

НОВЫЕ СХЕМЫ ИНКЛИНОМЕТРОВ ДЛЯ МАГНИТНЫХ СРЕД

Ю. Л. БОЯРКО, В. П. РОЖКОВ, И. Г. ЛЕЩЕНКО

(Представлено научных семинаром кафедры техники разведки)

При проведении разведочных скважин современные технические условия требуют, чтобы замеры искривления скважин производились через каждые 25 метров при наклонном бурении и через 50 метров — при вертикальном. В процессе бурения скважин чаще всего производятся лишь замеры в вертикальной плоскости. Измерение азимутального отклонения скважины производится обычно при ее закрытии и редко — в процессе бурения.

Все это связано, прежде всего, с тем, что при производстве замеров искривления скважины современными инклинометрами необходимо затрачивать довольно значительное количество времени. Поэтому для проведения постоянного контроля за направлением скважины в процессе бурения (а это диктуется прямой необходимостью в направленном бурении) следует иметь инклинометры, требующие для своего применения минимум затрат времени.

В настоящее время наиболее совершенные инклинометры в большинстве случаев приспособлены для съемки в невозмущенной среде. К ним относятся такие широко распространенные приборы, как инклинометр Полякова, инклинометры ИШ-2, ИШ-4 и фотоинклинометры различных конструкций.

В случае же измерения искривления скважин, пройденных в магнитных породах или закрепленных стальными обсадными трубами, приходится пользоваться такими несовершенными приборами, как ГБС-Я, ГБС-Я—2М, МИР, ГП-К1 или сложными по устройству гидроскопическими инклинометрами. Большинство из этих приборов для съемки скважин занимает много времени и не претендует на большую точность и даже достоверность. Гидроскопические приборы, не имеющие этих недостатков и обладающие известковой универсальностью, все еще ненадежны в работе и имеют большой наружный диаметр, что тормозит их внедрение в практику геологоразведочных работ.

В связи с этим предлагается несколько новых схем инклинометров для замера в возмущенной среде. При их разработке учитывалось, что инклинометр должен допускать: а) измерение искривления скважин в ферромагнитной среде и скважинах, обсаженных стальными трубами; б) непрерывную запись показаний при его движении по стволу скважины.

В основу предлагаемых схем положен принцип замера глубины (а точнее удаленности от устья), азимутального направления и зенитного угла каждой точки ствола скважины. Глубину и зенитный угол предлагается замерять в абсолютных значениях, измерение азимутального направления — заменить измерением его приращения между соответствующими вышележащими и нижележащими точками ствола скважины при инклинометрировании опусканием прибора и, наоборот, при его подъеме.

В таком случае при непрерывной записи этих данных можно получить график изменения приращения азимутального направления с глубиной скважины и график зенитного угла по всему стволу скважины. Имея такие данные для всего ствола, зная азимутальное направление и зенитный угол устья скважины, легко получить инклинограмму всей скважины (рис. 1).

Спуск и подъем инклинометра предлагается производить на кабеле. Замер длины опускаемого кабеля и величины зенитного угла можно произвести обычными средствами, замер же приращений азимутального угла достигается тем, что инклинометр состоит из двух футляров, связанных между собой шарнирным устройством. Каждый футляр ориентируется в скважине специальным дебалансом. При опускании инклинометра в азимутально искривленную скважину оси футляров располагаются под определенным углом друг к другу, соответствующим интенсивности искривления ствола на данном участке. Измерение этого угла можно произвести с помощью различных датчиков. Запись показаний может производиться самопишущими приборами, установленными на поверхности.

В крутонаклонных скважинах эффективнее производить замер азимутального искривления не непосредственно по углу между осями футляров, а по углу поворота между рабочими отвесами. Для этой цели в каждом футляре, кроме отвеса грубой ориентировки корпуса, имеется по одному рабочему отвесу (дебалансу).

При опускании такого инклинометра (рис. 2, а) в азимутально-искривленную скважину будет наблюдаться поворот осей 3 рабочих дебалансов 2 друг относительно друга. Образующийся угол фиксируется датчиком углов 4.

Зависимость, связывающая упомянутый угол с зенитным углом и интенсивностью азимутального искривления скважины может быть найдена следующим образом: для упрощения расчетов примем, что скважина имеет азимутальное искривление и располагается в плоскости, наклоненной к вертикали под углом Θ . На рисунке 2б показана часть ствола скважины с расположенным в ней инклинометром. Как видно из рисунка, между футлярами образуется угол, горизонтальная проекция которого даст угол α . Перенесем верхнюю точку нижнего футляра в точку подвеса инклинометра O с таким расчетом, чтобы между футлярами сохранился прежний угол. Через оси футляров проведем прямые лучи до пересечения с горизонтальной плоскостью. В горизонтальной плоскости проведем проекции этих лучей, а из точки подвеса опустим вертикаль. В результате построений получается трехгранная пирамида. Если через точку F провести вертикальную плоскость, перпендикулярную грани AOD , то угол BFC будет равен углу расхождения отвесов. Таким образом, задача сводится к отысканию этого угла.

Из треугольника BCF имеем

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{BC}{CF}. \quad (1)$$

Используя подобие треугольников ACB и AOD , находим

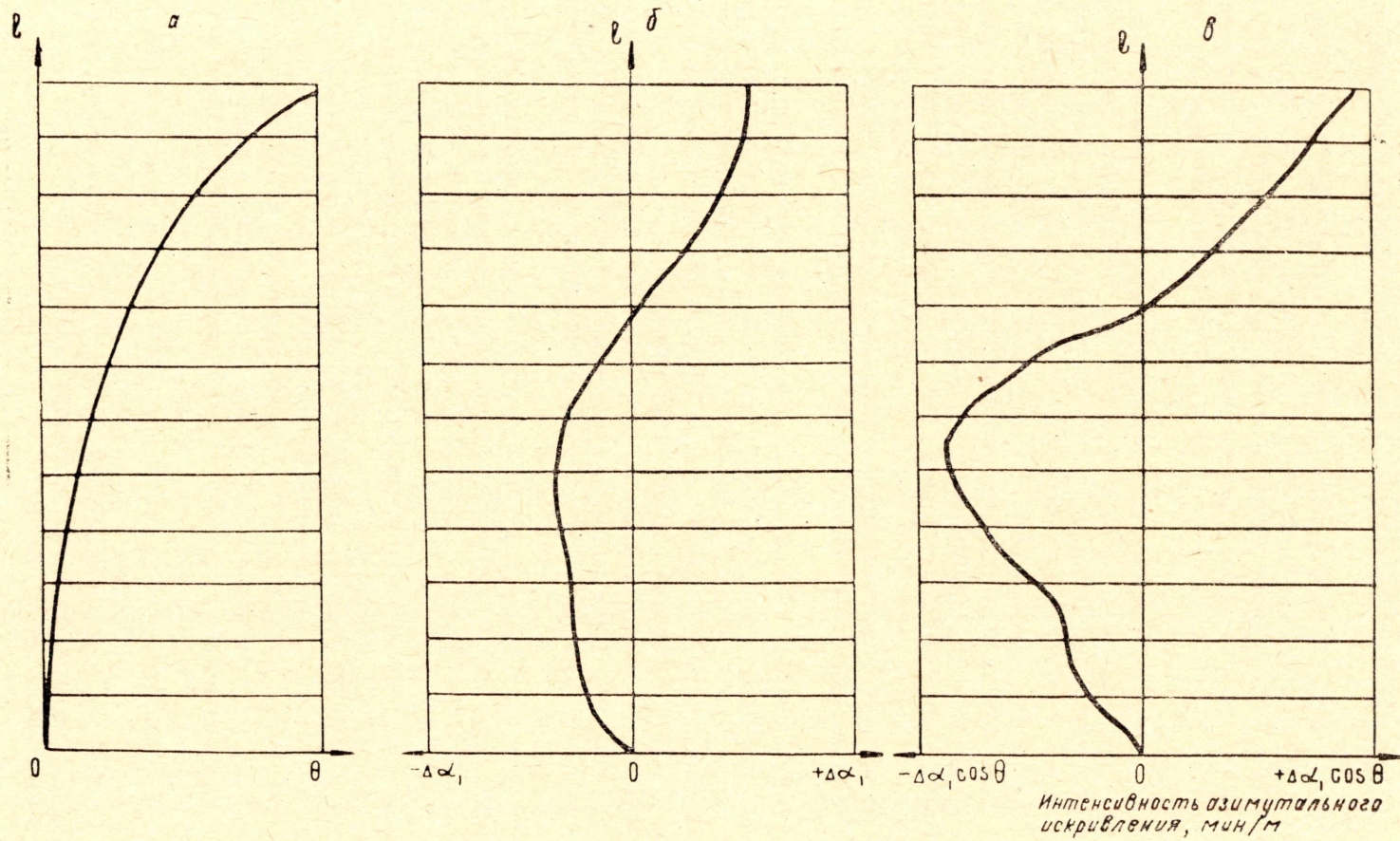


Рис. 1. Графики, характеризующие искривление скважины.
 а — график зенитного угла по всему стволу скважины; б — график приращения азимута ствола скважины; в — график интенсивности азимутального искривления по всему стволу скважины.

$$BC = \frac{AC \cdot OD}{AD},$$

но из треугольника FOD

$$OD = \frac{FD}{\operatorname{tg} \theta},$$

тогда

$$BC = \frac{AC \cdot FD}{AD \cdot \operatorname{tg} \theta}. \quad (2)$$

Решая уравнение (1) и (2), получим

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{AC \cdot FD}{AD \cdot CF \cdot \operatorname{tg} \theta}. \quad (3)$$

Из треугольников AFD и ACF находим неизвестные стороны

$$AD = \frac{FD}{\cos \alpha},$$

$$AC = FC \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

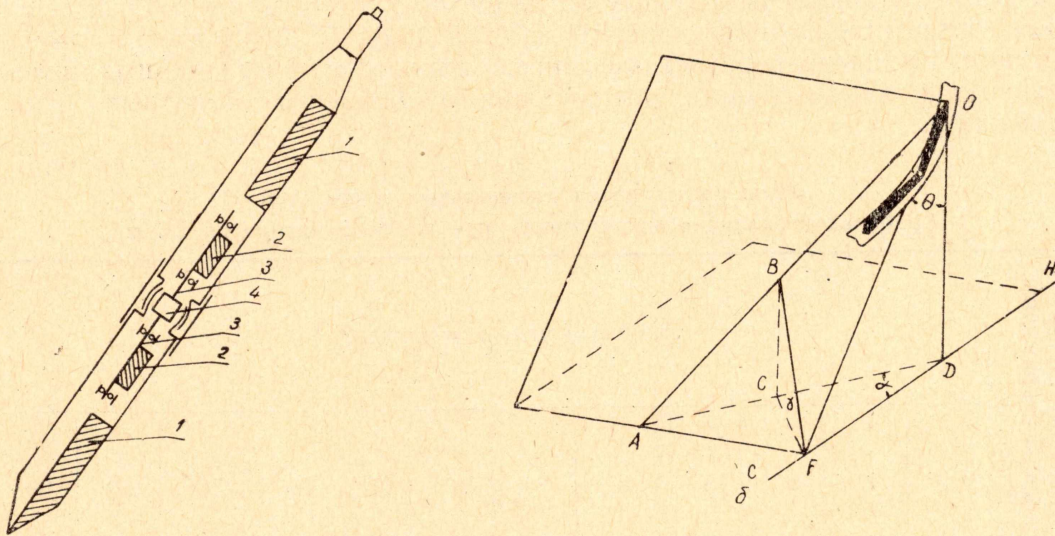


Рис. 2. Инклинометр с рабочими отвесами.
 а — схема инклинометра; б — схема к расчету угла расхождения апсидальных плоскостей рабочих отвесов.
 1 — дебалансы отвесов; 2 — рабочие дебалансы; 3 — оси рабочих дебалансов; 4 — датчик азимутальных углов. θ — зенитный угол скважины; α — угол поворота футляров друг относительно друга (или азимутальное приращение); γ — угол расхождения рабочих отвесов.

и, при их подстановке в уравнение (3), получим окончательно

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\sin \alpha}{\operatorname{tg} \theta}. \quad (4)$$

Итак, при зенитном угле скважины θ и угле между осями футляров инклинометра α , расхождение апсидальных плоскостей отвесов будет равным

$$\gamma = \operatorname{Arc} \operatorname{tg} \left(\frac{\sin \alpha}{\operatorname{tg} \theta} \right). \quad (5)$$

Угол поворота осей футляров инклинометра может быть найден по формуле

$$\alpha = \Delta\alpha \cdot l, \quad (6)$$

где $\Delta\alpha$ — интенсивность азимутального искривления скважины на 1 пог. м;

l — расстояние между центрами футляров, в метрах.

Формулу (6) можно представить несколько иначе, а именно:

$$\alpha = \rho_0 \frac{l}{R}, \quad (7)$$

где ρ_0 — величина радиана, выраженная в градусной системе;

R — радиус искривления скважины, в метрах.

С учетом формул (6) и (7) угол расхождения апсидальных плоскостей отвесов может быть представлен как

$$\gamma = \arctg \left[\frac{\sin(\Delta\alpha \cdot l)}{\operatorname{tg} \Theta} \right] = \arctg \left[\frac{\sin \left(\rho \cdot \frac{l}{R} \right)}{\operatorname{tg} \Theta} \right]. \quad (8)$$

Если скважина искривляется с интенсивностью $1^\circ, 2^\circ, 3^\circ$ на 20 пог. м, то футляры инклинометра при их длине по 2,5 метра располагаются в ней соответственно под углами $0^\circ 7,5'; 0^\circ 15,0'; 0^\circ 22,5'$ друг к другу. В табл. 1 приведены расчетные данные для угла γ при различных интенсивностях азимутального искривления и различных зенитных углов скважины.

Таблица 1

Углы расхождения апсидальных плоскостей рабочих дебалансов инклинометра при длине футляров по 2,5 м

Интенсивность азимутального искривления на 20 пог. м	Зенитный угол скважины Θ											
	0,5°	1°	2°	4°	6°	8°	10°	15°	20°	25°	30°	45°
1°	14°12'	7°43'	3°36'	1°48'	1°12'	0°56'	0°43'	0°28'	0°21'	0°16'	0°13'	0°07'
2°	26°50'	14°06'	7°11'	3°36'	2°24'	1°48'	1°25'	0°56'	0°42'	0°32'	0°26'	0°15'
3°	37°14'	20°40'	10°42'	5°24'	3°35'	2°42'	2°08'	1°24'	1°02'	0°49'	0°39'	0°22'

Как видно из таблицы, при интенсивностях азимутального искривления и зенитных углах, часто встречающихся в практике геологоразведочных работ, углы расхождения апсидальных плоскостей рабочих отвесов колеблются в пределах от 10 — 20 до 20 — 30° . Такие углы можно регистрировать датчиками угловых перемещений различных типов.

Перейдем к рассмотрению схем отдельных инклинометров.

1. Инклинометр с использованием тензометрического датчика (рис. 3, а).

Инклинометр состоит из верхнего футляра 5, сбалансированного грузом 4, и нижнего футляра 10, также сбалансированного грузом 11, которые соединены между собой шарнирным соединением 9. Шарнирное соединение должно быть достаточно подвижным и не препятствовать

повороту футляров друг относительно друга. В верхнем футляре смонтирован датчик зенитных углов 3 и отвес приращения азимута 6, который удерживает датчики в измеряемой плоскости. К этому отвесу жестко прикреплена стальная измерительная балка, другой конец которой проходит через опоры в нижнем футляре 10. На измерительной балке имеются тензометрические датчики, которые измеряют напряжения, возникающие в балке при ее изгибе. Напряжения строго соответствуют вполне определенным прогибам балки, а следовательно, и углам поворота футляров друг относительно друга.

Свободный конец балки выполнен так, что балка испытывает изгибающее воздействие нижнего футляра, но не испытывает закручивания.

Футляры наполнены трансформаторным маслом, которое выравнивает давление внутри и снаружи инклинометра, а так же способствует успокоения подвижных деталей прибора. Для предупреждения попадания воды в прибор через шарнирное соединение последнее должно

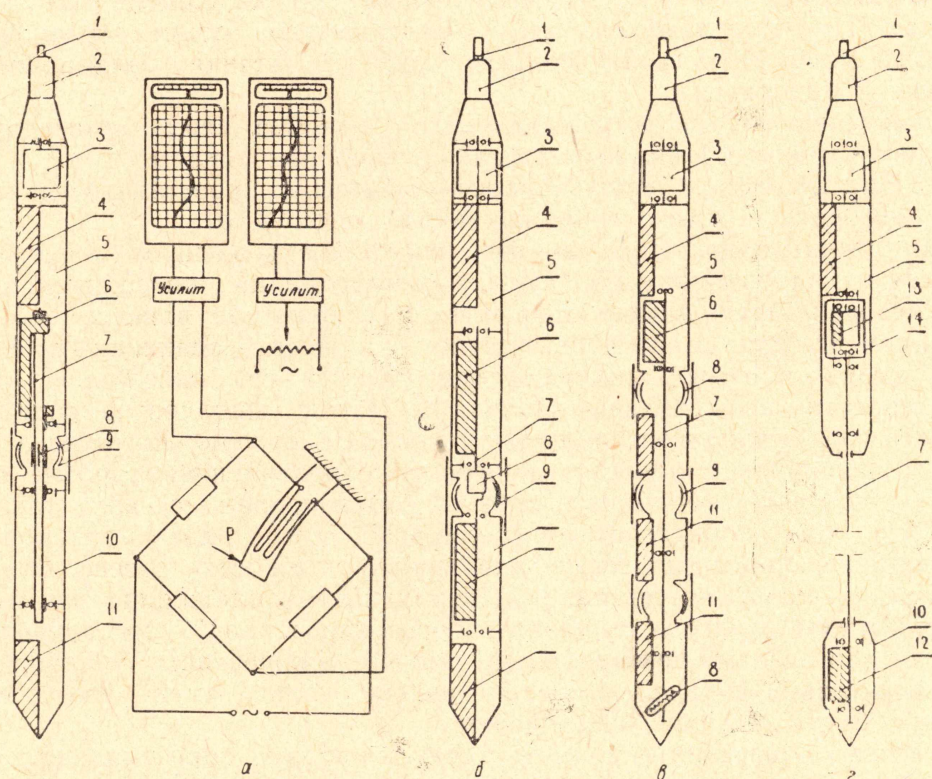


Рис. 3. Предлагаемые схемы инклинометров.

а — инклинометр с использованием тензометрического датчика; б — инклинометр с использованием индуктивного датчика; в — инклинометр с использованием омического реостатного датчика углов поворота с жидкостным контактом; г — инклинометр с сельсинной связью

быть достаточно герметичным. Инклинометр опускается в скважину на кабеле 1, который присоединяется к инклинометру через свечной мост 2.

Датчик зенитного угла и датчик приращения азимутального направления соединены с самопишущими приборами, расположенными на поверхности (схема показана на рис. 3, а). Благодаря этому одновременно с опусканием (или подъемом) инклинометра самопишущие приборы вычерчивают кривые, показанные на рис. 1. По этим кривым, азимуту

и зенитному углу устья скважины легко получить инклинограмму всей скважины.

2. Инклинометр с использованием индуктивного датчика (рис. 3, б).

Так же, как и в первом варианте, инклинометр состоит из верхнего футляра 5 и нижнего футляра 10, сбалансированных грузами 4 и 11. Оба футляра соединены между собой шарниром 9. В верхнем футляре смонтирован датчик зенитного угла 3 и отвес азимута 6, на продолжении оси которого находится индуктивный датчик 8, располагающийся в центре шарнира. В нижнем футляре смонтирован отвес приращения азимута 12, на продолжении оси которого (также оканчивающегося в шарнире) имеется поводок, связанный с подвижной частью индуктивного датчика 8.

В отличие от инклинометра первого варианта в этом случае датчик измеряет не поворот осей футляров друг относительно друга, а поворот апсидальных плоскостей верхнего и нижнего рабочих отвесов, что увеличивает точность инклинометра в крутонаклонных скважинах.

Необходимо отметить, что индуктивный датчик должен быть экранирован. При предлагаемой схеме инклинометра кроме индуктивных датчиков могут быть использованы емкостные датчики, радиационные датчики и ряд других.

Электрическая схема инклинометра подобна схеме, приведенной в первом варианте. Инклинометр также заполнен маслом.

3. Инклинометр с использованием омического реостатного датчика углов поворота с жидкостным контактом (рис. 3, в).

При выполнении этого варианта инклинометра за основу может быть принята как одношарнирная, так и многошарнирная конструкция прибора. Особенностью данного варианта инклинометра является то, что в верхнем футляре 5 помещается отвес 6, а жестко соединенный с ним вал 7 уходит в самый нижний футляр, где на его консольной части подвешивается азимутальный датчик 8. Датчик выполнен в виде пустотелого тора и заполнен наполовину ртутью, в которую погружена спираль из проволоки с большим омическим сопротивлением. Кроме того, датчик с помощью карданного подвеса сбалансирован на валу так, что плоскость тора располагается под углом 45° к оси вала и при прямом инклинометре перпендикулярна апсидальной плоскости отвеса. Это положение тора сохраняется как при вертикальном положении, так и при наклонном. От углового смещения относительно вала 7 тор закреплен, поэтому даже малый азимутальный поворот нижней части инклинометра относительно верхней вызовет смещение уровня ртути, что, в свою очередь, будет отмечено самописцем.

Расчеты показывают, что при радиусе спирали сопротивления, расположенного в торе, равном 20—25 мм (диаметр в этом случае может быть 50—60 мм), поворот скважины в азимутальной плоскости с интенсивностью 1° на 30 *лог. м* при зенитном угле $\Theta = 20^\circ$ вызовет изменение длины смоченной проволоки сопротивления, собранной в спираль, на 3—4 мм, что, в свою очередь, вызовет изменение напряжения в цепи и соответствующие показания на приборе даже без специальных усилителей.

4. Инклинометр с сельсинной связью (рис. 3, г).

Анализируя формулу (8), можно прийти к выводу, что точность прибора возрастает с увеличением расстояния между футлярами инклинометра. Это свойство и использовано при разработке данной схемы.

Инклинометр также состоит из двух футляров, но удаленных друг от друга на некоторое расстояние. В верхнем футляре (так же, как и во всех остальных вариантах) располагается датчик зенитных углов. Корпус футляра сбалансирован грузом 4, ниже которого располагается

датчик азимутального приращения, выполненный в виде сельсина. Якорь сельсина имеет дебалансный груз 13, который играет роль рабочего отвеса.

Нижний футляр состоит из корпуса 10, в котором размещается второй рабочий отвес 12. Отвес 12 и корпус сельсина 14 соединены между собой жестким валом 7. Футляры инклинометра также заполнены маслом.

При опускании инклинометра в азимутально искривленную скважину апсидальные плоскости рабочих отвесов 12 и 13 разойдутся, что (при данной конструкции инклинометра) вызовет поворот якоря относительно корпуса сельсинного датчика.

На дневной поверхности имеется сельсинный приемник, который соединен электрической связью с рассмотренным сельсином — датчиком так, что повороту якоря в корпусе датчика соответствует поворот якоря сельсина — приемника. Последний соединен с самописцем, благодаря чему становится возможным получение графика азимутального приращения по всему стволу скважины.

Особенностью этой схемы является то, что рабочие отвесы удалены друг от друга на значительное расстояние (оно может составлять порядка нескольких метров). В связи с этим угол между осями футляров α значительно больше, чем может быть достигнут во втором варианте. Увеличение угла α влечет за собой увеличение угла расхождения апсидальных плоскостей рабочих отвесов (см. формулы (4) и (8)).

Благодаря этой особенности увеличивается точность показаний азимутального датчика и становится возможным применение данного инклинометра в скважинах со слабым азимутальным искривлением.

Экономический эффект от применения подобных инклинометров может быть вычислен следующим образом: на замер азимутального искривления с помощью прибора ГБС-Я на глубину 500 метров при взятии замеров через 100 метров требуется 20 бригадо-часов (по ЕНВ 1959 г., табл. 36).

При измерении искривления предлагаемыми приборами в затраты времени войдет только время на спуск и подъем прибора с обычной для геофизических лебедок скоростью и время на вспомогательные операции, которое ориентировочно составит 20—25% от времени спуска и подъема прибора. Если из этой же таблицы взять время замера искривления на глубину 500 метров прибором Полякова, то оно практически будет равно времени спуска и подъема на эту же глубину предлагаемых инклинометров. Это время составит 1,25 часа.

Таким образом на одной скважине, принятой за среднюю, экономится 18,75 бригадо-часа, то есть замер производится в 16 раз быстрее.

Кроме экономической стороны необходимо учитывать и качественную сторону, которая должна улучшиться по сравнению с качеством замеров приборами типа ГБС-Я и ГП-К1.