

Донбасский государственный технический университет

В. Г. Ларченко
Е. А. Денисенко

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАНОВЫХ КООРДИНАТ ТОЧЕК
С ПОВЕРХНОСТИ В ШАХТУ
ПРИ ОРИЕНТИРОВАНИИ ЧЕРЕЗ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ СТВолы

Учебное пособие

*Рекомендовано ученым советом
Донбасского государственного технического университета*

Алчевск
2014

УДК 528.484.001.63
ББК И12
Л 25

Ларченко Виталий Григорьевич – кандидат технических наук, доцент, академик МАНЕБ, заведующий кафедрой маркшейдерии, геодезии и геологии Донбасского государственного технического университета;

Денисенко Елена Александровна – ассистент кафедры маркшейдерии, геодезии и геологии Донбасского государственного технического университета.

Рецензенты:

В. М. Корх – главный маркшейдер государственного предприятия «Луганскуголь»;

С. Г. Радов – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой землеустройства и кадастра Луганского национального аграрного университета.

*Рекомендовано ученым советом
Донбасского государственного технического университета
(протокол № 10 от 20.12.2013)*

Ларченко В. Г.

Л 25 Проектирование плановых координат точек с поверхности в шахту при ориентировании через вертикальные стволы : учеб. пособ. / В. Г. Ларченко, Е. А. Денисенко. — Алчевск : ДонГТУ , 2014. — 149 с.

Рассмотрен новый гравитационный способ проектирования плановых координат точек с земной поверхности на ориентируемый горизонт через один и два вертикальные стволы. Изложена методика проектирования, случайные и систематические погрешности, влияющие на точность проектирования подземной опорной маркшейдерской сети. Приведены рисунки и фотографии оборудования для проектирования координат X, Y в шахту гравитационным способом, оценка точности проектирования, результаты лабораторных и шахтных испытаний и преимущества нового способа.

Для бакалавров, специалистов и магистров-маркшейдеров, а также для маркшейдеров горнодобывающих предприятий Украины.

УДК 528.484.001.63
ББК И12

© В. Г. Ларченко,
Е. А. Денисенко, 2014
© ДонГТУ, 2014
© А. А. Дудка, художественное
оформление обложки, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. ОБЗОР СПОСОБОВ ЦЕНТРИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНОЙ МАРКШЕЙДЕРСКОЙ ОПОРНОЙ СЕТИ.....	6
1.1 Общие сведения.....	6
1.2 Существующие способы проектирования координат точек с поверхности на горизонт ориентирования.....	7
1.3 Способы примыкания к проектируемым точкам.....	12
2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГРАВИТАЦИОННОМ СПОСОБЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЛАНОВЫХ КООРДИНАТ.....	16
2.1. Физический смысл гравитационного способа проектирования координат точек с поверхности на горизонт.....	16
2.2. Сущность гравитационного способа.....	16
2.3 Последовательность проектирования координат X,Y гравитационным способом.....	18
3. АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КООРДИНАТ.....	21
3.1. Общие сведения о погрешностях проектирования координат... 21	21
3.2. Перечень определяющих и влияющих факторов на точность центрирования подземной сети.....	21
3.4. Расчет общей случайной погрешности проектирования.....	35
4. ГРАФИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГРАВИТАЦИОННЫМ СПОСОБОМ.....	60
4.1. Описание графической модели.....	60
4.2. Графическая модель проектирования через один вертикальный ствол.....	61
4.3. Графическая модель проектирования через два центрально- сдвоенных вертикальных ствола.....	63
4.4. Графическая модель проектирования через два удаленных вертикальных ствола.....	64
4.5. Номограмма расположения на поверхности и фиксации на ориентируемом горизонте проектируемых точек.....	66
5. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЛАНОВЫХ КООРДИНАТ С ПОВЕРХНОСТИ В ШАХТУ.....	70
5.1. Проект экспериментального образца.....	70
5.2. Материалы для изготовления экспериментального образца.....	74

5.3. Экспериментальный образец	79
5.4. Поверка направляющего устройства.	84
5.5. Маркировка оборудования.	86
6. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОРИЕНТИРОВАНИЯ ШАХТ ПРИ ГРАВИТАЦИОННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЛАНОВЫХ КООРДИНАТ.	88
6.1. Теоретическая оценка точности	88
6.2. Погрешность расстояний между проектируемыми точками ...	106
6.3. Экспериментальная оценка точности	110
7. МЕТОДИКА МАРКШЕЙДЕРСКИХ РАБОТ ПРИ ЦЕНТРИРОВАНИИ ШАХТ ГРАВИТАЦИОННЫМ СПОСОБОМ..	118
7.1. Общие рекомендации перед началом проектирования	118
7.2. Подготовительные работы	119
7.3. Основные работы.	120
7.4. Преимущества применения гравитационного способа при ориентировании шахт.	129
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ	131
ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК	132
ПРИЛОЖЕНИЕ А.	135
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.	143
ПРИЛОЖЕНИЕ В.	147

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных задач маркшейдерской службы при подземной разработке полезных ископаемых является ориентирование шахт и рудников. При вскрытии запасов полезных ископаемых вертикальными стволами горизонтальная соединительная съемка включает центрирование подземной опорной сети, то есть передачу плановых координат X, Y с пунктов государственной геодезической сети земной поверхности на точку подземной маркшейдерской сети, и непосредственно ориентирование, то есть определение дирекционного угла минимум одной стороны подземной опорной сети.

Без ориентирно-соединительных съемок невозможно обеспечить безопасную разработку месторождений полезных ископаемых подземным способом.

Центрирование подземной опорной сети через вертикальные стволы до настоящего времени выполняется геометрическим способом при помощи отвесов, опускаемых с земной поверхности через ствол на ориентируемый горизонт. Оптическое и лазерное проектирование не получило распространения из-за плохой видимости в стволе и недостаточной точности.

Проектирование координат X, Y отвесами требует длительной остановки и эксплуатации вертикальных стволов, так как включает спуск и подъем отвесов, наблюдения за их колебаниями. Кроме того, геометрическое ориентирование через один вертикальный ствол «Инструкцией по производству маркшейдерских работ» [1] разрешено только при глубинах до 500 м.

Предлагаемый гравитационный способ проектирования плановых координат с поверхности на ориентируемый горизонт лишен ограничений по глубине и обладает рядом преимуществ. Теоретические исследования, лабораторные и шахтные испытания свидетельствуют о достаточной точности гравитационного способа центрирования подземной опорной маркшейдерской сети.

1. ОБЗОР СПОСОБОВ ЦЕНТРИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНОЙ МАРКШЕЙДЕРСКОЙ ОПОРНОЙ СЕТИ

1.1 Общие сведения

При разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом необходимо знать координаты и иметь на плане все подземные горные выработки в Государственной системе координат. Маркшейдерское обеспечение данного вида работ позволяет создавать планы горных выработок, совмещенные с планами поверхности, проектировать, проводить, гасить, задавать направление, вести учет добычи полезного ископаемого и проведения горных выработок, а также планировать подработку зданий, сооружений и водных объектов земной поверхности.

Все эти виды маркшейдерских работ возможно выполнить только после проведения соединительной съемки. Соединительная съемка проводится в горизонтальной и вертикальной плоскостях, обеспечивая геометрическую связь между съемками на поверхности и в подземных горных выработках в принятой на земной поверхности системе координат.

Соединительные съемки считаются достаточно изученными [2]. С 70-х годов прошлого века ученые практически не занимались вопросом ориентирования и за последний период очень мало публикаций по данной теме [3,4,5].

Центрирование подземной опорной маркшейдерской сети на данный момент имеет **ряд недостатков**:

1) значительные экономические затраты на приобретение проектирующего оборудования (лебедки, проволока, грузы для натяжения, центрировочные тарелочки);

2) продолжительность и трудоемкость подготовительных и заключительных работ (спуск и подъем отвесов, наблюдения за их колебанием);

3) необходимость в длительной остановке ствола, что негативно сказывается на эффективности работы всего предприятия;

4) влияние значительного количества внешних факторов на точность проектирования;

5) трудоемкость измерений и камеральной обработки существующих способов примыкания.

Актуальность настоящего учебного пособия заключается в решении всех приведенных выше вопросов путем центрирования подземной маркшейдерской сети гравитационным способом и внедрении его на шахтах Украины для повышения эффективности работы не только маркшейдерской службы, но и всего горнодобывающего предприятия в целом.

1.2 Существующие способы проектирования координат точек с поверхности на горизонт ориентирования

Существует несколько способов проектирования плановых координат точек через вертикальные стволы. Все они основаны на различных принципах переноса координат точек с поверхности в шахту [6]:

- 1) геометрический (способ шахтных отвесов через 1 и 2 вертикальных ствола; по проводнику армировки);
- 2) лазерным лучом;
- 3) оптический;
- 4) поляризации светового потока (при визуальной регистрации; при электронной регистрации).

1.2.1 Геометрический способ шахтных отвесов

Из перечисленных способов чаще всего при строительстве шахт и эксплуатации месторождений полезных ископаемых подземным способом применяют *геометрический способ шахтных отвесов* [2,7,8]. При данном способе, когда проектирование выполняется спуском в шахту двух отвесов одновременно с определением координат X,Y исходных пунктов подземной полигонометрии, определяют и дирекционный угол минимум одной стороны. Когда требуется только центрирование подземной сети (передача плоских координат), то в этом случае достаточно опустить в шахту один отвес.

Основным требованием, предъявляемым к производству данного вида работ, является точность. Расхождение в положении пункта под-

земной съемки по двум независимым проектированиям не должно превышать 5 см при глубине ствола $H < 500$ м и $0,01H$ при $H > 500$ м [1].

Проектирование плоских координат точек с поверхности в шахту через вертикальные стволы производится одним или несколькими шахтными отвесами в зависимости от горно-технических условий. Таким образом шахтный отвес выполняет роль геометрической прямой, параллельной отвесной линии в данной точке.

Область применения данного способа [1,2]:

— при глубине ориентируемого горизонта до 500м допускается проектирование и ориентирование двумя отвесами через один вертикальный ствол;

— при глубине свыше 500м — центрирование следует производить или одним отвесом через вертикальный ствол (в этом случае ориентирование производится гироскопическим способом) или через два вертикальных ствола.

Проектирование шахтными отвесами выполняется в 2 этапа [7,8]:

1) спуск отвесов. Для спуска отвесов необходимо громоздкое оборудование: ручные лебедки, блоки для направления отвесов в шахту, центрировочные пластинки (тарелки), стальная проволока, грузы, успокоитель. Перед началом работ устье и зумпф ствола перекрывают сплошным настилом из балок и досок. Отвесы опускают в шахту поочередно; сначала один, а затем другой. Для спуска используют небольшие грузы массой 3-5 кг, которые в шахте заменяют рабочими грузами. После подвески рабочих грузов проверяют отсутствие касания отвесов стенок ствола или армировки путем посылки «почты»;

2) наблюдения за качаниями отвесов выполняют с помощью центрировочных тарелочек со шкалами. Наблюдение качаний отвеса осуществляется с помощью двух теодолитов во взаимно перпендикулярных плоскостях. Наблюдая в окуляр теодолита, фиксируют отсчеты по шкале в крайних положениях отвеса, причем в качестве отсчетного индекса принимают либо внутренние, либо внешние края проволоки.

Таким образом, опустив отвесы в шахту до ориентируемого горизонта, выполнив наблюдения за их качаниями и определив среднее их

положение, необходимо с высокой точностью определить расстояние между ними на поверхности и в шахте и, если разность этих расстояний не превышает допустимого значения [1], то координаты отвесов принимаются равными на поверхности и в шахте [2,7,8]. При проектировании одним колеблющимся отвесом или через два (три) вертикальных ствола (по одному отвесу в каждом стволе) — процесс проектирования не меняется, только оборудование используется с учетом одного отвеса на один ствол.

Способ проектирования шахтными отвесами имеет следующие недостатки:

1) необходимость приобретения и установки крупногабаритного и дорогостоящего оборудования (лебедок, проволоки, грузов для натяжения, успокоительных сосудов, центрировочных тарелочек, направляющих блоков);

2) продолжительность подготовительных и заключительных работ (спуск и подъем отвесов, наблюдения за их колебаниями);

3) длительная остановка ствола;

4) значительное влияние воздушного потока и капежа на точность проектирования [9];

5) ограничение области его применения при глубине проектирования более 500м [1,2,7,8].

1.2.2 Геометрический способ центрирования подземной опорной сети с помощью проводника армировки ствола.

Этот способ передачи координат X, Y с поверхности на рабочий горизонт заключается в том, что в качестве координатопередающего элемента используются проводники армировки ствола [5]. При этом формируют фиксирующую вертикальную плоскость, для чего на нулевой отметке шахтного ствола, оснащенного проводниками армирования, методом соединительных треугольников от существующей геодезической сети делают примыкания — определяют координаты осевых меток, предварительно нанесенных на головки проводников. Затем, с помощью профилировочных измерительных станций, определяют величину отклонения проводников от вертикали на рабочем

горизонте и рассчитывают поправки. В стволе, методом примыкания, определяют координаты X и Y осевых меток на точки подземной маркшейдерской сети.

Недостатками данного способа геометрического центрирования подземной сети являются:

- недостаточная точность переноса плановых координат;
- отсутствие возможности дополнительного контроля проектирования;
- ограниченность области применения;
- малое расстояние между проводниками, что снижает точность ориентирования при совместном выполнении.

1.2.3 Оптическое центрирование

а) оптическое центрирование [10] выполняется с помощью теодолита ТГ-3, которым производится оптическое проектирование точек с поверхности на ориентируемый горизонт через сквозное отверстие в алидадном круге, при усиленном освещении ориентируемого горизонта.

Для передачи координат положение центра инструмента проектируют на рейку. При этом отсчеты по рейке берут только по вертикальной нити сетки, так как ось вращения трубы перед каждым отсчетом устанавливается горизонтально при помощи накладного уровня. Для этого, устанавливая примерно ось вращения трубы перпендикулярно продольному делению рейки, производят нивелировку оси вращения трубы накладным уровнем. Линию 0° — 180° лимба направляют параллельно продольной черте рейки и там, где проходит вертикальная нить сетки, через поперечные деления, берут отсчеты по продольным делениям рейки.

Использование для центрирования съемки вертикально направленного визирного луча (оптическое проектирование) не получило распространения на практике из-за плохой видимости, вследствие чего может применяться только на небольших глубинах, и с недостаточной точностью.

б) способ оптического клина [6], при котором используют специальный прибор, содержащий насадку с оптической бипризмой и колли-

матор. Прибор устанавливают над стволом шахты и через насадку с оптической бипризмой наблюдают внизу рейку, подвешенную на проволоке и расположенную в створе стороны подземной полигонометрии. Вращением трубы вокруг вертикальной оси добиваются совмещения штрихов на концах рейки, устанавливая таким образом ось коллиматора параллельно определяемой стороне подземной полигонометрии, а затем определяют на поверхности дирекционный угол оси коллиматора.

В последнее время альтернативой отвесам стали оптические зенит-приборы типа PZL и ПОВП [6] или лазерные приборы вертикального проектирования [4]. Но следует иметь в виду, что в стволе действующей шахты расположено много различного оборудования (подъемный сосуд, трубопроводы, кабели, лестничное отделение и т. п.) в результате работы по пропуску отвесов занимают очень много времени.

На точность этого способа оказывает существенное влияние рефракция воздуха в стволе. Определенные трудности представляет плохая видимость на рейку, воздушная струя, капеж.

1.2.4 Лазерное центрирование

Лазерное проектирование [3] подразумевает перенос плановых координат точек с поверхности на ориентируемый горизонт по оси Z , в роли которой выступает направленный вертикально вниз лазерный луч.

Лазерное центрирование подземных маркшейдерских опорных сетей выполняется следующим образом: лазерный проектор устанавливается на поверхности в устье ствола таким образом, чтобы проектирующий лазерный луч принял строго вертикальное положение, координаты луча определяются примыканием с помощью теодолита, установленного на исходной точке [3].

Приведенный способ может применяться при проектировании на горизонт горных работ не глубже 500м (такова дальность лазерного излучения проектора), к тому же рассеивание луча снижает точность центрирования. Ввиду необходимости сложного и дорогостоящего оборудования [4] данный способ не нашел применения на практике.

1.2.5 Способ поляризации светового потока

В способе поляризации светового потока [6] требуется применение специального оборудования. В стволе устанавливают поляризатор, на котором фиксируется направление плоскости поляризации световых волн, а на поверхности устанавливают второй поляризатор, на котором также фиксируется аналогичное направление. Вращая верхний поляризатор вокруг вертикальной оси, добиваются минимума освещенности в нижнем поляризаторе, что соответствует такому положению, когда направления колебаний световых волн в верхнем и нижнем поляризаторах взаимно перпендикулярны. Определив от пунктов геодезической основы дирекционный угол направления плоскости поляризации на поверхности, находят и дирекционный угол направления плоскости поляризации в шахте.

1.3 Способы примыкания к проектируемым точкам

По окончании проектирования, когда две точки перенесены на ориентируемый горизонт и закреплены, осуществляют примыкание к ним. Обычно оно производится одновременно на поверхности и в шахте. При проектировании двух точек через один вертикальный ствол известно два способа примыкания [7,8]: способом соединительного треугольника и способом соединительного четырехугольника.

Способ примыкания выбирают таким образом, чтобы средние квадратические погрешности передачи дирекционного угла от исходной стороны на поверхности к стороне подземной опорной сети не превышали каждая в отдельности 30" [1].

1.3.1 Примыкание к двум проектируемым точкам способом соединительного треугольника

Наиболее распространенный на практике способ, впервые предложен Ю. Вейсбахом в работе «Новое маркшейдерское искусство» в 1851 году. Примыкание осуществляется в пять этапов [7]:

1) выбор расположения примычных точек. Данный способ в большинстве случаев используется для примыкания на поверхности на

горизонте горных работ. При этом на поверхности и в шахте вблизи ствола закрепляют подходные точки C и C' с таким расчетом, чтобы с них были видны обе проектируемые точки A и B , а также ближайший пункт поверхностной D и подземной D' опорной сети (рис. 1.1). Вместе с проектируемыми точками и их проекциями подходные точки образуют треугольники ABC и ABC' , которые называются соединительными [7]. Для примыкания в пределах требуемой [1] точности необходимо закрепить подходные пункты C и C' таким образом, чтобы придать обоим соединительным треугольникам выгодную форму, при которой острые углы треугольников γ и γ' не должны превышать $2-3^\circ$ и, по возможности, с меньшим отношением сторон треугольников a, b к створу c ;

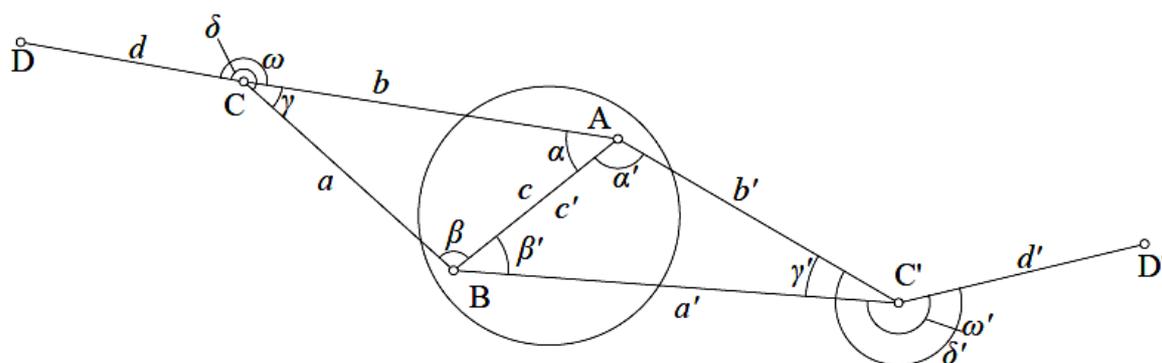


Рисунок 1.1 — Схема примыкания способом соединительных треугольников

2) измерение углов. На закрепленных точках с помощью теодолитов измеряют примычные углы δ , ω , δ' , ω' и углы между «отвесами» на поверхности γ и в шахте γ' . Измерение производится не менее чем двумя приемами. Со средней квадратической погрешностью измерения каждого из углов не более $7''$ [1]. Расхождение углов в приемах не должно превышать $10''$;

3) линейные измерения. С помощью рулетки измеряют все три стороны a , b , c соединительных треугольников на поверхности и a' , b' , c' в шахте. Каждая из сторон измеряется пять раз, причем разность между отдельными результатами не должна превышать 2 мм;

4) камеральная обработка складывается из контроля правильности измерений, решения соединительного треугольника и вычисления дирекционного угла и координат точек на ориентируемом горизонте;

5) для контроля примыкание выполняется дважды (при смещенном положении отвесов) [7]. Если фактическое расхождение в определении координат подходной точки на горизонте ориентирования не более 5 см, то за окончательное значение принимают среднее арифметическое [1].

Примыкание соединительным треугольником — это трудоемкий процесс измерений и вычислений. Кроме того, этот способ позволяет получить относительно высокую точность примыкания только при создании треугольника выгодной формы и тщательном выполнении измерений. Контроль примыкания возможно осуществить только повторно выполнив все этапы работы, что продлевает время занятости ствола. Поэтому рекомендуется осуществлять примыкание соединительным треугольником только на ориентируемом горизонте, а контроль производить параллельно с основным процессом.

1.3.2 Примыкание к двум проектируемым точкам способом соединительного четырехугольника

Способ соединительного четырехугольника [8] используется только для примыкания к отвесам в шахте. Работы по примыканию этим способом включают выбор и закрепление двух примычных точек, измерение углов в закрепленных точках и измерение расстояний в соединительном четырехугольнике (рис. 1.2).

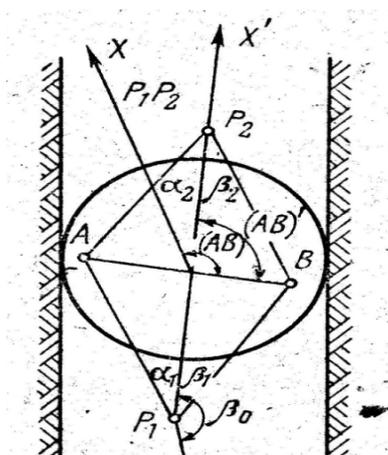


Рисунок 1.2 — Схема примыкания способом соединительного четырехугольника

Очень трудоемкий способ, поэтому он используется сравнительно редко. Хотя считается, что по точности способ соединительного четы-

рехугольника примерно равноценен способу треугольника, но требует большего количества угловых и линейных измерений, а значит содержит больше погрешностей измерений углов и длин, поэтому практически он менее точен.

1.3.3 Шкаловое примыкание к двум проектируемым точкам через один вертикальный ствол

При способе шкалового примыкания [6] используют шкалы, устанавливаемые за отвесами, при помощи которых определяют расстояния от отвесов до створа, задаваемого теодолитом. По величинам этих смещений вычисляют дирекционный угол плоскости, задаваемой отвесами, и дирекционный угол визирной оси теодолита в шахте.

1.3.4 Примыкание при проектировании точек через два вертикальных ствола [7,8]

Примыкание к проектируемым точкам сводится к определению их плановых координат в системе принятой на поверхности. Для этого от опорного пункта на земной поверхности прокладывают полигонометрические ходы до примычных точек и по данным угловых и линейных измерений вычисляют координаты проектируемых точек. В шахте между спроектированными точками по соединяющим стволам выработкам прокладывают подземный полигонометрический ход, по результатам которого вычисляют координаты его точек.

Контролем вычислений служит равенство координат одной из спроектированных точек, вычисленных на поверхности и в шахте. Расхождение между двумя значениями координат не должно превышать допустимого предела [1].

Недостатком контроля данного способа примыкания является то, что он базируется на допустимом [1] значении разности расчетных расстояний между проектируемыми точками на поверхности и в шахте, которое не учитывает систематические погрешности: схождение отвесных линий к центру Земли и переход с эллипсоида на плоскость, которые значительно влияют на точность центрирования.

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГРАВИТАЦИОННОМ СПОСОБЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЛАНОВЫХ КООРДИНАТ

2.1. Физический смысл гравитационного способа проектирования координат точек с поверхности на горизонт

Разработанный в ДонГТУ новый способ [11,12,13] основан на фундаментальных физических законах гравитации, всемирного тяготения и падения тел. Установлено [14], что любое тело, брошенное с высоты, под действием силы гравитации, падает вертикально вниз, по направлению к ее центру O (рис. 2.1). Значит, траектория падения тела с поверхности на шахтный горизонт H является перпендикулярной прямой к поверхности Земли, а соответственно — отвесной линией, которая параллельна оси Z в данной точке. В качестве падающего тела используется свинцовый шарик, который переносит плановые координаты точки $A(X_A, Y_A)$ пуска шарика с земной поверхности в точку $A'(X_{ш}, Y_{ш})$ фиксации шарика на горизонте ориентирования.

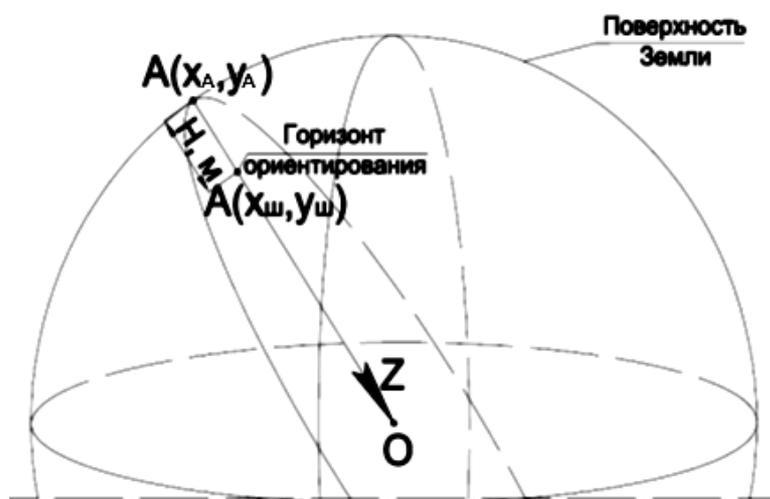


Рисунок 2.1 — Схема переноса плановых координат (X, Y) с поверхности на горизонт ориентирования

2.2. Сущность гравитационного способа

Гравитационный способ проектирования плановых координат точек с земной поверхности в шахту через вертикальные стволы осуществляется свободным падением свинцовых шариков, опущенных из на-

направляющих отверстий, и фиксации их следов траекторий на ориентируемом горизонте специальными экранами (рис. 2.2). Координаты направляющих отверстий для шариков А, В на поверхности определяются путем примыкания от пунктов С, D государственной геодезической сети. От зафиксированных следов шариков на экранах А', В' в шахте примыканием определим координаты X, Y и дирекционный угол α ориентируемой стороны I–II на горизонте.

На поверхности в устье шахтного ствола, через который производится проектирование, укладываются временные балки перекрытия, на которые устанавливаются направляющие устройства с пластинами, положение которых в горизонтальной плоскости можно менять с помощью микрометрических винтов. В направляющих пластинах врезаны специальные вставки с отверстиями для пуска проектирующих шариков А, В. Отверстия выполняются в конической форме внутри металлической вставки, где верхнее входящее с диаметром на 1 мм больше диаметра шарика расположено в верхней плоскости пластины, а выходящее, совпадающее с диаметром шарика, расположено в нижней плоскости пластины при ее толщине 10–15 мм.

На ориентируемом горизонте шахтный ствол перекрывается временным полком, где устанавливаются ящики-улавливатели со специальными фиксирующими экранами, выполненными из пеноплитного материала. На дно деревянного ящика-улавливателя, укладывается металлический лист толщиной 2–3 мм, а сверху покрывается доской и пенопластом. Ящики-улавливатели устанавливаются с целью дополнительного контроля проектирования точек. Фиксация следов шариков на горизонте ориентирования производится специальными экранами. То есть, свинцовые шарики, свободно падая из направляющих отверстий поверхности, при достижении горизонта ориентирования попадают на экран и, пролетая сквозь него, оставляют на нем следы А', В' в виде отверстий, к которым выполняем примыкание одним из известных способов в соответствии с [1]. Через экраны шарики попадают в ящики-улавливатели, где также оставляют следы в верхнем слое пенопласта, а в деревянной доске шарик останавливается, после чего можно провести дополнительное примыкание к следам А', В', образовавшимся в пенопласте ящика-улавливателя. Дополнительное примыкание проводится с

целью контроля и повышения точности ориентирования. При примыкании на поверхности и в шахте используются соответствующие визирные марки, верхняя часть которых выполнена в виде конуса, а нижняя в виде цилиндра. Цилиндрическая часть вставляется в отверстие (его диаметр должен быть равен диаметру шарика), а конус остается сверху (диаметр конуса больше диаметра цилиндра). Для удобства наведения зрительной трубы теодолита на марки их рекомендуем окрасить в разные цвета, например, синий и красный. Схема проектирования гравитационным способом изображена на рисунке 2.2.

2.3 Последовательность проектирования координат X,Y гравитационным способом

По предварительной договоренности с руководством шахты, в соответствии с составленным и утвержденным проектом работ, и заявлению главного маркшейдера шахты технический директор дает распоряжение прекратить работы у ствола, опустить бригаду маркшейдеров на ориентируемый горизонт, остановить подъем до окончания маркшейдерских работ по ориентированию.

Специально выделенные рабочие перекрывают последовательно устье ствола и ориентируемый горизонт временными полками. Обеспечивается телефонная связь между бригадами маркшейдеров на поверхности и на ориентируемом горизонте.

Маркшейдеры на поверхности и в шахте должны иметь монтажные пояса для страховки.

Последовательно, вначале на поверхности, на полках перекрытия устанавливаем и закрепляем направляющие устройства так, чтобы горизонтальный угол в точке В был близок к 180° , микрометрическими винтами визирные марки А, В устанавливаем в створ линии АВС, затем на горизонте ориентирования устанавливаем ящики-улавливатели с экранами. Убедившись по телефону, что ящики-улавливатели установлены, а маркшейдеры отошли на безопасное расстояние, опускаем один шарик и уточняем по телефону наличие его траектории на экране ориентируемого горизонта.

При необходимости смещаем ящики-улавливатели.

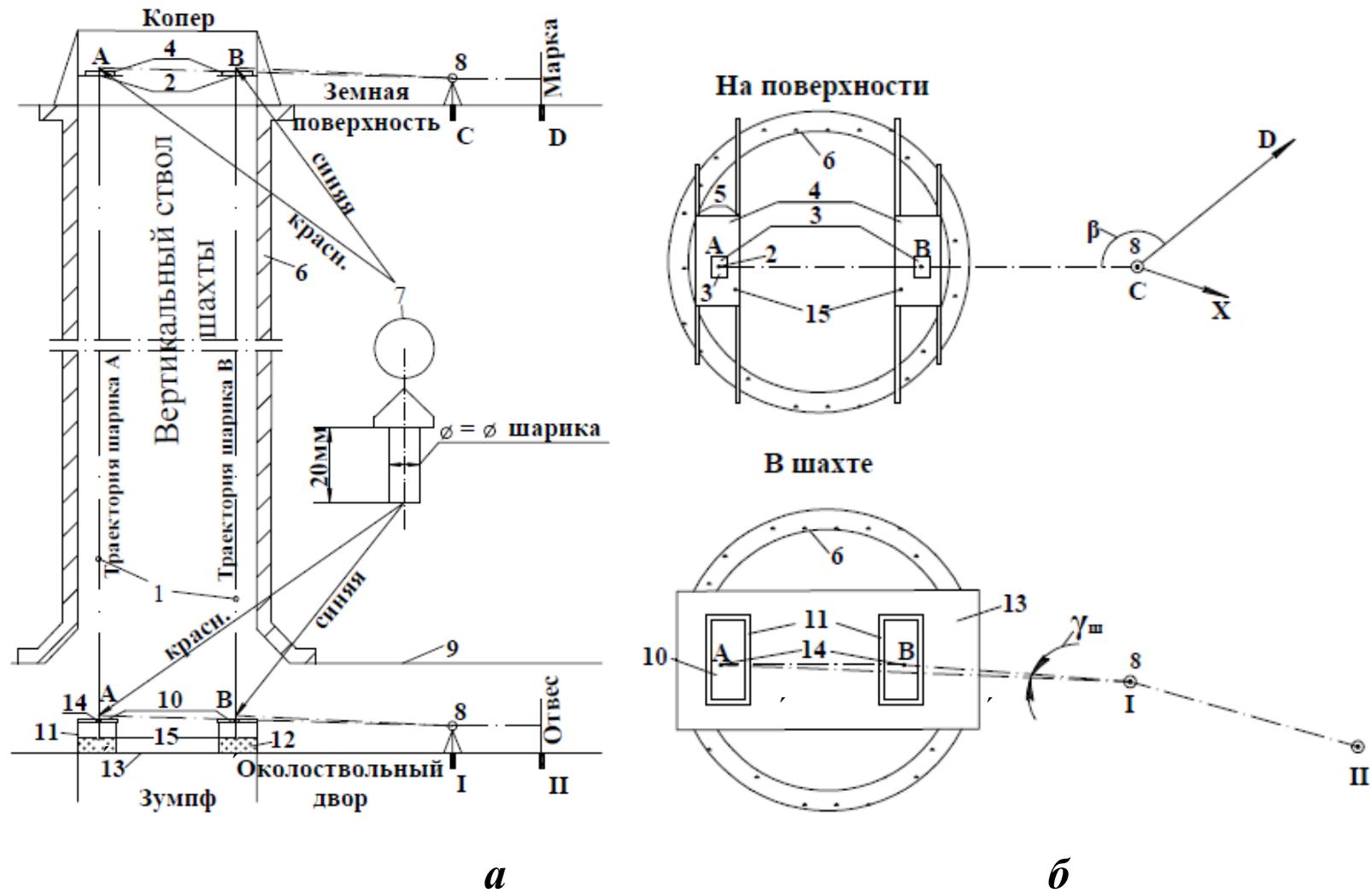


Рисунок 2.2 — Схема проектирования координат X,Y с поверхности в шахту гравитационным способом

Убедившись по телефону, что бригада маркшейдеров отошла в безопасное место, опускаем шарики через направляющее устройство.

Свинцовые шарики А, В диаметром 15-20 мм опускаем в отверстия 2 направляющих пластин 3 (рис. 2.2) [12]. Диаметр отверстий 2 на 1мм больше диаметра шариков 1 на входе их в пластину 3 и — равен диаметру шарика на выходе при толщине пластины (10÷15мм). Направляющие пластины 3 с отверстиями 2 встроены в направляющее устройство 4, которое расположено на балках перекрытия 5 шахтного ствола 6. Координаты направляющих отверстий 2 на земной поверхности определяем, вставив в них конические марки для визирования 7 примыканием, которое заключается в измерении одного угла β точным теодолитом 8 не менее чем двумя приемами с погрешностью не более 7" и расстояний АВ, ВС и АС компарированной рулеткой не менее 5 раз в соответствии с «Инструкцией» [1]. Контролем линейных измерений будет соблюдение равенства. Разность не должна превышать 2мм [1].

На ориентируемом горизонте 9 устанавливаются экраны 10, вложенные в металлические рамки 11. Для дополнительного контроля проектирования в шахте устанавливаем ящики-улавливатели 12 с металлическим дном, куда уложены деревянная доска и сверху пенопласт. Располагаем их под экранами 10 на временном полке перекрытия 13.

На экранах 10 падающие свинцовые шарики 1 оставляют следы-отверстия 14, куда вставляются легкие конические визирные марки 7 разного цвета и выполняется примыкание по общепринятой методике согласно [1]. При этом примычные и острый угол $\gamma_{ш}$ между визирными марками А', В' измеряют со средней квадратической погрешностью не более 7".

Разность между примычными углами А'Г II и В'Г II и $\gamma_{ш}$ не должна превышать 25". Стороны соединительного треугольника в шахте измеряют не менее 5 раз. Разность измеренных расстояний между отверстиями на поверхности АВ и следами траекторий шариков в шахте должна быть не более 2мм. Разность измеренной и вычисленной длины А'В' в треугольнике не должна превышать 3мм.

Контроль примыкания выполняется по следам 15 шариков 1 в ящиках-улавливателях 12, куда также вставляем визирные марки 7 и выполняем к ним контрольное примыкание в соответствии с [1].

3. АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КООРДИНАТ

3.1. Общие сведения о погрешностях проектирования координат

Основной задачей проектирования геометрическим способом является строго вертикальный перенос зафиксированной точки поверхности на горизонт горных работ. При этом требуется высокая точность проектирования. При расстоянии между отвесами до 5 м погрешность проектирования не должна превышать 50 мм, что имеет место при ориентировании через один вертикальный ствол. Для получения такой высокой точности используем свойства, свободно падающего по вертикальному стволу свинцового шарика.

В качестве объекта, передающего координаты был выбран шарик, хотя он не обладает наилучшими аэродинамическими свойствами. Но в нашем случае важна не скорость, а точность проектирования. Поэтому форма шара является наиболее подходящей, потому что она компенсирует при полете воздействие быстро изменяющихся условий окружающей среды (плотность воздуха, влажность, магнитные поля, анизотропия толщи пород т.п.) путем вращения. Центр масс шарика при этом не изменяет своей траектории. Таким образом, мы можем избежать воздействия множества незначительных факторов, которые могли бы повлиять на точность центрирования подземной опорной сети.

Основной целью анализа и детального исследования всех факторов, влияющих на прямолинейность и вертикальность падения проектирующего шарика, является подтверждение того, что гравитационный способ обладает высокой точностью передачи плоских координат на максимальные глубины.

3.2. Перечень определяющих и влияющих факторов на точность центрирования подземной сети

3.2.1. Факторы определяющие величину погрешности проектирования

1) **глубина ориентируемого горизонта**, H — первый из основных факторов, определяющий величину общей погрешности проектирования;

2) **расстояние между проектируемыми точками**, L — второй основной определяющий фактор, значение которого предопределяет точность центрирования подземной опорной сети;

3) **продолжительность падения шарика**, T — третий основной фактор, определяющий величину общей случайной погрешности проектирования;

4) **средняя ордината между проектируемыми точками** на плоскости, Y_{cp} — фактор, определяющий систематическую погрешность проектирования, возникающую вследствие перехода с поверхности эллипсоида на плоскость плана;

5) **расстояние проектирующей точки от стенок ствола**, l — фактор, определяющий величину гравитационного взаимодействия с окружающими породами и влияние капежа в стволе;

6) **характеристики проектирующего шарика**: объем, V и масса, m — факторы, определяющие степень влияния случайных погрешностей на вертикальность траектории проектирующего шарика;

7) **объем водопритока в ствол**, V_B — фактор, определяющий величину влияния капежа на точность проектирования координат точек с поверхности в шахту.

3.2.2. Факторы влияющие на точность проектирования координат

При проектировании координат X , Y с поверхности в шахту гравитационным способом установлено влияние двух групп факторов:

1) **систематические** — факторы, сила и направленность влияния которых в зависимости от значений определяющих факторов точно установлены. Изображаются графически в виде отрезка в пространстве;

2) **случайные** — это факторы, интенсивность влияния которых определено в виде ожидаемых значений в зависимости от значений определяющих факторов, направленность их в определяемой точке пространства и времени неизвестно. Изображаются графически в виде ожидаемой области отклонений — окружности в пространстве.

Факторы систематического влияния

1. **Схождение отвесных линий к центру сферической поверхности Земли** приводит к уменьшению расстояния между ними с увели-

чением глубины ориентируемого горизонта. Данная погрешность не влияет на точность определения дирекционного угла, так как находится в плоскости отвесных линий, но влияет на точность центрирования подземной опорной сети. Для исключения влияния данной погрешности необходимо вводить поправку за схождение отвесных линий в измеренные длины.

2. Погрешность расстояний между отвесными линиями при переходе с эллипсоида на плоскость достигает значительных величин при ориентировании через два ствола (особенно фланговых), поэтому необходимо ее детально рассмотреть.

3. Разность линейного движения на различных глубинах при вращении Земли за счет времени падения шарика приводит к погрешности в расстояниях на поверхности и ориентируемом горизонте. Во время вращения Земли вокруг своей оси, точки расположенные на ее поверхности имеют скорость больше скорости точек, расположенных в глубине земной коры. Это связано с уменьшением радиуса Земли с увеличением глубины горизонта, а значит и уменьшением расстояния, которое проходят точки, в сравнении с точками на поверхности, за один и тот же промежуток времени.

Факторы случайного влияния

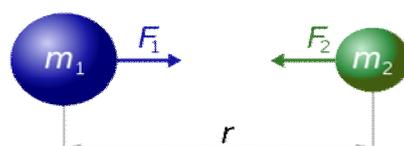
1. Неравномерное движение воздуха в стволе — основной фактор, искажающий траекторию полета шарика от прямолинейно-вертикального положения.

Изучением воздействия воздушного потока на шахтный отвес занимались ученые СНГ Д. Н. Оглоблин, И. Г. Лисица [2], А. К. Сентемов, Н. А. Крякунов [9], П. И. Мустель и зарубежные ученые Вильский, Фокс, Эмшерман. Установлено [7], что при наличии в стволах расстрелов и проводников движение воздуха в стволе становится хаотичным, учесть поведение отвеса весьма сложно. Поэтому до настоящего времени в неглубоких (до 100 м) стволах с незначительными скоростями воздушного потока проектирование выполняют неподвижным отвесом, а чаще — колеблющимся отвесом с наблюдениями на ориентируемом горизонте по двум взаимно перпендикулярным шкалам.

2. Капез, который может повлиять на точность проектирования путем соударения капли воды с пролетающим шариком и таким обра-

зом изменения траектории его полета. Необходимо обратить особое внимание на возможное одностороннее действие стока вод через трещины или отверстия в стенках ствола. Для исключения влияния данного фактора необходимо располагать проектируемые точки не ближе 30см к стенке ствола.

3. Отклонение траектории шарика от вертикали за счет сил взаимодействия между телами, называемое гравитационным взаимодействием.



$$F_1 = F_2 = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2} \quad (3.1)$$

В рамках классической механики гравитационное взаимодействие описывается законом всемирного тяготения Ньютона [14.15], который гласит, что сила гравитационного притяжения между двумя материальными точками массы m и M , разделёнными расстоянием R , пропорциональна обоим массам и обратно пропорциональна квадрату расстояния — то есть:

$$F = G \frac{mM}{R^2}, \quad (3.2)$$

где G — гравитационная постоянная, равная примерно $6,6725 \times 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$.

Гравитационное поле потенциально — это значит, что можно ввести потенциальную энергию гравитационного притяжения пары тел, и эта энергия не изменится после перемещения тел по замкнутому контуру. Потенциальность гравитационного поля влечёт за собой закон сохранения суммы кинетической и потенциальной энергии и при изучении движения тел в гравитационном поле часто существенно упрощает решение. В рамках ньютоновской механики гравитационное взаимодействие является дальнедействующим. Это означает, что как бы тело ни двигалось, в любой точке пространства гравитационный потенциал зависит только от положения тела в данный момент времени.

Гравитация — слабое взаимодействие. Однако, поскольку оно действует на любых расстояниях, и все массы положительны, это, тем не менее, очень важная сила во Вселенной.

Также гравитация, в отличие от других взаимодействий, универсальна в действии на всю материю и энергию. Не обнаружены объекты, у которых вообще отсутствовало бы гравитационное взаимодействие.

Таким образом, очевидно, что металлический шарик, падающий в замкнутом пространстве вертикальной горной выработки будет притягиваться к окружающим его огромным массивам горных пород и конструкции армирования ствола. Если шарик будет падать в центре этой выработки (ориентирование через два ствола), то действие данного поля будет компенсироваться вследствие того, что расстояние между шариком и массивом горных пород будет постоянно равным. То есть траектория шарика не будет смещаться от вертикального положения за счет равного притяжения от стенок выработки, расположенных по окружности вокруг него. Но, если проектируемая точка смещается от центра в какую-либо сторону ближе к стенке выработки (ориентирование через один вертикальный ствол), притяжение окружающих пород становится различным. С уменьшением расстояния между взаимодействующими телами сила притяжения между ними возрастает, линия действия ее направлена по линии кратчайшего расстояния между центрами масс этих тел. Вследствие чего, шарик будет двигаться на встречу притягивающих его пород, тем самым отклоняя траекторию полета от вертикали.

Для уменьшения влияния данного фактора необходимо определить безопасное расстояние между стенкой выработки и траекторией шарика, которое обеспечит минимальное смещение в условиях допуска для данного вида работ.

3.3. Расчет общей систематической погрешности проектирования

3.3.1. Схождение отвесных линий к центру сферической поверхности Земли

При проектировании плоских координат X, Y точки мы переносим их с поверхности на горизонт горных работ вдоль оси Z , которая совпадает с отвесной линией к поверхности Земли. Значит проектирование координат двух точек на шахтный горизонт — это перенесение их

вглубь Земли в направлении двух отвесных линий, которые сходятся в одну точку (центр Земли) (рис. 3.1). Таким образом, очевидно, что расстояние между проектируемыми точками уменьшается с увеличением глубины горизонта.

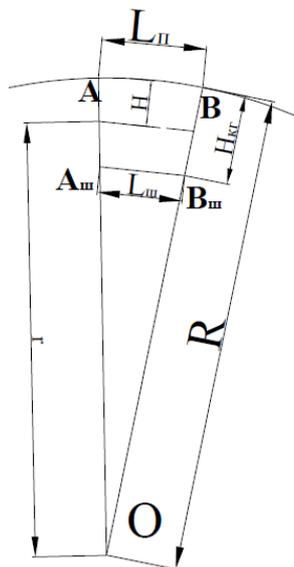


Рисунок 3.1 — Схема определения параметров расчета погрешностей проектирования

Определим степень уменьшения расстояния на различных горизонтах, а также зависимость схождения отвесных линий от расстояния между ними и глубины ориентируемого горизонта.

На рисунке 3.1 изображена схема для ее определения, откуда видно, что треугольники OAB и $OA_{ш}B_{ш}$ подобны, значит:

$$\frac{L_n}{L_{ш}} = \frac{R}{R - H}, \quad (3.3)$$

где $L_n, L_{ш}$ — расстояния между отвесными линиями на поверхности и в шахте, м;

R — радиус Земли, равный 6371110 м;

H — глубина ориентируемого горизонта, м.

Из равенства (3.3) вычислим расстояние между отвесными линиями на ориентируемом горизонте $L_{ш}$:

$$L_{ш} = \frac{L_n (R - H)}{R}, \text{ мм} \quad (3.4)$$

После преобразований получим

$$L_{\text{ш}} = L_{\text{п}} - \frac{L_{\text{п}} \cdot H}{R}, \text{ м} \quad (3.5)$$

Откуда формула поправки за схождение отвесных линий будет:

$$\Delta L = + \frac{L_{\text{п}} H}{R}, \text{ м} \quad (3.6)$$

В таблице 3.1 приведен расчет поправки за схождение отвесных линий ΔL , вычисленной по формуле (3.6), а на рисунках 3.2, 3.3 показаны графики зависимости ΔL от расстояния между отвесными линиями L и глубины ориентируемого горизонта H .

Таблица 3.1 — Зависимость поправки за схождение отвесных линий (ΔL , мм) от расстояния между ними L и глубины ориентируемого горизонта H

$L, \text{ м}$	5	10	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000
$H, \text{ м}$	$\Delta L, \text{ мм}$									
100	0,1	0,2	0,8	1,6	3,1	7,8	15,7	31,4	78,5	157,0
500	0,4	0,8	3,9	7,8	15,7	39,2	78,5	157,0	392,4	784,8
1000	0,8	1,6	7,8	15,7	31,4	78,5	157,0	313,9	784,8	1569,6
1500	1,2	2,4	11,8	23,5	47,1	117,7	235,4	470,9	1177,2	2354,4

В таблице 3.1 приведен краткий диапазон глубин и расстояний. Более подробные и развернутые данные приведены в ПРИЛОЖЕНИИ А. Эти данные можно использовать как исходные данные в табличной форме для различных горно-геологических условий.

Гравитационный способ может применяться и при ориентировании через два вертикальных ствола, то есть при значительном расстоянии между отвесными линиями (табл. 3.1). В таком случае погрешность проектирования за счет их схождения к центру Земли будет иметь систематический характер по направлению (вдоль створа "отвесов") и преобладающей по величине.

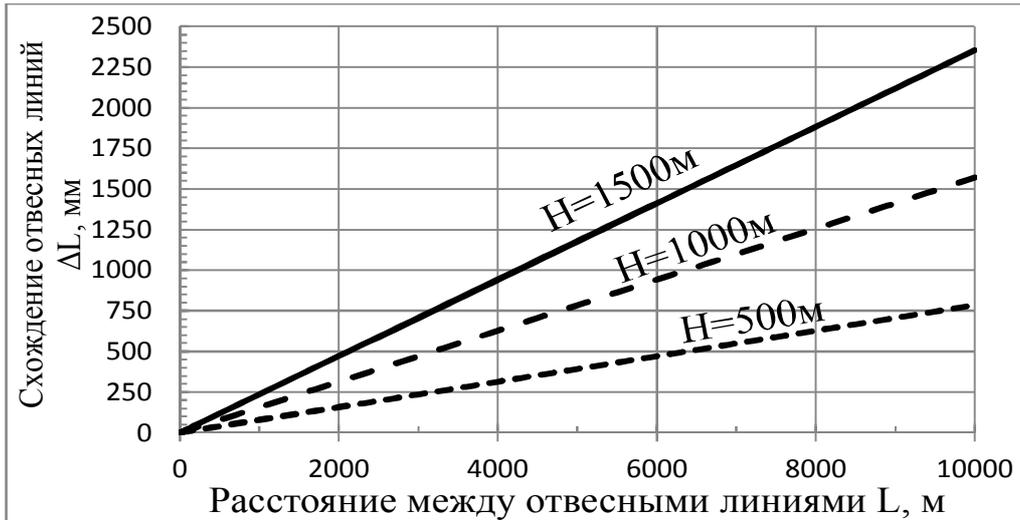


Рисунок 3.2 — График зависимости схождения отвесных линий ΔL от расстояния между ними L при H : **а** = 500м; **б** = 1000м; **в** = 1500м

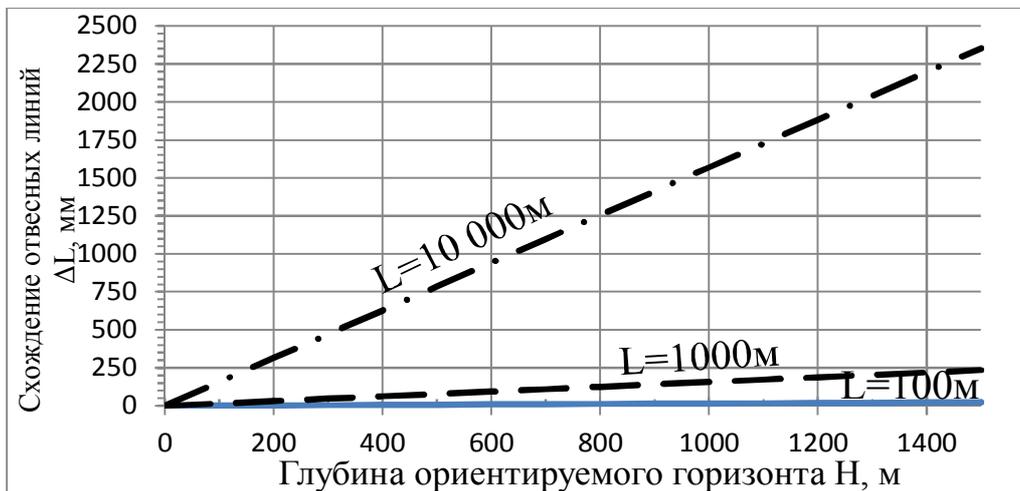


Рисунок 3.3 — Зависимость схождения отвесных линий ΔL от глубины ориентируемого горизонта H при L : **а** = 100м; **б** = 1000м; **в** = 10000м

Анализ результатов вычислений (табл. 3.1) и графиков зависимостей на рисунках 3.2, 3.3 показывает, что при ориентировании через один вертикальный ствол (при $L=5$ м) поправка за схождение отвесных линий при глубине горизонта 1300 м равна 1,0 мм, что не превышает допуска [1]. Расположена она в плоскости створа отвесов, и не влияет на точность ориентирования, но при этом влияет на точность центрирования. Ее легко учесть и ввести в измеренное расстояние АВ.

При ориентировании через два вертикальных ствола (при $L=50$ м) поправка за схождение отвесных линий при $H=1300$ м равна 10 мм, что

составляет $\frac{1}{5000}$ расстояния между отвесными линиями, ее уже необходимо учитывать, хотя она также находится в плоскости створа отвесов. При ориентировании через фланговые стволы и построении маркшейдерских опорных сетей поправку за схождение отвесных линий обязательно необходимо учитывать, так как при глубине 1000 м и расстоянии между отвесными линиями 10000 м поправка составляет 1,57 м.

3.3.2. Погрешность расстояний между отвесными линиями при переходе с эллипсоида на плоскость

Известно, что при обработке геодезических построений результаты непосредственных измерений на поверхности Земли редуцируют на плоскость используемой проекции [16,17]. Однако, их ввод при обработке плановых съемочных сетей действующей инструкцией [1] не предусматривается. Считается, что во вводе поправок за редукцию нет необходимости вследствие того, что они малы. Рассмотрим, так ли это.

1. Расчет поправок

Редуцирование измеренных линий на поверхность референц-эллипсоида выполняется по следующей формуле [16]:

$$L_{\text{э}} = L \left(1 - \frac{h}{R} \right), \text{ м} \quad (3.7)$$

где: L – расстояние между отвесными линиями, м;

$L_{\text{э}}$ – расстояние, приведенное на референц-эллипсоид на поверхности, м;

h – средняя высота линии над эллипсоидом, м;

R — радиус референц-эллипсоида в средней точке редуцируемого расстояния, равный в среднем 6371110м [17].

2. Редуцирование линий на плоскость

Вычислим длину линии, соединяющей проектируемые точки, при редуцировании ее на плоскость:

$$L_{\text{пл}} = L_{\text{э}} \left(1 + \frac{Y_{\text{сп}}^2}{2R^2} \right), \text{ м} \quad (3.8)$$

где $L_{пл}$ — расстояние между отвесными линиями, редуцированное на плоскость, м;

Y_{cp}^2 — средняя ордината между проектируемыми точками на плоскости, м;

После преобразований формул (3.7) и (3.8), получим формулу вычисления поправки за переход на плоскость в расстояния между проектируемыми точками:

$$\Delta L_{пл} = L_{п} - L_{э} = + \frac{L_{э} \cdot Y_{cp}^2}{2R^2}, \text{ м} \quad (3.9)$$

Используя полученную формулу (3.9), вычислим поправки в расстояния между отвесными линиями проектируемых точек за редукцию на плоскость и приведем их в таблице 3.2, а зависимость $\Delta L_{пл}$ при различных Y покажем на графике (рис. 3.4).

Таблица 3.2 — Поправка $\Delta L_{пл}$ в расстояния между отвесными линиями за редукцию на плоскость

$Y, \text{ км}$	50	100	200	300
$L, \text{ м}$	$\Delta L_{пл}, \text{ мм}$			
50	1,5	6	24,6	55,4
100	3	12	49,2	110,86
500	15	60	246	554
1000	30	120	492	1108,6
5000	150	600	2460	5543
10000	300	1200	4920	11086

На рисунке 3.4 видно, что поправка $\Delta L_{пл}$ при всех значениях Y имеет прямую линейную зависимость, значит при увеличении расстояния между отвесными линиями поправка также линейно увеличивается.

Как видно из таблицы 3.2, поправки значительно изменяются в зависимости от расстояния между отвесами и средней ординаты. Значит, при ориентировании через два вертикальных ствола (особенно фланговых) необходимо вводить поправку в расстояния между отвесными линиями, определяемую по формуле (3.9) и приведенную в ПРИЛОЖЕНИИ Б для широкого диапазона значений.

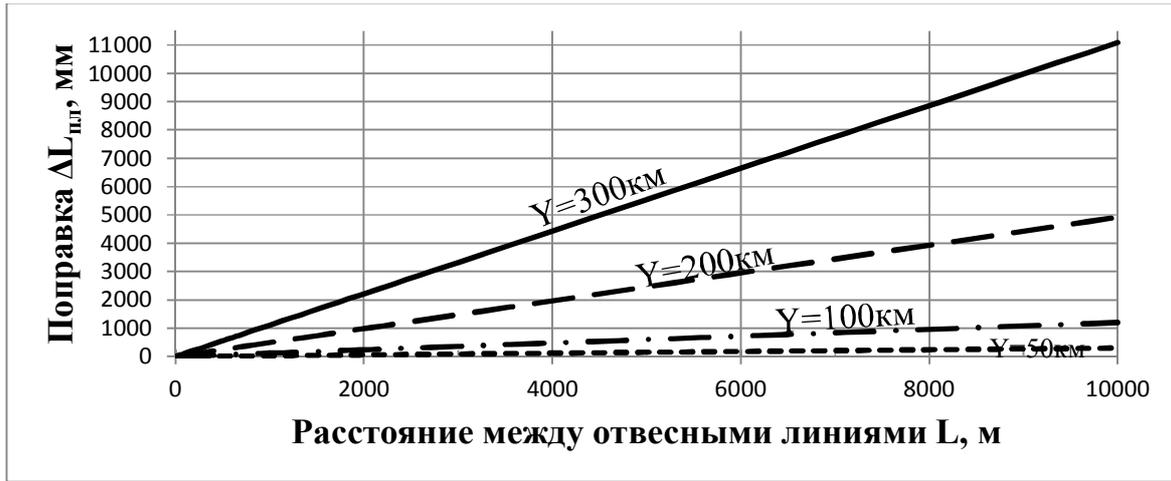


Рисунок 3.4 — Зависимость $\Delta L_{пл}$ за редукцию на плоскость при различных значениях средней ординаты Y .

3.3.3. Отклонение траектории шарика от отвесной линии за счет вращения Земли

Влияние вращения Земли на свободно падающий проектирующий шарик сводится к действию на него центробежной и кориолисовой сил [15]. Центробежная сила учитывается автоматически, так как она включена в вес тела mg . Наличие этой силы не меняет вид уравнения движения. Только направление к центру Земли заменяется направлением отвесной линии. Более существенно влияет на траекторию и характер движения шарика кориолисова сила. При падении тел без начальной скорости кориолисова сила проявляется в отклонении свободно падающих тел к востоку и экватору от отвесной линии. Рассмотрим суть этих явлений.

Чтобы проанализировать данный процесс, введем прямоугольную систему координат, начало которой поместим в точку А [15], из которой начинает падать рассматриваемое тело (рис. 3.5). Ось Y направим по параллели на восток, ось X — по меридиану к северу, ось Z — по направлению отвесной линии вниз, то есть вдоль вектора g .

Переходя к проекциям, получим:

$$Z = \frac{1}{2}gt^2 - \frac{1}{6}\omega^2 t^4 g \cdot \cos^2 \vartheta, \text{ м} \quad (3.10)$$

$$Y \equiv S_{\text{вост}} = \frac{1}{3}\omega t^3 g \cdot \cos \vartheta, \text{ м} \quad (3.11)$$

$$Y \equiv S_{\text{ЭКВ}} = \frac{1}{12} \omega^2 t^4 g \cdot \sin 2\vartheta, \text{ м} \quad (3.12)$$

где ϑ – географическая широта рассматриваемой точки.

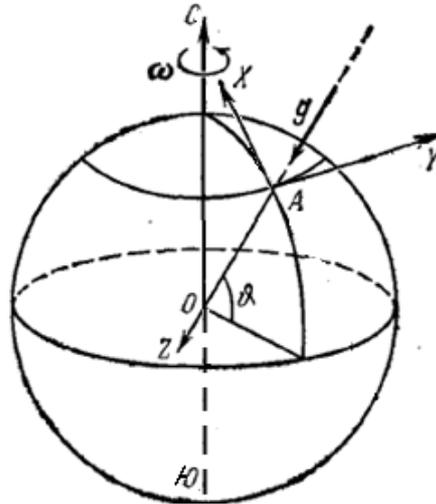


Рисунок 3.5 — Схема определения отклонения траектории от направления отвесной линии за счет вращения Земли

Поправки ΔX и ΔY вызваны различными линейными скоростями точки на поверхности Земли и ориентируемом горизонте за время падения шарика. Проявляются в виде отклонений свободно падающего шарика к востоку (ΔY) и к экватору (ΔX) от направления отвесной линии. Выражение для отклонения по оси Y можно записать в виде:

$$\Delta Y = \frac{2}{3} \omega t H \cdot \cos \vartheta = \frac{4\pi}{3} \cdot \frac{t}{T} H \cdot \cos \vartheta, \quad (3.13)$$

где t — продолжительность падения шарика до горизонта ориентирования, с ;

T — период суточного вращения Земли $T = 2\pi/\omega$;

ω — угловая скорость вращения Земли, град/с;

H — глубина горизонта, м;

ϑ — географическая широта расположения проектируемой точки (географическая широта пункта экспериментальных наблюдений в шахтных условиях — $48^\circ 29' 37''$ (Луганская обл., г. Перевальск, ш. «Перевальская», Клетевой ствол).

Отклонение по оси X связано с отклонением по оси Y следующим соотношением:

$$\Delta X = \frac{2\pi \cdot t \cdot \sin \vartheta}{2 \cdot T} \cdot \Delta Y, \text{ м.} \quad (3.14)$$

Все расчеты сведем в таблицу 3.3. Для более широкого диапазона значений глубин представлен расчет в ПРИЛОЖЕНИИ В.

Таблица 3.3 — Расчет отклонений траектории шарика от направления отвесной линии

Горизонт ориентирования, Н, м	Продолжительность падения шарика, $t_{\text{шар}}$, с	Отклонение траектории шарика от вертикали к востоку, ΔY , мм	Отклонение траектории шарика от вертикали к экватору, ΔX , мм
100	2,26	7,2	0,0004
500	5,64	90,6	0,0139
1000	11,27	362,2	0,1112
1500	16,91	814,9	0,3752

Тогда поправку за вращение Земли можно рассчитать по формуле:

$$\Delta L_{\text{в.з.}} = \pm \sqrt{\Delta Y^2 + \Delta X^2}, \text{ мм} \quad (3.15)$$

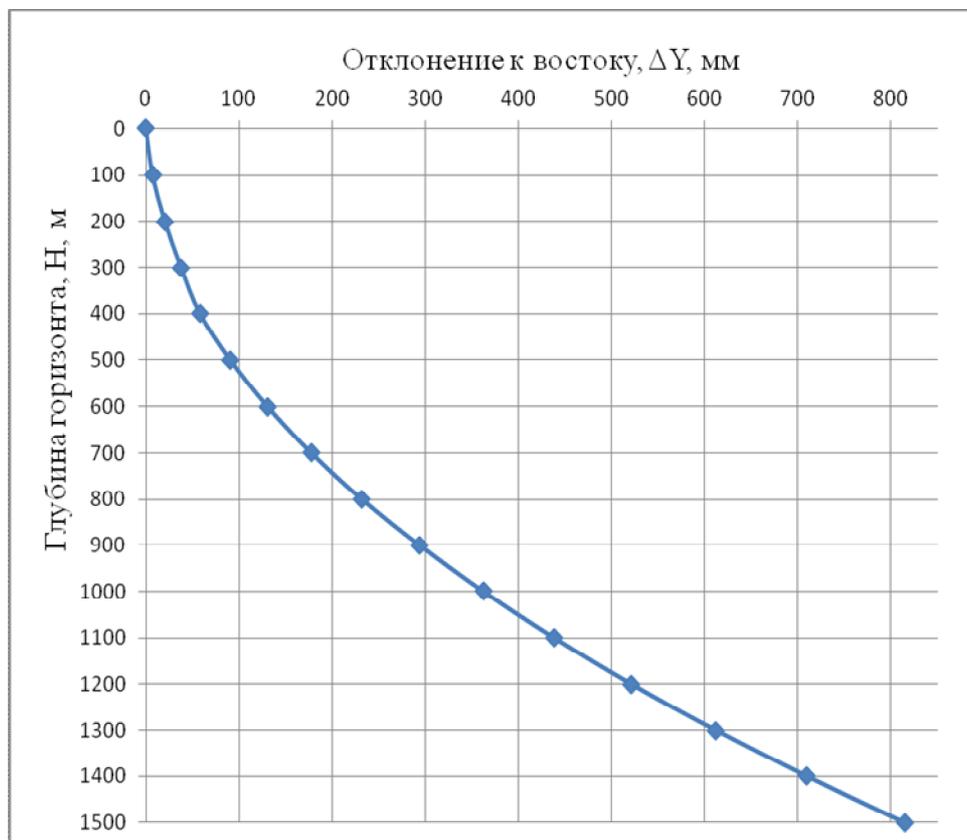


Рисунок 3.6 — График зависимости ΔY от глубины горизонта Н.

Выводы:

При проектировании координат X, Y на глубокие горизонты необходимо вводить поправку ΔY за отклонение от направления отвесной линии, зависимость которой от глубины ориентируемого горизонта показана на рисунке 3.6. Как видно на графике отклонение возрастает с углублением.

Введение поправок, подробно рассчитанных в ПРИЛОЖЕНИИ В, значительно повысит точность проектирования.

Свести влияние данной погрешности к минимуму при ориентировании через один вертикальный ствол можно, расположив створ проектируемых точек АВ параллельно оси Y (при $\alpha=90^\circ$).

3.3.4. Расчет общей систематической погрешности проектирования

Систематические погрешности проектирования, величина и направленность которых определена, необходимо ввести в виде поправок в измеренные длины и расчетные координаты.

Систематическими погрешностями являются:

— схождение отвесных линий к центру сферической поверхности Земли, ΔL ;

— погрешность расстояний между проектируемыми точками при переходе с эллипсоида на плоскость, $\Delta L_{пл.}$;

— отклонение траектории шарика от направления отвесной линии к востоку — ΔY и к экватору ΔX за счет вращения Земли.

Таким образом, между измеренными длинами створа проектируемых точек на поверхности и в шахте (рис. 3.1) справедливо равенство:

$$\begin{aligned} L_{п} + \Delta L_{пл}^{п} &= L_{ш} + \Delta L_{сх} + \Delta L_{пл}^{ш} \\ \Delta L &= \Delta L_{сх} - \Delta L_{пл}^{п} + \Delta L_{пл}^{ш} \end{aligned} \quad (3.16)$$

Истинные координаты спроектированных точек в шахте $A_{ш}$ и $B_{ш}$ (рис. 3.1) будут равны:

$$\begin{aligned} X_{A_{ш}} &= X_A - \Delta X, м; \\ Y_{A_{ш}} &= Y_A + \Delta Y, м. \end{aligned} \quad (3.17)$$

Выводы:

Введение систематических поправок, рассчитанных в таблицах 3.1 и 3.2, в определяемые длины створа проектируемых точек на поверхности и в шахте по формулам (3.6), (3.9), а так же при расчете истинных координат спроектированных точек на горизонт по формулам (3.13), (3.14) из таблицы 3.3 позволяет сделать гравитационное проектирование высокоточным способом.

3.4. Расчет общей случайной погрешности проектирования

3.4.1 Влияние неравномерного движения воздуха в стволе

Фактор, значительно влияющий на вертикальность траектории падающего шарика, хотя продолжительность его влияния незначительна. Рассчитаем продолжительность падения шарика на различные глубины, для чего нам необходимо вначале рассчитать скорость его падения на каждой из этих глубин.

Свободное падение тел

Свободным падением называют падение тел в безвоздушном пространстве (вакууме) из состояния покоя (т. е. без начальной скорости) под действием притяжения Земли [15].

Установлено [15], что на географической широте 45° , у поверхности Земли ускорение свободного падения (g_0) равно $9,80665 \text{ м/с}^2$ (округленно $9,81 \text{ м/с}^2$). Для расчетов, не требующих большой точности, значение ускорения свободного падения во всех точках поверхности Земли принято считать одинаковым и равным $9,81 \text{ м/с}^2$. Свободное падение тела с высоты на поверхность Земли представляет собой равноускоренное движение без начальной скорости.

При гравитационном способе проектирования металлический шарик из направляющего отверстия движется с ускорением g_0 под действием силы тяжести со скоростью v , определяемой по формуле (3.18):

$$v = \sqrt{2g_0 H}, \text{ м/с.} \quad (3.18)$$

Падение тел является свободным лишь в том случае, когда на падающее тело действует только сила тяжести. Падение тел в воздушном пространстве нельзя считать свободным потому, что сопротивление

воздуха оказывает на тело, падающее на большую глубину, значительное воздействие.

Проектирование точки земной поверхности на ориентируемый шахтный горизонт методом падения металлического шарика производится путем пуска его из зафиксированной точки поверхности и фиксации точки его падения на определенной глубине. Шарик движется по вертикальному шахтному стволу с начальной скоростью, равной нулю.

Падение шарика происходит под действием силы тяготения, зависящей от расстояния r до центра Земли (рис. 3.1) и силы сопротивления воздушного потока $F_{св}$ [18].

Рассчитаем скорость падения шарика с поверхности на глубину ориентируемого горизонта H :

$$v = \sqrt{\frac{2g_0 H}{\left(1 + \frac{H_{ог}}{R}\right) \left(1 + \frac{H}{R}\right)}}, \text{ м/с}, \quad (3.19)$$

где: g_0 — ускорение свободного падения, $9,81 \text{ м/с}^2$;

H — глубина горизонта, на котором необходимо определить скорость падения шарика, м;

$H_{ог}$ — глубина ориентируемого горизонта или скорость падения шарика на экран, м;

R — радиус Земли, 6371110 м .

Учет сопротивления среды существенно изменяет закон падения тела. Когда скорость падения не достигает скорости звука (в воздухе практически при $v < 300 \text{ м/с}$), сила сопротивления воздуха определяется по формуле:

$$F_{с.в.} = 0,5 C_x \rho v^2, \text{ Н} \quad (3.20)$$

$R_{ш}$ — радиус металлического шарика;

ρ — плотность воздуха ($1,22 \text{ кг/м}^3$);

C_x — коэффициент сопротивления, зависящий от формы тела (коэффициент сопротивления шарообразного тела равен $0,3$).

При таком законе сопротивления, если считать ρ постоянной, предельная скорость падения рассчитывается по формуле (3.21):

$$v_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{2mg}{C_x \rho S}}, \text{ м/с.} \quad (3.21)$$

Из формулы (3.21) видно, что с возрастанием глубины скорость v стремится к $v_{\text{пр}}$, называемой предельной скоростью падения. и дальнейшее падение шарика происходит с практически постоянной скоростью $v_{\text{пр}}$.

Сведем все расчеты в таблицу 3.4.

Из таблицы 3.4 и рисунка 3.7 видно, что металлический шарик, выпущенный на поверхности, летит по вертикальному стволу увеличивая скорость до горизонта $H = 400,534$ м, на уровне этого горизонта силы тяжести и сопротивления воздуха, действующие на него, уравниваются и его скорость достигает предельного значения, равного $= 88,695$ м/с и далее она остается практически неизменной на всей протяженности полета, увеличиваясь незначительно за счет увеличения силы притяжения Земли с углублением.



Рисунок 3.7 — Зависимость скорости падения шарика от глубины горизонта H .

В таблице 3.4 приведены результаты расчета скорости падения шарика v от глубины горизонта H , а также расчетная продолжительность движения шарика по стволу T , вычисленная по формуле (3.22):

$$T = \frac{H}{v}, \text{ с} \quad (3.22)$$

где v — скорость движения шарика по стволу, м/с.

Таблица 3.4 — Расчет скорости падения шарика на различной глубине.

Текущий горизонт ориентирования, $H_{тг}$, м	Скорость падения без учета силы сопротивления воздуха, v_0 , м/с	Сила сопротивления воздуха, $F_{св}$, Н	Предельная скорость падения, $v_{пр}$, м/с	Реальная скорость падения шарика, v , м/с	Продолжительность падения шарика (влияния воздушного потока), T , с	Продолжительность сопротивления 1 м^3 воздушного потока, t_c	Диаметр возможной области смещения шарика под действием сопротивления воздуха, S_B , мм
100	44,317	0,08	88,691	44,317	2,26	0,02256	1,20
200	62,674	0,17	88,692	62,674	3,19	0,01596	1,27
300	76,76	0,25	88,694	76,76	3,91	0,01303	1,25
400	88,636	0,33	88,695	88,636	4,51	0,01128	1,24
400,534	88,695	0,33	88,695	88,695	4,52	0,01127	1,23
500	99,099	0,42	88,697	88,697	5,64	0,01127	1,57
600	108,558	0,50	88,698	88,698	6,76	0,01127	1,87
700	117,257	0,58	88,699	88,699	7,89	0,01127	2,17
800	125,354	0,67	88,701	88,701	9,02	0,01127	2,50
900	132,959	0,75	88,702	88,702	10,15	0,01127	2,80
1000	140,152	0,83	88,703	88,703	11,27	0,01127	3,10
1100	146,994	0,92	88,705	88,705	12,40	0,01127	3,44
1200	153,532	1,00	88,706	88,706	13,53	0,01127	3,74
1300	159,802	1,08	88,708	88,708	14,65	0,01127	4,04
1400	165,836	1,17	88,709	88,709	15,78	0,01127	4,37
1500	171,658	1,25	88,71	88,71	16,91	0,01127	4,67

Глубина конечного горизонта $H_{кр} = 1500\text{ м}$ Радиус Земли $R = 6371110\text{ м}$ Коэффициент сопротивления шарообразного тела $C_x = 0,3$ Плотность воздуха $\rho = 1,22\text{ кг/м}^3$ Площадь миделевого сечения $S = 0,00023\text{ м}^2$ Гравитационная постоянная, $G = 6,6742 \times 10^{-11}\text{ м}^3\text{ с}^{-2}\text{ кг}^{-1}$ Масса Земли $M = 5,9736 \times 10^{24}\text{ кг}$ Масса шарика $m = 0,034\text{ кг}$

Определим продолжительность влияния 1 м^3 воздушного потока на движущийся шарик по формуле (3.23) и построим график зависимости продолжительности влияния воздушного потока от глубины горизонта (рис. 3.8):

$$t = \frac{T}{H}, \text{ с} \quad (3.23)$$

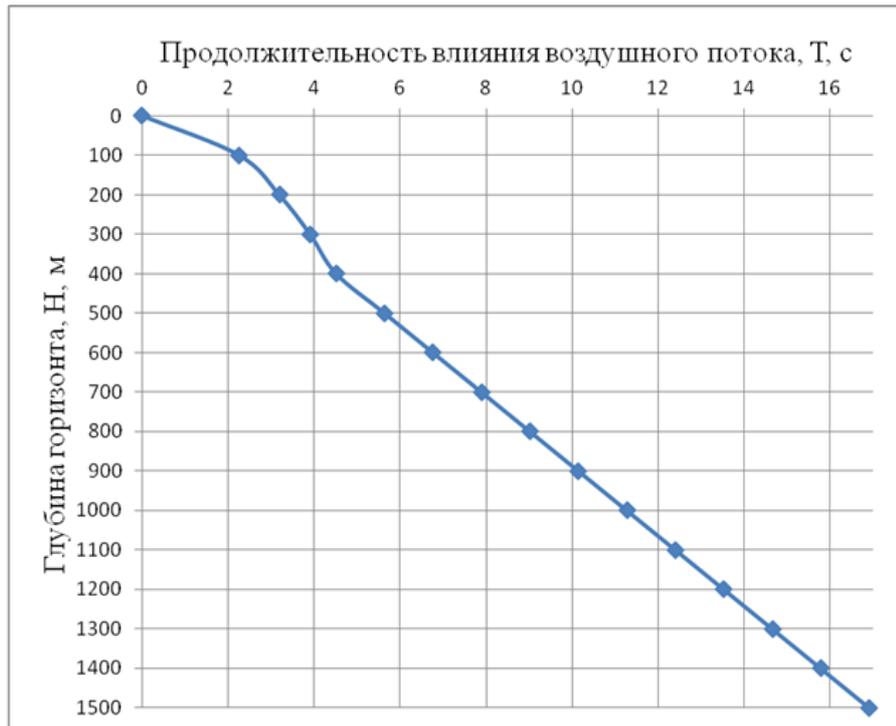


Рисунок 3.8 — Зависимость продолжительности влияния воздушного потока от глубины горизонта

Второй закон Ньютона [15] гласит, что векторная сумма всех приложенных к телу сил прямо пропорциональна произведению массы этого тела на его ускорение, то есть:

$$\vec{F} = m\vec{a}, \text{ Н} \quad (3.24)$$

где \vec{F} — сила сопротивления воздуха, Н;

m — масса шарика, кг,

\vec{a} — ускорение смещения шарика от вертикали, м/с^2 .

Пусть на проектирующий шарик, летящий по вертикальному стволу, действует только сила сопротивления воздуха.

Сила сопротивления воздуха определяется по формуле (3.20).

Ускорение смещения шарика, определяемое по формуле:

$$a = \frac{v}{t}, \text{ м/с}^2 \quad (3.25)$$

где v – скорость смещения шарика от вертикали под воздействием воздушного потока, которую можно рассчитать по формуле:

$$v = \frac{S_B}{t}, \text{ м/с} \quad (3.26)$$

где S_B — величина смещения шарика от вертикального положения под влиянием воздуха, м;

После преобразований получим:

$$F_{\text{с.в.}} = m \frac{S}{t^2}, \text{ Н} \quad (3.27)$$

Отсюда найдем величину возможной области смещения шарика:

$$S_B = \frac{F_{\text{с.в.}} \cdot t^2}{m}, \text{ мм} \quad (3.28)$$

Из рисунка 3.8 видно, что продолжительность падения шарика до горизонтов 500, 1000 и 1500 м составит соответственно 5,64; 11,27 и 16,91 секунд, что примерно в 1700 раз меньше продолжительности влияния воздушного потока на шахтный отвес при ориентировании через один вертикальный ствол традиционным способом.

При ориентировании шахт на сопряжении с околоствольными выработками с целью уменьшения влияния воздушного потока рекомендуем использовать защитный «зонт» — металлический каркас, обтянутый куском вентиляционной трубы. Из расчета в таблице 3.4 определено, что максимально возможное смещение траектории проектирующего шарика от вертикального положения не превышает 5мм при проектировании координат точек на горизонт 1500м, что удовлетворяет условиям допуска [1]. На рисунке 3.9 показана зависимость смещения от глубины горизонта, которая отражает резкое смещение на первоначальном участке до 100м, практически постоянное значение погрешности до горизонта 400 м, а далее с углублением — стабильная прямолинейная зависимость.

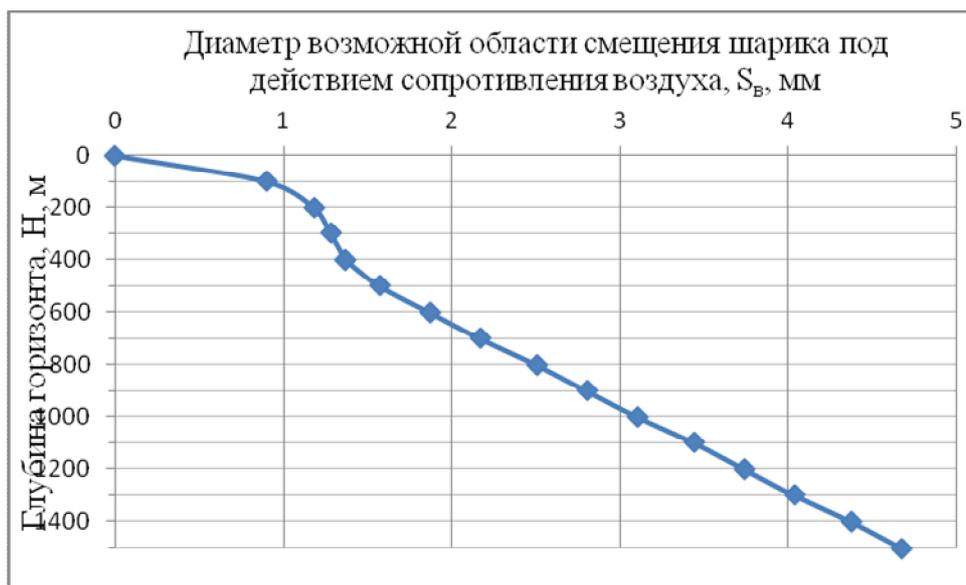


Рисунок 3.9 — Зависимость смещения шарика от вертикали под воздействием воздушного потока от глубины ориентируемого горизонта

Установлено [9], что при выключенных вентиляторах главного проветривания, в стволе сохраняется естественная вентиляция, при которой скорость движения воздуха может быть от 0,5 до 2 м/с. По стволам различного назначения генерируются различные скорости движения воздуха, так по вспомогательным (людским) стволам, в среднем, воздух движется со скоростью 8 м/с, по грузовым — 12 м/с, а по вентиляционным — 15 м/с. Установлено [15], что с увеличением скорости движения воздуха по стволу увеличивается и сила его сопротивления, действующая на проектирующий шарик, а с увеличением массы шарика — увеличивается сила тяжести. Значит, построив графики зависимости сил тяжести и сопротивления воздуха при различных скоростях воздуха в стволе (рис. 3.10) видно, что с увеличением скорости воздуха график силы сопротивления воздуха стремится пересечься с графиком силы тяжести, что приведет к значительному отклонению траектории шарика от вертикали.

Выводы: при скоростях воздуха естественной вентиляции сила тяжести значительно больше силы сопротивления воздуха и в этом случае отклонение траектории будет минимальным. Графики зависимости величины смещения шарика от его диаметра при различных значениях скорости воздуха показаны на рис. 3.11, где видно, что увеличение массы шарика значительно уменьшает смещение его от вертикали.

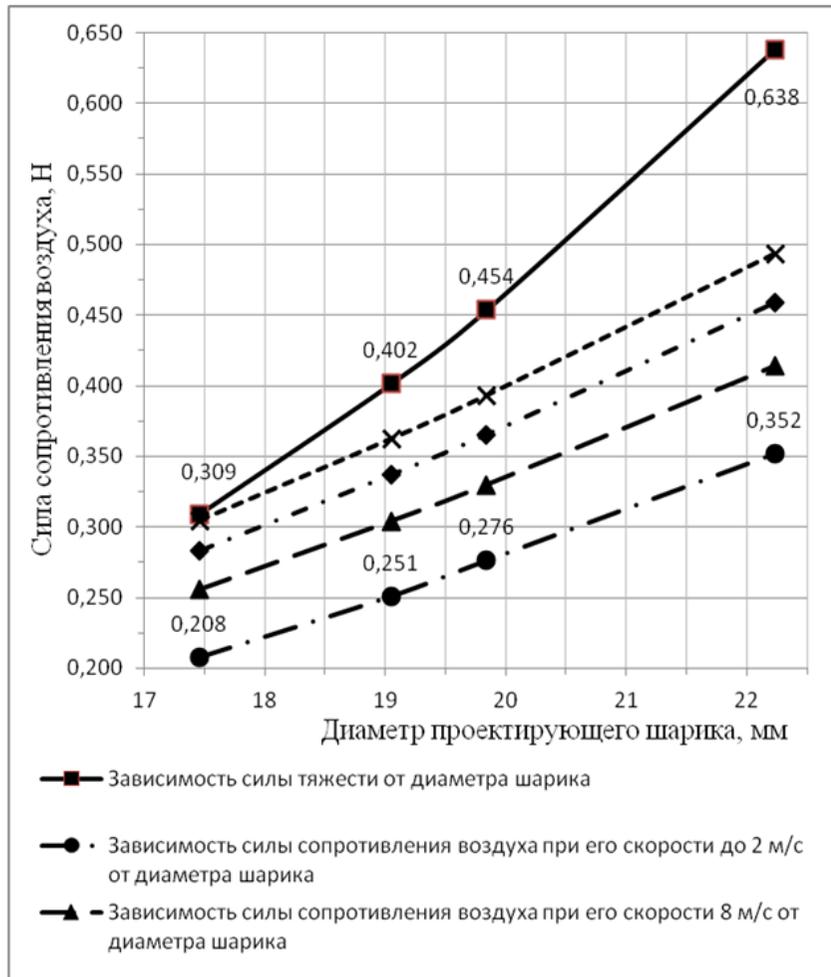


Рисунок 3.10 — Графики зависимости сил тяжести и сопротивления воздуха от диаметра проектирующего

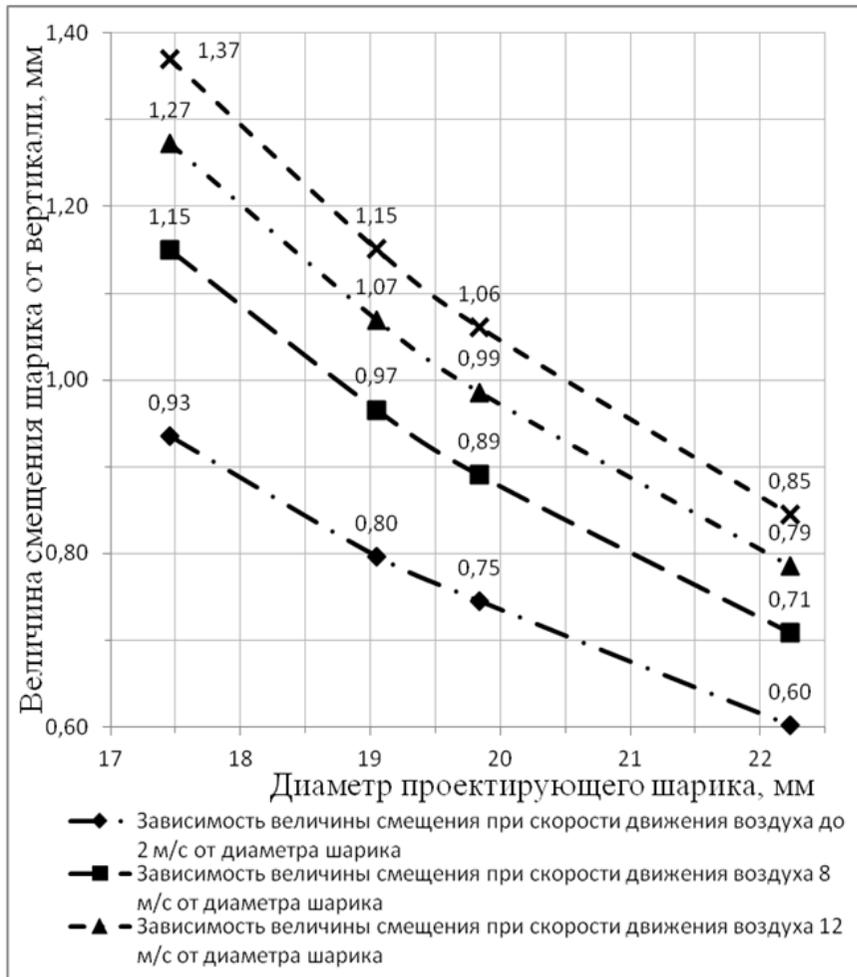


Рисунок 3.11 — Графики зависимости величины смещения шарика от его диаметра шарика

3.4.2 Влияние капеза на точность проектирования

Как известно, в большинстве вертикальных стволов наблюдается капез различной интенсивности в зависимости от горно-геологических условий.

При проектировании координат точек гравитационным способом существует большая вероятность того, что проектирующий шарик, двигаясь вниз по стволу, может столкнуться с водяными каплями, также летящими вниз, что возможно повлияет на траекторию его движения.

Определим величину и зависимость отклонения траектории проектирующего шарика от вертикального положения от глубины ориентированного горизонта и объема водопритока в ствол.

Для того, чтобы определить ожидаемую величину отклонения траектории шарика вследствие влияния капеза, необходимо определить его объем.

В большинстве случаев на небольших глубинах в зоне гидравлической активности водоприток в ствол составляет до $30 \text{ м}^3/\text{ч}$, ниже с глубиной он уменьшается и на глубине 400-500 м приток составляет $10-15 \text{ м}^3/\text{ч}$, а на глубине более 800 м — $0,5-2 \text{ м}^3/\text{ч}$ [19].

Для определения объема водопритока на каждом горизонте в диапазоне от 100 м до 1500 м по этим данным построен график зависимости от глубины на рисунке 3.12 и с помощью построенной кривой определен водоприток на каждом горизонте.

Так же известно [19], что интенсивность капеза достигает наибольшей величины у стен ствола, уменьшаясь к центру. По данным [19], примерно 65-80% воды, фильтрующейся через крепь, распределяется в виде капеза на расстоянии до 30 см от стен, 15% — на расстоянии 1,2 м и только около 5% воды стекает в центральной части ствола.

Таким образом, будем производить расчет водопритока для трех случаев: на расстоянии 0,3 м; 1,2 м от стенки ствола (при проектировании через один ствол) и 3 м — центр ствола (при проектировании через два ствола).

Водоприток проявляется в виде капеза в вертикальном стволе, который влияет на точность проектирования гравитационным способом. Водяные капли различных размеров, просачиваясь из стенок ствола,

движутся по всем коммуникациям ствола — отрываются от них и падают вниз. В процессе своего движения капля может встретить препятствие, удариться об него и разбиться на множество мелких капель, называемых брызгами.

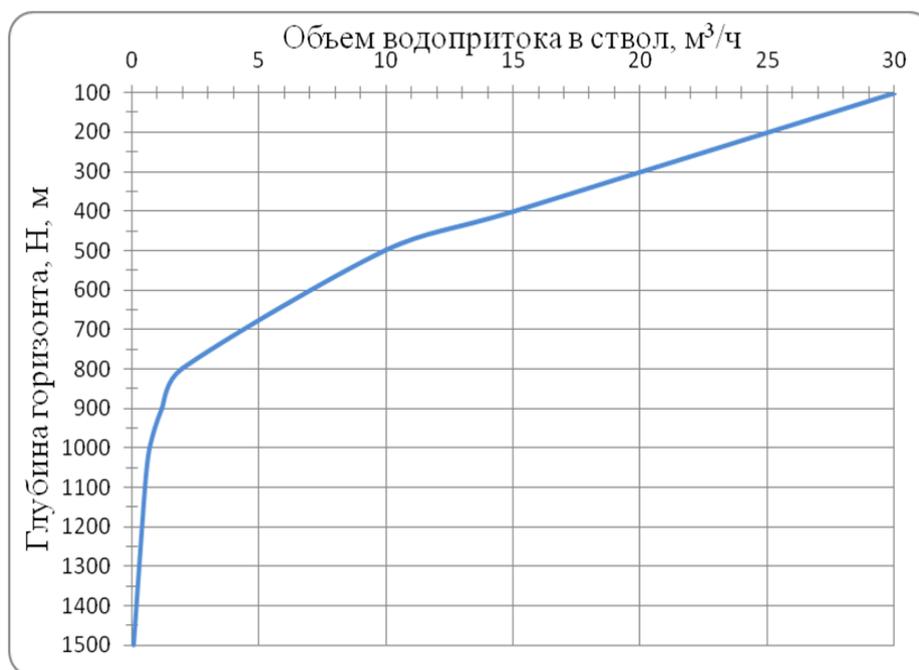


Рисунок 3.12 — График зависимости объема водопритока от глубины горизонта

Таким образом, мы имеем воздушно-капельную среду, в которой крупные капли падают вниз, а брызги движутся с разной скоростью в разных направлениях, определить которые весьма сложно. Влияние их на движущийся проектирующий шарик равновозможно как на нижнюю его поверхность, так и на боковые, так как нижней поверхностью он догоняет капли, а боковые поверхности подвергаются влиянию брызг.

По физическим законам максимально возможная водяная капля в природе может быть размером в диаметре до 9мм [20], но ее образование возможно только в условиях плотного туманного облака. Обычная дождевая капля — 2÷3мм [20]. Размеры капель воды представлены в таблице 3.5.

Представим, что все капли и брызги, движущиеся в пространстве ствола равного максимального размера — $d_k = 3$ мм; $m_k = 0,014$ г.

Так как мы рассматриваем водоприток в ствол в виде капежа, а продолжительность действия капежа на шарик, падающий на глубину

1500 м, составляет около 20 сек, поэтому нам необходимо перевести объем водопритока от м³/ч к г/сек:

Таблица 3.5 — Размеры капель воды

Параметры капли воды	Единица измерения	Значения			
		капель		брызг	
Диаметр	мм	d _к	9	d _б	3
Радиус	м·10 ⁻³	r _к	4,5	r _б	1,5
Объем	м ³ ·10 ⁻⁷	V _к	3,81	V _б	0,14
Масса	г	m _к	0,38	m _б	0,014
	кг·10 ⁻⁴		3,81		0,14
Площадь миделевого сечения	м ² ·10 ⁻⁵	S _к	6,36	S _б	0,71

$$V_{\text{ВП}} = V_{\text{ВП}}^{\text{м}^3/\text{ч}} \cdot 1000000 \cdot 3600, \text{ г/сек} \quad (3.29)$$

где $V_{\text{ВП}}^{\text{м}^3/\text{ч}}$ — объем водопритока, м³/ч;

1 000 000 — количество грамм воды, содержащейся в 1 м³;

3 600 — количество секунд в 1 ч.

Как представлено выше (рис. 3.12), водоприток уменьшается с удалением от стенки ствола, поэтому рассчитаем его объем на расстоянии 0,3 м от стенки, который составляет 65% от общего объема; 1,2 м — 15%; 3 м — 5%:

$$V_{\text{ВП}}^L = V_{\text{ВП}}^{\text{г/сек}} \cdot m(L), \text{ г/сек} \quad (3.30)$$

где $m(L)$ — процент водопритока, зависящий от расстояния до стенки ствола: при $L = 0,3$ м $m = 0,65$; при $L = 1,2$ м $m = 0,15$; при $L = 3,0$ м $m = 0,05$.

Все расчеты приведены в таблице 3.6.

Рассчитанный по формуле (3.30) объем водопритока приходится на весь объем пространства ствола, который равен:

$$V_{\text{СТВ}} = \pi \cdot R^2 \cdot H_{\text{СТВ}} = 3,14 \cdot 3^2 \cdot 1500 = 42390 \text{ м}^3, \quad (3.31)$$

где R — радиус ствола, м;

$H_{\text{СТВ}}$ — максимальная глубина ствола, м.

Нам необходимо рассмотреть объем пространства в пределах площади экрана, назовем его *полезным объемом*. Рассчитаем полезный объем по формуле:

$$V_{\text{пол}} = a \cdot b \cdot H_{\text{ств}} = 1,2 \cdot 0,6 \cdot 1500 = 1080 \text{ м}^3, \quad (3.32)$$

где a — длина экрана, м;

b — ширина экрана, м.

Рассчитаем, сколько процентов полезный объем занимает в общем объеме пространства ствола:

$$\frac{V_{\text{пол}}}{V_{\text{ста}}} \cdot 100\% = \frac{1080}{42390} \cdot 100\% = 2,55\%. \quad (3.33)$$

Значит, объем водопритока внутри полезного объема составляет также 2,55% от общего объема водопритока в зависимости от расстояния до стенки ствола:

$$V_{\text{вппол}}^L = \frac{V_{\text{вп}}^L \cdot 2,55\%}{100\%}, \text{ г/с} \quad (3.34)$$

Представим, что весь объем водопритока существует в пространстве ствола в виде свободного капеза и, зная массу одной капли (табл. 3.5), можно определить количество капель распределенных по полезному объему:

$$N_{\text{пол}}^L = \frac{V_{\text{вппол}}^L}{0,014}, \text{ капель}. \quad (3.35)$$

Рассчитаем концентрацию капель на 1 м^3 полезного пространства ствола:

$$n^L = \frac{N_{\text{пол}}^L}{V_{\text{пол}}}, \text{ капель/м}^3; \quad (3.36)$$

Рассчитанная по формуле (3.36) концентрация применима для каждого горизонта в отдельности. В реальности на конечном горизонте получаем суммарную концентрацию всех вышележащих горизонтов, умножив при этом каждую из них на 20, т. к. капез действует на проектирующий шарик 20 сек, получим окончательную концентрацию капе-

жа на 1 м^3 полезного объема пространства ствола и показанную в таблице 3.6.

Таблица 3.6 — Расчет концентрации капежа в вертикальном стволе

Глубина, H , м	Водоприток, $V_{вп} \text{ м}^3/\text{ч}$	Расстояние от стенки ствола, L м			Расстояние от стенки ствола, L , м		
		0,3	1,2	3	0,3	1,2	3
		% капежа в объеме водопритока $m(L)$			Суммарная концентрация капежа, n^L , капель/20сек		
		65%	15%	5%			
		Объем капежа V^L_k , г/сек					
100	30	5417	1250	417	183	42	14
200	25	4514	1042	347	335	77	26
300	20	3611	833	278	456	105	35
400	15	2708	625	208	548	126	42
500	10	1806	417	139	608	140	47
600	7	1264	292	97	651	150	50
700	4	722	167	56	675	156	52
800	2	361	83	28	688	159	53
900	1,5	271	63	21	697	161	54
1000	1	181	42	14	703	162	54
1100	0,5	90	21	7	706	163	54
1200	0,3	54	13	4	708	163	54
1300	0,2	36	8	3	709	164	55
1400	0,1	18	4	1	709	164	55
1500	0,05	9	2	1	710	164	55

Пусть проектирующий шарик радиусом $R_{ш} = 0,00873 \text{ м}$ движется со скоростью $v_{ш} = 88,7 \text{ м/с}$ [13] по траектории падения в пространстве, заполненном множеством падающих параллельно шарiku водяных капель (рис. 3.13) [13]. Среднее значение массы одной капли $m_k = 1,4 \cdot 10^{-5}$ (табл. 3.5), их концентрация n рассчитана в таблице 3.6.

В единицу времени шарик встречает на своем пути

$$N^L = n^L v_{ш} S, \text{ капель}, \quad (3.37)$$

где $S = 2\pi R_{ш}^2$ — площадь взаимодействия с капежом (площадь нижней поверхности шарика — полусферы).

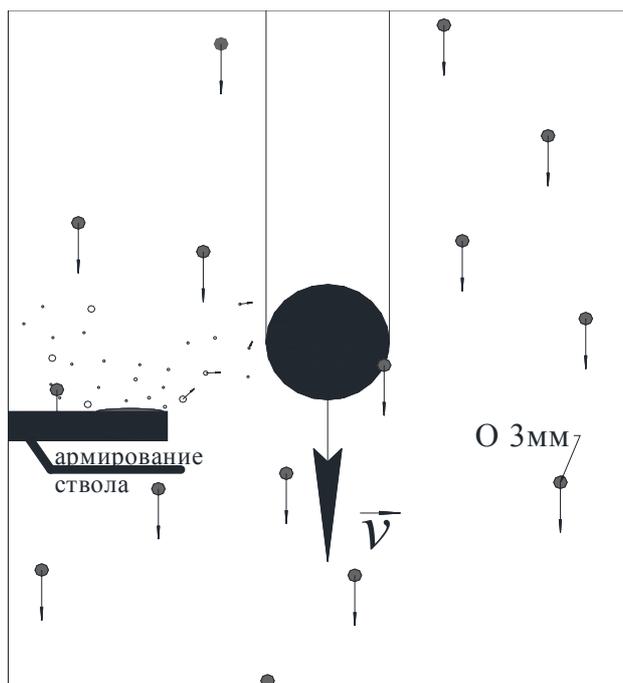


Рисунок 3.13 — Схема действия каплежа на проектирующий шарик

Так как столкновения капель с шариком неупругие [21,22], то сила сопротивления капель равна [23]:

$$F_{с.к.}^L = m_k v_{ш} N^L, \text{ Н} \quad (3.38)$$

По второму закону Ньютона [21], описанного формулой (3.24), представим, что на шарик в определенный момент времени действует только сила сопротивления воздушно-капельной среды, тогда шарик под действием этой силы будет отклоняться с ускорением, определяемым по формуле:

$$a^L = \frac{F_{с.к.}^L}{m_{ш}}, \text{ м/с}^2 \quad (3.39)$$

где $F_{с.к.}^L$ — сила сопротивления воздушно-капельной среды в зависимости от расстояния от стенки выработки, Н;

$m_{ш}$ — масса шарика, кг.

Отсюда определим скорость отклонения:

$$v^L = a^L \cdot T_{ш} = \frac{S_{откл}^L}{T_{ш}}, \text{ м/с} \quad (3.40)$$

где $S_{\text{откл}}^L$ — величина отклонения шарика от вертикали в зависимости от расстояния от стенки выработки, м;

$T_{\text{ш}}$ — время взаимодействия шарика с объемом 1 м^3 воздушно-капельной среды, равное $0,013 \text{ с}$.

Из формулы (3.40) определим величину отклонения шарика от вертикали:

$$S_{\text{откл}}^L = a^L \cdot T_{\text{ш}}^2. \quad (3.41)$$

По результатам расчетов, приведенных в таблице 3.7 видно, что в условиях столкновения шарика даже с несколькими сотнями капель отклонение траектории его полета от вертикали произойдет на десятые доли миллиметра и на необходимую точность проектирования не повлияет.

Таблица 3.7 — Расчет отклонения шарика от вертикали за счет капежа

Глубина горизонта, $H, \text{ м}$	Расстояние от стенки ствола, $L, \text{ м}$			Расстояние от стенки ствола, $L, \text{ м}$		
	0,3	1,2	3	0,3	1,2	3
	Концентрация капежа, $n^L, \text{к/м}^3$			Отклонение траектории проектирующего шарика от вертикали, $S_{\text{откл}}, \text{ мм}$		
100	183	42	14	0,05	0,011	0,004
300	456	105	35	0,12	0,028	0,009
500	608	140	47	0,16	0,037	0,012
700	675	156	52	0,18	0,041	0,014
800	688	159	53	0,18	0,042	0,014
1000	703	162	54	0,18	0,042	0,014
1200	708	163	54	0,19	0,043	0,014
1300	709	164	55	0,19	0,043	0,014
1500	710	164	55	0,19	0,043	0,014

Погрешность, возникающая в результате отклонения траектории проектирующего шарика от вертикального положения под влиянием капежа в шахтном стволе, зависит от двух основных факторов, которые так же зависят друг от друга:

— глубина горизонта;

— концентрация капель на 1 м^3 полезного объема пространства ствола.

Поэтому построим график зависимости этих трех параметров, представленный на рисунке 3.14. Линия, соединяющая центры кругов показывает зависимость концентрации капель от глубины горизонта, а диаметр кругов соответствует величине отклонения траектории проектирующего шарика.

Таким образом, на рисунке 3.14 видно, что концентрация капель растет с углублением до горизонта 800м, а на нижних горизонтах — стремится к одному постоянному значению, потому что водоприток в ствол с углублением уменьшается.

Судя по размеру кругов, практически такую же зависимость имеет и величина отклонения, которая увеличивается до горизонта 700 м, а ниже так же стремится к постоянному значению, равному 0,19 мм.

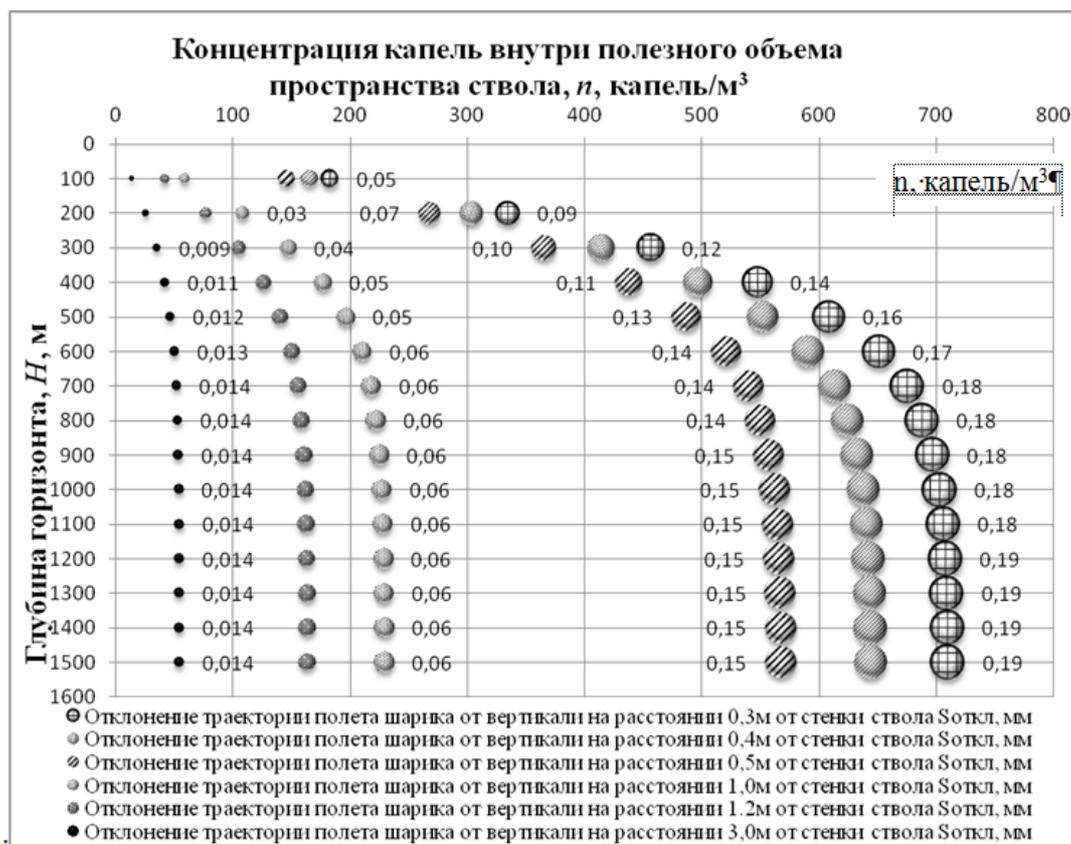


Рисунок 3.14 — График зависимости отклонения траектории проектирующего шарика $S_{откл}$ от отвесной линии на различных глубинах от концентрации капежа

Выводы:

Капеж в вертикальных шахтных стволах влияет на точность проектирования плановых координат гравитационным способом. Степень влияния выражается величиной отклонения траектории проектирующего шарика от вертикального положения, максимальное значение которой не достигает 0,2 мм (табл. 3.7) при проектировании через один вертикальный ствол, что удовлетворяет условиям допуска [1].

При проектировании через 2 вертикальных ствола, максимальное значение отклонения составляет 0,014 мм. Продолжительность воздействия капежа на проектирующий шарик в 1500 раз меньше продолжительности влияния на отвес.

3.4.3. Погрешность за счет гравитационного взаимодействия шарика с боковыми породами

Гравитационное взаимодействие описывается законом всемирного тяготения Ньютона [15], который гласит, что сила гравитационного притяжения между двумя материальными точками массы m и M , разделёнными расстоянием R , пропорциональна обеим массам и обратно пропорциональна квадрату расстояния. Приведем еще раз формулу (3.2):

$$F = G \frac{mM}{R^2}, \text{ Н} \quad (3.2)$$

В нашем случае материальными точками служат металлический шарик и окружающие его горные породы, так как шарик летит в замкнутом пространстве шахтного ствола, проведенного внутри толщи горных пород. Обозначим буквой m — массу металлического шарика, а M — массу элементарного объема горных пород. Под элементарным объемом подразумеваем тот объем горных пород, который непосредственно взаимодействует с шариком в определенный момент времени и центр тяжести этого объема расположен на одной горизонтальной прямой с центром тяжести шарика в этот временной момент. Величина элементарного объема определена с помощью радиуса действия сил гравитационного взаимодействия, который в свою очередь зависит от скорости света и равен 300 м [15]. То есть элементарный объем горных пород

представляет собой половину шара, радиус которого равен 300м (рис. 3.16) и определяется по формуле:

$$V = \frac{4}{6}\pi R^3 = \frac{4}{6}3,14 \cdot 300^3 = 56520000\text{м}^3, \quad (3.42)$$

где R — радиус действия сил гравитационного взаимодействия, м. Отсюда масса элементарного объема будет равняться:

$$M = V \cdot \rho = 56520000 \cdot 2500 = 1,413 \cdot 10^{11}, \text{ кг} \quad (3.43)$$

где ρ — плотность горных пород. Принята плотность песчаника равная 2200-2500 кг/м³, как максимальная плотность всех каменноугольных горных пород, а также почти совпадающая с плотностью бетона — 1800-2450 кг/м³, которым крепят большинство стволов.

Так как расстояние между взаимодействующими телами относительно мало, то обозначим его буквой l , тогда формула (3.2) будет иметь вид:

$$F_{\text{вд}} = G \frac{mM}{l^2}, \text{ Н} \quad (3.44)$$

Рассчитаем силу взаимодействия между телами на различных расстояниях между ними с целью определения минимального расстояния, когда поправку можно не учитывать.

Под действием описанной выше силы притяжения, шарик двигаясь по отвесной линии, будет смещаться в сторону ближайшей стенки выработки. Величина этого смещения и составляет данную погрешность.

По второму закону Ньютона [15] (формула 3.24) на металлический шарик, летящий по вертикальному стволу, действуют три основные силы: сила тяжести, сила сопротивления воздуха и сила взаимодействия между телами. Как выглядят векторы направленности этих сил показано на рисунке 3.15.

Как описано выше, шарик с поверхности до горизонта 400 м летит, увеличивая скорость, значит этот момент сила тяжести больше силы сопротивления воздуха. Направление равнодействующей этих двух сил совпадает с направлением силы тяжести и равна геометрической их сумме, так как сила тяжести превышает силу сопротивления воздуха.

Учитывая то, что их векторы направлены по одной прямой, но в разных направлениях, они будут иметь разные знаки.

$$\vec{F}_2 = \vec{F}_T - \vec{F}_{с.в.}, \text{ Н} \quad (3.45)$$

Тогда равнодействующая всех сил будет равна геометрической сумме \vec{F}_2 и $\vec{F}_{вд}$. Геометрическая сумма двух взаимно перпендикулярных векторов являет собой третий вектор равный по направлению и по величине диагонали прямоугольника, построенного с помощью складываемых векторов. Тогда, по теореме Пифагора, вектор равнодействующей всех сил будет равен:

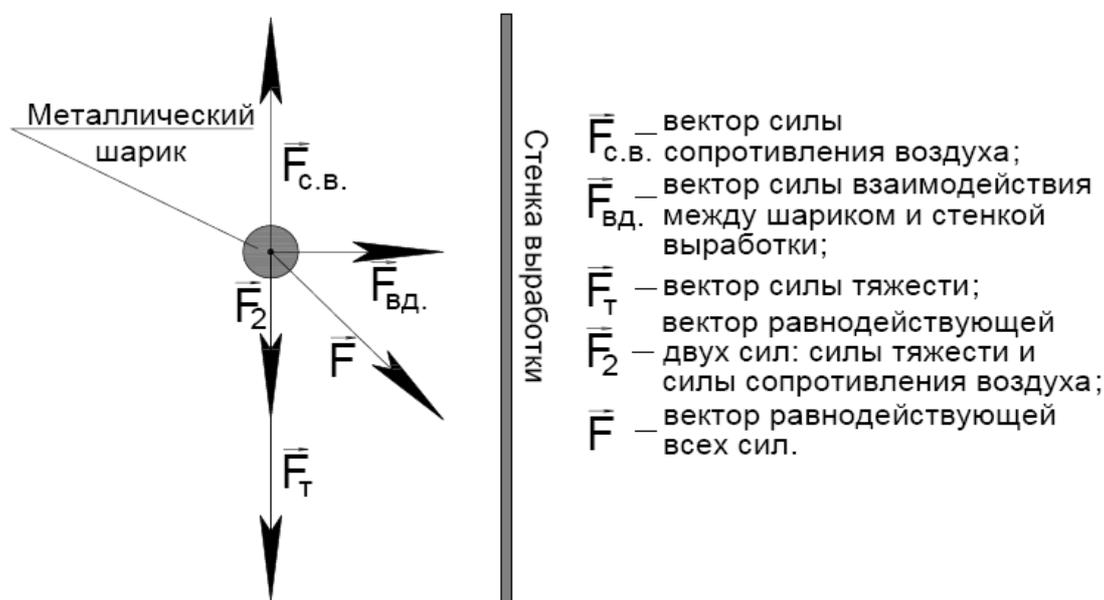


Рисунок 3.15 — Схема направленности векторов сил, действующих на шарик

$$F = \sqrt{F_2^2 + F_{вд.}^2}, \text{ Н} \quad (3.46)$$

После преобразований формул (3.45) и (3.46) получим:

$$F = \sqrt{(F_T - F_{с.в.})^2 + F_{вд.}^2}, \text{ Н} \quad (3.47)$$

где F_T — сила тяжести, определяемая по формуле:

$$F_T = mg = 0,034 \cdot 9,824 = 0,334, \text{ Н} \quad (3.48)$$

где g — ускорение силы тяжести в толще Земли, принято $9,81 \text{ м/с}^2$.

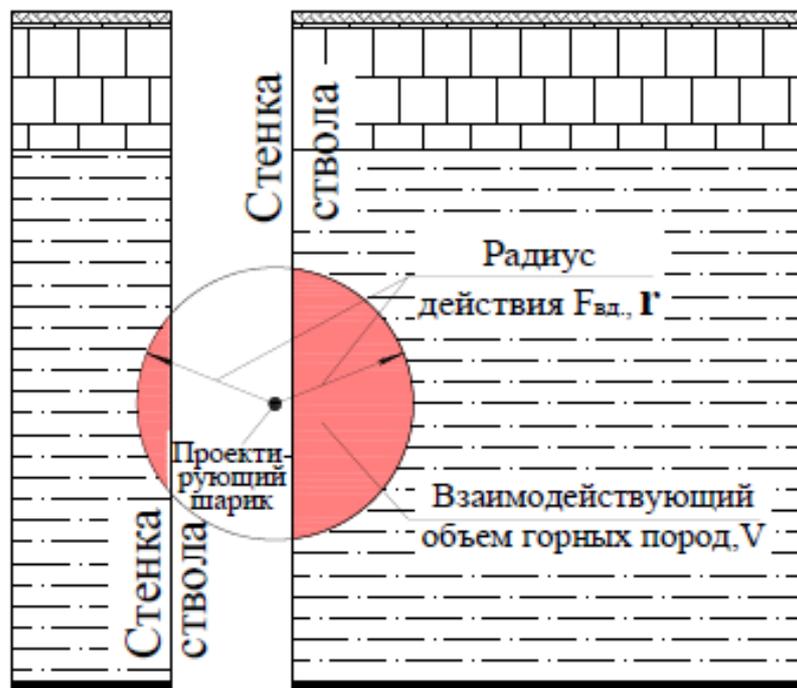


Рисунок 3.16 — Схема определения элементарного объема горных пород

Сила сопротивления воздуха определяется по формуле (3.20), принята равной 0,333 Н в момент достижения шариком горизонта 400 м, а сила взаимодействия между телами — по формуле (3.44).

Объединим формулу (3.24) и (3.47), получим:

$$ma = \sqrt{(F_T - F_{C.B.})^2 + F_{ВД}^2}, \quad (3.49)$$

где a — ускорение тела, определяемое по формуле:

$$a = \frac{v}{t}, \text{ м/с}^2 \quad (3.50)$$

где v — скорость смещения шарика в сторону стенки выработки, которое можно рассчитать по формуле:

$$v = \frac{s}{t}, \text{ м/с} \quad (3.51)$$

где s — величина смещения шарика от вертикального положения, м;
 t — время взаимодействия шарика с элементарным объемом, равное $20,29 \cdot 10^{-5}$ с.

Преобразуем формулы (3.49), (3.50) и (3.51):

$$m \frac{s}{t^2} = \sqrt{(F_T - F_{c.в.})^2 + F_{вд.}^2}, \quad (3.52)$$

Отсюда найдем величину смещения шарика:

$$s = \frac{t^2 \sqrt{(F_T - F_{c.в.})^2 + F_{вд.}^2}}{m}, \text{ м} \quad (3.53)$$

В момент достижения шариком горизонта 400 м сила тяжести и сила сопротивления воздуха уравниваются, значит, от указанного горизонта и ниже ускорение шарика равно нулю и равнодействующая всех сил будет равняться силе взаимодействия. В этом случае формула (3.52) примет вид:

$$m \frac{s}{t^2} = F_{вд.}. \quad (3.54)$$

Отсюда найдем смещение для горизонтов ниже 400м:

$$s_r = \frac{t^2 F_{вд.}}{m}, \text{ м} \quad (3.55)$$

Все расчеты сведем в таблицу 3.8.

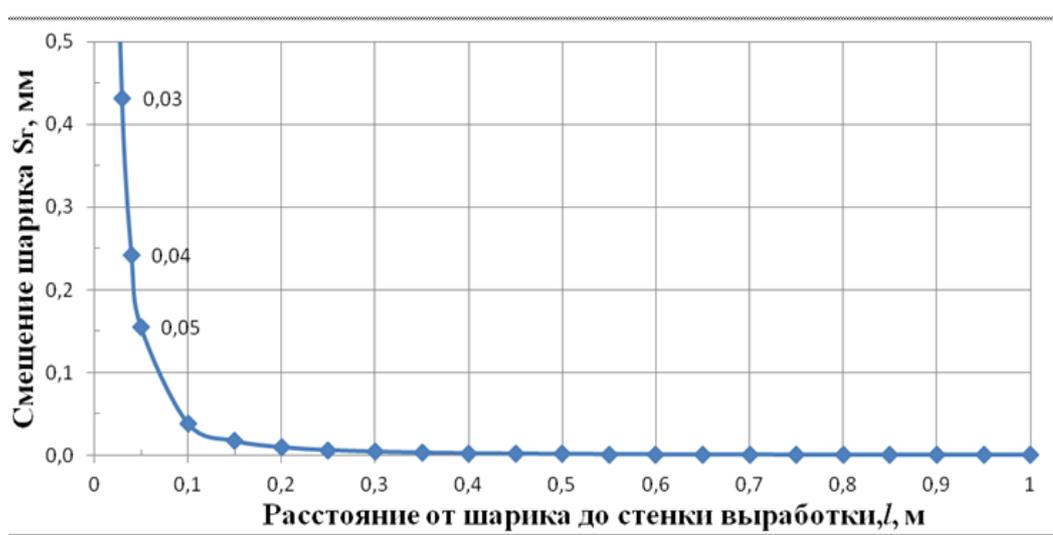


Рисунок 3.17 — График зависимости смещения траектории шарика в сторону стенки выработки от расстояния между ними за счет боковых сил гравитации.

Таблица 3.8 — Расчет смещения шарика от вертикали

Расстояние от шарика до стенки выработки, r , м	Сила взаимодействия, $F_{вд.}$, Н	Равнодействующая всех сил F , Н	Смещение шарика s , мм
0,001	320641,92	320641,92	388,24464
0,005	12825,68	12825,68	15,52979
0,01	3206,42	3206,42	3,88245
0,02	801,60	801,60	0,97061
0,03	356,27	356,27	0,43138
0,04	200,40	200,40	0,24265
0,05	128,26	128,26	0,15530
0,1	32,06	32,06	0,03882
0,15	14,25	14,25	0,01726
0,2	8,02	8,02	0,00971
0,25	5,13	5,13	0,00621
0,3	3,56	3,56	0,00431
0,35	2,62	2,62	0,00317
0,4	2,00	2,00	0,00243
0,45	1,58	1,58	0,00192
0,5	1,28	1,28	0,00155
0,55	1,06	1,06	0,00128
0,6	0,89	0,89	0,00108
0,65	0,76	0,76	0,00092
0,7	0,65	0,65	0,00079
0,75	0,57	0,57	0,00069
0,8	0,50	0,50	0,00061
0,85	0,44	0,44	0,00054
0,9	0,40	0,40	0,00048
0,95	0,36	0,36	0,00043
1	0,32	0,32	0,00039

Масса шарика, $m=0,034$ кг; масса элементарного объема, $M=1,413$ кг $\cdot 10^{11}$; гравитационная постоянная, $G=6,6742$ м³/((кг \cdot с²) $\cdot 10^{-11}$); время взаимодействия с элементарным объемом, $t=20,29с\cdot 10^{-5}$; ускорение силы тяжести, $g=9,824$ м/с²; сила тяжести, $F_T=0,334$ Н; сила сопротивления воздуха, $F_{с.в.}=0,333$ Н.

Выводы:

По результатам расчетов в таблице 3.8 и графика зависимости на рисунке 3.17 можно сделать вывод, что смещение траектории шарика от вертикали обратно пропорционально расстоянию от нее до стенки ствола. Значит, чем дальше планируемая траектория, тем смещение меньше. Из таблицы 3.8 видно, что уже на расстоянии 3см от стенки, смещение составляет менее 0,5мм, что удовлетворяет условиям допуска [1]. Таким образом, для ориентирования через один вертикальный ствол, можно сделать вывод что, уменьшая длину створа отвесных линий, мы добиваемся минимального значения смещения шарика за счет притяжения боковых пород. Известно [24], что с уменьшением длины створа отвесов увеличивается угловая погрешность проектирования θ , которая гораздо больше влияет на точность ориентирования шахтного горизонта при совместном решении с задачей центрирования. Поэтому, необходимо располагать направляющие отверстия на расстоянии не менее 0,3 м от стенок ствола, когда S_{Γ} будет близка к 0.

3.4.4. Общая случайная погрешность проектирования

Определим степень влияния случайных погрешностей, отклоняющих траекторию проектирующего шарика от вертикального положения, направленность которых определить весьма сложно. Такими погрешностями являются:

— смещение траектории от отвесного положения под воздействием воздушного потока, $S_{\text{в}} = m_{\text{в}}$;

— смещение под влиянием капежа в стволе, $S_{\text{к}} = m_{\text{к}}$;

— смещение за счет сил гравитационного взаимодействия, $S_{\text{г}} = m_{\text{г}}$.

Величины рассчитанных погрешностей являются радиусом их действия.

Отсюда можно вычислить общую случайную погрешность проектирования гравитационным способом:

$$M_{\text{СЛ}} = \sqrt{m_{\text{в}}^2 + m_{\text{к}}^2 + m_{\text{г}}^2} . \quad (3.56)$$



Рисунок 3.18 — График зависимости общей случайной погрешности проектирования от глубины горизонта

Составим сводную таблицу случайных погрешностей, зависящих от глубины ориентируемого горизонта, от расстояния до стенки ствола. Вычислим максимально возможную общую случайную погрешность проектирования для каждого горизонта (табл. 3.9).

Из таблицы 3.9 видно, что общая случайная погрешность проектирования гравитационным способом для горизонта 1500 м не превышает 5мм. График зависимости на рис. 3.18 показывает, что на промежутке горизонтов от 100 м до 400 м общая погрешность составляет около 1,25мм, а от этой глубины и ниже она постоянно возрастает по линейному закону. Это связано с тем, что основную долю в общей погрешности занимает погрешность влияния сопротивления воздуха.

Таблица 3.9 — Расчет общей случайной погрешности проектирования

Глубина горизонта, Н, м	Смещение шарика под действием сопротивле- ния воздуха, S _в , мм	Расстояние от стенки ствола, L, м					m _в ² = S _в ²	Расстояние от стенки ствола, L, м					Общ.случ. погреш. про- ектирования, М, мм при L=0,3м
		0,3	0,4	0,5	1,0	3,0		0,3	0,4	0,5	1,0	3,0	
		Смещение под действием гравитационного взаимодействия S _г , мм при L, м						m _г ² =S _г ² , при L, м					
		0,0043	0,0024	0,0016	0,0004	0,0000		0,0000186	0,0000059	0,0000024	0,00000015	0,0	
		Влияние капежа в стволе, S _к , мм при L, м						m _к ² = S _к ² , при L, м					
100	1,20	0,05	0,04	0,04	0,02	0,004	1,44	0,00229	0,00189	0,00146	0,00024	0,00002	1,20
200	1,27	0,09	0,08	0,07	0,03	0,007	1,62	0,00769	0,00634	0,00492	0,00080	0,00005	1,28
300	1,25	0,12	0,11	0,10	0,04	0,009	1,56	0,01430	0,01178	0,00915	0,00149	0,00008	1,25
400	1,24	0,14	0,13	0,11	0,05	0,011	1,53	0,02059	0,01697	0,01318	0,00215	0,00012	1,24
500	1,57	0,16	0,14	0,13	0,05	0,012	2,47	0,02542	0,02095	0,01627	0,00265	0,00014	1,58
600	1,87	0,17	0,15	0,14	0,06	0,013	3,49	0,02911	0,02398	0,01863	0,00304	0,00017	1,88
700	2,17	0,18	0,16	0,14	0,06	0,014	4,70	0,03132	0,02581	0,02005	0,00327	0,00020	2,18
800	2,50	0,18	0,16	0,14	0,06	0,014	6,27	0,03246	0,02675	0,02078	0,00339	0,00020	2,51
900	2,80	0,18	0,17	0,15	0,06	0,014	7,86	0,03333	0,02746	0,02133	0,00348	0,00020	2,81
1000	3,10	0,18	0,17	0,15	0,06	0,014	9,63	0,03392	0,02794	0,02171	0,00354	0,00020	3,11
1100	3,44	0,18	0,17	0,15	0,06	0,014	11,83	0,03421	0,02819	0,02189	0,00357	0,00020	3,44
1200	3,74	0,19	0,17	0,15	0,06	0,014	13,97	0,03439	0,02833	0,02201	0,00359	0,00020	3,74
1300	4,04	0,19	0,17	0,15	0,06	0,014	16,29	0,03451	0,02843	0,02208	0,00360	0,00020	4,04
1400	4,37	0,19	0,17	0,15	0,06	0,014	19,12	0,03457	0,02848	0,02212	0,00361	0,00020	4,38
1500	4,67	0,19	0,17	0,15	0,06	0,014	21,83	0,03459	0,02850	0,02214	0,00361	0,00020	4,68

4. ГРАФИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГРАВИТАЦИОННЫМ СПОСОБОМ

4.1. Описание графической модели

Графическая модель проектирования координат гравитационным способом построена в трехмерном пространстве цилиндра, геометрические параметры которого отражают параметры вертикального шахтного ствола (рис. 4.1) (\varnothing 6м; высота цилиндра (глубина ствола) $H=1500$ м). Координатные оси: ось X — направлена на север; ось Y — на восток; ось Z — по направлению отвесной линии (вертикально вниз) в центре ствола, ось горизонтов H совпадает с осью Z . Шахтный ствол рассечен горизонтальными плоскостями через каждые 100м по оси Z . Каждая горизонтальная плоскость имеет полярную систему координат с центром в точке O , совпадающими с вертикальной осью ствола Z . Координатами полярной системы являются полярный угол φ , отсчитываемый от оси X (направления на север) и полярное расстояние l , которое отсчитывается не от центра ствола, а от его стенок (для удобства на практике). Ось времени T параллельна оси Z и оси горизонтов H . Таким образом, можно графически изобразить и зафиксировать в пространстве значениями полярных координат положение проектирующего шарика в любой момент времени на любом горизонте и на плоскости.

Графическая модель общей систематической погрешности представляет собой плавную кривую, называемую расчетной траекторией шарика (рис. 4.1), построенную в трехмерном пространстве. Началом отсчета является проектируемая точка A или B , осью Z — отвесная линия, проведенная из данной проектируемой точки, значения по оси Z равны значениям рассматриваемых горизонтов; осью Y — направление на восток, значения по оси Y равны поправкам ΔY ; осью X — направление на север, значения по оси X равны поправкам ΔX . Графическая модель построена в едином масштабе.

Общая случайная погрешность имеет переменную направленность и величину. Графическая модель общей случайной погрешности отображает ее в виде конуса, вершиной которого является проектируемая точка A или B , осью — расчетная траектория шарика. Конус рассечен горизонтальными плоскостями горизонтов H , значения радиусов ок-

ружностей промежуточных сечений равны значениям общей случайной погрешности для каждого горизонта. Радиус основания равен определенному максимальному значению общей случайной погрешности при заданных условиях (рис. 4.3).

Внутри шахтного ствола расположен еще один «мнимый» цилиндр, который показан пунктирной линией. Он отражает граничный контур безопасности для проектирования, за которым нельзя располагать проектируемые точки, допускать пересечение его расчетной траекторией шарика, фиксировать шарик на ориентируемом горизонте и т.п. для того, чтобы избежать столкновения шарика с неровностями бетонного крепления ствола, армировки и минимизации влияния сил гравитационного взаимодействия. Радиус оснований последнего на 0,3 м меньше радиуса ствола.

4.2. Графическая модель проектирования через один вертикальный ствол

При центрировании подземной опорной сети через один вертикальный ствол длина створа проектируемых точек значительно отражается на точности проектирования, поэтому в данном случае необходимо расположить проектируемые точки так, чтобы расстояние между ними было максимальным в пределах граничного контура безопасности.

Графическая модель проектирования плановых координат точек с поверхности на ориентируемый горизонт показана на рисунке 4.1.

В устье ствола установлены направляющие устройства (рис. 4.1) с пластинами и отверстиями (рис. 4.2), центры которых представляют собой проектируемые точки А и В с известными координатами (X, Y).

Проектирование координат точек гравитационным способом должно выполняться с условием исключения возможности приближения шарика ближе, чем на 0,3 м к стенке ствола. Эта область обозначена граничным контуром безопасности, пределы которой не должна пересекать расчетная траектория проектирующего шарика, так как она отклоняется от отвесной линии. На горизонте ориентирования Н с помощью экранов (рис. 4.1) фиксируем следы траекторий шариков, которые отклонены на величину ΔY на восток от отвесной линии.

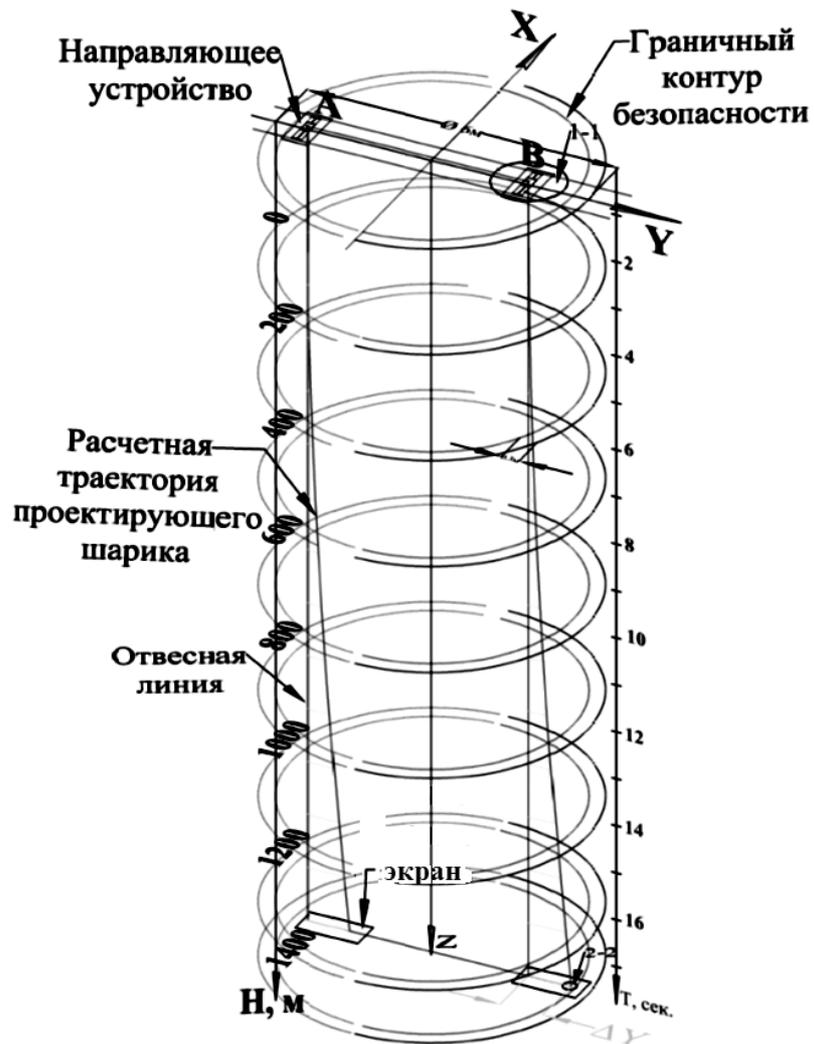


Рисунок 4.1 — Схема графической модели траектории шарика

1-1

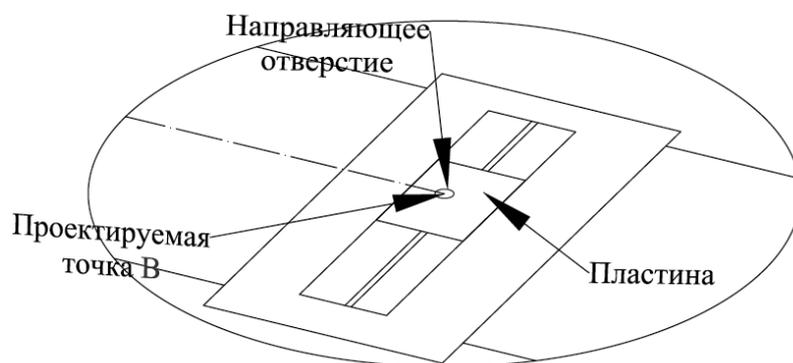


Рисунок 4.2 — Схема направляющего устройства

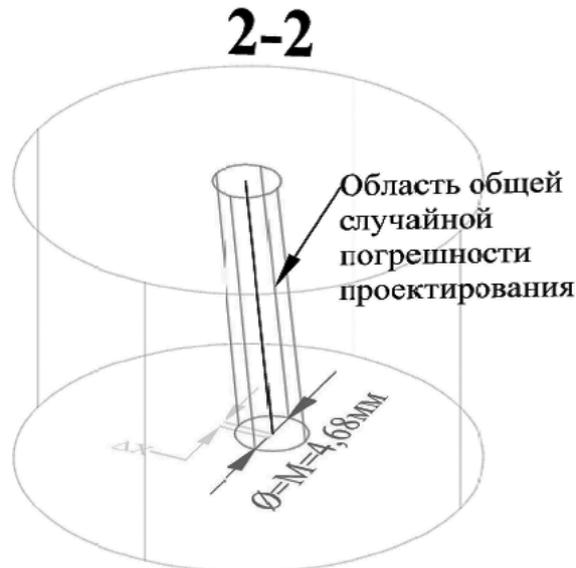


Рисунок 4.3 — Графическая модель общей случайной погрешности проектирования

Расчетные траектории проектирующих шариков А и В представляют собой графическую модель общей систематической погрешности проектирования гравитационным способом через один вертикальный ствол (рис 4.1).

Область общей случайной погрешности проектирования представляет собой графическую модель последней и на рисунке 4.3 показан отрезок конуса с вершиной в проектируемой точке В.

Основное влияние на траекторию движения проектирующего шарика оказывает погрешность за счет вращения Земли (рис. 4.1), но строгая направленность дает возможность ввести ее в виде систематической поправки в определяемые координаты спроектированных точек на горизонте горных работ.

4.3. Графическая модель проектирования через два центрально-сдвоенных вертикальных ствола

При центрировании подземной опорной сети гравитационным способом через два центральных вертикальных ствола, определяющими факторами являются глубина горизонта и длина створа проектируемых точек.

Значительное влияние будут иметь погрешности перехода с эллипсоида на плоскость (формула 3.9), а так же в длинах створа проекти-

руемых точек систематическая поправка за схождение отвесных линий (формула 3.6) (рис. 4.4).

Вид и размер области общей случайной погрешности не изменился, в данной графической модели и имеет тот же вид, что и в предыдущей (рис. 4.3).

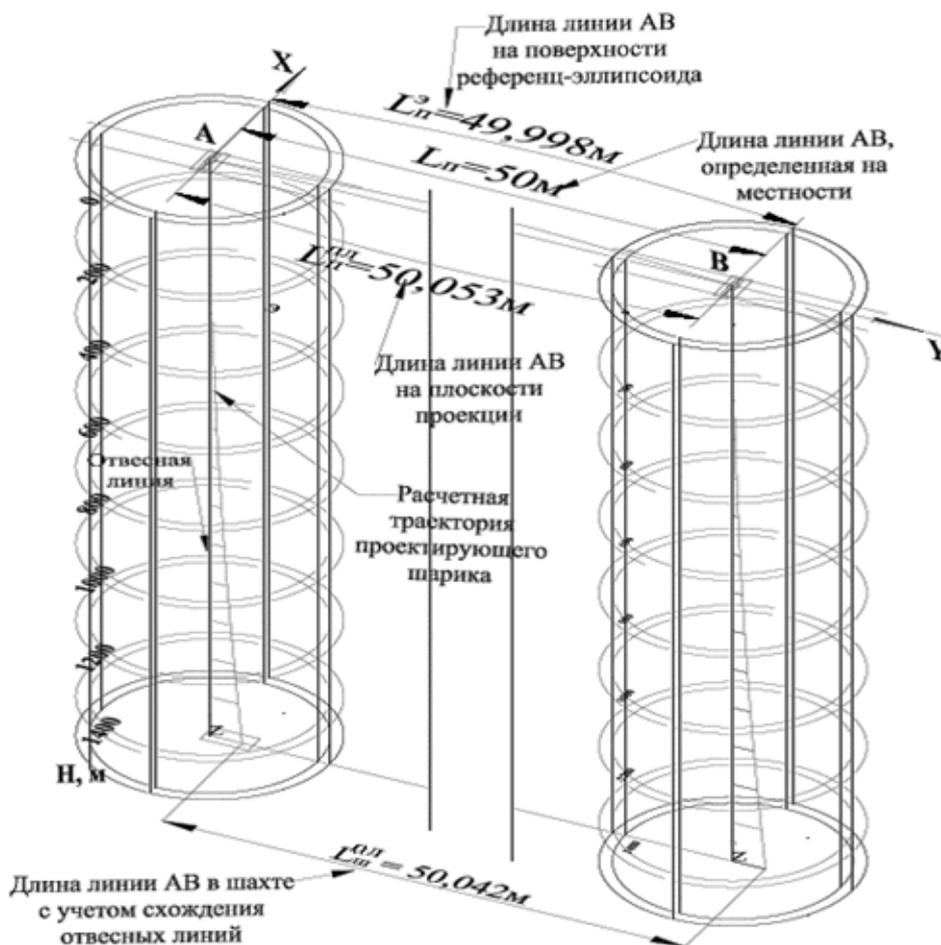


Рисунок 4.4 — Графическая модель проектирования через два центрально-сдвоенных ствола

4.4. Графическая модель проектирования через два удаленных вертикальных ствола

При центрировании маркшейдерской подземной опорной сети через два фланговых ствола, расстояние до стенки ствола не достигает значений, отражающихся на точности проектирования, поэтому погрешности, зависящие от этого условия можно не рассматривать. Перечислим явно отраженные на графической модели погрешности по убы-

ванию влияющего действия: систематическая погрешность расстояния между проектируемыми точками при переходе с эллипсоида на плоскость $\Delta L^{пл}$; схождение отвесных линий к центру сферической поверхности Земли ΔL ; отклонение траектории падения к востоку от направления отвеса за счет вращения Земли ΔY ; общая случайная погрешность $M_{сл}$.

Данная модель (рис. 4.5) способствует четкому пространственному представлению о схождении отвесных линий ΔL относительно вертикали, построенной к плоскости проекции, значение которой увеличивается с увеличением расстояния между ними.

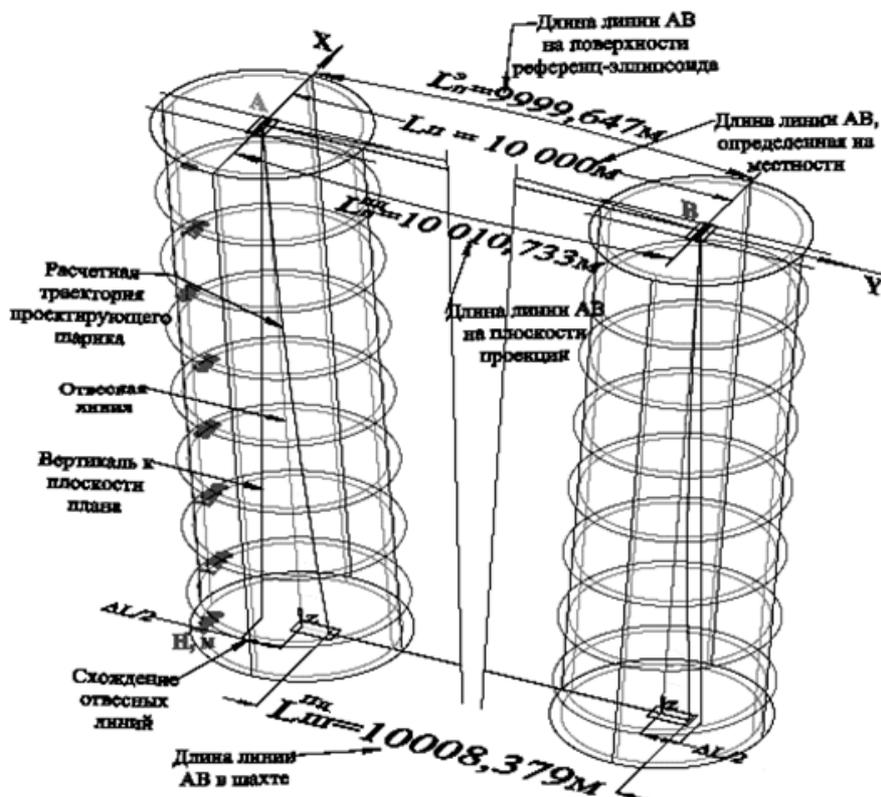


Рисунок 4.5 — Графическая модель проектирования через два удаленных ствола

На длину створа проектируемых точек так же значительное влияние оказывает погрешность, возникающая при переходе от эллипсоида на плоскость проекции на поверхности $\Delta L_{п}^{пл}$ и на ориентируемом горизонте $\Delta L_{ш}^{пл}$ (рис. 4.5).

Графическая модель общей случайной погрешности остается неизменной (рис. 4.3). Она показывает величину возможного разброса следов траекторий нескольких шариков, выпущенных из одного положения направляющего отверстия.

Графическая модель общей систематической погрешности проектирования необходима для того, чтобы определить расположение проектируемых точек таким образом, чтобы траектории шариков не пересекали граничного контура безопасности, а так же направление створа обеспечивало минимальное смещение полярных углов проектируемых точек.

4.5. Номограмма расположения на поверхности и фиксации на ориентируемом горизонте проектируемых точек

Номограмма (рис. 4.6) отображает граничные контуры расположения проектируемых точек на поверхности 1 для горизонтов 500, 1000 и 1500 м, внутри которого можно располагать проектируемые точки на поверхности в устье ствола 2 в зависимости от полярного угла φ для каждой из проектируемых точек.

Граничные контуры фиксации шариков на ориентируемом горизонте 3 дают возможность предварительного определения полярных координат $(\varphi; l)$ фиксации каждой из проектируемых точек на ориентируемом горизонте Н.

С помощью номограммы составлена таблица граничных расстояний l проектируемых точек для различных горизонтов в зависимости от значения полярного угла φ проектируемой точки.

Таблица 4.1 — Граничные расстояния l , м в зависимости от полярного угла φ° проектируемых точек для различных горизонтов ориентирования

$H, \text{ м}$	Минимальное расстояние от стенки ствола l , м при φ°										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	190-350
	180	170	160	150	140	130	120	110	100		
400	0,3	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,35	0,36	0,36	0,36	0,3
500	0,3	0,32	0,34	0,35	0,36	0,38	0,38	0,39	0,39	0,39	0,3
600	0,3	0,33	0,35	0,37	0,39	0,4	0,41	0,42	0,43	0,43	0,3
700	0,31	0,34	0,37	0,39	0,42	0,44	0,46	0,47	0,48	0,48	0,3
800	0,31	0,35	0,39	0,42	0,46	0,48	0,5	0,52	0,53	0,53	0,3
900	0,32	0,37	0,42	0,46	0,5	0,53	0,56	0,58	0,59	0,59	0,3
1000	0,34	0,4	0,46	0,51	0,55	0,59	0,63	0,65	0,67	0,67	0,3
1500	0,43	0,58	0,7	0,8	0,91	0,98	1,04	1,11	1,13	1,12	0,3

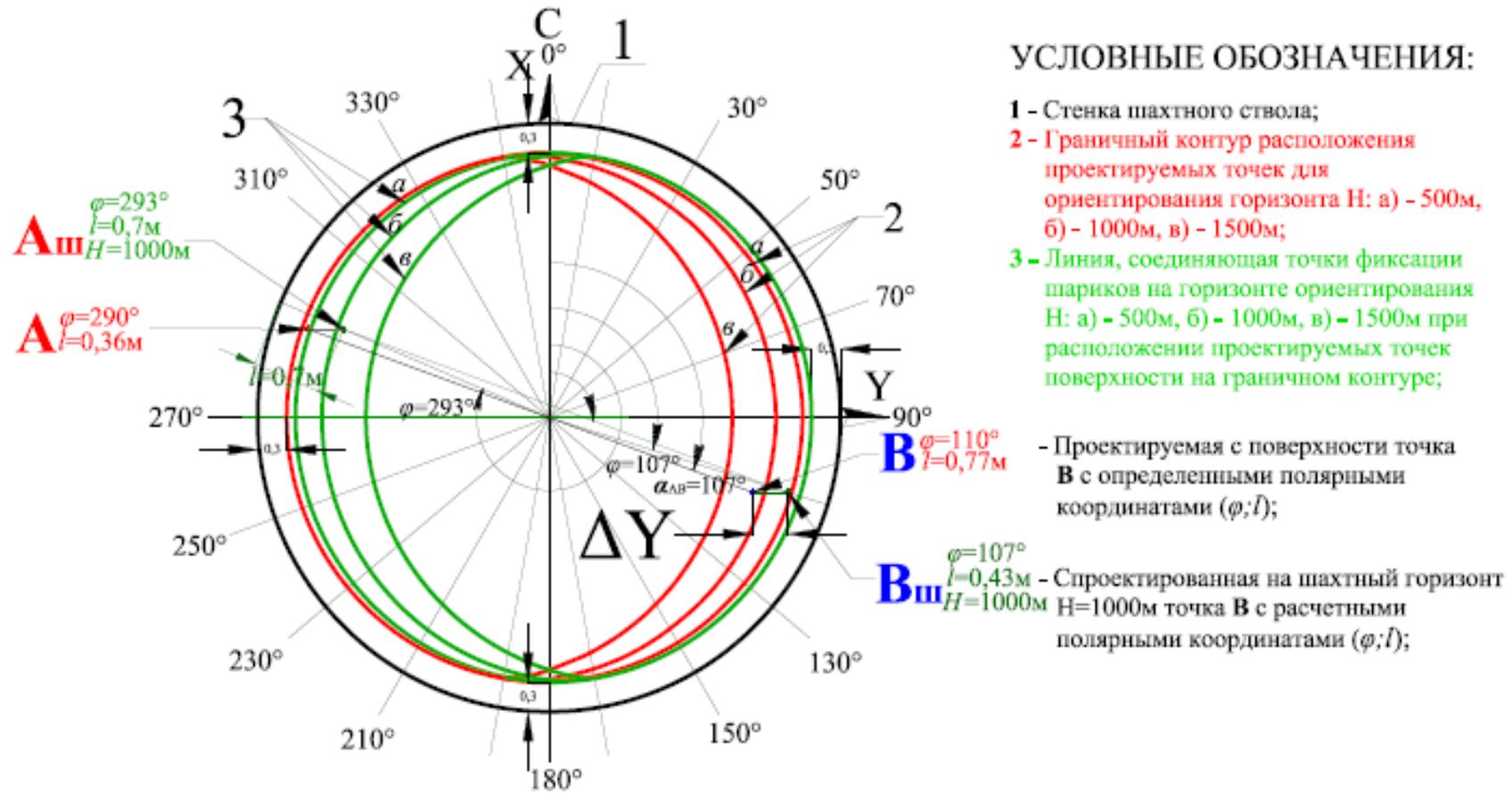


Рисунок 4.6 — Номограмма области расположения проектируемых точек для горизонтов ориентирования:

a — 500м, b — 1000м, $в$ — 1500м

Как указывалось выше, траектория шарика отклоняется в положительном направлении по оси Y , в результате чего значение полярного угла φ проектируемой точки на поверхности смещается, значит, на ориентируемом горизонте он будет отличен от его значения на поверхности. При проектировании на горизонт до 500 м значение полярного угла $\varphi_{ш}$ смещается не более, чем на 2° , но с увеличением глубины H значение углового смещения увеличивается. На горизонте 1500 м смещение значения полярного угла $\varphi_{ш}$ достигает 18° . Поэтому в таблице 4.2 представлены значения смещенных полярных углов для различных горизонтов, которые необходимо использовать для определения полярных расстояний $l_{ш}$ фиксации проектируемых точек на ориентируемом горизонте, приведенных в таблице 4.3.

Таблица 4.2 — Значение смещенных полярных углов $\varphi_{ш}$ в зависимости от значения φ проектируемой точки на поверхности

H, м	$\varphi_{ш}^\circ$ на горизонте ориентирования при значении φ° на поверхности							
	0	10	20	30	40	45	50	60
500	2	12	22	32	41	46	51	61
1000	8	18	27	37	46	50	55	64
1500	18	27	36	45	53	57	61	69
	70	80	90	100	110	120	130	135
500	71	80	90	100	111	121	131	136
1000	73	81	90	99	107	116	125	130
1500	76	83	90	97	104	111	119	123
	140	150	160	170	180	190	200	210
500	141	152	162	172	182	192	202	212
1000	134	143	153	162	172	182	192	203
1500	127	135	144	152	162	173	182	193
	220	225	230	240	250	260	270	280
500	222	226	231	241	251	260	270	280
1000	214	219	225	236	247	258	270	281
1500	204	210	216	228	242	256	270	284
	290	300	310	315	320	330	340	350
500	291	301	311	316	322	332	342	352
1000	293	304	315	321	326	337	347	358
1500	298	312	324	330	336	347	2	10

При построении графической модели и номограммы, были учтены все факторы, влияющие на точность проектирования, и введены вычисленные поправки, а так же рассмотрены все возможные варианты проектирования (через один, два центральных и два фланговых ствола), расположения створа проектируемых точек относительно направления на север.

Таблица 4.3 — Полярные расстояния $l_{ш}$, м от $\varphi_{ш}^{\circ}$ фиксации проектируемых точек на ориентируемом горизонте

Н, м	Полярное расстояние $l_{ш}$, м фиксации точки при $\varphi_{ш}^{\circ}$											
	0	10-170	190	200	210	220	225	230	240	250	260	270
	180		350	340	330	320	315	310	300	290	280	
400	0,3	0,3	0,31	0,32	0,33	0,34	0,34	0,34	0,35	0,35	0,36	0,36
500	0,3	0,3	0,32	0,33	0,35	0,37	0,37	0,38	0,39	0,39	0,39	0,39
600	0,3	0,3	0,32	0,34	0,36	0,38	0,39	0,4	0,41	0,42	0,43	0,43
700	0,31	0,3	0,33	0,36	0,39	0,41	0,43	0,44	0,45	0,47	0,47	0,48
800	0,31	0,3	0,35	0,39	0,42	0,45	0,47	0,48	0,5	0,52	0,53	0,53
900	0,32	0,3	0,36	0,41	0,46	0,5	0,51	0,53	0,56	0,58	0,59	0,59
1000	0,32	0,3	0,38	0,44	0,5	0,54	0,57	0,59	0,62	0,64	0,66	0,66
1500	0,42	0,3	0,56	0,7	0,8	0,9	0,94	0,98	1,04	1,08	1,11	1,12

Выводы:

Проведенные исследования, выполненные расчеты, а также анализ и оценка полученных данных позволили создать графическую модель, номограмму, составить таблицы 4.1, 4.2 и 4.3 граничных полярных координат точек, которые могут служить для маркшейдерской службы горнодобывающих предприятий как практическое пособие по производству проектирования высокопроизводительным, малозатратным и высокоточным новым гравитационным способом.

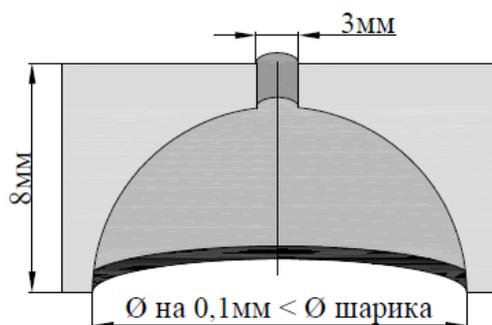
5. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЛАНОВЫХ КООРДИНАТ С ПОВЕРХНОСТИ В ШАХТУ

5.1. Проект экспериментального образца

В разделе 2 подробно описана сущность и методика проектирования гравитационным способом, откуда видно, что для достижения поставленной цели нужно очень ответственно подойти к проекту именно направляющего устройства, так как именно от того, в каких условиях шарик начнет движение и зависит качество работ.

1. Наиболее важной частью направляющего устройства является **пусковое отверстие**, которое не должно сообщить шарiku нежелательных отклоняющих сил, энергий, моментов.

С этой целью было разработано **вакуумное направляющее отверстие** (рис. 5.1), которое имеет вид полусферы, выходящий \varnothing которой на 0,3мм меньше \varnothing шарика и по контуру обработано гидравлической резинкой, на полюсе полусферы выполнено небольшое отверстие для создания вакуума. Работает следующим образом: в отверстие для создания вакуума вставляется «насос» (выполненный из медицинского шприца с пружиной), затем вкладывается шарик с нижней поверхности устройства в полусферу и удерживается там пока насосом вытягивается воздух, в этот момент гидравлическая резинка плотно притягивается к шарiku, создавая воздухонепроницаемую поверхность. Пока внутри полусферы сохраняется вакуум шарик удерживается в ней (около 2–3 мин.). Для пуска шарика необходимо насосом пустить немного воздуха в полусферу и он отрывается от площади соприкосновения.



ВИД В РАЗРЕЗЕ

Рисунок 5.1 — Вакуумное отверстие

2. Направляющая пластина, как часть направляющего устройства должна перемещаться в горизонтальной плоскости.

Для этого в центре направляющего устройства (рис. 5.2,а) выполнено прямоугольное отверстие, занимающее 25% всего устройства. Длина прямоугольного отверстия должна позволять пластине с отверстием совершать перемещение на 0,5 м от крайнего начального до крайнего конечного положения.

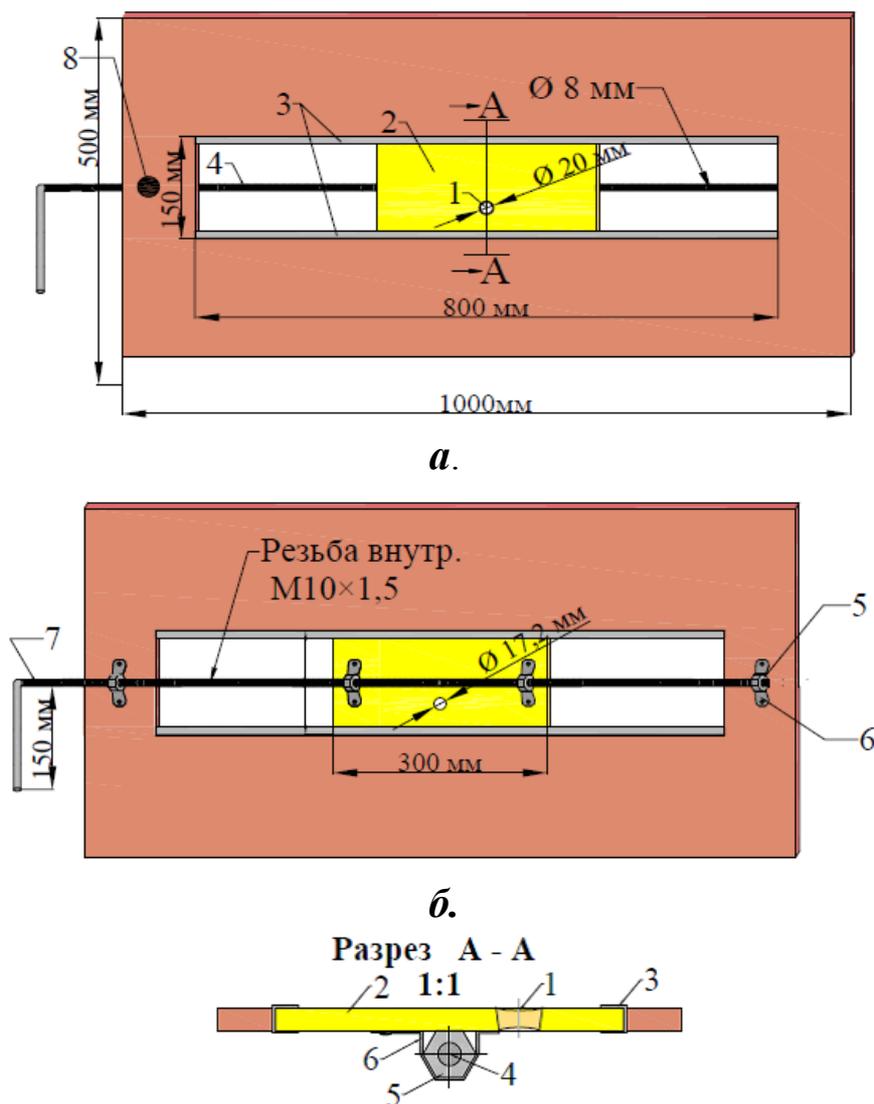


Рисунок 5.2 — Проект направляющего устройства: **а.** — вид сверху; **б.** — вид снизу: 1 — направляющее отверстие; 2 — подвижная пластина; 3 — направляющие для хода пластины; 4 — микрометрный винт; 5 — гайка; 6 — хомут для крепления гайки; 7 — ручка; 8 — фиксатор винта.

Ширина прямоугольного отверстия соответствует ширине направляющей пластины. Оптимальная ширина пластины позволяет без затруднений разместить в ней пускового отверстия, микрометрический винт который не мешает полноценной работе отверстия, а так же один круглый уровень для предварительной установки и два взаимноперпендикулярных цилиндрических точных уровня для точной установки в горизонтальное положение.

Вдоль длинных граней прямоугольного отверстия прикреплены направляющие для хода пластины.

Для того чтобы пластина могла двигаться вдоль прямоугольного отверстия необходим микрометрический винт, длина которого так же должна позволять пластине ход равный 0,5м. Винт должен крепиться тремя креплениями (два фиксирующих, расположенных на направляющем устройстве и одно движущееся крепление — на пластине). Крепление состоит из гайки и держателя, который фиксирует ее к пластине. На конце винта прикреплена ручка для удобства перемещения. На устройстве, со стороны ручки установлен фиксатор винта, который после установки пластины с пусковым отверстием в нужное положение фиксирует винт и ручку в неподвижное состояние для выполнения пуска и притягивания.

3. После направляющего устройства создан проект экрана, фиксирующего шарик на горизонте ориентирования (рис. 5.3).

Основная задача состоит в том, чтобы выбрать материал экрана, соответствующий следующим требованиям:

- 1) экран не должен быть гибким, чтобы исключить его прогибание и деформацию, а также для возможности прочного его крепления к раме;
- 2) прочность материала должна быть такой, чтобы шарик имел возможность пробить его, не потеряв при этом более 10% кинетической энергии, что может сказаться на его траектории;
- 3) материал экрана должен быть мелкодисперсным для того, чтобы следы отражали точные контуры шарика;
- 4) материал экрана не должен быть хрупким, во избежание его излома во время удара шарика.

Рекомендуется использовать в качестве материала для экрана пенопласт или пеноплиту, с предпочтением к последней так как выпол-

ненная из застывшей, спрессованной строительной пены, она отвечает всем требованиям.

Размеры экрана определены по графической модели, исходя из максимального отклонения траектории шарика от отвесной линии, и составляют: длина $a = 1200\text{мм}$; ширина $b = 600\text{мм}$.

4. Ящик-улавливатель

Размеры ящика должны соответствовать размерам экрана, а глубина его определена из расчета необходимой высоты задерживающего наполнения (металлический лист, доска или пенопласт) (рис. 5.3) не позволяющего шарика пробить ящик, так как на горизонте ориентирования он имеет значительно высокую кинетическую энергию. Высота ящика $h \sim 300\text{мм}$.

Для того чтобы установить экран на некотором расстоянии над ящиком-улавливателем выполняется рама для фиксации экрана, которая должна вставляться в ящик.

На рисунке 5.3 показана установка экрана над ящиком-улавливателем.

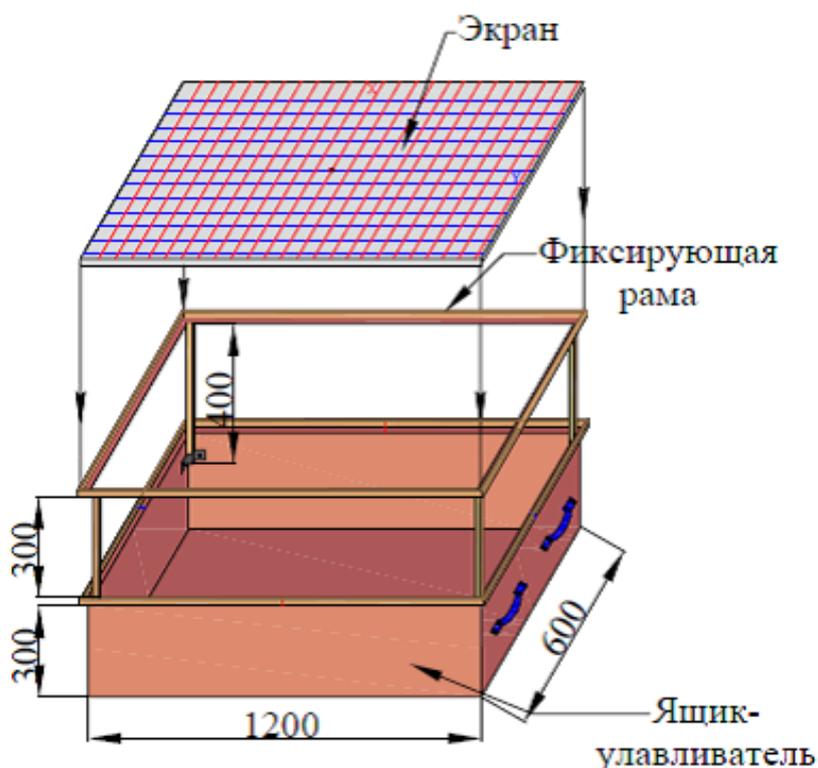


Рисунок 5.3 — Экран и ящик-улавливатель

5. Проектирующие шарики

Рекомендуется выбирать в качестве материала для проектирующих шариков сталь или свинец.

Сталь обладает высокой прочностью и стойкостью к внешним деформациям и окислению, но сталь подвергается магнитному воздействию, что может повлиять на точность проектирования. Достоинством стальных шариков является их легкодоступность в приобретении. Данными шариками можно получить из шариковых подшипников № 215 (Ø шарика 17,46 мм), № 216 (Ø шарика 19,05 мм), № 217 (Ø шарика 19,84 мм), № 218 (Ø шарика 22,23 мм).

Свинцовые шарики исключают магнитное влияние, а так же имеют большую массу, что дополнительно увеличивает точность, но их недостатками является то, что их возможно использовать не более одного раза, так как они теряют форму шара при попадании в ящик-улавливатель и в сложности их изготовления.

Возможно использование двух видов конструкции проектирующих шариков: сплошной и комбинированный.

Сплошной — шар полностью выполнен из материала изготовления.

Комбинированный — шар, имеющий свинцовую или стальную оболочку, а внутри заполненный ртутью. Такая конструкция должна обеспечивать более высокую точность, так как имеет большую массу. Недостатком данной конструкции является сложность изготовления таких проектирующих шариков.

5.2. Материалы для изготовления экспериментального образца

Для изготовления экспериментального образца необходимо разделить его на составные части, а каждую часть на детали, и определить материал, используемый для изготовления каждой из деталей.

Составные части экспериментального образца с входящими в них деталями:

1. Направляющее устройство:

- | | |
|-------------------------------|------------------------|
| а) основа; | ж) ручка; |
| б) пластина; | з) фиксатор винта; |
| в) направляющие для пластины; | и) крепления винта; |
| г) стакан с отверстием; | к) установочные винты; |
| д) толкатель; | л) саморезы. |
| е) микрометрический винт; | |

2. Основной экран.

3. Ящик-улавливатель:

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| а) ящик; | е) дополнительный экран; |
| б) переносные ручки; | ж) рама для основного экрана; |
| в) крепления для ручек; | з) песок; |
| г) упрочнитель дна; | и) алебастр. |
| д) рама для дополнительного экрана; | |

4. Проектирующие шарики.

5. Визирные марки.

Соответственно данной классификации всех составных частей и деталей составим таблицу объемов необходимых материалов для изготовления проектирующего оборудования (табл. 5.1).

Таблица 5.1 — Материалы

№ по классификации		Название детали	Размеры				Объем, м ³	Плотность, кг/м ³	Масса, кг	Кол-во, шт	Объем всего, м ³	Масса всего, кг	Материал	Примечания
			Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Диаметр, м								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1.		Направляющее устройство												
	А	Основа	1,5	0,5	0,012	-	0,00756	750	5,670	2	0,01512	11,34	ДСП	
	Б	Пластина	0,3	0,15	0,012	-	0,00054	750	0,405	2	0,00108	0,81	ДСП	
	В	Направляющие для пластины	0,8	0,015	0,015	-	$3,6 \cdot 10^{-7}$	713300	0,257	4	$1,4 \cdot 10^{-6}$	1,027152	цинк	швеллер, толщиной 2мм
	Г	Стакан с отверстием	0,03	0,03	0,014	-	$9,03 \cdot 10^{-6}$	7800	0,071	2	$1,81 \cdot 10^{-5}$	0,141012	сталь	
	Д	Толкатель	-	-	0,05	0,0175	$1,2 \cdot 10^{-5}$	7800	0,094	1	$1,2 \cdot 10^{-5}$	0,093758	сталь	
	Е	Микрометрический винт	1,0	-	-	0,01	$7,85 \cdot 10^{-5}$	7800	0,612	2	$1,57 \cdot 10^{-4}$	1,225	сталь	резьба внутр. М10×1,5
	Ж	Ручка	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	сталь, дерево	-
	З	Фиксатор винта	-	-	0,025	0,03	$4,95 \cdot 10^{-4}$	7800	3,860	2	$9,9 \cdot 10^{-4}$	7,720491	сталь	
	И	Крепления винта	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	сталь	
		фиксирующие	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	сталь	
		движущееся	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	сталь	

Продолжение таблицы 5.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	К	Установочные винты	-	-	0,174	0,056	$6,22 \cdot 10^{-6}$	7800	0,096	16	$4,97 \cdot 10^{-5}$	0,775907	сталь	
		шляпки	-	-	0,007	0,02	$2,2 \cdot 10^{-6}$	7800	0,017	8	$1,76 \cdot 10^{-5}$	0,137155	сталь	
		винты	-	-	0,08	0,008	$4,02 \cdot 10^{-6}$	7800	0,031	8	$3,22 \cdot 10^{-5}$	0,250798	сталь	резьба внутр. М8×1,5
	Л	Саморезы	-	-	-	-	-	-	-	50	-	-	сталь	
2.		Основной экран	1,2	0,6	0,02	-	0,0144	30	0,432	2	0,0288	0,864	пенополистирол	плита
3.		Ящик-улавливатель												
	А	Ящик	1,2	0,6	0,3	-	0,0054	450	2,430	2	0,0108	4,860	дерево	толщина стенок 5мм
	Б	Переносные ручки	0,5	-	-	0,02	$4,71 \cdot 10^{-5}$	7800	0,367	4	$1,88 \cdot 10^{-4}$	1,470	чугун	труба, с толщиной стенок 1,5мм
	В	Крепления для ручек	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-	сталь	
	Г	Упрочнитель дна	1,2	0,6	0,0015	-	0,00108	7800	8,424	2	0,00216	16,848	сталь	лист
	Д	Рама для дополнительного экрана	1,2	0,6	0,015	-	$1,62 \cdot 10^{-4}$	7800	1,264	2	$2,43 \cdot 10^{-6}$	2,527	сталь	уголок по периметру ящика, тол- щиной 1,5мм
	Е	Дополнительный экран	1,2	0,6	0,02	-	0,0144	20	0,288	2	0,0288	0,576	пенопласт	лист

Продолжение таблицы 5.1.

	Ж	Рама для основного экрана	1,2	0,6	0,3	-	$2,16 \cdot 10^{-4}$	7800	1,685	2	$4,32 \cdot 10^{-4}$	3,370	чугун	уголок, ширина и высота которого 15мм, по периметру ящика на ножках. Толщина уголка 1,5мм
	З	Песок	1,2	0,6	0,15	-	0,108	1400	151,200	2	0,216	302,400		
	И	Алебастр	1,2	0,6	0,03	-	0,0216	2500	54,000	2	0,0432	108,000		в сухом виде
4.		Проектирующие шарики	-	-	-	0,01746	$2,79 \cdot 10^{-6}$	11300	0,031	20	$5,57 \cdot 10^{-5}$	0,630	свинец	
5.		Визирные марки												
	А	для поверхности	-	-	0,04	0,05	$2,61 \cdot 10^{-5}$	7800	0,204	2	$5,23 \cdot 10^{-5}$	0,408	сталь	
	Б	для горизонта	-	-	-	-	$2,74 \cdot 10^{-5}$	450	0,027	2	$5,5 \cdot 10^{-5}$	0,054	дерево	
		шляпка	-	-	0,04	0,05	$2,61 \cdot 10^{-5}$	450	0,012	2	$5,23 \cdot 10^{-5}$	0,024	дерево	
		ножка	-	-	0,05	0,01	$3,92 \cdot 10^{-6}$	450	0,002	2	$7,85 \cdot 10^{-6}$	0,004	дерево	
	А	для поверхности	-	-	0,04	0,05	$2,61 \cdot 10^{-5}$	7800	0,204	2	$5,23 \cdot 10^{-5}$	0,408	сталь	

5.3. Экспериментальный образец

По представленному проекту изготовлено оборудование для проведения проектирования плановых координат точек с поверхности на горизонт ориентирования шахт гравитационным способом.

Комплект оборудования состоит из:

1. Направляющее устройство.
2. Экран.
3. Рама для экрана.
4. Ящик-улавливатель.
5. Визирные марки для поверхности.
6. Визирные марки для ориентируемого горизонта.
7. Шарики — 10 шт.

Для возможности проведения ориентирования через один вертикальный ствол изготовлено 2 комплекта оборудования.

На рисунках 5.4, 5.5 представлено направляющее устройство: *а)* вид сверху; *б)* вид снизу, в конструкцию которого входят следующие элементы:

1. Основа.
2. Пластина, движущаяся в горизонтальной плоскости.
3. Двуместное направляющее отверстие.
4. Вакуумное направляющее отверстие.
5. Круглый уровень для предварительной установки направляющего устройства.
6. Цилиндрические уровни для точной установки пластины в горизонтальное положение.
7. Микрометренный винт для перемещения пластины в горизонтальной плоскости вдоль главной оси устройства.
8. Фиксатор винта, позволяющий зафиксировать необходимое положение направляющего отверстия в неподвижном состоянии.
9. Направляющие для хода пластины.
10. Ручка для перемещения микрометренного винта и перемещения пластины с отверстием.
11. Установочные винты, позволяющие выставить устройство в горизонтальное положение.
12. Фиксирующие крепления винта к основе.

13. Подвижное крепление винта к пластине.

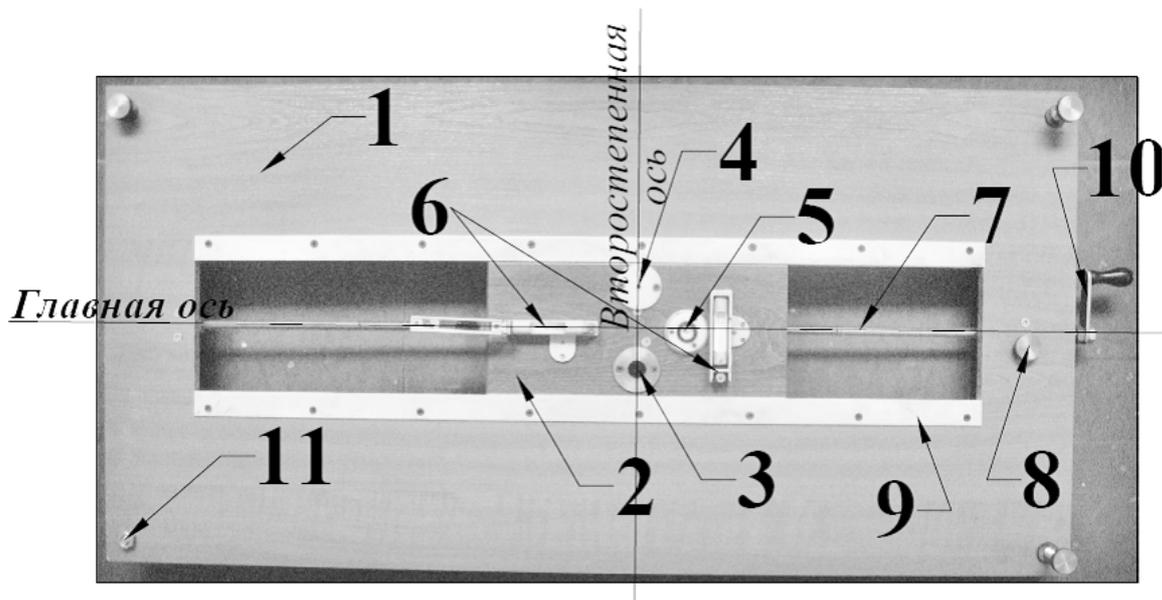


Рисунок 5.4 — Направляющее устройство для проектирования гравитационным способом (вид сверху)

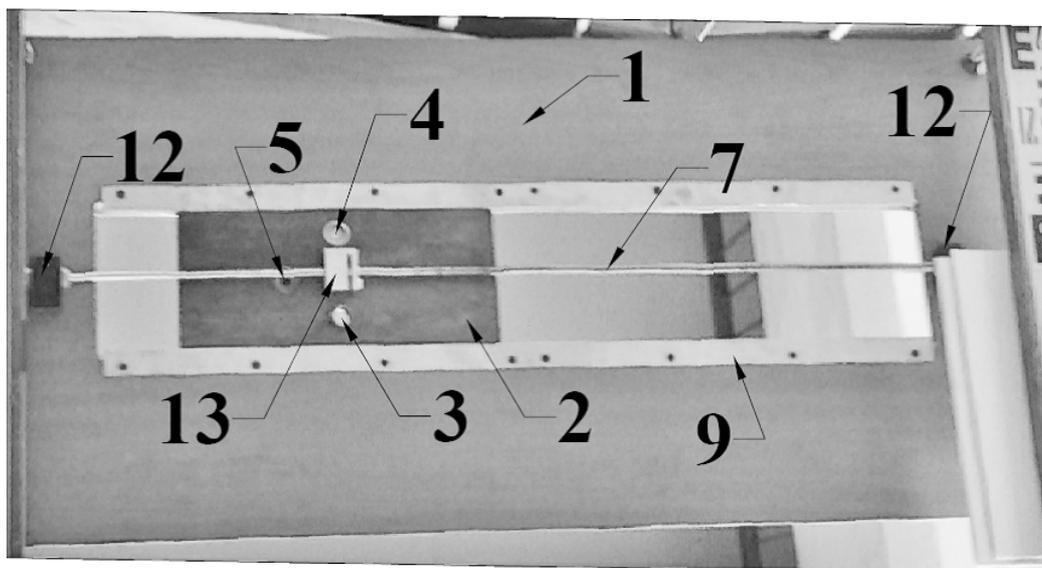


Рисунок 5.5 — Направляющее устройство для проектирования гравитационным способом (вид снизу)

На ориентируемом горизонте на полке перекрытия устанавливается экран, рама для экрана и ящик-улавливатель. Все эти элементы в сборе показаны на рисунке 5.6:

1. Основной экран;
2. Рама для основного экрана;

3. Рама для дополнительного экрана;
4. Ящик-улавливатель;
5. Крепления рамы основного экрана;
6. Переносная ручка;
7. Крепления ящика к временному полке перекрытия.

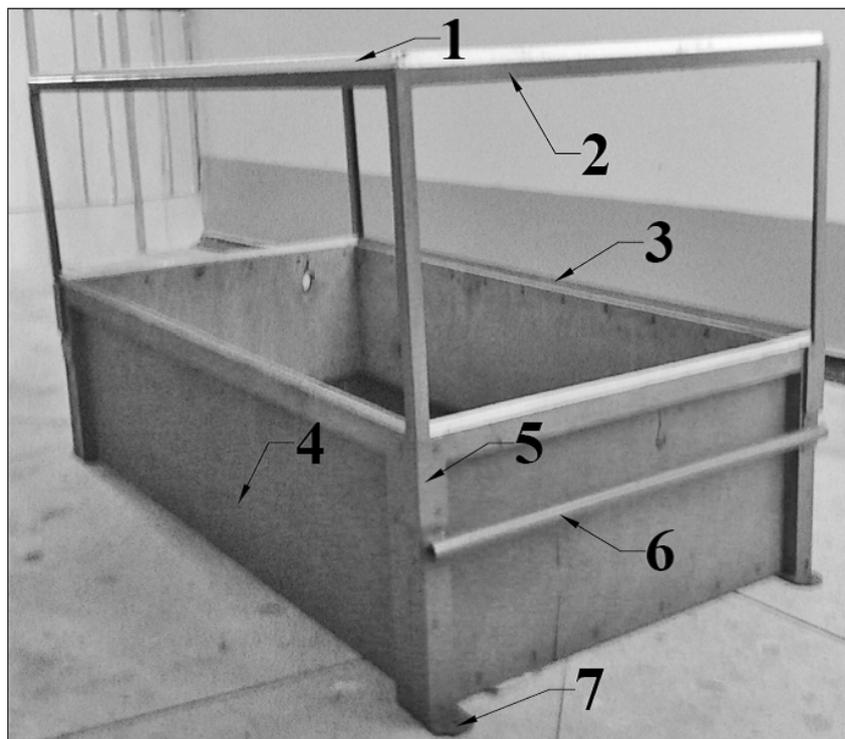


Рисунок 5.6 — Экран и ящик-улавливатель в сборе

Визирные марки в комплекте оборудования для поверхности и ориентируемого горизонта разные (рис. 5.7). Это связано с тем, что марка для поверхности, устанавливаемая над центром направляющего отверстия должна подходить для обоих видов изготовленных отверстий (двумицилиндрического и вакуумного). Поэтому она изготовлена без ножки, а на основе конуса (окружности) высечены специальные пазы, которые совпадают с пазами направляющего устройства. Это позволяет марке прочно и точно устанавливаться над направляющим отверстием и оставаться неподвижной.

Для примыкания к следам шариков на ориентируемом горизонте на экране используются визирные марки для горизонта, поэтому их форма выполнена так, чтобы ее можно было установить в отверстие, оставленное от проектирующего шарика. Марка изготовлена в форме

гриба, ножка которого — цилиндр с диаметром оснований равным диаметру шарика, а шляпка — конус, диаметр основания которого позволяет осуществить прочный упор на плоскость экрана. Данная форма марки обеспечивает неподвижность ее во время примыкания и совпадение ее вертикальной оси с центром окружности следа от шарика.

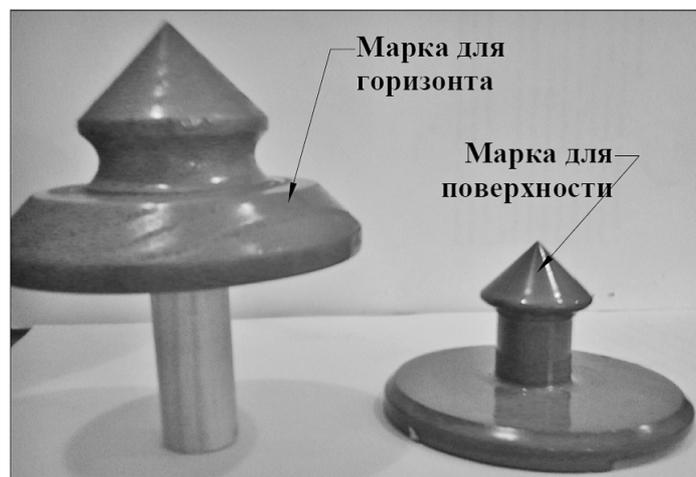


Рисунок 5.7 — Визирные марки для проектирования гравитационным способом

Свинцовые проектирующие шарики изготавливались по подобию стальных, которые взяты из подшипников № 215; № 216; № 217; № 218. Использование шариков из подшипников обеспечило их абсолютно одинаковый размер (рис. 5.8).



Рисунок 5.8 — Свинцовые шарики

Для пуска проектирующих шариков из двучилиндрического отверстия необходимо использовать толкатель (рис.5.9), выполненный в виде цилиндра, диаметр основания которого находится в диапазоне между диаметром шарика и диаметром входящего отверстия (17,5 мм). Толкатель позволяет произвести на шарик небольшое давление, направленное вертикально вниз.



Рисунок 5.9 –Толкатель для двучилиндрического отверстия

При пуске шариков из вакуумного отверстия используется специальный насос (рис. 5.10), извлекающий воздух из пространства между полусферой и шариком, что удерживает шарик в отверстии в зависшем состоянии. Конструкция насоса очень проста — за основу взят обыкновенный медицинский шприц, а между корпусом шприца и его толкателем вставлена пружина. Это облегчает процесс извлечения воздуха и исключает возможность случайного нажатия.



Рисунок 5.10 — Насос для вакуумного отверстия

5.4. Поверка направляющего устройства

Направляющее устройство гравитационного проектирования, как и любой маркшейдерский прибор, перед использованием должен пройти поверку. Поверка устройства и визирных марок позволяет убедиться в том, что:

- вертикальная ось визирной марки совпадает с центром направляющего отверстия для пуска проектирующих шариков;
- ось визирной марки перпендикулярна плоскости пластины;
- центр проектирующего шарика, находящегося в направляющем отверстии, находится на одной вертикальной прямой с вершиной визирной марки.

Выполнение данных условий обеспечивает готовность направляющего устройства к работе.

Порядок выполнения поверки:

1. Установить направляющее устройство на четыре надежные точки опоры.

2. С помощью установочных винтов 11 (рис. 5.4), одного круглого и двух взаимно перпендикулярных цилиндрических уровней установить пластину в горизонтальное положение.

Для чего необходимо с помощью круглого уровня и трех движущихся установочных винтов установить в предварительно горизонтальное положение: двумя диагональными движущимися винтами добиться положения пузырька против третьего винта, затем третьим винтом вывести пузырек в центр.

Для установки пластины в строго горизонтальное положение используем цилиндрические уровни: с помощью двух движущихся установочных винтов, расположенных вдоль линии параллельной главной оси устройства выводим пузырек того цилиндрического уровня, ось которого так же параллельна оси устройства. С помощью оставшегося движущегося винта выводим пузырек цилиндрического уровня, ось которого параллельна вспомогательной оси устройства.

Проверяем центральное положение пузырьков всех трех уровней.

3. Устанавливаем визирную марку над одним из отверстий.

4. Устанавливаем в рабочее положение два теодолита так, чтобы две линии, соединяющие центры теодолитов с вершиной визирной марки, составляли прямой угол. (рис. 5.11)

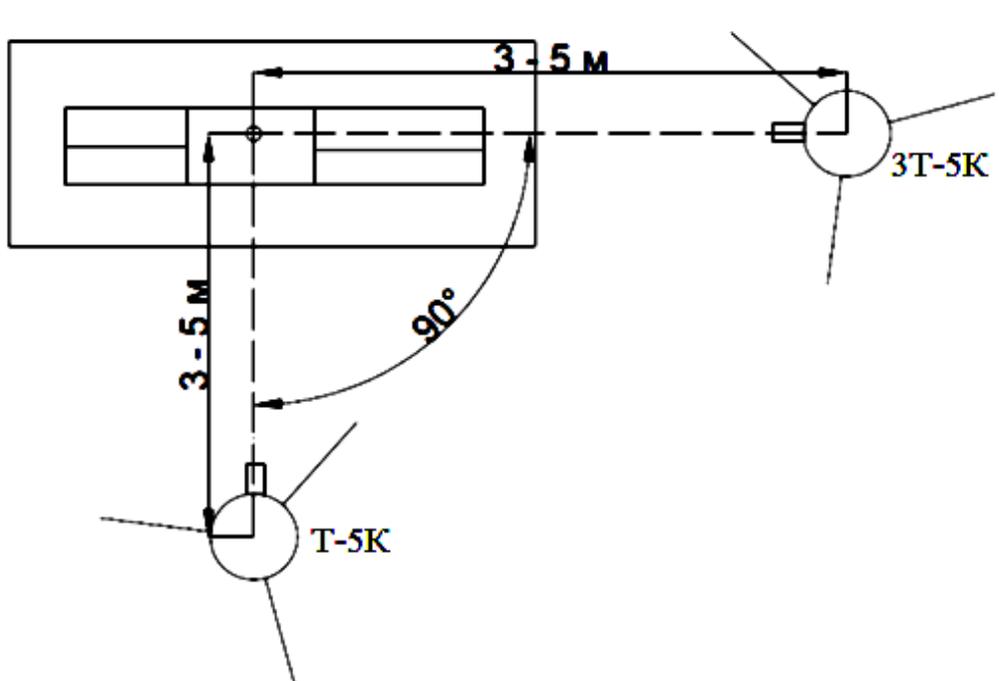


Рисунок 5.11 — Схема поверки направляющего устройства и марок

5. Снимаем марку и вкладываем проектирующий шарик в одно из отверстий.

6. Наводим перекрестием сетки нитей визирной трубы теодолита на крайнюю нижнюю точку шарика, фиксируем трубу винтами, подводим наводящими винтами сетку нитей до полного совпадения перекрестия с крайней нижней точкой шарика.

7. Вынимаем шарик из отверстия и устанавливаем над ним марку.

8. Вертикальным наводящим винтом теодолита поднимаем сетку нитей визирной трубы до положения, когда вершина марки попадет в область сетки.

9. Выполняем пункты 6-8 для второго теодолита.

10. Если вершина марки попала точно в центр биссектора вертикальных нитей сетки обоих теодолитов, значит все три условия поверки выполнены и устройство готово к работе.

11. Выполняем пункты 3-9 для второго отверстия.

12. Если вершина марки смещена в какую-либо сторону, необходимо одному из исполнителей приставить к вершине линейку так, как показано на рис. 5.12, а.

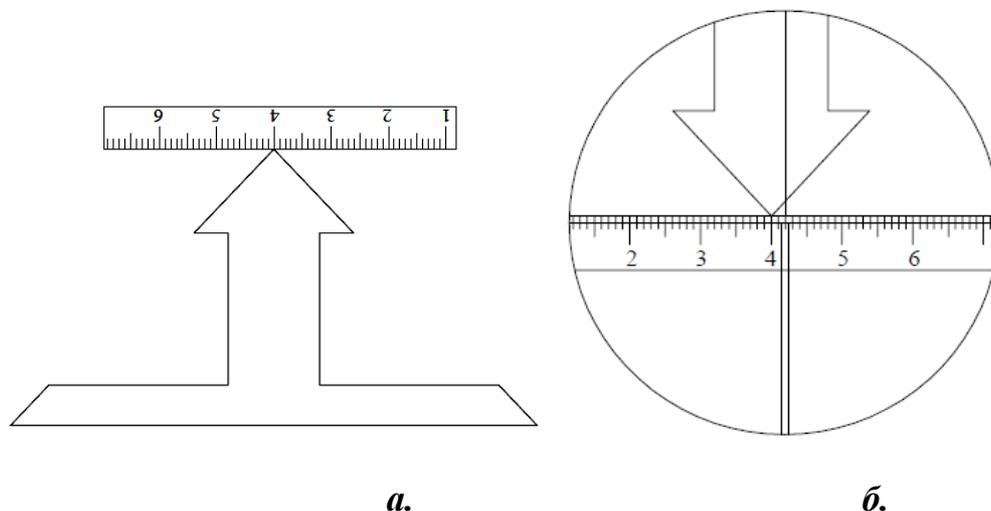


Рисунок 5.12 — Схема определения величины отклонения

Тогда второй исполнитель увидит в окуляр следующее (рис. 5.12, б).

Это свидетельствует о том, что в данном случае ось марки отклоняется от вертикального положения на 2 мм вправо соответственно вспомогательной оси устройства.

Причиной этого может быть неточная установка устройства или теодолита в рабочее положение, некачественная установка визирной марки, неточное наведение на шарик. Для этого рекомендуется выполнить весь порядок выполнения поверки еще раз с изменением положения и устройства и теодолитов. Если отклонение все же существует, значит устройство или марки не готовы к работе.

5.5. Маркировка оборудования

Перед проведением проектирования гравитационным способом с помощью созданного оборудования необходимо произвести маркировку направляющего устройства, марок, экрана и ящика-улавливателя.

Маркировка направляющего устройства заключается в следующем: когда устройство первично установлено на наблюдаемом объекте на четыре точки опоры, необходимо с помощью компаса наметить на основе устройства луч направленный на север, затем соответственно —

на восток. Это необходимо для того, чтобы, после установки в створ, определить дирекционный угол α проектируемой линии.

Первичная маркировка марок, ящиков — улавливателей и рам для основных экранов заключалась в их окраске в два соответствующих цвета:

- марки для поверхности — красная, синяя;
- марки для горизонта — красная, синяя;
- ящики-улавливатели — красный, синий;
- рамы для основных экранов — красная, синяя.

В результате чего, получили один красный комплект оборудования, который необходимо располагать, например, слева относительно створа проектируемых точек, а синий — справа. Это нужно для удобства привязки и установки оборудования на горизонте ориентирования относительно направляющих устройств.

Первичная маркировка выполняется один раз.

Маркировка экранов заключается в нанесении на экран координатной сетки, ось X , которой определяем с помощью компаса (гирокомпас) — она направлена на север, а ось Y на восток. Данная маркировка выполняется после предварительной установки экранов и ящиков-улавливателей на горизонте ориентирования соответственно привязке.

Вторичная маркировка рам для основных экранов и ящиков-улавливателей заключается в перенесении осей X и Y на них. Это нужно для того, чтобы при необходимости смены экрана, оси нового совпадали с осями рамы и ящика.

Таким образом, с помощью маркировки можно определять дирекционный угол α и l между проектируемыми точками на поверхности, расчетные координаты фиксации шариков на горизонте и сравнивать их с фактическими координатами спроектированных точек в шахте.

6. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОРИЕНТИРОВАНИЯ ШАХТ ПРИ ГРАВИТАЦИОННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЛАНОВЫХ КООРДИНАТ

6.1. Теоретическая оценка точности

6.1.1. Ориентирование через один вертикальный ствол

6.1.1.1. Линейная погрешность

При проектировании координат точек с поверхности на горизонт ориентирования гравитационным способом как составляющая геометрического ориентирования, создается вертикальная плоскость [24]. Решая задачу примыкания на поверхности, определяются координаты проектируемых точек и дирекционный угол соединяющей их линии. Полученные на поверхности координаты и дирекционный угол с введенными поправками присваиваются линии, соединяющей зафиксированные на экранах следы на ориентируемом горизонте. Далее, решая задачу примыкания в шахте, определяются координаты и дирекционный угол закрепленных в выработках сторон, принимаемых в качестве исходных при развитии подземных сетей. Однако вследствие влияния перечисленных в разделе 2 факторов, плоскость искажается от вертикального положения на величины систематических и случайных погрешностей. Систематические погрешности учитываются в виде поправок. Вследствие образования случайных погрешностей появляются линейные смещения ε_A и ε_B (рис. 6.1), равные общей случайной средней квадратической погрешности $M_{сл}$ (табл. 3.9), которая зависит от глубины ориентируемого горизонта и расстояния от стенки ствола.

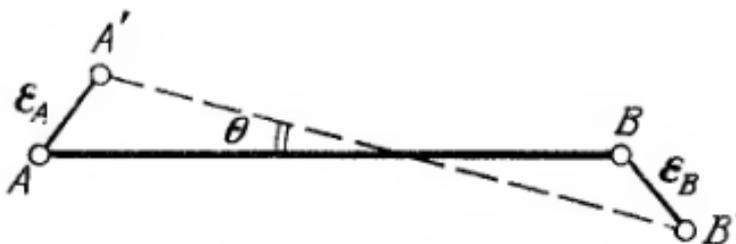


Рисунок 6.1 — Линейные смещения и угловая погрешность проектирования

Таблица 6.1 — Общая случайная средняя квадратическая погрешность проектирования в зависимости от глубины горизонта и расстояния от стенки ствола

Глубина горизонта, Н, м	Расстояние от стенки ствола, l , м				
	0,3	0,4	0,5	1,0	3,0
	Общая случайная погрешность проектирования, $M_{ср} = \varepsilon$, мм, при $l, м$				
0	0	0	0	0	0
100	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
200	1,28	1,28	1,27	1,27	1,27
300	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
400	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24
500	1,58	1,58	1,58	1,57	1,57
600	1,88	1,88	1,87	1,87	1,87
700	2,18	2,17	2,17	2,17	2,17
800	2,51	2,51	2,51	2,51	2,50
900	2,81	2,81	2,81	2,80	2,80
1000	3,11	3,11	3,11	3,10	3,10
1100	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44
1200	3,74	3,74	3,74	3,74	3,74
1300	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04
1400	4,38	4,38	4,38	4,37	4,37
1500	4,68	4,67	4,67	4,67	4,67

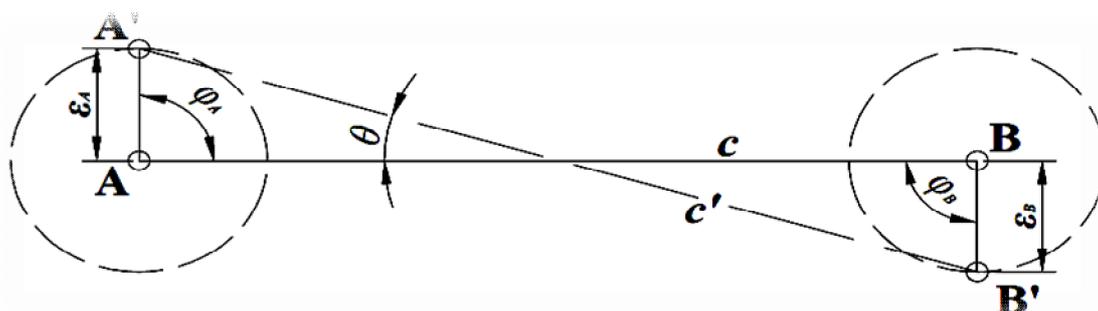


Рисунок 6.2 — Схема расположения областей линейных смещений

Из рисунка 6.2 видно, что линейные смещения проектируемых точек являются радиусами окружностей, которые являются областями линейных смещений. То есть линейное смещение $\varepsilon_A(\varepsilon_B)$ может располагаться под углом $\varphi_A(\varphi_B)$ любого значения к створу проектируемых точек.

6.1.1.2. Угловая погрешность проектирования

Разворот створа проектируемых точек А'В' на ориентируемом горизонте относительно створа АВ на поверхности (рис. 6.2). Этот разворот называется *угловой погрешностью* проектирования и обозначается θ [24].

Значение θ зависит от линейных смещений ε_A и ε_B , их ориентации относительно створа проектируемых точек и расстояния между ними.

Очевидно, что максимальное значение погрешности θ будет при смещении створа проектируемых точек перпендикулярно к линии АВ в разные стороны (рис. 6.2). Если же эти смещения направлены по линии АВ, то погрешность θ будет равна нулю.

Так как рассматривается только максимально возможная погрешность, то к расчету принимаем только тот случай, когда углы φ_A и φ_B , равны 90° .

Поскольку проектирующие шарика находятся в равных условиях, можно записать $\varepsilon_A = \varepsilon_B = \varepsilon$ [24].

Тогда угловую погрешность проектирования можно рассчитать по формуле [24]:

$$\theta = \rho \frac{\varepsilon}{c}, \quad (6.1)$$

где: ε — линейная погрешность проектирования, м;

ρ — количество секунд в одном радиане — $206265''$;

c — длина створа проектируемых точек.

Длина створа проектируемых точек рассчитывается для минимально возможного диаметра ствола — 6 м, то есть рассчитанное значение угловой погрешности будет максимально возможным при условии выполнения рекомендаций относительно дальности расположения проектируемой точки от стенки ствола не менее 0,3 м по номограмме (рис. 4.6, табл. 4.1). Расчет θ в зависимости от определяющих факторов приведен в табл. 6.2.

Таблица 6.2 — Угловая погрешность проектирования θ в зависимости от определяющих факторов

Глубина горизонта, Н, м	Линейные смещения ε , мм	Длина створа проектируемых точек, ρ , мм																	
		5400		5300		5200		5100		5000		4900		4800		4700		4600	
		Угловая погрешность проектирования, θ , при ρ , мм																	
		мин.	сек.	мин.	сек.	мин.	сек.	мин.	сек.	мин.	сек.	мин.	сек.	мин.	сек.	мин.	сек.	мин.	сек.
100	1,20	0	45,8	0	46,7	0	47,6	0	48,5	0	49,5	0	50,5	0	51,5	0	52,6	0	53,8
200	1,28	0	48,7	0	49,7	0	50,6	0	51,6	0	52,6	0	53,7	0	54,8	0	56,0	0	57,2
300	1,25	0	47,9	0	48,8	0	49,7	0	50,7	0	51,7	0	52,8	0	53,9	0	55,0	0	56,2
400	1,24	0	47,5	0	48,4	0	49,3	0	50,3	0	51,3	0	52,4	0	53,4	0	54,6	0	55,8
500	1,58	1	0,3	1	1,4	1	2,6	1	3,8	1	5,1	1	6,4	1	7,8	1	9,3	1	10,8
600	1,88	1	11,7	1	13,0	1	14,5	1	15,9	1	17,4	1	19,0	1	20,7	1	22,4	1	24,2
700	2,18	1	23,1	1	24,7	1	26,3	1	28,0	1	29,7	1	31,6	1	33,5	1	35,5	1	37,5
800	2,51	1	35,9	1	37,7	1	39,6	1	41,6	1	43,6	1	45,7	1	47,9	1	50,2	1	52,6
900	2,81	1	47,3	1	49,3	1	51,4	1	53,6	1	55,9	1	58,3	2	0,7	2	3,3	2	6,0
1000	3,11	1	58,7	2	1,0	2	3,3	2	5,7	2	8,2	2	10,8	2	13,6	2	16,4	2	19,4
1100	3,44	2	11,5	2	14,0	2	16,6	2	19,3	2	22,1	2	25,0	2	28,0	2	31,1	2	34,4
1200	3,74	2	22,9	2	25,6	2	28,4	2	31,4	2	34,4	2	37,5	2	40,8	2	44,2	2	47,8
1300	4,04	2	34,4	2	37,3	2	40,3	2	43,4	2	46,7	2	50,1	2	53,6	2	57,3	3	1,2
1400	4,38	2	47,2	2	50,3	2	53,6	2	57,0	3	0,6	3	4,2	3	8,1	3	12,1	3	16,3
1500	4,68	2	58,6	3	2,0	3	5,5	3	9,1	3	12,9	3	16,8	3	20,9	3	25,2	3	29,7

Инструкция [1] допускает величину угловой погрешности, не превышающую 2'. Таким образом, при ориентировании шахт гравитационным способом до горизонта 900м точность удовлетворяет условиям допуска. Но величина линейных смещений допускается до 0,1Н, мм, что достигает 150мм на горизонте 1500 м, а это в 30 раз больше величины линейных смещений при ориентировании гравитационным способом, что во столько же раз увеличивает значение угловой погрешности, которая может достигать 1°45'. В связи с этим «Инструкцией ...» [1] рекомендуется выполнять ступенчатое ориентирование на каждые 500 м ствола, но и при этом линейные смещения допускаются до 50 мм, что также в 30 раз превышает линейную погрешность проектирования гравитационным способом. При ступенчатом ориентировании угловая погрешность достигает до 35'24".

Совместное выполнение задач центрирования и ориентирования гравитационным способом рекомендуется выполнять до горизонта 900 м. На нижних горизонтах рекомендуется комбинированное ориентирование, когда проектирование выполняется гравитационным способом, а определение дирекционного угла исходной стороны гироскопическим способом.

6.1.1.3. Погрешность примыкания

Оборудование для производства ориентирования через один вертикальный ствол гравитационным способом предусматривает выполнение примыкания на поверхности способом створа трех точек АВС, а на ориентируемом горизонте традиционным способом соединительного треугольника. Оценим точность примыкания в данном случае.

Установлено [7,24], что погрешность ориентирования минимальная, если соединительные треугольники имеют вытянутую форму, при которой острые углы не превышают 3°.

На поверхности имеем идеальную форму «соединительного треугольника» — прямую линию АВС (рис. 6.3), где угол между проектируемыми точками А — $\gamma = 0^\circ$.

На горизонте ориентирования построим рекомендуемую форму соединительного треугольника: углы на спроектированных точках А и

В — $\alpha' = 175^\circ 30'$ и $\beta = 2^\circ$ соответственно, а угол на определяемой точке С' — $\gamma' = 2^\circ 30'$.

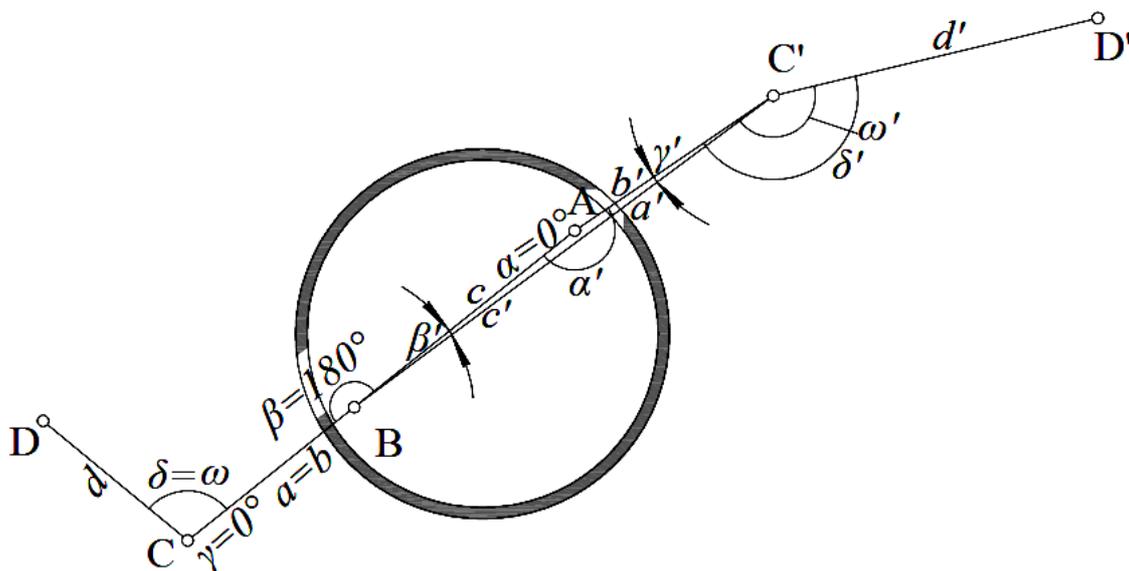


Рисунок 6.3 — Схема примыкания

Определим погрешность примыкания на поверхности и в шахте для данного случая по формуле [24]:

$$M_{\text{пр}}^2 = \frac{2m_\gamma^2}{3} \left(2 + \frac{\text{tg}\alpha}{\text{tg}\gamma} + \frac{\text{tg}^2\alpha}{\text{tg}^2\gamma} + \frac{\text{tg}\beta'}{\text{tg}\gamma'} + \frac{\text{tg}^2\beta'}{\text{tg}^2\gamma'} \right) \quad (6.2)$$

где m_γ — средняя квадратическая погрешность измерения примычных углов, принята в соответствии с «Инструкцией» [1] — $m_\gamma = 7''$.

$$M_{\text{пр}}^2 = \frac{2 \cdot 7^2}{3} \left(2 + \frac{\text{tg}0^\circ}{\text{tg}0^\circ} + \frac{\text{tg}^2 0^\circ}{\text{tg}^2 0^\circ} + \frac{\text{tg}2^\circ}{\text{tg}2,5^\circ} + \frac{\text{tg}^2 2^\circ}{\text{tg}^2 2,5^\circ} \right)$$

Откуда:

$$M_{\text{пр}} = \sqrt{M_{\text{пр}}^2} = \sqrt{32,0149} = 5,65'' \quad (6.3)$$

На общую погрешность ориентирования также оказывают влияние погрешности, вызванные неточностью центрирования теодолита и сигналов при примыкании на поверхности и в шахте $M_{\text{цп}}$ и $M_{\text{цш}}$ [24].

Пусть теодолит установлен вместо точки С на точке С'' со смещением $\varepsilon_{\text{т}}$ (рис. 6.4).

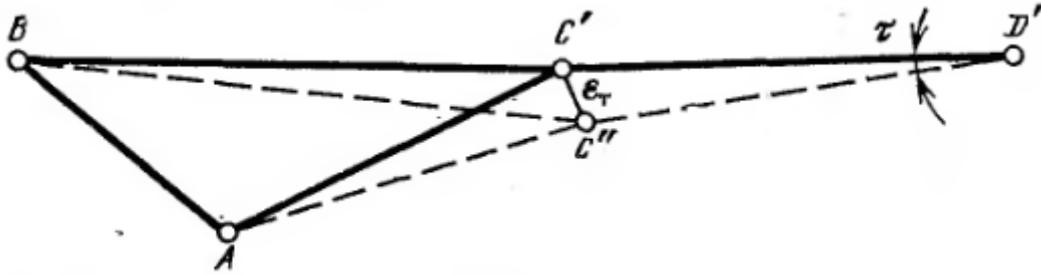


Рисунок 6.4 — Схема определения погрешности, вызванной неточностью центрирования теодолита и сигналов

Если все измерения выполнять относительно керна на трубе теодолита, то в результате дирекционный угол будет передан на линию $C''D'$, а не на линию $C'D'$. Случайная погрешность, вследствие этого, будет равна углу τ . Вектор смещения ε_τ может быть с равной вероятностью направлен в любую сторону, аналогично вектору отклонения от вертикали траектории шарика при проектировании.

Отсюда средняя квадратическая погрешность ориентирования, вызванная погрешностью центрирования теодолита и сигнала, будет равна [24]:

— на поверхности

$$M_{\text{цп}} = \rho \frac{\varepsilon}{d}; \quad (6.4)$$

— в шахте

$$M_{\text{цш}} = \rho \frac{\varepsilon}{d'} \quad (6.5)$$

где d и d' — длина примычной стороны на поверхности CD и в шахте $C'D'$ соответственно;

ε — ошибка центрирования теодолита и сигнала, по инструкции [1] допускается не более 1 мм.

$$M_{\text{цп}} = 206265 \frac{1}{10000} = 2,06''; \quad M_{\text{цш}} = 206265 \frac{1}{30000} = 6,9''$$

Из анализа формул (6.4) и (6.5) следует, что для уменьшения влияния погрешностей центрирования теодолита и сигналов примычные

стороны CD и C'D' на поверхности и в шахте необходимо делать как можно длиннее. Отсюда же видно, что уменьшение расстояний от теодолита до отвесов не влияет на погрешность ориентирования, связанную с внецентренностью прибора.

6.1.1.4. Общая погрешность ориентирования шахтного горизонта через один вертикальный ствол

Общей погрешностью ориентирования через один ствол называется погрешность определения дирекционного угла стороны C'D' (рис. 6.3), принимаемой за исходную при развитии подземных плановых сетей. Среднее квадратическое значение рассматриваемой погрешности при примыкании к следам-отверстиям на экранах способом створа трех точек на поверхности и к проектируемым точкам способом соединительного треугольника в шахте определяется по формуле [24]:

$$M_0^2 = M_{исх}^2 + M_{цп}^2 + M_{пр}^2 + M_{сист}^2 + M_{цш}^2 + \theta^2 \quad (6.6)$$

где $M_{исх}$ — средняя квадратическая погрешность исходного дирекционного угла на поверхности полигонометрии 1 разряда по инструкции [1] допускается не более 5";

$M_{сист}$ — систематическая погрешность определения дирекционного угла створа проектируемых точек на горизонте ориентирования, возникающая в результате смещения его за счет вращения Земли.

$$M_{сист} = \alpha_{п} - \alpha_{ш}, \quad (6.7)$$

где $\alpha_{п}$ — дирекционный угол ближайшей проектируемой точки, отсчитываемой от северного направления осевого меридиана по часовой стрелке на поверхности, соответствующий дирекционному углу створа проектируемых точек АВ;

$\alpha_{ш}$ — расчетный дирекционный угол той же точки в шахте;

θ — угловую погрешность ориентирования примем для расчета максимальную на горизонте 900 м — 2'06".

$$M_0 = \sqrt{5^2 + 2,06^2 + 5,65^2 + 6,9^2 + 126^2} = \sqrt{15984,77} = 126,43'' = 2'06,43''$$

Для горизонта 900м общая погрешность ориентирования гравитационным способом через один вертикальный ствол составила 2'06,43", в общем объеме которой 99,7% занимает угловая погрешность ориентирования, которая, как указывалось выше, прямо пропорционально зависит от линейной погрешности проектирования, а она в 30 раз меньше допустимой по инструкции [1].

6.1.2. Ориентирование через два центрально-сдвоенных ствола

6.1.2.1. Линейная погрешность проектирования

Величина линейной погрешности ориентирования шахтных горизонтов гравитационным способом через два вертикальных ствола практически не меняется в сравнении с ориентированием через один вертикальный ствол, хотя на проектирующий шарик оказывает влияние только один из трех факторов, составляющих общую случайную погрешность — воздушный поток. Как указывалось выше, капез и притяжение более плотных пород в большей степени проявляется вблизи стенки ствола. Проектирование гравитационным способом через два вертикальных ствола выполняется таким образом, что проектируемые точки располагаются в центрах используемых стволов. Общая случайная погрешность проектирования остается практически неизменной в данном случае потому, что линейная погрешность, возникающая под воздействием воздушного потока, составляет 99,8% и ее величина не зависит от расстояния к стенке ствола.

6.1.2.2. Угловая погрешность проектирования

Наибольшее влияние на точность передачи дирекционного угла при геометрических способах ориентирования через один вертикальный ствол оказывает угловая погрешность ориентирования θ . В случае ориентирования через два ствола проектируемые точки расположены друг от друга на значительном расстоянии, при этом угловая погрешность проектирования в соответствии с формулой (6.1) будет равна расчетным величинам в табл. 6.3.

Таблица 6.3 — Угловая погрешность ориентирования гравитационным способом через два центрально-сдвоенных вертикальных ствола

Глубина горизонта, Н, м	Линейные смещения ε, мм	Длина створа проектируемых точек, с, м								
		50	55	60	65	70	75	80	90	100
		Угловая погрешность проектирования, θ'', при с, м								
100	1,20	4,9	4,5	4,1	3,8	3,5	3,3	3,1	2,7	2,5
300	1,25	5,1	4,7	4,3	4,0	3,7	3,4	3,2	2,9	2,6
500	1,57	6,5	5,9	5,4	5,0	4,6	4,3	4,0	3,6	3,2
700	2,17	8,9	8,1	7,5	6,9	6,4	6,0	5,6	5,0	4,5
800	2,50	10,3	9,4	8,6	7,9	7,4	6,9	6,5	5,7	5,2
1000	3,10	12,8	11,6	10,7	9,8	9,1	8,5	8,0	7,1	6,4
1300	4,04	16,7	15,1	13,9	12,8	11,9	11,1	10,4	9,3	8,3
1500	4,67	19,3	17,5	16,1	14,8	13,8	12,8	12,0	10,7	9,6

Небольшая величина угловой погрешности является основным преимуществом ориентирования через два ствола, особенно для глубоких стволов.

6.1.2.3. Погрешность определения дирекционного угла стороны подземного полигона

Средняя квадратическая погрешность дирекционного угла i -й стороны подземного соединительного полигона вычисляется в общем виде по формуле [24]:

$$M_O = \sqrt{\theta^2 + M_n^2 + M_{III}^2}, \quad (6.8)$$

где θ — угловая погрешность проектирования, вычисленная в таблице 6.3;

M_n — погрешность примыкания на поверхности, то есть погрешность дирекционного угла створа проектируемых точек АВ, зависящая от погрешностей измерения углов и длин в подходных полигонах на поверхности;

M_{III} — погрешность примыкания в шахте, то есть погрешность дирекционного угла исходной стороны подземного полигона, зависящая от погрешностей измерения углов и длин соединительного полигона в шахте.

Определим погрешность примыкания на поверхности M_n (рис. 6.5). Эта погрешность зависит от смещения проектируемых точек А и В по оси Y, вызванного погрешностями измерения углов и длин примычных полигонов VI-A и VII-B.

От исходной линии VI-VII проложен ход с n углами, примыкания на поверхности определяется по формуле [5]:

$$M_n = \sqrt{\frac{m_\beta^2}{L^2} \sum R_{xi}^2 + \frac{\rho^2}{L^2 T^2} \sum \Delta y_i^2 + n m_\beta^2}, \quad (6.9)$$

где m_β — средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла полигонометрии на поверхности;

L — горизонтальное расстояние между проектируемыми точками, м;

R_{xi} — проекции на створ проектируемых точек АВ расстояний от точек полигона VI-A до точки А и от точек полигона VII-B до точки В (Рис. 6.5);

T — знаменатель относительной погрешности измерения длин в полигонометрии I разряда на поверхности — 10000 [17];

Δy_i — проекции сторон полигонометрического хода на поверхности на ось Y (рис. 6.5);

n — количество углов в полигонометрическом ходе (рис. 6.5).

Элементы, определяемые графически, представлены в таблице 6.4.

Таблица 6.4 — Параметры для расчета погрешности ориентирования через два центрально-сдвоенных вертикальных ствола на поверхности

№ точки	R_{xi} , м	R_{xi}^2	Сторона полигона	Δy_i , м	Δy_i^2
VII	66,408	4410,022	VII-I	27,946	780,979
I	25,229	636,5024	I-II	83,6	6988,96
II	49,437	2444,017	II-III	66,04	4361,28
III	11,894	141,4672	III-B	11,509	132,457
IV	41,823	1749,163	A-IV	20,592	424,03
V	126,77	16070,63	IV-V	84,761	7184,43
VI	185,035	34237,95	V-VI	61,809	3820,35
	Σ	59689,757		Σ	23692,5

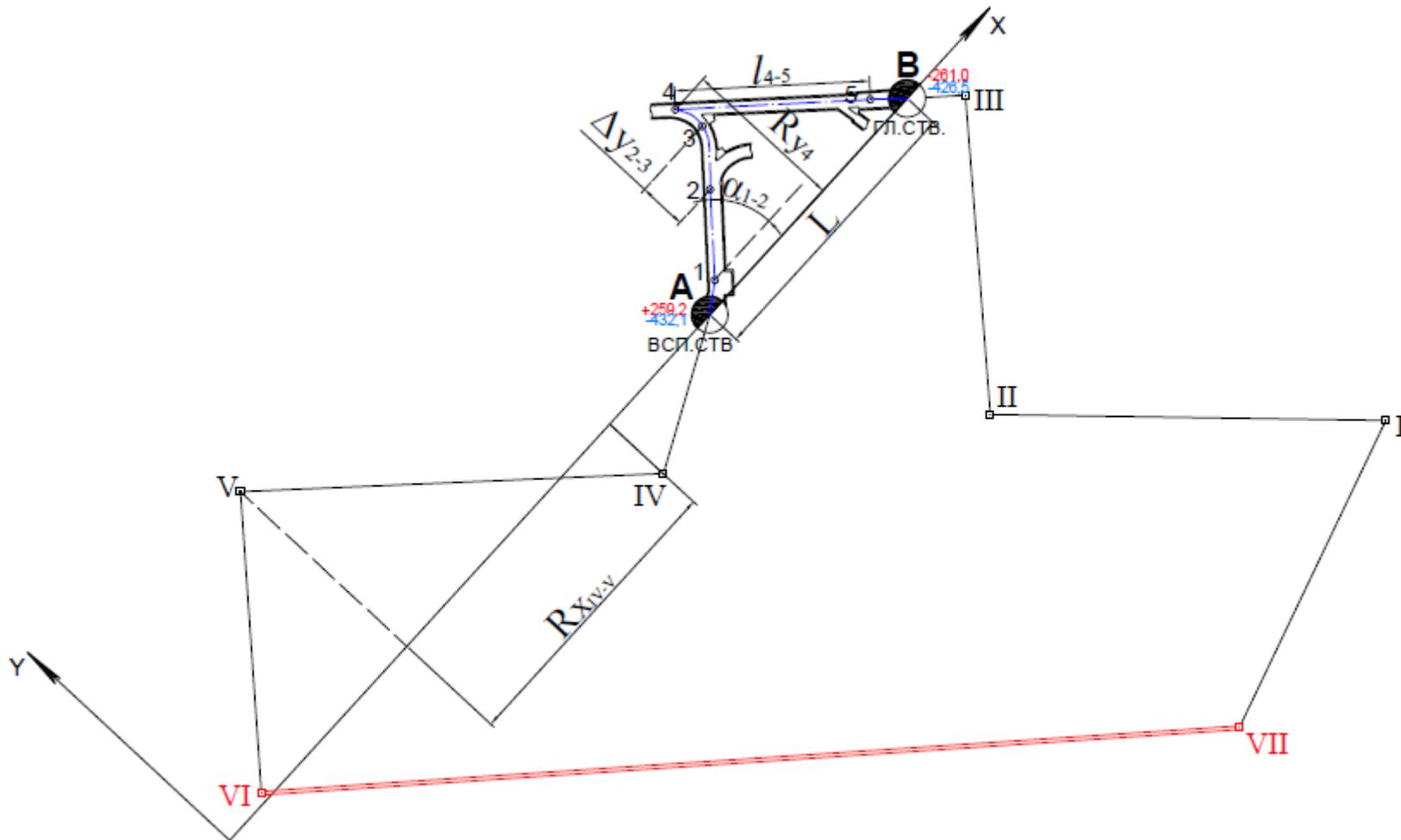


Рисунок 6.5 — Схема ориентирования через два вертикальных ствола

Вычислим погрешность примыкания на поверхности по формуле (6.9):

$$M_n = \sqrt{\frac{5^2}{82,627^2} \cdot 59689,757 + \frac{206265^2}{82,623^2 \cdot 10000^2} \cdot 23692,5 + 5 \cdot 5^2} = 42,66$$

Погрешность примыкания в шахте $M_{ш}$, зависящая от погрешностей измерения углов и длин в подземном соединительном полигоне, определяется по формуле [24]:

$$M_{ш} = \frac{1}{L} \sqrt{m_{\beta}^2 \sum R_{x_i}^2 + \rho^2 \mu^2 \sum l_i \sin^2 \varphi_i} \quad (6.10)$$

где μ — коэффициент случайного влияния погрешностей линейных измерений ($\mu = 5 \cdot 10^{-4}$);

φ_i — угол, образуемый стороной полигона и створом проектируемых точек;

l_i — длина стороны хода (рис. 6.5).

Параметры, определенные графически приведены в таблице 6.5.

Таблица 6.5 — Параметры для расчета погрешности ориентирования через два центрально-сдвоенных вертикальных ствола в шахте

№ точки	R_{x_i}	$R_{x_i}^2$	l_i , м	φ_i°	$\sin \varphi_i$	$\sin^2 \varphi_i$	$l_i \sin^2 \varphi_i$
А							
1	8,185	66,9942	9,605	34	0,55919	0,3127	3,0034518
2	25,996	675,792	24,846	46	0,71934	0,51745	12,856556
3	37,605	1414,14	17,977	50	0,76604	0,58682	10,549337
4	46,794	2189,68	8,943	79	0,98163	0,96359	8,6174026
5	7,286	53,0858	54,731	44	0,69466	0,48255	26,410458
В			10,151	46	0,71934	0,51745	5,2526324
Σ		4399,686					66,690

Вычислим $M_{ш}$ по формуле (6.10):

$$M_{ш} = \frac{1}{82,627} \sqrt{5^2 \cdot 4399,686 + 206265^2 \cdot 0,0005^2 \cdot 66,69} = 10,95''$$

Определим погрешность ориентирования горизонта 700м через два центрально-сдвоенных вертикальных ствола по формуле (6.8):

Значения погрешностей ориентирования на различных горизонтах приведены в таблице 6.6.

Таблица 6.6 — Погрешности ориентирования рассматриваемой шахты на различных горизонтах через два центрально-сдвоенных шахтных ствола

Глубина горизонта, Н, м	Линейные смещения ε , мм	Угловая погрешность ориентирования через два центрально-сдвоенных ствола, θ'' , при $L=82,627$ м	Погрешность ориентирования M_0''	Составляющая угловой погрешности в общем объеме погрешности ориентирования, %
100	1,20	3,09	44,15	7,0
200	1,27	3,28	44,17	7,4
300	1,25	3,22	44,16	7,3
400	1,24	3,19	44,16	7,2
500	1,57	4,05	44,23	9,2
600	1,87	4,82	44,31	10,9
700	2,17	5,59	44,40	12,6
800	2,50	6,46	44,51	14,5
900	2,80	7,23	44,63	16,2
1000	3,10	8,00	44,76	17,9
1100	3,44	8,87	44,93	19,7
1200	3,74	9,64	45,08	21,4
1300	4,04	10,41	45,26	23,0
1400	4,37	11,27	45,46	24,8
1500	4,67	12,05	45,66	26,4

Точность ориентирования шахт, выполненного гравитационным способом, зависит от величины линейных смещений, которые влияют на угловую погрешность. По таблице 6.6 видно, что до горизонта 800 м угловая погрешность не превышает 15% общего объема погрешности ориентирования, а на горизонте 1500 м занимает 26%. Это свидетельствует о том, что погрешность ориентирования через два центрально-сдвоенных вертикальных ствола в большей степени зависит от формы полигонов на поверхности и в шахте.

Для повышения точности данного способа ориентирования достаточно следовать рекомендациям [24].

6.1.3. Ориентирование через два удаленных ствола

6.1.3.1. Линейная погрешность проектирования

Линейная погрешность в данном случае остается такой же как и при ориентировании через два центрально-сдвоенных ствола.

6.1.3.2. Угловая погрешность

В случае ориентирования через два удаленных ствола проектируемые точки расположены друг от друга на очень большом расстоянии, при этом угловая погрешность проектирования в соответствии с формулой (6.1) представлена в табл. 6.7. Как видно, угловая погрешность ориентирования в данном случае практически незначительна.

Таблица 6.7 — Угловая погрешность ориентирования гравитационным способом через два удаленных вертикальных ствола

Глубина горизонта, Н, м	Линейные смещения ε , мм	Длина створа проектируемых точек, ρ , м				
		500	1000	2000	5000	10000
		Угловая погрешность проектирования, θ'' , при ρ , м				
100	1,20	0,5	0,2	0,1	0,0	0,0
200	1,27	0,5	0,3	0,1	0,1	0,0
300	1,25	0,5	0,3	0,1	0,1	0,0
400	1,24	0,5	0,3	0,1	0,1	0,0
500	1,57	0,6	0,3	0,2	0,1	0,0
600	1,87	0,8	0,4	0,2	0,1	0,0
700	2,17	0,9	0,4	0,2	0,1	0,0
800	2,50	1,0	0,5	0,3	0,1	0,1
900	2,80	1,2	0,6	0,3	0,1	0,1
1000	3,10	1,3	0,6	0,3	0,1	0,1
1100	3,44	1,4	0,7	0,4	0,1	0,1
1200	3,74	1,5	0,8	0,4	0,2	0,1
1300	4,04	1,7	0,8	0,4	0,2	0,1
1400	4,37	1,8	0,9	0,5	0,2	0,1
1500	4,67	1,9	1,0	0,5	0,2	0,1

6.1.3.3. Погрешность определения дирекционного угла стороны подземного полигона

Для вычисления средней квадратической погрешности определения дирекционного угла стороны подземного соединительного полигона по формуле (6.5), вычислим для начала погрешность примыкания на поверхности.

Для этого на плане соединительного полигона поверхности и шахтного горизонта определим необходимые параметры графически, которые представлены в таблице 6.8.

Таблица 6.8 — Параметры для расчета погрешности ориентирования через два удаленных вертикальных ствола на поверхности

№ точки	R _{xi} , м	R _{xi} ²	Сторона полигона	Δy _i , м	Δy _i ²
I	374,4	140175,36	I-II	66,6	4435,56
II	257,8	66460,84	II-III	60,6	3672,36
III	182,7	33379,29	III-IV	21,7	470,89
IV	89,1	7938,81	IV-A	51,8	2683,24
V	271,7	73820,89	V-VI	41,9	1755,61
VI	150,7	22710,49	VI-VII	73,4	5387,56
VII	97	9409	VII-B	9,2	84,64
	Σ	353894,680		Σ	18489,9

Вычислим M_п по формуле (6.9):

$$M_{п} = \sqrt{\frac{5^2}{4196,4^2} \cdot 353894,68 + \frac{206265^2}{4196,4^2 \cdot 10000^2} \cdot 18489,9 + 7 \cdot 5^2} = 13,3.$$

Погрешность примыкания в шахте M_ш, зависящая от погрешностей измерения углов и длин в подземном соединительном полигоне, определяется с помощью параметров, определяемых графически, и приведенных в табл. 6.9.

Таблица 6.9 — Параметры для расчета погрешности ориентирования
через два удаленных вертикальных ствола в шахте

№ точки	R_{Xi}	R_{Xi}^2	$l_i, \text{м}$	φ_i°	$\sin\varphi_i$	$\sin^2\varphi_i$	$l_i \sin^2\varphi_i$
A							
			24,2	58,2	0,84989	0,72232	17,480086
1	12,8	163,84	61,9	66,8	0,91914	0,84481	52,293725
2	37,1	1376,41	100	64,2	0,90032	0,81057	81,057389
3	80,6	6496,36	100	65,4	0,90924	0,82671	82,67103
4	122,3	14957,29	100	65,1	0,90704	0,82273	82,272884
5	164,4	27027,36	51,9	66,4	0,91636	0,83972	43,581502
6	185,2	34299,04	69,5	3,5	0,06105	0,00373	0,2590212
7	254,6	64821,16	125,4	18,4	0,31565	0,09963	12,494143
8	373,5	139502,25	100	20,1	0,34366	0,1181	11,810199
9	467,4	218462,76	100	20,1	0,34366	0,1181	11,810199
10	561,3	315057,69	163,5	20,2	0,3453	0,11923	19,494243
11	714,8	510939,04	100	51,4	0,78152	0,61077	61,077425
12	777,1	603884,41	100	51,4	0,78152	0,61077	61,077425
13	839,5	704760,25					
43	990	980100	100	1,8	0,03141	0,00099	0,0986636
44	890	792100	100	1,8	0,03141	0,00099	0,0986636
45	790,5	624890,25	100	1,8	0,03141	0,00099	0,0986636
46	690,3	476514,09	100	1,8	0,03141	0,00099	0,0986636
47	590,3	348454,09	216,7	1,8	0,03141	0,00099	0,213804
48	374	139876	100	33,4	0,55048	0,30303	30,302905
49	290,1	84158,01	100	33,4	0,55048	0,30303	30,302905
50	207	42849	100	33,4	0,55048	0,30303	30,302905
51	123	15129	147,2	33,4	0,55048	0,30303	44,605875
B							
	Σ	6145818,300				Σ	673,502

Вычислим погрешность примыкания в шахте M_{III} по формуле (6.10):

$$M_{III} = \frac{1}{4196,4} \sqrt{5^2 \cdot 6145818,3 + 206265^2 \cdot 0,0005^2 \cdot 673,502} = 3''$$

Определим погрешность ориентирования горизонта 700м через два удаленных вертикальных ствола по формуле (6.8):

$$M_0 = \sqrt{0,17^2 + 13,3^2 + 3^2} = \sqrt{185,9} = 13,6''$$

Значения погрешностей ориентирования на различных горизонтах приведены в таблице 6.10.

Таблица 6.10 — Погрешности ориентирования рассматриваемой шахты на различных горизонтах через два вертикальных фланговых ствола

Глубина горизонта, Н, м	Линейные смещения ε , мм	Угловая погрешность ориентирования через два удаленных ствола, θ'' , при $L=4196,4$ м	Погрешность ориентирования M_0''	Содержание угловой погрешности в общем объеме погрешности ориентирования, %
100	1,20	0,05	13,605	0,4
300	1,25	0,05	13,605	0,4
500	1,57	0,06	13,605	0,5
600	1,87	0,08	13,605	0,6
700	2,17	0,09	13,605	0,7
800	2,50	0,10	13,605	0,8
900	2,80	0,12	13,605	0,9
1000	3,10	0,13	13,605	0,9
1200	3,74	0,15	13,605	1,1
1300	4,04	0,17	13,605	1,2
1400	4,37	0,18	13,606	1,3
1500	4,67	0,19	13,606	1,4

По расчетам в таблицах 6.6 и 6.10 видно, что с увеличением расстояния между проектируемыми точками общая погрешность ориентирования шахтного горизонта уменьшается, снижается и составляющая в ней угловая погрешность.

Это позволяет рекомендовать гравитационный способ проектирования координат точек с поверхности на горизонт для внедрения в качестве высокоточного способа ориентирования шахт.

6.2. Погрешность расстояний между проектируемыми точками

Оценка точности ориентирования шахт через два вертикальных ствола в соответствии с инструкцией [1] производится сравнением расстояния между отвесами А и В на поверхности L_{Π} и в шахте L_{III} и сопоставлением фактической разности:

$$\Delta L = L_{\Pi} - L_{\text{III}} \quad (6.11)$$

с допустимой $\Delta L_{\text{доп}}$, определяемой из равенства (6.12) в соответствии с инструкцией [1] и методикой [7]:

$$\Delta L_{\text{доп}} = 2 \sqrt{\frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} [R_{y_i}^2] + \mu^2 [l_i \cdot \cos^2 \varphi_i] + \lambda^2 L^2}, \quad (6.12)$$

где: $R_{y_i}^2$ – сумма квадратов расстояний от точек соединительного полигона до створа проектируемых точек (Рис. 6.6);

μ и λ — коэффициенты случайного и систематического влияния погрешностей линейных измерений ($\mu = 5 \cdot 10^{-4}$; $\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$).

Установлено [12,13], что расстояние между проектируемыми точками в шахте уменьшается с увеличением глубины ориентируемого горизонта под влиянием систематической погрешности ΔL , вызванной схождением отвесных линий к центру сферической поверхности Земли, рассчитанной по формуле (3.6) в таблице (3.1):

Выполним расчет допустимой погрешности $\Delta L_{\text{доп}}$ по формуле (6.12) [25], в соответствии с инструкцией [1] и методикой [7], и сравним ее с неучтенной поправкой за схождение отвесных линий ΔL на примере отдельно взятых шахт, результаты расчета приведены в таблице 6.11.

Допустимая погрешность $\Delta L_{\text{доп}}$ рассчитана для шести подземных соединительных полигонов между стволами (табл. 6.11, строка 5), ее величина не зависит от глубины ориентируемого горизонта, поэтому с углублением она остается постоянной.

Величины систематической погрешности за схождение отвесных линий ΔL вычислены для трех горизонтов ориентирования и приведены в таблице 6.11, строках 6,7,8.

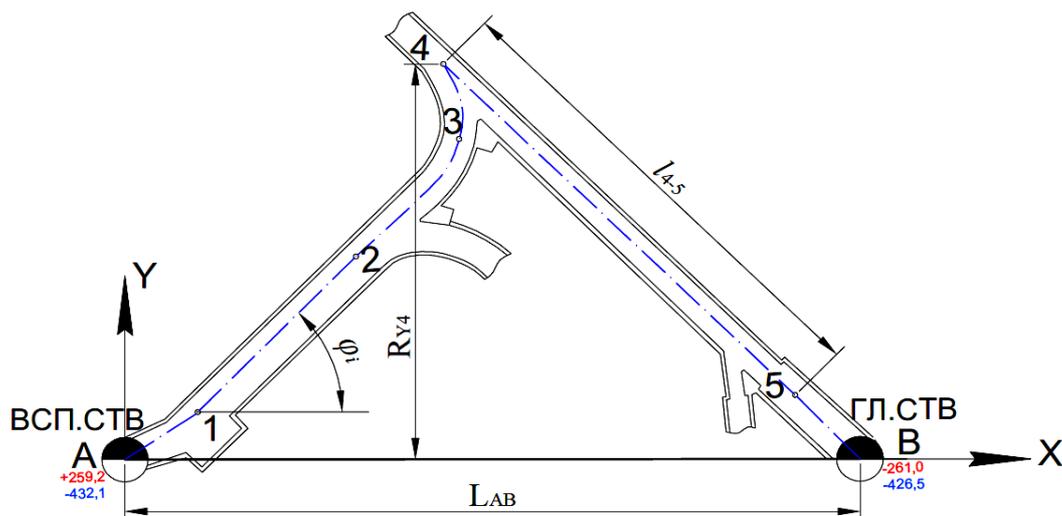


Рисунок 6.6 — Схема определения параметров для оценки точности ориентирования через два вертикальных ствола

Результаты вычислений показывают, что уже при расстоянии между стволами 82м погрешность схождения отвесных линий составляет 76% всей допустимой невязки $\Delta L_{\text{доп}}$, а во всех остальных анализируемых случаях не учитываемая инструкцией [1] поправка за схождение отвесных линий превышает допустимое значение $\Delta L_{\text{доп}}$ [1].

По данным таблицы 6.11 и рисунка 6.7 видно, что при расстоянии между проектируемыми точками L более 700м на горизонте 700м систематическая погрешность схождения отвесных линий ΔL превышает допустимое значение разности расстояний между проектируемыми точками А и В на поверхности и в шахте $\Delta L_{\text{доп}}$. Распределение этой невязки в соответствии с [7,8] ведет к ошибочным результатам ориентирования.

При ориентировании через два удаленных вертикальных ствола также необходимо вводить поправку $\Delta L_{\text{пл}}$ в расстояния между отвесами за переход с эллипсоида на плоскость в системе координат Гаусса-Крюгера, рассчитанная по формуле (3.9) и в таблице 3.2.

Таблица 6.11 — Расчет допустимой погрешности $\Delta L_{\text{доп}}$ и поправки за схождение отвесных линий ΔL

№ п/ п	Шахта	"Комсомольская"		"Горская"		"Комсомольская"		"Горская"		шахта "Интер-Инвест уголь"		шахта "Горская"	
		А	В	А	В	А	В	А	В	А	В	А	В
1	Проектируемая точка	А	В	А	В	А	В	А	В	А	В	А	В
2	Используемые вертикальные стволы	Всп. ств.	Гл. ств.	Юж.воздухопод. ств.	Юж. вент. ств.	Вент. ст в. №5	Воздухопод. ств. №6	Вент. ст в. №5	Кл. ств .№1	Сев.воздухопод. ств.	Юж. вент. ст в. №7	Сев. вент. ств.	Кл. ств. №1
3	Расстояние между проектируемыми точками, L, м	82,627		120,3		763,6		1048,1		2255,6		4196,4	
4	Ориентируемый горизонт Н, м	690		750		690		700		707		700	
5	Допустимая невязка, $\Delta L_{\text{доп}}$, мм [4]	12		16		81		111		233		430	
6	Схождение отвесных линий, ΔL , мм	при Н=700м	9	14		83		115		250		461	
7		при Н=1000м	13	19		120		165		354		659	
8		при Н=1500м	19	28		180		247		531		988	

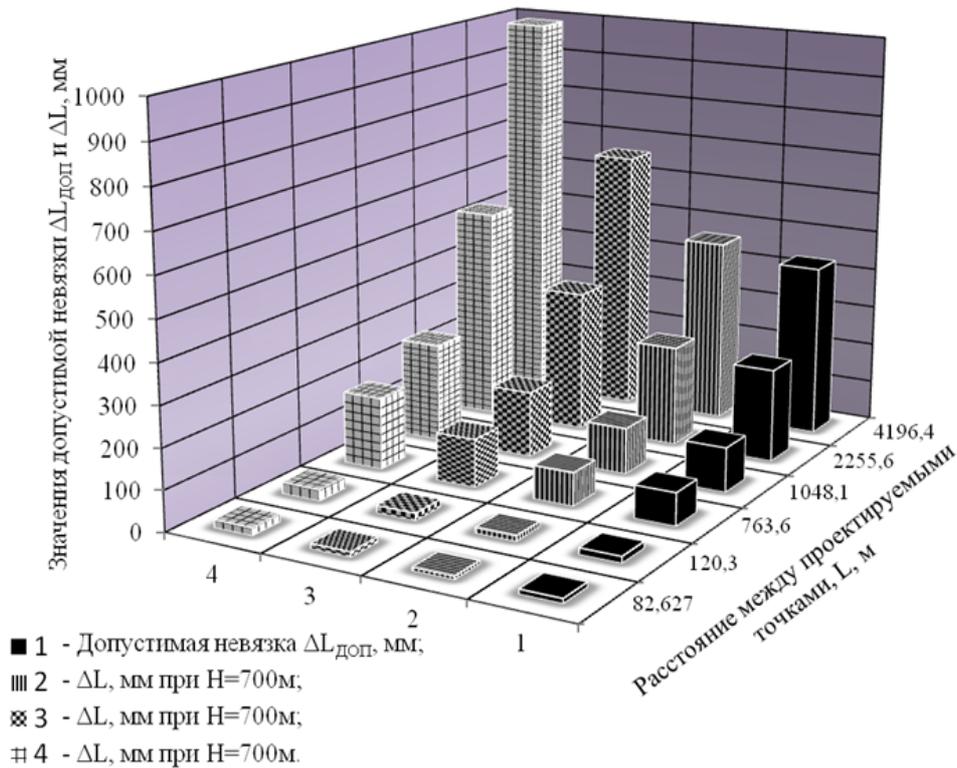


Рисунок 6.7 — Сравнительный анализ величин допустимой невязки $\Delta L_{\text{доп}}$ со значениями поправки за схождение отвесных линий ΔL

Поэтому при ориентировании глубоких шахт через два удаленных вертикальных ствола рекомендуется обязательное введение поправок за схождение отвесных линий к центру сферической поверхности Земли ΔL и за переход с эллипсоида на плоскость в системе Гаусса-Крюгера $\Delta L_{\text{пл}}$ в формулу (6.12) допустимой невязки расстояний между проектируемыми точками А, В на поверхности и в шахте $\Delta L_{\text{доп}}$ при расстоянии более 50м и значении средней ординаты более 15км (табл. 3.1, 3.2).

Таким образом, для определения допустимой невязки $\Delta L_{\text{доп}}$ рекомендуется использовать следующую формулу [25]:

$$L_{\text{доп}} = 2 \sqrt{\frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} [R_{y_i}^2] + \mu^2 [l_i \cdot \cos^2 \phi_i] + \lambda^2 L^2 + \Delta L + \Delta L_{\text{пл}}}, \quad (6.13)$$

где ΔL — поправка за схождение отвесных линий (формула 3.6, табл. 3.1, ПРИЛОЖЕНИЕ А);

$\Delta L_{\text{пл}}$ — поправка за переход с эллипсоида на плоскость в системе координат Гаусса-Крюгера (формула 3.9, табл. 3.2, ПРИЛОЖЕНИЕ Б).

Выводы:

Анализ допустимой погрешности ориентирования шахт через два вертикальных ствола показал, что рекомендуемая инструкцией [1] формула (6.11) контроля точности измерений и вычислений не учитывает существенные по величине систематические поправки:

— за схождение отвесных линий к центру сферической поверхности Земли ΔL , которая при расстоянии между проектируемыми точками на поверхности и в шахте более 200м превышает допусковое расхождение $\Delta L_{\text{доп}}$;

— поправку за переход с эллипсоида на плоскость в системе координат Гаусса-Крюгера;

— формула расчета величины допустимой невязки $\Delta L_{\text{доп}}$ (6.12), рекомендуемая инструкцией [1], не зависит от глубины ориентируемого горизонта, что не соответствует действительности.

По результатам проведенных исследований, рекомендуется внести изменения в инструкцию [1], где расчет допустимого расхождения расстояний между проектируемыми точками на поверхности и в шахте должен производиться по формуле (6.13) с учетом поправок за схождение отвесных линий ΔL и за приведение на плоскость $\Delta L_{\text{пл}}$.

6.3. Экспериментальная оценка точности

Экспериментальная оценка точности проектирования гравитационным способом проводилась в лабораторных и шахтных условиях с целью определения зависимости величины разброса проектируемых точек на экране от глубины проектирования, количества выпущенных шариков, их величины и массы. А так же для определения коэффициента вероятности получения истинной спроектированной точки в зависимости от количества выпущенных шариков.

6.3.1. Экспериментальная оценка точности в лабораторных условиях

Оценка точности в лаборатории была проведена в условиях общежития университета, на высоте девяти этажей ($H=29,365\text{м}$), с установкой направляющего устройства за балконной конструкцией, при

влиянии воздушного потока в виде ветра со скоростью 3 м/с, при влажности около 85%, нормальной освещенности, при температуре +4°C.

Этапы проведения эксперимента:

1. Определяем места установки направляющего устройства и экрана.

2. Устанавливаем вначале направляющее устройство и выводим направляющее отверстие в нужное положение.

3. Выполняем привязку отверстия к элементам здания.

4. Устанавливаем ящики-улавливатели согласно привязке на поверхности.

5. Проводим пробный пуск одного шарика из зафиксированного положения отверстия, чтобы проверить правильность установки ящика-улавливателя.

6. Устанавливаем экран над ящиком-улавливателем в рамку и закрепляем.

7. Выполняем пуск 3-20 шариков из одного положения отверстия.

8. Оцениваем точность проектирования: если от всех шариков остался один отчетливый след на экране, результаты удовлетворяют предъявляемым требованиям.

9. Для контроля результатов повторяем п. 7, 8.

Требования к результатам эксперимента:

1. Согласно физическим законам о силе тяжести [15], она направлена вертикально вниз, к центру Земли. Значит, при минимальном количестве сил, воздействующих на шарик и отклоняющих его траекторию от вертикали, он должен падать по прямой, направленной по отвесной линии вертикально вниз.

2. Согласно инструкции [1] расхождение в плановом положении начального пункта подземной опорной сети из двух независимых центрировок должна быть не более 50мм при глубине ориентирования H не более 500м. Значит при пуске 3-20 шариков из одного положения направляющего отверстия, все шарики должны падать в одну точку и оставлять на экране один след в виде отверстия.

3. После выполнения одного приема должна сохраняться целостность экрана и отсутствовать его деформация.

4. Направляющее устройство должно быть жестко закреплено, исключая возможность его смещения.

5. Если, по каким-либо причинам, во время выполнения этапа эксперимента произошло смещение ящика-улавливателя, экрана, направляющего устройства — результаты данного этапа считать не действительными.

Проведение эксперимента

В ходе экспериментальных исследований было проведено 9 серий наблюдений. Окончательные результаты удовлетворили предъявляемым требованиям и приведены ниже.

Методика пуска: в отверстие для создания вакуума вставляется «насос» (выполненный из медицинского шприца с пружиной), затем вкладывается шарик с нижней поверхности устройства в полусферу и удерживается там пока насосом вытягивается воздух, в этот момент гидравлическая резинка плотно притягивается к шарикам, создавая воздухонепроницаемую поверхность. Пока внутри полусферы сохраняется вакуум шарик удерживается в ней (около 2-3 мин.). Для пуска шарика необходимо насосом пустить немного воздуха в полусферу и он оторвется от площади соприкосновения.

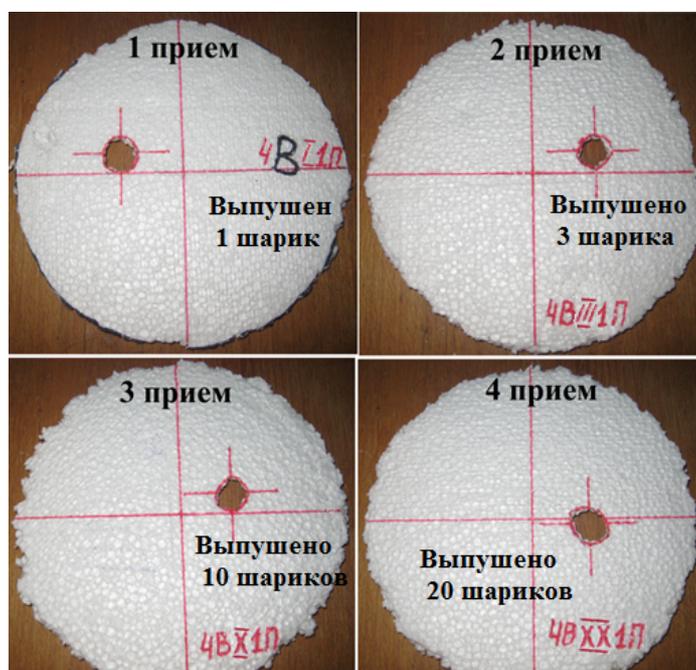


Рисунок 6.8 — Фото экранов 9й серии 1-4 приемов

Последовательно выполнено пуск 1-20 шариков.

Результаты: выполнено 4 повторения (Рис. 6.8):

- 1 — выпущен 1 шарик;
- 2 — выпущено 3 шарика;
- 3 — выпущено 10 шариков;
- 4 — выпущено 20 шариков.

Как видно — все выпущенные шарики попали на экран и оставили один след.

Выводы:

Из рисунка 6.8 видно, что при проектировании точек на глубину около 30м разброс проектируемых точек вообще не наблюдается даже при увеличении количества выпущенных шариков до 20 штук. Во всех случаях была спроектирована точка, координаты которой равны координатам центра окружности, оставленной на экране.

6.3.2. Экспериментальная оценка точности в шахтных условиях

Оценка точности проектирования в шахтных условиях была проведена в соответствии с составленным Технологическим проектом, который был согласован с проректором по научной работе ДонГТУ Семирягиным С. В., утвержден руководством ш. Перевальская и вышестоящей организацией ГП «Областная дирекция «Луганскуглереструктуризация»

Краткая характеристика шахтных условий

Шахтный эксперимент проводился в условиях клетового ствола шахты «Перевальская», относящейся к ГП «Областная дирекция «Луганскуглереструктуризация».

Клетевой ствол пройден на глубину 238м сечением 14 м², имеет прямоугольное сечение 4030 x 3470 мм. Ствол армирован центральными расстрелами сечением 200x200мм. Крепление и армировка ствола — дерево; проводники — рельсы Р-38. Устье и шейка ствола закреплены бетоном.

Ствол оборудован подъемной машиной ЦР 4x3/0,7 с подъемным канатом диаметром 39,5мм ГОСТ 7668-80 с суммарным разрывным усилием 1046310 кг и двухэтажными клетями на одну вагонетку УВГ-1,4 в этаже.

Ствол служит для спуска и подъема людей, материалов и оборудования. По стволу в шахту с помощью вентилятора подаётся свежая струя воздуха. Водоприток в ствол составляет около 2,5 м³/ч.

Проведение экспериментальных наблюдений

Перед началом серии наблюдений было определено живое сечение клетового ствола, в плоскости которого было установлено одно направляющее устройство (рис. 6.9).

В ходе наблюдений было выполнено 4 приема пуска проектирующих шариков. В ходе каждого приема было выпущено 20 проектирующих шариков из одного положения направляющего отверстия.

В рамках данной 3-й серии проведено исследование зависимости величины полученного следа на экране от диаметра проектирующих шариков или степень влияния случайных погрешностей на точность проектирования в зависимости от массы проектирующего шарика.



Рисунок 6.9 — Расположение направляющего устройства в устье ствола

Таким образом: 1 прием — 20 шариков диаметром 17,46мм ($m = 31$ г);

2 прием — 20 шариков диаметром 19,05мм ($m = 41$ г);

3 прием — 20 шариков диаметром 19,84мм ($m = 46$ г);

4 прием — 20 шариков диаметром 22,23мм ($m = 46$ г).

Увеличение диаметра проектирующего шарика влечет за собой:

— увеличение площади взаимодействия с воздушным потоком и соответственно увеличение силы сопротивления воздуха, которая увеличивает погрешность влияния воздушного потока;

— увеличение массы проектирующего шарика, а значит соответственно увеличение силы тяжести, действующей на него, которая уменьшает погрешность влияния воздушного потока. Третья серия экспериментальных шахтных наблюдений дала возможность сопоставить эти противоположные зависимости (рис. 6.10).

Экспериментальные исследования в реальных условиях показывают величины следов на экранах в зависимости от диаметра проектирующего шарика (рис. 6.10). По данным экспериментальных наблюдений построен график зависимости (рис. 6.11), на котором видно, что увеличение массы шарика, а соответственно и силы тяжести имеет намного большее влияние на точность проектирования, в сравнении с увеличением силы сопротивления воздуха вследствие увеличения площади взаимодействия. Так же на рис. 6.11 показан график увеличения скоростей падения шариков в зависимости от их диаметров.

Величина следа на экране не является величиной разброса, так как площадь следа от одного шарика равна площади круга, диаметр которого равен диаметру шарика, а проектирует он одну точку, являющую собой центр данной окружности. Поэтому, истинной спроектированной точкой O (Рис. 6.12) будет являться точка центра тяжести площади следа с условными координатами X_0 и Y_0 , определяемыми по формуле 6.14 (Рис. 6.12). А погрешность проектирования равна диаметру следа, уменьшенного на радиус проектирующего шарика (рис. 6.12).

$$X_0 = \frac{\sum X_i}{n}; Y_0 = \frac{\sum Y_0}{n}, \quad (6.14)$$

где: X_i, Y_i — условные координаты точек, расположенных по контуру истинной погрешности (Рис. 6.12);

n — количество точек по контуру.

При пуске 1 шарика вероятность получения истинной спроектированной точки составляет 80%, 5 шариков — 85%, 10 шариков — 90%; 20 шариков — 95%.

Общие рекомендации при проектировании гравитационным способом:

1) проектировать координаты точек гравитационным способом только при выключенных вентиляторах;

2) выполнять проектирование координат точек гравитационным способом через вертикальные стволы с бетонным креплением;

3) проводить проектирование точек через вертикальные стволы с деревянным креплением в летнее время, когда капеж в данных стволах минимален;

4) на сопряжениях ствола с горизонтальными выработками необходимо устанавливать защитный зонт от направленной воздушной струи.

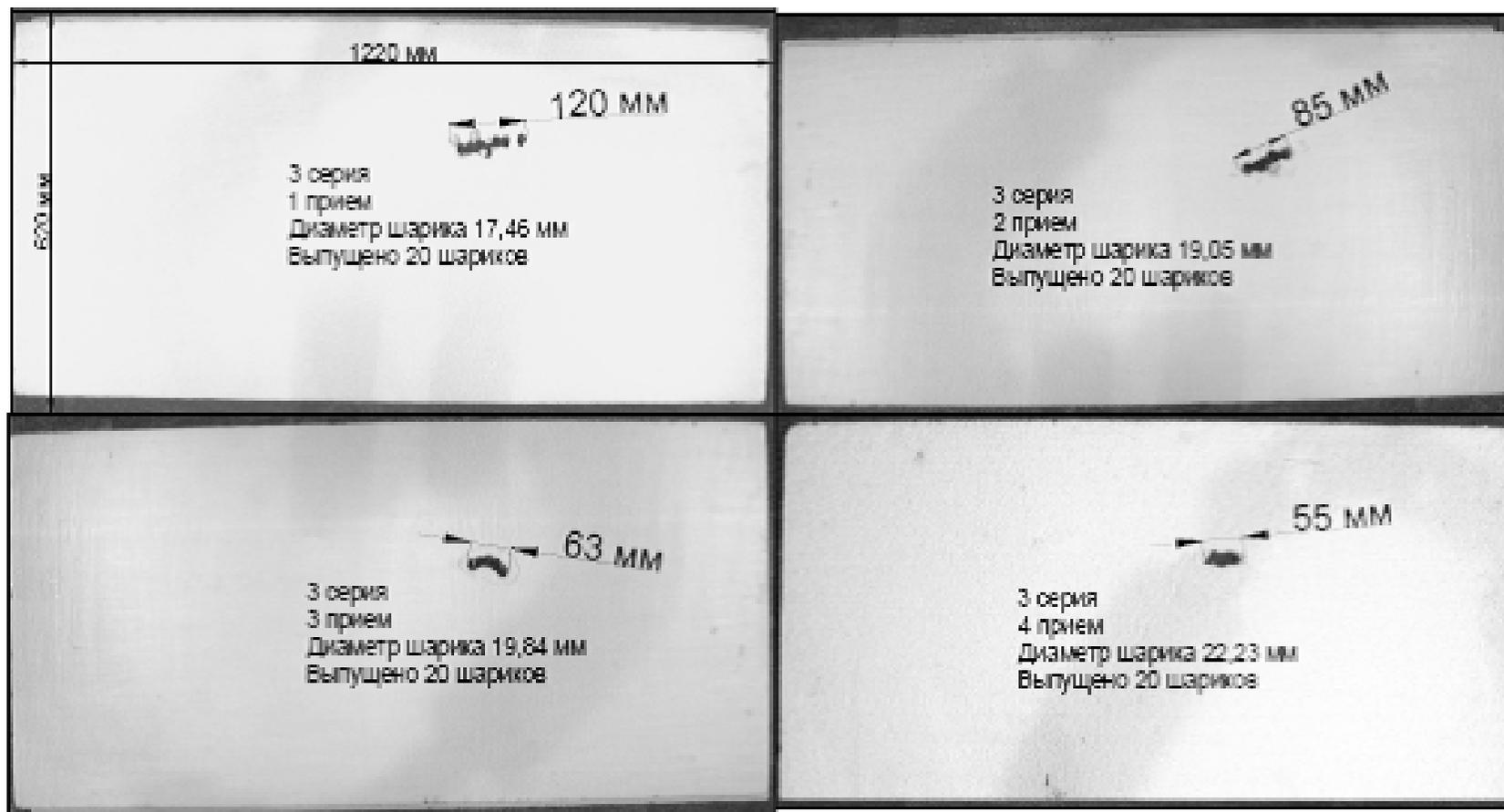


Рисунок 6.10 — Фото экранов 4х приемов 3й серии

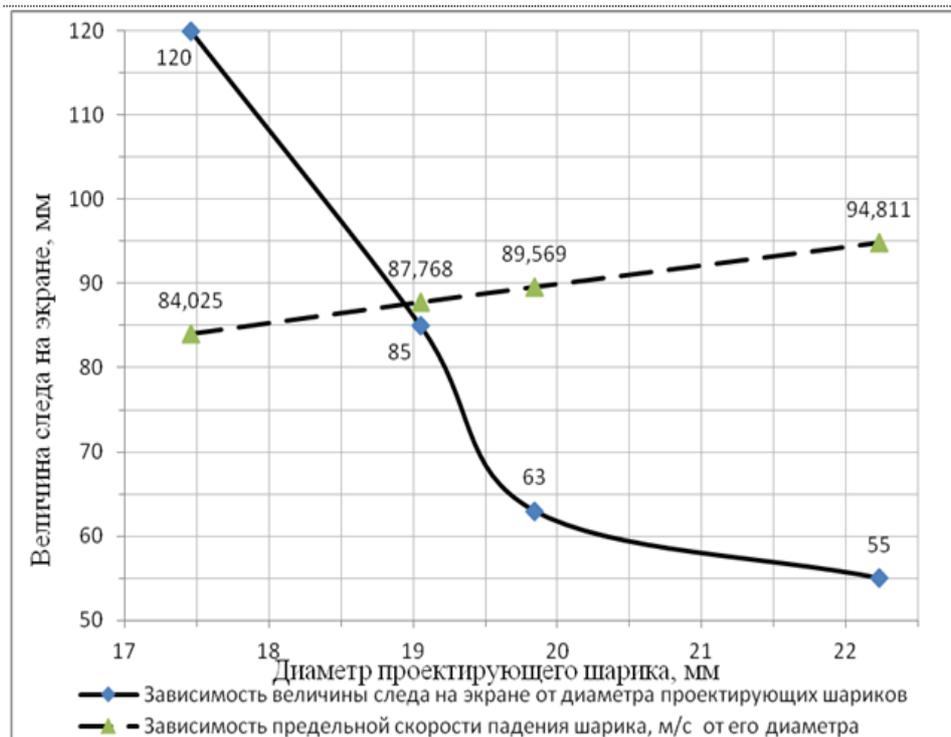


Рисунок 6.11 — Графики зависимости величины следа на экране и скорости падения шарика на ориентируемом горизонте от его диаметра

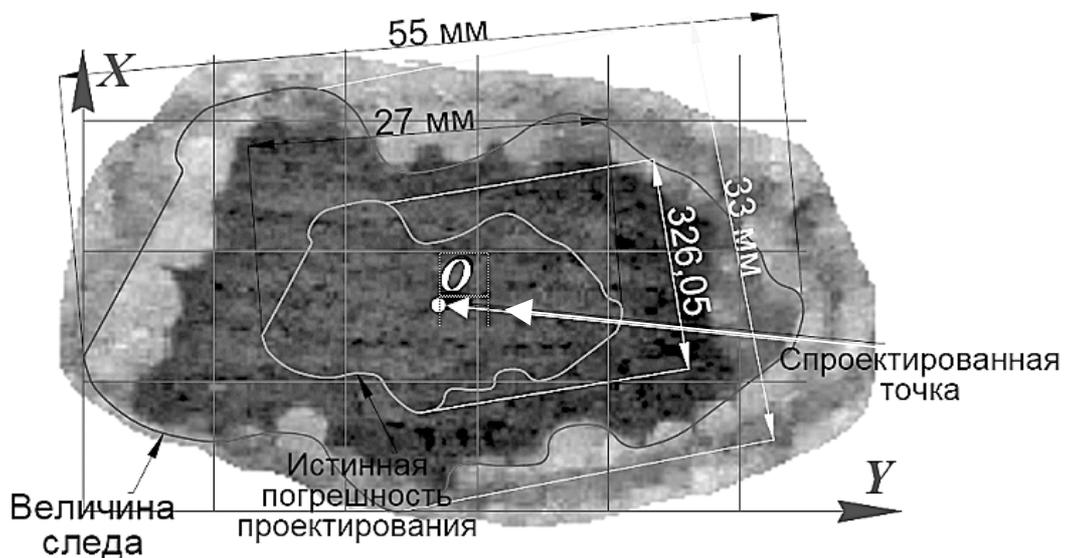


Рисунок 6.12 — Схема определения площади погрешности проектирования и спроектированной точки

7. МЕТОДИКА МАРКШЕЙДЕРСКИХ РАБОТ ПРИ ЦЕНТРИРОВАНИИ ШАХТ ГРАВИТАЦИОННЫМ СПОСОБОМ

7.1. Общие рекомендации перед началом проектирования

С помощью установленных систематических поправок, графической модели гравитационного проектирования и номограммы разработаны рекомендации по установке оборудования:

1) для перекрытия ствола рекомендуется использовать двутавровые или деревянные балки и укладывать временный полук для возможности надежной установки направляющего устройства.

2) независимо от способа проектирования (через один или два ствола) необходимо располагать направляющее устройство так, чтобы направляющее отверстие находилось не ближе 0,3 м от стенки ствола.

3) при необходимости создания сети сгущения на поверхности рекомендуется располагать вставляемый дополнительный пункт опорной геодезической сети так, чтобы угол между линией АВС (рис. 7.1) и осью Y (в системе координат Гаусса-Крюгера) был минимальным.

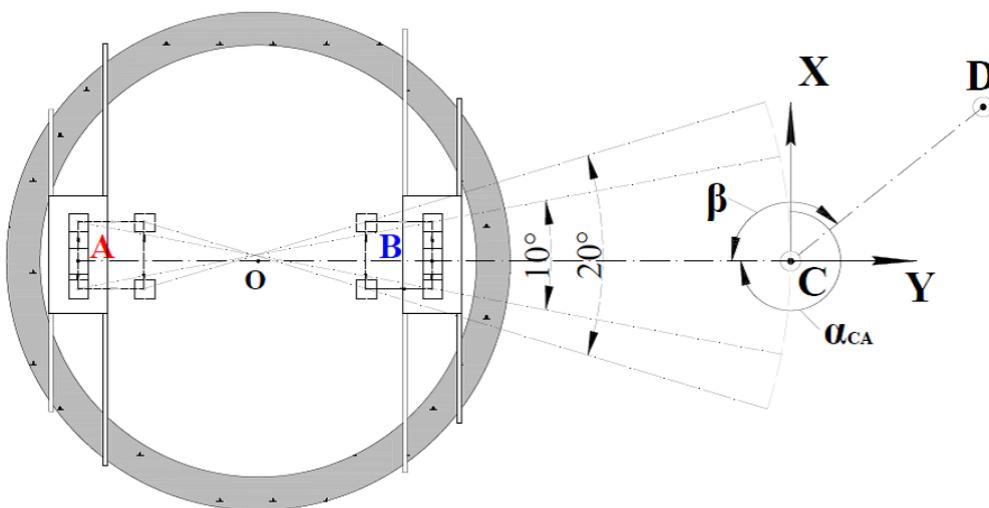


Рисунок 7.1 — Схема примыкания на поверхности

4) располагать створ проектируемых точек в устье вертикального ствола необходимо согласно номограмме (рис. 4.6) и граничных полярных расстояний, приведенных в табл. 4.1.

5) на время полета шарика (около 20 сек.) необходимо выключить вентилятор в стволе, а на сопряжениях с горизонтальными выработками установить «завесы» для снижения влияния бокового направленного воздушного потока на точность проектирования.

6) проектирование гравитационным способом рекомендуем производить в летнее время, когда капеж в стволе минимальный.

7.2. Подготовительные работы

1) Составить технологический проект по производству проектирования плановых координат точек с поверхности на ориентируемый горизонт через вертикальный ствол гравитационным способом и утвердить его главным инженером шахты;

2) определить пофамильный состав бригады, выполняющей работы по проектированию и перекрытию ствола на поверхности и на ориентируемом горизонте;

3) весь состав бригады по проектированию и перекрытию должен изучить технологический проект не позднее, чем за сутки до производства работ под роспись;

4) провести под роспись инструктаж по технике безопасности с лицами, выполняющими работы по проектированию гравитационным способом;

5) подготовить необходимое оборудование для проектирования гравитационным способом: направляющие устройства, экраны, ящикоулавливатели, визирные марки, проектирующие шарики;

6) маркировать экраны для фиксации следов траектории шариков, визирные марки;

7) очистить площадку устья ствола от породы и других посторонних предметов, которые могут случайно упасть в ствол;

8) доставить все необходимые материалы для перекрытия ствола и ориентируемого горизонта и складировать их на безопасном расстоянии от ствола;

9) изготовить деревянные полки для перекрытия устья ствола и на горизонте ориентирования непосредственно в шахте;

10) установить телефонную связь между бригадами на поверхности и в шахте.

7.3. Основные работы

Работы на поверхности:

1) перед проектированием производится спуск бригады рабочих, выполняющих перекрытие ствола в шахте, и подготовленной бригады маркшейдеров с необходимым оборудованием и материалами;

2) клеть поднимается на поверхность и фиксируется жесткими кулаками над приемной площадкой;

3) бригада на ориентируемом горизонте уходит в безопасное место;

4) производится перекрытие устья ствола и установка временного полка;

5) устанавливаем направляющие устройства опорными точками установочных винтов на временный полк перекрытия прочно и надежно, а так же с учетом возможности установки центров направляющих отверстий А и В в створ с ближайшим подходным исходным пунктом С. (рис. 7.1);

6) производим предварительную и окончательную установку направляющего устройства;

7) устанавливаем в рабочее положение теодолит с ориентир-буссолью на ближайшем опорном пункте С (рис. 7.1);

8) устанавливаем специальные визирные марки на поверхности в направляющие отверстия;

9) наводим визирный луч теодолита на специальные визирные марки, установленные в направляющих отверстиях А и В (рис. 7.1);

10) последовательно перемещая обе марки с помощью микрометрических винтов направляющего устройства и наблюдая в зрительную трубу теодолита, добиваемся такого положения марок, чтобы их вершины находились в створе визирного луча теодолита. Таким образом, проектируемые точки А и В и ближайший пункт опорной геодезической сети С будут находиться на одной прямой (в створе);

11) определяем направление на север с помощью ориентир-буссоли и измеряем магнитный азимут линии СА (A_{CA}) (рис. 7.1);

12) дополнительную ориентир-буссоль устанавливаем поочередно на направляющих устройствах и маркируем их, отмечаем на основе устройства направление на север;

13) компарированной рулеткой измеряем расстояния от проектируемых точек А и В до стенок ствола (l_A ; l_B) и не менее 5 раз расстояния: $L_{AB}^{изм}$, L_{BC} и L_{AC} . Контроль: $L_{AC} = L_{AB}^{изм} + L_{BC}$ или $L_{AB}^{изм} = L_{AC} - L_{BC}$. Расхождение не должно превышать 3мм;

14) по измеренному магнитному азимуту A_{CA} определяем полярные углы проектируемых точек А и В (φ_A ; φ_B):

$$\begin{aligned}\varphi_{A(B)} &= A_{CA}; \\ \varphi_{B(A)} &= A_{CA} \pm 180^\circ;\end{aligned}\tag{7.1}$$

15) по таблице 4.1 определяем граничные расстояния проектируемых точек А и В от стенки ствола (l_A^r ; l_B^r) относительно значениям полярных углов (φ_A ; φ_B). Если граничные расстояния проектируемых точек больше измеренных соответствующих расстояний (l_A ; l_B), то переходим к выполнению следующего пункта методики. Если $l_A < l_A^r$ и (или) $l_B < l_B^r$, то производим смещение соответствующего направляющего устройства в сторону центра ствола, сохраняя значение соответствующего полярного угла φ до выполнения условия $l \geq l^r$, после чего разрешается выполнение следующего пункта методики;

16) производим привязку проектируемых точек А, В к элементам оборудования ствола;

17) после полной установки направляющих устройств и проведения всех необходимых измерений, бригада на поверхности отходит от

устья ствола, все работы на поверхности прекращаются на время перекрытия ствола на ориентируемом горизонте и установки экранов и ящиков-улавливателей;

18) передаем по телефонной связи бригаде в шахту данные привязки, длины створа (L_{AB}) и полярные координаты (φ_A ; φ_B ; l_A ; l_B) проектируемых точек для определения точек фиксации следов траекторий шариков и расположения мест установки экранов и ящиков-улавливателей, а также сигнал о завершении работ на поверхности.

Работы в шахте:

19) по сигналу об окончании работ на поверхности производится перекрытие ствола и укладка временного полка;

20) по переданным данным с поверхности, по номограмме (рис. 4.6) и табл. 4.2 и 4.3 определяем полярные координаты точек фиксации следов ($\varphi_{шA}$; $\varphi_{шB}$; $l_{шA}$; $l_{шB}$);

21) по данным привязки и полярным координатам точек фиксации следов ($\varphi_{шA}$; $\varphi_{шB}$; $l_{шA}$; $l_{шB}$) устанавливаем ящики-улавливатели и экраны на временный полк перекрытия ствола ориентируемого горизонта;

22) производим привязку оборудования к элементам сопряжений и армирования ствола;

23) убедившись в правильности и надежности установки экранов и ящиков-улавливателей, передаем сигнал о готовности к пуску шариков бригаде на поверхности;

24) бригада в шахте перемещается в пункт укрытия.

Выполнение проектирования:

25) получив информацию о готовности экранов в шахте, по команде руководителя выключается вентилятор главного проветривания по стволу;

26) маркшейдер на поверхности вынимает специальные визирные марки из направляющих отверстий;

27) производится пуск по одному проектирующему шарiku из каждого направляющего отверстия;

28) после сигнала о завершении пуска шариков бригада в шахте фиксирует следы на экранах, удовлетворяющие требованиям;

29) маркшейдеры вставляют визирные марки в следы от шариков на экранах, измеряют длину створа спроектированных точек $L_{A_{ш}B_{ш}}$ не менее 5 раз. Расхождение между измерениями не должно превышать 2 мм;

30) вводим поправки в измеренное значение длины спроектированных точек на ориентируемый горизонт за компарирование Δl_k , за температуру Δl_t , за схождение отвесных линий ΔL (ПРИЛОЖЕНИЕ А) и за редукцию на плоскость в системе координат Гаусса-Крюгера $\Delta L_{пл}$ (ПРИЛОЖЕНИЕ Б) по формуле:

$$L_{A_{ш}B_{ш}}^{прив} = L_{A_{ш}B_{ш}}^{изм} + \Delta l_k + \Delta l_t + \Delta L + \Delta L_{пл}, \text{ м} \quad (7.2)$$

31) если $L_{AB} - (L_{A_{ш}B_{ш}} + \Delta L + \Delta L_{пл}) < 5\text{мм}$, то бригада в шахте сообщает бригаде на поверхность о завершении проектирования, где L_{AB} — длина створа проектируемых точек А и В на поверхности; $L_{A_{ш}B_{ш}}$ — длина створа спроектированных точек $A_{ш}$ и $B_{ш}$ в шахте; ΔL — поправка за схождение отвесных линий к центру Земли, определяется по ПРИЛОЖЕНИЮ А; $\Delta L_{пл}$ — поправка за редукцию на плоскость (ПРИЛОЖЕНИЕ Б);

32) по команде руководителя включается вентилятор главного проветривания по стволу;

33) выполняется примыкание к проектируемым точкам на поверхности и к точкам $A_{ш}$, $B_{ш}$ на ориентируемом горизонте.

Примыкание на поверхности:

34) устанавливаем и центрируем визирную маркшейдерскую марку на втором пункте геодезической сети D (рис. 7.1), совмещая эту операцию с установкой экранов на горизонте ориентирования;

35) измеряем угол β двумя приемами со средней квадратической погрешностью не более 7".

Примыкание в шахте:

36) определяем место расположения временной точки I так, чтобы форма соединительного треугольника была вытянутой: острые углы треугольника β и $\gamma < 2^\circ$, а тупой угол $\alpha > 178^\circ$ (рис. 7.2);

37) закрепляем определяемую точку подземной опорной маркшейдерской сети II в кровле или почве горной выработки;

38) устанавливаем в рабочее положение точный теодолит (Т2, Т5) на временной точке I;

39) на точке II устанавливаем и центрируем визирную маркшейдерскую марку или вешаем отвес. Выполнение п. 36-39 совмещаем с работами на поверхности п. 1-16;

40) измеряем компарированной рулеткой расстояния: $L_{B_{шI}}$, $L_{A_{шI}}$, $L_{A_{шB_{ш}}}$, L_{I-II} не менее 5 раз. Расхождение между измерениями должно быть не более 2мм;

41) измеряем примычные углы ω , δ , γ теодолитом не менее, чем двумя приемами с погрешностью не более 7". Разность между приемами не должна превышать 10".

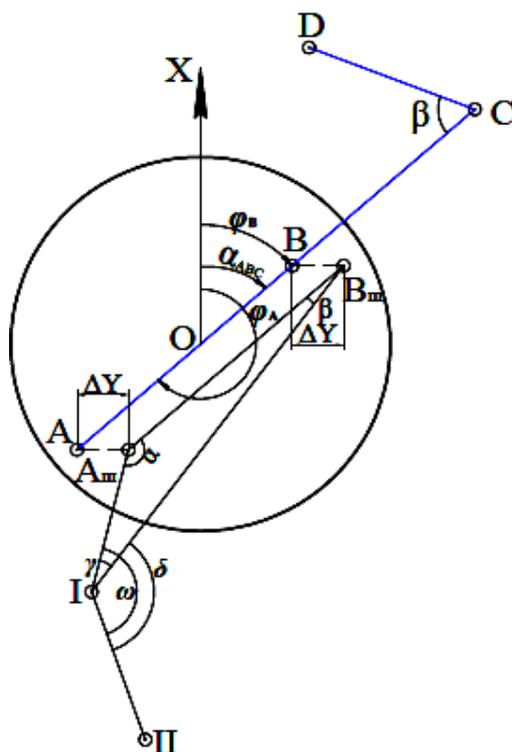


Рисунок 7.2 — Схема примыкания в шахте способом соединительного треугольника

Демонтаж оборудования в шахте:

42) после окончания работ по примыканию производится демонтаж экранов, ящиков-улавливателей, временного полка и перекрытия ствола на ориентируемом горизонте;

43) бригада в шахте сообщает бригаде на поверхности о завершении работ и перемещается в безопасное место.

Демонтаж оборудования на поверхности:

44) по сигналу о завершении работ в шахте, на поверхности производится демонтаж направляющих устройств, временного полка и перекрытия устья ствола на поверхности;

45) подается сигнал на ориентируемый горизонт об окончании демонтажных работ на поверхности;

46) клеть снимается с жестких кулаков и опускается на горизонт ориентирования;

47) производится погрузка оборудования и материалов в клеть на горизонте и подъем бригады и оборудования на поверхность.

Камеральная обработка на поверхности:

48) производим расчет дирекционного угла створа α_{ABC} проектируемых точек по формулам:

$$\begin{aligned}\alpha_{ABC} &= \alpha_{CD} - \beta; \\ \alpha_{B(A)} &= \alpha_{ABC} \pm 180^\circ;\end{aligned}\tag{7.3}$$

49) вводим поправки в средние значения измеренных длин на поверхности за компарирование и за температуру [7];

50) рассчитываем координаты проектируемых точек в системе координат поверхности и расчетные значения дирекционного угла и длины створа проектируемых точек:

$$\begin{aligned}X_A &= X_C + L_{AC} \cdot \cos \alpha_{CA}; \\ Y_A &= Y_C + L_{AC} \cdot \sin \alpha_{CA}; \\ X_B &= X_C + L_{BC} \cdot \cos \alpha_{CB}; \\ Y_B &= Y_C + L_{BC} \cdot \sin \alpha_{CB}.\end{aligned}\tag{7.4}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{AB}^{\text{расч}} = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A};\tag{7.5}$$

$$L_{AB}^{\text{расч}} = \frac{Y_B - Y_A}{\sin \alpha_{AB}} = \frac{X_B - X_A}{\cos \alpha_{AB}};\tag{7.6}$$

51) вводим поправку в измеренное среднее значение длины створа точек А и В за редукцию на плоскость в системе координат Гаусса-Крюгера $\Delta L_{пл}$ (ПРИЛОЖЕНИЕ Б):

$$L_{AB}^{прив} = L_{AB}^{изм} + \Delta L_{пл}. \quad (7.7)$$

52) производим контроль измерений и вычислений с помощью уравнений:

$$\begin{aligned} \alpha_{ABC} - \alpha_{AB} &= f_{\alpha_n} \leq 7''; \\ L_{AB}^{прив} - L_{AB}^{расч} &= f_{L_n} \leq 3\text{мм}; \end{aligned} \quad (7.8)$$

Камеральная обработка в шахте:

53) по полученным результатам измерений в шахте, выполняем расчет координат спроектированных точек и дирекционного угла их створа в государственной системе координат по общепринятой [1,3,4] методике;

54) вычисляем разность углов, определенных на примычных точках:

$$\omega - \delta - \gamma \leq 25''; \quad (7.9)$$

55) если невязка в пределах допуска, то распределяем ее поровну во все измеренные углы;

56) вводим поправки в измеренное значение длины спроектированных точек на ориентируемый горизонт за компарирование Δl_k , за температуру Δl_t , за схождение отвесных линий ΔL (ПРИЛОЖЕНИЕ А) и за редукцию на плоскость в системе координат Гаусса-Крюгера $\Delta L_{пл}$ (ПРИЛОЖЕНИЕ Б) по формуле:

$$L_{A_{ш}B_{ш}}^{прив} = L_{A_{ш}B_{ш}}^{изм} + \Delta l_k + \Delta l_t + \Delta L + \Delta L_{пл}, \text{ м} \quad (7.10)$$

57) вычисляем углы в соединительном треугольнике при отвесах (если $\alpha < 3^\circ$) по приведенному значению $L_{A_{ш}B_{ш}}^{прив}$:

$$\alpha = \frac{L_{B_{\text{ш}}I}}{L_{A_{\text{ш}}B_{\text{ш}}}} \gamma; \quad (7.11)$$

$$\beta = \frac{L_{A_{\text{ш}}I}}{L_{A_{\text{ш}}B_{\text{ш}}}} \gamma.$$

при значении углов β , $\gamma < 20^\circ$ и $\alpha > 160^\circ$ углы при отвесах вычисляются по формулам:

$$\sin \alpha = \frac{L_{B_{\text{ш}}I}}{L_{A_{\text{ш}}B_{\text{ш}}}} \sin \gamma; \quad (7.12)$$

$$\sin \beta = \frac{L_{A_{\text{ш}}I}}{L_{A_{\text{ш}}B_{\text{ш}}}} \sin \gamma.$$

58) введем систематические поправки по осям координат за счет вращения Земли в координаты спроектированных точек на ориентируемом горизонте:

$$\begin{aligned} X_{A_{\text{ш}}} &= X_A - \Delta X; \\ Y_{A_{\text{ш}}} &= Y_A + \Delta Y; \\ X_{B_{\text{ш}}} &= X_B - \Delta X; \\ Y_{B_{\text{ш}}} &= Y_B + \Delta Y, \end{aligned}$$

где ΔX и ΔY — поправки за счет вращения Земли, определяемые по ПРИЛОЖЕНИЮ В.

59) определим расчетное значение длины створа спроектированных точек двумя способами:

$$1. L_{A_{\text{ш}}B_{\text{ш}}}^{\text{расч}} = \frac{Y_{B_{\text{ш}}} - Y_{A_{\text{ш}}}}{\sin \alpha_{A_{\text{ш}}B_{\text{ш}}I}} = \frac{X_{B_{\text{ш}}} - X_{A_{\text{ш}}}}{\cos \alpha_{A_{\text{ш}}B_{\text{ш}}I}}, \text{ м} \quad (7.13)$$

$$2. L_{A_{\text{ш}}B_{\text{ш}}}^{\text{расч} 2} = L_{A_{\text{ш}}I}^2 + L_{B_{\text{ш}}I}^2 - 2 \cdot L_{A_{\text{ш}}I} \cdot L_{B_{\text{ш}}I} \cdot \cos \gamma. \quad (7.14)$$

Разность между двумя способами не должна превышать 3мм.

60) выполняем контроль измерений и вычислений с помощью равенства:

$$L_{A_{\text{ш}}B_{\text{ш}}}^{\text{прив}} - L_{A_{\text{ш}}B_{\text{ш}}}^{\text{расч}} = f_{L_{\text{ш}}} \leq 3\text{мм} \quad (7.15)$$

61) вычисляем среднее значение длины створа спроектированных точек $A_{\text{ш}}, B_{\text{ш}}$ по формуле:

$$L_{A_{\text{ш}}B_{\text{ш}}} = \frac{L_{A_{\text{ш}}B_{\text{ш}}}^{\text{прив}} + L_{A_{\text{ш}}B_{\text{ш}}}^{\text{расч}}}{2} \quad (7.16)$$

62) выполняем оценку точности проектирования координат точек с поверхности в шахту по формулам

$$L_{AB} - L_{A_{\text{ш}}B_{\text{ш}}} - \Delta L = f_L \leq 0,01H, \text{ м} \quad (7.17)$$

где H — глубина ориентируемого горизонта, м.

$$\alpha_{AB} - \alpha_{A_{\text{ш}}B_{\text{ш}}} = f_{\alpha} \text{ или } \alpha_{AB} - \alpha_{A_{\text{ш}}B_{\text{ш}}} = f_{\alpha} \quad (7.18)$$

$$f_{\alpha} \leq 1'$$

где ΔL — значение поправки за схождение отвесных линий (ПРИЛОЖЕНИЕ А).

63) если оценка точности показала результаты, удовлетворяющие требованиям инструкции [1], то проектирование выполнено верно;

64) вычисляем координаты определяемых точек по формулам:

$$\begin{aligned} X_I &= X_{A_{\text{ш}}} + L_{A_{\text{ш}}I} \cdot \cos \alpha_{A_{\text{ш}}I}; \\ X'_I &= X_{B_{\text{ш}}} + L_{B_{\text{ш}}I} \cdot \cos \alpha_{B_{\text{ш}}I}; \\ X_{I\text{ср}} &= (X_I + X'_I) / 2; \\ Y_I &= Y_{A_{\text{ш}}} + L_{A_{\text{ш}}I} \cdot \sin \alpha_{A_{\text{ш}}I}; \\ Y'_I &= Y_{B_{\text{ш}}} + L_{B_{\text{ш}}I} \cdot \sin \alpha_{B_{\text{ш}}I}; \\ Y_{I\text{ср}} &= (Y_I + Y'_I) / 2; \\ X_{II} &= X_I + L_{I-II} \cdot \cos \alpha_{I-II}; \\ Y_{II} &= Y_I + L_{I-II} \cdot \sin \alpha_{I-II}. \end{aligned} \quad (7.19)$$

и дирекционный угол стороны I-II по формуле:

$$\alpha_{I-II} = \alpha_{I-A_{III}} + \omega. \quad (7.20)$$

65) оценим точность ориентирования шахтного горизонта, выполненного гравитационным способом по методике [24];

66) если полученные результаты удовлетворяют условиям допуска инструкции [1], значит данные ориентирования готовы к использованию;

67) дополнительный контроль определения дирекционного угла стороны I-II на шахтном горизонте можно выполнить гироскопическим ориентированием по традиционной методике.

7.4. Преимущества применения гравитационного способа при ориентировании шахт

Предлагаемый способ проектирования координат X, Y с поверхности в шахту [11,12,13,25] обладает рядом преимуществ по сравнению с известными [2,3,5,6,7,8]:

— проектирование гравитационным способом позволит вдвое сократить время простоя ствола, чем сокращает затраты при ориентировании одной шахты на сумму до 20 тыс. грн.;

— исключает потребность приобретения лебедок с металлической проволокой, грузов для их натяжения, центрирующих тарелочек, что сокращает затраты на сумму до 60 тыс. грн.;

— область применения способа не ограничивается глубиной проектирования, по сравнению с известными способами, которые ограничены глубиной проектирования до 500м;

— способ является универсальным при геометрическом ориентировании через вертикальные стволы и при комбинированном (гироскопическом) ориентировании, при сооружении вертикальных стволов, а также в метро строительстве;

— использование новой методики примыкания способом створа трех точек на поверхности втрое сокращает объем угловых измерений, облегчает контроль линейных измерений, что значительно облегчает примыкание и уменьшает трудоемкость работ при ориентировании через один вертикальный ствол;

— определение допустимой разницы между длинами створов отвесов на поверхности и в шахте по новой разработанной методике при

ориентировании через два вертикальных ствола, значительно повысит точность центрирования маркшейдерской опорной сети в шахте;

— анализ и определение погрешностей и введение систематических поправок за счет влияющих факторов, позволит повысить точность центрирования подземной маркшейдерской сети. Теоретические исследования, лабораторные и шахтные испытания свидетельствуют о достаточной точности гравитационного способа центрирования подземной опорной маркшейдерской сети.

Высокая конкурентоспособность гравитационного способа подтверждена ожидаемым экономическим эффектом в размере до 60 тыс.грн. при одном проектировании за счет сокращения продолжительности простоя ствола и исключения необходимости приобретения дорогостоящего оборудования для проектирования известным способом.

Практическая ценность характеризуется :

— вдвое сокращенным временем выполнения проектирования за счет исключения необходимости спуска, подъема отвесов и наблюдения за их колебаниями;

— втрое уменьшенной трудоемкостью примыкания на поверхности за счет использования новой методики примыкания на земной поверхности способом створа трех точек;

— значительно повышенной точностью центрирования подземной сети за счет новой методики расчета допустимой погрешности и введения систематических поправок при проектировании гравитационным способом.

Инвестиционная привлекательность подтверждена объемом финансирования необходимого для промышленного внедрения, который в 3 раза меньше объема экономического эффекта и составляет 20 тыс. грн. при ориентировании одной шахты, дает надежду на его внедрение в угольной и горнорудной промышленности.

Разработанный новый гравитационный способ выполнен для внедрения на шахтах угольной и горно-рудной промышленности, а так же при строительстве метрополитенов; использования его маркшейдерами горных предприятий, для использования студентами в учебном процессе на лабораторных работах по ориентированию шахт, во время прохождения учебной маркшейдерской практики, при выполнении НИРС, курсовом и дипломном проектировании.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

1. Изложите суть гравитационного способа центрирования подземной опорной сети.
2. Перечислите случайные погрешности, влияющие на траекторию падающего шарика. Как можно их уменьшить?
3. Перечислите систематические погрешности, влияющие на точность центрирования подземной маркшейдерской сети. От чего они зависят?
4. Приведите формулу поправки за схождение отвесных линий к центру Земли.
5. Напишите формулу поправки за переход на плоскость.
6. Напишите формулу поправки восточного отклонения траектории шарика за счет вращения Земли.
7. На каком расстоянии от крепи ствола нужно устанавливать направляющее отверстие для пуска шарика, чтобы не учитывать поправку за счет гравитационного взаимодействия с крепью ствола?
8. Правила безопасности при гравитационном центрировании подземной опорной сети.
9. Приведите преимущества гравитационного способа проектирования плановых координат с поверхности на ориентируемый горизонт.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Маркшейдерські роботи на вугільних шахтах та розрізах : інструкція /Ред. коміс.: М.Є. Коплонець (голова) [та ін.] — Донецьк : ТОВ «Алан», 2001, — 264с.
2. Лисица И. Г. О проектировании отвесами при геометрическом ориентировании шахт / И. Г. Лисица // Горный журнал. — М., 1963. — № 8. — С. 49–52.
3. Бегичев С. В. Лазерное центрирование подземных маркшейдерских опорных сетей // Из. вузов. Горный журнал. Св-к. — 1988. — № 9. — С. 35–38
4. Бегичев С. В. Лазерный проектор точки на шахтный горизонт / С. В. Бегичев, А.Н. Кузнецов / Тез. докл. научн.-техн. конф. г. Омск, 1985. — С.5
5. Беженцев В. И. Центрирование и ориентирование технологического комплекса глубоких шахт / В. И. Беженцев // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. — Донецьк.,2010. — С. 95–100.
6. Левчук Г. П. Прикладная геодезия. Геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений : учебн. для вузов. / Г. П. Левчук, В. Е. Новак, Н. Н. Лебедев. — М. : Недра.,1983. — 400 с.
7. Маркшейдерское дело : учеб. для вузов / И. Н. Ушаков, Д. А. Козаковский, Г. А. Кротов [и др.] ; под ред. И. Н. Ушакова. — 3-е изд. перераб. и доп. — М. : Недра, 1989. — 437 с. (Часть I).
8. Маркшейдерское дело : учеб. для вузов / Д. Н. Оглоблин, Г. И. Герасименко, А. Г. Акимов [и др.]. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Недра, 1981. — 704 с.
9. Крякунов Н. А. Поведение шахтного отвеса / Н. А. Крякунов // Сборник ХХХ: Исследования по вопросам маркшейдерского дела. — М. : Углетехиздат, 1956. — С. 154–194.
10. Пат. 108671 СССР. Способ ориентирования шахты теодолитом ТГ-3. / Т. Омаров. — заявл. 15.09.1956; опубл. 01.01.1957., Бюл. № 1.

11. Пат. 56401 U Україна, МПК G 01 C 15/12. Спосіб проектування координат точок з поверхні на горизонт при орієнтуванні шахт. / В. Г. Ларченко, О. О. Денисенко; заявитель и патентообладатель Донбаський державний технічний університет. — №u201008687; заявл. 12.07.10; опубл. 10.01.11., Бюл. № 1.

12. Ларченко В. Г. Гравитационный способ проектирования плановых координат с земной поверхности в шахту через вертикальные стволы/ В. Г. Ларченко, Е. А. Денисенко // «Уголь Украины». — 2011. — №10. — С. 45–48.

13. Ларченко В. Г. Новый способ проектирования плановых координат с поверхности на горизонт ориентирования шахт/ В. Г. Ларченко, Е. А. Денисенко / М. — Горный журнал. —№8. — 2012. С. 85–88.

14. Иваненко Д. Д. Гравитация. / Д. Д. Иваненко, Г. А. Сардана-швили. — 3-е изд. — М., 2008. — 200 с.

15. Сивухин Д. В. Общий курс физики. —/ Д. В. Сивухин. — 4-е изд. — М. : Физматлит, 2002. — Т. I. Механика. — 792 с.

16. Поклад Г. Г. Геодезия : учеб. для вузов. / Г. Г. Поклад. — М. : Недра, 1988. — 304 с.

17. Яковлев Н. В. Высшая геодезия. — Москва. : Недра, 1989. — 454 с.

18. Теоретическая механика : метод. указания для студ. заоч. вузов / Под. ред. С. М. Тарга. — 4-е изд. — М. : Высшая школа, 1989. — 137 с.

19. Картозия Б. Л. Высшее горное образование: шахтное и подземное строительство : учебн. для вузов. / Б. Л. Картозия, Б. И. Федунец, М. Н. Шуплик [и др.]. — 2-е изд. перераб. и доп. — М. : Издательство академии горных наук, 2001. — Т.1.— 365 с.

20. Журавлев А. В. Вода / А. В. Журавлев. — М. : Бук Хаус, 2005. — 294 с. : ил. — (Многоликая планета). — ISBN 5-98641-008-4.

21. Ландау Л. Д. Краткий курс теоретической физики : в 2-х томах / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. — М. : Наука, 1972. — Т. II. Квантовая механика. — 368 с.

22. Енохович А. С. Краткий справочник по физике. — М. : «Высшая школа», 1976. — 288 с.

23. Митрофанов А. Полеты в струе и наяву // Журнал Квант. — 1991. — № 9. — С. 2–10.

24. Маркшейдерское дело : учеб. для вузов / И. Н. Ушаков, Д. А. Козаковский, Г. А. Кротов [и др.] ; под ред. И. Н. Ушакова. — 3-е изд. перераб. и доп. — М. : Недра, 1989. — 437 с. (часть II).

25. Ларченко В. Г. Анализ допустимой погрешности ориентирования шахт через два вертикальных ствола / В. Г. Ларченко, Е. А. Денисенко // Сб. науч. трудов ДонГТУ. — 2013. — Вып. 39.— С. 60–64.

26. Крылов Н. Н. Начертательная геометрия : учеб. для строит. специал. вузов / Н. Н. Крылов, В. Е. Васильев, Г. С. Иконникова, В. Л. Николаев ; под ред Крылова Н. Н. — 9-е изд. — М. : Высшая школа, 2010.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

**Поправки за схождение отвесных линий к центру Земли ΔL , мм,
в зависимости от расстояния между ними L и глубины ориентируемого горизонта H**

$H, м \backslash L, м$	5	10	20	30	40	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
100	0,08	0,16	0,31	0,47	0,63	0,78	1,57	3,14	4,71	6,28	7,85	9,42	10,99	12,56	14,13	15,70
200	0,16	0,31	0,63	0,94	1,26	1,57	3,14	6,28	9,42	12,56	15,70	18,84	21,97	25,11	28,25	31,39
300	0,24	0,47	0,94	1,41	1,88	2,35	4,71	9,42	14,13	18,84	23,54	28,25	32,96	37,67	42,38	47,09
400	0,31	0,63	1,26	1,88	2,51	3,14	6,28	12,56	18,84	25,11	31,39	37,67	43,95	50,23	56,51	62,78
500	0,39	0,78	1,57	2,35	3,14	3,92	7,85	15,70	23,54	31,39	39,24	47,09	54,94	62,78	70,63	78,48
600	0,47	0,94	1,88	2,83	3,77	4,71	9,42	18,84	28,25	37,67	47,09	56,51	65,92	75,34	84,76	94,18
700	0,55	1,10	2,20	3,30	4,39	5,49	10,99	21,97	32,96	43,95	54,94	65,92	76,91	87,90	98,88	109,87
800	0,63	1,26	2,51	3,77	5,02	6,28	12,56	25,11	37,67	50,23	62,78	75,34	87,90	100,45	113,01	125,57
900	0,71	1,41	2,83	4,24	5,65	7,06	14,13	28,25	42,38	56,51	70,63	84,76	98,88	113,01	127,14	141,26
1000	0,78	1,57	3,14	4,71	6,28	7,85	15,70	31,39	47,09	62,78	78,48	94,18	109,87	125,57	141,26	156,96
1100	0,86	1,73	3,45	5,18	6,91	8,63	17,27	34,53	51,80	69,06	86,33	103,59	120,86	138,12	155,39	172,65
1200	0,94	1,88	3,77	5,65	7,53	9,42	18,84	37,67	56,51	75,34	94,18	113,01	131,85	150,68	169,52	188,35
1300	1,02	2,04	4,08	6,12	8,16	10,20	20,40	40,81	61,21	81,62	102,02	122,43	142,83	163,24	183,64	204,05
1400	1,10	2,20	4,39	6,59	8,79	10,99	21,97	43,95	65,92	87,90	109,87	131,85	153,82	175,79	197,77	219,74
1500	1,18	2,35	4,71	7,06	9,42	11,77	23,54	47,09	70,63	94,18	117,72	141,26	164,81	188,35	211,89	235,44

ПРИЛОЖЕНИЕ А

**Поправки за схождение отвесных линий к центру Земли ΔL , мм,
в зависимости от расстояния между ними L и глубины ориентируемого горизонта H**

L, m H, m	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300
100	17,27	18,84	20,40	21,97	23,54	25,11	26,68	28,25	29,82	31,39	32,96	34,53	36,10
200	34,53	37,67	40,81	43,95	47,09	50,23	53,37	56,51	59,64	62,78	65,92	69,06	72,20
300	51,80	56,51	61,21	65,92	70,63	75,34	80,05	84,76	89,47	94,18	98,88	103,59	108,30
400	69,06	75,34	81,62	87,90	94,18	100,45	106,73	113,01	119,29	125,57	131,85	138,12	144,40
500	86,33	94,18	102,02	109,87	117,72	125,57	133,41	141,26	149,11	156,96	164,81	172,65	180,50
600	103,59	113,01	122,43	131,85	141,26	150,68	160,10	169,52	178,93	188,35	197,77	207,19	216,60
700	120,86	131,85	142,83	153,82	164,81	175,79	186,78	197,77	208,75	219,74	230,73	241,72	252,70
800	138,12	150,68	163,24	175,79	188,35	200,91	213,46	226,02	238,58	251,13	263,69	276,25	288,80
900	155,39	169,52	183,64	197,77	211,89	226,02	240,15	254,27	268,40	282,53	296,65	310,78	324,90
1000	172,65	188,35	204,05	219,74	235,44	251,13	266,83	282,53	298,22	313,92	329,61	345,31	361,00
1100	189,92	207,19	224,45	241,72	258,98	276,25	293,51	310,78	328,04	345,31	362,57	379,84	397,11
1200	207,19	226,02	244,86	263,69	282,53	301,36	320,20	339,03	357,87	376,70	395,54	414,37	433,21
1300	224,45	244,86	265,26	285,66	306,07	326,47	346,88	367,28	387,69	408,09	428,50	448,90	469,31
1400	241,72	263,69	285,66	307,64	329,61	351,59	373,56	395,54	417,51	439,48	461,46	483,43	505,41
1500	258,98	282,53	306,07	329,61	353,16	376,70	400,24	423,79	447,33	470,88	494,42	517,96	541,51

ПРИЛОЖЕНИЕ А

**Поправки за схождение отвесных линий к центру Земли ΔL , мм,
в зависимости от расстояния между ними L и глубины ориентируемого горизонта H**

L, м H, м	2400	2500	2600	2700	2800	2900	3000	3100	3200	3300	3400	3500	3600
100	37,67	39,24	40,81	42,38	43,95	45,52	47,09	48,66	50,23	51,80	53,37	54,94	56,51
200	75,34	78,48	81,62	84,76	87,90	91,04	94,18	97,31	100,45	103,59	106,73	109,87	113,01
300	113,01	117,72	122,43	127,14	131,85	136,55	141,26	145,97	150,68	155,39	160,10	164,81	169,52
400	150,68	156,96	163,24	169,52	175,79	182,07	188,35	194,63	200,91	207,19	213,46	219,74	226,02
500	188,35	196,20	204,05	211,89	219,74	227,59	235,44	243,29	251,13	258,98	266,83	274,68	282,53
600	226,02	235,44	244,86	254,27	263,69	273,11	282,53	291,94	301,36	310,78	320,20	329,61	339,03
700	263,69	274,68	285,66	296,65	307,64	318,63	329,61	340,60	351,59	362,57	373,56	384,55	395,54
800	301,36	313,92	326,47	339,03	351,59	364,14	376,70	389,26	401,81	414,37	426,93	439,48	452,04
900	339,03	353,16	367,28	381,41	395,54	409,66	423,79	437,91	452,04	466,17	480,29	494,42	508,55
1000	376,70	392,40	408,09	423,79	439,48	455,18	470,88	486,57	502,27	517,96	533,66	549,35	565,05
1100	414,37	431,64	448,90	466,17	483,43	500,70	517,96	535,23	552,49	569,76	587,02	604,29	621,56
1200	452,04	470,88	489,71	508,55	527,38	546,22	565,05	583,89	602,72	621,56	640,39	659,23	678,06
1300	489,71	510,12	530,52	550,92	571,33	591,73	612,14	632,54	652,95	673,35	693,76	714,16	734,57
1400	527,38	549,35	571,33	593,30	615,28	637,25	659,23	681,20	703,17	725,15	747,12	769,10	791,07
1500	565,05	588,59	612,14	635,68	659,23	682,77	706,31	729,86	753,40	776,94	800,49	824,03	847,58

ПРИЛОЖЕНИЕ А

**Поправки за схождение отвесных линий к центру Земли ΔL , мм,
в зависимости от расстояния между ними L и глубины ориентируемого горизонта H**

L, m H, m	3700	3800	3900	4000	4100	4200	4300	4400	4500	4600	4700	4800	4900
100	58,07	59,64	61,21	62,78	64,35	65,92	67,49	69,06	70,63	72,20	73,77	75,34	76,91
200	116,15	119,29	122,43	125,57	128,71	131,85	134,98	138,12	141,26	144,40	147,54	150,68	153,82
300	174,22	178,93	183,64	188,35	193,06	197,77	202,48	207,19	211,89	216,60	221,31	226,02	230,73
400	232,30	238,58	244,86	251,13	257,41	263,69	269,97	276,25	282,53	288,80	295,08	301,36	307,64
500	290,37	298,22	306,07	313,92	321,76	329,61	337,46	345,31	353,16	361,00	368,85	376,70	384,55
600	348,45	357,87	367,28	376,70	386,12	395,54	404,95	414,37	423,79	433,21	442,62	452,04	461,46
700	406,52	417,51	428,50	439,48	450,47	461,46	472,45	483,43	494,42	505,41	516,39	527,38	538,37
800	464,60	477,15	489,71	502,27	514,82	527,38	539,94	552,49	565,05	577,61	590,16	602,72	615,28
900	522,67	536,80	550,92	565,05	579,18	593,30	607,43	621,56	635,68	649,81	663,93	678,06	692,19
1000	580,75	596,44	612,14	627,83	643,53	659,23	674,92	690,62	706,31	722,01	737,71	753,40	769,10
1100	638,82	656,09	673,35	690,62	707,88	725,15	742,41	759,68	776,94	794,21	811,48	828,74	846,01
1200	696,90	715,73	734,57	753,40	772,24	791,07	809,91	828,74	847,58	866,41	885,25	904,08	922,92
1300	754,97	775,38	795,78	816,18	836,59	856,99	877,40	897,80	918,21	938,61	959,02	979,42	999,83
1400	813,05	835,02	856,99	878,97	900,94	922,92	944,89	966,86	988,84	1010,81	1032,79	1054,76	1076,74
1500	871,12	894,66	918,21	941,75	965,29	988,84	1012,38	1035,93	1059,47	1083,01	1106,56	1130,10	1153,65

ПРИЛОЖЕНИЕ А

**Поправки за схождение отвесных линий к центру Земли ΔL , мм,
в зависимости от расстояния между ними L и глубины ориентируемого горизонта H**

L, m H, m	5000	5100	5200	5300	5400	5500	5600	5700	5800	5900	6000	6100	6200
100	78,48	80,05	81,62	83,19	84,76	86,33	87,90	89,47	91,04	92,61	94,18	95,74	97,31
200	156,96	160,10	163,24	166,38	169,52	172,65	175,79	178,93	182,07	185,21	188,35	191,49	194,63
300	235,44	240,15	244,86	249,56	254,27	258,98	263,69	268,40	273,11	277,82	282,53	287,23	291,94
400	313,92	320,20	326,47	332,75	339,03	345,31	351,59	357,87	364,14	370,42	376,70	382,98	389,26
500	392,40	400,24	408,09	415,94	423,79	431,64	439,48	447,33	455,18	463,03	470,88	478,72	486,57
600	470,88	480,29	489,71	499,13	508,55	517,96	527,38	536,80	546,22	555,63	565,05	574,47	583,89
700	549,35	560,34	571,33	582,32	593,30	604,29	615,28	626,26	637,25	648,24	659,23	670,21	681,20
800	627,83	640,39	652,95	665,50	678,06	690,62	703,17	715,73	728,29	740,84	753,40	765,96	778,51
900	706,31	720,44	734,57	748,69	762,82	776,94	791,07	805,20	819,32	833,45	847,58	861,70	875,83
1000	784,79	800,49	816,18	831,88	847,58	863,27	878,97	894,66	910,36	926,06	941,75	957,45	973,14
1100	863,27	880,54	897,80	915,07	932,33	949,60	966,86	984,13	1001,40	1018,66	1035,93	1053,19	1070,46
1200	941,75	960,59	979,42	998,26	1017,09	1035,93	1054,76	1073,60	1092,43	1111,27	1130,10	1148,94	1167,77
1300	1020,23	1040,63	1061,04	1081,44	1101,85	1122,25	1142,66	1163,06	1183,47	1203,87	1224,28	1244,68	1265,09
1400	1098,71	1120,68	1142,66	1164,63	1186,61	1208,58	1230,55	1252,53	1274,50	1296,48	1318,45	1340,43	1362,40
1500	1177,19	1200,73	1224,28	1247,82	1271,36	1294,91	1318,45	1342,00	1365,54	1389,08	1412,63	1436,17	1459,71

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Поправки за схождение отвесных линий к центру Земли ΔL , мм,
в зависимости от расстояния между ними L и глубины ориентируемого горизонта H

L, m H, m	6300	6400	6500	6600	6700	6800	6900	7000	7100	7200	7300	7400	7500
100	98,88	100,45	102,02	103,59	105,16	106,73	108,30	109,87	111,44	113,01	114,58	116,15	117,72
200	197,77	200,91	204,05	207,19	210,32	213,46	216,60	219,74	222,88	226,02	229,16	232,30	235,44
300	296,65	301,36	306,07	310,78	315,49	320,20	324,90	329,61	334,32	339,03	343,74	348,45	353,16
400	395,54	401,81	408,09	414,37	420,65	426,93	433,21	439,48	445,76	452,04	458,32	464,60	470,88
500	494,42	502,27	510,12	517,96	525,81	533,66	541,51	549,35	557,20	565,05	572,90	580,75	588,59
600	593,30	602,72	612,14	621,56	630,97	640,39	649,81	659,23	668,64	678,06	687,48	696,90	706,31
700	692,19	703,17	714,16	725,15	736,14	747,12	758,11	769,10	780,08	791,07	802,06	813,05	824,03
800	791,07	803,63	816,18	828,74	841,30	853,85	866,41	878,97	891,52	904,08	916,64	929,19	941,75
900	889,95	904,08	918,21	932,33	946,46	960,59	974,71	988,84	1002,96	1017,09	1031,22	1045,34	1059,47
1000	988,84	1004,53	1020,23	1035,93	1051,62	1067,32	1083,01	1098,71	1114,41	1130,10	1145,80	1161,49	1177,19
1100	1087,72	1104,99	1122,25	1139,52	1156,78	1174,05	1191,32	1208,58	1225,85	1243,11	1260,38	1277,64	1294,91
1200	1186,61	1205,44	1224,28	1243,11	1261,95	1280,78	1299,62	1318,45	1337,29	1356,12	1374,96	1393,79	1412,63
1300	1285,49	1305,89	1326,30	1346,70	1367,11	1387,51	1407,92	1428,32	1448,73	1469,13	1489,54	1509,94	1530,35
1400	1384,37	1406,35	1428,32	1450,30	1472,27	1494,25	1516,22	1538,19	1560,17	1582,14	1604,12	1626,09	1648,06
1500	1483,26	1506,80	1530,35	1553,89	1577,43	1600,98	1624,52	1648,06	1671,61	1695,15	1718,70	1742,24	1765,78

ПРИЛОЖЕНИЕ А

**Поправки за схождение отвесных линий к центру Земли ΔL , мм,
в зависимости от расстояния между ними L и глубины ориентируемого горизонта H**

L, m H, m	7600	7700	7800	7900	8000	8100	8200	8300	8400	8500	8600	8700	8800
100	119,29	120,86	122,43	124,00	125,57	127,14	128,71	130,28	131,85	133,41	134,98	136,55	138,12
200	238,58	241,72	244,86	247,99	251,13	254,27	257,41	260,55	263,69	266,83	269,97	273,11	276,25
300	357,87	362,57	367,28	371,99	376,70	381,41	386,12	390,83	395,54	400,24	404,95	409,66	414,37
400	477,15	483,43	489,71	495,99	502,27	508,55	514,82	521,10	527,38	533,66	539,94	546,22	552,49
500	596,44	604,29	612,14	619,99	627,83	635,68	643,53	651,38	659,23	667,07	674,92	682,77	690,62
600	715,73	725,15	734,57	743,98	753,40	762,82	772,24	781,65	791,07	800,49	809,91	819,32	828,74
700	835,02	846,01	856,99	867,98	878,97	889,95	900,94	911,93	922,92	933,90	944,89	955,88	966,86
800	954,31	966,86	979,42	991,98	1004,53	1017,09	1029,65	1042,20	1054,76	1067,32	1079,87	1092,43	1104,99
900	1073,60	1087,72	1101,85	1115,98	1130,10	1144,23	1158,35	1172,48	1186,61	1200,73	1214,86	1228,99	1243,11
1000	1192,88	1208,58	1224,28	1239,97	1255,67	1271,36	1287,06	1302,76	1318,45	1334,15	1349,84	1365,54	1381,23
1100	1312,17	1329,44	1346,70	1363,97	1381,23	1398,50	1415,77	1433,03	1450,30	1467,56	1484,83	1502,09	1519,36
1200	1431,46	1450,30	1469,13	1487,97	1506,80	1525,64	1544,47	1563,31	1582,14	1600,98	1619,81	1638,65	1657,48
1300	1550,75	1571,15	1591,56	1611,96	1632,37	1652,77	1673,18	1693,58	1713,99	1734,39	1754,80	1775,20	1795,61
1400	1670,04	1692,01	1713,99	1735,96	1757,94	1779,91	1801,88	1823,86	1845,83	1867,81	1889,78	1911,75	1933,73
1500	1789,33	1812,87	1836,41	1859,96	1883,50	1907,05	1930,59	1954,13	1977,68	2001,22	2024,76	2048,31	2071,85

ПРИЛОЖЕНИЕ А

**Поправки за схождение отвесных линий к центру Земли ΔL , мм,
в зависимости от расстояния между ними L и глубины ориентируемого горизонта H**

$L, м$ $H, м$	8900	9000	9100	9200	9300	9400	9500	9600	9700	9800	9900	10000
100	139,69	141,26	142,83	144,40	145,97	147,54	149,11	150,68	152,25	153,82	155,39	156,96
200	279,39	282,53	285,66	288,80	291,94	295,08	298,22	301,36	304,50	307,64	310,78	313,92
300	419,08	423,79	428,50	433,21	437,91	442,62	447,33	452,04	456,75	461,46	466,17	470,88
400	558,77	565,05	571,33	577,61	583,89	590,16	596,44	602,72	609,00	615,28	621,56	627,83
500	698,47	706,31	714,16	722,01	729,86	737,71	745,55	753,40	761,25	769,10	776,94	784,79
600	838,16	847,58	856,99	866,41	875,83	885,25	894,66	904,08	913,50	922,92	932,33	941,75
700	977,85	988,84	999,83	1010,81	1021,80	1032,79	1043,77	1054,76	1065,75	1076,74	1087,72	1098,71
800	1117,54	1130,10	1142,66	1155,21	1167,77	1180,33	1192,88	1205,44	1218,00	1230,55	1243,11	1255,67
900	1257,24	1271,36	1285,49	1299,62	1313,74	1327,87	1342,00	1356,12	1370,25	1384,37	1398,50	1412,63
1000	1396,93	1412,63	1428,32	1444,02	1459,71	1475,41	1491,11	1506,80	1522,50	1538,19	1553,89	1569,59
1100	1536,62	1553,89	1571,15	1588,42	1605,69	1622,95	1640,22	1657,48	1674,75	1692,01	1709,28	1726,54
1200	1676,32	1695,15	1713,99	1732,82	1751,66	1770,49	1789,33	1808,16	1827,00	1845,83	1864,67	1883,50
1300	1816,01	1836,41	1856,82	1877,22	1897,63	1918,03	1938,44	1958,84	1979,25	1999,65	2020,06	2040,46
1400	1955,70	1977,68	1999,65	2021,63	2043,60	2065,57	2087,55	2109,52	2131,50	2153,47	2175,45	2197,42
1500	2095,40	2118,94	2142,48	2166,03	2189,57	2213,12	2236,66	2260,20	2283,75	2307,29	2330,83	2354,38

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

**Поправки в расстояния за переход с эллипсоида на плоскость $\Delta L_{пл}$, мм,
в зависимости от расстояния между проектируемыми точками L и средней их ординаты Y**

Y, км L, м	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3
100	0	0	0	0	1	1	2	2	2	3	4	4	5	6	7
200	0	0	1	1	2	2	3	4	5	6	7	9	10	12	14
300	0	0	1	1	2	3	5	6	7	9	11	13	16	18	21
400	0	0	1	2	3	4	6	8	10	12	15	18	21	24	28
500	0	1	1	2	4	6	8	10	12	15	19	22	26	30	35
600	0	1	2	3	5	7	9	12	15	18	22	27	31	36	42
700	0	1	2	3	5	8	11	14	17	22	26	31	36	42	49
800	0	1	2	4	6	9	12	16	20	25	30	35	42	48	55
900	0	1	2	4	7	10	14	18	22	28	34	40	47	54	62
1000	0	1	3	5	8	11	15	20	25	31	37	44	52	60	69
2000	1	2	6	10	15	22	30	39	50	62	75	89	104	121	139
3000	1	4	8	15	23	33	45	59	75	92	112	133	156	181	208
4000	1	5	11	20	31	44	60	79	100	123	149	177	208	241	277
5000	2	6	14	25	38	55	75	99	125	154	186	222	260	302	346
6000	2	7	17	30	46	67	91	118	150	185	224	266	312	362	416
7000	2	9	19	34	54	78	106	138	175	216	261	310	364	423	485
8000	2	10	22	39	62	89	121	158	200	246	298	355	416	483	554
9000	3	11	25	44	69	100	136	177	224	277	335	399	468	543	624
10000	3	12	28	49	77	111	151	197	249	308	373	443	520	604	693

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Поправки в расстояния за переход с эллипсоида на плоскость $\Delta L_{пл}$, мм,
в зависимости от расстояния между проектируемыми точками L и средней их ординаты Y

$Y, \text{ км}$ $L, \text{ м}$	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
5	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
50	4	4	5	6	6	7	7	8	9	10	10	11	12	13	14
100	8	9	10	11	12	14	15	16	18	19	21	22	24	26	28
200	16	18	20	22	25	27	30	33	35	38	42	45	48	52	55
300	24	27	30	33	37	41	45	49	53	58	62	67	72	78	83
400	32	36	40	44	49	54	60	65	71	77	83	90	97	104	111
500	39	44	50	56	62	68	75	81	89	96	104	112	121	129	139
600	47	53	60	67	74	81	89	98	106	115	125	135	145	155	166
700	55	62	70	78	86	95	104	114	124	135	146	157	169	181	194
800	63	71	80	89	99	109	119	130	142	154	167	180	193	207	222
900	71	80	90	100	111	122	134	147	160	173	187	202	217	233	249
1000	79	89	100	111	123	136	149	163	177	192	208	224	241	259	277
2000	158	178	200	222	246	272	298	326	355	385	416	449	483	518	554
3000	237	267	299	334	370	407	447	489	532	577	625	673	724	777	831
4000	315	356	399	445	493	543	596	652	710	770	833	898	966	1036	1109
5000	394	445	499	556	616	679	745	815	887	962	1041	1122	1207	1295	1386
6000	473	534	599	667	739	815	894	977	1064	1155	1249	1347	1449	1554	1663
7000	552	623	698	778	862	951	1043	1140	1242	1347	1457	1571	1690	1813	1940
8000	631	712	798	889	985	1086	1192	1303	1419	1540	1665	1796	1931	2072	2217
9000	710	801	898	1001	1109	1222	1341	1466	1596	1732	1874	2020	2173	2331	2494
10000	788	890	998	1112	1232	1358	1490	1629	1774	1925	2082	2245	2414	2590	2772

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

**Поправки в расстояния за переход с эллипсоида на плоскость $\Delta L_{пл}$, мм,
в зависимости от расстояния между проектируемыми точками L и средней их ординаты Y**

Y, км L, м	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200	205	210	215	220	225
5	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
50	15	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	28	30	31
100	30	32	34	36	38	40	42	44	47	49	52	54	57	60	62
200	59	63	67	71	75	80	84	89	94	99	104	109	114	119	125
300	89	95	101	107	113	120	126	133	141	148	155	163	171	179	187
400	118	126	134	142	151	160	169	178	187	197	207	217	228	238	249
500	148	158	168	178	189	200	211	222	234	246	259	272	285	298	312
600	178	189	201	214	226	239	253	267	281	296	311	326	342	358	374
700	207	221	235	249	264	279	295	311	328	345	362	380	399	417	437
800	237	252	268	285	302	319	337	356	375	394	414	435	456	477	499
900	266	284	302	320	340	359	379	400	422	443	466	489	512	537	561
1000	296	315	335	356	377	399	422	445	468	493	518	543	569	596	624
2000	592	631	671	712	754	798	843	889	937	985	1035	1086	1139	1192	1247
3000	888	946	1006	1068	1132	1197	1265	1334	1405	1478	1553	1630	1708	1789	1871
4000	1184	1261	1341	1424	1509	1596	1686	1779	1874	1971	2071	2173	2278	2385	2494
5000	1480	1577	1677	1780	1886	1996	2108	2223	2342	2464	2588	2716	2847	2981	3118
6000	1776	1892	2012	2136	2263	2395	2529	2668	2810	2956	3106	3259	3416	3577	3742
7000	2072	2207	2348	2492	2641	2794	2951	3113	3279	3449	3624	3803	3986	4173	4365
8000	2368	2523	2683	2848	3018	3193	3373	3557	3747	3942	4141	4346	4555	4770	4989
9000	2663	2838	3018	3204	3395	3592	3794	4002	4216	4434	4659	4889	5125	5366	5612
10000	2959	3153	3354	3560	3772	3991	4216	4447	4684	4927	5177	5432	5694	5962	6236

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Поправки в расстояния за переход с эллипсоида на плоскость $\Delta L_{пл}$, мм,
в зависимости от расстояния между проектируемыми точками L и средней их ординаты Y

$\begin{matrix} Y, \text{ км} \\ L, \text{ м} \end{matrix}$	230	235	240	245	250	255	260	265	270	275	280	285	290	295	300
5	3	3	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	6
50	33	34	35	37	38	40	42	43	45	47	48	50	52	54	55
100	65	68	71	74	77	80	83	87	90	93	97	100	104	107	111
200	130	136	142	148	154	160	167	173	180	186	193	200	207	214	222
300	195	204	213	222	231	240	250	260	269	279	290	300	311	322	333
400	261	272	284	296	308	320	333	346	359	373	386	400	414	429	443
500	326	340	355	370	385	400	416	433	449	466	483	500	518	536	554
600	391	408	426	444	462	481	500	519	539	559	579	600	622	643	665
700	456	476	497	518	539	561	583	606	629	652	676	700	725	750	776
800	521	544	568	592	616	641	666	692	718	745	773	800	829	858	887
900	586	612	639	665	693	721	749	779	808	838	869	900	932	965	998
1000	652	680	710	739	770	801	833	865	898	932	966	1001	1036	1072	1109
2000	1303	1361	1419	1479	1540	1602	1665	1730	1796	1863	1931	2001	2072	2144	2217
3000	1955	2041	2129	2218	2310	2403	2498	2595	2694	2795	2897	3002	3108	3216	3326
4000	2606	2721	2838	2958	3079	3204	3331	3460	3592	3726	3863	4002	4144	4288	4434
5000	3258	3401	3548	3697	3849	4005	4163	4325	4490	4658	4829	5003	5180	5360	5543
6000	3910	4082	4257	4436	4619	4806	4996	5190	5388	5589	5794	6003	6216	6432	6652
7000	4561	4762	4967	5176	5389	5607	5829	6055	6286	6521	6760	7004	7252	7504	7760
8000	5213	5442	5676	5915	6159	6408	6662	6920	7184	7452	7726	8004	8288	8576	8869
9000	5865	6122	6386	6654	6929	7209	7494	7785	8082	8384	8692	9005	9323	9648	9978
10000	6516	6803	7095	7394	7699	8010	8327	8650	8980	9315	9657	10005	10359	10720	11086

ПРИЛОЖЕНИЕ В

**Поправки за отклонение траектории шарика
от направления отвесной линии ΔY , ΔX
в зависимости от глубины ориентируемого горизонта Н**

Горизонт ориентирования, Н, м	Продолжительность падения шарика, $t_{\text{шар}}$, с	ΔY , мм	ΔX , мм
100	2,26	7,24	0,0004
200	3,19	20,50	0,0018
300	3,91	37,67	0,0040
400	4,51	58,00	0,0071
500	5,64	90,56	0,0139
600	6,76	130,40	0,0240
700	7,89	177,49	0,0381
800	9,02	231,82	0,0569
900	10,15	293,39	0,0810
1000	11,27	362,21	0,1112
1100	12,40	438,26	0,1480
1200	13,53	521,56	0,1921
1300	14,65	612,09	0,2442
1400	15,78	709,88	0,3051
1500	16,91	814,90	0,3752

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Ларченко Віталій Григорович
Денисенко Олена Олександрівна

ПРОЕКТУВАННЯ ПЛАНОВИХ КООРДИНАТ ТОЧОК
З ПОВЕРХНІ В ШАХТУ
ПРИ ОРІЕНТУВАННІ ЧЕРЕЗ ВЕРТИКАЛЬНІ СТВОЛИ

Навчальний посібник

(російською мовою)

За редакцією авторів

Комп'ютерне верстання

Н. Б. Трофімова

Художнє оформлення обкладинки

А. А. Дудка

Формат 60×84¹/₁₆. Ум. друк. арк. 8,6.

Зам. № 670. Наклад 30 пр.

Видавець та виготовлювач:

Донбаський державний технічний університет

пр. Леніна, 16, м. Алчевськ, Луганська обл., 94204.

Видавництво «ЛАДО», ауд. 113, II корпус, т/факс: (06442) 2-58-59

Web-site: www.testlado.com.ua, E-mail: info.lado@mail.ru

Свідоцтво суб'єкта видавничі справи ДК, №2010 від 12.11.2004