

# КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ КОМПОНОВКИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ СКВАЖИННОЙ ИНКЛИНОМЕТРИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

Гарейшин З.Г.

*ГУП Центр Метрологических Исследований «Урал-Гео», Уфа*

*Показано, что улучшение метрологических характеристик существующих метрологических установок пространственной ориентации скважинных инклинометров можно достичь за счёт исключения субъективного фактора из процесса воспроизведения пространственных углов, что возможно за счёт разработки автоматизированной установки. Представлены описания кинематических схем автоматизированной установки пространственной ориентации скважинных инклинометров и конструктивных решений, позволяющих автоматизировать установку пространственной ориентации скважинных инклинометров.*

Одним из важнейших проблемных аспектов при бурении нефтегазовых скважин является получение достоверной и оперативной информации о комплексе параметров искривления скважин, необходимых для их проводки в заданный «круг допуска» или продуктивный пласт. Особую актуальность аспекты повышения точности проводки скважин приобретают при горизонтальном бурении в пластах мощностью  $1\div 2$  м. Точность проводки нефтегазовых скважин по заданной траектории и последующий контроль скважин при геофизических исследованиях скважин во многом зависит от метрологических параметров забойной и скважинной инклинометрической аппаратуры. Уровень погрешностей инклинометрической аппаратуры в значительной степени определяется качеством метрологического обеспечения на установках пространственной ориентации.

Для метрологического обеспечения инклинометрической аппаратуры на геофизических предприятиях широко распространены метрологические установки калибровки и поверки скважинных инклинометров типа УСИ-2, УПИ-1, УКИ-2 и др. [13, 19, 15, 11]. Эти установки уже физически и морально устарели и не удовлетворяют требованиям современной забойной и скважинной инклинометрической аппаратуры по точности.

В последние годы в направлении повышения точности ориентации воспроизводимых пространственных углов были достигнуты определённые положительные результаты и снижены погрешности, связанные с определением

углового положения (ДУП) осей. ДУП внедрены в установках типа УПИ-1М [18], УПИ-3М [7], УАПИ-1 [17]. Однако в этих установках погрешности воспроизведения эталонных пространственных углов не уменьшились. Это связано с использованием кинематических и конструктивных решений, заимствованных из установок УПИ-1, УКИ-2. Поэтому остаётся актуальным повышение точности метрологических установок для удовлетворения требованиям современной забойной и скважинной ИА. Кроме этого, эти установки малопроизводительны потому, что не автоматизированы по приводам пространственных осей.

Известны также установки малых размеров АК ТДИ (Омский электромеханический завод) [3] для градуировки блоков датчиков инклинометров типа ИОН и УПИ-001 (ООО «Интракт», Белов Е.Ф.) [25] для испытания на функционирование инклинометров типа ИГМ-042.

В установке АК ТДИ имеется привод зенитной оси (ЗО). Но отсутствуют привод азимутальной оси (АО), привод и ДУП визирной оси (ВО). Отсутствует автоматическая система управления приводом. Эта установка способна проводить метрологический контроль (МК) инклинометров весом не более 15 кг и длиной не более 1600 мм. Этот пример, показывает, что автоматизация установок с консольной азимутальной осью, возможна частично, и, только для установок малых размеров. В установке УПИ-001, выполненной в рамочной конструкции, в качестве ДУП всех осей применены синусно-косинусные поворотные трансформаторы. Имеются приводы всех осей. Установка автоматизирована. Но в установке не предусмотрены мероприятия по настройке осей и, поэтому она имеет очень низкую точность и годится только для проверки работоспособности блоков датчиков весом не более 3 кг.

На рис.1÷4 приведены кинематические схемы установок традиционных конструкций, где: 1 - регулировочные винты положения азимутальной оси; 2 - нижняя центральная опора азимутальной оси; 3 - верхняя боковая опора азимутальной оси; 4 - опора зенитной оси; 5 - зенитная ось; 6 - платформа азимутальной оси; 7 - азимутальная ось; 8 - визирная ось; 9 - узел крепления скважинного инклинометра; 10 - опоры визирной оси; 11 - противовес; 12 - нижняя боковая опора азимутальной оси; 13 - U-образная рама зенитной оси.

Классификация установок пространственной ориентации скважинной инклинометрической аппаратуры (ИА) с точки зрения их автоматизации приведена в Таблице 1. По выбранным классификационным признакам можно проследить динамику развития установок-прототипов и их недостатки.

1. Установки-прототипы (до п. 18 Таблицы 1) сохранили консольный тип крепления азимутальной оси, подшипники скольжения консольного узла крепления азимутальной оси несут на себе вес установки и калибруемой ИА. Минимальный момент трогания азимутальной оси рассматриваемых установок, составляет  $0,5 \div 2$  кг·м, что требуют мощного электропривода ( $10 \div 30$  Вт). По мере приработки подшипников скольжения погрешности установки превышают допустимый предел. В связи этим, в установках традиционной компоновки вес инклинометрической аппаратуры ограничивается значением  $20 \div 25$  кг (для УКИ-1М – 50 кг), хотя вес забойной инклинометрической аппаратуры составляет  $80 \div 150$  кг. Расстояние, на которое необходимо удалить блок датчиков ИА, зависит от массы привода, его пространственного расположения, уровня излучаемых приводом электромагнитных помех и составляет  $2 \div 3$  м. Установки с консольным узлом азимутальной оси не позволяют расположить такой привод в пределах габаритных размеров установки.

2. Тип крепления зенитной оси по мере развития установок трансформируется от консольного (УСИ-2, УПН-1) до – двухопорного с противовесом (УПИ-1(3)). В рассматриваемых установках радиальная несбалансированность зенитной оси возникает от разности моментов инерции балансиров и консольно закреплённого скважинного инклинометра. Большие, вращающиеся инерционные массы зенитной оси с противовесами также требуют мощного электропривода для преодоления момента трогания, который не может быть размещён в габаритах установки на требуемом удалении от блока датчиков инклинометрической аппаратуры.

3. Хотя призмный тип крепления корпуса ИА обеспечивает однозначную и надёжную опорную поверхность в установках-прототипах, кроме УСИ-2, применён цанговый зажим, в котором ось цанги и визирная ось вращения жёстко не связаны. Цанговый тип крепления корпуса ИА требует немалых радиальных усилий. В установке [9] для облегчения работы на цангах

установлены штурвалы. Для надёжного крепления скважинного прибора момент затяжки может достигать (2÷5) кг/м. В случае применения привода визирной оси (оси вращения инклинометрической аппаратуры в радиальной плоскости), радиальные усилия на цангу могут повредить трансмиссию привода. При этом, во время крепления тяжёлого скважинного инклинометра, его ось не совпадает с осью её вращения за счёт прогиба лепестков цанг. При зажиме цанги усилия зажима оказываются недостаточными для подъёма скважинного инклинометра на ось вращения.

4. Во многих установках использовано расположение блока датчиков ИА в центре вращения азимутальной и (УПИ-1(3)) (или – УКИ-2) зенитной осей для уменьшения влияния магнитной неоднородности геомагнитного поля. Это накладывает на установки дополнительные требования:

- введение в конструкцию установок балансирных грузов, которые дополнительно нагружают узлы крепления азимутальной и зенитной оси;

высокая механическая прочность и жесткость узлов крепления азимутальной и зенитной оси установки без деформаций и люфтов.

Выполнение этих требований утяжеляет конструкцию установки и требует применения более мощного электропривода зенитной оси. Становится проблемным размещение электропривода на удалении от блока датчиков ИА в габаритах установки для устранения девиации по отношению к ИА. При этом снижается надёжность установки в связи с ограничениями по весовому параметру ИА.

Необходимо отметить, что блок датчиков ИА, имеющий линейный размер 250÷400 мм, при вращении в установке образует рабочую область диаметром ≈400÷600 мм, в которой с большой вероятностью стационарная магнитная неоднородность геомагнитного поля может превышать предел допустимого значения, который подлежит учёту при метрологическом контроле ИА. Таким образом, расположение блока датчиков ИА в центре вращения установки не устраняет полностью влияние неоднородностей геомагнитного поля, что снижает надёжность установок, сужает область применения и затрудняет их автоматизацию.

5. В установках (УПИ-1М, УПИ-3М, УАПИ-1, АК ТДИ и УПИ-001) смонтированы датчики положения эталонных углов. Однако в этих установках погрешности воспроизведения пространственных углов не уменьшились.

6. Автоматический привод осей имеют две установки малого размера - АК ТДИ и УПИ-001, используемые для метрологического контроля и проверки работоспособности ИА весом  $3\div 15$  кг.

7. В основном сохранился ручной режим привода осей установок.

Также необходимо отметить, что обслуживание установок с ручным приводом осей требует использования высококвалифицированного персонала на всех этапах контроля: - юстирование углов ориентации ИА в пространстве; - определение и учёт поправок на магнитную неоднородность и девиацию установки в рабочей зоне, учёт часовых вариаций геомагнитного поля. Все эти операции занимают достаточно много времени. В результате калибровка одного скважинного инклинометра в соответствии с требованиями руководства по эксплуатации занимает  $5\div 8$  часов. При этом погрешность калибровки ИА дополнительно увеличивается из-за длительного времени калибровки, в течение которой учитываемые поправки могут изменяться, меняются субъективные факторы (усталость, внимание).

В Таблице 2 представлены характеристики стационарных установок пространственной ориентации ИА. Из анализа данных этой таблицы и известных параметров забойной и скважинной инклинометрической аппаратуры также выявлено, что предел основной погрешности воспроизведения азимутального угла у установок с консольным расположением азимутальной оси составляет  $(4\div 30)'$ , зенитного -  $(5\div 8)'$ , а визирного -  $(8\div 30)'$ . Если сравнить эти данные с требованиями, предъявляемыми к скважинной инклинометрической аппаратуре (азимут -  $(12\div 180)'$ ; зенит -  $(6\div 30)'$ , а визир -  $(0,1\div 3)^\circ$ ), то можно заключить, что:

– по азимутальному углу соотношение между максимальной погрешностью воспроизведения эталонного азимутального угла метрологическими установками ( $30'$ ) и нижним статистическим пределом основной погрешности измерения азимутального угла ИА -  $(12')$ , составляет 2,5, что противоречит требованиям ведомственной поверочной схемы для скважинных инклинометров [4], в соответствии с которой соотношение между

пределами допускаемой основной погрешности образцовых и рабочих средств измерений не должно превышать соотношения  $1/3$ ;

– по зенитному и визирному углам соответствующее соотношение составляет 5 раз, это свидетельствует о том, что метрологические установки с консольной азимутальной осью следует ограничивать в применении для метрологического контроля современной ИА.

Таким образом, выполненный анализ известных метрологических установок, позволяет сделать следующие выводы:

1. Установки с традиционной конструктивной компоновкой по метрологическим и весовым параметрам ограничены в применении для метрологического контроля современной ИА. Погрешность воспроизведения пространственных углов не соответствует требованиям ведомственной поверочной схемы для скважинных инклинометров.

2. Для установок традиционной конструкции с консольным типом узла крепления азимутальной оси требуется относительно мощный привод, который создаёт девиацию в установке. Это не позволяет расположить электропривод в пределах установки и её полностью автоматизировать.

3. Расположение блока датчиков ИА в центре вращения установки не позволяет устранить влияние магнитной неоднородности геомагнитного поля, снижает надёжность установок, область их применения и затрудняет их автоматизацию.

4. Цанговый тип крепления корпуса ИА не способствует её качественному метрологическому контролю.

5. Обслуживание существующих установок требует использования высококвалифицированного персонала.

6. Внедрение на установках датчиков положения пространственных углов позволяет уменьшить погрешность считывания данных, но не уменьшает погрешности пространственной ориентации ИА при метрологическом контроле.

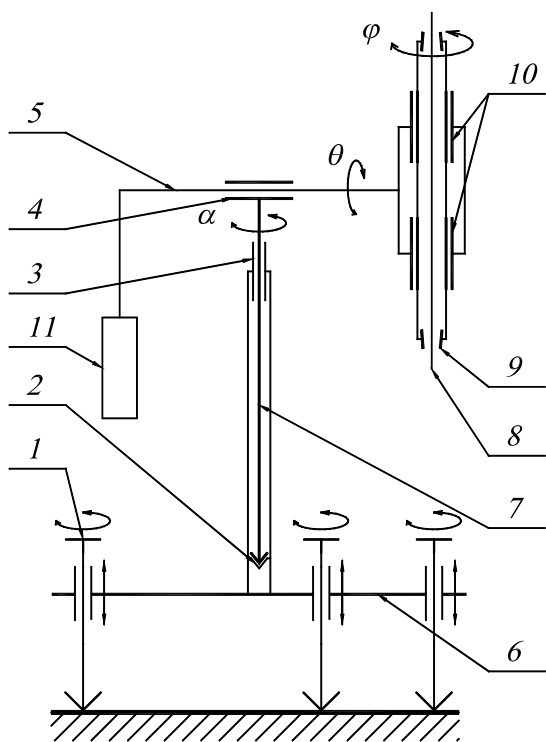


Рисунок 1. Кинематическая схема установок типа УПН-1, УКИ-2

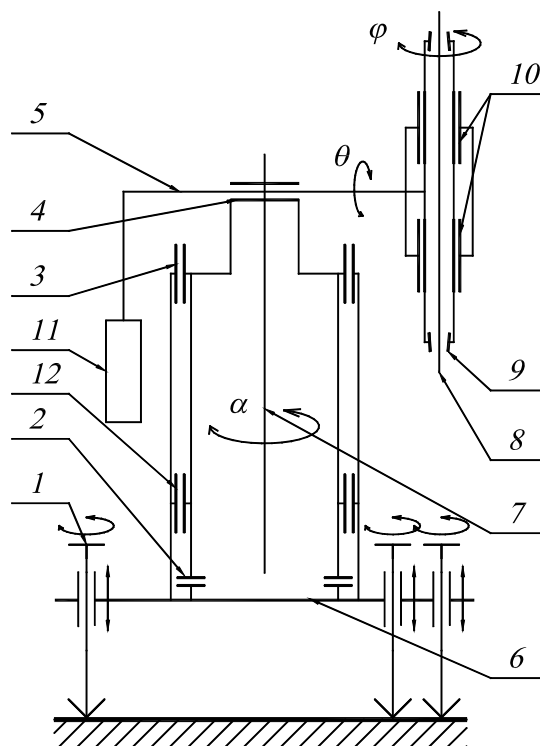


Рисунок 2. Кинематическая схема установок типа УПСП-1

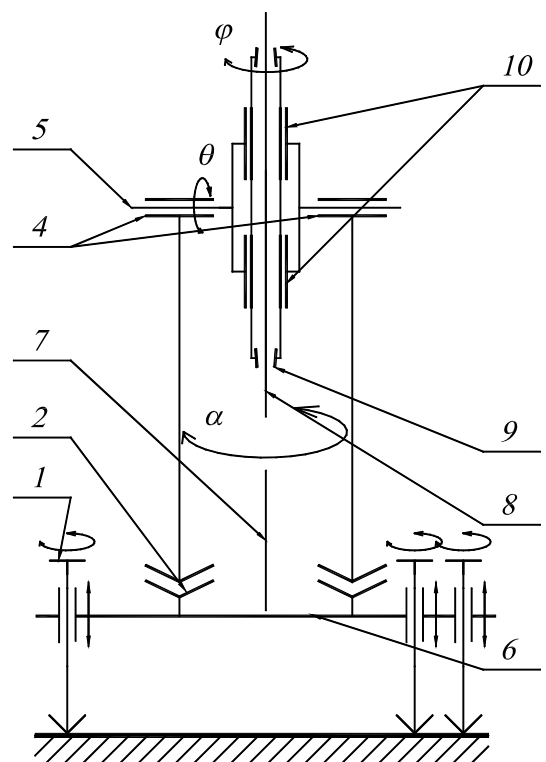


Рисунок 3. Кинематическая схема установок типа УНЭИПП-1

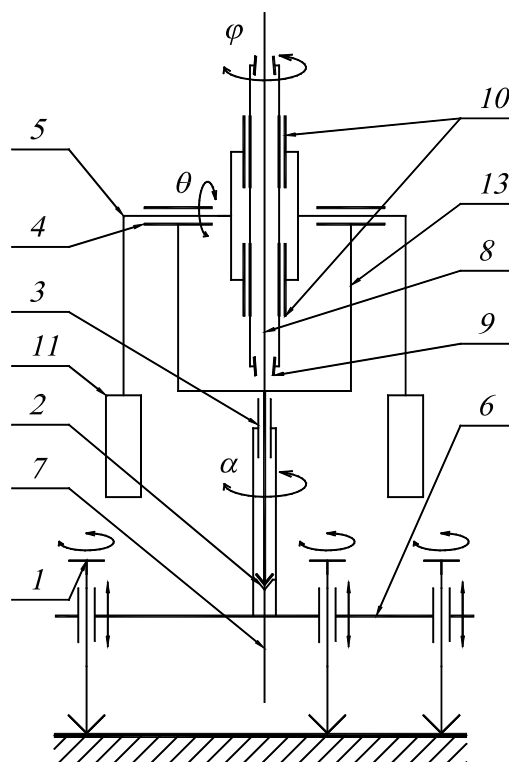


Рисунок 4. Кинематическая схема установок типа УПИ-1, УПИ-3

Таблица 1. Классификация установок пространственной ориентации ИА с точки зрения их автоматизации

№	Название установки	Ссылка	Воспроизводимые пространственные углы: <i>A, Z, B</i>	Тип крепления азимутальной оси: <i>K, Д</i>	Тип крепления зенитной оси: <i>К, Д, КП, ДП, ДБ</i>	Тип узла крепления корпуса ИА: <i>Ц, П</i>	Расположение ИА: <i>О, Б</i>	Наличие датчиков углов: <i>Da, Dz, Dв, Dаз, Dазв.</i>	Наличие автоматического привода по пространственным углам: <i>Па, Пз, Пв.</i>	Тип привода по пространственным углам	Режим работы установки: <i>A, П, P</i>	Режим измерения: <i>A, П, P</i>
1	УСИ-2	[13]	<i>AZ</i>	<i>K</i>	<i>К</i>	<i>П</i>	<i>Б</i>	---	---	---	<i>P</i>	<i>P</i>
2	УПН-1	[19]	<i>AЗВ</i>	<i>К</i>	<i>К</i>	<i>Ц</i>	<i>Б</i>	---	---	---	<i>P</i>	<i>P</i>
3	УПИ-2	[15]	<i>AЗВ</i>	<i>К</i>	<i>КП</i>	<i>Ц</i>	<i>О</i>	---	---	---	<i>P</i>	<i>P</i>
4	УОП-2	[14]	<i>AЗ</i>	<i>К</i>	<i>Д</i>	<i>Ц</i>	<i>Б</i>	---	---	---	<i>P</i>	<i>P</i>
5	УПИ-1	[6]	<i>AЗВ</i>	<i>К</i>	<i>ДП</i>	<i>Ц</i>	<i>О</i>	---	---	---	<i>P</i>	<i>P</i>
6	УНЭИИП-2М	[12]	<i>AЗВ</i>	<i>К</i>	<i>К</i>	<i>Ц</i>	<i>Б</i>	---	---	---	<i>P</i>	<i>P</i>
7	УАПИ-1	[17]	<i>AЗВ</i>	<i>К</i>	<i>Д</i>	<i>Ц</i>	<i>Б</i>	<i>Дазв</i>	---	---	<i>P</i>	<i>A</i>
8	УНЭИИ	[9]	<i>AЗВ</i>	<i>К</i>	<i>Д</i>	<i>Ц</i>	<i>О</i>	---	---	---	<i>P</i>	<i>P</i>
9	УКИ-2	[5]	<i>AЗВ</i>	<i>К</i>	<i>КП</i>	<i>Ц</i>	<i>О</i>	---	---	---	<i>P</i>	<i>P</i>
10	УПСП-1	[26]	<i>AЗ</i>	<i>К</i>	<i>КП</i>	<i>Ц</i>	<i>О</i>	---	---	---	<i>P</i>	<i>P</i>
11	УПИ-3	[5]	<i>AЗВ</i>	<i>К</i>	<i>ДП</i>	<i>Ц</i>	<i>О</i>	---	---	---	<i>P</i>	<i>P</i>
12	УКИ-3	[11]	<i>AЗВ</i>	<i>К</i>	<i>ДП</i>	<i>Ц</i>	<i>О</i>	---	---	---	<i>P</i>	<i>P</i>
13	УКИП	[16]	<i>AЗ</i>	<i>К</i>	<i>Д</i>	<i>П</i>	<i>Б</i>	---	---	---	<i>P</i>	<i>P</i>
14	УПИ-3М	[7]	<i>AЗВ</i>	<i>К</i>	<i>К</i>	<i>Ц</i>	<i>Б</i>	<i>Дазв</i>	---	---	<i>P</i>	<i>A</i>
15	УПИ-1М	[18]	<i>AЗВ</i>	<i>К</i>	<i>ДП</i>	<i>Ц</i>	<i>О</i>	<i>Дазв</i>	---	---	<i>P</i>	<i>A</i>
16	АК ТДИ	[3]	<i>AЗ</i>	<i>К</i>	<i>ДП</i>	<i>П</i>	<i>О</i>	<i>Da, Dz</i>	<i>Пз</i>	<i>ЭДП</i>	<i>П</i>	<i>A</i>
17	УПИ-001	[25]	<i>AЗВ</i>	<i>Д</i>	<i>ДБ</i>	<i>П</i>	<i>Б</i>	<i>Дазв</i>	<i>Па, Пз, Пв</i>	<i>ЭДП</i>	<i>П</i>	<i>A</i>
18	АСКИ	[1]	<i>AЗ</i>	<i>Д</i>	<i>ДБ</i>	<i>П</i>	<i>Б</i>	<i>Da, Dz</i>	<i>Па, Пз</i>	<i>ШЭД</i>	<i>A</i>	<i>A</i>
19	АСКИ-2	[2]	<i>AЗ</i>	<i>Д</i>	<i>ДБ</i>	<i>П</i>	<i>Б</i>	<i>Da, Dz</i>	<i>Па, Пз</i>	<i>ЭДП</i>	<i>A</i>	<i>A</i>
20	УАК-СИ	[20]	<i>AЗВ</i>	<i>Д</i>	<i>ДБ</i>	<i>П</i>	<i>Б</i>	<i>Дазв</i>	<i>Па, Пз, Пв</i>	<i>ЭДП</i>	<i>A</i>	<i>A</i>
21	УК-СИ-АЗВ	[23]	<i>AЗВ</i>	<i>Д</i>	<i>ДБ</i>	<i>П</i>	<i>Б</i>	---	---	---	<i>P</i>	<i>P</i>
22	УК-СИ-АЗВ-Д	[24]	<i>AЗВ</i>	<i>Д</i>	<i>ДБ</i>	<i>П</i>	<i>Б</i>	<i>Дазв</i>	---	---	<i>P</i>	<i>P</i>
23	УАК-СИ-АЗВ	[21]	<i>AЗВ</i>	<i>Д</i>	<i>ДБ</i>	<i>П</i>	<i>Б</i>	<i>Дазв</i>	<i>Па, Пз, Пв</i>	<i>ЭДП</i>	<i>A</i>	<i>A</i>

Таблица 2. Характеристики стационарных установок пространственной ориентации ИА

№	Название установки	Ссылка	Диапазон воспроизведения азимута, град.	Предел осн. абсол. погр. воспроизв. азимутального угла $\alpha$ , угл. мин.	Диапазон воспроизведения зенитного угла, град.	Предел осн. абсол. погр. воспроизв. зенитного угла $\theta$ , угл. мин.	Диапазон воспроизведения визирного угла, град.	Предел осн. абсол. погр. воспроизв. визирного угла $\varphi$ , угл. мин.	Диаметры калибруемых СИ, мм	Длина калибруемых СИ, м	Масса калибруемых СИ, не более, кг
1	УСИ-2	[13]	0÷360	±60	±90	±60	—	—	20÷80	1,8	35
2	УПН-1	[19]	0÷360	±20	±120	±8	0÷360	8	30÷73	2,5	100
3	УПИ-2	[15]	0÷360	±6 *	±120	±2 *	0÷360	±6 *	36÷73	—	—
4	УОП-2	[14]	0÷360	±30	±60	±6	—	—	—	—	—
5	УПИ-1 (УПИ-3)	[5]	0÷360	±25	±120	±8	0÷360	±30	25÷73	2,0	20
6	УНЭИИП-2М	[12]	0÷360	±3 *	±180	±3 *	0÷360	±3 *	25÷60	—	—
7	УАПИ-1	[17]	0÷355	±2 *	±120	±2 *	0÷330	±2 *	25÷73	3,0	—
8	УКИ-2	[5]	0÷360	±25	±180	±8	0÷360	±30	36÷73	0,5	20
9	УПСП-1	[26]	0÷360	±30	±180	±6	0÷360	±30	—	—	—
10	УКИ-3	[11]	0÷360	±20 ( $\theta=1÷1,5$ ) * ±14 ( $\theta=1,5÷2$ ) * ±11 ( $\theta=2÷3$ ) * ±8 ( $\theta=3÷10$ ) * ±4 ( $\theta=10÷120$ ) *	±150	±5 *	0÷360	±6 *	36,60	—	16
11	УКИП	[16]	0÷360	±20 ( $\theta=1÷1,5$ ) * ±14 ( $\theta=1,5÷2$ ) * ±11 ( $\theta=2÷3$ ) * ±8 ( $\theta=3÷10$ ) * ±4 ( $\theta=10÷150$ ) *	±120	±5 *	—	—	60	—	3
12	УПИ-3М	[7]	0÷360	±1,5 *	±135	±1,5 *	0÷360	±1,5 *	36÷73	2,0	20
13	УПИ-1М	[18]	0÷360	±20 ( $\theta=1÷1,5$ ) *	±150	±8	0÷360	±30	25÷73	5,0	50

№	Название установки	Ссылка	Диапазон воспроизведения азимута, град.	Предел осн. абсол. погр. воспроизв. азимутального угла $\alpha$ , угл. мин	Диапазон воспроизведения зенитного угла, град.	Предел осн. абсол. погр. воспроизв. зенитного угла $\theta$ , угл. мин.	Диапазон воспроизведения визирного угла, град.	Предел осн. абсол. погр. воспроизв. визирного угла $\varphi$ , угл. мин.	Диаметры калибруемых СИ, мм	Длина калибруемых СИ, м	Масса калибруемых СИ, не более, кг
				$\pm 14 (\theta=1,5 \div 2) *$ $\pm 11 (\theta=2 \div 3) *$ $\pm 8 (\theta=3 \div 10) *$ $\pm 4 (\theta=10 \div 150) *$							
14	АК ТДИ	[3]	0÷360	$\pm 0,6 *$	$\pm 180$	$\pm 0,6 *$	—	—	42,73	1,6	15
15	АСКИ	[1]	0÷360	$\pm 7,5 *$	$\pm 180$	$\pm 5 *$	—	—	25÷73	3,0	100
16	АСКИ-2	[2]	0÷360	$\pm 7,5 *$	$\pm 180$	$\pm 2 *$	—	—	25÷73	3,0	100
17	УАК-СИ	[20]	0÷360	$\pm 7,5 *$	$\pm 180$	$\pm 5 *$	0÷360	$\pm 20 *$	25÷73	3,0	100
18	УК-СИ-АЗ В	[23]	0÷360	$\pm 20 *$	$\pm 180$	$\pm 15 *$	0÷360	$\pm 30 *$	25÷73	3,0	100
19	УК-СИ-АЗ В-Д	[24]	0÷360	$\pm 15 *$	$\pm 180$	$\pm 10 *$	0÷360	$\pm 5 *$	25÷73	3,0	100
20	УАК-СИ-А ЗВ-П	[22]	0÷360	$\pm 6 *$	$\pm 180$	$\pm 2 *$	0÷360	$\pm 5 *$	25÷73	3,2	120
21	УАК-СИ-А ЗВ	[21]	0÷360	$\pm 6 *$	$\pm 180$	$\pm 2 *$	0÷360	$\pm 5 *$	25÷73	3,0	120
22	УПИ-001	[25]	0÷360	$\pm (3 \div 5)^\circ *$	$\pm 90$	$\pm (3 \div 5)^\circ *$	$\pm 180$	$\pm (3 \div 5)^\circ *$	42	1,2	3

\* - данные относятся к разрешающей способности шкалы или датчика углового положения;

☆ - разрешающая способность датчика углового положения азимутального и зенитного углов составляет - 0,5', визирного угла - 1'.

Примечание:

Воспроизводимые пространственные углы: *A* (азимут), *Z* (зенит), *B* (визирный угол – угол поворота вокруг оси).

Тип крепления азимутальной оси: *K* - консольный; *Д* - двухопорный.

Тип крепления зенитной оси: *K* - консольный; *Д* - двухопорный; *КП* – консольный с противовесом; *ДП* - двухопорный с противовесом; *ДБ* - двухопорный сбалансированный.

Тип узла крепления корпуса ИА: *Ц* – цанговый зажим; *П* - призмный зажим.

Расположение ИА: *О* - блок датчиков в центре осей вращения (ИА расположена консольно); *Б* - балансировка ИА по центру тяжести.

Режим работы установки: *A* – автоматический; *П* - полуавтоматический; *P* – ручной.

Режим измерения: *A* – автоматический; *П* - полуавтоматический; *P* – ручной.

Тип привода по пространственным углам: *ШЭД* - шаговый электродвигатель, *ЭДП* - электродвигатель постоянного тока.

Разработка автоматизированной установки направлена на уменьшение погрешностей воспроизведения пространственных углов. Для достижения этой цели решаются следующие задачи изменения кинематики и конструкции установки пространственной ориентации ИА [10]:

- уменьшение момента трогания в узлах крепления пространственных осей установки;
- обеспечение установки автоматизированным приводом и датчиками положения осей;
- обеспечение прецизионной настраиваемости пространственной ориентации азимутальной, зенитной и визирной осей установки.

1. Для уменьшения радиальной нагрузки на подшипники узла крепления азимутальной оси очевидным решением является увеличение базового расстояния между подшипниками - разнесение их на максимально возможное расстояние. Это решение реализуется при разработке двухопорной, вертикально разнесённой рамной конструкции крепления азимутальной оси с нижней и верхней опорами. При этом увеличение плеча от точки приложения силы до точки опоры уменьшает нагрузочный радиальный момент.

Наилучшим образом зарекомендовал себя сферический тип нижней опоры по плоской упорной поверхности и по цилиндрической радиальной поверхности для предотвращения смещения азимутальной оси. Поверхности опоры выполнены из немагнитной стали с последующим упрочнением поверхности. Боковые

поверхности верхней опоры также выполнены сферическими. Это позволяет устранить радиальные нагрузки при настройке вертикальности азимутальной оси.

Таким образом, двухопорная конструкция со сферическими нижней и верхней опорами имеет следующие преимущества:

- разгружает нижнюю опору от радиальных нагрузок;
- обеспечивает минимизацию момента трогания азимутальной оси, что позволяет применить автоматизированный привод малой мощности;
- обеспечивает степень свободы азимутальной оси по зенитным углам для обеспечения её прецизионной настройки;
- позволяет разместить автоматизированные приводы азимутальной и зенитной осей на верхней опоре, максимально удалив магнитные массы приводов от блока датчиков ИА, расположенных, как правило, в нижнем секторе с углом  $\pm 120^\circ$ ;
- уменьшает габаритные размеры установки.

2. Внедрение двухопорной конструкции крепления азимутальной оси предусматривает разработку стойки, связывающую верхнюю и нижнюю опоры. К стойке предъявляются следующие требования: - жёсткая связь верхней и нижней опор в осевом и радиальном направлениях; - малые габаритные размеры и компактность расположения.



Рисунок 5. Внешний вид трёхопорной стойки установки пространственной ориентации ИА

Исходя из требования жёсткости конструкции опоры в радиальном направлении идеальным вариантом крепления верхней опоры является куполообразная конструкция её поддержки, изготовление которой сопряжено с определёнными трудностями. Вариантом приближения к данной конструкции являлась конструкция трёхопорной стойки, опоры которой изогнуты по радиусу и расположены под углом  $120^\circ$  (рис.5).

В результате была разработана и изготовлена трёхопорная стойка (рис.5). Данная опора имела малый вес, была изготовлена из немагнитного алюминиевого проката, снабжена растяжками, обеспечивающими пространственную устойчивость опор, и должна была иметь высокую жёсткость по радиальной ориентации верхней опоры. Испытания данной конструкции показали, что она не обеспечивала однозначность ориентации верхней опоры, которая имела и осевую и радиальную степень свободы. При работе автоматизированного привода установки вибрации от шаговых двигателей резонировали с опорами и растяжками, что приводило к превышению погрешностей воспроизведения эталонных углов.



Рисунок 6. Внешний вид метрологической установки пространственной ориентации забойной и скважинной инклинометрической аппаратуры

Недостатком данной конструкции явилось то, что опоры стойки не имели собственной жёсткости в осевом и радиальном направлении. Принимая во внимание то, что вращающаяся рама установки также является опорой в осевом направлении, возникает возможность рассмотрения двухопорной конструкцию стойки. При расположении стоек под углом  $180^\circ$  двухопорная конструкция теряет боковую устойчивость. Этот вариант самый нежелательный. Такая конструкция должна иметь дополнительные опоры, создающие устойчивость в поперечном направлении. Оптимальный угол между опорами  $90^\circ$ . При увеличении или уменьшении этого угла осевая устойчивость не изменяется, при условии вращения в установке сбалансированной ИА радиальная устойчивость стойки не ухудшается. Тогда при любом пространственном положении ИА в установке её центр тяжести не изменяется и остаётся над нижней опорой. Это означает, что стойка будет устойчивой при любых углах, отличных от  $180^\circ$  и  $0^\circ$ . Естественно, углы более близкие к  $0^\circ$  обеспечивают меньшие габаритные размеры стойки. В связи с этим в конструкции стойки опоры разнесены на  $45^\circ$  и соединены в единую ферменную конструкцию. В результате такая стойка выполнена одноопорной (рис. 6). Нижнее основание стойки, соединяющее нижнюю опору со стойкой, закрепляется к полу анкерными болтами. Хотя они и не несут существенных нагрузок, так как конструкция установки сбалансирована, они обеспечивают однозначную привязку установки к полу здания.

Таким образом, одноопорная стойка установки соответствует предъявляемым требованиям и имеет следующие положительные качества:

- компактная конструкция стойки позволяет расположить установку в углу площади участка инклинометрии;
- ферменная конструкция обеспечивает достаточную механическую прочность, устойчивость и обладает малым весом;
- не имеет резонансных частот на частотах работы электропривода.

3. Для уменьшения момента трогания зенитной оси вместо подшипников скольжения, выполненных из капролона и применённых в установках-прототипах, в разработанных установках применены подшипники качения, выполненные из немагнитной стали.

Причём, применение немагнитных подшипников качения в узлах зенитных осей установок-прототипов является затруднительным по следующим причинам. В связи с тем, что конструкция крепления зенитной оси выполнена U-образной (кроме УПИ-3М и УНЭИИП-2М [7]), то для её усиления установлены угловые косынки, которые увеличивают расстояние между подшипниками до 0,5 м. В консольных конструкциях крепления деталей зенитной оси расстояние между узлом крепления инклинометрической аппаратуры и узлом противовеса также составляет (0,5÷0,6) м.

Увеличение длины зенитной оси влечёт за собой увеличение её диаметра. Это, соответственно, увеличивает внутренний и внешний диаметры подшипников до  $\varnothing 50\div 60$  мм. Но подшипники качения из немагнитных материалов таких диаметров либо не изготавливаются промышленностью, либо стоят очень дорого.

В разработанной установке АСКИ [1] конструкция зенитной оси выполнена ферменной и совмещена с узлами крепления ИА (АСКИ [1, 2]), а в установках типа УАК-СИ [20÷24] зенитная ось совмещена с узлами крепления подшипников визирной оси. Такая конструкция усиливает зенитную ось по изгибным напряжениям, имеет малый диаметр посадочных поверхностей подшипников и позволяет применить доступные по диаметрам немагнитные подшипники качения, что значительно уменьшает момент трогания зенитной оси, создаёт условия для применения маломощного электропривода зенитной оси. При этом создаются условия для применения маломощного электропривода зенитной оси.

4. В установках-прототипах цапги крепления ИА вращаются в корпусе установки за счёт применения подшипников скольжения, имеющих большую площадь контакта и, соответственно, требуют больших усилий для осуществления поворота визирной оси. При этом для предотвращения смещения в осевом направлении, подшипники скольжения имеют упорные бурты, сила трения на которых увеличивается по мере увеличения зенитного угла.

В конструкции визирной оси разработанных установок применён ряд технических новшеств. Изначально, совместно с автоматизированным приводом, была проверена работоспособность подшипников скольжения визирной оси, выполненных из капролона, как на установках-прототипах. Конструкторские

испытания такого узла с маломощным электроприводом показали, что при весе ИА до 100 кг большая нагрузка на рабочие поверхности подшипников скольжения из капролона приводит к неравномерности момента вращения вплоть до остановки вращения. Тоже происходит при изменении температуры окружающей среды до  $-(7\div 10)^{\circ}\text{C}$ .

Для уменьшения момента трогания требовались немагнитные подшипники качения с внутренним диаметром  $\varnothing 80$  мм. Решая задачу сохранения компактности ферменной конструкции зенитной оси, были применены доступные подшипники качения малых размеров, выполняющих функции роликов между дорожкой, выполненной из титана, и внешней обоймой, на которой крепятся ПК. Такая конструкция позволила установить упорные подшипники качения для уменьшения силы трения в осевом направлении визирной оси. В конструкцию крепления осей подшипников качения также введены узлы регулирования зазоров подшипников качения с титановой обоймой в радиальном и осевом направлениях, что позволяет устранить прецессию оси вращения ИА и визирной оси установки.

Таким образом, технические решения, внедрённые в конструкцию крепления визирной оси, позволяют значительно уменьшить момент трогания визирной оси, сохраняют компактность ферменной конструкции зенитной оси, не увеличивая длину зенитной оси.

5. Для разработанной установки с уменьшенными моментами трогания в узлах крепления пространственных осей применены электродвигатели мощностью 4,2 Вт и весом 68 грамм. Проведённые исследования показали, что магнитная масса равная  $65\div 70$  грамм может располагаться на расстоянии не менее 1,25 м от блока датчиков ИА. На разработанной установке место размещения электропривода находится на расстоянии  $2,5\div 3$  м от блока датчиков ИА по азимутальной и зенитной осям и  $1,8\div 2,5$  м по визирной оси, что является достаточным для удаления магнитных масс выбранных электродвигателей от блока датчиков ИА.

Магнитная масса, эквивалентная массе электропривода мощностью  $50\div 100$  Вт, необходимого для вращения осей установок-прототипов, может располагаться на расстоянии не менее 2 м от блока датчиков ИА. Выполнить это условие на этих установках чрезвычайно трудно.

Привод азимутальной оси на разработанной установке выполнен совместно с верхним узлом крепления азимутальной оси, узлом её настройки узлом предохранения привода от предельного момента на азимутальной оси и узлом подводки кабеля питания и передачи информации. Азимутальный и зенитный приводы выполнены идентичными по передаточным числам и конструкциям редукторов. В качестве первого редуктора после электродвигателя применён планетарный редуктор с передаточным отношением 212. После него установлен червячный редуктор с передаточным отношением 150. В результате на азимутальной и визирной осях, при скорости ротора электродвигателя 7600 об/мин, имеем угловую скорость 1,4 град/сек с моментом 15 мН·м при мощности электродвигателя 4,2 Вт. Такая угловая скорость удовлетворяет допустимой скорости вращения перемещения ИА в пространстве, составляющей 1,5 град/сек.

Расположение привода зенитной оси отличается тем, что вращение от электродвигателя с планетарным редуктором, размещённого на верхней опоре азимутальной оси, передается по торсиону вращения к червячному редуктору и узлу предохранения привода от предельного момента на зенитной оси, расположенным на зенитной оси. Червячные редукторы выполнены из немагнитных материалов.

К приводу визирной оси предъявляются такие же требования по удалённости, как и к приводам азимутальной и визирной осей. Поэтому привод визирной оси и датчик углового положения (ДУП) располагаются дальше электрического разъёма ИА на кронштейне, установленном параллельно корпусу ИА. Привод визирной оси имеет только планетарный редуктор с передаточным отношением 212. При этом скорость вращения ИА вдоль визирной оси составляет 0,6 об/сек.

ДУП азимутальной оси располагается на верхней опоре азимутальной оси и крепится на азимутальной оси через муфты согласования несоосностей азимутальной оси и оси ДУП. ДУП зенитной оси таким же образом крепится на зенитной оси, на раме вращения азимутальной оси.

6. В установках-прототипах [6, 13, 15, 11, 19] настройка вертикальности азимутальной оси производится за счёт изменения высоты опорных подпятников

стойки установки. Настройка горизонтальности зенитной оси и перпендикулярность ей визирной оси производится поворотом друг относительно друга 2-х настроечных шайб, имеющих скошенные поверхности под углом 20 угловых минут.

В разработанной установке с внедрением двухопорной конструкция крепления азимутальной оси упростилось настраиваемость пространственной ориентации азимутальной и зенитной осей установки. Вертикальность азимутальной оси настраивается перемещением подвижной части нижней опоры с помощью 2-х микрометрических винтов, расположенных взаимно перпендикулярно. Учитывая, что верхняя опора, расположена на расстоянии 3,5 м от нижней части азимутальной оси, относительно которой производится настройка. Перемещение нижней части оси на 0,2 мм соответствует повороту азимутальной оси по зениту на  $(11,8 \div 10,3)''$  (угловых секунд). При настройке вертикальности азимутальной оси в установках-прототипах достигаемая точность составляет  $\pm 30''$ .

Узел настройки горизонтальности зенитной оси разработанной установки находится в нижней части вращающейся азимутальной рамы. Перемещение нижней части элемента вращающейся азимутальной рамы относительно её азимутальной оси на 0,2 мм соответствует повороту зенитной оси на  $(12,1 \div 10,6)''$ . Для достижения подобной точности при настройке горизонтальности зенитной оси в установках-прототипах требуется повернуть настроечные шайбы на угол  $1,5^\circ$ . Точно выполнить такой поворот очень сложно, поскольку на зенитных шайбах нет микрометрических винтов.

Для повышения точности настройки визирной оси в разработанной установке вначале производится настройка вертикальности визирной оси, а затем настройка параллельности визирной оси и оси вращения подшипников визирной оси. Настройка вертикальности визирной оси производится настройкой положений призм узла крепления ИА в ортогональных плоскостях. Настройка параллельности визирной оси и оси вращения подшипников визирной оси производится регулировкой положения подшипниковых узлов в плоскости зенитной оси. Обе настройки проводятся с точностью  $\pm(15 \div 30)''$ .

В установках-прототипах для достижения подобной точности при настройке вертикальности визирной оси требуется произвести поворот настроечных шайб на угол  $(2,2 \div 4,5)^\circ$ , что выполнить трудно, поскольку на визирных шайбах нет микрометрических винтов. Настройка параллельности визирной оси и оси вращения ПС визирной оси не производится. В результате в установках-прототипах погрешности изготовления ПС входят в погрешности настройки установки в целом.

Кинематическая схема установки приведена на рис.7. Микроэлектродвигатели приводов азимутальной и зенитной осей расположены в верхней части установки. Датчика углового положения крепятся непосредственно к азимутальной и зенитной осям установки. Муфты приводов датчиков положения служат для исключения погрешностей измерений от влияния несоосного расположения осей установки и осей датчиков. Привод с датчиком положения визирной оси расположен на узле зенитной оси со стороны электрического разъёма ИА.

Таким образом, в разработанной установке обеспечена прецизионная настройка пространственной ориентации азимутальной, зенитной и визирной осей установки. Причём точность настройки вертикальности азимутальной оси, горизонтальности зенитной оси и вертикальности визирной оси в  $2,5 \div 3$  раза выше, чем в установках-прототипах.

На рис.8 приведена кинематическая схема нижней опоры поворотной рамы. Регулировочные винты (1) положения плиты нижней опоры (2) расположены по углам треугольника и позволяют горизонтировать всю нижнюю опору перед установкой вертикальности азимутальной оси. Регулировочные винты (4, 5) положения азимутальной оси расположены в ортогональных направлениях и служат для настройки вертикальности азимутальной оси.

Плита (3) настройки положения азимутальной оси имеет возможность перемещаться регулировочными винтами (4, 5) в пределах ортогональных пазов, в которых расположены эти винты. Упорная (6) и радиальная (7) поверхности нижней опоры азимутальной оси соединены с плитой (3) настройки положения азимутальной оси и при настройках перемещает сферическую опору (8) азимутальной поворотной рамы и, соответственно, нижнюю точку азимутальной

оси. Узел (11) регулирования горизонтальности зенитного угла перемещает азимутальную поворотную раму (12) в плоскости зенитной оси.

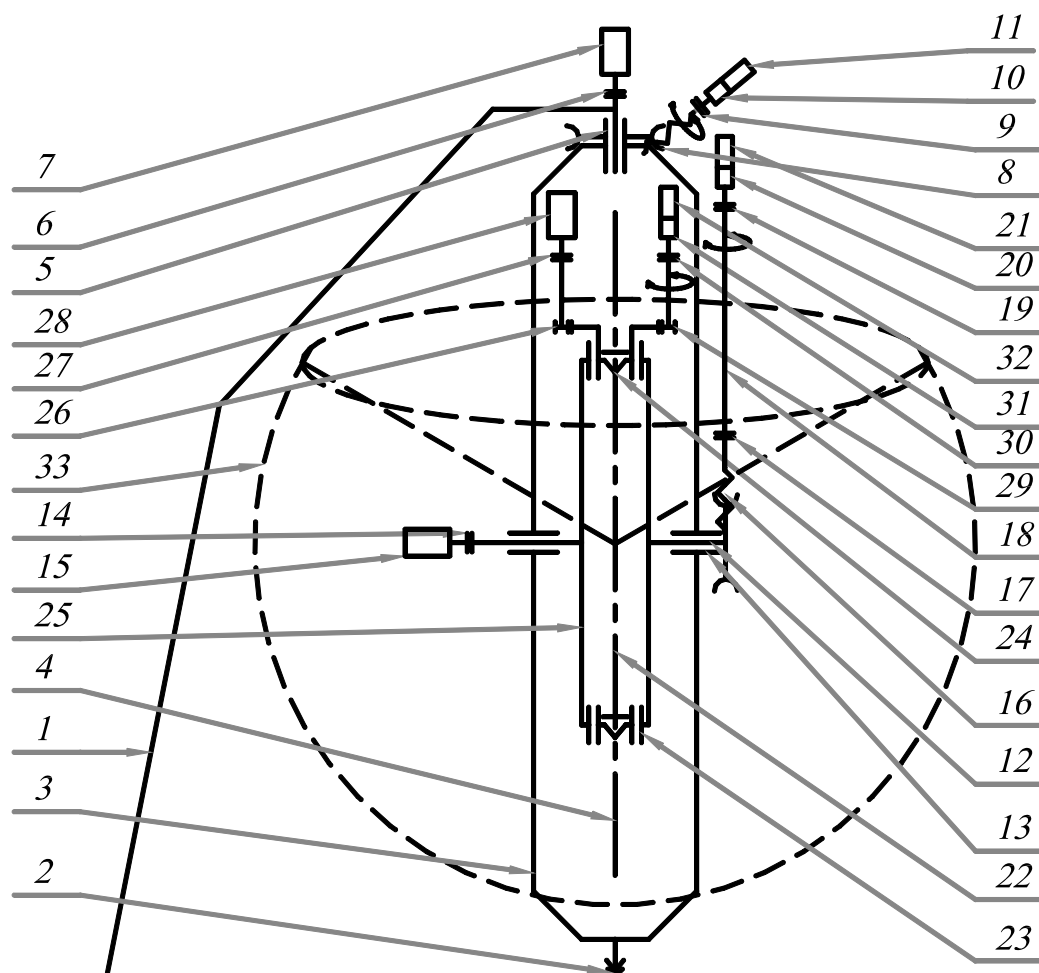


Рисунок 7. Кинематическая схема приводов пространственных осей установки:

1- стойка установки; 2 - нижняя опора азимутальной оси; 3 – поворотная рама азимутальной оси; 4 – геометрическая азимутальная ось; 5 – верхняя опора азимутальной оси; 6 – муфта привода датчика положения азимутальной оси; 7 – датчик положения азимутальной оси; 8 – червячный редуктор азимутального привода; 9 – муфта азимутального привода; 10 – планетарный редуктор азимутального привода; 11 – микроэлектродвигатель азимутального привода; 12 – геометрическая зенитная ось; 13 – опоры зенитной оси; 14 - муфта привода датчика положения зенитной оси; 15 - датчик положения зенитной оси; 16 - червячный редуктор зенитного привода; 17 – нижняя муфта зенитного привода; 18 - торсион зенитного привода; 19 - верхняя муфта зенитного привода; 20 - планетарный редуктор зенитного привода; 21 - микроэлектродвигатель зенитного привода; 22 - геометрическая визирная ось; 23 – опоры визирной оси; 24 – узлы крепления ИА; 25 – поворотная рама зенитной оси; 26 - цилиндрический редуктор привода датчика положения визирной оси; 27 - муфта привода датчика положения визирной оси; 28 - датчик положения визирной оси; 29 – цилиндрический редуктор привода визирной оси; 30 - муфта визирного привода; 31 - планетарный редуктор визирного привода; 32 - микроэлектродвигатель визирного привода; 33 - рабочая область ИА.

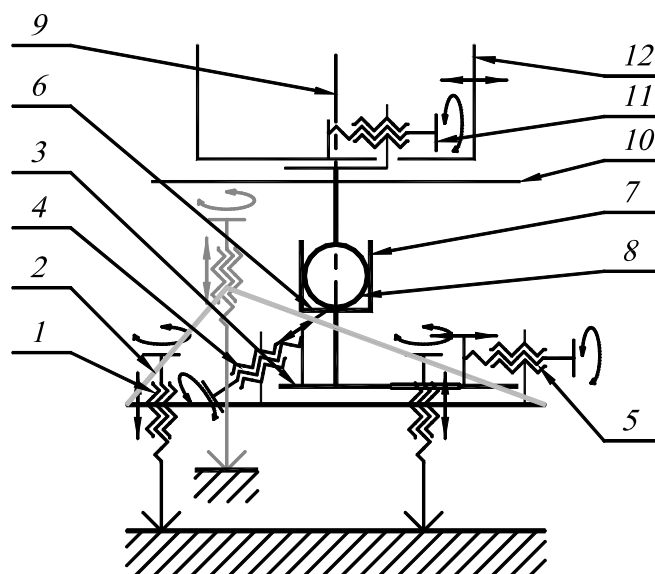


Рисунок 8. Кинематическая схема нижней опоры поворотной рамы:

1 - регулировочные винты положения горизонтируемой плиты нижней опоры; 2 – горизонтируемая плита нижней опоры; 3 – плита настройки положения азимутальной оси; 4, 5 - регулировочные винты положения азимутальной оси; 6 – упорная поверхность нижней опоры азимутальной оси; 7 – радиальная поверхность нижней опоры азимутальной оси; 8 – сферическая опора азимутальной поворотной рамы; 9 – геометрическая азимутальная ось; 10 – лимб азимутальной оси; 11 – узел регулирования горизонтальности зенитного угла; 12 - азимутальная поворотная рама.

На рис. 9 приведена кинематическая схема верхней опоры азимутальной оси. Сферический узел (2) центрирования и фиксации верхней точки азимутальной поворотной рамы необходим для соосного выставления геометрической оси поворотной азимутальной рамы и оси вала азимутального привода. Приводной вал (4) датчика положения азимутальной оси (16) отцентрирован и закреплен на сферическом центраторе (3) вала азимутального привода. Корпус датчика положения азимутальной оси (16) закреплён на верхней сферической опоре азимутальной оси. Муфта (15) датчика положения азимутальной оси служит для компенсации несоосностей оси датчика и подводящегося приводного вала (4). Предохранительная муфта (5) вала азимутального привода служит для предотвращения поломки червячного редуктора (7) при ручном вращении азимутальной поворотной рамы (1). Верхняя сферическая опора (11) азимутальной оси позволяет производить настройку вертикальности азимутальной оси и фиксируется в сферическом узле (12) верхней опоры азимутальной оси.

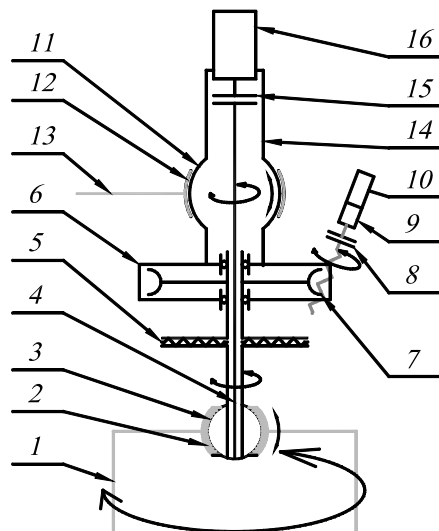


Рисунок 9. Кинематическая схема верхней опоры азимутальной оси:

1 - азимутальная поворотная рама; 2 – сферический узел центрирования и фиксации верхней точки азимутальной поворотной рамы; 3 – сферический центратор вала азимутального привода; 4 – приводной вал датчика положения азимутальной оси; 5 – предохранительная муфта азимутального привода; 6 - корпус червячного редуктора; 7 – червячный редуктор азимутального привода; 8 – муфта азимутального привода; 9 - планетарный редуктор азимутального привода; 10 - микроэлектродвигатель азимутального привода; 11 – верхняя сферическая опора азимутальной оси; 12 – сферический узел фиксации верхней опоры азимутальной оси; 13 – стойка установки; 14 – корпус муфты датчика положения азимутальной оси; 15 - муфта датчика положения азимутальной оси; 16 - датчик положения азимутальной оси.

На рис.10 приведена кинематическая схема опор и привода зенитной оси. Сферическая поворотная опора (4) зенитной оси необходима для углового компенсирования положения зенитной оси при её регулировании в узле (21), производящейся для устранения несоосного расположения опор зенитной оси после изготовления узлов установки. Предохранительная муфта (19) зенитного привода предохраняет червячную передачу зенитного привода от поломок при ручном вращении по зенитной оси. При отжиге ручки (20) предохранительная муфта разъединяет вал червячного редуктора (11) и вал привода (10) зенитной оси. Датчик (7) положения зенитной оси через муфту (6) соединён с зенитной осью. В связи с тем, что привод зенитной оси расположен в верхней части установки, на длинный приводной торсион (15) с обеих сторон установлены муфты (14 и 16) для выравнивания угловой скорости и силовой разгрузки планетарного редуктора (17).

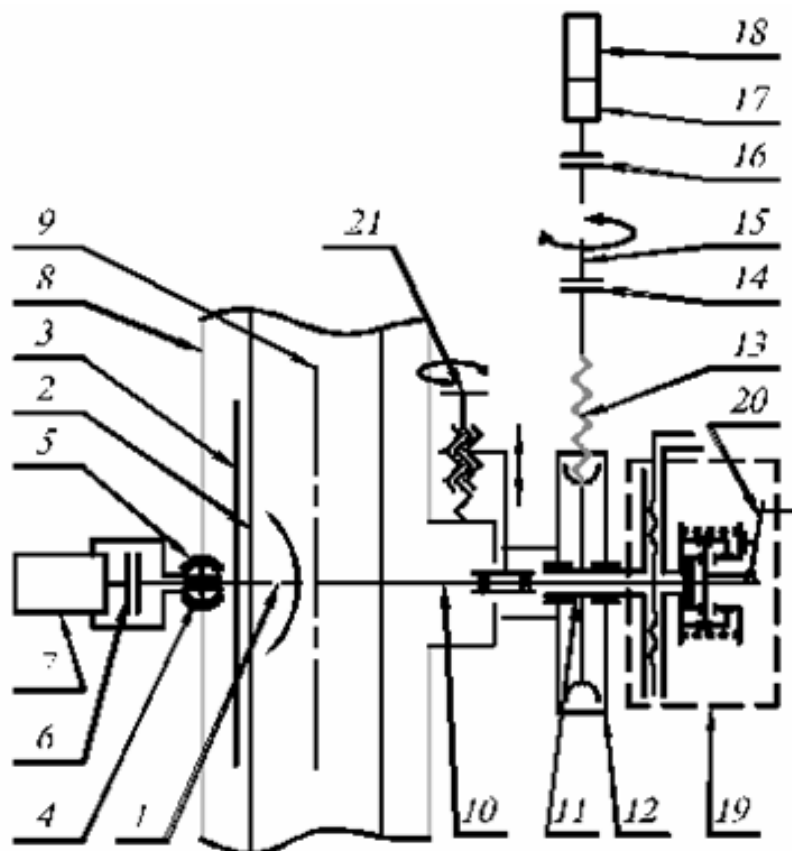


Рис. 10. Кинематическая схема опор и привода зенитной оси:

1 – геометрическая зенитная ось; 2 – рама зенитной оси; 3 – лимб зенитной оси; 4 – сферическая поворотная опора зенитной оси; 5 - сферический узел центрирования и фиксации сферической поворотной опоры зенитной оси; 6 - муфта датчика положения зенитной оси; 7 - датчик положения зенитной оси; 8 – азимутальная поворотная рама; 9 – геометрическая визирная ось установки; 10 – вал привода зенитной оси; 11 – вал червячного редуктора; 12 – корпус червячного редуктора; 13 - червячный редуктор зенитного привода; 14 – нижняя муфта зенитного привода; 15 - торсион зенитного привода; 16 - верхняя муфта зенитного привода; 17 - планетарный редуктор зенитного привода; 18 - микроэлектродвигатель зенитного привода; 19 – предохранительная муфта зенитного привода; 20 – ручка выключения предохранительной муфты; 21 – узел регулирования положения зенитной оси.

На рис.11 приведена кинематическая схема опор и привода визирной оси. Винты регулирования (4 и 11) перемещают подшипниковые узлы визирной оси вдоль зенитной оси установки. Это позволяет выставить ось подшипникового узла визирной оси перпендикулярно зенитной оси (2).

Узлы регулирования (6, 7, 13, 14) зазоров в подшипниковых узлах позволяют исключить люфты между наружными кольцами подшипников и внутренними опорными кольцами (10, 17).

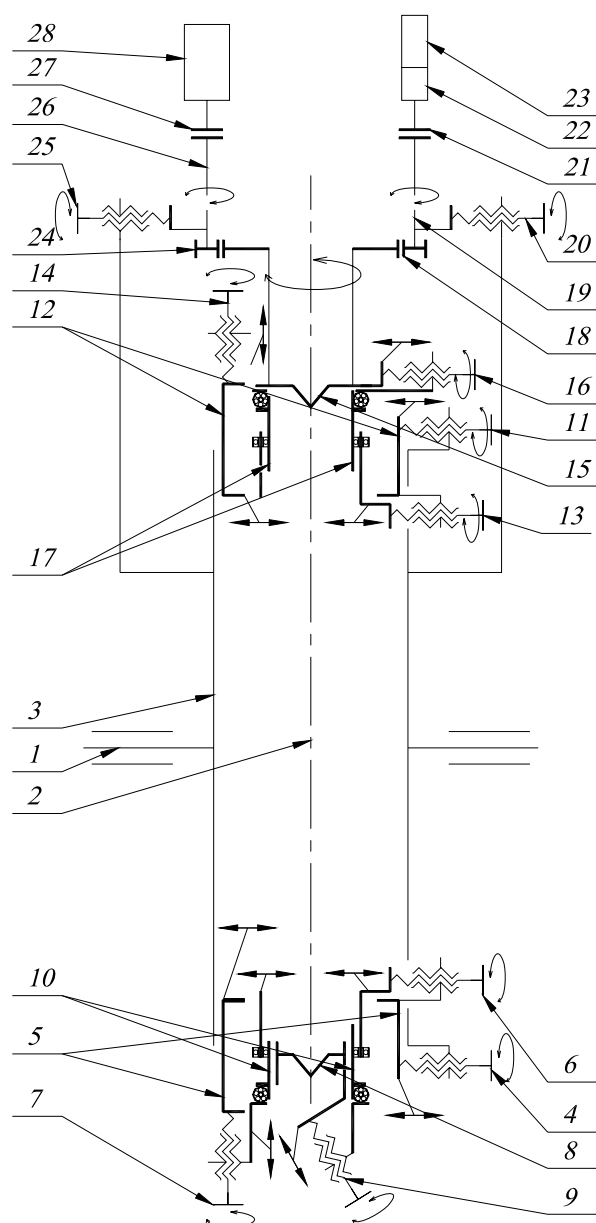


Рисунок 11. Кинематическая схема привода визирной оси:

1 – геометрическая зенитная ось; 2 - геометрическая визирная ось; 3 - поворотная рама зенитной оси; 4, 11 – винты регулирования положения осей вращения подшипниковых узлов визирной оси; 5, 12 – корпуса подшипниковых узлов; 6, 7, 13, 14 – узлы регулирования зазоров в подшипниковых узлах; 8, 15 – узлы крепления ИА; 9, 16 – узлы регулирования положения передних и задних призм узлов крепления ИА; 10, 17 – внутренние опорные кольца подшипниковых узлов; 18 – цилиндрический редуктор визирного привода; 19 – вал визирного привода; 20 - узел регулирования межосевого расстояния цилиндрического редуктора визирного привода; 21 - муфта визирного привода; 22 - планетарный редуктор визирного привода; 23 - микроэлектродвигатель визирного привода; 24 - цилиндрический редуктор привода датчика положения визирной оси; 25 - узел регулирования межосевого расстояния цилиндрического редуктора привода датчика положения визирной оси; 26 – вал привода датчика положения визирной оси; 27 - муфта привода датчика положения визирной оси; 28 - датчик положения визирной оси.

Узел регулирования (9) передней призмы (8) узла крепления ИА позволяет перемещать её в зенитной плоскости (в плоскости перпендикулярной зенитной оси), а узел регулирования (16) задней призмы (15) – вдоль зенитной оси. Это позволяет выставить ось крепления ИА параллельно оси подшипникового узла визирной оси. Узлы регулирования межосевого расстояния цилиндрического редуктора служат для устранения зазора в приводах и уменьшения погрешностей воспроизведения эталонного визирного угла.



Рисунок 12. Внешний вид установки УАК-СИ-Ок

Таким образом, технические решения, заложенные в кинематические схемы узлов разработанной установки, направлены на обеспечение встраиваемости автоматизированного привода установки и датчиков положения осей, настраиваемости пространственной ориентации осей установки и уменьшение инструментальных погрешностей воспроизведения эталонных пространственных углов.

Внешний вид разработанной установки УАК-СИ приведён на рис.6, рис.12, рис.13. Стойка установки выполнена одноопорной, ферменной конструкции. Стойка предназначена для обеспечения связи верхней (5) и нижней (4) опор азимутальной оси, крепления азимутального (7) и зенитного (15) приводов, датчика и лимба азимутальных углов (9). Стойка изготовлена из трех сварных узлов: нижней опорной (1), средней (2) и верхней (3) рам. Нижняя опорная рама крепится к полу немагнитными анкерными болтами. Конструкция стойки позволяет компактно размещать установку на участке инклинометрии.

Азимутальная поворотная рама (6) выполнена из проката марки Д16 с рёбрами жёсткости в радиальном направлении относительно азимутальной оси. Высота рамы позволяет производить МО во всём диапазоне пространственных углов. С одной стороны поворотной рамы расположен зенитный привод (12, 13, 14, 15), с другой – датчик положения зенитной оси (11).

На рис.12 показана установка УАК-СИ с азимутальной поворотной рамой ферменной конструкции и усиленной стойкой. Такая конструкция позволяет проводить МО ИА весом до 150 кг.

Нижняя опора (4) (рис.13) азимутальной поворотной рамы имеет лимб с разрешением  $0,1^\circ$  с фиксаторами через  $30^\circ$ . Верхняя опора (5) азимутальной поворотной рамы содержит микроэлектродвигатели азимутального и зенитного привода с электронными блоками. Для связи с приводами и датчиками на предохранительной муфте азимутального привода (8) установлен барабан для укладки кабеля устройством (22).

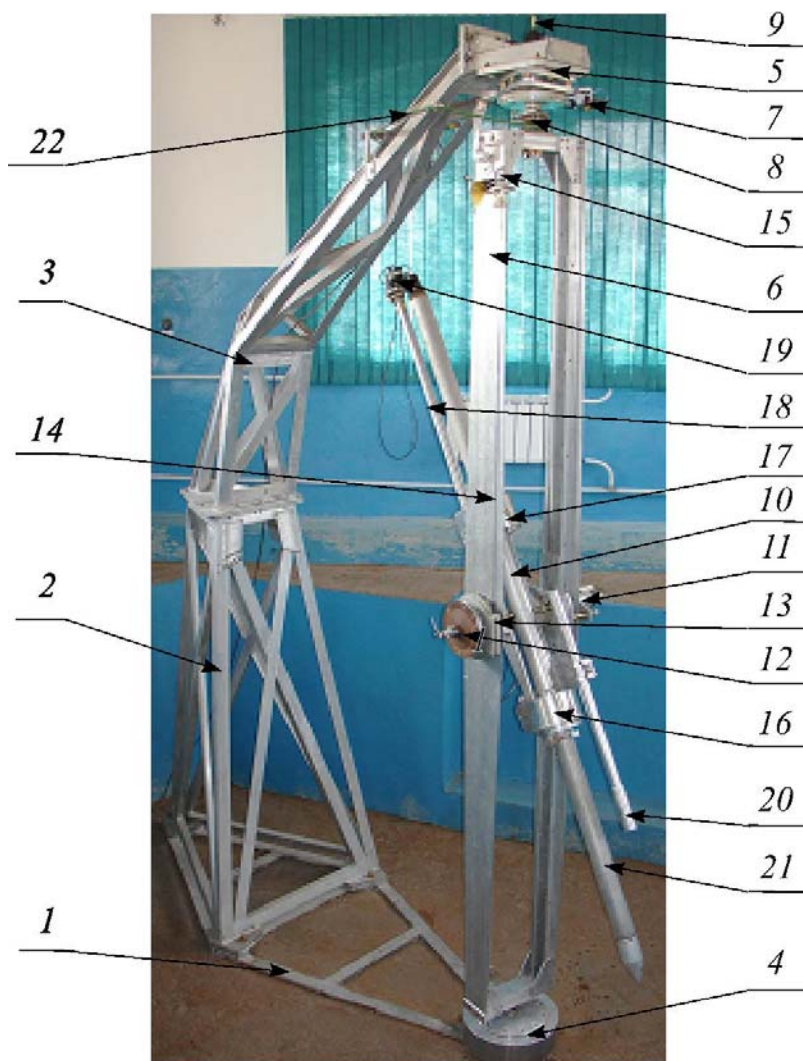


Рисунок 13. Внешний вид установки УАК-СИ:

1 – нижняя опорная рама; 2 – средняя опорная рама; 3 – верхняя опорная рама; 4 – нижняя опора азимутальной поворотной рамы; 5 – верхняя опора азимутальной поворотной рамы; 6 – азимутальная поворотная рама; 7 – азимутальный привод; 8 – предохранительная муфта азимутального привода с барабаном; 9 – датчик положения азимутальной оси; 10 – зенитная поворотная рама; 11 – датчик положения зенитной оси; 12 – предохранительная муфта зенитного привода; 13 – червячный редуктор зенитного привода; 14 – торсион зенитного привода с муфтами; 15 – зенитный привод; 16 – передняя опора визирной оси; 17 – задняя опора визирной оси; 18 – кронштейн визирного привода; 19 – узел привода и датчика положения визирной оси; 20 – противовес; 21 – скважинный инклинометр; 22 – устройство укладки кабеля установки.

На верхней опоре расположен червячный редуктор азимутального привода в соответствии с кинематической схемой (рис.9). Зенитная поворотная рама (10) ферменной конструкции выполняет функции прочной на изгиб зенитной оси, является корпусом опор визирной оси и содержит все регулировочные винты

подшипниковых узлов и призм крепления ИА и содержит кронштейн (18) визирного привода и датчика положения визирных углов. Конструкция зенитной поворотной рамы позволяет закреплять ИА диаметром от 28 мм до 73 мм. Противовес (20) служит для балансировки кронштейна визирного привода. Сбалансированное расположение ИА в призмённых узлах крепления создаёт устойчивость всей установки.

Установка полностью выполнена из немагнитных материалов.

Таким образом, конструктивные решения, внедрённые в разработанную установку, позволяют размещать электропривод пространственных осей на достаточном расстоянии от блока датчиков ИА и проводить калибровку «тяжёлой» ИА. Компактность исполнения установки упрощает её размещение на участке инклинометрии. Полная автоматизация работы установки и её компоновка повышают точность метрологического контроля ИА.

## Литература

1. Автоматизированная система АСКИ калибровки инклинометров. Техническое описание и руководство по эксплуатации АЯЖ 1.001.048 ТО и РЭ, - Уфа, -2002.
2. Автоматизированная система АСКИ-2 калибровки инклинометров. Техническое описание и руководство по эксплуатации АЯЖ 1.001.048-01 ТО и РЭ, -Уфа, -2004.
3. Автоматизированный комплекс (АК ТДИ) для тарирования датчиков инклинометров типа "ИОН"// В рекламном сб. «Аппаратура и оборудование дл каротажа нефтегазовых скважин» ООО «Нефтегеофизика», ЗАО НПФ Каротаж», -2004.
4. Блюменцев А.М., Калистратов Г.А., Лобанков В.М., Цирульников В.П. Метрологическое обеспечение геофизических исследований скважин. – М., Недра. -1991. – 266 с.
5. Каталог продукции ОАО НПФ «Геофизика», -Уфа, -2000.
6. Каталог продукции ОАО НПФ «Геофизика», -Уфа, -2001.

7. Компьютеризированная установка калибровки инклинометрических систем УПИ-3М. //Рекламный лист Санкт-Петербургский государственный горный институт, ЗАО "Петровское", -2004.

8. Миловзоров Г.В. Обзор метрологической базы и концепция метрологического обеспечения поверок инклинометрических преобразователей. // Новые методы, технические средства и технологии получения измерительной информации. Материалы Всероссийской научно-техн. конф. -Уфа. -1997.

9. Официальный бюллетень Российского агентства по патентам. Патент на изобр. № 2178522, РФ, МПК Е 21 В047/02, G 01 С 009/00. Установка для настройки и экспериментальных исследований инклинометров. - № 99122810/03. Алимбеков Р.И., Заико А.И. ООО Научно-исследовательский институт технических систем "Пилот".

10. Официальный бюллетень Российского агентства по патентам. Патент на изобр. № 2249689, РФ, МПК Е 21 В47/02, G 01 С 9/00. Автоматизированная установка для калибровки инклинометров. - №2002124111/28. Заявлено 10.09.2002. Оpubл. 10.04.2005. БИ №10. Гарейшин З.Г., Лобанков В.М., Полев О.К., Пономарёв Н.А., Морозов А.Ф., Рыжиков О.Л.

11. Рогатых Н.П. Построение феррозондовых преобразователей магнитного азимута // Геофизическая аппаратура. -1989. Вып. 91. - С.56-61.

12. Сопровождение бурения на нефть и газ. Геофизические исследования скважин. Инспекция трубопроводов. // В рекламном проспекте «Новые технологии и оборудование» Инжиниринговой Ассоциации «Электромеханика. - С-П., -2002– 16 с.

13. Стол установочный УСИ-2. Технические условия ТУ 39-01-329-77.

14. Установка для поверки инклинометров УОП-2. Рекламный проспект НПО «Союзпромгеофизика». -Тверь, -1991.

15. Установка для поверки инклинометров УПИ-2 / Алимбеков Р. И., Баймуратов Ю. Г., Заико А. И., Сорокин А. А. // Измерительная техника. - 2002. - N 11. - С. 23-24.

16. Установка калибровки инклинометрическая переносная УКИП. Рекламный листок ОАО ВНИИГИС. -Октябрьский, -2003.

17. Установка поверки инклинометров УАПИ-1. Каталог продукции НПП «ГОРИЗОНТ», -Ижевск,-1998..

18. Установка поверочная инклинометрическая компьютеризованная УПИ-1М. Каталог продукции ОАО НПФ «Геофизика», -Уфа, -2005.

19. Установка поверочная УПН-1. Технические условия АЯЖ2.860.009ТУ.

20. Установка УАК-СИ для автоматизированной калибровки скважинных инклинометров. Техническое описание и руководство по эксплуатации АЯЖ 1.001.048-02 ТО и РЭ, -Уфа, -2004.

21. Установка УАК-СИ-АЗВ для автоматизированной калибровки скважинных инклинометров. Техническое описание и руководство по эксплуатации ГЕО.048 ТО и РЭ, -Уфа, -2006.

22. Установка УАК-СИ-АЗВ-П для автоматизированной калибровки скважинных инклинометров. Техническое описание и руководство по эксплуатации ГЕО.048-1 ТО и РЭ, -Уфа, -2005.

23. Установка УК-СИ-АЗВ для калибровки скважинных инклинометров. Техническое описание и руководство по эксплуатации ГЕО.048-3 ТО и РЭ, -Уфа, -2004.

24. Установка УК-СИ-АЗВ-Д для калибровки скважинных инклинометров. Техническое описание и руководство по эксплуатации ГЕО.048-2 ТО и РЭ, -Уфа, -2004.

25. Установка поверочная инклинометрическая УПИ-001/ООО «Интракт»/Паспорт ИНТР-01.00.000.000 ПС, -Уфа, - 2005. – 14 с.

26. А.с. 705260 СССР, МКл2 G 01 V 13/00. Устройство для поверки пространственного положения скважинных приборов./ Н.А. Бачманов, А. С. Найгорин, А.М. Бондарев. - №2423677/18-10. Заявлено 29.11.76. Опубл. 25.12.79. БИ №47.