

УДК 622.24

И. А. Юшков, канд. техн. наук

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, Украина

Проектирование траектории направленных дегазационных скважин при бурении из подземных горных выработок

Статья посвящена проблеме безопасного проведения подземных горных работ, которые напрямую зависят от эффективности дегазации угольных пластов. Одним из наиболее надежных способов выполнения дегазации является бурение протяженных скважин. В статье рассмотрена методика расчета профиля восстающей криволинейной скважины, пробуренной из подземной горной выработки. Исследованы особенности проектирования траектории скважины при горизонтальном залегании дегазуемого пласта, при его восстании и падении. Описан порядок определения координат произвольной точки ствола скважины, необходимый для построения профиля и плана траектории. Приводится порядок работы с расчетной программой для автоматизированного определения координат скважины.

Ключевые слова: дегазационное бурение, восстающая скважина, профиль, радиус искривления.

Наиболее серьезной проблемой при подземной разработке угольных месторождений в настоящее время является обеспечение безопасности труда шахтеров.

Для дегазации подрабатываемых угольных пластов при столбовой системе разработки применяют бурение прямолинейных восстающих скважин, направленных вверх с учетом угла разгрузки подрабатываемой толщи пород и навстречу лаве с разворотом относительно оси штрека на угол, зависящий от наличия или отсутствия целика, расстояния до лавы, скорости продвижения очистного забоя и ряда других факторов [1].

При столбовой системе разработки длинными столбами по простиранию и заблаговременному бурению скважин из горизонтальных выработок, поддерживаемых в течении всего периода отработки выемочного поля, скважины бурятся в плоскости падения или восстания пласта. Расстояние между скважинами составляет 30-40 м.

Данные схемы дегазации связаны с выполнением значительного объема буровых работ, которые по породам межпластовой толщи малопроизводительны, требуют проведения частых монтажно-демонтажных работ по перемещению буровых агрегатов, а при бурении из транспортных выработок вызывают необходимость сооружения камер на каждой точке установки станка.

Выработанное пространство может дегазироваться при помощи скважин, пробуренных по подрабатываемому пласту из специальных восстающих выработок, пройденных из откаточного или вентиляционного штреков. В данном случае осуществляется бурение веера скважин из одной буровой камеры.

На кафедре технологии и техники бурения скважин Донецкого национального технического университета проводятся исследовательские и проектно-конструкторские работы по совершенствованию методики, техники и технологии бурения дегазационных скважин из горных выработок. Результаты выполненных работ показали перспективность использования для дегазации протяженных скважин, пробуренных из выработок разрабатываемого пласта, взамен большого количества прямолинейных скважин небольших глубины [2-4].

Были рассмотрены две принципиальные технологические схемы бурения скважин:

1. Бурение плоско-искривленной дегазационной скважины (рис. 1, а). В этом случае искривление скважины происходит в вертикальной плоскости, а ее азимут постоянен и зависит только от угла разворота скважины δ относительно оси штрека при ее забурировании.

2. Бурение пространственно-искривленной дегазационной скважины (рис. 1, б). В данном случае траектория скважины включает криволинейную часть, бурируемую в межпластовых породах до входа в дегазуемый пласт, и прямолинейную, направленную в сторону выработанного пространства и бурируемую по углу параллельно горной выработке.

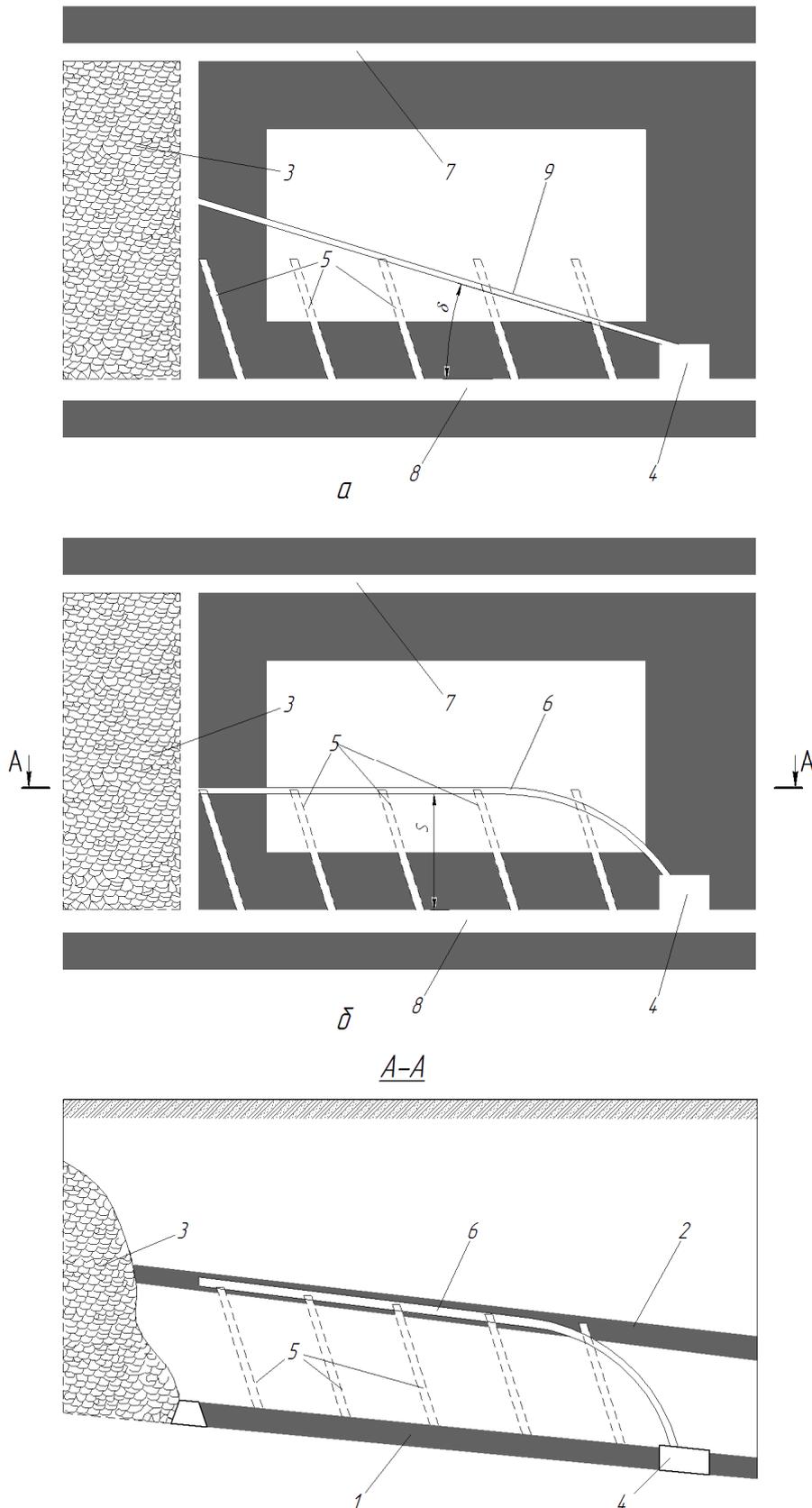


Рис. 1. Схема бурения протяженных криволинейных скважин с выходом в дегазируемый пласт
 1 – разрабатываемый пласт, 2 – дегазируемый пласт, 3 – выработанное пространство, 4 – камера размещения бурового станка, 5 – прямолинейные (заменяемые) неглубокие скважины, 6 – пространственно-искривленная скважина, 7 – вентиляционный штрек, 8 – откаточный штрек, 9 – плоско-искривленная скважина

На рис. 1 показаны также неглубокие прямолинейные скважины, заданные при обычных способах бурения для целей дегазации. Для этих скважин известны значения углов заложения, а также их длины, определяемые по существующим методикам [5, 6] и, следовательно, известна величина S отхода проекции точки входа в пласт на горизонтальную плоскость от оси штока. Следует отметить, что данная величина использована и при проектировании прямолинейного участка пространственно-искривленной дегазационной скважины.

Преимуществами как первой, так и второй рассмотренных схем являются сокращение объема бурения в целом, в том числе по твердым породам между пластами, сокращение количества монтажно-демонтажных работ и объема работ по монтажу газопроводов и др.

Успешное проведение дегазационных скважин напрямую зависит от точности расчета траектории.

Скважины, буримые из подземных горных выработок могут профилироваться по простиранию пласта при его горизонтальном залегании, по восстанию пласта и по падению пласта.

Рассмотрим проектирование траектории технически более сложной пространственно - искривленной скважины. На рис. 2 приведена схема пространственно-искривленной скважины при горизонтальном залегании пласта. Случаи строго горизонтального залегания пласта встречаются редко, но описание такой схемы является общим случаем, необходимым для дальнейшего рассмотрения частных случаев профилирования скважины.

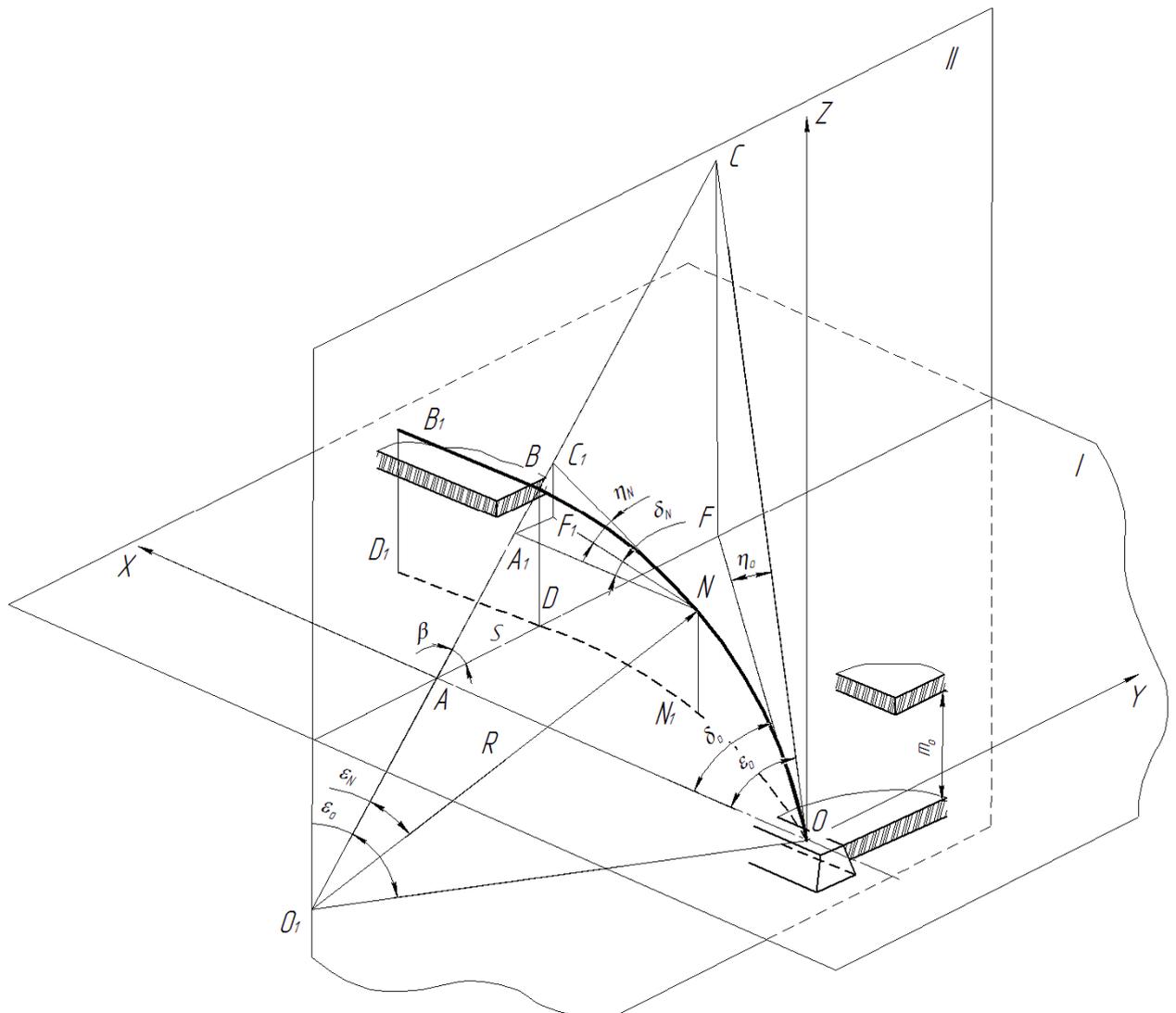


Рис. 2. Схема к расчету параметров пространственно-искривленной скважины при горизонтальном залегании пласта

Траектория пространственно-искривленной скважины представляет собой кривую, имеющую постоянную величину приращения пространственного угла искривления. Такой траекторией является дуга окружности, плоскость которой наклонена относительно вертикальной на некоторый угол. В практике геологоразведочного бурения трассы такого типа не применяются, а в нефтяном бурении применяются чрезвычайно редко в некоторых случаях вертикально-горизонтального направления скважины. Для такой трассы характерен наибольший набор азимута, соответствующий значительному углу наклона скважины.

Проектирование профиля выполняется в прямоугольной системе координат XYZ . Ось OX направлена вдоль оси штрека AO , на котором в точке O забуривается скважина для бурения по профилю дуги окружности радиуса R . Точка забуривания находится на штреке на уровне кровли разрабатываемого пласта мощностью H . Ось OY заложена в поперечном направлении к оси штрека. Ось OZ направлена по восстанию скважины. Центр O системы координат совмещен с точкой забуривания скважины.

Скважина искривляется по дуге OB окружности допустимого радиуса искривления R

$$R = O_1O = O_1B$$

В точке B скважина входит в дегазируемый пласт мощностью h , причем в точке входа скважина горизонтальна. Прямолинейный участок скважины BB_1 параллелен оси штрека OA .

На схеме обозначены горизонтальная плоскость I разрабатываемого пласта AOD , проекция криволинейной OD и прямолинейной DD_1 части оси скважины на горизонтальную плоскость, вертикальная плоскость II , в которой расположена линия O_1C . На этой линии расположены: точка A оси штрека, точка B входа скважины в дегазируемый пласт, а также вспомогательные точки A_1 (проекция произвольной точки N скважины на вертикальную плоскость) и C_1 (пересечение касательной, проведенной от произвольной точки N скважины с вертикальной плоскостью).

Плоскость дуги окружности, описываемой криволинейным участком скважины наклонена к горизонтальной плоскости под углом β . Линия OF является касательной к криволинейному участку скважины, и угол δ_0 характеризует величину разворота оси скважины от оси штрека.

Исходя из построенной схемы профиля и прямоугольного треугольника AO_1O , координаты точки входа скважины в пласт определяется как:

$$\begin{aligned} Z_B &= BD = m_0 \\ Y_B &= AD = S \\ X_B &= AO = R \sin \varepsilon_0 \end{aligned} \quad (1)$$

где m_0 - межпластовая мощность, S - расстояние от оси штрека OA до горизонтальной проекции DD_1 прямолинейного участка скважины.

Величина угла ε_0 характеризует угловую меру криволинейного участка скважины, поэтому

$$\cos \varepsilon_0 = \frac{O_1A}{R},$$

Если учесть, что

$$O_1A = O_1B - AB = R - AB,$$

то получаем из треугольника ABD :

$$\varepsilon_0 = \arccos \frac{R - \sqrt{m^2 + S^2}}{R}. \quad (2)$$

Очевидно, что угол $COA = \varepsilon_0$.

Угол наклона плоскости скважины к горизонту определяется из выражения:

$$\beta = \arctg \left(\frac{m_0}{S} \right) \quad (3)$$

Преобразования пирамиды $ACFO$ с вершиной в C , грани которой AFC и FAO являются прямоугольными треугольниками, позволяют получить угол наклона скважины при забурировании η_0 , угол разворота скважины от оси штрека δ_0 .

$$\delta_0 = \arctg(\operatorname{tg}\varepsilon_0 \cos\beta) \quad (4)$$

$$\eta_0 = \arctg(\operatorname{tg}\beta \sin\delta_0) \quad (5)$$

При проектировании профиля скважины рассчитываются текущие координаты точки N скважины, расположенной на длине l_N от устья, угол наклона η_N скважины в этой точке и разворот ее относительно оси штрека δ_N . Тогда

$$\delta_N = \arctg(\operatorname{tg}\varepsilon_N \cos\beta)$$

$$\eta_N = \arctg(\operatorname{tg}\beta \sin\delta_N)$$

Угол наклона η_N определяет азимутальное направление скважины α_c , так как азимут штрека известен

$$\alpha_c = \alpha_{ш} \pm \delta$$

где $\alpha_{ш}$ – азимут штрека. Знак «+» принимается, если скважина развернута вправо от оси штрека OA , а знак «-» при развороте влево.

Анализ геометрических построений, связанных с произвольной точкой N на оси скважины (треугольников A_1C_1N , A_1F_1N , F_1C_1N) показывает, что они аналогичны построениям для точки O , причем положение точки N зависит от величины центрального угла ε_N , который определяется как

$$\varepsilon_N = \varepsilon_0 - \left(\frac{57,3l_N}{R} \right), \quad (6)$$

где l_N – длина скважины от устья до произвольной точки N .

С учетом геометрических преобразований координаты скважины в произвольной точке N можно выразить следующим образом:

$$X_N = R(\sin\varepsilon_0 - \sin\varepsilon_N) \quad (7)$$

$$Y_N = S - R \cos\beta(1 - \cos\varepsilon_N) \quad (8)$$

$$Z_N = [S - R \cos\beta(1 - \cos\varepsilon_N)] \operatorname{tg}\beta = m_0 - R \sin\beta(1 - \cos\varepsilon_N) \quad (9)$$

Указанные выше математические выражения позволяют получить необходимые для проектирования скважины данные, на основе которых выполняется построение проекций направленной пространственно-искривленной скважины.

При системе разработки столбами по простиранию и негоризонтальном залегании пласта необходимо учитывать, что аппликата точки B не равна межпластовой мощности $Z_B \neq m_0$. В этом случае по схеме на рис. 3.

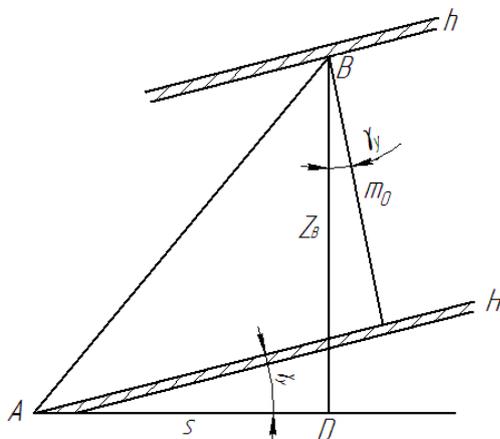


Рис. 3. Расчетная схема для определения аппликаты точки входа скважины в дегазируемый пласт

$$Z_B = \frac{m_0 + S \cdot \sin \gamma_y}{\cos \gamma_y} \quad (10)$$

где γ_y – угол падения пласта, направление восстания которого совпадает с осью OY .

С учетом этого изменяется выражения (2), (3) и (9), приняв вид:

$$\varepsilon_0 = \arccos \frac{R - \sqrt{Z_B^2 + S^2}}{R} \quad (11)$$

$$\beta = \arctg \frac{Z_B}{S} \quad (12)$$

$$Z_N = Z_B - R \sin \beta (1 - \cos \varepsilon_N) \quad (13)$$

Остальные расчетные формулы остаются без изменений.

Для системы разработки столбами по падению или восстанию пласта, дегазационная скважина должна иметь криволинейный участок и прямолинейную часть параллельную штреку и наклоненную под углом падения пласта γ_x (направление падения в данном случае совпадает с осью OX).

На рис. 4 показано положение скважины OB_1 для случая горизонтального расположения пласта и новое положение скважины OB_2B_3 , у которой прямолинейный участок наклонен под углом падения пласта.

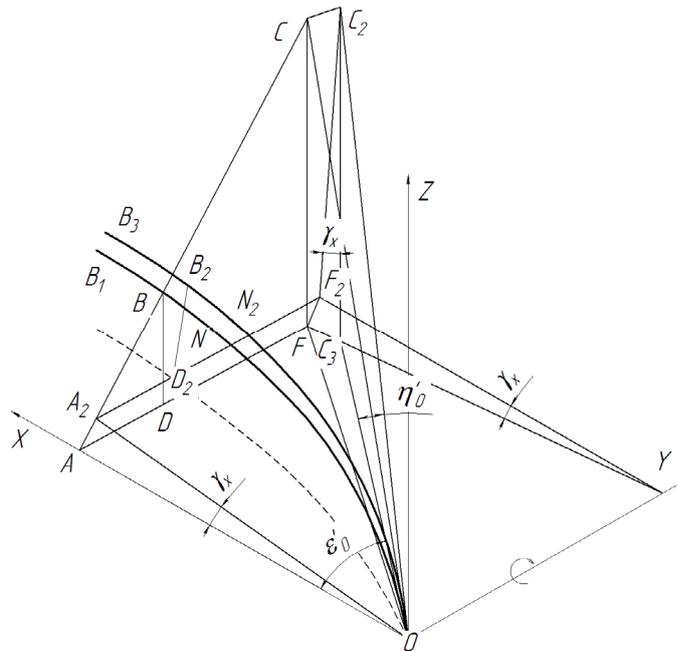


Рис. 4. Схема к расчету профиля скважины при бурении по восстанию пласта

Новое расположение соответствует ситуации, когда все элементы расчетной схемы по рис. 2 повернуты вокруг оси OY на угол падения пласта γ_x и точки A, B, C, D, F занимают положение соответственно A_2, B_2, C_2, D_2, F_2 .

Кривая OB_2 будет характеризоваться новым начальным углом наклона η_0' вместо η_0 и углом δ_0' вместо δ_0 .

Сохранятся ординаты точек Y , но изменятся абсциссы и аппликаты.

Из построений по схеме (рис. 4) после преобразований получим

$$\operatorname{tg} \delta_0' = \frac{\operatorname{tg} \varepsilon_0 \cos \beta}{\cos \gamma_x - \operatorname{tg} \varepsilon_0 \sin \beta \sin \gamma_x} \quad (14)$$

С учетом (4) угол разворота скважины от оси штрека составляет

$$\delta'_0 = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \delta_0}{\cos \gamma_X - \operatorname{tg} \varepsilon_0 \sin \beta \sin \gamma_X}$$

Анализ построений по схеме рис. 3 позволяет после преобразований получить.

$$\operatorname{tg} \eta'_0 = \frac{\sin \beta \sin \delta'_0 + \cos \beta \cos \delta'_0 \sin \gamma_X}{\cos \beta \cos \gamma_X} \quad (15)$$

Выражения (14) и (15) справедливы и для вычислений $\operatorname{tg} \delta'_n$ и $\operatorname{tg} \eta'_n$ любой точки N_2 скважины, если определить угол ε_n по выражению (6) и заменить им ε_0 в формуле (14). Для определения координат любой точки скважины используем вспомогательную схему (рис. 5)

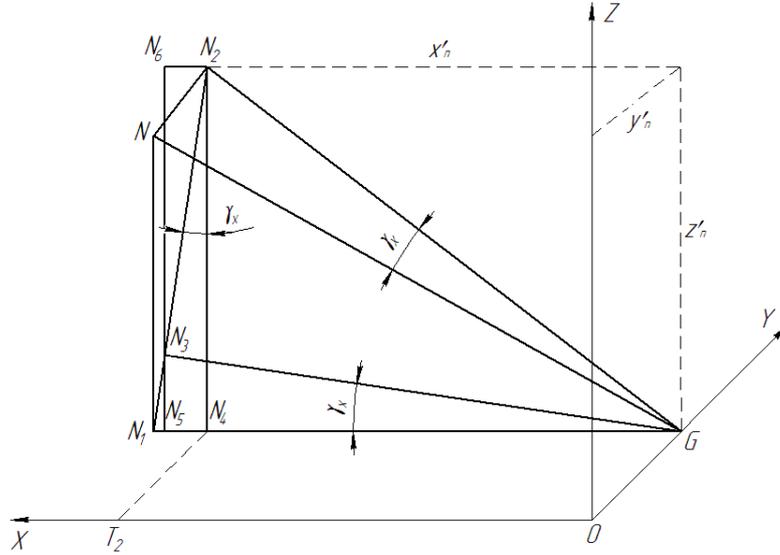


Рис. 5. Вспомогательная схема к расчету координат

Здесь абсцисса точки N_2

$$x'_n = OT_2 = N_4G$$

ордината

$$y'_n = OG$$

аппликата

$$z'_n = N_2N_4 = N_6N_5$$

Очевидно, что ордината сохраняется той же, что и у точки N . Из выражения (10) имеем

$$y'_n = S - R(1 - \cos \varepsilon_n) \cos \beta \quad (16)$$

Абсцисса точки N

$$x'_n = x_n \cos \gamma_X - z_n \sin \gamma_X \quad (17)$$

Аппликата определяется как

$$z'_n = z_n \cos \gamma_X + x_n \sin \gamma_X \quad (18)$$

Условные углы падения пласта по осям OX и OY будут определяться из выражений

$$\operatorname{tg} \gamma_x = \operatorname{tg} \gamma \cos \sigma$$

$$\operatorname{tg} \gamma_y = \operatorname{tg} \gamma \sin \sigma$$

где σ - угол между проекциями на горизонтальную плоскость оси OX и линии восстания пласта, γ - угол падения пласта.

$$\sigma = \alpha_N - 180^\circ - \alpha_x,$$

где α_N – азимут падения пласта, α_x – азимут оси OX , расположенной по штраку.

Приведенные формулы позволяют рассчитать параметры скважин с пространственно-искривленной трассой. Координаты проектных точек, проектные углы наклона и разворота от линии штрака в этих точках рассчитываются для любых интервалов длины скважины, начиная от $l_N=0$ до $l_N=l_{скв}$.

Длина скважины до входа в пласт определяется из выражения

$$l_{СКВ} = \frac{\varepsilon_0 R}{57,3} \quad (19)$$

Для упрощения процесса проектирования траектории скважины на кафедре технологии и техники бурения скважин была разработана расчетная программа, системный вид диалогового окна которой приведен на рис. 6.

Глубина скважины, м	X	Y	Z	Угол наклона	Азимут	Угол разворота
0	0,00	0,00	0,00	51,00	296,36	66,38
25	6,73	20,04	25,85	47,54	275,16	45,16
50	23,37	23,54	34,38	40,18	258,16	28,16
75	42,25	30,89	48,14	30,40	245,04	15,04
100	64,43	34,69	58,37	20,10	234,23	4,23
119	75,36	35,00	64,61	15,03	230,00	0,00

Рис. 6. Системный вид программы расчета геометрических параметров проектируемой скважины

Задавая исходные параметры заложения скважины R , m_0 , S , γ , α_x , α_N , а также принятый интервал между смежными точками можно получить расчетные координаты проектных точек траектории, проектные углы наклона, разворота от оси штрака и азимут скважины, необходимые для ориентирования отклонителя и контроля пространственного положения скважины в процессе бурения.

По рассчитанным данным можно построить проектный профиль и план скважины в координатных плоскостях XOZ и XOY . Анализ фактического положения скважины позволяет планировать и корректировать мероприятия по ее искусственному искривлению.

Выводы

1. Для повышения эффективности дегазации угольных пластов целесообразно применять протяженные пространственно - искривленные скважины, включающие криволинейную часть, буримую в межпластовых породах до входа в дегазуемый пласт, и прямолинейную, направленную в сторону выработанного пространства и буримую по углю параллельно горной выработке.
2. Пространственно-искривленный тип профиля скважины обеспечивает наибольший набор азимута при наибольшем угле наклона, а успешность проведения ее по заданной траектории зависит точности расчета координат профиля и плана.
3. Координаты, определяющие пространственное положение точки ствола зависят от угла наклона плоскости скважины к горизонту, радиуса криволинейного участка скважины, расстояния между разрабатываемым и дегазуемым пластом, угла падения пласта.

Библиографический список

1. Технология подземной разработки пластовых месторождений полезных ископаемых: Учебник для вузов / [В.И. Бондаренко, А.М. Кузьменко, Ю.Б. Грядущий и др.]. – Днепропетровск, 2002. – 730 с.
2. Разработка методов и средств для сохранения заданного направления подземных скважин из горных выработок и контроля за их положением: отчет по НИР (заключ.): Х-72-99 / рук. А. С. Юшков; исполн.: В. Ф. Грязнов, В. Н. Жизлов, Г. В. Кабищер, А. А. Терехов, В. И. Удовиченко, Н. Т. Филимоненко; ДПИ. - Донецк, 1975. - 62 с.
3. Разработка бурового инструмента и технологии направленного бурения скважин из подземных горных выработок: отчет по НИР (заключ.): Х-74-161 / рук. А. С. Юшков; исполн.: Н. С. Бабичев, В. Ф. Грязнов, Г. Б. Кабищер, А. Д. Корсаков, В. И. Удовиченко, Н. Т. Филимоненко; ДПИ. – Донецк, 1977. - 172 с.
4. Разработка теоретических основ и технических предложений по усовершенствованию основных процессов сооружения скважин в Донбассе: отчет по НИР (заключ.): Н-25-95 / рук. О.И. Калиниченко; исполн.: А.А. Каракозов, А.С. Юшков, В.И. Пилипец и др.; ДонГТУ. – Донецк, 2000. - 168 с.
5. Юшков А. С. Проектирование криволинейных восстающих скважин сложного профиля: реф. карты / А. С. Юшков. – М.: ЦНИЭИуголь, 1979. – 18 с. – (Вып.10 (118). - №835. - Деп. в ЦНИЭИуголь, № 1527).
6. Юшков И. А. Проектирование траектории направленных скважин и разработка конструкции многофункционального бурового комплекса для бурения из горных выработок / И. А. Юшков, А. Е. Петраков // Научный вестник МГТУ. – 2013. - № 9 (42). - С. 62-73.

Надійшла до редакції 14.08.2013

I. O. Yushkov

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, Україна

Проектування траєкторії спрямованих дегазаційних свердловин при бурінні із підземних гірничих виробок

Стаття присвячена проблемі безпечного проведення підземних гірських робіт, які безпосередньо залежать від ефективності дегазації вугільних пластів. Одним з найбільш надійних способів виконання дегазації є буріння довгих свердловин. У статті розглянуто методику розрахунку профілю криволинійної свердловини, що повстає, пробуреної з підземної гірничої виробки. Досліджено особливості проектування траєкторії свердловини при горизонтальному заляганні пласта, що дегазується, при його піднятті та падінні. Описано порядок визначення координат довільної точки стовбура свердловини, необхідних для побудови профілю і плану траєкторії. Наводиться порядок роботи з розрахунковою програмою для автоматизованого визначення координат свердловини.

Ключові слова: дегазаційне буріння, свердловина, що повстає, профіль, радіус викривлення.

I. Yushkov

Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine

Trajectory planning for directional degassing borehole for drilling from underground mining workings

The article is devoted to the problem of safe underground mining works, which depend directly on the efficiency of decontamination of coal layers. One of the most reliable ways to complete degassing is drilling extended wells. In this article the method of calculation of the profile of the insurgent curvilinear wells drilled from underground mining development is considered. The way of determining the coordinates of an arbitrary point of the wellbore required to build the profile and trajectory plan is described. The procedure of working with automated calculation program for determining the coordinates of the well is considered.

Keywords: underground drilling, rising well, profile, curvature radius.