

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Учебное пособие

Рекомендовано ученым советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательной программе высшего образования по специальности 21.05.02 Прикладная геология

Оренбург

2020

УДК 550.83:553.3/.9(075.8)

ББК 26.34Я73

Г36

Рецензент – кандидат геолого-минералогических наук,
доцент А.П. Бутолин

Авторы: О.Ф. Кузнецов, И.В. Куделина, Т.В. Леонтьева, М.В. Фатюнина

Г36 Геофизические методы поисков месторождений полезных ископаемых [Электронный ресурс] : учебное пособие для обучающихся по образовательной программе высшего образования по специальности 21.05.02 Прикладная геология / О. Ф. Кузнецов [и др.]; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Оренбург : ОГУ. - 2020. - 106 с- Загл. с тит. экрана.
ISBN 978-5-7410-2474-4

В учебном пособии изложен материал по изучению вариаций гравитационного поля Земли с целью контроля эксплуатации искусственных газохранилищ, природных залежей нефти и газа, а также при поисках рудных и нерудных полезных ископаемых.

Учебное пособие предназначено для обучающихся по программам высшего образования по специальности 21.05.02 Прикладная геология, выполнения лабораторных и исследовательских работ. Учебное пособие может быть рекомендовано к использованию инженерно-техническими работниками геологической отрасли.

УДК 550.83:553.3/.9(075.8)

ББК 26.34Я73

© Кузнецов О.Ф.,
Куделина И.В.,
Леонтьева Т.В.,
Фатюнина М.В., 2020

© ОГУ, 2020

ISBN 978-5-7410-2474-4

Содержание

Введение.....	5
1 Сведения из гравиметрии.....	7
1.1 Общие сведения.....	7
1.2 Нормальное гравитационное поле.....	10
1.3 Аномальное гравитационное поле	11
2 Определение ускорения силы тяжести	14
2.1 Общие сведения.....	14
2.2 Гравиметрические приборы.....	16
2.3 Гравиметр ГНШ-МТ2 (ГМТ-1).....	19
2.4 Методика определения ускорения силы тяжести с точностью 0,5 и 1,0 мГал	22
2.5 Методика определения ускорения силы тяжести с точностью 2 и 5 мГал	35
2.6 Возможные неисправности гравиметра ГНК-К2 и их устранение	40
2.7 Возможные неисправности гравиметра ГНШ-МТ2 и их устранение	43
2.8 Регулировки и исследования гравиметров ГНК-К2 и ГНШ-МТ2 20.5.4 ..	44
2.9 Проверка и регулировка уровней гравиметров на минимум чувствительности к наклонам.....	45
2.10 Перестройка диапазона гравиметров	47
2.11 Определение цены оборота счетчика и коэффициента нелинейности шкалы методом наблюдения на пунктах с известной разностью силы тяжести	49
2.12 Определение цены оборота счетчика методом наклона	53
2.13 Определение цены оборота счетчика измерительного устройства узкого диапазона.....	57
2.14 Определение цены оборота счетчика измерительного устройства широкого диапазона.....	59
2.15 Определение средней квадратической ошибки единичного измерения разности силы тяжести	62

2.16 Основные правила эксплуатации и сбережения гравиметров.....	64
2.17 Определение ускорения силы тяжести со средними квадратическими ошибками ± 20 м ± 50 мгл	67
2.18 Составление схемы-проекта пунктов съемки сгущения.....	68
2.19 Полевые гравиметрические работы при выполнении съемки сгущения	72
2.10 Определение координат и высот пунктов съемки сгущения	73
2.21 Вычисление аномалий силы тяжести и составление гравиметрических карт.....	76
2.22 Абсолютный способ определения ускорения силы тяжести сети	79
3 Мировая опорная гравиметрическая сеть.....	81
3.1 Национальные опорные сети	84
3.2 Оценка точности гравиметрической связи при многократно-групповых измерениях	88
3.3 Полевая опорная сеть.....	94
3.4 Наблюдения на пунктах рядовой сети	95
4 Методика составления и точность построения гравиметрических карт	98
4.1 Гравиметрическая изученность Земли.....	103
Список использованных источников	106

Введение

Учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности «Прикладная геология» составлено в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего образования и требованиями к уровню подготовки выпускников вузов.

При подготовке учебного пособия был использован материал и опыт гравиметрических измерений в составе геологических экспедиций на Дальнем Востоке, Сибири, Урале и средней полосе РФ.

Гравиразведку используют для решения многих геологических задач с глубиной исследований от нескольких метров до нескольких десятков километров. В нефтегазовой отрасли в задачу гравиразведки входят региональные исследования – трассирование границ блоков и крупных разломов в фундаменте, оценка глубины залегания его поверхности и другие.

Новым направлением в гравиразведке является изучение вариаций гравитационного поля с целью контроля эксплуатации искусственных газохранилищ, а также природных залежей нефти и газа, гравиразведка также широко применяется при поисках других полезных ископаемых – рудных и нерудных.

Под методикой гравиразведки понимают выбор метода и аппаратуры, осуществление комплекса операций для изучения поля силы тяжести с такой точностью, которая обеспечила бы выявление ожидаемых аномалий и решение поставленной геологической задачи. Основным в методике гравиразведки является выбор аппаратуры, вида съемки и системы наблюдений; погрешности съемки и правил обхода точек наблюдений; первичной обработки материала и форм его представления. По технологии работ и способу транспортировки аппаратуры гравиразведку подразделяют на полевые (наземные), морские, воздушные, подземные и скважинные

гравиметрические, а также вариометрические наблюдения.

Основным методом гравirazведки является полевая (наземная) гравиметрическая съемка, проводимая с помощью гравиметров. Полевые гравиметрические съемки могут быть пешеходными и автомобильными, реже используют автотранспорт.

По характеру расположения точек наблюдения на исследуемой площади гравиметрическая съемка может быть профильной (маршрутной) или площадной, при которой весь район исследований более или менее равномерно покрывают гравиметрическими наблюдениями.

Проектную погрешность съемки (среднеквадратическую погрешность определения Δq) выбирают в зависимости от масштаба съемки и интенсивности предполагаемых аномалий Δq над искомыми геологическими объектами. Проектная погрешность при поисково-разведочной съемке f/c должна превышать $1/5$, а при региональной – $1/3$ минимального значения интенсивности (амплитуды) локальных аномалий Δq . На отдельных профилях, где предполагается детальное изучение параметров аномалеобразующих объектов, погрешность работ должна быть еще меньше. Исходя из величины погрешностей съемок, выбирают гравиметрическую аппаратуру, определяют погрешность топогеодезической привязки – получения высотных отметок точек наблюдения (для введения редуций) и вычисления координат (для нормального значения силы тяжести), а также степень смещения нуля-пункта.

Учебное пособие предназначено для обучающихся по программам высшего образования по специальности 21.05.02 Прикладная геология, выполнения лабораторных и исследовательских работ. Учебное пособие может быть рекомендовано к использованию инженерно-техническими работниками геологической отрасли.

1 Сведения из гравиметрии

1.1 Общие сведения

Гравиметрия – раздел науки об измерении величин, характеризующих гравитационное поле Земли, и об использовании их в геодезии, геологии, геофизике, спутниковой геодезии и в других областях науки и техники.

Выбор того или иного элемента гравитационного поля в качестве измеряемой величины принципиальной роли не играет. Однако на современном уровне развития методов детального изучения гравитационного поля и измерительной техники наиболее точными, производительными и информативными являются измерения ускорения силы тяжести, а также измерения вторых производных потенциала силы тяжести. Эти величины и есть основные измеряемые элементы гравитационного поля.

Разработка методов и приборов для измерения ускорения силы тяжести, осуществление гравиметрической съемки важнейшие направления гравиметрии. Именно эти направления и определили термин «гравиметрия» (*gravitas* – тяжесть, *metreo* – измеряю). Важное преимущество гравиметрических данных состоит в возможности их получения с любой детальностью, т. е. практически в любой точке суши и моря, что не всегда доступно для других видов геодезических измерений. Это в значительной степени объясняет широкое использование экспериментальных данных о гравитационном поле в геодезической гравиметрии – области геодезии, в которой рассматривается использование гравиметрических данных при решении геодезических задач.

Геодезическая гравиметрия устанавливает связь между формой поверхности Земли и элементами внешнего гравитационного поля. На этой связи основан гравиметрический (физический) метод определения фигуры Земли. Кроме того, гравиметрические данные используются в общем комплексе астрономо-геодезических измерений при определении высот

пунктов, вычислении астрономо-геодезических уклонений отвеса, «редуцировании результатов измерений на поверхность референц-эллипсоида».

Важным разделом гравиметрии, имеющим большое народнохозяйственное значение, является гравиметрическая разведка. Это один из главных методов исследования геологического строения верхних слоев земной коры с целью поиска и разведки полезных ископаемых. Гравиметрическая разведка основана на детальном изучении притяжения геологических структур и установлении зависимости между полем притяжения и распределением притягивающих масс.

Другое направление гравиметрии связано с физикой Земли, а именно с изучением внутреннего строения и физико-химических свойств Земли, а также с изучением происходящих в ее недрах процессов. Для этой цели помимо измерений силы тяжести также используют наблюдения изменений силы тяжести и других элементов гравитационного поля Земли во времени. Среди них наиболее изученными в настоящее время являются приливные изменения ускорения силы тяжести, вызываемые притяжением Луны и Солнца. Наблюдаемые изменения в значительной степени зависят от внутреннего строения Земли, поэтому их исследование позволяет изучать упругие свойства и строение Земли в целом.

Данные гравиметрии находят применение и в других областях науки и техники.

С развитием ракетно-космической техники и космических исследований значение гравиметрических данных постоянно увеличивается в связи с повышением точности расчетов орбит и траекторий ракет и космических летательных аппаратов (КЛА). Более того, успехи в исследовании планет Солнечной системы предоставляют возможность изучать гравитационное поле других небесных тел по измерениям на их поверхности.

К числу прикладных задач гравиметрии относится использование гравиметрических данных для целей автономной навигации (во всех средах), поскольку местные особенности гравитационного поля порождают погрешности в показаниях инерционных навигационных систем.

Наконец, гравиметрия тесно связана с метрологией, так как для воспроизведения ряда физических эталонов (например, силы, Давления, силы тока) необходимо располагать точным значением ускорения силы тяжести.

Прогресс науки и техники предъявляет постоянно растущие требования как к точности и детальности изучения гравитационного поля, так и к автоматизации процесса измерений, обработки систематизации результатов. Эти требования определяют использование в гравиметрии новейших достижений физики, электроники, автоматики, приборостроения, вычислительной техники. Для изучения гравитационного поля Земли в настоящее время - используют также спутниковые методы. Тщательный анализ изменений элементов орбит ИСЗ, вызванных неоднородностью поля земного тяготения, позволяет успешно определять параметры этого поля. Измерения расстояний от ИСЗ, положение которого известно, до поверхности океана также позволяет изучать гравитационное поле и открывает возможность непосредственного изучения фигуры Земли. Однако данные, полученные спутниковыми методами, уверенно описывают лишь обобщенные черты гравитационного поля. Детальное изучение структуры гравитационного поля по-прежнему осуществляется по результатам гравиметрических наблюдений на суше и на море. Для полной характеристики гравитационного поля необходимо совместное использование гравиметрических и спутниковых данных.

Ввиду большой важности гравиметрических данных для решения целого ряда задач геодезии их геодезическое использование излагается отдельно в курсах высшей геодезии.

В содержание курса гравиметрии, рассматриваемого в этом пособии, входят следующие основные характеристика гравитационного поля Земли и планет:

- измерения силы тяжести и вторых производных ее потенциала;
- приборы для точных гравиметрических наблюдений автоматизация измерений;
- исследование гравиметрических приборов и определение их постоянных;
- гравиметрические опорные сети и гравиметрическая съемка, уравнивание и оценка точности результатов.

1.2 Нормальное гравитационное поле

Гравитационное поле Земли принято разделять на две части: нормальное гравитационное поле и остаточное аномальное поле. Для решения геодезических задач нормальное поле обычно определяют, как поле гравитирующего эллипсоида вращения, поверхность которого является уровенной. Этот эллипсоид называют уровневым эллипсоидом, или Нормальной Землей. По известным параметрам Нормальной Земли – массе, форме поверхности, угловой скорости вращения – в любой точке внешнего пространства можно достаточно легко вычислить нормальный потенциал и другие элементы нормального поля.

Нормальная сила тяжести. Нормальная сила тяжести γ определяется как градиент потенциала U

$$\gamma = \frac{\Delta U}{\Delta Z}, \quad (1)$$

где z – направление нормали к уровенной поверхности нормального гравитационного поля. Закон изменения нормальной силы тяжести γ_0 на поверхности Нормальной Земли описывается зависимостью

$$\gamma_0 = \gamma_e (1 + \beta \sin^2 B - \beta_1 \sin^2 2B), \quad (2)$$

где B – широта точки, β , β_1 – коэффициенты, γ_e – нормальная сила тяжести на экваторе. От долготы пункта величина γ_0 не зависит.

1.3 Аномальное гравитационное поле

Аномальное поле характеризует отличие потенциала силы тяжести и его производных от соответствующих элементов нормального поля.

Действительная сила тяжести g отличается от нормальной по величине и направлению. Разность величин действительной и нормальной силы в пункте наблюдений называется аномалией силы тяжести, а отличие направлений характеризуется отклонением (отклонением) отвесной линии.

При вычислении аномалии $g - \gamma$ силы тяжести нормальное значение силы тяжести γ находят по формуле вида:

$$\gamma_{\text{действ}} = \gamma_0 + \frac{\Delta\gamma}{\Delta H} H = \gamma_0 - 0,3086H \quad (3)$$

Здесь H – высота пункта. Разность:

$$g - \gamma = g - (\gamma_0 + \frac{\Delta\gamma}{\Delta H} H) = g - (\gamma_0 - 0.3086H) \quad (4)$$

называется аномалией в свободном воздухе. Для пунктов, расположенных на поверхности моря, обычно полагают $H = 0$ и $g - \gamma = g - \gamma_0$.

Аномалии силы тяжести на поверхности Земли, как правило, составляют несколько десятков миллигаллах, достигая нескольких сотен миллигаллов в горах и районах глубоководных впадин. Ниже даны примеры экстремальных аномалий в свободном воздухе:

г. Мауна-Кеа (о-в Гавайи) $H = 4214$ м, $g - \gamma = + 669$ мГал,

впадина Пуэрто-Рико $H = -9218$ м, $g - \gamma = -380$ мГал,

Марианская впадина $H = -8740$ м, $g - \gamma = -244$ мГал.

Аномалии силы тяжести обычно представляют в виде гравиметрических карт, на которых показаны линии равных аномалий силы тяжести, называемые изоаномалиями, и карт – схем аномалий, усредненных на участках стандартных размеров, начиная от 5' X 7,5' до 5° X 5° и 10° x 10°.

Обобщенная карта аномалий силы тяжести в свободном воздухе для всей поверхности Земли представлена на рисунке 1. Карта построена по спутниковым данным. Сечение карты 10 мГал. Примечательно, что знак аномалии, как правило, не меняется на протяжении нескольких тысяч километров; аномалии, не коррелируют с положением материков.



Рисунок 1 - Аномалии силы тяжести в системе спутниковой модели гравитационного поля Земли GEM-5 Центра пилотируемых полетов им. Годдарда (США)

На рисунке 2 показан фрагмент карты аномалий в свободном воздухе переходной зоны от Азиатского континента к Тихому океану, составленной по результатам советских и японских экспедиций. Сечение карты 20 мГал. На рисунке 2 для этого района приведена карта-схема средних аномалий в одноградусных трапециях. На картах отражено резкое изменение гравитационного поля при переходе от одного типа земной коры к другому: средняя аномалия в акватории Японского моря составляет +12 мГал, островная дуга отличается повышенными аномалиями, в среднем +55 мГал, к глубоководному желобу у восточного берега Японии приурочены интенсивные отрицательные аномалии, в среднем – 75 мГал.

2 Определение ускорения силы тяжести

2.1 Общие сведения

Сила тяжести есть та сила, с которой всякое тело притягивается к Земле. Это воздействие проявляется через собственное притяжение тела Землей и одновременного действия из него центробежной силы суточного вращения Земли. Таким образом, силой тяжести G называется равнодействующая двух сил: силы притяжения Земли F и центробежной силы Q , рисунок 1. При этом основной силой тяжести является сила притяжения Земли. Силу тяжести в гравиметрии принято характеризовать величиной ускорения g . За единицу ускорения силы тяжести в системе GPS принят Гал. Гал – это ускорение, сообщаемое силой в 1 дину массе в 1 грамм ($1 \text{ Гал} = 1 \text{ см/с}^2$, $9,8 \text{ м/с}^2 = 980 \text{ Гал}$).

На земной поверхности ускорение силы тяжести изменяется в пределах 5,2 Гал (на экваторе $g \sim 978,0$ Гал, на полюсе $g \sim 983,2$ Гал). Поэтому для удобства значение g обычно выражается в более мелких единицах - в миллигалах ($1 \text{ мГал} = 10^{-3} \text{ Гал}$). Ускорение силы тяжести в отдельных точках местности" определяется с помощью гравиметров относительно пунктов опорной гравиметрической сети. Для определения ускорения силы тяжести применяются гравиметры различных типов.

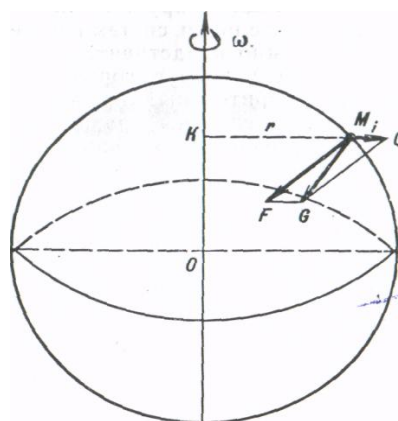
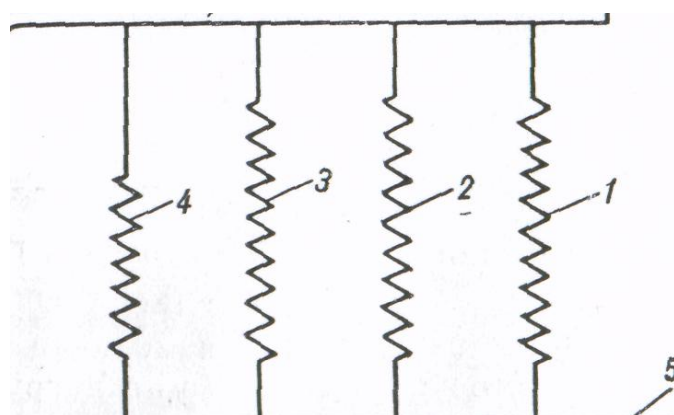


Рисунок 4 – Определение силы тяжести



1,2,3 и 4 – измерительные пружины, 5 – рычаг,
6 – скоба гравиметрической сети

Рисунок 5 – Принципиальная схема упругой системы гравиметра

Для определений ускорений силы тяжести применяются гравиметры различных типов.

Основной частью гравиметра является измерительная система, которая построена по принципу пружинных весов, нагруженных постоянной массой. Измерительная система имеет сложное устройство. В общем виде ее можно представить, как скобу 6 рисунок 5, с рычагом 5, вращающимся вокруг горизонтальной оси, и ряд уравнивающих и измерительных пружин 1, 2,3 и 4.

По типу измерительной системы гравиметры разделяются на кварцевые и металлические, а по величине измерения ускорения силы тяжести — на широкодиапазонные, узкого и широко диапазона. Широкодиапазонными являются гравиметры узкого и широкого диапазона – гравиметр ГНШ-МТ2, ГНК-К2.

Краткие технические данные указанных гравиметров приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические данные гравиметров

Наименование параметра	ГНШ-МТ2	ГНК-К2
1	2	3
Точность измерения приращения силы тяжести, мГал:	0,2-0,3	0,2-0,3
- в узком диапазоне	0,4-0,7	-
- в широком диапазоне		
Диапазон измерения без перестройки, мГал:		
- в узком диапазоне	80-120	90-110
- в широком диапазоне	1000-1200	-
Диапазон измерения с перестройкой, мГал:	До 5000	До 3000
Напряжение прибора	3	3

2.2 Гравиметрические приборы

Гравиметр наземный комбинированный с кварцевой упругой системой 2-го класса точности ГНК-К2 (ГАК-7Ш) предназначен для измерения приращений ускорения силы тяжести со средней квадратической ошибкой 0,2 – 0,7 мГал в зависимости от диапазона измерений. Гравиметр ГНК-К2 имеет два диапазона: узкий и широкий.

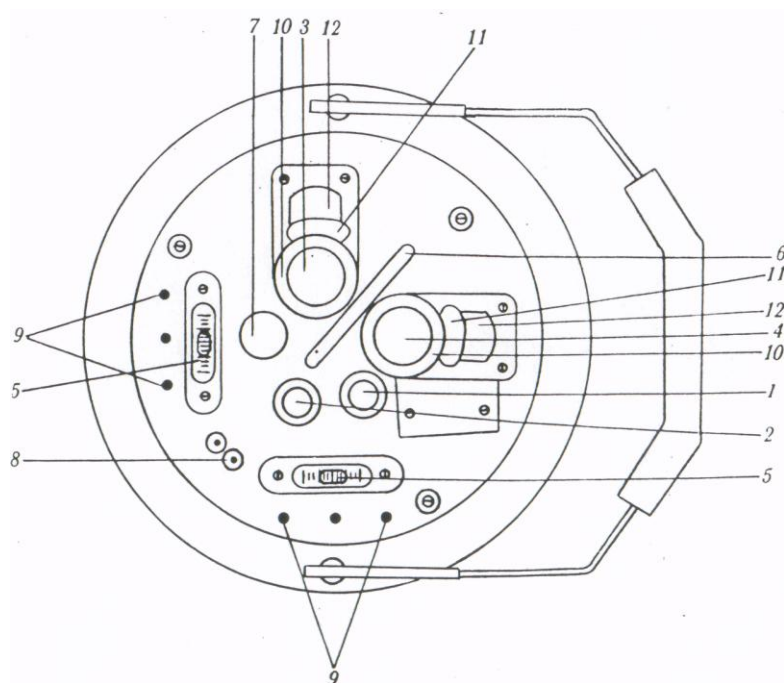
Прибор не нуждается в принудительном термостатировании, портативен и удобен в эксплуатации. Существенным недостатком гравиметра является хрупкость упругой системы и зависимость смещения нуля-пункта от изменения температуры во время работы.

В комплект прибора входят: гравиметр, транспортировочный металлический футляр с амортизационными прокладками и укладочный ящик, в котором размещены девять угловых термометров, рассчитанных на диапазон температур от -40 до +40° С, диапазонный ключ, часы наручные, запасные ампулы АЦП-30, соединительный кабель и набор инструментов для разборки и сборки гравиметра. В отдельной упаковке прилагается запасной сосуд Дьюара.

Устройство прибора. Основной частью гравиметра является измерительная система, смонтированная в теплоизоляционном корпусе,

который в свою очередь размещается в кожухе гравиметра. Кожух гравиметра представляет собой стальной цилиндр 1, основание которого прочно соединено с подставкой 2, изготовленной из стеклопластика. В подставку вмонтированы три подъемных винта 3.

Сверху на цилиндр винтами крепится текстолитовая панель рисунок 6. На ней находятся: окуляр микроскопа, через который наблюдают перемещение кварцевого рычага и шкалу микроскопа; осветитель 2, посылающий пучок света на конец кварцевого рычага; два микрометрических винта, широкого 3 и узкого 4 диапазонов, со счетчиками оборотов и долей оборота; цилиндрические уровни 5; сменные угловые термометры 6; пробка 7, закрывающая отверстие для диапазонного ключа, и штепсельные разъемы 8 для подключения электропитания.



1 – окуляр микроскопа; 2 – осветитель; 3 – микрометрический винт широкого диапазона; 4 – микрометрический винт узкого 5-диапазона; цилиндрический уровень; 6 – сменный угловой термометр; 7 – пробка: – штепсельные разъемы для подключения электропитания; 9 – отверстия для юстировки уровней; 10 – лимбы; 11 – нониусы; 12 – дополнительные диски

Рисунок 6 - Верхняя панель гравиметра ГНК-К2

Два взаимно перпендикулярных цилиндрических уровня предназначены для приведения гравиметра в рабочее положение. Ось одного из уровней параллельна оси вращения кварцевого рычага. Такое

расположение осей уровней соответствует минимальному влиянию наклонов гравиметра на отсчеты, т. е. минимум чувствительности гравиметра к наклонам достигается при горизонтальном положении кварцевого рычага и его оси вращения. Цена деления уровней составляет 30–40". Около каждого уровня в панели имеются два отверстия 9, обеспечивающие доступ к котировочным винтам. Измерительная, система гравиметра состоит из упругой системы, измерительного и диапазонного устройств, оптической системы и приспособления для откачки воздуха.

Упругая система является главным узлом прибора. Изготавливается из плавленого кварца. В нее входят: чувствительный элемент системы, измерительная и диапазонная пружины, а также устройство для температурной компенсации.

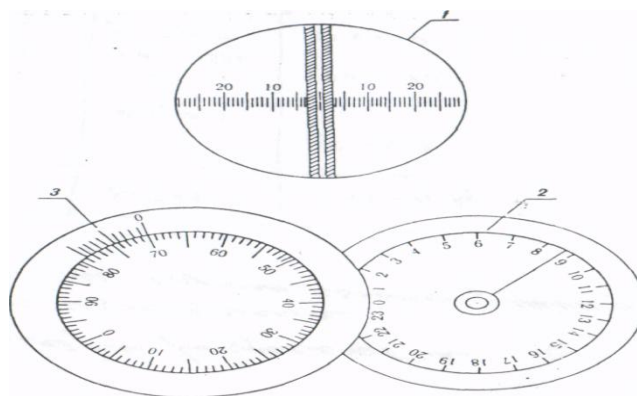
Чувствительный элемент состоит из кварцевого маятника, момент силы тяжести которого уравнивается в основном силой закручивания нитей подвеса 2 и упругой силой астазирующей (основной) пружины 3, повышающей чувствительность гравиметра в несколько раз. Маятник оканчивается иглообразным стержнем, находящимся в фокальной плоскости объектива микроскопа.

Измерительное устройство системы состоит из рычага 4, который вращается на нитях 5 и соединен с маятником через основную пружину 3. К этому рычагу прикреплены две измерительные пружины 6 и 7. Первая – для измерений в широком диапазоне, вторая – в узком. Верхние концы измерительных пружин прикреплены через сильфоны к микрометрическим винтам 8 и 9 измерительного устройства.

Величина угла поворота микрометрического винта измерительного устройства определяется по счетчику, который выполнен (см. рисунок 7) в виде лимба 3, имеющего 100 делений, нониуса // и дополнительного диска 2, имеющего 24 деления. По диску отсчитываются целые обороты винта, по лимбу – десятые и сотые доли оборота, по нониусу – тысячные доли оборота. Шаг микрометрического винта равен 0,5 мм. Жесткость измерительных

пружин подбирается таким образом, чтобы один оборот микрометрического винта узкого диапазона соответствовал изменению ускорения силы тяжести на 3-5 (5-8) мГал, а широкого – на 40-60 (60-100) мГал. Полный ход микрометрического винта измерительного устройства составляет 12 (7,5) мм, что в первом случае соответствует диапазону измерения приращений силы тяжести без перестройки 72-120 (75-120) мГал, во втором 960-1440 (900-1500) мГал.

Измерительное устройство и пример снятия отсчетов по гравиметру ГНК-К2 приведены на рисунке 7.



1 – окуляр для наблюдения светового индекса; 2 – счетчик оборотов микрометрического винта; 3 – счетчик долей оборота микрометрического винта.

Отсчет – 8,699

Рисунок 7 – Измерительное устройство гравиметра ГНК-К2

2.3 Гравиметр ГНШ-МТ2 (ГМТ-1)

Гравиметр наземный широкодиапазонный с металлической упругой системой, термостатированный, 2-го класса точности ГНШ-МТ2, рисунок 8, предназначен для измерения приращений силы тяжести со средней квадратической ошибкой 0,2 мГал без перестройки диапазона измерений.

Преимуществом данного прибора перед кварцевыми гравиметрами является наличие в нем менее чувствительной к ударам и толчкам

металлической упругой системы, что делает ГНШ-МТ2 более надежным в эксплуатации.



Рисунок 8 – Общий вид гравиметра ГНШ-МТ2

Чувствительная система гравиметра герметизирована и помещена в двухступенчатый термостат, заключенный внутри сосуда Дьюара. Прибор имеет температурную и барометрическую компенсацию на случай разгерметизации чувствительной системы.

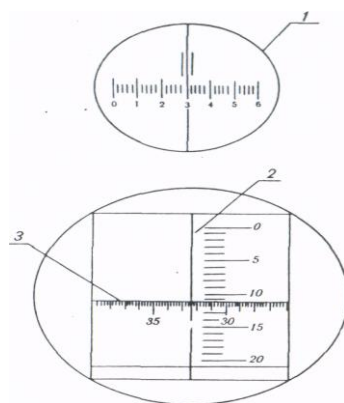
В комплект прибора входят: гравиметр, транспортировочный металлический футляр с амортизационными прокладками и укладочный ящик с тремя стяжными болтами, пенал с запасными частями, инструментом и принадлежностями, включая сосуд Дьюара.

Измерительное устройство и пример снятия отсчётов по гравиметру ГНШ-МТ2 приведены на рисунке 9.

В гравиметре ГНШ-МТ2 все детали управления двухступенчатым термостатом (электронные реле) 1 смонтированы на верхней плате прибора.

Здесь также находятся: амперметр 2 для контроля нагрева термостата, тумблер 3 включения освещения, клеммы 4 для подключения питания прибора, окуляр для наблюдения светового индекса 5, лупа отсчетного устройства 6, уровни 7 и 8, арретир 9 и другие элементы прибора. Ось уровня

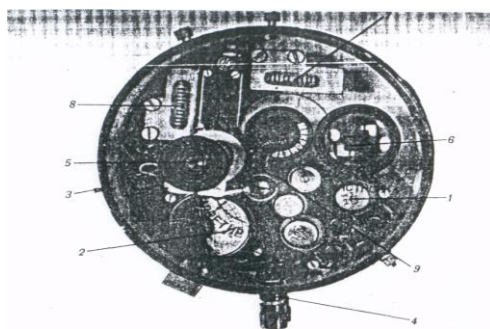
7, перпендикулярная индексу, параллельна рычагу маятника, ось уровня 8 — параллельна оси его перемещения.



1 – окуляр для наблюдения светового индекса; 2 – счетчик оборотов микрометричного винта; 3 – счетчик долей оборота микрометричного винта.
Отсчет – 11.323

Рисунок 9 - Измерительное устройство гравиметра ГНШ-МТ2

В полевых условиях разрешается производить только те регулировки и устранения неисправностей, которые не связаны со вскрытием прибора. Операции, требующие вскрытия внутренних частей гравиметра, а также юстировка упругой системы гравиметра могут осуществляться только опытным специалистом в лабораторных или заводских условиях.



1– электронное реле; 2 – амперметр; 3 – тумблер включения освещения; 4~ клеммы для подключения электропитания; 5 – окуляр; 6 – лупа отсчетного устройства; 7, 8 – цилиндрические уровни; 9 – арретир

Рисунок 10 - Верхняя плата гравиметра ГНШ-МТ2

В пособии технические характеристики, поверки и исследование приборов не рассматриваются.

2.4 Методика определения ускорения силы тяжести с точностью 0,5 и 1,0 мГал

Определение ускорения силы тяжести с точностью 0,5 и 1,0 мГал производят с помощью гравиметров ГНШ-МТ2 и ГНК-К2 (при определении силы тяжести с точностью 0,5 мГал предпочтительнее использовать гравиметры ГНШ-МТ2). Измерения выполняют тремя комплектами гравиметров.

Расчет, выполняющий гравиметрические работы, должен состоять из одного инженера-оператора и двух помощников.

Ускорение силы тяжести с точностью 0,5 и 1,0 мГал определяют не менее чем от двух пунктов государственной гравиметрической РФ и не менее чем двумя независимыми рейсами рисунок 11.



Рисунок 11 – Определение приращений силы тяжести на определяемом пункте относительно пунктов государственной гравиметрической сети РФ

В качестве транспорта при выполнении рейсов используют автомашину, вертолет или самолет. Транспортировка гравиметров производится только в присутствии инженера-оператора. Определение ускорения силы тяжести включает:

- подготовительные работы;
- полевые определения;
- обработку полевых материалов. Продолжительность рейса должна быть не более 12 ч (24 ч).

В случае аварий транспорта, плохих дорог (малой скорости передвижения) и т. д. продолжительность рейса может быть увеличена до 24 ч (48 ч). В этом случае в рейсе намечают контрольные, равномерно расположенные по времени пункты на которых производят наблюдения, рисунок 12, для контроля смещения нуля прибора: при продолжительности рейса до 18 ч (36 ч) – один пункт; при продолжительности рейса от 18 до 24 ч (36—48 ч) – два пункта.

Пункты, определяемые с точностью 0,5 и 1,0 мГал, должны быть надежно закреплены на местности. Поэтому их следует, как Правило, совмещать с верхними центрами пунктов ГГС или располагать у стен долговременных сооружений (капитальные здания, водонапорные башни и т.п.).



Рисунок 12 – Схема рейса с контрольным пунктом

При выполнении работ в сокращенные сроки гравиметрические пункты могут быть закреплены подручными средствами (деревянные колья, столбы, валуны и т. д.). Гравиметры устанавливают на земле на расстоянии 1-2 м от центра геодезического пункта или стены здания. На высоте 1,5-2 м на основном столбе геодезического знака или на стене здания укрепляется металлический опознавательный знак, пример которого дан на рисунке 13. Контрольные пункты постоянными центрами не закрепляются.

Подготовительные работы.

Перед началом работ необходимо:

- составить проект предполагаемых гравиметрических работ;
- произвести исследование Гравиметров.



Рисунок 13 – Опознавательный знак

Проект гравиметрических работ составляют на топографической карте масштаба 1:500000. На нее наносят пункты государственной гравиметрической сети РФ (не менее двух пунктов) и определяемые пункты. Окончательное уточнение расположения определяемых пунктов и выбор (предполагаемых маршрутов движения производят на картах масштаба 1:100000 или крупнее). В случае необходимости следует провести рекогносцировку района работ.

Исследования гравиметров проводят по методике, изложенной в главе VI, и результаты записывают в полевой журнал.

Полевые определения. Для определения «смещения нуля-пункта» гравиметра каждый рейс должен начинаться и заканчиваться на опорном гравиметрическом пункте. Наблюдения в рейсе выполняют по одной из двух программ.

Первая программа:

- наблюдения на опорном гравиметрическом пункте;
- наблюдения на определяемом пункте,
- наблюдения на опорном гравиметрическом пункте.

Вторая программа:

- наблюдения на определяемом пункте;
- наблюдения на опорном гравиметрическом пункте,
- наблюдения на определяемом пункте.

Перед каждым рейсом гравиметры проверяют и в случае необходимости производят перестройку диапазона, проверку и регулировку уровней.

Перестройку диапазона гравиметра выполняют с целью обеспечения возможности измерения предполагаемых разностей силы тяжести, которые могут оказаться в рейсе.

Предполагаемые значения разности силы тяжести рассчитываются по нормальному полю с учетом высот пунктов.

Приближенную оценку разности силы тяжести между начальным пунктом и любым другим пунктом в рейсе выполняют по формуле

$$\Delta g_{1,2} = 85(B_2 - B_1) - 31(H_2 - H_1), \quad (5)$$

где, $B_2 - B_1$ – разность широт пунктов, градусы;

$H_2 - H_1$ – разность высот пунктов, сотни метров;

$\Delta g_{1,2}$ – разность силы тяжести, мГал.

Первому наблюдению перед выездом в рейс должна предшествовать 20—30-минутная «обкатка» гравиметров в типичных для рейса условиях.

Интервал времени между окончанием первого рейса и началом второго рейса должен быть не менее 2 ч. Расхождения между крайними значениями приращений силы тяжести, полученными по каждому из трех приборов после обработки рейса, не должны превышать 2 мГал. Расхождение между значениями ускорения силы тяжести, полученными от разных опорных гравиметрических пунктов, не должно быть больше 1 мГал (2 мГал).

В рейсах продолжительностью более 14ч (24ч) для контроля смещения нуль-пункта гравиметров сравнивают по участкам приращения силы тяжести

Δg , полученные при проложении рейса каждым прибором «прямо» и «обратно», при этом расхождение ($\Delta g_{\text{пр.}} - \Delta g_{\text{обр.}}$) – Δg по каждому гравиметру на участке не должно быть более 3 мГал (4 мГал). При больших значениях Δg рейс должен быть проложен заново.

В обработку рейса включаются все пункты, на которых произведены измерения, в том числе и пункты, служащие только для определения смещения нуля-пункта гравиметров в рейсе.

При несоблюдении допусков выполняют повторные измерения. Их общее количество не должно превышать 30 % от всех наблюдений. Если бракуются измерения на опорном пункте, то повторно переделывается весь рейс. В остальных случаях в повторный рейс включают пункты, требующие переделки. Повторные измерения выполняют тремя гравиметрами с соблюдением всех указанных допусков.

При измерениях гравиметры вынимают из транспортировочных ящиков, устанавливают на прочном основании, обеспечивающем необходимую устойчивость прибора. После установки и предварительного горизонтирования прибора включают освещение, гравиметры ГНШ-МТ2 разарретируют и микрометрическим винтом измерительного устройства подводят индекс к отсчетному (нулевому) штриху шкалы.

Разарретирование гравиметра ГНШ-ЧТ2 выполняют медленным и плавным движением ручки арретира до упора в сторону надписи: «ОТКРЫТО» (разарретирование выполняется обязательно при установленных уровнях), затем вращением ручки микрометра подводят подвижный светящийся индекс к биссектору окулярной шкалы.

После разарретирования перед снятием отсчетов следует выждать не менее двух минут, необходимых для стабилизации упругой системы.

Затем прибор точно горизонтируют и плавным движением микрометрического винта счетчика совмещают середину светлой полосы индекса со средним отсчетным (нулевым) штрихом шкалы. Последний доворот винта производят только вращением по ходу часовой стрелки. После

первого наведения записывают время наблюдения и первый отсчет. Для повышения точности наблюдений совмещение изображений индекса с отсчетным штрихом делают три раза, каждый раз записывая отсчет по счетчикам оборотов. При повторном совмещении микрометрический винт предварительно поворачивают на небольшой угол против хода часовой стрелки.

Расхождение между отсчетами на пункте не должно превышать двух наименьших делений счетчика микрометрического винта узкого диапазона гравиметра ГНК-К2 (0,02 об) или 0,03 об винта широкого диапазона у гравиметров обоих типов. В противном случае наблюдения повторяются.

После снятия отсчетов прибор обязательно арретируют. Величина смещения нуля-пункта гравиметров различна при остановках и во время переезда, поэтому при остановках (стоянках) в рейсе продолжительностью более 1 ч (ночевка, неисправность автомашины и т.д.) необходимо производить отсчеты по гравиметрам в начале и в конце остановки с целью исключения величины смещения нуля-пункта за время стоянки. Для выполнения наблюдений гравиметры снимают с автомашины и устанавливают, как указано выше.

При выполнении гравиметрических работ в полевой журнал записывают следующие данные:

- номер рейса;
- дату и фамилию наблюдателя,
- название и номер пункта,
- время наблюдения (с точностью до минуты),
- отсчеты по гравиметру.

Образцы записей в полевом журнале наблюдений гравиметрами ГНК-К2 приведены в таблицах 2, 3, 4.

Таблица 2 – Образец записи наблюдений в журнале (обычный рейс)

Рейс № 1

А августа 2006г. Наблюдатель Петров
Петров

№, название пункта опорн. Осокино
точки

Гравиметр ГНК-2 №152

5 августа 2006г. Наблюдатель

№, название пункта доп. опорн. К

время	Отсчёты по гравиметру	примечания	время	Отсчёты по гравиметру	примечания
10 ^h 18 ^m	8.465 464 464		11 ^h 36 ^m	5.311 308 308	
	8.464			5.309	
№, название пункта доп. Опорн. Чижи			№, название пункта опорн. Осокино		
10 ^h 54 ^m	6.325 325 325	На уровне ст. №111 в с. Холки (задание школы)	12 ^h 45 ^m	8,472 470 471	
	6,326			8,471	

Таблица 2.1 - Образец и обработка наблюдений в журнале (рейс со стоянкой)

Рейс №3

6 августа 2006г. Наблюдатель Петров
№, название пункта опорн. Пермяково
(ночёвка)

Гравиметр ГНК-К2 №152

6 августа 2006г.

Наблюдатель Петров
7 августа 2006г.

№, название пункта стоянка

время	Отсчёты по гравиметру	примечания	время	Отсчёты по гравиметру	примечания
8 ^h 15 ^m	7,671 673 670 7,671		22 ^h 30 ^m	8,444 443 442 8,443 8,471 468 470 8,470	$\Delta T_{ст}^h = -8,50^h$ $\Delta S_{ст.} = -0.027$
№, название пункта №8			7 август, №, название пункта опорн. Пермяково		
19 ^h 45 ^m	10,357 359 357 10,358		14 ^h 4 ^m +24,00	7,733 731 732 7,732	
			38 ^h 35 -8,50	-0,027	
			29,85	7,705	

Таблица 3 – Образец записи в журнал рейса, начинающегося на одном и заканчивающегося на другом опорном пункте

Рейс №4

9 августа 2006г. Наблюдатель Петров

№, название пункта опорн. Симакино

время	Отсчёты по гравиметру	примечания	время	Отсчёты по гравиметру	примечания
10 ^h 30 ^m	4,517 518 519		16 ^h 00 ^m	4,000 002 001	
	4,518			4,001	
№ название пункта № 1			№ название пункта опорн. Лемехово		
12 ^h 18 ^m	1,218 216 219)	19 ^h 30 ^m	6,708 707 708	
	1,218			6,708	

Обработка полевых материалов. Обработку результатов полевых измерений при наблюдениях гравиметрами ГНК-К2 № 152 производят в следующем порядке.

Из полевых журналов в ведомость вычисления Δg (таблица 4) выписывают:

Таблица 4 – Ведомость вычисления приращений силы тяжести Δg по полной схеме

5 августа 2006г. Рейс № 1 Гравиметр ГНК-К2 №152

Название или номер пункта	T	Sr, об	ΔT	Δa , об	S, об	ΔS , об	C, мГал/об	Δg , мГал
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Опорн. Осокино	10,30 ^h	8.464	0 ^h		8.464			
Доп. опорн. Чижи	10.90	6.238	0.60	0.002	6.326	2.138	50.111	07.1
Доп. опорн. Кочки	11.60	5.308	30	0.004	5.304	3.160	50.111	58.4
Опорн. Осокинл	12.75	8.471	2.45	0.007	8.464			

$$a = \frac{+0.007}{2.45} = +0.0029 \text{ Об/ч}$$

- в графу 1 – название или номер наблюдаемого пункта;
- в графу 2 – время наблюдения T^h , (до сотых долей часа);
- в графу 3 – среднее отсчёты по гравиметру S_i

Затем в графу 4 записывают величину ΔT^h , выражающую в часах и долях часа промежуток времени между моментами наблюдений на начальном пункте рейса и на каждом последующем пункте рейса, и на каждом последующем пункте:

$$\Delta T^h_i = T^h_i - T^h_{\text{Нач.}} \quad (6)$$

Часовое смещение нуля гравиметра вычисляют по формуле

$$a = \frac{\Delta S^*_{\text{Нач.}}}{\Delta T^h_{\text{Нач.}}} \quad (7)$$

где $\Delta S^*_{\text{Нач.}}$ – разность средних отсчетов на опорном пункте в начале и в конце рейса;

$\Delta T^h_{\text{Нач.}}$ – промежуток времени между наблюдениями на опорном пункте в начале и в конце рейса.

Поправку за смещение нуля гравиметра получают по формуле:

$$\Delta a_i = -a \Delta T^h_i \quad (8)$$

и записывают в графу 5. Исправленный поправкой за смещение нуля гравиметра отсчет S_i записывают в графу 6.

Приращения силы тяжести ΔS на определяемых пунктах относительно опорных, выраженные в делениях счетчика микрометрического винта гравиметра, заносят в графу 7. Они вычисляются по формуле:

$$\Delta S_i = S_i - S_{\text{опорн.}} \quad (9)$$

Перевод делений счетчика в значение приращения ускорения силы тяжести осуществляют по формуле:

$$\Delta g_i = \Delta S_i C \quad (10)$$

где C – цена оборота счетчика микрометричного винта (графа 8).

Для гравиметров, имеющих нелинейную шкалу счетчика микрометричного винта, цену оборота снимают с графика определения цены оборота счетчика гравиметра по аргументу «среднее из исправленных отсчетов на опорном и определяемом пунктах»

$$\frac{S_{\text{опорн.}} + S_i}{2} \quad (11)$$

Вычисленное значение приращения силы тяжести δg (в мГал) на определяемом пункте записывают в графу 9.

При обработке рейсов, в которых были длительные стоянки, время этих стоянок $\Delta T_{\text{ст.}}^h$ и разность отсчетов $\Delta S_{\text{ст.}}$, полученных при наблюдениях в начале и в конце рейса, исключают соответственно из общей продолжительности рейса и средних отсчетов по гравиметрам. Поправки в наблюдения вводят на всех последующих пунктах непосредственно в журналах. Обработка рейса со стоянкой приведена в таблицах 5 и 6. Ведомость вычисления ускорения силы тяжести по полной схеме приведена в таблице.

Таблица 5 – Ведомость вычисления ускорения силы тяжести по полной схеме (рейс со стоянкой)

6 августа 2006г.

Рейс №3

Гравиметр ГНК-К2 №152

Название или номер пункта	T	S,об	$\Delta T, \text{об}$	$\Delta a, \text{об}$	S,об	$\Delta S, \text{об}$	C, мГал /об	$\Delta g, \text{мГал}$	$g_{\text{опорн.}}$ мГал	$g, \text{мГал}$	$g_{\text{ср.}}$ мГал
Опорн. Пермяково №8	8.25 ^h	7.671	0 ^h	-	7.671	+2.6	-	-	981 35	981 22	
	19.75	10.358	11.50	0.017	10.341	70	50.111	133.8	9.2	5.4	
Опорн. Пермякова	29.85	7.705	21,60	-0.03	7.671	1					

$$a=+0,034/21,6=+0,0015 \text{ об ч.}$$

Таблица 5.1 – Ведомость вычисления ускорения силы тяжести по полной схеме (рейс начинается на одном и заканчивается на другом опорном пункте)

9 августа 2006г.

Рейс №4 Гравиметр

ГНК-К2 №160

Название или номер пункта	T	Sr, об	ΔT, об	Δa, об	S, об	ΔS, об	C, мГал/об	Δg, мГал	g _{опорн.} мГал	g, мГал	g _{ср.} мГал
Опорн. Симакино	10.5 ^h	4.518	0 ^h	0	4.52				981 34	981225	
№1	12.3	1.218	1.8	-0.04	1.18	-3.34	-50.111	+167.4	2.52	.4	
№2	16.0		5.5	-0.12	3.88	-6.64	-50.111	+32.7		542.6	
Опорн. Лемехово	19.5	6.708	9.0	-0.19	4.52						

$$g_{\text{опорн. I}}=981\ 342.5 \text{ мГал}$$

$$g_{\text{опорн. II}}=981\ 242.1 \text{ мГал}$$

$$a=(4.708-4.518)/9.0=+0.021 \text{ об ч}$$

$$\delta g_{\text{опорн.}}=-100.4 \text{ мГал}$$

$$\Delta g_{\text{опорн.}} = -100.4/-50.111=2.00 \text{ об}$$

$$S_{\text{опорн.}}=6.708-2.00=4.708 \text{ об}$$

Обработку результатов полевых измерений при наблюдениях гравиметрами ГНШ-МТ2 производят в следующем порядке.

Из полевых журналов в ведомость вычисления δg таблица 6 выписывают:

Таблица 6 – Ведомость вычисления ускорения силы тяжести 7 августа 2006г.

номер пункта	T ^h	Sr, об	ΔS, об	S=S+ΔS, об	g _u =SC, мГал	ΔT ^h	Δa, об	g _u , мГал	Δg, мГал
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№1	8,67 ^h	8,57811	0,026	8,604	536,45	0,00 ^h	0,00	536,45	0,00
№2	10,32	,54514,	0,042	11,587	722,42	1,95	-0,04	722,38	+185,93
№3	11,80	38416,8	0,060	14,444	900,58	3,13	-0,07	900,51	+364,06
№4	12,75	9611,54	0,076	16,972	1058,19	4,08	0,10	1057,09	+521,54
№2	14,43	7	0,042	11,589	722,54	5,76	-0,13	722,41	+185,96
№1	15,70	8,578	0,028	8,606	536,59	7,03	-0,16	536,43	-0,02

$a=0,0234$ мГал/ч

- в графу 1 – название или номер наблюдаемого пункта;
- в графу 2 – время наблюдений T^h , ч (до сотых долей часа);
- в графу 3 – средние отсчеты по гравиметру S' .

Затем в графу 4 выписывают поправку за нелинейность шкалы гравиметра, которую берут из таблицы или графика, помещаемых в паспорте прибора. Исправленный этой поправкой отсчет 5 записывают в графу 5.

Условные значения силы тяжести заносят в графу 6. Они вычисляются по формуле

$$g_{\Gamma_u} = SC \quad (12)$$

где C – цена оборота счетчика гравиметра.

В графу 7 записывают величину ΔT^h , выражающую в часах и долях часа промежуток времени между моментами наблюдений на начальном и на каждом последующем пункте, т. е.

$$\Delta T_i^h = T^h - T_{\text{Нач}}^h \quad (13)$$

Часовое смещение нуля гравиметра вычисляют по формуле:

$$a = \frac{\Delta(\delta g_u)_{\text{нач}}}{\Delta T_{\text{нач}}^h} \quad (14)$$

Где $\Delta(\delta g_u)_{\text{нач}}$ – разность условных значений силы тяжести на начальном пункте в начале и в конце рейса.

В случае, когда повторные определения в рейсе выполнены и на других пунктах, за окончательное значение часового смещения нуля гравиметра принимают его средневзвешенное значение т.е.

$$a_{\text{ср}} = \frac{\Delta(\delta g_u)_1, \Delta(\delta g_u)_2, \dots, \Delta(\delta g_u)_n}{\Delta T_{h1}, \Delta T_{h2}, \dots, \Delta T_{hn}} \quad (15)$$

где $\Delta(\delta g_u)_1, \Delta(\delta g_u)_2, \Delta(\delta g_u)_n$ – разности условных значений силы тяжести, полученные в результате повторных наблюдений на n пунктах;

$\Delta T^h_1, \Delta T^h_2, \Delta T^h_n$ – промежуток времени между повторным наблюдением на n пунктах.

Поправку за смещение нуля вычисляют по формуле:

$$\Delta a_i = -a_{cp} \cdot \Delta T^h_i \quad (16)$$

записывают в графу 8. Исправленное поправкой за смещение нуля-пункта условное значение силы тяжести g_u записывают в графу 9.

В графу 10 записывают значения приращений силы тяжести δg (в мГал) на определяемых пунктах относительно опорного пункта. Обработку каждого рейса выполняют в «две руки». В «первую руку» наблюдатель производит вычисление δg непосредственно в журналах в конце рейса по форме, данной в таблице. Во «вторую руку» проверяющий составляет специальную ведомость поэтому же образцу. Полевую обработку журнала наблюдений выполняют по прибытии из рейса в тот же день.

Значение ускорения силы тяжести на определяемом пункте вычисляют по формуле:

$$g_i = g_{опорн.} \pm \delta g_i \quad (17)$$

и записывают в ведомость вычисления ускорения тяжести g таблица 7. В эту ведомость вписывают:

Таблица 7 - Ведомость вычисления ускорения силы тяжести

Названия опорного пункта	Дата рейса	δg по гравиметрам			$\delta g_{ср.}$	$g_{опорн.}$	$g_{опред.}$
		№152	№160	№231			
1	2	3	4	5	6	7	8
Пункт Чижки рейс №1							
Осокино	5.8.2006	+15.5	+15.3	+15.7	+15.5	981 339.25	981 3
Опарино	8.8.2006	-15.1	-14.9	-15.6	-15.2	981 370.00	54.8
						Среднее: 981 354,8	
Пункт Кочки рейс №2							
Осокино	5.8.2006	+23.3	+23.0	+23.6	+23.3	981 339.25	981 3
Опарино	8.8.2006	-7.2	-8.6	-8.2	-8.0	981 370.00	62.6
						Среднее: 981 362,3	

– из каталога пункта государственной гравиметрической сети РФ значения ускорения силы тяжести на опорных пунктах $g_{\text{опорн}}$

– из ведомости вычисления δg – значения приращений силы тяжести на определяемых пунктах по всем приборам. Для каждого рейса по трем приборам получают среднее значение приращений силы тяжести $\delta g_{\text{ср}}$.

По каждому рейсу вычисляют значения ускорения силы тяжести g . Далее вычисляют среднее значение g на пункте.

Для всех определяемых пунктов, полученных с точностью 0,5 и 1 мГал, составляют карточный каталог. Образец карточки гравиметрического пункта дан в таблице 8.

Карточный каталог пересылают установленным порядком в организацию, занимающуюся систематизацией материалов и составлением каталогов.

2.5 Методика определения ускорения силы тяжести с точностью 2 и 5 мГал

Определение ускорения силы тяжести с точностью 2 и 5 мГал включает те же этапы, что и при выполнении гравиметрических определений с точностью 0,5 и 1,0 мГал.

Организация работ аналогична указаниям, изложенным в «Методике определения ускорения силы тяжести с точностью 0,5 и 1,0 мГал».

Ускорения силы тяжести с точностью 2 и 5 мГал /определяют от пунктов государственной гравиметрической сети РФ или гравиметрических пунктов, определенных с точностью 0,5 мГал. Ускорения силы тяжести с точностью 5 мГал могут быть получены также от пунктов, определенных с точностью 1 мГал.

Пункты, на которых определяются ускорения силы тяжести с точностью 2 и 5 мГал, при необходимости закрепляют на местности

подручными средствами. Гравиметрические работы с точностью 2 и 5 мГал выполняют тремя гравиметрами одним рейсом.

В зависимости от условий работ могут использоваться два вида рейсов: кольцевой, начинающийся и заканчивающийся на одном и том же опорном гравиметрическом пункте, и маршрутный, начинающийся на одном и заканчивающийся на другом опорном гравиметрическом пункте.

Таблица 8 – Каталог гравиметрических пунктов

Трапедия 1:200 000 _____
 1:200 000 _____ Название (номер) пункта _____

Организация		Опорный пункт	Ускорение силы тяжести и мГал	Прямоугольные координаты	Географические координаты	Высота в Балтийском море, м	Аномалии, мГал		
							В свободном воздухе	$\delta=2,3$ г/с м ³	$\delta=2,67$ г/см ³
		(класс, название)							
		Координаты	$g =$ _____	$x =$ _____	$\varphi =$ _____	_____	_____	_____	_____
Год работ	№ по каталогу	$\varphi =$ _____	$m =$ _____	$y =$ _____	$\alpha =$ _____	_____	_____	_____	_____
		$\alpha =$ _____							
		$g_{\text{опор.}} =$ _____	Средние квадратические ошибки						

В данном случае средняя кв.ош.(m) - средняя квадратическая ошибка определения g на пункте, принимается равной 0,5 или 1,0 мГал, в зависимости от методики наблюдения.

Наблюдения в рейсе выполняют по программе:

- наблюдения на опорном гравиметрическом пункте;
- наблюдения на определяемых пунктах;
- наблюдения на опорном гравиметрическом пункте.

Продолжительность рейса не должна превышать 48 часов
максимальные расхождения между значениями ускорений силы тяжести
полученными по трем гравиметрам после обработки рейса не должны
превышать 5 и 10 мГал при точностях определения 2 и 5 соответственно.

При несоблюдении допусков выполняют повторные измерения, общее
число которых не должно превышать 30 % всех измерений в рейсе. В этом
случае в повторный рейс включают пункты, требующие перенаблюдений.
При большем числе забракованных изменений, а также при несоблюдении
допусков на опорном пункте, повторяется весь рейс.

**Обработка и оформление материалов выполняется в соответствии
с разделом**

Географические координаты определены по карте масштаба
_____ изд. 20__ г. Высота получена _____

Прямоугольные координаты получены

Пункт совмещён с пунктом триангуляции (полигонометрии)
_____ каталог изд. 20__ г, № по каталогу

Описание местоположения и закрепления пункта на местности, типы
применяемых гравиметров

Исполнитель

Карточку составил _____ Проверил _____

Принял _____

До 1975 г. Все гравиметрические наблюдения в РФ выполнялись в
Потсдамской системе. Абсолютное значение силы тяжести в исходном

пункте этой системы – в Потсдаме – было получено в результате измерений обратными маятниками в 1898-1904 гг. В результате анализа абсолютных измерений ускорений силы тяжести последних, наиболее надежных определений, сделан вывод, что ранее принятое исходное значение силы тяжести в Потсдаме ошибочно на 14 *мГал*. С 1 января 1975 г. в РФ введена единая система опорных значений силы тяжести в гравиметрических работах – «Гравиметрическая система 1971 года». За исходные в этой системе приняты значения пунктов государственной гравиметрической сети 1 класса, определенные от Мирового исходного пункта Потсдам, исправленного поправкой «– 14 *мГал*». Исходя из этого, при использовании каталогов опорных гравиметрических пунктов, изданных до 1975 г. в «Потсдамской системе», необходимо в значение ускорения силы тяжести вводить ПОСТОЯННУЮ поправку «– 14 *мГал*».

Ускорения силы тяжести могут определяться инструментально и по гравиметрическим картам. По гравиметрическим картам масштабов 1 : 200 000 (с сечением до 2 *мГал*) и 1 : 1 000 000 (с сечением до 5 *мГал*) ускорения силы тяжести определяются с точностью 2 и 5 *мГал* соответственно. Для этой цели используют гравиметрические карты РФ в редукции Буге с плотностью промежуточного слоя $\delta=2,3$ г/см³. Для получения ускорения силы тяжести по карте масштаба 1 : 200 000 высота точки должна быть получена с точностью 2 м*, при использовании карты масштаба 1 : 1 000 000 – 5 м. Высоты с точностью 2 и 5 м могут быть получены методами, описанными в ст. 288 Руководства, ч. 1. Вычисление *g* в «Системе 1971 г.» для данной точки физической поверхности Земли по этим картам выполняется по формуле:

$$g = \Delta g_B + \gamma_0 - 0,2125H - 14, \quad (18)$$

где Δg_B – аномалия Буге, полученная в данной точке местности по карте линейным интерполированием;

γ_0 – нормальное значение силы тяжести, выбранное из специальных таблиц (приложение 23) или вычисленное по формуле Гельмерта 1901-1909 гг. (по широте данной точки);

H – высота точки в Балтийской системе, м;

$0,2125H$ – редукция Буге, *мГал*;

$-14, \text{мГал}$ – поправка к значению γ_0 за переход от Потсдамской системы к «Системе 1971 г.».

Аномалии Буге, полученные по гравиметрическим картам, изданным в СССР в Потсдамской системе до 1975 г., не меняют своего значения при переходе к «Гравиметрической системе 1971 года».

В ряде случаев возникает необходимость получения g на некоторой глубине от поверхности Земли.

Приближенно (с погрешностью до 2-3 *мГал* при $h' \leq 50$ м) значение g на глубину h' может быть перевычислено по формуле:

$$g_{h'} = g + 0,127h' \quad (19)$$

По этой формуле можно перевычислять значения ускорения силы тяжести внутри Земли с одного горизонта на другой, принимая за h' разность уровней, на которых лежат горизонты.

При необходимости значение g , полученное в точке на поверхности Земли, может быть перевычислено на некоторую высоту от нее приближенную с ошибкой порядка 2-3 *мГал* при $h' \leq 100$ м, значение g на высоте h'' может быть вычислено по формуле:

$$g_h = g - 0,3086h'' \quad (20)$$

2) При получении высот с точностью 10 м значение ускорений силы

тяжести по гравиметрическим картам масштаба 1:20000 определяется со средней квадратической ошибкой 3 мГал.

2.6 Возможные неисправности гравиметра ГНК-К2 и их устранение

В гравиметре ГНК-К2 могут возникнуть в основном неисправности кварцевой системы и механических частей прибора. Рассмотрим способы устранения возможных неисправностей.

Прилипание рычага к ограничителям – наиболее часто встречающаяся неисправность кварцевой системы. Она может появиться вследствие конденсации влаги на рычаге и ограничителе, вызываемой понижением температуры внутри корпуса кварцевой системы. Конденсация влаги может произойти также из-за увлажнения воздуха в корпусе гравиметра за счет атмосферной влаги при нарушении герметизации кварцевой системы.

Нарушение герметизации легко обнаружить нагнетанием воздуха под давлением до 1-2 атмосфер в корпус, погруженный в воду. Воздушные пузырьки укажут места нарушения герметизации. Чтобы при погружении корпуса в воду предохранить от коррозии микрометрические винты, их следует густо смазать (автолом, техническим вазелином и т. п.). После длительной и надежной откачки воздуха из исправного корпуса упругой системы прилипание рычага, как правило, устраняется.

Следует заметить, что нарушение герметизации не всегда сопровождается прилипанием рычага к ограничителям. Оно может возникнуть вследствие ослабления зажима резиновой прокладки между цилиндрической плитой и защитным кожухом (стаканом) корпуса кварцевой системы. Такую неисправность легко устранить навинчиванием специального кольца или заменой резиновой прокладки. Нарушение

герметизации корпуса кварцевой системы может быть связано также с появлением трещин в сильфонах. В этом случае необходимо заменить неисправный сильфон, что может быть выполнено только в лабораторных условиях. Нарушение герметизации может произойти и в вакуумном кране, и в окнах осветителя и микроскопа вследствие ослабления зажимных гаек от длительной тряски. Эти нарушения легко устраняются в полевых условиях путем закрепления зажимных гаек специальными ключами, входящими в комплект принадлежностей прибора.

Если прилипание рычага откачкой воздуха устранить не удастся, то необходимо вскрытие упругой системы в лабораторных условиях.

Смещение оптической системы может быть связано с изменением положения окуляра или объектива. Изменение положения окулярной шкалы происходит вследствие ослабления зажимной гайки окуляра. Неисправность устраняется закреплением зажимной гайки.

Изменение положения объектива может произойти из-за ослабления крепления. Для устранения неисправности следует закрепить объектив в оправе.

Нарушение юстировки оптической системы. Вследствие продолжительной тряски может нарушиться юстировка оптической системы, что приводит к ухудшению резкости контуров изображения индекса рычага или отсчетной белой полосы на его фоне. Так может произойти из-за нарушения фокусировки электролампочки осветителя или смещения окуляра. Неисправность устраняют перемещением окуляра и лампочки осветителя и последующим надежным закреплением их. Если таким путем добиться резкости контуров изображения рычага не удастся, то нарушения оптической системы связаны с ослаблением крепления и перемещением объектива или с поворотом кварцевой системы относительно корпуса. В этом случае для юстировки оптической системы гравиметр следует отправить на завод-изготовитель.

Уход индекса из поля зрения может произойти вследствие поломки

рычага, обрывов оси подвеса, оси одной из рамок упругой системы, главной или диапазонной пружины, а также значительного смещения из поля зрения микроскопа в ту или другую сторону ограничителя рычага. Кроме того, возможен случай, когда при изменении отсчета на счетчике оборотов изображение индекса не меняет своего положения на шкале окуляра. Причиной этого являются или обрыв измерительной пружины, или дефекты механической части измерительного устройства гравиметра (поломка стержня, соединяющего микрометрический винт со счетчиком, и др.).

При указанных неисправностях гравиметр следует отправить для ремонта на завод-изготовитель.

Поломка сосуда Дьюара, легко обнаруживается по большим изменениям температуры внутри прибора. В этом случае его следует заменить новым сосудом, входящим в комплект гравиметра.

Порядок разборки и сборки гравиметра ГНК-К2. Разборку гравиметра производят в случае необходимости замены вышедшего из строя сосуда Дьюара, исправления нарушения в соединении корпуса кварцевой системы с верхней панелью гравиметра, исправления нарушения герметизации гравиметра. Для устранения двух первых неисправностей необходимо корпус гравиметра отделить от внешнего кожуха, вывинтив для этого три винта, прикрепляющие верхнюю панель прибора к внешнему кожуху. Дальнейшую разборку с целью исправления микрометрических винтов диапазонного и измерительного устройств, устранения нарушения герметизации, а также исправления кварцевой системы, как правило, следует производить в лабораторных условиях. Разборка в этом случае состоит в отделении теплозащитного столба от корпуса кварцевой системы и верхней панели, которая крепится к теплозащитному столбу шестью винтами, а теплозащитный столб соединяется с корпусом также шестью винтами. После вывинчивания этих винтов панель, теплозащитный столб и корпус кварцевой системы легко разъединяются.

Вскрытие кварцевой системы гравиметра допускается только

квалифицированными специалистами. Сборку гравиметра проводят в обратном порядке.

2.7 Возможные неисправности гравиметра ГНШ-МТ2 и их устранение

Непрерывный прогрев термостата. Основным признаком неисправности является непрерывная работа миллиамперметра (миллиамперметр не выключается). Возможные причины неисправности и способы устранения:

- обрыв в цепи контактного термометра. Для устранения неисправности устанавливают место обрыва, например, с помощью тестера, и восстанавливают соединение в цепи;

- выход из строя контактного термометра. При обнаружении дефекта термометр заменяют новым;

- выход из строя бесконтактного реле. Неполадка устраняется заменой неисправного реле новым;

- снижение напряжения питания до 5,5 В и менее. Следует заменить источник питания на новый с номинальным напряжением 6,3 В;

- выход из строя сосуда Дьюара. Заменяют сосуд Дьюара запасным из комплекта прибора.

Термостат не включается на прогрев. Основной признак неисправности — не включается миллиамперметр. Возможные причины неисправности и способы их устранения могут быть:

- обрыв в цепи обогрева или питания прибора. При таких неисправностях следует проверить цепи и устранить обрыв;

- выход из строя бесконтактного реле. Неполадка устраняется заменой неисправного реле новым;

– температура окружающей среды выше температуры термостатирования. В этом случае следует обеспечить температурные условия, необходимые для нормальной работы прибора.

Ухудшение фокусировки изображения светового индекса.

Возникновение этой неполадки происходит вследствие смещения положения окуляра. Для устранения неисправности необходимо отрегулировать окуляр применительно к зрению наблюдателя и надежно закрепить его хомутиком.

Трудности совмещения отсчетного индекса с биссектором могут возникать при изменении положения уровней относительно упругой системы прибора. В этом случае следует произвести регулировку уровней гравиметра путем его настройки на минимум чувствительности к наклонам.

Разброс отсчетов в серии наблюдений на пункте. Эта неисправность может быть вызвана поломкой устройства арретирования прибора. Неисправность устраняется на заводе-изготовителе.

Изменение величины смещения нуль–пункта при работе в горных условиях вызывается нарушением герметизации камеры упругой системы. Герметизация камеры может быть восстановлена только в заводских условиях.

2.8 Регулировки и исследования гравиметров ГНК-К2 и ГНШ-МТ2

20.5.4

Для гравиметров ГНК-К.2 и ГНШ-МТ2 выполняются следующие регулировки:

–регулировка уровней на минимум чувствительности к наклонам (выполняется перед каждым репсом);

–перестройка диапазона.

Исследования гравиметров ГНК-К2 и ГНШ-МТ2 включают:

–определение цены оборота счетчика (микрометра) и коэффициента нелинейности шкалы;

–определение средней квадратической ошибки единичного измерения разности силы тяжести.

Исследования гравиметров выполняют перед началом полевого сезона.

Определение цены оборота счетчика и коэффициента нелинейности шкалы для гравиметра ГНК-К2 может осуществляться методом наблюдения на пунктах с известной разряженностью силы тяжести или методом наклона. При использовании метода наклона определение цены оборота счетчика узкого диапазона гравиметра ГНК-К2 должно осуществляться при разности силы тяжести 70-150 *мГал* и широкого диапазона 400-500 *мГал*. Цена оборота счетчика и коэффициент нелинейности шкалы для гравиметра ГНШ-МТ2 определяются только методом наблюдения на пунктах с известной разностью силы тяжести. При этом эталонная разность силы тяжести между пунктами должна быть не менее 400 *мГал* при использовании всего диапазона измерений без перестройки (1500 *мГал*), а точность ее определения не хуже 0,2 *мГал*. В случае неполного использования диапазона измерений, эталонные разности по величине должны составлять не менее 30-40% от диапазона измеряемых разностей силы тяжести.

2.9 Проверка и регулировка уровней гравиметров на минимум чувствительности к наклонам

Отрегулированному положению уровней соответствуют отсчеты: минимальный для ГНК-К2 и максимальный — для ГНШ-МТ2 по счетчику гравиметра во время наблюдений.

Поверку и регулировку гравиметров на минимум чувствительности к наклонам следует начинать с уровня, ось которого параллельна оси вращения

рычага маятника. Направление оси вращения рычага маятника устанавливают в соответствии с направлением перемещения индекса.

Проверку производят следующим образом:

– устанавливают уровни в нулевое положение и совмещают индекс с исходным (отсчетным) штрихом окулярной шкалы;

– отклоняют пузырек уровня, ось которого параллельна оси вращения рычага маятника, подъемными винтами прибора вправо и влево на одно деление и наблюдают за положением индекса на окулярной шкале. Если при этом заметного смещения индекса не происходит или в обоих случаях он незначительно отклоняется в сторону уменьшения силы тяжести (для ГНК-К2 — влево, для ГНШ-МТ2 — вправо), то считают, что нарушения регулировки данного уровня нет. Отсчеты по счетчику при наклонах в разные стороны должны быть примерно одинаковы. Различие в отсчетах допускается не более чем на 0,03 оборота. Изменение отсчетов при наклонных установках относительно начального положения должно быть в сторону уменьшения силы тяжести.

При отклонении пузырька поверяемого уровня пузырек другого уровня должен оставаться на середине. В противном случае его положение необходимо исправить подъемными винтами прибора.

Если при отклонении пузырька вправо или влево индекс перемещается в ту же сторону (отсчет в первом случае уменьшается, во втором — увеличивается), то установка уровня неправильна и требует исправления.

Регулировку проводят следующим образом:

– производят отсчет при начальном положении гравиметра, а пузырек уровня на середине;

– действуя подъемными винтами гравиметра, постепенно перемещают индекс в сторону увеличения силы тяжести и при каждом очередном перемещении делают отсчеты;

– когда отсчет будет экстремальным (минимальным — для ГНК-К2 и максимальным — для ГНШ-МТ2), исправительными винтами пузырьков уровня приводят на середину;

– проверяют правильность регулировки уровня и, если она оказывается недостаточной, то повторяют ее до тех пор, пока уровень не будет окончательно отрегулирован.

Другой уровень, ось которого перпендикулярна оси вращения рычага маятника, регулируют таким же образом. После регулировки второго уровня вновь проверяют правильность установки первого уровня. При необходимости выполняют его регулировку и проверяют второй уровень.

2.10 Перестройка диапазона гравиметров

Перестройка диапазона выполняется перед наблюдениями в рейсе в том случае, если отсчеты хотя бы на одном пункте окажутся за пределами шкалы оборотов.

Для этого на начальном пункте микрометрическое устройство должно быть поставлено в такое положение по шкале оборотов, при котором будет обеспечена возможность измерения предполагаемых разностей силы тяжести. Так, если предполагаемая максимальная разность силы тяжести может составить $+250$ мГал, а минимальная – 450 мГал, то микрометрическое устройство гравиметра ГНШ-МТ2 при $C = 60$ мГал/об должно быть установлено на отсчет не менее 8,000 и не более 15,000 об.

При измерении тех же разностей гравиметром ГНК-К2, счетчик оборотов которого имеет 24 деления и $C = -60$ мГал/об, микрометрическое устройство на начальном пункте должно быть установлено на отсчет не менее 5,000 и не более 16,000 об. Такая установка микрометрического устройства даст возможность измерить в рейсе положительную разность силы тяжести, не превышающую 300 мГал и отрицательную – в 480 мГал.

Перестройку диапазона гравиметров производят набором, состоящим из настроечного и стопорного диапазонных ключей. Для перестройки гравиметра ГНШ-МТ2 используется также дополнительный внутренний диапазонный ключ для общего арретирования диапазонного устройства.

При перестройке диапазона вынимают пробку на верхней панели гравиметра и в отверстие диапазонного устройства осторожно вводят диапазонные ключи. Для гравиметра ГНШ-МТ2 вначале вводят внутренний (контргачный) диапазонный ключ и осуществляют разарретирование диапазонного устройства вращением его на 1-2 об против часовой стрелки, после чего извлекают из отверстия. Далее в отверстие диапазонного устройства гравиметра ГНШ-МТ2 вводят вставленные один в другой настроечный (внешний) и стопорный (внутренний) диапазонные ключи, после чего стопорный поворачивают против часовой стрелки до упора.

При перестройке диапазона гравиметра ГНК-К2 в диапазонное отверстие вводят вставленные один в другой стопорный (внешний) и настроечный (внутренний) диапазонные ключи, после чего стопорный поворачивают против часовой стрелки до упора.

После этого счетчик оборотов устанавливают на отсчет, соответствующий рассчитанному значению силы тяжести и поворотом настроечного ключа выводят индекс к отсчетному штриху шкалы. После выведения индекса настроечным ключом вращением стопорного ключа по часовой стрелке добиваются закрепления стопорного винта таким образом, чтобы световой индекс оставался на уровне отсчетного штриха шкалы. При действии стопорным ключом следует придерживать настроечный ключ. При некотором уходе индекса действия обоими ключами повторяют в той же последовательности до тех пор, пока световой индекс не будет совмещен с отсчетным штрихом шкалы, а стопорный винт надежно закреплен.

После того как настройка диапазона произведена, оба ключа извлекаются из отверстия, и оно у гравиметров ГНК-К2 закрывается пробкой.

Диапазонное устройство гравиметров ГНШ-МТ2 после настройки арретируется с помощью контргачного диапазонного ключа вращением его по часовой стрелке. Арретирование должно выполняться надежно, но без применения излишних усилий, во избежание выхода из строя диапазонного устройства. После арретирования диапазонное отверстие закрывают пробкой.

2.11 Определение цены оборота счетчика и коэффициента нелинейности шкалы методом наблюдения на пунктах с известной разностью силы тяжести

Для определения цены оборота счетчика (эталонирования) и коэффициента нелинейности шкалы производят 9-12 эталонных рейсов между гравиметрическими пунктами с известным значением силы тяжести по схеме 1–2–3. . . – m –1 (m – число пунктов). Через каждые три рейса диапазон гравиметра перестраивают таким образом, чтобы с перекрытием диапазонов полностью использовалась вся отсчетная шкала (рисунок 14)

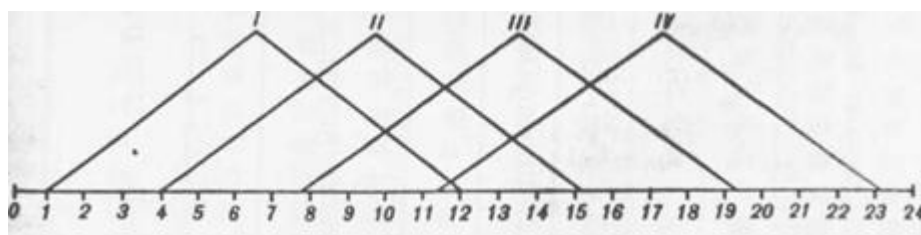


Рисунок 14 – Схема перестройки диапазонов при определении оборота счетчика гравиметров ГНШ-МТ2 и ГНК-К2

Настройка I	$S_1 \approx 1$ об	$S_2 \approx 12$ об	
Настройка II	$S_1 \approx 4$ об	$S_2 \approx 15$ об	
Настройка III	$S_1 \approx 8$ об	$S_2 \approx 19$ об	
Настройка IV	$S_1 \approx 12$ об	$S_2 \approx 23$ об	– для гравиметра ГНК-К2

Цену оборота счетчика S определяют из выражения:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_{i1}}{n}, \quad (21)$$

где $C_{i1} = \frac{\delta g_{i1}}{S_i - S_1}$ – цена оборота счетчика, полученная при измерении

между i -ь и первым пунктом;

$\delta g_{i1} = g_i - g_1$ – известная разность значений силы тяжести между i -м и первым пунктами;

S_i и S_1 – отсчеты по микрометру на соответствующих i -м и первым пунктах, исправленные поправкой за смещение нуляпункта;

n – общее число независимых измерений разностей силы тяжести.

Цена оборота счетчика гравиметров ГНК-К2 отрицательна ($C < 0$), гравиметров ГНШ-МТ2 — положительна ($C > 0$).

Если обнаруживается закономерность в изменении величины C в зависимости от отсчета по прибору, и это изменение превосходит 0,03%, т. е.

$\frac{\Delta C}{\Delta C_{cp}} > 0,03\%$, где ΔC – среднее отклонение цены деления на крайних

оборотах счетчика от средней ее величины C_{cp} , то в этом случае необходимо учитывать нелинейность шкалы.

С учетом этого цена оборота счетчика на пунктах 1,2, . . . , m определяется по формулам:

$$C_1 = C_0 + k_0 S_1; \quad (22)$$

$$C_2 = C_0 + k_0 S_2;$$

.....

$$C_m = C_0 + k_0 S_m;$$

Где C_0 – цена оборота счетчика при $S = 0$, $мГал/об$;

k_0 – коэффициент линейности шкал, $мГал/об^2$.

По результатам выполненных рейсов составляется система уравнений вида

$$\delta g_{il} = C_0 (S_i - S_1) + k_0 (S_i^2 - S_1^2) \quad (23)$$

Для упрощения этой системы вместо δg_{il} подставляют его выражение из формулы для определения цены оборота C_{il} , тогда после преобразований уравнения примут вид

$$C_{il} = C_0 + k_0 (S_{il} + S_1) \quad (24)$$

где C_0 и k_0 – неизвестные, а C_{il} – величина, полученная из каждой выполненной приборосвязи.

Число таких уравнений зависит от количества приборосвязей n . Система из n уравнений решается по методу наименьших квадратов. Из решения системы определяются значения C_0 до 0,001 мГал/об и k_0 до 0,0001 мГал/об².

Для введения поправок в отсчеты за нелинейность шкалы микрометра определяются значения коэффициента

$$k = \frac{k_0}{C_0} 1/об \quad (25)$$

и составляется таблица или график поправок (таблица 9) в соответствии с формулой: $\Delta S = K \cdot S^2$.

Поправки ΔS определяются до 0,001 об микрометричного винта и должны вводиться в показания гравиметра со своим знаком.

Аналогичный график и таблицу составляют для гравиметра ГНК-К2.

$$C_0 = 62,870 \text{ мГал/об} \quad k = 0,000315 \text{ } 1/об$$

Таблица 9 – Образец таблицы поправок к отсчетам за нелинейность шкалы гравиметра ГНШ-МТ2 в тысячных долях оборота

Целые обороты	Десятые доли оборота									
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3
3	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5
4	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8
5	8	8	9	9	9	10	10	10	11	11
6	11	12	12	13	13	13	14	14	15	15
7	15	16	16	17	17	18	18	19	19	20
8	20	21	21	22	22	23	23	24	24	25
9	26	26	27	27	28	28	29	30	30	31
10	32	32	33	33	34	35	35	36	37	37
11	38	39	40	40	41	42	42	43	44	45
12	45	46	47	48	48	49	50	51	52	52
13	53	54	55	56	57	57	58	59	60	61
14	62	63	64	64	65	66	67	68	69	70
15	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
16	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
17	91	92	93	94	95	96	98	99	100	101
18	102	103	104	105	107	108	109	110	111	113
19	111	115	116	117	119	120	121	122	123	125
20	126									

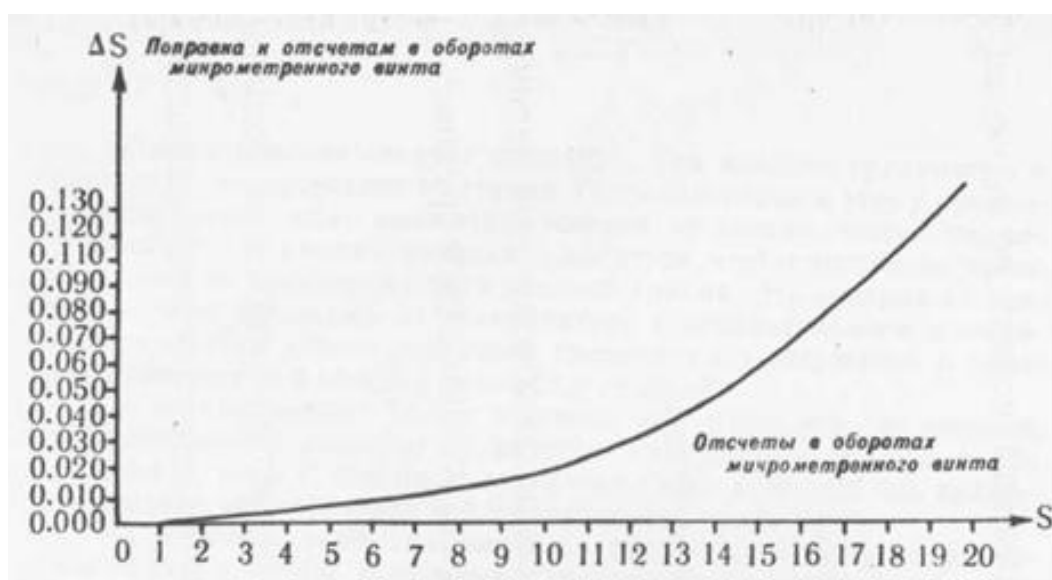


Рисунок 15 – Образец графика поправок к отсчетам за нелинейность шкалы гравиметра ГНШ-МТ2

2.12 Определение цены оборота счетчика методом наклона

Для определения цены оборота счетчика методом наклона используется экзаменатор, имеющий площадку для установки гравиметра. Рабочий диапазон углов наклона экзаменатора должен быть около 2°.

Сущность рассматриваемого метода заключается в том, что при наклоне гравиметра на угол β относительно горизонта отсчет по счетчику изменяется (для ГНК-К2 увеличивается) пропорционально кажущемуся уменьшению силы тяжести на величину

$$\delta g_{\beta} = g_0 - g_0 \cos \bar{\beta} = g_0 \frac{1}{2} \left(\frac{\bar{\beta}}{p'} \right)^2 + \dots, \quad (26)$$

где g_0 – значение силы тяжести на пункте наблюдения;

$\bar{\beta}$ – угол наклона упругой системы гравиметра, минуты дуги; $p' = 3438'$.

Значения изменений силы тяжести δg_{β} , для различных углов наклона гравиметра на экзаменаторе приведены в таблице 10.

Таблица 10 - Значение δg_{β} в зависимости от угла наклона гравиметра

$$g_0 = 981\,550 \text{ мГал}$$

β	δg_{β} , мГал	β	δg_{β} , мГал
±	9,311	±	84,093
30	37,375	48	95,679
33	45,223	51	108,013
36	53,819	54	121,094
39	63,163	57	134,922
42	73,254	60	149,498

Формула для определения цены оборота C счетчика имеет вид

$$C = \frac{g_0 \beta \overline{S_0 - 2\delta\beta_0}}{2\rho^2 \overline{S_0 - S}}, \quad (27)$$

где S_0 — отсчет при начальной установке гравиметра ($\beta_0 \approx 0$);

S — отсчет при наклоне гравиметра на угол β ;

$\overline{\beta} = \beta + \delta\beta_0$ — измеренный угол наклона гравиметра;

$\delta\beta_0$ — погрешность начальной установки экзаменатора в угловой мере.

Допуски при определении угла наклона β и начальной установки β_0 гравиметра приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Допуски при определении угла наклона β и начальной установки β_0 гравиметра

Углы β наклона гравиметра	Допустимые погрешности определения угла наклона δ и начальной установки δ гравиметра
$\pm 20'$	0,4"
30	0,6
60	1,2

При эталонировании гравиметров углы наклона измеряют в оборотах микрометрического винта экзаменатора:

$$\beta = n\mu,$$

$$\delta\beta_0 = \mu\delta n_0,$$

где n — число оборотов винта;

μ — цена одного оборота;

δn_0 — погрешность начальной установки экзаменатора в оборотах микрометрического винта.

Тогда

$$C = K \frac{n \overline{S_0 - 2\delta n_0}}{S_0 - S} \quad (28)$$

где $K = \frac{g_0 \mu^2}{2\rho^2}$

Эталонирование следует выполнять при наклоне гравиметра в плоскости оси вращения маятника. Применительно к этому предварительно необходимо выполнить поверку установки уровня, параллельного изображению индекса, и добиться, чтобы погрешность его установки не превышала двух делений уровня. Эту поверку выполняют двумя приемами на экзаменаторе с использованием измерительного винта узкого диапазона гравиметра. Содержание и порядок наблюдений в каждом приеме следующий:

- устанавливают рычаг экзаменатора в среднее положение, обеспечивающее наклоны гравиметра на одинаковые углы в обе стороны от него. С помощью круглого уровня приводят ось вращения рычага экзаменатора в горизонтальное положение;

- устанавливают гравиметр на площадку экзаменатора таким образом, чтобы поверяемый уровень был параллелен рычагу экзаменатора. Подъемными винтами гравиметра приводят пузырьки его уровней на середину;

- наклоняют рычаг экзаменатора вместе с гравиметром сначала в сторону повышения чувствительности его упругой системы на угол $\beta_1 = n_1 \mu$, при котором возможно выполнять наблюдения с гравиметром, а затем таким же образом — в противоположную сторону на угол $\beta_2 = n_2 \mu$. Условно принимают $n_1 < 0$ и $n_2 > 0$ — целое число оборотов винта экзаменатора;

- находят среднее положение рычага экзаменатора $\beta' = n_0' \mu$, где $n_0' = \frac{1}{2} (n_2 - n_1)$;

- устанавливают рычаг экзаменатора в положение n_0' , производят три отсчета по гравиметру S'_0 и находят среднее из них;

- устанавливают рычаг экзаменатора последовательно в положения n_1 и n_2 , производят по три отсчета по гравиметру — S_1 и S_2 и находят среднее из них значение на каждой установке;

– погрешность начальной установки гравиметра по уровню вычисляют при помощи формул:

$$\text{в угловой мере } \delta\beta_0 = \frac{S_1 - S_2}{4(S_1 + S_2 - 2S'_0)} (\beta_2 - \beta_1) \mp \beta'_0; \quad (29)$$

в оборотах винта экзаменатора

$$\delta n_0 = \frac{S_1 - S_2}{4(S_1 + S_2 - 2S'_0)} (n_2 - n_1) \mp n'_0. \quad (30)$$

Второй прием выполняют таким же образом, но при другом порядке наблюдений: сначала на установке n'_0 , затем – на n_2 и n_1 .

Расхождения между значениями $\delta\beta_0$ в приемах не должны превышать 30" (0,25 оборота винта экзаменатора). Если $\delta\beta_0 \leq 2'$ (1 оборот), то установка уровня не требует управления. При $\delta\beta_0 > 2'$ установку уровня следует исправить. Для этого необходимо установить рычаг экзаменатора на отсчет $\delta n'_0$ и исправительными винтами уровня вывести его пузырек на середину. После исправления уровня поверку, при необходимости, повторяют.

Пример поверки установки уровня гравиметра ГНК-К2 приведен в таблице 12.

Таблица 12 - Проверка установки уровня гравиметра ГНК-К2

Угол μ наклона эк- заменатора, об		Отсчеты по гравиметру		δn_0 (об)
		S	$S_{ср.}$	
1-й прием				
n_0	8	S'_0	3,839 48 32	$(\delta n_0)_1 = \frac{(13,638 - 2,676)(21 + 5)}{4(13,638 + 2,676 - 2 \cdot 3,840)} = 0,253 \text{ об}$ $(\delta\beta'_0)_1 = 3 n'_0 \cdot 120 = 30'$
n_1	— 5	S_1	2,676 80 72	
n_2	21	S_2	13,637 31 45	
2-й прием				
n'_0	8	S'_0	3,818 27 15	$(\delta n_0)_2 = 0,204 \text{ об}$ $(\delta\beta'_0)_2 = 24''$
n_2	21	S_2	13,583 89 75	
n_1	— 5	S_1	2,690 84 92	
Среднее:				$\delta n_{ср.} = 0,228 \text{ об}$ $\delta\beta_{ср.} = 27''$

По окончании регулировки уровня, параллельного изображению индекса, приступают к эталонированию измерительных устройств узкого и широкого диапазона гравиметра.

2.13 Определение цены оборота счетчика измерительного устройства узкого диапазона

Для эталонирования измерительного устройства узкого диапазона гравиметра допускается иметь эталонную разность силы тяжести, равную 70-150 *мГал*, что соответствует углам наклона гравиметра от начального положения порядка 40-60' (20-30 оборотов винта экзаменатора).

Эталонирование узкодиапазонного устройства включает следующие действия:

- устанавливают рычаг экзаменатора в среднее положение, обеспечивающее наклоны гравиметра на одинаковые углы в обе стороны от него. С помощью круглого уровня приводят ось вращения рычага экзаменатора в горизонтальное положение;

- устанавливают гравиметр на площадку экзаменатора таким образом, чтобы изображение индекса в поле зрения микроскопа было перпендикулярно рычагу экзаменатора. Подъемными винтами гравиметра приводят пузырьки его уровней на середину;

- перестраивают диапазон измерений таким образом, чтобы начальный отсчет S'_0 был не более 1,5 оборота счетчика;

- выполняют наблюдения 8-ю приемами, каждый из которых состоит из двух полуприемов.

В первом полуприеме:

- производят три отсчета S_0 при начальной установке гравиметра $n_0 = 0$;

– задают винтом экзаменатора наклон гравиметру на угол $-\beta$ ($n_1 = -20$ ч -25 об) и производят три отсчета S_1 на этой установке;

– задают наклон гравиметру на угол $+\beta$ ($|n_2| = |n_1|$) и производят три отсчета S_2 .

Во втором полуприеме наблюдения выполняют таким же образом, но при последовательных установках n_0 , n_2 и n_1 .

Наблюдения каждого полуприема обрабатывают в следующем порядке:

– вычисляют средние значения из отсчетов на каждой установке;

– вычисляют цену оборота C по формуле:

$$C = -K \frac{2n^2}{S_1 + S_2 - 2S_0}; \quad (31)$$

– вычисляют значение δn_0 по формуле (82)

$$\delta n_0 = \frac{S_2 - S_1}{2(S_1 + S_2 - 2S_0)} n \quad (32)$$

Значение δn_0 может плавно изменяться в течении часа после включения освещения гравиметра. Поэтому наблюдения рекомендуется начинать не ранее, чем через 1-2 ч после включения освещения при полной стабилизации пузырьков уровней гравиметра.

Допустимые расхождения между отсчетами на одной установке гравиметра должны быть не более 0,020 об.

Допустимые расхождения значений δn_0 при различных установках экзаменатора приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Допустимые расхождения значений δn_0

Обороты экзаменатора	Допустимые расхождения значений δn_0 , об	
	в приеме	между приемами
± 10	0,005	0,015
± 15	0,008	0,020
± 30	0,015	0,010

Расхождения между вычисленными значениями C не должны превышать 0,002 мГал/об.

Пример определения цены оборота микрометричного винта узкого диапазона методом наклона для одного приема приведен в таблице 14.

Таблица 14 – Определение цены деления оборота микрометричного винта узкого диапазона

$$g = 981\,540 \text{ мГал}, \quad \mu = 2', \quad K = \frac{g\mu^2}{2\rho^2} = 0,1661$$

Угол μ наклона экзаменатора, об		Отсчеты по гравиметру, об		C , мГал/об	δn_0 , об	C_k , мГал/об	
		S	$S_{\text{ср.}}$				
1-й полуприем							
n_0	0	S_0	1,736 742 733	1,737	-6,848	-0,472	-6,848
n_1	-20	S_1	10,980 973 989	10,981			
n_2	+20	S_2	11,896 905 891	11,897			
2-ой полуприем							
n_0	0	S_0	1,752 758 744	1,751	-6,846	-0,470	-6,845
n_1	+20	S_2	11,912 920 906	11,913			
n_1	-20	S_1	10,996 990 11,003	11,000			
Среднее:					-6,847	$\Delta(\delta n_0) = 0.002$	

2.14 Определение цены оборота счетчика измерительного устройства широкого диапазона

Для эталонирования измерительного устройства широкого диапазона гравиметра необходимо иметь эталонную разность силы тяжести, равную 400-500 мГал, что соответствует углам наклона гравиметра от начального

положения порядка 100-110' (50-55 оборотов винта экзаменатора), то есть практически всему диапазону работы экзаменатора.

При эталонировании широкодиапазонного устройства выполняют следующие действия:

– устанавливают рычаг экзаменатора в пределах 1-2 об от одного из крайних положений;

– устанавливают гравиметр на площадку экзаменатора таким образом, чтобы изображение индекса в поле зрения микроскопа было перпендикулярно рычагу экзаменатора. Подъемными винтами гравиметра приводят пузырьки его уровней на середину;

– выполняют восемь приемов наблюдений, содержание и порядок каждого из которых следующий:

– наклоняют рычаг экзаменатора от предыдущего положения к другому крайнему положению на целое четное число оборотов ($n_2 = 50 \pm 54$ об) и производят три отсчета S_2 по гравиметру;

– устанавливают рычаг экзаменатора в положение $n_{cp} = \frac{n_2}{2}$ и производят три отсчета S' ;

– устанавливают рычаг экзаменатора на отсчет $n_1 = 0$ и производят три отсчета S_1 ;

– повторяют наблюдения на установках n_{cp} и n_2 .

Наблюдения каждого приема обрабатывают в следующем порядке:

– вычисляют средние значения S и S_{cp} из отсчетов на каждой установке;

– вычисляют цену оборота C по формуле

$$C = -K \frac{n_2^2}{2(S_1 + S_2 + 2S')}; \quad (33)$$

– вычисляют значения δn_0 по формуле

$$\delta n_0 = \frac{S_1 - S_2}{4(S_1 + S_2 - 2S')} n_2 + \frac{n_2}{2}; \quad (34)$$

– вычисляют таким же образом как и при эталонировании измерительного устройства узкого диапазона.

Допустимые расхождения между отсчетами на одной установке гравиметра должны быть не более $0,005$ об.

Допустимые расхождения значений δn_0 между приемами не должны превышать $0,040$ об.

Пример определения цены оборота микрометрического винта широкого диапазона методом наклона для одного приема приведен в таблице 15.

$$g = 981\,540 \text{ мГал}, \quad \mu = 2', \quad K = \frac{g\mu^2}{2\rho^2} = 0,1661$$

Таблица 15 – Определение цены оборота микрометрического винта широкого диапазона

Угол и наклона экзаменатора, об		S	Отсчеты по гравиметру, об			C, мГал/об	δn_0 , об	C _к , мГал/об
			S	S''	S _{ср.}			
n ₂	60	S ₂	16,390 393 390	16,3910	16,4003	-52,523	+0,067	-52,522
n _{ср}	30	S'	7,877 878 874	7,8763	7,8745			
n ₁	0	S ₁	5,041 040 042	5,0410	5,0410			
n _{ср}	30	S'	7,873 871 874	7,8727				
n ₂	60	S ₂	16,411 408 410	16,4097				

При эталонировании наклоном так же, как и при эталонировании на пунктах с известной разностью силы тяжести, широкий диапазон гравиметра

ГНК-К.2 перестраивают на 3-4 перекрывающихся участках отсчетной шкалы. Схема перестройки гравиметра приведена на рисунке 1.

2.15 Определение средней квадратической ошибки единичного измерения разности силы тяжести

Величину средней квадратической ошибки единичного измерения разности силы тяжести $(m_{\delta g})_0$ определяют с целью проверки ее соответствия допустимому значению, установленному для определения силы тяжести со средними квадратическими ошибками 0,5 и 1 *мГал*. Измерения с указанными точностями разрешается выполнять гравиметрами со средними квадратическими ошибками единичного измерения разности силы тяжести не более 0,4 и 0,8 *мГал* соответственно.

При выполнении эталонирования на пунктах с известной разностью силы тяжести определение величины $(m_{\delta g})_0$ следует выполнять по результатам измерений этого эталонирования. Причем необходимо выполнить не менее 50 измерений разностей силы тяжести в 6-9 рейсах продолжительностью 8-10 ч. Измерения в каждом рейсе выполняют по схеме: 1-2-3- . . . –m-1, где m – число пунктов в рейсе. При этом одну треть измерений производят на начальных установках шкалы отсчетного устройства, а остальные две трети – с использованием средней части и конца отсчетной шкалы. Перестройка диапазона гравиметра должна осуществляться в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 33. Обработку гравиметрических измерений выполняют в соответствии с требованиями, изложенными в инструкции.

По результатам измерений в рейсах вычисляют величину $(m_{\delta g})_0$ по формуле

$$(\text{m}\delta g)_0 = \sqrt{\frac{\sum_1^n \left(\left(\delta g_{i1} - \delta g_{i1}^- \right)^2 - \left(n_{\delta g} \right)_{i1}^2 \right)}{n}} \quad (35)$$

где δg_{i1} – измеренное значение разности силы тяжести между i -м и первым пунктами, исправленное поправками за смещение нуля пункта и нелинейность отсчетной шкалы, мГал;

δg_{i1}^- – известная разность силы тяжести между i -м и первым пунктами, мГал;

$\left(n_{\delta g} \right)_{i1}$ – средняя квадратическая ошибка известной разности силы тяжести между i -м и первым пунктами, мГал;

n – общее число измеренных разностей силы тяжести.

Если известна точность определения силы тяжести на использованных для определения $\left(n_{\delta g} \right)_{i1}$ гравиметрических пунктах, то величину $\left(n_{\delta g} \right)_{i1}$ определяют по формуле

$$\left(n_{\delta g} \right)_{i1} = \sqrt{\left(n_g \right)_i^2 + \left(n_g \right)_1^2} \quad (36)$$

где $\left(n_g \right)_i$ и $\left(n_g \right)_1$ – средние квадратические ошибки определения силы тяжести на i -м и первом пунктах.

Величина $\left(n_{\delta g} \right)_{i1}$ не должна превышать 0,2 мГал.

При выполнении эталонирования методом наклона величину $\left(n_{\delta g} \right)_{i1}$ следует определять по результатам двойных измерений гравиметром на пунктах, между которыми значения разностей силы тяжести неизвестны. Измерения на этих пунктах выполняют с таким расчетом, чтобы образовать не менее 50 разностей силы тяжести, полученных дважды. Схема измерений, число рейсов и их продолжительность те же самые, что и при использовании

пунктов с известной разностью силы тяжести. Величину $\langle g_{\delta} \rangle$ в этом случае вычисляют с помощью формул:

$$\langle g_{\delta} \rangle = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^k \Delta \delta g_{j1}^2}{2(k-1)}}; \quad (37)$$

$$\Delta \delta g_{j1} = d_{j1} - \frac{\sum_{j=1}^k d_{j1}}{k}; \quad (38)$$

$$d_{j1} = \langle g_{1-j} \rangle - \langle g_{2-j} \rangle; \quad (39)$$

Где $\langle g_{1-j} \rangle$ и $\langle g_{2-j} \rangle$ – пара измеренных значений разностей силы тяжести между j -м и первым пунктами, исправленных поправками за смещение нуля и нелинейность отсчетной шкалы, $mGal$;

k – число двойных измерений разностей силы тяжести.

2.16 Основные правила эксплуатации и бережения гравиметров

Гравиметры представляют собой прецизионные высокочувствительные приборы и требуют соблюдения правил эксплуатации и бережения, установленных Руководством по техническому обслуживанию, хранению и ремонту топогеодезических приборов.

Гравиметры должны храниться в сухом помещении в вертикальном положении. Упругие системы гравиметров ГНШ-МТ2 при хранении арретируют. В помещении, где хранятся приборы, не допускается хранение кислот, щелочей и других агрессивных веществ. Вблизи от приборов не должно быть источников тепла и значительных магнитных полей.

Микрометрический винт гравиметра ГНШ-МТ2 при длительном хранении должен находиться в верхнем крайнем положении для того, чтобы сильфон отсчетного устройства был в ненапряженном состоянии.

При получении гравиметров ГНК-К2 и ГНШ-МТ2 со склада производят внешний осмотр приборов, проверяют надежность их крепления в транспортировочных ящиках и комплектность согласно прилагаемым к приборам аттестатам и паспортам. При осмотре устанавливают сохранность уровней, термометров и непосредственно на месте приемки проверяют исправность упругой системы, измерительного и диапазонного устройств путем пробных наблюдений. У гравиметра ГНШ-МТ2 проверяют работоспособность термостата.

Проверяют также наличие и правильность оформления заводской технической документации с данными технической характеристики принимаемого прибора, включая температурную кривую и цену деления отсчетного устройства.

В полевых условиях гравиметры необходимо оберегать от воздействия прямых солнечных лучей, порывов сильного ветра, атмосферных осадков и тумана. Для этого в момент наблюдений приборы целесообразно предохранять при помощи защитного покрытия (палатки, зонта и т. п.), а в перерывах между наблюдениями закрывать верхнюю часть гравиметров крышкой.

При пользовании гравиметрами необходимо соблюдать правила:

- не подвергать прибор резким толчкам и ударам;
- не вскрывать в полевых условиях (вскрытие допускается только в лабораторных или заводских условиях);
- гравиметр ГНК-К2 следует помещать в температурные условия, близкие к условиям полевых работ, за 5—6 ч до выезда в рейс;
- работу с гравиметром ГНШ-МТ2 начинать не ранее чем через 24 ч после подключения источника питания для прогрева термостата;
- в каналы настройки гравиметра ГНШ-МТ2 и отверстие КРАН запрещается вставлять термометры;
- во время работы оберегать гравиметры от быстрого прогрева или охлаждения;

– при работе с гравиметром ГНК-К2 в каждом отдельном рейсе можно пользоваться только одним из микрометрических винтов – узкодиапазонным или широкодиапазонным; изменять положение другого винта при этом запрещается.

Гравиметры ГНК-К2 и ГНШ-МТ2 приспособлены для перевозки на различных транспортных средствах: автомобилях, самолетах, вертолетах, а также водным, гужевым, санным транспортом. Гравиметры перевозят в специальных металлических футлярах с амортизационными прокладками, которые помещают в деревянные транспортировочные ящики. При перевозках ящики с приборами устанавливают на мягкую подстилку в наиболее защищенной от толчков и ударов части транспортного средства или прикрепляют к полу четырьмя пружинами-амортизаторами, пристегиваемыми к ручкам ящиков. Меры предосторожности должны быть предприняты также при транспортировке гравиметров вьюком, на руках, при установке их на пунктах наблюдений и упаковке в металлический футляр. Во всех случаях гравиметры должны транспортироваться, находясь в амортизационном гнезде, только в вертикальном положении.

При перевозках в условиях бездорожья на транспортных средствах с неудовлетворительной амортизацией следует обеспечить надежность крепления и дополнительную амортизацию самого амортизирующего гнезда. Для этих целей используют мягкую подстилку в виде губчатой резины, поролона, ваты и т. п. Гравиметр ГНК-К2 не имеет устройства для арретирования упругой системы. Упругая система гравиметра ГНШ-МТ2 при перевозках должна быть арретирована. Разарретирование осуществляется только на пункте наблюдений после горизонтирования прибора.

2.17 Определение ускорения силы тяжести со средними квадратическими ошибками ± 20 м ± 50 мгл

Определение ускорения силы тяжести со средними квадратическими ошибками ± 20 или ± 50 мгл производят с помощью гравиметрических карт, состоящих на снабжении, в камеральных условиях независимо двумя исполнителями. Для этого необходимо иметь: рсп

- гравиметрическую карту РФ;
- топографическую карту с рельефом.

Ускорение силы тяжести g вычисляют по формуле

$$g = \Delta g_B + \gamma_0 - 0,2125H - 14 \text{ мгл}, \quad (40)$$

где Δg_B – значение аномалии с редукцией Буге (снимается с гравиметрической карты);

γ_0 – нормальное значение силы тяжести по формуле Гельмерта 1901-1908 гг., выбранное из приложения 1 по аргументу данного пункта;

$0,2125H$ – поправка Буге при $D=2,3$, где H – высота данного пункта над уровнем моря, определяемая по топографической карте;

минус 14 мгл – постоянная поправка за переход от Потсдамской системы к системе *CGS*.

В зависимости от требуемой точности определения ускорения силы тяжести широты и высоты пунктов получают по топографическим картам масштабов, указанных в таблице 16.

Таблица 16 – Точность снятия B и H_M с топографических карт

мгл	Используемая топографическая карта	Точность снятия с карты	
		B	H_M
± 20	Масштаб 1:100000 или крупнее	$\pm 0',1$	± 20
± 50	Масштаб 1:200000 или крупнее	$\pm 0',5$	± 50

Полевые работы на каждом гравиметрическом пункте включают:
 определение приращения силы тяжести;
 определение высоты пункта над уровнем моря;
 определение планового положения гравиметрического пункта на местности.

Необходимая точность получения этих величин приведена в таблице 17.

Таблица 17 – Точность определения приращения силы тяжести, высоты и планового положения гравиметрических пунктов съемки сгущения

№ зоны	Средняя квадратическая ошибка определения			
	приращения тяжести в мЛГ	силы	высоты в м	Планового положения в м
0,1	±0,7		±1,5	100
2	1,0		3,0	200
3	1,0		5,0	300

По окончании полевых и вычислительных работ по материалам съемки сгущения составляют гравиметрические карты. По гравиметрическим картам с использованием специальных палеток вычисляют на опорных и определяемых пунктах гравиметрические уклонения отвеса $\xi_{гр}$ $\eta_{гр}$. Получив остаточные и гравиметрические уклонения отвеса на каждом пункте, по приведенным выше формулам вычисляют астрономо-геодезические уклонения отвеса на определяемых пунктах.

2.18 Составление схемы-проекта пунктов съемки сгущения

Для наиболее экономичного выполнения гравиметрических работ по созданию пунктов съемки сгущения в заданном районе разрабатывается *схема-проект*. Составление *схемы-проекта* выполняют на карте масштаба 1:100000 или 1:200000.

На карту наносят:

- границу района полевых работ;
- ближайшие исходные пункты опорной гравиметрической сети РФ;
- пункты государственной геодезической сети всех классов и опорных геодезических сетей специального назначения;
- пункты государственной нивелирной сети РФ.

Разработку схемы-проекта начинают с выбора по карте необходимого числа опорных астрономо-геодезических пунктов. Для интерполирования остаточных уклонений отвеса, как было указано выше, необходимо иметь в районе работ не менее трех опорных пунктов, равномерно расположенных и удаленных не более чем на 150 км друг от друга; в этом случае при радиусе интерполяции, равном 200 км, ошибка получения величин остаточных уклонений отвеса не превысит ошибки вычисления гравиметрических уклонений отвеса на пунктах. Но, как правило, для контроля и оценки точности определения остаточных уклонений отвеса необходимо иметь в районе работ дополнительно два – три избыточных опорных пункта.

Выбрав опорные астрономо-геодезические пункты на район работ, наносят их на карту. Одновременно на карту наносят пункты, на которых требуется определить уклонения отвесных линий. После этого приступают к проектированию пунктов съемки сгущения.

Пункты съемки сгущения намечаются как вокруг опорных астрономо-геодезических пунктов, так и вокруг определяемых. Размещение гравиметрических пунктов съемки сгущения проектируют по карте масштаба 1:25000 – 1:50000 с использованием аэроснимков и других материалов, способствующих изучению района работ. При выборе мест расположения пунктов съемки сгущения следует руководствоваться данными таблицы 17 и схемами, изображенными на рисунках 14, 15.

Для проектирования пунктов по рисункам 14 –17 изготовляют палетки; палетки должны быть изготовлены в масштабе, соответствующем масштабу карт.

При проектировании съемки сгущения стремятся к тому, чтобы гравиметрические пункты по возможности намечались на четких и хорошо опознаваемых контурах или точках местности и их высоты могли бы быть легко получены. В тех случаях, когда координаты и высоты гравиметрических пунктов не могут определяться по карте с нормативной точностью, то на карте проектируют геодезические работы для определения координат и высот гравиметрических пунктов с требуемой точностью.

При значительном удалении опорных гравиметрических пунктов от района работ один из пунктов съемки сгущения определяют как дополнительный опорный гравиметрический пункт. Ускорение силы тяжести на нем должно быть определено со средней квадратической ошибкой $\pm 0,5$ мгл относительно исходных пунктов опорной гравиметрической сети РФ. Дополнительный опорный гравиметрический пункт должен иметь доступные и удобные подъезды в любую погоду.

Всем пунктам, на которых определяют отклонения отвеса, и гравиметрическим пунктам съемки сгущения присваиваются номера или названия.

Организация работ. Гравиметрическую съемку сгущения выполняют командой такого же состава, как было указано выше для сгущения опорной гравиметрической сети РФ путем определения дополнительных опорных гравиметрических пунктов со средней квадратической ошибкой ± 1 мгл. Техническое оснащение и средства транспортировки рекомендуются те же. В случаях когда схемой-проектом предусматривается инструментальное определение координат и высот гравиметрических пунктов, команда должна быть увеличена за счет включения в нее геодезистов.

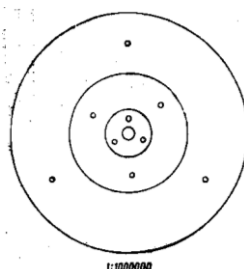


Рисунок 16 – Схема размещения гравиметрических пунктов в равнинном районе

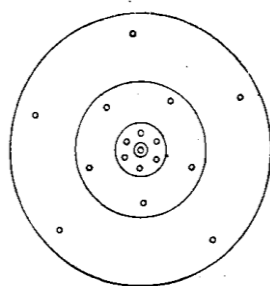


Рисунок 17 – Схема размещения гравиметрических пунктов в предгорьях

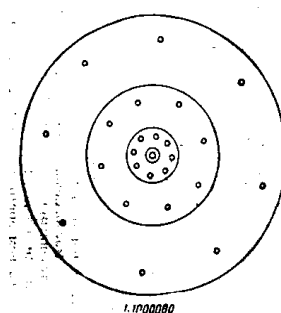


Рисунок 18 – Схема размещения гравиметрических пунктов в горном районе

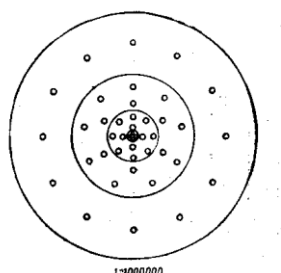


Рисунок 19 – Схема размещения гравиметрических пунктов в высокогорном районе

Численный состав и техническое оснащение такой команды в каждом конкретном случае устанавливается в зависимости от вида и объема работ, планируемых в данном районе.

Все приборы, для выполнения работ, должны быть тщательно осмотрены и проверены. При подготовке имущества к отправке в район работ особое внимание следует обратить на его упаковку, так как порча

инструментов происходит главным образом во время перевозок. При транспортировке гравиметров в районе полевых работ руководствуются указаниями раздела 1.5.12.

В тех случаях, когда район работ значителен по размерам и проектом предусматривается большой объем работ, в центре района создают базу, на которой хранят инструменты, оборудование, полевые материалы и производят камеральную обработку наблюдений. Обработку полевых материалов выполняют полностью в поле или на созданной базе до выезда из района работ.

2.19 Полевые гравиметрические работы при выполнении съемки сгущения

Съемку сгущения вокруг опорного астрономо-геодезического пункта или определяемого пункта начинают с определения дополнительного опорного гравиметрического пункта. Каждый дополнительный опорный гравиметрический пункт должен быть связан с двумя ближайшими пунктами опорной гравиметрической сети не менее чем двумя независимыми рейсами при наблюдении тремя гравиметрами в каждом рейсе. Интервал между рейсами должен быть не менее 4 ч. Продолжительность каждого рейса не должна быть более 24 ч. Расхождения между крайними значениями приращений силы тяжести, полученными по трем приборам в одном рейсе, на дополнительном опорном гравиметрическом пункте не должны быть более 1,5 мгл.

Каждый дополнительный опорный гравиметрический пункт съемки сгущения оформляется в соответствии с указаниями раздела «Определение ускорения силы тяжести со средней квадратической ошибкой ± 1 мгл».

Определение приращений силы тяжести на пунктах съемки сгущения выполняют тремя приборами из одного рейса, начинающегося и

заканчивающегося наблюдениями на дополнительном опорном гравиметрическом пункте. Количество пунктов, определяемых в рейсе, не ограничено. Расхождения между значениями приращений силы тяжести, полученными по трем приборам, не должны превышать 3 *мгЛ*. В случае больших расхождений на каком-либо пункте наблюдения на нем повторяют заново, включив этот пункт в следующий рейс. Полевые намерения гравиметрами, записи наблюдений в журналах, а также обработку наблюдений на пунктах съемки сгущения и дополнительных опорных гравиметрических пунктах производят так же, как для гравиметрических пунктов, ускорения силы тяжести на которых определяют со среднеквадратической ошибкой ± 1 *мгЛ*. Обработку наблюдений производят только по полной схеме.

2.10 Определение координат и высот пунктов съемки сгущения

Координаты и высоты пунктов съемки сгущения с точностью, показанной в таблице в, как правило, определяют по крупномасштабным топографическим картам.

Опознанные на местности гравиметрические пункты наносят на карту масштаба 1: 100 000 или крупнее и с карты снимают широты и долготы пунктов с точностью до 0',1. Для дополнительных опорных гравиметрических пунктов с карты снимаются также прямоугольные координаты X и Y с точностью до 100 м.

Высоты пунктов в равнинных районах и предгорьях определяют интерполированием по горизонталям. Для этого в нулевой (центральной) и в первой зонах используют карты масштаба 1:25000 при сечении горизонталей через 5 м, во второй и в третьей зонах допускаются карты масштаба 1:50 000. Карты масштаба 1:100000 могут использоваться для определения высот пунктов съемки сгущения только лишь при их совмещении с имеющимися на карте высотными отметками. Широты, долготы и высоты гравиметрических

пунктов выписывают в ведомость, образец которой дан в таблице 18.

Таблица 18 – Сводная ведомость координат и высот гравиметрических пунктов

Название и № пункта	Номенклатура	Координаты		Способ получения координат	Способ получения высоты пункта	Н _{исх} (м)	ΔН (м)	Н (м)	М _В	М _Н
		В/Х	Л/У							
Доп.опор. Пермяково	К-37-7В-а	<u>43°43',4</u> 4842800	<u>39°36',3</u> 548800	Каталог	Совмещен с тригонометрическим пунктом, высота которого получена из тригонометрического нивелирования	103,4	-	103,4	0	±1 м
№ 1	К-37-7В-б	43°47',2	39°40',8	Карта	Непосредственно промерено от уреза воды р.Урга	52,8	+3,7	56,5	±0,1	±1,5 м
№ 64	К-37-7В-г	43°40',1	39°42',3	Карта	Совмещен с высотной точкой по карте 1:25000	101,4	-	101,4	±0,1	±1 м

2.21 Вычисление аномалий силы тяжести и составление гравиметрических карт

Для равнинных и среднепересеченных районов вычисляют аномалии силы тяжести с редукцией в свободном воздухе. Эти вычисления выполняют по формуле

$$\Delta g_{св.в} = g + 0,3086H - \gamma_0, \quad (41)$$

где $\Delta g_{св.в}$ – аномалия силы тяжести с редукцией в свободном воздухе;

g – значение силы тяжести, полученное из наблюдений;

H – высота пункта над уровнем моря в м\

γ_0 – нормальное значение силы тяжести (выбирается из приложения 1)

Для горных районов вычисляют аномалии силы тяжести с редукцией Буге. Вычисления выполняют по формуле

$$\Delta g_B = g + 0,2125H - \gamma_0, \quad (42)$$

где Δg_B – аномалия силы тяжести с редукцией Буге.

Вычисление аномалий производится в ведомости (образец дан в таблице 19).

Гравиметрические пункты, для которых вычислены аномалии силы тяжести с редукцией Буге или с редукцией в свободном воздухе, наносят на карты тех масштабов, в которых будут составляться гравиметрические карты. Нанесенные на эти карты пункты подписываются дробным числом: в числителе – черным цветом номер или название пункта; в знаменателе – значение аномалии (красным цветом – положительные, черным – нулевые и зеленым или синим – отрицательные).

Таблица 19 – Вычисление аномалий силы тяжести с редукцией Буге и с редукцией в свободном воздухе

Название или № пункта	B	H	$g_{\text{набл}}$	$KH=0,3086H$ (+)	$K'H=0,2125H$ (+)	g_0	g'_0	γ_0	Аномалия силы тяжести с редукцией в свободном воздухе $\Delta g_{\text{св.в}}$	Аномалия силы тяжести с редукцией Буге Δg_B
1	47°22',2	153	980798,0	+47,2	+32,5	980845,2	980830,5	980830,2	+15,0	+0,3

Гравиметрические карты с редукцией в свободном воздухе составляют:

– в масштабе 1:100000 для равнинных аномальных районов в радиусе до 15 км вокруг каждого опорного и определяемого пункта;

– в масштабе 1:500000 для равнинных аномальных районов в радиусе от 10 до 55 км и для равнинных малоаномальных районов в радиусе от 0' до 55 км вокруг каждого опорного и определяемого пункта.

В зоне от 50 до 200 км может быть использована гравиметрическая карта с редукцией в свободном воздухе или с редукцией Буге масштаба 1:1000 000. При этом объем вычислений с использованием карты с редукцией Буге увеличивается, так как одновременно должна применяться гипсометрическая карта такого же масштаба. Если таких карт нет, то в этом масштабе составляют в зоне до 200 км для каждого пункта гравиметрическую карту с редукцией в свободном воздухе.

Гравиметрические карты с редукцией Буге составляют:

– в масштабе 1:100000 – для предгорий и горных районов в радиусе до 7 км вокруг каждого опорного и определяемого пункта;

– в масштабе 1:500000 – для тех же районов в радиусе от 5 до 55 км вокруг каждого опорного и определяемого пункта.

Изоаномалы на гравиметрических картах проводят методом интерполирования значений аномалий, подписанных на картах; в масштабе 1:100000 изоаномалы проводят через 2 мгл, на картах масштаба 1:500000 – через 5-10 мгл и в масштабе 1:1000000 через 10 мгл. Положительные изоаномалы изображают красными линиями, нулевые – черными и отрицательные – зелеными или синими. Образец гравиметрической карты с наложенной на нее палеткой показан на рисунке 20.

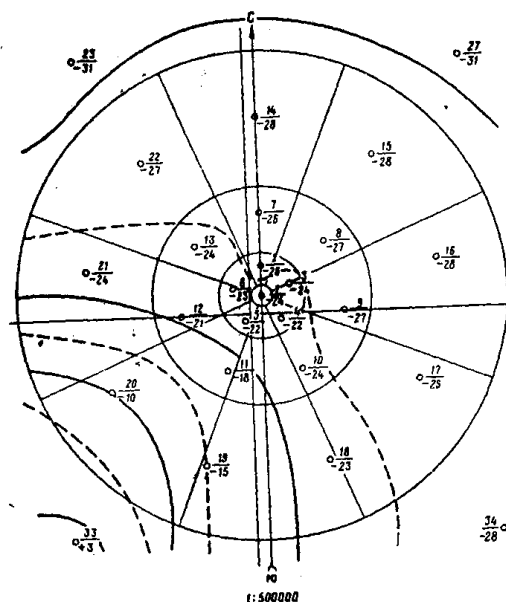


Рисунок 20 – Образец гравиметрической карты с наложенной на нее палеткой

2.22 Абсолютный способ определения ускорения силы тяжести сети

Первое измерение силы тяжести выполнил Галилей, измерив суть пройденной падающим телом за первую секунду падения.

При абсолютных измерениях находят величину ускорения силы тяжести только по наблюдениям в данном пункте. Баллистический метод измерений основан на использовании свободного движения пробного тела в поле силы тяжести Земли. Для получения необходимой точности измерений в системе реализуется симметричное движение пробного тела. Измерение параметров его движения производится на восходящей и нисходящей ветвях его траектории. Траектория движения пробного тела представлена на рисунке 21.

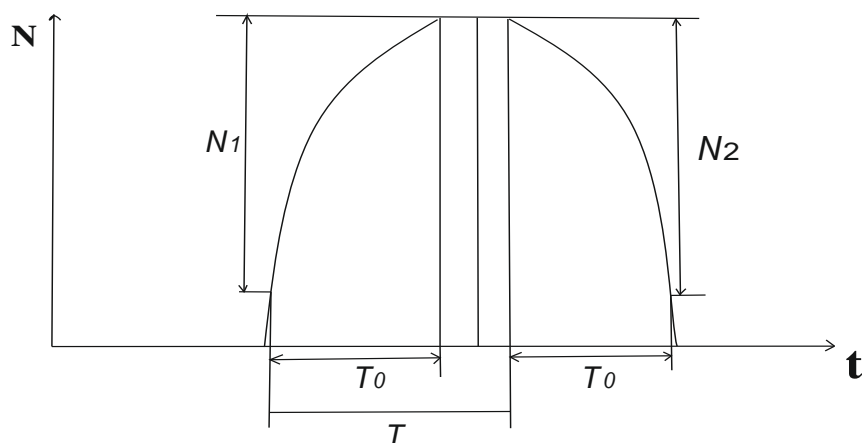


Рисунок 21 – Траектория движения пробного тела

Для определения абсолютного значения ускорения силы тяжести в процессе движения пробного тела измеряется путь и время. Для измерения, пройденного пробным телом пути используется лазер, а для определения времени, затрачиваемого пробным телом на прохождение данного отрезка пути, может использоваться опорный кварцевый генератор.

Во время измерений относительно вершин траектории движения пробного тела формируются на симметричных интервалах T_0 и измеряются отрезки пути N_1 и N_2 , пройденные пробным телом при движении вверх и вниз. Кроме этого измеряется интервал времени T между началом интервалов времени T_0 .

При этом значении ускорение силы тяжести определяется:

$$q = \frac{\lambda (N_1 + N_2)}{8 \cdot T \cdot T_0} \quad (43)$$

где: q – ускорение силы тяжести, м/с^2 ;

λ – длина волны излучения лазера, м ;

N_1, N_2 – отрезки пути, пройденные пробным телом при движении вверх и вниз, выраженных в количестве длин волн излучения лазера.

3 Мировая опорная гравиметрическая сеть

Мировая опорная гравиметрическая сеть необходима для обеспечения единства исходных национальных абсолютных значений и масштаба относительных определений. Чтобы перевести все относительные определения в абсолютную систему, можно ограничить абсолютным определением в одном пункте; для установления масштаба сети нужны высокоточные определения разности силы тяжести между несколькими опорными пунктами.

До 1909 года все измерения силы тяжести выражали в Венской системе, основанной на абсолютном определении силы тяжести в вене Оппольцером и в Мюнхене Орфом. Определение Орфа было связано с веной при помощи относительного определения в этих двух пунктах. В 1900 г на XIII конференция МАГ в Париже было решено считать значение силы тяжести для Вены исходным для всех гравиметрических работ. Точность исходного значения силы тяжести оценивалась погрешностью в 10 МГал.

В 1909 г на XVI Международной геодезической конференции в Лондоне была принята Потсдамская система, в основу которой положено определение силы тяжести в Потсдамском геодезическом институте. Точность определения силы тяжести в Потсдаме оценена погрешностью 3 МГал.

Для перехода от Венской системы к Потсдамской значение силы тяжести должно быть уменьшено на 16 МГал.

В настоящее время мировая опорная гравиметрическая сеть образована и уравнена на основании многочисленных гравиметрических наблюдений и рекомендована к применению на XV Генеральной ассамблее Международного геофизического и геодезического союза (МГГС), которая состоялась в Москве в 1971 г. Сеть получила название Международной гравиметрической стандартной сети. Для создания международной сети использованы абсолютные определения в восьми пунктах земного шара и около 25 000 измерений разностей силы тяжести, из них почти 400 маятниковых связей.

Совместное уравнивание всех наблюдений выполнено после предварительного уравнивания, которое позволило выявить измерения, имеющие значительные погрешности, и установить веса уравниваемых разностей ускорения силы тяжести. Благодаря принятому при уравнивании соотношению весов международная сеть фактически опирается на абсолютное определение в Севре. Масштаб системы задан абсолютными определениями в восьми пунктах, выполненных с прибором Хэммонда-Фаллера, и маятниковыми измерениями. Точность масштаба международной сети оценивается величиной порядка $5 \cdot 10^{-5}$. Абсолютные определения, задающие систему и масштаб международной сети, приведены в таблице 20, где даны окончательные уравненные и исправленные всеми поправками значения.

Таблица 20 – Абсолютные определения международной сети

Пункт	Автор, год определения	Ускорения силы тяжести, Мгал
1	2	3
Севр (Париж)	Сакума, 1970	980 925,957±0,030
Теддингтон	Кук, 1969	981 181,84±0,13
Богота	Хэммонд-Фаллер, 1971	977 389,979±0,087
Денвер	-/-	979 597,716±0,042
Вашингтон	-/-	980 101,271±0,055
Миддлтаун	-/-	980 305,318±0,041
Бостон	-/-	980 378,685±0,042
Севр (Париж)	-/-	980 925,985±0,041
Теддингтон	-/-	981 181,891±0,050
Фэрбэнкс	-/-	982 235,007±0,042

Маятниковые наблюдения, использованные в международной сети, выполнены с приборами 6 типов; основной объем маятниковых связей исполнен приборами «Галф» и «Кембридж». Значительная часть маятниковых пунктов расположена вдоль международных гравиметрических базисов.

Основной объем гравиметровых связей, включенных в уравнивание для создания мировой опорной сети, выполнен в 1961-1969 гг, включены также отдельные лучшие наблюдения 1949-1960 гг. Для измерений использованы гравиметры 18 типов, причем подавляющее большинство наблюдений исполнено с гравиметрами «Ла Косте-Ромберг», «Уорден», «Аскания», «Сев.

Америка», «Уэстерн». Окончательный каталог содержит 1854 пунктам международной сети, распределенных по поверхности Земли следующим образом (таблица 21).

Таблица 21 – Каталог международной сети

Область	Число пунктов	
	Северное полушарие	1478
Южное полушарие	376	20 %
Европа	482	
Азия	148	
Африка	198	
Австралия	84	
Антарктида	7	
Индийский океан	5	
Итого: Восточное полушарие	924	80 %
Северная Америка	572	
Южная Америка	229	
Атлантический океан	34	
Тихий океан	95	
Итого: Западное полушарие	930	50 %

Ускорение силы тяжести в любом пункте международной сети оценивается погрешностью менее 0,2 Мгал.

Для перехода от значения силы тяжести в Потсдамской системе к системе международной сети нужно учесть поправку Потсдамской системы, равную – **14 Мгал**. Эта поправка определена из многократных связей Потсдама с пунктами современных абсолютных определений и уравнения международной сети. Значение поправки Потсдамской системы – 14 мГал рекомендовано международной ассоциацией геодезии на XIV генеральной ассамблее международной сети в 1967 г. В настоящее время для уточнения поправки Потсдамской системы выполняются фундаментальные гравиметрические связи между Потсдамом и пунктами международной сет, а также пунктами, где были выполнены абсолютные определения с высокой точностью. Так при участии Междуведомственного геофизического комитета АН РФ ЦНИИГАиК и Института физики земли АН РФ были выполнены многократные гравиметрические сети Ледово (Москва) с Потсдамом, связь Подстада с Хельсинки.

В настоящее время работы по уточнению мировой опорной сети продолжают. Предполагается увеличить число пунктов абсолютных определений силы тяжести и в перспективе создать опорную сеть, во всех пунктах которой будут выполнены абсолютные определения.

3.1 Национальные опорные сети

Национальная опорная гравиметрическая сеть создается относительным методом на территории отдельных государств. Сеть развивается обычно от национального опорного пункта, определенного с высокой точностью относительного исходного пункта Потсдамской системы или системы международной сети. Государственная сеть состоит, как правило, из редкой сети маятниковых пунктов и привязанной к ней сети гравиметровых пунктов разных классов. Для создания опорной сети используют лучшие маятниковые приборы и гравиметры. Маятниковые определения позволяют уменьшить систематические погрешности гравиметрических связей и задают масштаб национальной сети.

Национальная опорная сеть создается методом полигонов. Вдоль каждой стороны полигоны наблюдения выполняют несколькими приборами одновременно. Для ослабления влияния систематических погрешностей, действующих в течении одного рейса на результаты измерений всех приборов, наблюдения вдоль сторон полигона ведут несколькими независимыми рейсами. Такая методика называется методом многократно-групповых измерений. Если А и В - пункты опорной сети, наблюдения между этими пунктами ведут по таким схемам: А-В-А'-В' (двойная петля, рисунок 22 а) или А-В- А' (рисунок 22 б).

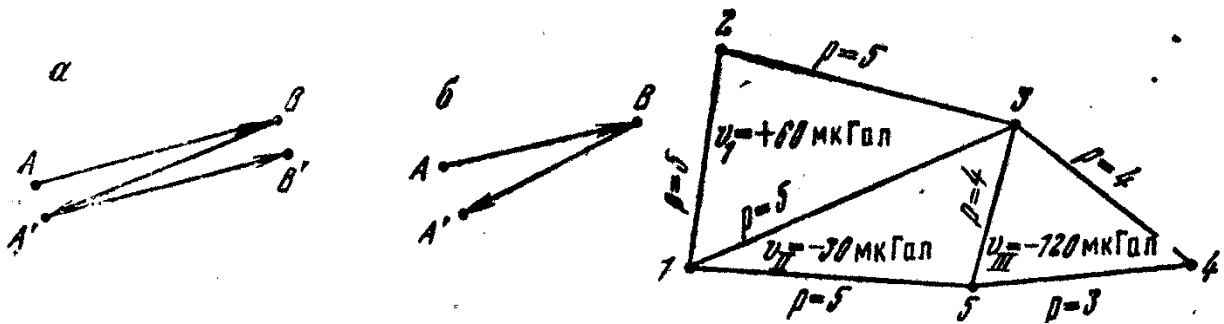


Рисунок 22 – Схемы национальной опорной сети

Вследствие неизбежных погрешностей измерений сумма приращений силы тяжести вдоль замкнутого полигона не равна нулю, поэтому результаты наблюдений уравнивают. Важным этапом уравнивания является установление весов измеренных разностей силы тяжести. В качестве весов используют число приборов, обратно пропорциональные погрешностям, найденным по избыточным измерениям вдоль каждой стороны полигона.

Государственная гравиметрическая опорная сеть РФ состоит из сети I и II классов. В сети I класса включены маятниковые и гравиметровые пункты, в сеть II класса – только гравиметровые. Маятниковые пункты составляют около 20% пунктов опорной сети I класса. Наблюдения на пунктах опорной маятниковой сети I класса выполнены при помощи маятниковых приборов ОВМ ЦНИИГАиК. Маятниковая сеть уравнена по методу полигонов; средняя квадратическая погрешность привязки любого пункта маятниковой сети к Потсдамской системе составляет 0,033 МГал. При уравнивании всей опорной сети I класса маятниковая сеть принята за твердую.

Наблюдения на пунктах гравиметровой сети выполнены при помощи гравиметров ГАГ. Средняя квадратическая погрешность любого пункта сети I класса в целом по отношению к Потсдаму после уравнивания составляет 0,054 МГал.

Гравиметрическая сеть РФ неоднократно связана с Потсдамом имеет пункт Ледово. Связи осуществлялись как с помощью гравиметров, так и с

помощью маятников. С 1975 г на пункте Ледово выполняются абсолютные определения.

Результаты определений на пункте Ледово в 1975 году приведены в таблице 22.

Таблица 22 – результаты определений на пункте Ледово

Номер определения	Год определения	Сила тяжести, МГал	Количество и тип приборов
1	2	3	4
1	1958	981 565,34±0,16	ГАЭ-3; 6 гравиметров
2	1966	565,322±0,120	ОВМ; 3 прибора
2	1967	565,262±0,060	ОВМ; 3 прибора
2	1968	565,29±0,052	ГАГ-1; 5 приборов ГАГ-2; 2 прибора
5	1970	565,317±0,040	ГАГ-1; 6 приборов ГАГ-2; 4 прибора
6	1971	565,31±0,027	ГАГ-2; 9 приборов
7	1971	565,385±0,30	ОВМ; 3 прибора
8	1974	565,314±0,021	«Ла Косте-Ромберг; 3 прибора»
9	1974	565,352±0,021	ГАГ-2; 10 приборов
10	1974	565,299±0,030	ОВМ; 5 приборов
11	1975	981 551,362±0,025	Прибор ИАЭ СО АН СССР

Определения 1-10 выполнены относительным методом, 11 – абсолютным. Результаты всех относительных определений приведены в Потсдамской системе. Оценка относительных гравиметровых определений выполнена при многократно-групповых измерениях.

Весовое среднее из всех относительных определений для пункта Ледово равно (981 565 327±10) мкГал.

Для сравнения с результатом абсолютного определения в это значение нужно ввести поправку потсдамской системы, равную -14,000 мГал, поправку -14Δg/g мГал за изменение масштаба вследствие введения поправки потсдамской системы и поправку Хонкасало. Для пункта Ледово поправка за изменения масштаба составляет -4 мкГал, поправка Хонкасало +39 мкГал. Таким образом, значение ускорения силы тяжести в пункте Ледово в международной сети равно (981 551 362±10) мкГал.

Значение силы тяжести по абсолютным определениям после введения поправки Хонкасало равно $(981\ 551\ 401 \pm 25)$ мкГал.

Таким образом, разность абсолютного определения и значения, полученного относительным методом для пункта Ледово составляет 39 ± 27 мкГал.

Для приведения в единую систему морских гравиметрических съемок, выполняемых на акваториях морей и океанов, используют исходные опорные пункты, расположенные в портах (таблица 23). Значения силы тяжести в пунктах Мурманск, Одесса, Находка получены относительным методом от исходного пункта Ледово.

Пункты Москва (Ледово), Мурманск, Одесса, Находка включены в мировую опорную гравиметрическую сеть.

Таблица 23 – Исходные опорные пункты

Название пункта	Потсдамская система, мкГал	Система МГСС-71, мкГал	Погрешность относительно ледового, мкГал
1	2	3	4
Ледово	981 565 327 \pm 10	981 551 362 \pm 10	0
Мурманск	982 551 670 \pm 35	982 537 713 \pm 35	34
Находка	980 477 660 \pm 70	980 463 692 \pm 70	69
Одесса	980 769 860 \pm 36	980 755 888 \pm 36	35

Национальные опорные сети различных государств отличаются по методике построения, густоте расположения пунктов, по точности. Так, например, национальная опорная сеть США, состоящая из 59 пунктов, составляет важную часть МГСС-71. Сеть создана в два этапа, на первом этапе выполнены измерения между аэропортами городов, на втором – и каждому аэродромному пункту привязывалось несколько пунктов в близлежащем городе. Масштаб сети задан измеренной заранее разностью силы тяжести между двумя пунктами сети, которая рассматривалась в качестве эталонной. Наибольшая средняя квадратическая погрешность пункта опорной сети по отношению к исходному (Вашингтон) составляет 0,21 мГал. Наблюдения

выполнены с гравиметрами «Ла Косте-Ромберг». В настоящее время ведутся работы по определению опорной сети с транспортабельным прибором Хаммонда – Фаллера.

Национальная опорная гравиметрическая сеть Канады содержит 7 маятниковых пунктов и около 3500 гравиметровых. Средняя квадратическая погрешность маятникового пункта составляет 0,12 мГал. Часть пунктов опорной сети включена в МГСС-71.

Национальная опорная сеть I класса Японии состоит из 8 маятниковых и 89 гравиметровых пунктов. Точность маятниковых определений оценивается в 0,2 мГал.

Национальная опорная сеть Германии включает 21 пункт, 10 из которых являются пунктами международной сети. Особенностью гравиметрической сети Германии является совмещение пунктов сети с нивелирными реперами. Наблюдения на пунктах сети выполнены с гравиметрами «Ла Косте-Ромберг»; каждый пункт сети имеет не менее трех эксцентриков. Погрешность определения пунктов сети около 20-30 мкГал.

Опорные сети всех государств по мере повышения точности приборов и совершенствования методов измерения переопределяют и уравнивают заново.

3.2 Оценка точности гравиметрической связи при многократно-групповых измерениях

Измерения приращения силы тяжести между пунктами опорных сетей и базисов для эталонирования гравиметров выполняют по методике многократно-групповых измерений. Качество измерений в этом случае можно оценить из анализа избыточных измерений.

Обычно рассматриваются четыре типа погрешностей при измерениях с гравиметрами:

1) случайная погрешность, изменяющаяся по закону случайных погрешностей от прибора к прибору и от рейса к рейсу. К ним относятся случайные погрешности нивелирования гравиметра, случайные погрешности фиксирования положения равновесия упругой системы, погрешности отсчета и т.п.

2) полусистематические погрешности первого рода, постоянные при многократных измерениях одной и той же разности силы тяжести одним прибором, но изменяющиеся по закону случайных погрешностей от прибора к прибору. Таковы погрешности определения цены деления гравиметра, юстировки уровней, делений лимба у гравиметра ГАГ-2 и другие инструментальные погрешности;

3) полусистематические погрешности второго рода, постоянные для всех гравиметров в одном рейсе, но меняющиеся по закону случайных погрешностей от рейса к рейсу. К погрешностям такого рода относятся погрешности, вызванные влиянием внешних условий во время рейса: изменением температуры, условий транспортировки и др.;

4) систематические погрешности. Одним из основных источников этих погрешностей являются погрешности масштабных коэффициентов гравиметров.

Представим единичное измерение Δg_{ij} разности силы тяжести в виде:

$$\Delta g_{ij} = \Delta g + \alpha_{ij} + \beta_i + \gamma_j + \varepsilon \quad (44)$$

где Δg – истинное значение измеряемой величины, α_{ij} – случайная погрешность, β_i – полусистематическая погрешность первого рода, γ_j – полусистематическая погрешность второго рода, ε – систематическая погрешность, i – номер прибора, j – номер рейса, $i=1, 2, 3, \dots, n$, $j=1, 2, 3, \dots, k$, n – число приборов, r – число рейсов. Представим результат измерений одной разности в виде таблицы 24.

Таблица 24 – Результат измерения одной разности

Гравиметр	рейс					Среднее по всем рейсам Δg_{i0}	Уклонение от среднего Δ_{i0}
	1	2	3	...	k		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Δg_{11}	Δg_{12}	Δg_{13}	...	Δg_{1k}	Δg_{10}	Δ_{10}
2	Δg_{21}	Δg_{22}	Δg_{23}	...	Δg_{2k}	Δg_{20}	Δ_{20}
3	Δg_{31}	•	•	...	•	•	•
•	•	•	•	...	•	•	•
•	•	•	•	Δg_{ji}	Δg_{ik}	Δg_{i0}	Δ_{i0}
•	•	•	•	•	•
n	Δg_{n1}	Δg_{n2}	Δg_{n3}	...	Δg_{nk}	Δg_{n0}	Δ_{n0}
Среднее по всем гравиметрам	Δg_{01}	Δg_{02}	Δg_{03}	...	Δg_{0k}	Δg_{00}	
Уклонение от общего среднего	Δ_{01}	Δ_{02}	Δ_{03}	...	Δ_{0k}		

Найдем среднее значение измеряемой разности Δg по каждому гравиметру из всех рейсов

$$\Delta g_{i0} = \Delta g + \alpha_{i0} + \beta_i + \gamma_0 + \varepsilon \quad (45)$$

Замена индекса j на 0 означает среднее по этому индексу. Найдем общее среднее Δg_{00} из всех Δg_{i0} (Δg_{00} также среднее из Δg_{0i} ; этим достигается контроль)

$$\Delta g_{00} = \Delta g + \alpha_{00} + \beta_0 + \gamma_0 + \varepsilon \quad (46)$$

и уклонения Δ_{i0} каждого Δg_{i0} от общего среднего

$$\Delta_{i0} = \Delta g_{i0} - \Delta g_{00} - \alpha_{i0} - \alpha_{00} + \beta_i - \beta_0 \quad (47)$$

Из разностей Δ_{i0} исключены систематические погрешности и полусистематические погрешности второго рода. Погрешности первого рода

от прибора к прибору меняются по закону случайных погрешностей, поэтому можно найти среднее квадратическое значение σ_n разности Δ_{i0}

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum \Delta_{i0}^2}{n-1}} \quad (48)$$

Так как σ_n является средней квадратической погрешностью измерения разности силы тяжести одним гравиметром в k рейсах, можно написать

$$\sigma_n^2 = \frac{\sigma_1^2}{k} + \sigma_2^2 \quad (49)$$

Где σ_1 – среднее квадратическое значение случайной погрешности единичного измерения с гравиметром, σ_2 – среднее квадратическое значение полусистематической погрешности первого рода. Из равенства (–) получаем

$$\sigma_2^2 = \sigma_n^2 - \frac{\sigma_1^2}{k} \quad (50)$$

Найдем теперь средние значения Δg_{0i} по каждому рейсу из всех гравиметров

$$\Delta g_{0j} = \Delta g + \alpha_{0j} + \beta_0 + \gamma_j + \varepsilon \quad (51)$$

и уклонения Δ_{0i} этих средних от общего среднего Δg_{00}

$$\Delta_{0j} = \Delta g_{j0} - \Delta g_{00} = \alpha_{0j} - \alpha_{00} + \gamma_j - \gamma_0 \quad (52)$$

из разностей Δ_{0i} исключены систематические погрешности и полусистематические погрешности первого рода. Погрешности второго рода от рейса к рейсу меняются по закону случайных погрешностей, поэтому

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{\sum \Delta_{0j}^2}{k-1}} \quad (53)$$

где σ_k – средняя квадратическая погрешность измерения разности силы тяжести n гравиметрами в одном рейсе. Эта погрешность равна

$$\sigma_k^2 = \frac{\sigma_1^2}{n} + \sigma_3^2 \quad (54)$$

где σ_3 – среднее квадратическое значение полусистематической погрешности второго рода. Для σ_3 имеем

$$\sigma_3^2 = \sigma_k^2 - \frac{\sigma_1^2}{n} \quad (55)$$

Случайную погрешность σ_1 определяют следующим образом. Составим разности

$$\delta_{ij} = \Delta g_{ij} - \Delta g_{i0} = \alpha_{ij} - \alpha_{i0} + \gamma_j - \gamma_0 \quad (56)$$

Общее число этих разностей равно nk , причем на них накладываются n условий. образуем из δ_{ij} среднее по рейсам (по столбцам таблицы)

$$\delta_{0j} = \alpha_{0j} - \alpha_{00} + \gamma_j - \gamma_0 \quad (57)$$

и найдем разности

$$v_{ij} = \delta_{ij} - \delta_{0j} = \alpha_{ij} - \alpha_{i0} - \alpha_{0j} + \alpha_{00} \quad (58)$$

В эти разности входят только случайные погрешности. Число независимых разностей v_{ij} равно $nk - n - (k-1)$, поэтому случайная погрешность равна

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{\sum v_{ij}^2}{(n-1)(k-1)}} \quad (59)$$

Формулы позволяют найти погрешности σ_1 , σ_2 , σ_3 . Погрешность единичного измерения без учета систематических погрешностей оценивается по формуле

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2} \quad (60)$$

Погрешность измерения разности силы тяжести n гравиметрами в k рейсах можно вычислить по формуле

$$\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{nk} + \frac{\sigma_2^2}{n} + \frac{\sigma_3^2}{k}} \quad (61)$$

При ограниченном числе измерений возможны случаи мнимых значений погрешностей σ_2 и σ_3 . Могут встретиться три случая:

1. Мнимыми оказываются обе погрешности ($\sigma_2^2 < 0$ и $\sigma_3^2 < 0$). В этом случае оценку точности гравиметровой связи можно оценить только по общей дисперсии погрешностей

$$\begin{cases} \sigma_1^2 = \frac{\sum(\Delta g_{ij} - g_{00})}{nk-1} \\ \sigma_2^2 = 0, \sigma_3^2 = 0, \sigma^2 = \frac{\sigma_1^2}{nk} \end{cases} \quad (62)$$

2. Мнимой является погрешность σ_2 ($\sigma_2^2 < 0$). Для оценки точности используют формулы

$$\begin{cases} \sigma_1^2 = \frac{\sum(\Delta g_{ij} - \Delta g_{0j}^2)}{k(n-1)} \\ \sigma_2^2 = 0, \sigma_3^2 = \sigma_k^2 - \frac{\sigma_1^2}{n} \\ \sigma^2 = \frac{\sigma_1^2}{kn} + \frac{\sigma_3^2}{k} = \frac{\sigma_k^2}{k} \end{cases} \quad (63)$$

3. Мнимой оказалась погрешность $\sigma_3(\sigma_3^2 < 0)$. В этом случае

$$\begin{cases} \sigma_1^2 = \frac{\sum(\Delta g_{ij} - \Delta g_i^2 0)}{n(k-1)}, \quad \sigma_3^2 = 0 \\ \sigma_2^2 = \sigma_n^2 - \frac{\sigma_1^2}{k}, \quad \sigma^2 = \frac{\sigma_1^2}{nk} + \frac{\sigma_2^2}{n} = \frac{\sigma_n^2}{n} \end{cases} \quad (64)$$

Описанная методика применяется для оценки качества гравиметровой сети РФ. В таблице 25 приведены средние значения погрешностей наблюдения на пунктах опорной сети РФ и международных линиях.

Таблица 25 – Средние значения погрешностей

Гравиметр	Годы	Погрешности, мГал			
		σ_1	σ_2	σ_3	σ
1	2	3	4	5	6
«Норгард»	1950-1953	0,29	0,25	0,10	0,39
СН-3	1950-1953	0,23	0,19	0,17	0,34
ГАЭ_2	1950-1953	0,26	0,06	0,11	0,29
ГАЭ-3	1963	0,18	0,08	0,06	0,32
ГАЭ-3, ГАГ-1	1969	0,07	0,10	-	0,21
ГАГ-1, ГАГ-2	1966-1971	0,08	0,08	-	0,11
ГАГ-2	1973	0,08	0,04	-	0,09

Из таблицы отчетливо видно повышение точности измерений, связанное с применением гравиметров типа ГАГ. Для наблюдений, выполненных в начале пятидесятых годов применением гравиметров СН-3 и «Норгард», характерны значительные погрешности $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$. С появлением гравиметра ГАЭ значительно уменьшились полусистематические погрешности первого рода. Для гравиметров ГАГ-1 и ГАГ-2 пренебрегаемой стала полусистематическая погрешность второго рода.

3.3 Полевая опорная сеть

Полевая опорная сеть – это сеть гравиметрических пунктов повышенной точности, служащая для учета смещения нуля-пункта в рядовых рейсах и приведения съемки в единую систему. Методика построения опорной полевой сети установлена Инструкцией по гравиметрической разведке.

Полевая опорная сеть создается непосредственно перед началом наблюдений на пунктах рядовой сети или одновременно с ними, по точности она должна превосходить рядовую в 1,5 – 2 раза. Повышение точности достигается за счет использования лучших гравиметров и более совершенной методики наблюдений.

Для создания полевой опорной сети применяют метод многократно-групповых изменений, сокращают длительность рейсов за счет использования более совершенных транспортных средств, выполняют уравнивание сети. Опорную сеть создают методом полигонов или выполняют наблюдения по центральной и двухступенчатой системам и методу узловых точек.

3.4 Наблюдения на пунктах рядовой сети

Методика наблюдений на пунктах рядовой сети связана с необходимостью учета смещения нуль-пункта гравиметров, поэтому наблюдения выполняются отдельными рейсами, опирающимися на пункты опорной сети. При создании полевой опорной сети по центральной системе все пункты опорной сети непосредственно связывают с исходным опорным пунктом, расположенным в центре системы. Для повышения точности пункты опорной сети можно также связывать между собой. Значение разности силы тяжести опорных пунктов относительно исходного определяют, как среднее арифметическое из результатов многократных измерений.

Двухступенчатая система построения опорной сети заключается в создании опорной каркасной сети по методу центральной системы и заполняющей сети опорных пунктов, которая выполняется рейсами, опирающимися на пункты каркасной сети. Двухступенчатая система применяется в том случае, если на площади съемки нельзя создать опорную сеть необходимой плотности с помощью одной центральной системы.

Наблюдения по методу узловых точек применяют в том случае, если опорная сеть по каким-либо причинам не была создана до начала измерений на пунктах рядовой сети или если густота опорной сети оказалась недостаточной. Узловые точки образуются при пересечении в одном пункте несколько рейсов. Например, на рисунке 23 точка А является пунктом опорной сети, точки В и С, в которых пересекаются несколько рейсов, - дополнительные опорные или узловые точки. После завершения полевых работ сеть узловых пунктов уравнивают и в дальнейшем используют как опорную для вычисления поправок за смещение нуля-пункта.

Пункты полевой опорной сети привязывают к пунктам Государственной опорной сети I и II классов. Пункты полевой сети совмещают с долговременными предметами – знаками триангуляции, реперами нивелирования. Надежно закрепленные на местности пункты полевой опорной сети образуют опорную сеть III класса.

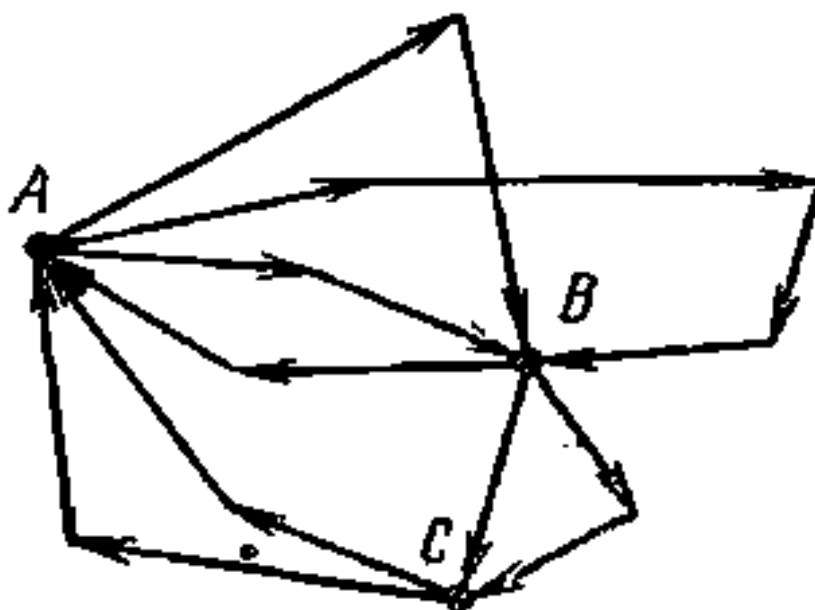


Рисунок 23 – Наблюдение на пунктах узловых точек

Таблица 26 – Соотношение точности

Масштаб карты	Сечение изоаномал, мГал	Точность аномалий Буге, мГал	Средние квадратические погрешности, м		Число пунктов на 1 км ²
			Плановых координат	высот	
1	2	3	4	5	6
В равнинных районах					
1: 1 000 000	5	1,5	200	5,0	0,04-0,1
1: 500 000					
1: 200 000	2	0,8	100	2,5	0,1-0,25
1: 100 000	1	0,4	80	1,2	0,25-1,0
1: 50 000	0,50; 0,25	0,1; 0,1	40	0,7; 0,35	2-50
1: 25 000	0,25; 0,20	0,1; 0,08	20	0,35; 0,25	12-80
1: 10 000	0,20; 0,10	0,08; 0,04	4	0,20; 0,10	20-200
1:5 000	0,10; 0,05	0,04; 0,02	2	0,10; 0,05	50-500
В горных районах					
1: 200 000	2	1,0	100	3,0	0,1-0,25
1: 100 000	1	0,5	100	1,80	0,25-1,0
1: 50 000	1; 0,5	0,5; 0,25	50	1,6; 0,90	1-30
1: 25 000	0,5; 0,25	0,25; 0,12	25	0,90; 0,45	4-60
1: 10 000	0,2	0,10	5	0,25	20-100
1:5 000	0,10	0,05	2	0,12	50-250

4 Методика составления и точность построения гравиметрических карт

Составление гравиметрической карты складывается из следующих основных этапов:

- выбор масштаба и сечения карты;
- приведение аномалий силы тяжести в единую систему;
- выбор плотности промежуточного слоя;
- интерполирование аномалий и построение карты.

Рассмотри кратко каждый из этапов.

Гравиметрические карты мелких масштабов составляют на территорию целых стран и континентов. Для их создания используют гравиметрические съемки, выполненные относительно разных национальных исходных пунктов. После создания мировой опорной сети приведение различных съемок в единую систему осуществляется привязкой к пунктам этой сети. Кроме того, при вычислении аномалий используют разные нормальные формулы. Переход от одной нормальной формулы к другой можно выполнить с помощью формулы Гельмерта: $\gamma_0=978030(1+0,0005302\sin^2\beta-0,0000070 \sin^22\beta)$ мГал и формулы Кассиниса: $\gamma_0=978049(1+0,0052884\sin^2\beta-0,000059 \sin^22\beta)$ мГал.

Гравиметрические карты крупных масштабов составляют по материалам детальным съемкам, выполняемым в пределах одной страны. Приведение результатов этих измерений в единую систему обеспечивается привязкой к государственной опорной сети. Точность определения плановых координат и высот показана в табл.26

Выбор масштаба и сечения карты определяются плотностью съемки, погрешностями аномалий и сложностью гравитационного поля. Установленные инструкцией по гравиметрической разведке соотношения между точностью аномалий Буге, масштабом и сечением карт даны в таблице 26.

При составлении сводных мелкомасштабных карт стремятся сохранить сечение исходных карт более крупных масштабов.

Для геологической интерпретации результатов гравиметрической съемки обычно используют аномалии Буге, которые зависят от выбранной плотности промежуточного слоя. Особенно важно правильно установить плотность при составлении карт по результатам детальных гравиметрических съемок.

Плотность промежуточного слоя меняется в значительных пределах: от $2,28 - 2,35 \text{ г/см}^3$ до $2,65 - 2,78 \text{ г/см}^3$ в зависимости от геологического строения. Тем не менее, при составлении мировых карт в аномалиях Буге или мелкомасштабных карт на большие территории принимается единое значение плотности. Чаще всего для плотности используют стандартные значения: $2,67 \text{ г/см}^3$, равное средней плотности земной коры, и $2,3 \text{ г/см}^3$, более пригодное в том случае, когда значительная часть промежуточного слоя сложена осадочными образованиями. В РФ при составлении карт в аномалиях Буге плотность промежуточного слоя принимается равной $2,3 \text{ г/см}^3$.

Гравиметрические карты строятся по трапециям международной разграфки. На карту наносят разреженную топографическую ситуацию и пункты гравиметрических наблюдений с подписанными значениями аномалий силы тяжести. Линейной интерполяцией между соседними пунктами намечают точки, в которых аномалии равны $k \cdot n$ (k – целое число, n – сечение карты). Затем точки с одинаковым значением аномалий соединяют плавными линиями – изоаномалами. Изоаномалы оцифровывают, а кратные – утолщают. Для удобства чтения гравиметрические карты раскрашивают в зависимости от интенсивности аномалий. Области положительных аномалий раскрашивают обычно в теплые тона (желтые, красные, коричневые), области отрицательных – в холодные (зеленый, голубой, синий). Образец гравиметрической карты дан на рисунке 24, где помещен фрагмент карты в аномалиях Буге в юго-восточной части Хоккайдо (Япония).

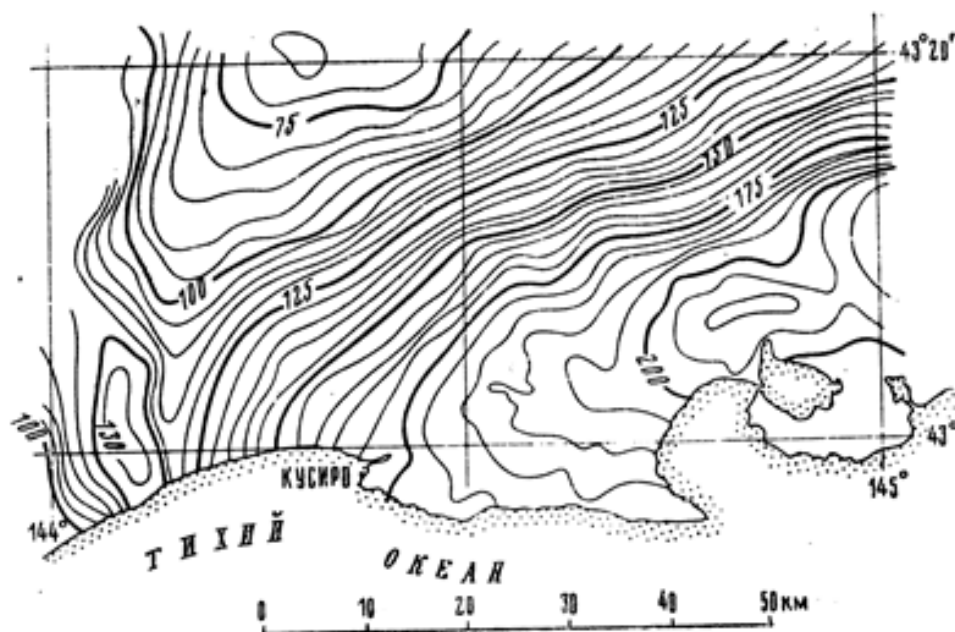


Рисунок 24 – Образец гравиметрической карты

Точность гравиметрических карт зависит от точности измерения аномалий и плотности съемки. Аномалий силы тяжести между гравиметрическими пунктами может меняться сложным образом, однако при проведении изоаномал всегда делают предположение о линейном изменении аномалий. Поэтому интерполированное значение аномалии отличается от действительного, причем это отличие тем больше, чем больше расстояние между пунктами и сложнее гравитационное поле. Для характеристики точности гравиметрических карт М.С. Молоденским было введено понятие ошибки интерполяции, под которой понимают среднюю квадратическую разность интерполированного по карте и измеренного значения аномалии. Ошибку интерполяции E находят по формуле

$$E = \sqrt{\frac{\sum(\Delta g_{\text{инт}} - \Delta g_i)^2}{n}} \quad (65)$$

где $\Delta g_{\text{инт}}$ – интерполированное,

Δg_i – измеренное значение аномалии в точке i ,

n – число точек.

Для вычисления ошибки интерполяции используют измерения в контрольных точках, которые не учитывают при построении карты.

В разность интерполированного и измеренного значения аномалии входит также и погрешность измерения, поэтому ошибки E называют полными ошибками интерполяции. Если исключить погрешность m измерения, получим чистую ошибку интерполяции

$$E' = \sqrt{E^2 + m^2} \quad (66)$$

Погрешность измерения силы тяжести устанавливается в 2-3 раза меньше чистой ошибки интерполяции; сечение изоаномал обычно выбирают в 2-3 раза большим ошибки интерполяции. Соотношения между масштабом карты, точностью измерения аномалий и ошибкой интерполяции приведены в таблице 27.

Таблица 27 – Соотношение погрешностей

Масштабы карт	Сечение изоаномал, мГал	Погрешность наблюдения, мГал	Полная ошибка интерполяции, мГал
1	2	3	4
1: 500 000	5	0,5	2,0
1: 200 000	2	0,4	1,0
1: 100 000	1	0,3	0,5
1: 50 000	0,5	0,15	0,35
1: 50 000	0,25	0,07	0,20
1: 25 000	0,20	0,06	0,15
1: 10 000	0,10	0,03	0,07
1:5 000	0,05	0,015	0,03

При расстояниях между гравиметрическими пунктами порядка десяти километров и больше предположение о линейном изменении аномалии силы тяжести приводит к большим погрешностям, поэтому по результатам редкой съемки гравиметрические карты не составляют. В этом случае находят средние значения аномалий на площадках стандартных размеров - $5' \times 7,5'$, $10' \times 15'$, $20' \times 30'$, $1^0 \times 1^0$, $5^0 \times 5^0$.

Автоматизация обработки результатов гравиметрических данных.

В настоящее время число гравиметрических пунктов на Земле оценивают величиной порядка 5 млн., причем это число ежегодно увеличивается примерно на 1 млн. Для сбора, хранения и использования такого значительного количества информации широко применяют автоматизированные системы с использованием ЭВМ.

В РФ системы автоматизированной обработки гравиметрической информации разработаны и успешно применяются целым рядом геологоразведочных организаций. Автоматизированную обработку можно разделить на такие этапы:

- первичная обработка, которая включает обработку полевых измерений (перевод отсчета гравиметра в миллигалы, поправки за температуру, приливные изменения, смещение нуля-пункту, обработка результатов топографо-геодезических измерений, вычисление нормальной силы тяжести и аномалии силы тяжести, составление каталога гравиметрических пунктов);

- предварительная обработка, которая заключается в основном в учете поправки за рельеф и приведении гравиметрической съемки к регулярной сети, основанных на различных алгоритмах интерполяции функции, и построении гравиметрических карт;

- изучение поля аномалий силы тяжести, определение характеристик аномальных масс и геологическая характеристика.

Процесс автоматизированной обработки начинается непосредственно с полевых материалов, для чего разработан специальный полевой кодированный гравиметрический бланк. Запись информации на бланке производится алфавитно-цифровым способом. Затем необходимые для обработки данные кодируются в двоично-десятичной системе. На одном бланке можно записать 12 пунктов наблюдений.

Автоматизированные системы обработки материалов гравиметрической разведки используются в геофизических организациях России. Системы обеспечивают выполнение следующих операций: обработка данных опорной сети и уравнивание опорной сети; обработка данных рядовой сети;

вычисление наблюдаемых значений силы тяжести; выборку и вычисление результатов опробований и печать журнала контрольных опробований; вычисление нормальных значений силы тяжести и печать каталога; вывод результатов вычислений на графопостроитель в виде гравиметрических карт и графиков; выбор оптимальной плотности промежуточного слоя; построение числовой модели поля по регулярной сети.

4.1 Гравиметрическая изученность Земли

Для характеристики степени изученности гравитационного поля Земли в целом наиболее удобно использовать средние значения аномалий на стандартных трапециях. Обычно используют аномалии, осредненные в трапециях $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ и $5^{\circ} \times 5^{\circ}$. При этом трапеция считается изученной в гравиметрическом отношении, если в пределах трапеции находится хотя бы один гравиметрический пункт. Схема гравиметрической изученности Земли по состоянию на 2000 год дана на рисунке 25. На схеме отчетливо видна неравномерность мировой гравиметрической съемки. Если материки (за исключением Антарктиды и частично Африки) имеют практически полную изученность по трапециям $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, то поверхность мирового океана изучена еще недостаточно. Морские съемки покрывают Средиземное море, Северную Атлантику, Северную часть Индийского и Тихого океанов. В остальных частях Мирового океана имеют лишь отдельные гравиметрические рейсы. По состоянию на 2000 год характеристики имели 34 550 трапеций $1^{\circ} \times 1^{\circ}$.

Характеристика гравиметрической изученности Земли по состоянию на август 1998 года дана в таблице 28, где приведены данные с учетом косвенной интерполяции осредненных аномалий.

Таблица 28 – Характеристика гравиметрической изученности

Материки	Число трапеций		Процент изученности	Осредненная аномалия, мГал	
	изученных	всех		максимальная	минимальная
1	2	3	4	5	6
Северное полушарие	25 978	32 400	80	+342	-285
Южное полушарие	13 428	32 400	38	+204	-220
По всей Земле	38 406	64 800	59	+342	-285

Процент изученности в северном полушарии, где расположена большая часть материков, значительно выше, чем в южном, и составляет 80 %. В целом для Земли характеристики имеют 59 % одноградусных трапеций.

Существующей в настоящее время мировой гравиметрической съемки еще недостаточно для надежного определения фигуры Земли гравиметрическим путем. Кроме того, многие характеристики одноградусных трапеций имеют значительные погрешности из-за недостаточного числа измерений. Число известных аномалий в трапециях колеблется от 1 -10 до нескольких сотен, поэтому фактически неоднородность мировой гравиметрической съемки значительно больше, чем показано на рисунке 25. Наиболее изучены территории Европы (включая Средиземное море), США, Канады (за исключением северной части), Австралии.

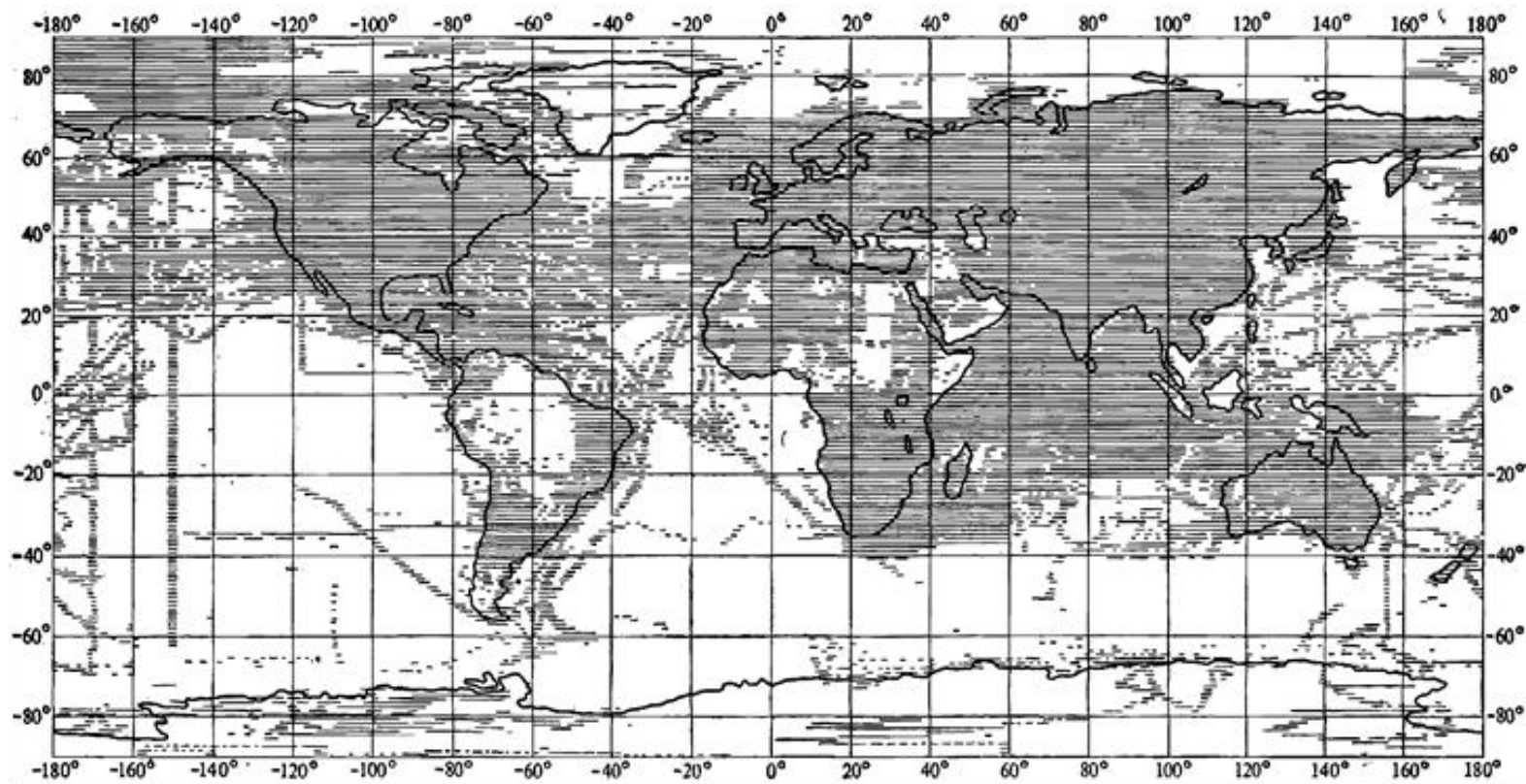


Рисунок 25 –Гравиметрическая изученность Земли по состоянию на июнь 1978 г. Заштрихованы трапеции $1^0 \times 1^0$ чс известными аномалиями силы тяжести

Список использованных источников

1. Весиков, К.Е. Инструкция по гравиразведке / К.Е. Весиков. – М.: – 1980.
2. ГКИНП(ГНТА)04-252-01 Инструкция по развитию высокоточной государственной гравиметрической сети России 2014-05-05. – М.: ЦНИИГАиК, 2001.
3. ГОСТ Р 52334 – 2005.Гравиразведка. Термины и определения. М.: Стандартиформ, 2005. 125с.
4. Гравиметрия: учебное пособие для ВУЗов / под ред. А.П. Юзефовича, – М.: Недра, 1990. – 319с.
5. Инженерная геодезия: учебное пособие для ВУЗов / под ред. Г.А. Федотова, - М.: Высшая школа, 2007. – 463с.
6. Инструкция по развитию высокоточной государственной гравиметрической сети России. Абсолютные измерения ускорения силы тяжести баллистическими гравиметрами. – М.: ЦНИИГАиК, 2001.
7. Кузнецов, О.Ф. Инженерная геодезия: учебное пособие / под ред. О.Ф. Кузнецов. – М.: МГСУ, 2014. – 359с.
8. Кузнецов, О.Ф. Основы геодезии и топография местности/ под ред. О.Ф. Кузнецов. – М.: МГУ, 2014. – 309 с.