

УДК 531.746

Я. И. БИНДЕР, А. Е. ЕЛИСЕЕНКОВ, А. С. ЛЫСЕНКО, В. Г. РОЗЕНЦВЕЙН

МОБИЛЬНАЯ ИНКЛИНОМЕТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОЙ СЪЕМКИ И СОВМЕСТНОЙ ПРИВЯЗКИ ТРАЕКТОРИЙ СТВОЛОВ ГРУППЫ СКВАЖИН ПОДЗЕМНОЙ ВЫРАБОТКИ

Рассматривается структура мобильной инклинометрической станции, выполняющей непрерывную инклинометрическую съемку взаимного положения траекторий стволов группы скважин подземной выработки, и ее алгоритмическое и программное обеспечение. Анализируются новые технические решения, полученные при создании станции. Приводятся результаты испытаний станции в условиях рудных выработок.

Введение

Открытие взрывных методов разрушения пород произвело революцию в горном деле и увеличило возможности горного производства в тысячи раз. Разрушение пород с помощью энергии взрыва является универсальным и практически единственным высокоэффективным способом подготовки скальных горных пород к выемке. Процесс дробления горной породы зависит от большого количества факторов, связанных как со свойствами источника разрушающей энергии и самой разрушаемой среды, так и с геометрией расположения зарядов во взрываемом массиве.

Ключевым фактором, определяющим производительность труда горняков, и, что еще более важно, его безопасность, является правильный выбор места закладки зарядов, который требует точного знания взаимного расположения траекторий стволов взрывных скважин, для обеспечения дробления породы до необходимых размеров. В противном случае при отсутствии информации о положении истинных траекторий этих скважин приходится проводить дополнительные буровзрывные работы в очень опасных условиях рудных завалов [1].

Следует отметить, что решить эту задачу напрямую с помощью имеющейся аппаратуры до сих пор не удавалось ни в России, ни за рубежом, хотя ее актуальность и исчисляется, по крайней мере, уже двумя десятилетиями [2, 3]. Это обусловлено рядом причин:

- близостью траекторий взрывных скважин к вертикали;
- ограниченностью длины скважин (не более 100 м);
- необходимостью обеспечения высокой производительности съемки траекторий группы близко расположенных скважин (не менее 20 скважин в смену) и их взаимной геодезической привязки;

Биндер Яков Исаакович. Кандидат технических наук, главный конструктор по направлению ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» (С.-Петербург). Действительный член Академии навигации и управления движением.

Елисеенков Александр Евгеньевич. Кандидат технических наук, старший научный сотрудник ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

Лысенко Алексей Сергеевич. Инженер 2 категории ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

Розенцвейн Владимир Георгиевич. Кандидат технических наук, начальник группы ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

существенными массогабаритными ограничениями аппаратуры, определяемыми удаленностью до 3000 м горных выработок от шахтных стволов, отсутствием возможности транспортной доставки аппаратуры и ограниченным пространством места проведения работ;

необходимостью обеспечения минимального воздействия магнитных полей на аппаратуру, а также автономности аппаратуры из-за отсутствия электропитания в большинстве горных выработок.

Известно, что для решения вышеизложенной задачи ранее использовался инклинометр ИЭМ-Ш (Шахтный), который предназначался для многоточечных измерений зенитного угла и магнитного азимута буровых скважин диаметром 42 мм и более, бурящихся из подземных горных выработок в условиях немагнитной окружающей среды. Использование такого прибора при разработке полиметаллических руд невозможно.

Имеется на рынке и непрерывный гироинклинометр (ГИ) ИГН-100/80, но его массогабаритные характеристики (масса 30 кг, Ø73 мм, длина 2600 мм) затрудняют использование прибора. При этом данный инклинометр имеет крайне низкую производительность при работе на коротких скважинах, учитывая требуемое время начальной выставки (30-40 мин) [3].

Единственные зарубежные разработчики непрерывного ГИ малого диаметра (Gyrodara, USA) применяют его только на участках ствола с зенитными углами $\theta \geq 15^\circ$. На более близких к вертикали участках, куда укладываются практически все горные выработки, используют режим малопроизводительного точечного компасирования [6].

В данной работе обсуждается опыт распространения в область добычи твердых полезных ископаемых нефтегазового hi-tech-метода непрерывной гироинклинометрической съемки и построения мобильной инклинометрической станции, обеспечивающей эту съемку.

Предлагаемые решения задачи

Накопленный за последние годы опыт при создании и выведении на рынок всезенитного, непрерывного гироинклинометра УГИ 42.03 позволил специалистам ОАО «Электромеханика» совместно с разработчиками ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» провести разработку мобильной инклинометрической станции (МИС) для высокопроизводительной оперативной привязки траекторий группы скважин в подземных выработках при добыче железной руды.

В состав МИС вошло следующее оборудование (рис. 1): автономный скважинный прибор (СП) с центраторами, наземный прибор (НП) со встроенным компьютером (БК), спускоподъемное устройство с датчиком глубины, устройство для геодезической привязки устьев скважин.

В ходе разработки МИС был предложен и успешно реализован целый комплекс новых алгоритмических, программных, схемно-конструктивных решений, среди которых разработка автономного СП (рис. 2); использование беспроводного канала связи между СП и НП; создание малогабаритного спускоподъемного устройства с функциями каротажной лебедки, базирующейся на устье скважины; разработка единого программно-аппаратного комплекса, позволяющего оперативно обрабатывать данные непрерывных инклинометрических измерений и производить взаимную привязку группы скважин; разработка алгоритмов анализа измерений при спуске и подъеме СП, выбирающих наиболее

приемлемый расчет траектории в зависимости от динамики прохождения ствола и характеристик скважины.

За основу МИС был взят скважинный модуль ориентации УГИ-42.03 [2]. Уменьшение массогабаритных характеристик СП (см. рис. 2) произведено за счет разработки нового модуля связи – модуля питания и телеметрии, – обеспечивающего обмен информацией между СП и НП (УГИ-42.03: длина 1900 мм, масса 9 кг; СП МИС: длина 1690 мм, масса 6 кг).

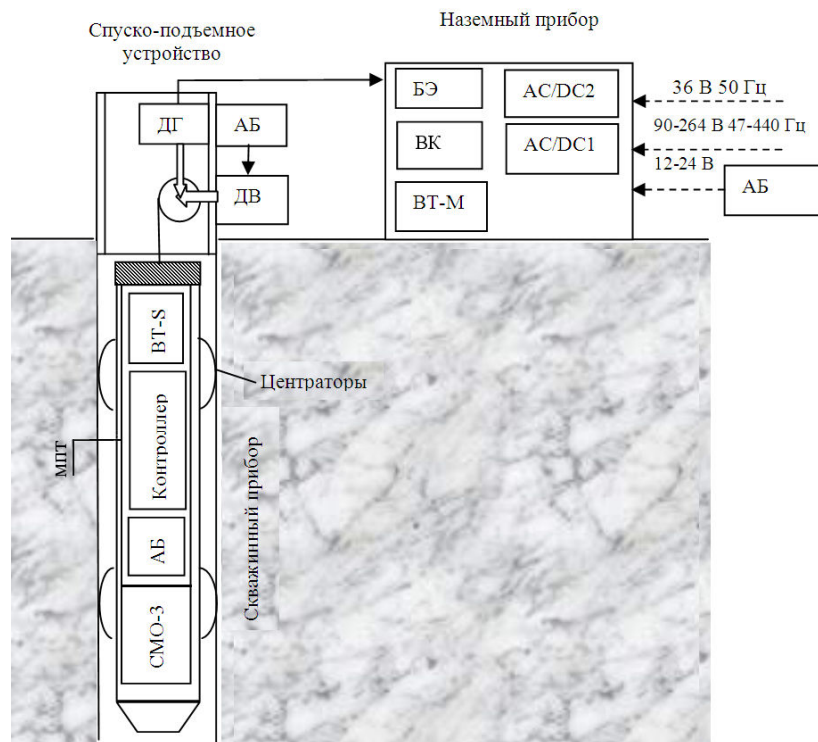


Рис. 1. Мобильная инклинометрическая станция:

АБ – аккумуляторная батарея; ВТ-М – Bluetooth master; ВТ-S – Bluetooth slave; БЭ – блок электроники; ДВ – двигатель; ДГ – датчик глубины; МПТ – модуль питания и телеметрии; ВК – встроенный компьютер; АС/DC – конвертор переменного напряжения в постоянное; СМО-3 – скважинный модуль ориентации



Рис. 2. Скважинный прибор МИС-42.80

Отличительные особенности модуля питания и телеметрии – автономное питание и беспроводная связь с НП по каналу Bluetooth – позволили исключить из состава МИС грузонесущий кабель, обладающий повышенными весовыми характеристиками, заменив его на фал, совмещающий в себе максимальные разрывные нагрузки, практически нулевое удлинение под нагрузкой и минимальные диаметр и массу; повысить технологичность съемки траекторий скважин, операций по их привязке и определению ориентации местной системы координат относительно географической; повысить надежность СП и спускоподъемного устройства.

В целях уменьшения массогабаритных характеристик МИС было разработано специальное спускоподъемное устройство с датчиком глубины. Особенности такого устройства – базирование непосредственно на устье скважины (см. рис. 1) и автономное аккумуляторное питание с быстросъемными батареями.

Принципиальной особенностью МИС является обеспечение съемки траекторий групп скважин, для чего в ее состав введено устройство геодезической привязки устьев скважин и разработано специальное алгоритмическое и программное обеспечение (ПО), состоящее из трех программ с различными функциями, но идеологически связанных в единое целое. Это программы привязки скважин, работы с инклинометром и постобработки результатов измерений.

Привязка устьев скважин производится методом триангуляции [4]. Для этого выбираются две базовые скважины и производятся замеры расстояний между осями базовых и остальных скважин (рис. 3), физически реализуемых с помощью СП со светоотражающей пластиной и центрирующего устройства с дальномером.

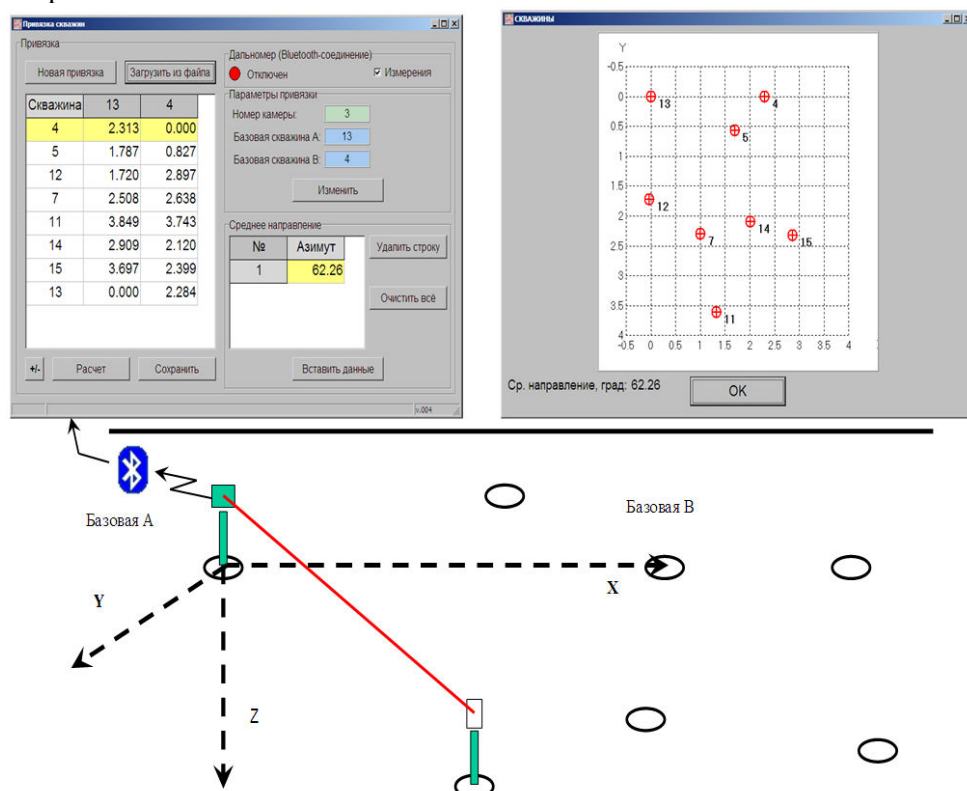


Рис. 3. Привязка устьев скважин

Информация о расстояниях между скважинами автоматически заносится по каналу Bluetooth в НП. По полученным измерениям определяются координаты всех скважин в прямоугольной системе координат, одна из осей которой соединяет устья базовых скважин, а другая направлена вертикально вниз, и строится план их расположения (см. рис. 3). Затем с помощью точечного гироскопирования осуществляется привязка местной системы координат к географической.

Управление работой гироскопа осуществляется программой, позволяющей производить как точечные измерения (каждое измерение производится

за 3 мин), так и непрерывную съемку (спуск и подъем СП в скважине длиной 100 м осуществляется за 6 мин). При непрерывной съемке на устье скважины в течение 6 мин производится определение начальной ориентации СП по командам, поступающим с НП по каналу Bluetooth. При работе СП в скважине связь с прибором прерывается, и все измерения производятся автономно с записью во флэш-память. После возврата прибора на устье связь восстанавливается, и осуществляется завершение измерений и считывание записанных данных.

Алгоритмическое обеспечение станции

Для МИС разработаны алгоритмы и ПО, повышающие точность полученных результатов и решающие следующие задачи: контроль динамики движения СП; сведение траекторий при измерениях на спуске и подъеме; выбор алгоритма расчета траектории.

В СП установлены три типа чувствительных элементов: динамически настраиваемый гироскопический чувствительный элемент (ЧЭ) (ω_x , ω_y), микромеханический гироскоп (ω_z) и триада микромеханических акселерометров (n_x , n_y , n_z), что позволяет с учетом съемок траектории на спуске и подъеме комплексировать полученные измерения [2].

В процессе работы над МИС были проведены экспериментальные исследования по динамике движения СП. При этом выявлено значительное превышение допустимых динамических диапазонов чувствительных элементов. На рис. 4 построены графики, отражающие процент превышения пороговых величин выходных параметров гироскопического ЧЭ в зависимости от типа центраторов и скорости движения СП в одном из экспериментов.

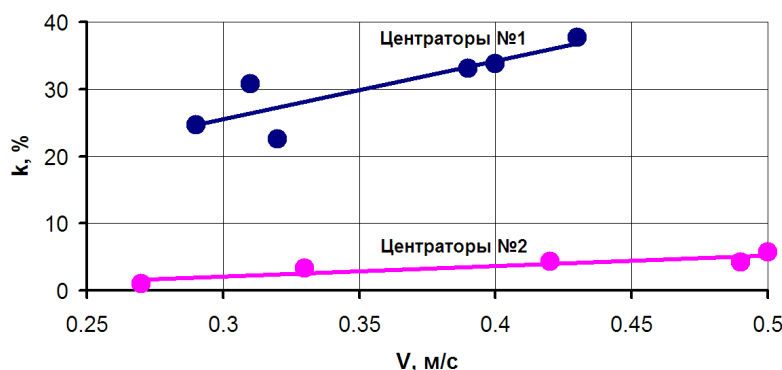


Рис. 4. Характеристики динамики движения скважинного снаряда:
 k – процент превышения пороговых значений выходных значений гироскопического чувствительного элемента

На основании проведенных исследований разработаны специальные центраторы (см. рис. 2) и выбрана оптимальная скорость движения СП, существенно уменьшающие динамику движения.

Осуществляется анализ динамики при каждом считывании данных, записанных во флэш-память прибора, что позволяет отдать предпочтение тем или иным алгоритмам обработки полученных данных.

Так как во флэш-память СП записываются данные спуска и подъема, то при расчете по данным подъема уточняются данные на спуске, при этом учитывается, что ошибки определения угла азимута, а также координат ствола скважины, растут с течением времени.

Расчет траектории и ориентации скважины производится параллельно по трем алгоритмам [5].

А л г о р и т м № 1. Представлен выражениями (1)–(6) и структурой, изображенной на рис. 5.

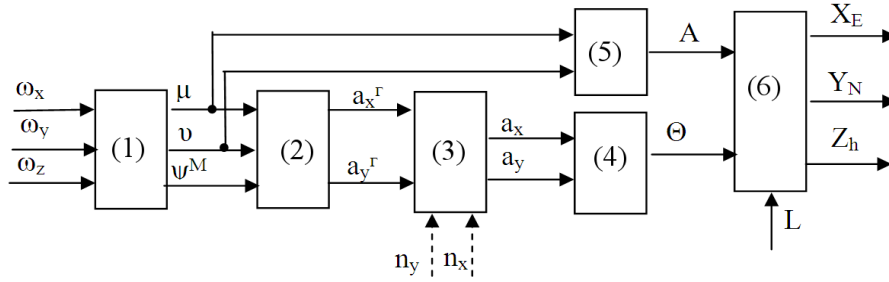


Рис. 5. Структура алгоритма № 1

При его применении используются измерения угловых скоростей СП ω_x , ω_y , ω_z (рис. 5), на основании которых составляются уравнения, известные из теоретической механики как уравнения Пуассона (1).

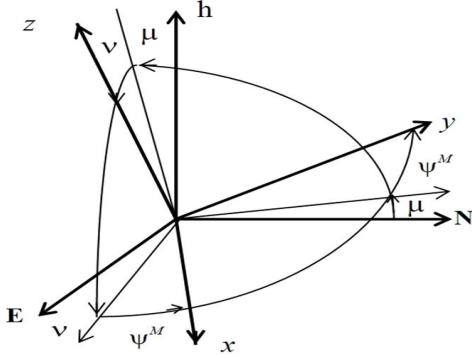


Рис. 6. Параметры ориентации для участков стволов, близких к вертикали

Для описания ориентации стволов скважин, близких к вертикали, использовались угловые параметры μ , v , задающие положение оси Z скважины относительно плоскости горизонта, и угол ψ^M поворота корпуса СП относительно плоскости меридиана (рис. 6), позволяющие избежать появления “особых точек” в алгоритмах интегрирования:

$$\begin{cases} \mu = \int \frac{[\Omega_z \sin v \sin(\varphi - \mu) + \omega_x \cos \psi^M - \omega_y \sin \psi^M]}{\cos v} dt; \\ v = \int (-\Omega_z \cos(\varphi - \mu) + \omega_x \sin \psi^M + \omega_y \cos \psi^M) dt; \\ \psi^M = \int (\omega_z + (\omega_y \sin \psi^M - \omega_x \cos \psi^M) \operatorname{tg} v - \frac{\Omega_z \sin(\varphi - \mu)}{\cos v}) dt; \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} a_x^\Gamma = \sin \mu \sin \psi^M - \cos \mu \sin v \cos \psi^M; \\ a_y^\Gamma = \sin \mu \cos \psi^M + \cos \mu \sin v \sin \psi^M; \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} a_x = a_x^\Gamma - \Phi(a_x^\Gamma - n_x); \\ a_y = a_y^\Gamma - \Phi(a_y^\Gamma - n_y); \end{cases} \quad (3)$$

$$\theta = \arcsin \sqrt{a_x^2 + a_y^2}; \quad (4)$$

$$A = \arctg \frac{\sin v}{\cos v \cos \mu}; \quad (5)$$

$$\begin{cases} X_E = -\int \sin \theta \sin A dL; \\ Y_N = -\int \sin \theta \cos A dL; \\ Z_h = \int \cos \theta dL, \end{cases} \quad (6)$$

где A, θ, ψ^M – азимут, зенитный угол и угол поворота корпуса СП вокруг оси OZ ; Π_x, Π_y, Π_z – составляющие вектора $\vec{\omega}$ абсолютной угловой скорости вращения трехгранника XUY , измеряемые гироскопическими датчиками; Ω_3 – угловая скорость вращения Земли; φ – широта места расположения прибора; a_x^r, a_y^r – значения проекций относительного ускорения силы тяжести на оси системы координат, связанной со скважинным прибором, рассчитанные по данным гироскопического ЧЭ; n_x, n_y – значения относительных кажущихся ускорений скважинного прибора, полученные с помощью акселерометров; X_E, Y_N, Z_h – координаты ствола скважины в географической системе координат; L – длина скважины.

Вследствие того что значение ω_z , получаемое от микромеханического гироскопа, имеет невысокую точность (существенно меньшую, чем точности ω_x и ω_y), на устье и забое скважины проводится коррекция показаний гироскопа на 10-секундных остановках, аналогичная зурт-коррекции, а также осуществляется фильтрационная процедура (3), базирующаяся на измерениях относительных кажущихся ускорений скважинного прибора n_x и n_y .

Данный алгоритм используется на зенитных углах $< 1.2^\circ$, поскольку в данном диапазоне зенитных углов использование показаний акселерометрических датчиков, измеряющих горизонтальные составляющие n_x и n_y , в силу их больших погрешностей, кроме как для фильтрационной процедуры, невозможно.

А л г о р и т м № 2. Представлен выражениями (6)–(11) и структурой, изображенной на рис. 7.

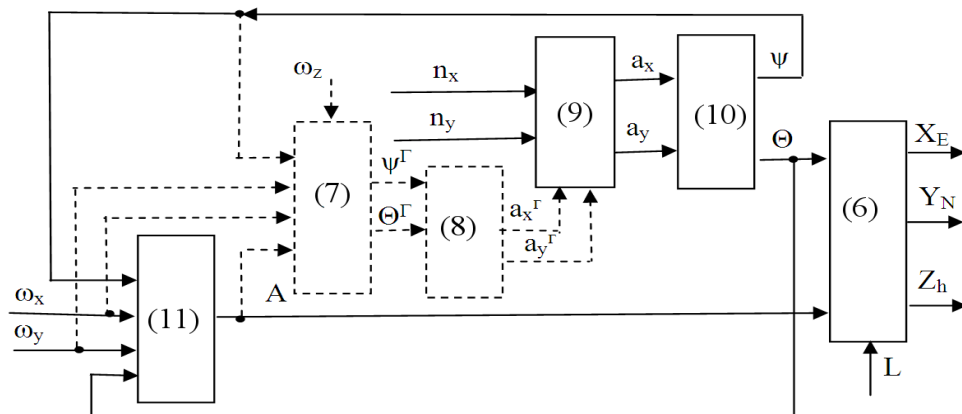


Рис. 7. Структура алгоритма № 2

При его применении используются измерения ω_x и ω_y (для определения азимута). При этом зенитный угол и угол отклонителя вычисляются по относительным показаниям акселерометров n_x и n_y (см. рис. 7). Данный алгоритм используется на зенитных углах, превышающих 1,2 градуса:

$$\begin{cases} \psi^2 = \int [\omega_z + \frac{\Omega_3 \cos \varphi \cos A - \cos \theta (\omega_x \sin \psi + \omega_y \cos \psi)}{\sin \theta}] dt; \\ \theta^2 = \int (\Omega_3 \cos \varphi \sin A + \omega_x \cos \psi - \omega_y \sin \psi) dt; \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} a_x^r = \sin \theta^r \sin \psi^r; \\ a_y^r = \sin \theta^r \cos \psi^r; \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} a_x = n_x - \Phi(n_x - a_x^r); \\ a_y = n_y - \Phi(n_y - a_y^r); \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} \theta = \arcsin \sqrt{a_x^2 + a_y^2}; \\ \psi = \arctg \frac{a_x}{a_y}; \end{cases} \quad (10)$$

$$A = \int (\Omega_3 \sin \varphi + \Omega_3 \cos \varphi \cos A \operatorname{ctg} \theta - \omega_x \frac{\sin \psi}{\sin \theta} - \omega_y \frac{\cos \psi}{\sin \theta}) dt, \quad (11)$$

где ψ^r и θ^r – значения угла отклонителя и зенитного угла, полученные по гироскопическим данным; ψ – значения угла отклонителя, полученные по данным акселерометров.

Измерения ω_z используются только для вычисления проекций относительных ускорений силы тяжести на оси приборной системы координат на основе гироскопических измерений ω_x и ω_y для осуществления фильтрационной процедуры (9).

Алгоритмы 1 и 2 применяются при условии отсутствия превышений динамического диапазона ω_x и ω_y .

А л г о р и т м № 3. Представлен выражениями (12)–(14) и структурой, изображенной на рис. 8.

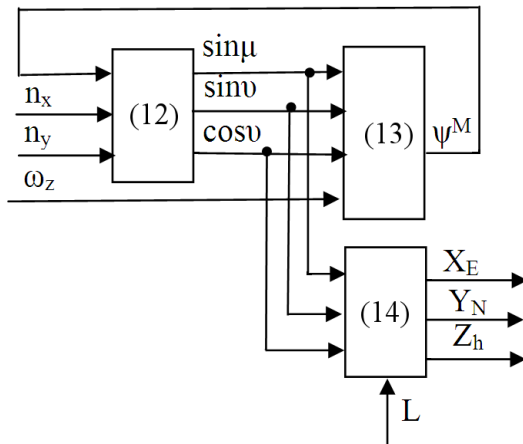


Рис. 8. Структура алгоритма № 3

В этом алгоритме используются измерения ω_z и n_x , n_y – ускорения СП, полученные по данным акселерометров. Применение алгоритма базируется на том, что параметры большинства взрывных скважин таковы, что азимут угла отклонителя вычисляется интегрированием ω_z . Тогда искомые параметры ориентации могут быть вычислены простым перепроектированием относительных показаний акселерометров n_x и n_y на соответствующие плоскости. Принципиальным явля-

ется то, что в данном алгоритме не используются показания гироскопического ЧЭ с упругим подвесом.

Данный алгоритм имеет меньшую точность, чем два предыдущих, и используется в случае превышений динамического диапазона ω_x и ω_y , тем не менее возможности третьего алгоритма удовлетворяют требуемой точности. Этот алгоритм можно применять в коротких скважинах с малой интенсивностью отклонения ее ствола от вертикали ($\dot{\mu} \approx 0$, изменение зенитного угла по всей длине скважины не должно превышать нескольких градусов):

$$\begin{cases} \sin \mu = n_x \sin \psi^M + n_y \cos \psi^M; \\ \sin v = \frac{n_y \sin \psi^M - n_x \cos \psi^M}{\sqrt{1 - \sin^2 \mu}}; \\ \cos v = \sqrt{1 - \sin^2 v}; \end{cases} \quad (12)$$

$$\psi^M = \int [\omega_z - \Omega_z \sin(\phi - \mu) \cos v] dt; \quad (13)$$

$$\begin{cases} X_E = \int \sin v dL; \\ Y_N = -\int \cos v \sin \mu dL; \\ Z_h = \int \cos v \cos \mu dL. \end{cases} \quad (14)$$

При проведении работ из числа приведенных выбирается алгоритм, обеспечивающий минимальную невязку по координатам для прямого и обратного хода. Для определения невязки вычисляется интегральный критерий (15), характеризующий степень различия траекторий на спуске и подъеме

$$I = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2), \quad (15)$$

где n – количество точек, для которых вычисляется критерий;

$$\Delta x_i = x_{\text{спуск}}(L_i) - x_{\text{подъем}}(L_i), \quad \Delta y_i = y_{\text{спуск}}(L_i) - y_{\text{подъем}}(L_i),$$

где $x_{\text{спуск}}(L_i)$, $x_{\text{подъем}}(L_i)$, $y_{\text{спуск}}(L_i)$, $y_{\text{подъем}}(L_i)$ – координаты, соответствующие глубине L_i .

На рис. 9 приведен пример зависимости координаты X скважины от глубины на спуске и подъеме скважинного прибора, вычисленной по первому алгоритму.

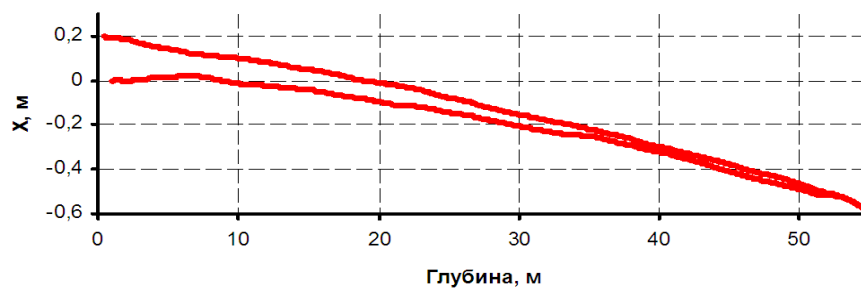


Рис. 9. Зависимость координаты X скважины от глубины на спуске и подъеме

Зависимость для других алгоритмов имеет аналогичный характер. В итоге выбирается алгоритм с минимальным значением интегрального критерия.

По результатам съемки траекторий группы скважин и проведенной постобработки полученных данных для потребителя выдается отчет, содержащий информацию о времени и месте проведения съемки, о взаимном расположении устьев скважин, о координатах траекторий срезов скважин с заранее выбранным шагом. Приводятся проекции траекторий скважин на горизонтальную плоскость (рис. 10) и расстояния между забоями скважин. Кроме того, ПО постобработки измеренных данных позволяет построить различные варианты зависимостей тех или иных параметров скважин от времени, глубины и т. д.

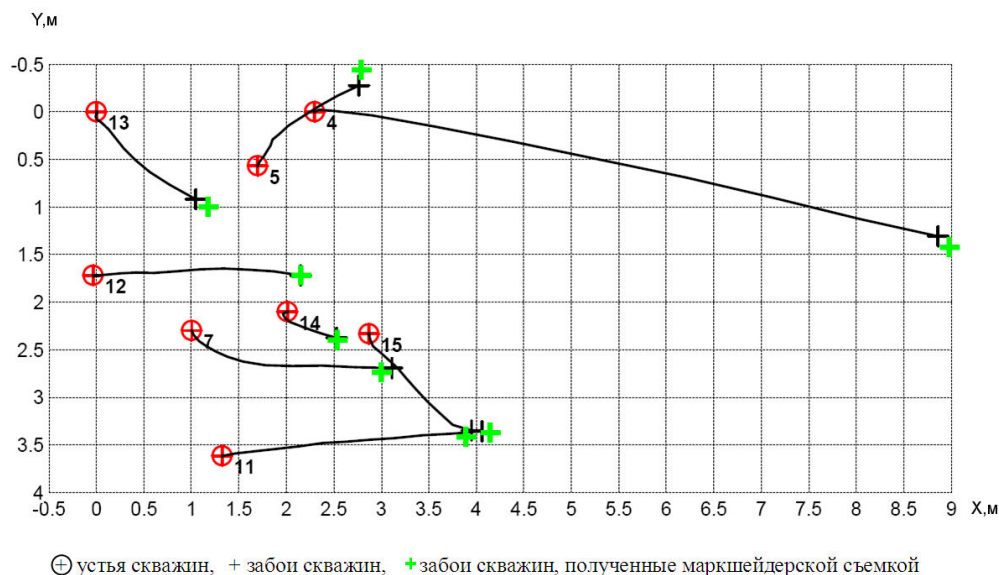


Рис. 10. Проекция траекторий скважин на горизонтальную плоскость

Мобильная инклинометрическая станция МИС-42.80 прошла многократные испытания в шахте рудника им. Губкина Курской магнитной аномалии в Белгородской области (рис. 11), при этом полученные результаты испытаний подтвердили не только работоспособность станции, но и ее заявленные точностные характеристики (0.5% от длины скважины).

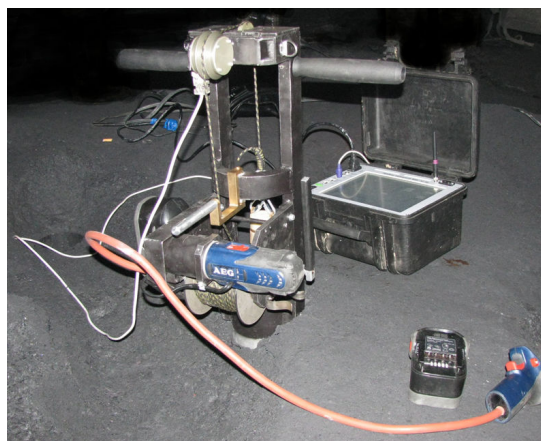


Рис. 11. Мобильная инклинометрическая станция в процессе работы

Результаты испытаний приведены на рис. 10 и в таблице. Измерения проводились на глубине 320 м на подрезанных скважинах на глубине 370 м. Сравнительный анализ координат скважин, полученных путем измерений с использованием МИСС и маркшейдерской съемки, показал максимальную невязку 17 см, т.е. относительную погрешность 0.34% от длины скважины.

Номер скважины	Координаты забоев скважин, м				Погрешности определения координат забоев, м	
	измеренные		контрольные			
	X	Y	X	Y	ΔX	ΔY
4	8.86	1.31	9.00	1.43	-0.14	-0.12
5	2.76	-0.28	2.80	-0.45	-0.04	0.17
7	3.11	2.69	3.00	2.75	0.11	-0.06
11	4.06	3.36	4.15	3.35	-0.09	0.01
12	2.15	1.72	2.14	1.72	0.01	0.00
13	1.04	0.92	1.15	1.00	-0.11	-0.08
14	2.53	2.37	2.53	2.37	0.00	0.00
15	3.95	3.35	3.90	3.40	0.05	-0.05

В настоящее время инклинометрическая станция находится в опытной эксплуатации в шахтах рудника им. Губкина.

Проведенный анализ результатов испытаний и опытной эксплуатации показал, что дальнейшее уменьшение массогабаритных характеристик и энергопотребления станции, повышение ее производительности и надежности возможны за счет внедрения упрощенной выставки СП перед измерениями (не более 3 мин вместо 6, требуемых для определения начальной ориентации СП при наличии гироскопического ЧЭ) и использования на коротких скважинах, близких к вертикали, алгоритма № 3, обеспеченного информацией только от микромеханических чувствительных элементов.

Выводы

В отрасль добычи твердых полезных ископаемых внедрен метод непрерывной гироинклинометрической съемки.

Разработан комплекс математического обеспечения, позволяющий рассматривать совокупность отдельных скважин как единое целое, комплексировать информацию различных измерителей в целях выбора наилучшего алгоритма обработки, оперативно формировать отчет по результатам измерений.

Создана мобильная инклинометрическая станция, осуществляющая высокопроизводительную траекторную съемку группы скважин, при этом особенности условий подземной выработки были использованы для достижения минимальных значений погрешностей и времени измерений.

Определены пути дальнейшей модернизации мобильной инклинометрической станции для работы в условиях подземной выработки, направленные на повышение производительности и технологичности при проведении траекторной съемки группы скважин.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Таранов, П.Я.** Разрушение горных пород взрывом/П.Я.Таранов, А.Г.Гудзь.- М.: Недра, 2003.
2. **Биндер, Я.И.** Высокопроизводительная прецизионная инклинометрическая съемка скважин малого диаметра. Результаты практического внедрения / Я.И.Биндер, Т.В.Падерина, В.Г.Розенцвейн // Гироскопия и навигация.- 2009.- № 1.

3. **Фрейман, Э.В.** Особенности построения алгоритмов ориентации гироскопических инклинометров на базе одноосного гиростабилизатора / Э.В.Фрейман, С.В.Кривошеев, В.В.Лосев // Гироскопия и навигация.- 1999.-№ 1.
4. **Киселев, М.И.** Геодезия / М.И.Киселев, Д.Ш.Михелев.- М.: Издательский центр «Академия», 2009.- 384 с.
5. **Биндер, Я.И.** Об использовании различных схем гироинклинометров для непрерывной съемки скважин произвольной ориентации / Я.И.Биндер [и др.] // Гироскопия и навигация.- 2010.-№4.
6. **Биндер Я.И.** Инклинометр непрерывного действия на основе бесплатформенного гироскопа направления. Ч. I / Я.И.Биндер, Т.В.Падерина // Изв. вузов. Приборостроение.- 2003.- № 12.

Abstract. The structure of the mobile inclinometric station performing continuous inclinometric survey of the relative position of the wellbore trajectories of the underground mine borehole group, and its algorithmic description and software are considered. New engineering solutions obtained when designing the stations are analyzed. The results of the station tests under excavation conditions are presented.

Материал поступил 4.04.11