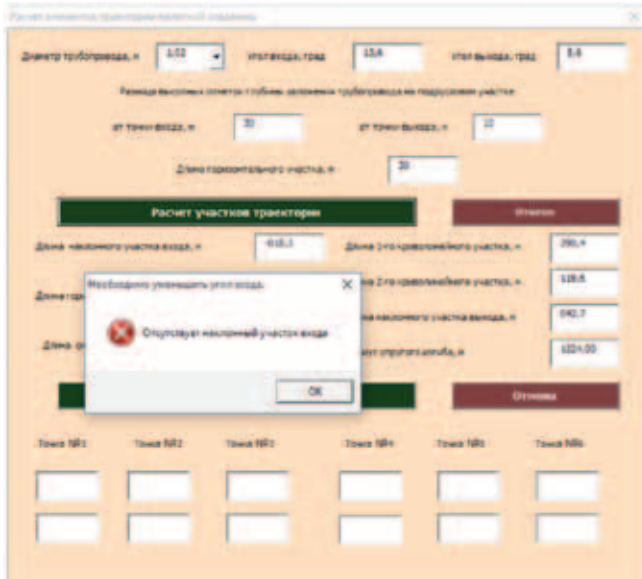


Рис. 7. Диалоговое окно с сообщением о необходимости корректировки траектории

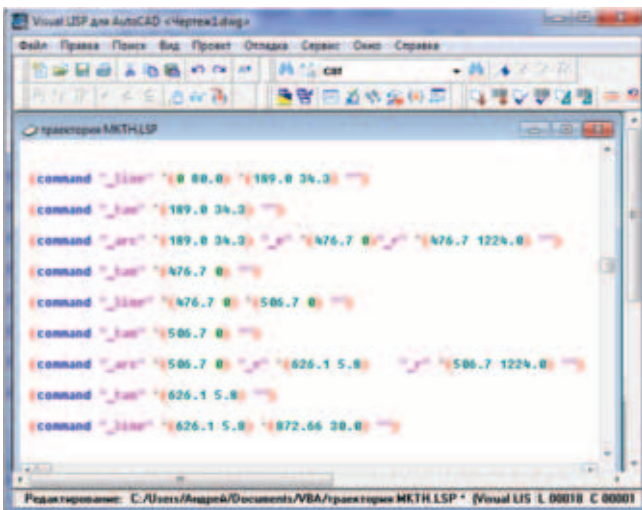


Рис. 8. Ввод программы через текстовый редактор VLisp

В случае отрицательного значения наклонного участка (на рис. 7 для участка входа) программа информирует об его отсутствии в конструкции перехода и рекомендует откорректировать траекторию – уменьшить угол входа.

Ввод программы параметрического изображения траектории пилотной скважины может быть выполнен через текстовый редактор VLisp для AutoCAD (рис. 8).

После загрузки программы и активизации AutoCAD выполняет автоматически построение траектории рис. 9 и 10.

Параметры выполненного построения должны совпадать с данными расчетов интервалов траектории и координат, выполненных в формате VBA.

Как правило, траектории скважин проектируются прямолинейными в плане, однако фактическая траектория пилотной скважины представляет собой кривую как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости. Поэтому расчет фактического радиуса кривизны скважины должен производиться с учетом зенитного и азимутального искривления по формуле [1]:

$$R = \frac{57,3\Delta l}{\delta}$$

где величина фактического приращения суммарного угла  $\delta$  определяется:

$$\delta = \sqrt{\Delta\alpha^2 + (\Delta\varphi \sin\alpha_{ср})^2}, [м], [град]$$

$\delta$  – приращение суммарного угла [град];

$\Delta\alpha$  – приращение зенитного угла [град];

$\alpha_{ср}$  – среднее значение зенитного угла искривления [град];

$\Delta\varphi$  – приращение азимутального угла [град];

$\Delta l$  – шаг замера [м].

Анализ фактических и проектных радиусов искривления может быть выполнен в формате VBA после набора соответствующего кода

Const B As Single = 57.3

Const k As Single = 1200,

*коэффициент для расчета проектного радиуса кривизны*

Dim z, h, Zcp, l, d, P, A, E, U, S As Single

Private Sub CommandButton1\_Click()

z = (TextBox1.Value)

h = (TextBox2.Value)

Zcp = (TextBox3.Value)

d = (TextBox7.Value)

Q = z ^ 2

W = (h \* Sin(Zcp)) ^ 2

R = B \* d / ((Q + W) ^ 0.5),

*формула для расчета фактического радиуса кривизны*

TextBox4.Value = Format(R, «###»)

l = (TextBox5.Value)

N = k \* l,

*формула для расчета проектного радиуса кривизны*

TextBox6.Value = Format(N, «###»)

d = (TextBox7.Value)

P = (TextBox8.Value)

If P <= 50 Then

TextBox9.Text = «1-наклонный участок–15 град.»

End If

If P > 50 Then

TextBox9.Text = «1-й криволинейный участок»

End If

If P > 230 Then

TextBox9.Text = «горизонтальный участок»

End If

If P > 260 Then

TextBox9.Text = «2-й криволинейный участок»

End If

If P > 460 Then

TextBox9.Text = «2-й наклонный участок – угол 6 град.»

End If

A = (TextBox10.Value)

E = (TextBox11.Value)

Y = 2 \* E \* Cos(A)

U = Y / (1–Sin(A)),

*теоретический предел прочности грунта на сжатие*

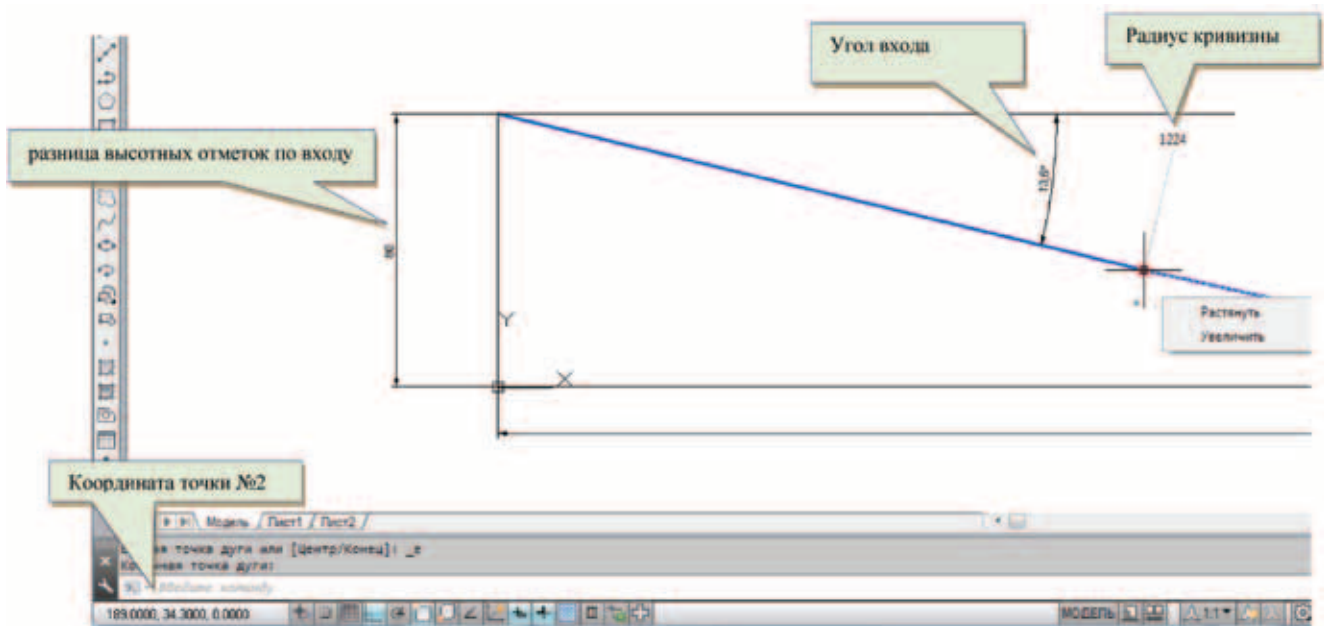


Рис. 9. Результирующее построение в AutoCAD – участок входа

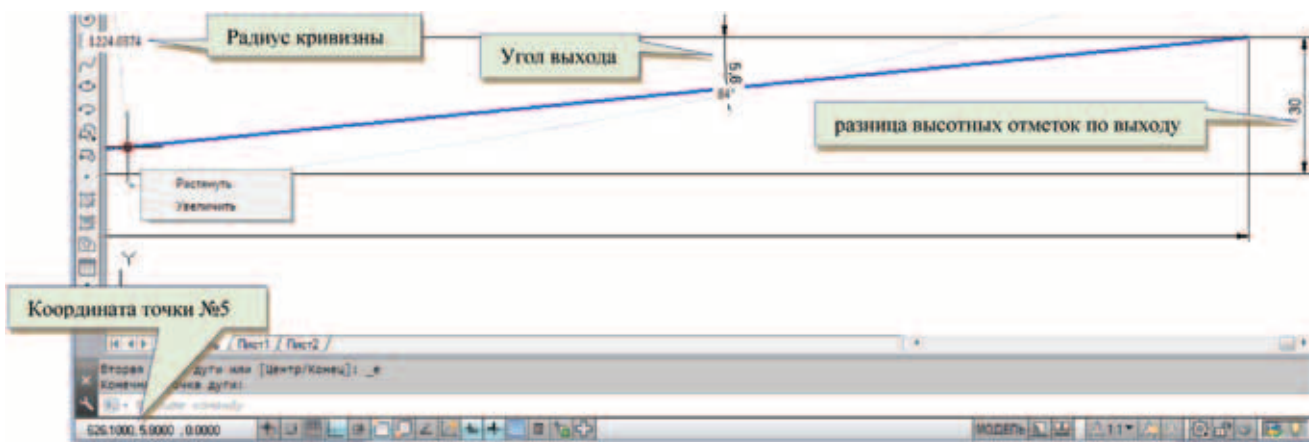


Рис. 10. Результирующее построение в AutoCAD – участок выхода

```

TextBox12.Value = Format(U, «0.000»)
S = Y / (1 + Sin(A)),
теоретический предел прочности
грунта на растяжение
TextBox13.Value = Format(S, «0.000»)
If R<N Then
MsgBox «Откорректировать
траекторию», vbCritical, «Необходимо
уменьшить интенсивность
искривления.»
End If
End Sub

Private Sub CommandButton2_Click()
TextBox1.Text = «0»
TextBox2.Text = «0»
TextBox3.Text = «0»
TextBox4.Text = «0»
TextBox5.Text = «0»

```

```

TextBox6.Text = «0»
TextBox7.Text = «0»
TextBox8.Text = «0»
TextBox9.Text = «0»
TextBox10.Text = «0»
TextBox11.Text = «0»
TextBox12.Text = «0»
TextBox13.Text = «0»
End Sub

```

```

Private Sub Label1_Click()
Label1.Caption = «Приращение
зенитного угла, м»
End Sub

```

```

Private Sub Label2_Click()
Label2.Caption = «Приращение
азимута, м»
End Sub

```

```

Private Sub Label3_Click()
Label3.Caption = «Средний зенитный
угол, радиан»
End Sub

```

```

Private Sub Label4_Click()
Label4.Caption = «Радиус
фактический, м»
End Sub

```

```

Private Sub Label5_Click()
Label5.Caption = «Диаметр
трубопровода, м»
End Sub

```

```

Private Sub Label6_Click()
Label6.Caption = «Радиус проектный, м»
End Sub

```



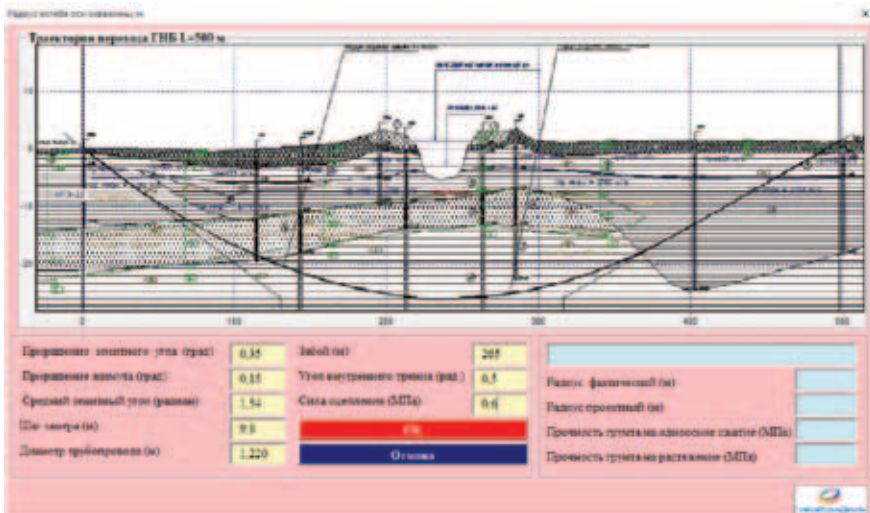


Рис. 11. Модуль "Расчет радиуса изгиба оси скважины" после активизации диалогового окна и ввода исходных данных

```
Private Sub Label7_Click()
Label7.Caption = "Шаг замера, м"
End Sub
```

```
Private Sub Label9_Click()
Label9.Caption = "Забой, м"
End Sub
```

```
Private Sub Label10_Click()
Label10.Caption = "Угол внутреннего трения, м"
```

```
Private Sub Label11_Click()
Label11.Caption = "Сила сцепления, МПа"
```

```
Private Sub Label12_Click()
Label12.Caption = "Прочность грунта на одноосное сжатие, м"
```

```
Private Sub Label13_Click()
Label13.Caption = "Прочность грунта на растяжение, м"
```

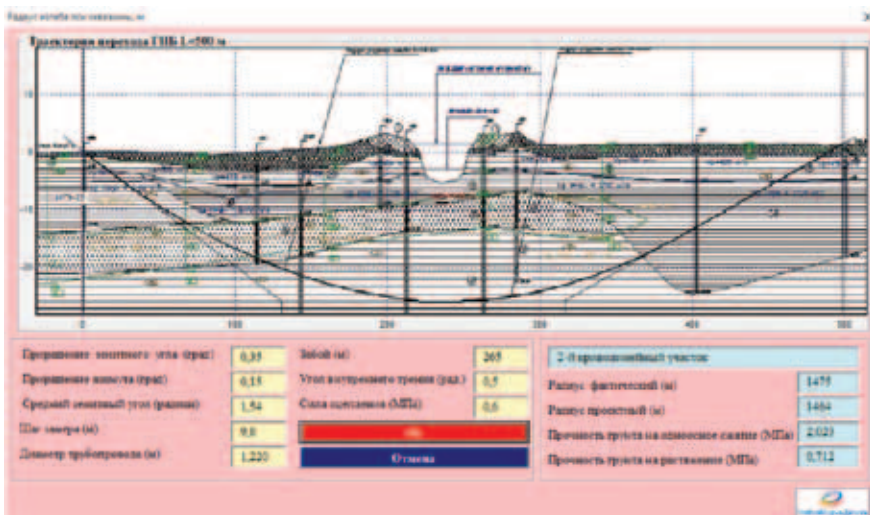


Рис. 12. Модуль "Расчет радиуса изгиба оси скважины" после обработки исходных данных

После формирования и активизации диалоговое окно будет выглядеть аналогично рис. 11. Ввод исходных данных охватывает следующие параметры:

- приращение зенитного угла, град.;
- приращение азимута, град.;
- средний зенитный угол, рад.;
- шаг замера, м;
- диаметр трубопровода, м;
- забой, м;
- угол внутреннего трения, рад.;
- сила сцепления, Мпа.

Последующее нажатие кнопки "Ok" позволяет выполнить расчет в соответствии с рис. 12.

В случае, если фактический радиус меньше проектного программа информирует через msg сообщение о необходимости корректировки траектории и рекомендация на уменьшение интенсивности искривления (рис. 13).

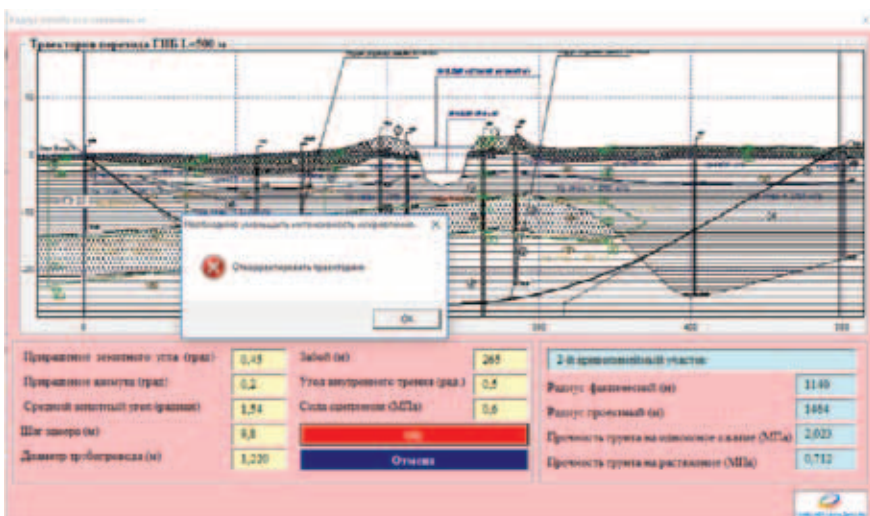


Рис. 13. Модуль "Расчет радиуса изгиба оси скважины" в случае выдачи сообщений о необходимости корректировки траектории

#### Литература:

- А. И. Булатов, Ю. М. Проселков «Решение практических задач при бурении и освоении скважин», Краснодар, «Советская Кубань», 2006. ●