

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В. Н. Конешов, В. И. Костицын

**АППАРАТУРА И ТЕХНОЛОГИИ
ГРАВИРАЗВЕДКИ И МАГНИТОРАЗВЕДКИ:
АВИАЦИОННЫЕ И МОРСКИЕ ГРАВИМЕТРЫ**

*Допущено методическим советом
Пермского государственного национального
исследовательского университета в качестве
учебного пособия для студентов,
обучающихся по специальности
«Технология геологической разведки»*



Пермь 2021

УДК 550.835+550.832

ББК 26.2я73

К723

Конешов В. Н.

К723 Аппаратура и технологии гравirazведки и магниторазведки: авиационные и морские гравиметры : учебное пособие / В. Н. Конешов, В. И. Костицын ; Пермский государственный национальный исследовательский университет – Пермь, 2021. – 108 с.

ISBN 978-5-7944-3642-6

Рассмотрены гравиметрические комплексы Чекан АМ, Шельф («Попугай») и Силомер для морских и аэрогравиметрических исследований. Приведены программы SEAGRAV для обработки морских измерений и Chekan_QC для обработки аэрогравиметрических данных, полученных комплексами Чекан АМ и Шельф, а также программное обеспечение SR2MSU для камеральной обработки данных аэрогравиметрической съемки с авиационным комплексом «Силомер». В работе использованы материалы Института физики Земли Российской академии наук.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности «Технология геологической разведки» (специализация «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых»).

Может также быть использовано по направлению бакалавриата «Геология», профиль «Геофизика» и магистерской программе «Геофизические методы исследования земной коры».

УДК 550.835+550.832

ББК 26.2я73

Печатается по решению ученого совета геологического факультета Пермского государственного национального исследовательского университета

Рецензенты: лаборатория геопотенциальных полей Горного института УрО РАН (рецензент – старший научный сотрудник лаборатории, канд. техн. наук **Г. В. Простолупов**);

профессор кафедры горно-нефтяного факультета Пермского национального исследовательского политехнического университета, д-р техн. наук **Г. А. Цветков**

© Конешов В. Н., Костицын В. И., 2021

ISBN 978-5-7944-3642-6

© ПГНИУ, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
СОКРАЩЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	6
1. ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ЧЕКАН АМ, ШЕЛЬФ («ПОПУГАЙ»)	7
1.1. Принцип действия датчика гравиметрического.....	7
1.2. Система термостатирования.....	11
1.3. Гироскопическая платформа.....	11
1.4. Принцип действия системы гироскопической стабилизации.....	14
1.5. Различия двух версий Чекан АМ, Шельф («Попугай»).....	15
2. АЭРОГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС СИЛОМЕР (GT-2A)	16
2.1. Основные параметры и технические характеристики....	16
2.2. Основное гравиметрическое уравнение.....	19
2.3. Функциональная схема гравиметра Силомер (GT-2A)....	20
2.4. Гравиметрический чувствительный элемент.....	21
2.5. Гиростабилизация и термостатирование гравиметра...	23
2.6. Прибор управления и индикации.....	26
2.7. Основные задачи, реализованные в центральном приборе.....	27
2.8. Файлы регистрируемых данных.....	31
2.9. Основные требования к установке гравиметра Силомер (GT-2A) на самолете.....	36
3. ПРОГРАММЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МОРСКИХ И АВИАЦИОННЫХ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ	36
3.1. Программы SEAGRAV для обработки морских измерений гравиметрическими комплексами Чекан АМ и Шельф («Попугай»).....	37
3.2. Программа Chekan_QC для обработки аэрогравиметрических данных, полученных с помощью авиационной модификации гравиметров Чекан-АМ, Шельф («Попугай»).....	53

3.3. Программное обеспечение SR2MSU камеральной обработки данных аэрогравиметрической съемки для авиационного гравиметрического комплекса Силомер (GT-2A).....	65
4. АНОМАЛИИ В СВОБОДНОМ ВОЗДУХЕ И ПРИРАЩЕНИЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ.....	69
5. МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ ФОРМАТ ХРАНЕНИЯ И ОБМЕНА ГРАВИМЕТРИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ.....	71
5.1. Гравиметрическая информация, подлежащая хранению в базах данных.....	72
5.2. Основная гравиметрическая информация.....	73
5.3. Дополнительная гравиметрическая информация.....	75
5.4. Структура формата МВФ-05.....	75
5.5. Файл GC1.....	77
5.5.1. Файл GC1, секция 1.....	77
5.5.2. Файл GC1, секция 2.....	78
5.5.3. Файл GC1, секция 3.....	78
5.6. Файл GC2	78
5.7. Файл GC3	79
5.8. Особенности аэрогравиметрических измерений.....	80
ПРИЛОЖЕНИЕ. Структура формата МВФ-05 и представление информации.....	81
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	105
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	107

ВВЕДЕНИЕ

В учебном пособии рассмотрены гравиметрические комплексы Чекан АМ, Шельф («Попугай») и Силомер для морских и аэрогравиметрических исследований на основании материалов Института физики Земли Российской академии наук.

Гравиметр Чекан АМ предназначен для измерения ускорения силы тяжести с морских судов и самолетов, а комплекс Шельф («Попугай») является модификацией морского комплекса Чекан АМ, усовершенствованного для аэрогравиметрических исследований.

Гравиметрические комплексы обеспечивают непрерывное измерение приращения ускорения силы тяжести; первичную обработку гравиметрической информации с преобразованием показаний датчика в миллигалы, графическое отображение на мониторе, фильтрацию исходных данных, запись на жесткий диск результатов съемки; прием информации от спутниковых навигационных систем GPS и ГЛОНАСС, отображение на мониторе гравиметрических и навигационных данных, работу системы гироскопической стабилизации и термостабилизации гравиметрического датчика.

Представлено программное обеспечение SEAGRAV для обработки морских измерений, Chekan_QC – для обработки аэрогравиметрических данных и SR2MSU – для камеральной обработки данных аэрогравиметрической съемки с авиационным комплексом Силомер.

Наличие в процессе измерений различных по функциональному назначению приборов требует создания программ, объединенных в единый пакет. Кроме гравиметрических данных, используются результаты навигационных систем, эхолотов, высотомеров и других датчиков. Все они существенно различаются по формату представления и способу обработки.

СОКРАЩЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

ДГ	датчик гравиметрический
ОГП	опорный гравиметрический пункт
УСГ	упругая система гравиметра
ПОЭ	преобразователь оптико-электронный
КМОП	комплементарная структура металл-оксид-полупроводника
ТВ	телевизионная камера
ПУТ	пульт управления термостатом
БПТ	блок питания термостата
ГП	гироскопическая платформа
МГ	модуль гироскопический
ДПГ	двухстепенный поплавковый гироскоп
ВОГ	волоконно-оптический гироскоп
ДНГ	динамически настраиваемый гироскоп
ДУП	датчик угла прецессии
ГП	стабилизируемая площадка
ГРЧЭ	гравиметрический чувствительный элемент
ПУИ	прибор управления и индикации
ПУИС	прибор управления, индикации и сбора информации
СНС	спутниковая навигационная система
АЦП	аналого-цифровой преобразователь
ЦАП	цифроаналоговый преобразователь
ЦПУ	центральное процессорное устройство
УКГР	устройство для калибровки гравиметра
ДУ	датчик угла
СС	следающая система
ГВ	гировертикаль

1. ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ЧЕКАН АМ, ШЕЛЬФ («ПОПУГАЙ»)

Морской гравиметрический комплекс Чекан АМ является комплексом четвертого поколения и выпускается в России серийно ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» [1,2]. Гравиметр предназначен для измерения ускорения силы тяжести (УСТ) с морских и воздушных носителей (морских судов и самолетов). Аэрогравиметрический комплекс Шельф является модификацией морского комплекса Чекан АМ, усовершенствованного для аэрогравиметрических исследований.

Гравиметры Чекан АМ, Шельф («Попугай») предназначены для высокоточных измерений гравитационного поля Земли с морских и воздушных носителей. Прибор в режиме реального времени обеспечивает:

- а) непрерывное измерение приращения ускорения силы тяжести относительно опорного гравиметрического пункта (ОГП);
- б) первичную обработку гравиметрической информации на частоте 10 Гц, включая преобразование показаний датчика гравиметрического (пиксели) в показания гравиметра (миллигалы), фильтрацию исходных данных, графическое отображение на мониторе текущего профиля, запись на жесткий диск результатов гравиметрической съемки с дискретностью 1 с.;
- в) ввод поправки за скорость смещения нуль-пункта датчика гравиметрического (ДГ);
- г) прием навигационной информации от спутниковых навигационных систем GPS и ГЛОНАСС по последовательному интерфейсу RS-232 с частотой до 10 Гц;
- д) коррекцию влияния движения носителя на систему гиросtabilизации гравиметра по навигационным данным;
- е) отображение на мониторе гравиметрических и навигационных данных, а также параметров, характеризующих работу системы гироскопической стабилизации и термостабилизации ДГ;
- ж) диагностику работы всех систем гравиметра.

1.1. Принцип действия датчика гравиметрического

Принцип работы датчика гравиметрического для обеих модификаций идентичен. Различие заключается в конструктивных и технологических особенностях устройства чувствительного элемента, а также в использовании разных конструкций гиросtabilизатора для морского и авиационного варианта гравиметра.

Схема датчика гравиметрического приведена на рис. 1. Основой его является двойная кварцевая упругая система гравиметра (УСГ) крутильного типа.

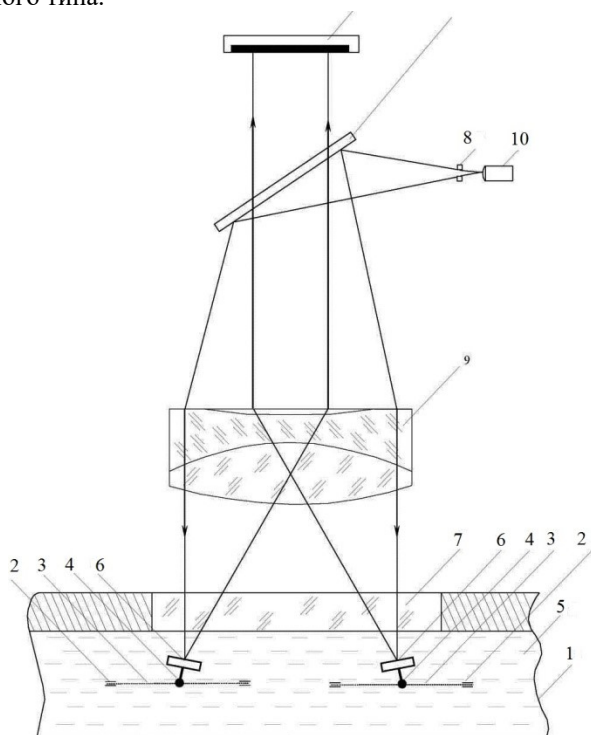


Рис. 1. Схема построения датчика гравиметрического

Двойная кварцевая упругая система гравиметра крутильного типа состоит из двух идентичных кварцевых систем, помещенных в корпус 1. Кварцевые системы развернуты друг относительно друга на 180° . Каждая система содержит кварцевую рамку 2 с торсионом 3, к которому приварен маятник с пробной массой 4. Внутренний объем корпуса заполнен полиметилсилоксановой жидкостью 5, обеспечивающей демпфирование маятников. Нить торсиона предварительно закручена так, чтобы исходное положение маятника было близко к горизонтальному. Изменение угла поворота маятника Lp (рад) характеризует изменение ускорения силы тяжести Lg (мГал):

$$Lp = K Lg, \quad (1)$$

где K – чувствительность упругой системы, рад/мГал.

Для определения угла Lp к маятникам прикреплены зеркала 6, плоскости которых параллельны осям маятников и развернуты на небольшой угол в противоположном направлении. Измерение угла Lp производится посредством преобразователя оптико-электронного (ПОЭ) автоколлимационного типа, который установлен на корпусе упругой системы гравиметра. Для прохождения светового потока в верхней части корпуса предусмотрено оптическое окно 7. Изменение угла поворота маятников Lp преобразуется в линейное перемещение светящейся щели, расположенной в фокальной плоскости объектива 9. В качестве источника излучения используется светодиод 10. Между щелевой диафрагмой и объективом 9 расположен светоделительный элемент 11. В верхней части ПОЭ установлен фотоприемник 12, в качестве которого используется специализированная телевизионная камера на основе комплементарного металл-оксид-полупроводника (КМОП) структуры.

Поток световых лучей от источника излучения, освещающего щелевую диафрагму, проходит через светоделительный элемент и объектив, отражается от зеркал маятников (рис. 1), делящих его на две части, снова попадает в объектив и направляется на светочувствительный элемент ТВ-камеры, в которой формируются автоколлимационные изображения щелевой диафрагмы P_1 и P_2 (рис. 2).

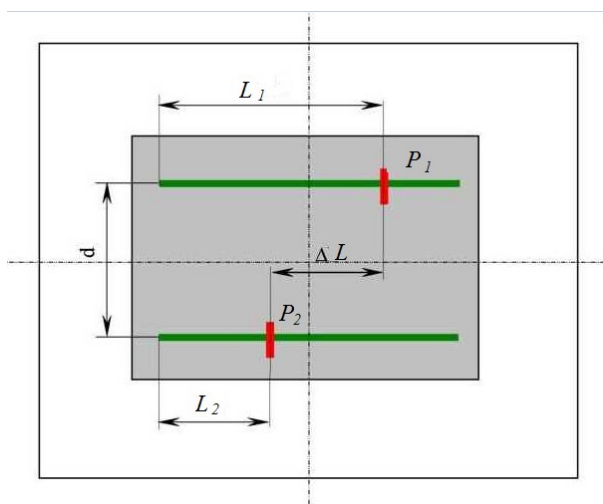


Рис. 2. Вид автоколлимационных изображений на чувствительной области ТВ-камеры

Изменение AL_1 (мм), положения автоколлимационного изображения P_1 , сформированного от зеркала первого маятника, пропорционально изменению угла закручивания $L\phi_1$ (рад), торсиона нити в соответствии с формулой

$$LL_1 = 2nF L\phi_1, \quad (2)$$

где n – коэффициент преломления демпфирующей жидкости ($n = 1,4$); F – фокусное расстояние объектива, мм.

Изменение угла $L\phi_1$ (рад), связано с изменением силы тяжести Lg (мГал), выражением

$$L\phi_1 = KAg, \quad (3)$$

где K – чувствительность упругой системы, рад/мГал.

Торсионы кварцевых систем предварительно закручены в противоположные стороны. При увеличении силы тяжести Lg (мГал), величина L_1 (мм), уменьшается, а L_2 (мм), увеличивается. Изменение LL_2 (мм), положения автоколлимационного изображения P_2 , сформированного от зеркала второго маятника, связано с изменением угла $L\phi_2$ (рад), в соответствии с формулой

$$LL_2 = 2 nF L\phi_2. \quad (4)$$

Отсюда за меру изменения силы тяжести Lg (мГал), принимается изменение LL (мм), расстояния между автоколлимационными изображениями P_1 и P_2 в соответствии с формулой

$$LL = L(B_2 - Li). \quad (5)$$

Отсчет m_l (пикс), характеризующий положение L_l (мм), автоколлимационного изображения P_l , связан с линейным размером пикселя δ (мм), соотношением

$$m_l = L_l / \delta. \quad (6)$$

Вычисление m_l производится в ТВ-камере в два этапа. На первом этапе вычисляется отсчет m_{li} (пикс), определяющий положение автоколлимационного изображения по интенсивностям пикселей i -й строки. На втором этапе отсчет m_l (пикс), характеризующий положение L_l автоколлимационного изображения, вычисляется как среднее

арифметическое из отсчетов m_{1i} , полученных для всех строк заданной области. Аналогично вычисляется отсчет m_2 (пикс), характеризующий положение L_2 автоколлимационного изображения P_2 .

В качестве результирующего отсчета гравиметра m (пикс), принимается разность отсчетов m_1 и m_2 :

$$m = m_2 - m_1. \quad (7)$$

Отсчеты m_1 , m_2 передаются из ТВ-камеры в ноутбук по последовательному интерфейсу RS-232 с частотой 10 Гц.

За меру измерения приращения силы тяжести $\mathcal{L}g$ (мГал) принимается значение

$$\mathcal{L}m = m - m_0, \quad (8)$$

где m_0 – начальный отсчет на опорном гравиметрическом пункте, относителю которого производятся измерения.

Значения коэффициентов преобразования величины $\mathcal{L}m$ (пикс) в показания $\mathcal{L}g$ (мГал) определяются экспериментальным путем.

1.2. Система термостатирования

Для поддержания внутри гравиметрического датчика постоянной температуры упругая система гравиметра (УСГ) совместно с преобразователем оптико-электронным (ПОЭ) помещена в общий термостат, который построен на полупроводниковых модулях, работающих на эффекте Пельтье. Мощность, потребляемая термостатом, составляет от 40 до 45 Вт. Работа термостата рассчитана на температуру 14–16 °С. Отвод тепла с горячих спаев модулей осуществляется посредством радиаторов, через которые прокачивается воздух с помощью вентилятора, установленного в нижней части термостата. Система управления термостатом выполнена в виде двух плат: пульт управления термостатом (ПУТ) и блок питания термостата (БПТ), которые установлены на кронштейнах по боковым стенкам кожуха, закрывающего верхний корпус термостата. Соединение термостата с корпусом гравиметрического датчика осуществляется через плату из капрлона.

Поддержание температуры на стенке нижнего корпуса термостата осуществляется с погрешностью в пределах $\pm 0,05$ °С.

1.3. Гироскопическая платформа

Гироскопическая платформа (ГП) содержит наружное и внутреннее кольца карданова подвеса. Ориентация осей карданова подвеса

задается таким образом, что по оси наружного кольца отрабатывается бортовая качка, а по оси внутреннего кольца – килевая качка объекта.

На внутреннем кольце гироскопической платформы располагается стабилизируемый гравиметрический датчик, а также модуль гироскопический (МГ), на котором установлены чувствительные элементы системы стабилизации:

- два двухстепенных поплавковых гироскопа ДПГ-6 (далее – двухстепенный поплавковый гироскоп – ДППГ);
- два акселерометра АК-15-1 (далее – акселерометр);
- волоконно-оптический гироскоп ВГ951 (далее – ВОГ) и два контроллера МК-ДППГ.

Схема модуля гироскопического приведена на рис. 3, а схема расположения чувствительных элементов системы стабилизации на кронштейне МГ – на рис. 4.

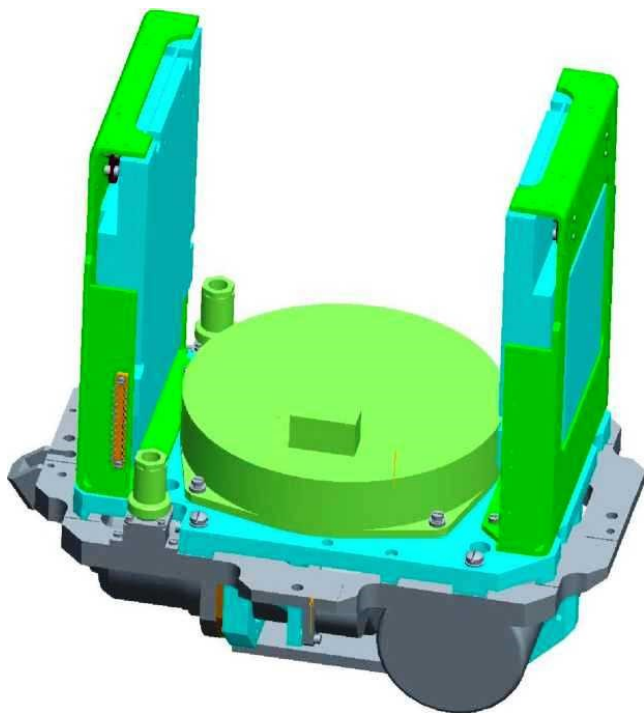


Рис. 3. Схема модуля гироскопического

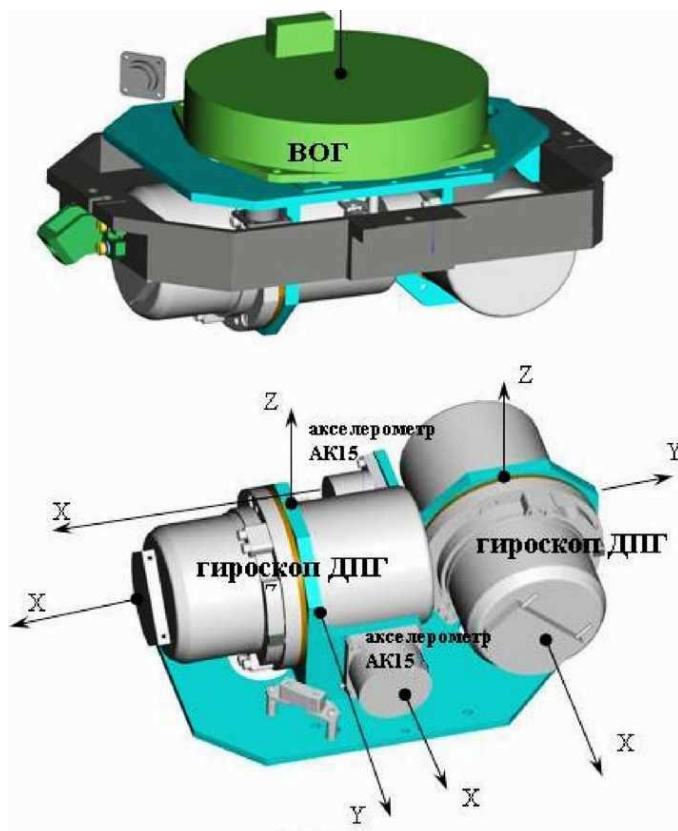


Рис. 4. Схема расположения чувствительных элементов системы стабилизации

Условные обозначения: X – ось прецессии гироскопа ДПГ,
 Y – ось чувствительности гироскопа ДПГ,
 – ось кинетического момента гироскопа ДПГ,
 – ось чувствительности акселерометра АК15

Общий вид гироскопической платформы (без кожуха) приведен на рис. 5.



Рис. 5. Общий вид гироскопической платформы (без кожуха)

1.4. Принцип действия системы гироскопической стабилизации

Гирооплатформа гравиметра представляет собой двухосную систему гироскопической стабилизации с безредукторной следящей системой и акселерометрической коррекцией гироскопов.

Чувствительным элементом следящей системы является однокоординатный датчик угла прецессии (ДУП) гироскопа. Каждый гироскоп установлен в положение, при котором его ось кинетического момента перпендикулярна стабилизируемой площадке ГП, а ось прецессии перпендикулярна соответствующей оси стабилизации. При наклоне стабилизируемой площадки гироскопической платформы относительно положения, согласованного с датчиком угла прецессии, с выходных обмоток ДУП снимается напряжение переменного тока, пропорциональное углу рассогласования. Моментные двигатели разворачивают кольца в сторону, обратную наклону, до совмещения оси прецессии с нулевым положением ДУП, или, что одно и то же, до совмещения положения гироскопической платформы с положением, согласованным с гироскопом, с точностью до погрешностей стабилизации.

Приведение в вертикаль осей кинетического момента ДПГ, а следовательно, и совмещение оси чувствительности ДГ с направлением местной вертикали обеспечивается системой акселерометрической коррекции. Датчиками системы коррекции являются акселерометры, оси чувствительности которых параллельны осям карданова подвеса. Благодаря такому расположению каждый акселерометр корректирует положение оси кинетического момента гироскопа по одной из осей стабилизации.

1.5. Различия двух версий: Чекан АМ, Шельф («Попугай»)

Гравиметр Чекан имеет два варианта исполнения – морской и авиационный, различия двух версий приведены в табл. 1.

Таблица 1

Различия двух версий: Чекан АМ, Шельф («Попугай»)

Чекан АМ	Шельф («Попугай»)
Используется упругая система УСГ-5	Используется упругая система УСГ-6 Используется упругая система УСГ-5
Упругая система УСГ-5 развернута в азимуте на 45^0 относительно осей качки	Упругая система УСГ-6 установлена в соответствии с требованиями минимизации орбитального эффекта
Первая ступень термостабилизации включает только упругую систему. Оптико-электронный преобразователь (ОЭП) термостатируется второй ступенью только вместе с объемом гиростабилизированной платформы	Первая ступень термостабилизации включает упругую систему вместе с оптико-электронным преобразователем (ОЭП)
Температура статирования составляет 45^0C , визуально не контролируется и не регистрируется	Температура статирования составляет 15^0C , визуально контролируется и непрерывно регистрируется
Блок управления термостабилизацией исполнен отдельным прибором	Блок управления термостабилизацией встроен

Чекан АМ	Шельф («Попугай»)
В ОЭП применяются ПЗС-линейки на каждую из двух кварцевых систем	В ОЭП применяются единая ПЗС-матрица для обеих кварцевых систем
Использование внешних преобразователей питания $\approx 220/27$ В	Встроенный преобразователь всех цепей питания комплекса
Использование промышленной ЭВМ в составе комплекса	Использование ноутбука в составе комплекса
Необходимая информация регистрируется в четырех различных файлах	Необходимая информация регистрируется в трех различных файлах

Гравиметр выполняет измерение приращения УСТ относительно начального опорного гравиметрического пункта (ОГП) с известным значением УСТ.

2. АЭРОГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС СИЛОМЕР (GT-2A)

Гравиметр Силомер (GT-2A) предназначен для измерения ускорения силы тяжести с самолетов. Прибор обеспечивает решение следующих основных задач:

- измерение вертикального кажущегося ускорения;
- прием информации о координатах места и скорости самолета с приемника GPS в формате CBEN или RMC;
- отображение на экране дисплея и регистрация на жестком диске прибора управления и индикации условий измерений и результатов первичной обработки гравиметрических и навигационных данных;
- контроль работы всех систем и отображение на экране прибора управления и индикации его результатов;
- автоматическая калибровка инструментальных погрешностей.

2.1. Основные параметры и технические характеристики

Диапазон измерения ускорения силы тяжести составляет от 9.76 до 9.84 м/с². Динамический диапазон узкодиапазонного канала равен $\pm 0.25g$, широкодиапазонного канала – $\pm 0.5g$, дрейф за 24 час. – менее 5 мГал.

Ошибка измерения ускорения силы тяжести (RMS) за 12 час. на столе и на борту на неподвижном основании (статический режим):

- а) узкодиапазонный канал (0.2 – 0.3) мГал

в) широкодиапазонный канал (0.3 – 0.5) мГал
Точность определения масштабного коэффициента 10^{-4}

Предельные углы:

а) крена $\pm 45^\circ$

б) тангажа $\pm 45^\circ$

Широтный диапазон измерений: от 75° S до 75° N

Рабочая температура окружающей среды от $+5^\circ \text{ C}$ до $+50^\circ \text{ C}$

Допустимый уровень вибраций на частоте от 5 до 35 Гц составляет 0.2 g.

Потребляемая мощность:

а) рабочий режим 150 W

б) дежурный режим 140 W

в) дежурный экономичный режим 50 W

Вес 110 кг

Размеры $\varnothing 600 \times 920 \text{ мм}$

Ресурс 30 000 час.

Ошибка оценки гравиметрической аномалии (RMS) в следующих условиях: вертикальных ускорений до 0.5g; правильного размещения гравиметра и антенн GPS на самолете и базовой станции; использования двухчастотных GPS – приемников с частотой регистрации не менее 2 Гц; видимости не менее 6 спутников; PDOP не более 2.5; длины базовой линии не более 50 км:

а) при полосе пропускания 0.01 Гц 0.6 мГал,

б) при полосе пропускания 0.0125 Гц 1.0 мГал.

Время готовности из холодного состояния составляет 48 час., из дежурного экономичного режима – 10 час., из дежурного режима – 2 час.

Полный комплект приборов, входящих в состав гравиметра «Силомер» (GT-2A), представлен на рис. 6.

Центральный прибор гравиметра состоит из следующих блоков:

1) электроники (ХП-8):

– вторичные источники питания;

– microPC;

– преобразователи частота-код;

– преобразователь код-ток (ПКТ) для динамически настраиваемого гироскопа;

– система термостатирования для ПКТ;

2) центральный (гироскопический) блок (ГС-13):

– карданов подвес;

– платформа с акселерометрами и гироскопами (ВОГ и ДНГ);

- гравиметрический чувствительный элемент (ГРЧЭ);
- системы термостатирования ГРЧЭ и платформы;
- 3) поворотный стол (СНД-1);
- 4) амортизатор.



Рис. 6. Состав гравиметра Силомер (GT-2A)

Вспомогательные приборы включают блок питания и прибор управления и индикации (ПУИ).

Центральный прибор содержит гравиметрический чувствительный элемент, установленный на платформе трехосной гировертикали с системой «шулеровской» интегральной коррекции. Схема интегральной коррекции с использованием внешней информации о широте места и скорости объекта от приемника GPS (с частотой 2 Гц) обеспечивает невозмущаемость положения платформы при движении объекта.

Управление цепями коррекции и следящей системой (СС) стабилизации гировертикали (ГВ), схемами спутниковой навигационной системы, а также обработка выходного сигнала ГРЧЭ осуществляется встроенной микроЭВМ. Получение информации от GPS осуществляется через первый comport (COM1).

Выдача управляющих команд, индикация и накопление гравиметрических и навигационных данных, их предварительная обработка и запись на магнитный носитель для проведения постобработки осуществляются прибором управления и индикации. Обмен информацией

между прибором управления и индикации и микроЭВМ центрального прибора осуществляется через второй comport (COM2).

2.2. Основное гравиметрическое уравнение

Основное гравиметрическое уравнение, используемое при определении аномалии силы тяжести, имеет вид

$$W_z = (dg + g_0 + g_E + Z) \cos(\beta_Z + \alpha_1) \cdot \cos(\gamma_Z + \alpha_2) - W_y(\beta_Z + \alpha_1) + \\ + W_x(\gamma_Z + \alpha_2) + KDPq \cdot DP^2 + Kwxq \cdot W_x^2 + Kwyq \cdot W_y^2 + v, \quad (9)$$

(инструментальные погрешности)

где W_z – вертикальное кажущееся ускорение, измеряемое гравиметрическим чувствительным элементом (ГРЧЭ);

dg – гравитационная аномалия;

β_Z – неперпендикулярность оси чувствительности ГРЧЭ плоскости платформы (поворот вокруг оси X);

γ_Z – неперпендикулярность; оси чувствительности ГРЧЭ плоскости платформы (поворот вокруг оси Y);

α_1 – негоризонтальность платформы (поворот вокруг оси X);

α_2 – негоризонтальность платформы (поворот вокруг оси Y);

g_0 – нормальное значение силы тяжести;

g_E – поправка Этвеша;

Z – вертикальное ускорение самолета;

W_x – горизонтальное ускорение самолета, измеряемое акселерометром X;

W_y – горизонтальное ускорение самолета, измеряемое акселерометром Y.

Инструментальные погрешности:

$KDPq$ – коэффициент влияния квадрата отклонения пробной массы ГРЧЭ (определяется на вибростенде);

DP – перемещение пробной массы ГРЧЭ относительно его корпуса,

$Kwxq$ – коэффициент влияния квадрата горизонтального ускорения вдоль оси X (определяется на заводе);

$Kwyq$ – коэффициент влияния квадрата горизонтального ускорения вдоль оси Y (определяется на заводе);

N – шум измерения.

$$g_E = 2 \cdot U \cdot VE \cdot \cos \varphi + VE^2 / R + VN^2 / R, \quad (10)$$

$$g_0 = g_e - W_{zz} \cdot h, \quad (11)$$

где g_e – нормальное значение силы тяжести на поверхности земного эллипсоида;

g_e – поправка Этвеша;

U – угловая скорость вращения Земли;

VE – восточная составляющая скорости самолета относительно Земли;

VN – северная составляющая скорости самолета относительно Земли;

Φ – широта места;

R – расстояние от центра Земли (высота полета + радиус Земли), для небольших высот полета (до 2-3 км) высотой полета можно пренебречь;

W_{zz} – вертикальный гравитационный градиент $\sim 1 \text{ мГал} / 3 \text{ м}$ (0.3086 мГал/м);

H – высота полета.

2.3. Функциональная схема гравиметра Силомер (GT-2A)

В аэрогравиметрическом комплексе Силомер (GT-2A) используется ёмкостный преобразователь как датчик нулевого положения. В этом случае сигнал с датчика необходим только для поддержания массы в заданном положении, а величина изменения полезного сигнала регистрируется в цепи обратной связи. Обратная связь реализуется электромагнитом, который по сигналу емкостного датчика удерживает пробную массу в нулевом положении. Выходной величиной гравиметра является ток электромагнита.

Аэрогравиметрический комплекс Силомер (GT-2A) состоит:

- из центрального инерциально-гравиметрического прибора, установленного на амортизаторе;
- прибора управления, индикации и сбора информации (ПУИС) – промышленной ПЭВМ;
- бортового приемника СНС типа Javad Predo;
- системы электропитания;
- одного или нескольких базовых (наземных) приемников GPS для обеспечения дифференциального режима в аэроварианте.

Центральный прибор (рис. 7) содержит невозмущаемую движением гиросплатформу, стабилизированную в географической системе координат.

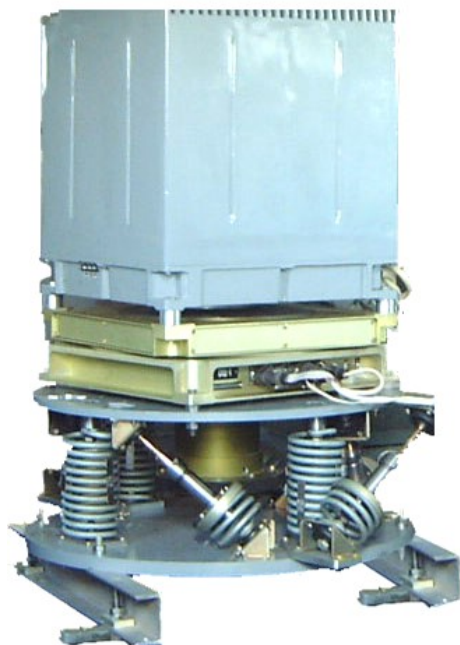


Рис. 7. Центральный инерциально-гравиметрический прибор комплекса Силомер (GT-2A)

На платформе установлены: гравиметрический чувствительный элемент (ГРЧЭ), два горизонтальных акселерометра (АК), динамически настраиваемый гироскоп (ДНГ) с вертикальной ориентацией кинетического момента, волоконно-оптический гироскоп (ВОГ) с вертикальной осью чувствительности и два устройства для калибровки гравиметра (УКГР).

2.4. Гравиметрический чувствительный элемент

Гравиметрический чувствительный элемент имеет осевую конструкцию с пробной массой на упругом подвесе, фотоэлектрический датчик положения и магнитоэлектрические датчики силы: обратной связи и компенсирующий.

На рис. 8 показана функциональная схема чувствительного элемента (ГРЧЭ) гравиметра Силомер (GT-2A) (ГРЧЭ).

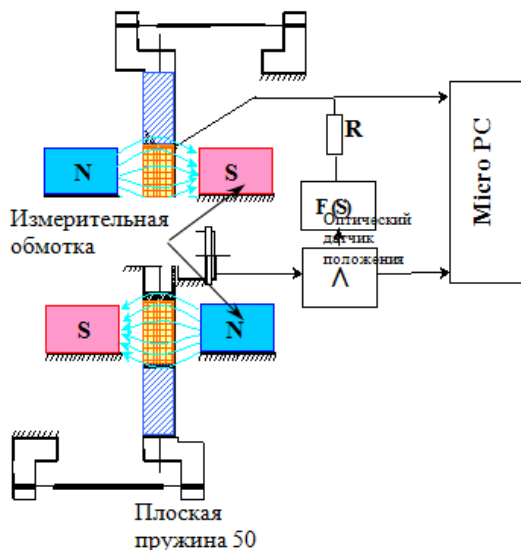


Рис. 8. Функциональная схема гравиметрического чувствительного элемента (ГРЧЭ)

Пробная масса (примерно 37 г) подвешена на плоских металлических (бериллиевая бронза) пружинах толщиной порядка 50 мк. Пробная масса помещена в поле постоянных магнитов. На пробной массе намотана измерительная обмотка. ГРЧЭ включает также в свой состав оптический датчик положения, состоящий из светодиодов и фотодиодов. Оптический датчик положения измеряет перемещение пробной массы относительно корпуса. Сигнал, снимаемый с фотодиода, через передаточную функцию $F(s)$, обеспечивающую устойчивую обратную связь, поступает на измерительную обмотку. Последовательно с обмоткой включен прецизионный резистор R . Ток в измерительной обмотке, а следовательно, напряжение на резисторе R , является мерой проекции кажущегося ускорения на ось чувствительности ГРЧЭ. Обратная связь выполнена по аналоговой схеме. Полоса пропускания ГРЧЭ – 100 Гц. Напряжение на резисторе R преобразуется в код и поступает в микроРС.

При отсутствии вибрации пробная масса практически неподвижна относительно корпуса ГРЧЭ, а следовательно, относительно магнитного поля, создаваемого магнитной системой. При воздействии вибрации пробная масса перемещается относительно магнитного поля. При этом из-за нелинейности магнитного поля, вызванного в основном

погрешностью геометрии постоянных магнитов и смещением начального положения пробной массы относительно магнитов, возникает погрешность в показаниях ГРЧЭ, пропорциональная квадрату отклонения пробной массы от нулевого положения. Коэффициент пропорциональности $KDPq$ определяется на заводе-изготовителе при испытании на вибростенде и используется в математическом обеспечении гравиметра для компенсации влияния отклонения пробной массы на показания ГРЧЭ.

2.5. Гиросtabilизация и термостатирование гравиметра

На рис. 9 представлена функциональная схема гиросtabilизированной платформы в трехосном кардановом подвесе с внешней азимутальной осью (двигатель азимутальной оси не показан).

На платформе установлены:

- динамически настраиваемый гироскоп (ДНГ) с вертикальным положением кинетического момента,
- два горизонтальных акселерометра АКх, АКу,
- гравиметрический чувствительный элемент (ГРЧЭ),
- волоконно-оптический гироскоп (ВОГ) с вертикальной осью чувствительности.

Динамически настраиваемый гироскоп типа ГБ-23 имеет случайную составляющую погрешности $0,01 \text{ }^{\circ}/\text{ч}$ (3σ) при времени осреднения 10 мин.

Волоконно-оптический гироскоп типа ВГ910ФОС имеет случайную составляющую погрешности $0,6 \text{ }^{\circ}/\text{ч}$ (σ) при времени осреднения 60 с. и нестабильность масштабного коэффициента порядка 10^{-3} .

Акселерометры АК-10 кварцевого типа имеют случайную составляющую погрешности $2 \cdot 10^{-6} g$ (σ) при времени осреднения 60 с., длиннопериодную (с временем корреляции порядка 20 ч.) систематическую погрешность $5 \cdot 10^{-5} g$ (3σ) и нестабильность масштабного коэффициента $6 \cdot 10^{-4}$.

Выходные сигналы акселерометров (W_x , W_y), ГРЧЭ (W_z) датчиков углов ДНГ (β , γ), ВОГ (Ω_z) поступают через АЦП в ЦПУ. Сигналы управления ДНГ (Ω_x , Ω_y), выработанные в центральном процессорном устройстве (ЦПУ – микроРС), подаются через цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) на датчики момента ДНГ.

Сигналы управления следящих систем (СС), выработанные в ЦПУ, подаются через ЦАП на моментные двигатели ДМх, ДМу следящих систем.

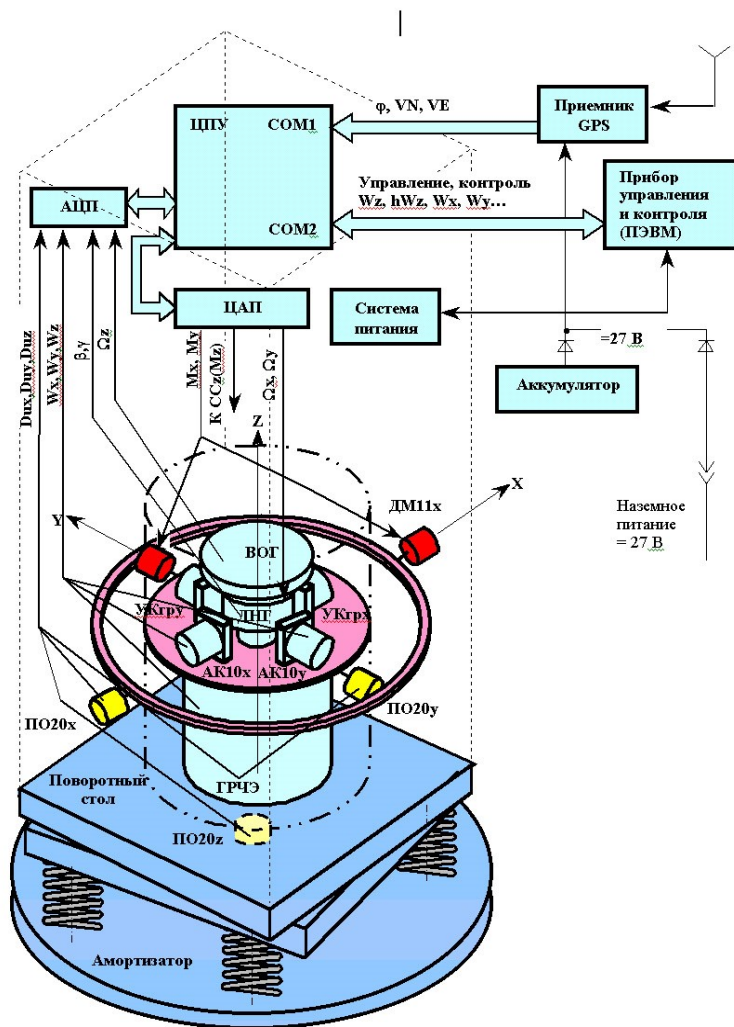


Рис. 9. Функциональная схема гиростабилизированной платформы

Сигнал управления двигателем азимутальной стабилизации, выработанный по информации о курсе, подается на двигатель азимутальной стабилизации, обеспечивая стабилизацию платформы в географической системе координат.

Гравиметрический чувствительный элемент осевого типа с магнитоэлектрической обратной связью стабилизирует положение пробной массы относительно корпуса. Ток, пропорциональный вертикальному кажущемуся ускорению (W_z), протекает в измерительной обмотке датчика силы ГРЧЭ и во включенном последовательно с ней эталонном резисторе. Выходной сигнал (W_z) в виде напряжения, снимаемого с эталонного резистора, поступает через аналого-цифровой преобразователь (АЦП) в ЦПУ. Выходные сигналы ГРЧЭ формируются одноканальным АЦП с диапазоном ± 1 g.

Для измерения углов тангажа, крена и курса на осях карданова подвеса и на вертикальной оси поворотного стола установлены датчики углов стабилизации DU_x , DU_y , DU_z .

Для обеспечения постоянства температуры чувствительных элементов, источника опорного тока и преобразователя код-ток ПКТ при колебаниях окружающей температуры систем термостабилизации (СТС) выполнены в виде:

- одноконтурной СТС преобразователя код-ток ДНГ,
- одноконтурной СТС платформы с ДНГ, ВОГ и акселерометрами,
- двухконтурной СТС ГРЧЭ и источника опорного напряжения.

Управление исполнительными элементами СТС производится центральным процессорным устройством (микроРС) по сигналам термодатчиков, которые микро РС принимает через аналогово-цифровые преобразователи.

Датчиками температуры являются терморезисторы, включенные в мостовую схему. Исполнительными элементами являются нагревательные обмотки, управляемые микроРС.

В гравиметрическом чувствительном элементе поддерживается температура 60 °С. Термомост настроен на эту температуру – на его выходе нулевой сигнал. Отрицательный сигнал с термомоста индицирует о пониженной температуре, при этом включается нагреватель. Положительный – о повышенной температуре, при этом нагреватель отключается. Таким же образом функционируют СТС платформы и ПКТ. Особенностью СТС внешнего контура ГРЧЭ является то, что при отключении нагревателя включаются вентиляторы.

Устройство для калибровки гравиметра разработано на базе акселерометров АК-10, выполняет функцию высокоточного индикатора фиксированного угла наклона гироплатформы вокруг ее горизонтальных осей, что позволяет обеспечить эталонирование ГРЧЭ методом наклона без его демонтажа.

В процессе калибровки, кроме масштабного коэффициента ГРЧЭ, определяются масштабные коэффициенты АК и углы неперпендикулярности оси чувствительности ГРЧЭ плоскости платформы.

Гиросtabilизированная платформа помещена в трехосный карданов подвес с внешней азимутальной осью, расположенной вне корпуса прибора. Такая схема подвеса, по сравнению с двухосной, позволяет практически устранить погрешность за нестабильность масштабного коэффициента ВОГ и неперпендикулярность кинетического момента ДНГ плоскости платформы, а по сравнению с традиционной трехосной, устранить так называемую «румбовую» погрешность, вызванную переменной ориентацией платформы относительно источников магнитных и тепловых полей, расположенных на кольцах подвеса и на корпусе прибора. На оси карданова подвеса установлены датчики углов (ДУ) типа ПО-20, предназначенные для выработки углов крена, тангажа и курса объекта, и двигатели следящих систем (СС) стабилизации.

Все процессы, протекающие в гравиметрическом комплексе, включая процессы запуска и калибровки ГРЧЭ, контроля состояния аппаратуры, полностью автоматизированы.

2.6. Прибор управления и индикации

Прибор управления и индикации представляет собой промышленную ЭВМ АСМЕ Т08–12–Р С14 фирмы «АСМЕ portable Machines» и решает следующие основные задачи:

- прием информации из центрального прибора;
- индикация на экране необходимой информации;
- выдача в центральный прибор команд управления;
- обеспечение диалогового режима с оператором;
- накопление данных гравиметрической съемки.

Прибор управления и индикации по умолчанию обменивается информацией с центральным прибором через последовательный порт СОМ 1.

Схема соединений гравиметра представлена на рис. 10.

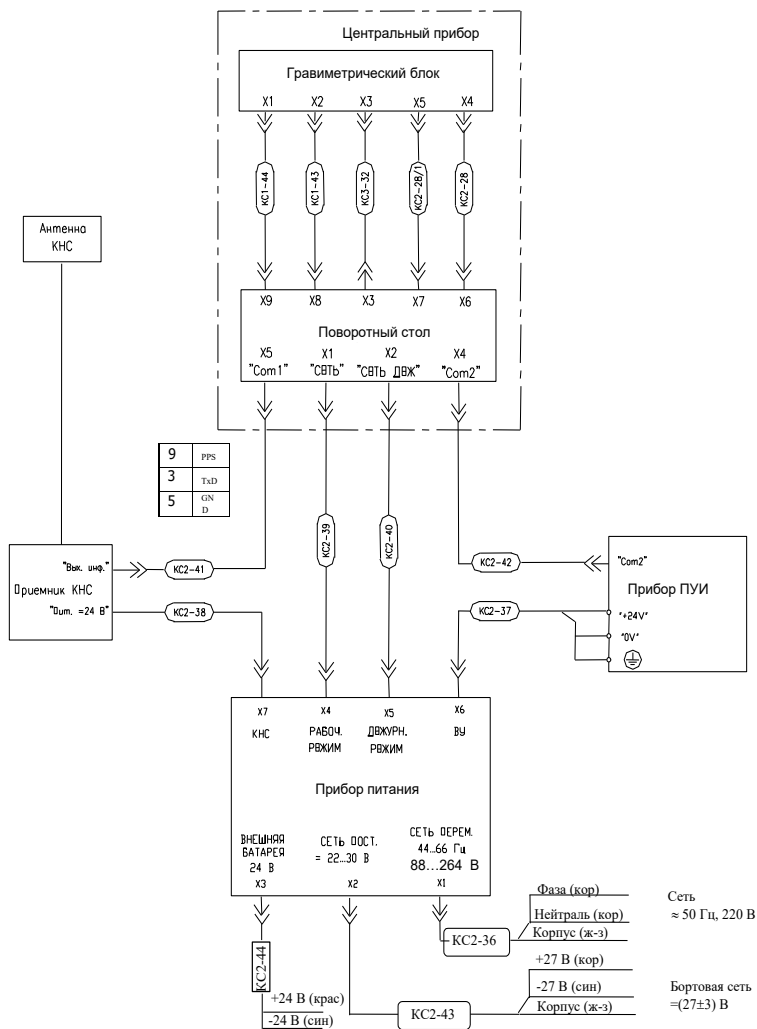


Рис. 10. Схема соединений гравиметра

2.7. Основные задачи, реализованные в центральном приборе

В центральном приборе по программе, загружаемой на стадии изготовления, реализовано несколько основных задач.

– Задача **Автоматический запуск** предназначена для получения временной диаграммы запуска центрального прибора после подачи питания. Задача обеспечивает автоматический режим запуска при работе центрального прибора в процессе эксплуатации и ручной режим запуска при работе центрального прибора в процессе регламентных работ.

– Задача **Формирование входной информации** обеспечивает формирование информации, снимаемой с датчиков угла ДНГ, ГРЧЭ, термодатчиков, АК, ВОГ, датчика положения ГРЧЭ. В показания всех ЧЭ вводятся поправки за неравенство их масштабных коэффициентов номинальному значению, а также за смещение их нуль-пунктов. В показание ГРЧЭ вводятся поправки за эффект Гариссона (по сигналам с датчиков углов ДНГ), за неперпендикулярность оси чувствительности ГРЧЭ плоскости платформы (по показаниям АК).

– Задача **Управление ГВ** обеспечивает пропорциональную коррекцию ГВ в режиме запуска и интегральную коррекцию ГВ в рабочем режиме. Входом задачи являются сигналы с АК и ВОГ и данные о широте места и скорости от приемника GPS

– Задача **Гирошироткомпас** предназначена для определения курса и широты платформы центрального прибора. Входом задачи являются выработанные в задаче «Управление ГВ» значения абсолютных угловых скоростей платформы.

– Задача **Выработка углов ориентации объекта** вырабатывает курс и углы крена и тангажа самолета по данным, полученным в задаче «Гирошироткомпас», и показаниям датчиков углов стабилизации. Углы крена и тангажа используются для пересчета координат антенны GPS к месту расположения ГРЧЭ.

– Задача **Выработка гравиметрической информации**, основой которой является эффективный субоптимальный сглаживающий гравиметрический фильтр, вырабатывающий в реальном времени практически оптимальную оценку аномалии силы тяжести с постоянным запаздыванием T_{vk} (T_{vc}) относительно текущего времени. Входом гравиметрического фильтра является показание ГРЧЭ, сформированное и откорректированное в задаче «Формирование входной информации». В этих показаниях учитывается поправка за эффект Этвеша, сформированная по данным GPS, и нормальное значение силы тяжести, сформированное по формуле Гельмерта минус $1,4 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$. В авиационном варианте гравиметра выработанное значение аномалии силы тяжести используется для контроля ГРЧЭ на неподвижном основании (в режиме движения « $V = 0$ »).

– Задача **Управление СС** обеспечивает формирование сигналов, подаваемых на датчики момента СС и двигатель азимутальной

стабилизации. Входом задачи являются сигналы, снимаемые с АК или датчиков угла ДНГ, и выработанные значения курса (в части управления азимутальной СС).

– Задача **Терморегулирование** обеспечивает формирование сигналов на включение исполнительных элементов СТС (нагреватели, вентиляторы). Входом задачи являются сигналы, снимаемые с термодатчиков.

– Задача **Прием команд и выдача данных** обеспечивает взаимодействие вычислительного устройства центрального прибора с вычислительным устройством прибора управления и индикации.

– Задача **Автокалибровка** обеспечивает автоматическое определение углов Betz, Gamz-отклонения оси чувствительности ГРЧЭ от нормали к плоскости платформы методом последовательных наклонов платформы ГВ вокруг осей X и Y на известные фиксированные углы, определяемые приборами УКГр. Задача устанавливает также дрейф dr ВОГ и составляющие дрейфа гироскопа dp , dq методом последовательного разворота платформы на румбы 0 и 270°. После завершения решения задачи полученные значения параметров выдаются в прибор управления и индикации для индикации и вводятся в копию базы данных центрального прибора. Решение задачи необходимо производить при запуске гравиметра из холодного состояния. Задача должна включаться только в режиме функционирования «Рабочий» при включенной азимутальной следящей системе и не ранее чем через 2 часа после установки $T_{gg} = 600$ с. Продолжительность решения задачи «Автокалибровка» 5,5 ч.

– Задача **Контроль технического состояния** обеспечивает выработку информации о техническом состоянии гравиметра. Входом задачи являются сигналы ГРЧЭ, АК и термодатчиков.

Вводятся понятия исправности / неисправности гравиметра (ГР исправен : да / нет) и достоверности / недостоверности его выходных данных (G достоверно: да / нет). Признак неисправности гравиметра – отсутствие готовности гравиметра, свидетельствующее о его неисправности, формируется как логическая сумма следующих признаков:

- наклон платформы вокруг оси X $> 10^\circ$ (наклон по X)*,
- наклон платформы вокруг оси Y $> 10^\circ$ (наклон по Y)*,
- состояние ГРЧЭ не в норме (сост. ГР),
- шум ГРЧЭ не в норме (шум ГР),
- дрейф гироскопа не в норме (дрейф ГВ),
- дрейф ВОГ не в норме (дрейф ДУС),
- следящая система по X не в норме (СС по X)*,
- следящая система по Y не в норме (СС по Y)*,
- следящая система по Z не в норме (СС по Z),

- нет приема GPS (прием GPS),
- нет синхроимпульса GPS (синхр. GPS),
- отказ платы приема температур (прием Тмп)*,
- отказ платы приема датчиков углов карданова подвеса (прием ДУ),
- ошибки в плате приема ускорений (прием Wxyz),
- температура внутреннего контура ГРЧЭ < (>) нормы (темп. ГРЧЭ),
- перегрев ГР (перегр. ГР)*,
- температура ПКТ < (>) нормы (термо ПКТ),
- температура внешнего контура ГРЧЭ < (>) нормы (темп. ГР),
- температура ГСП < (>) нормы (темп. ГСП),
- наружная температура ГР < -10°C (> 50°C) (темп. наруж.).

Перечисленные признаки появляются автоматически при возникновении соответствующей неисправности и могут быть сняты только подачей из прибора управления и индикации команды «Снять неисправность». При возникновении хотя бы одного из признаков, отмеченных *, происходит аварийное отключение прибора, при этом выключаются все его системы, кроме ЦПУ.

Признак недостоверности (повышенной погрешности) выходных данных гравиметра формируется как логическая сумма следующих признаков (в скобках указаны обозначения признаков в окне кадра прибора управления и индикации «Состояние гравиметра»):

- нахождения гравиметра не в рабочем режиме (рабочий режим),
- переходного процесса ГВ (переход. реж. ГВ),
- повышенной турбулентности (превышение Z...),
- отсутствия демпфирования ГВ более 10 мин. (нет Дмф >Т),
- постоянной времени ГВ < 600 с. ($T_{gg} < 600$ с.),
- отключения азимутальной следящей системы (след. сист. по Z).

Перечисленные признаки возникают автоматически при возникновении соответствующей причины и автоматически снимаются при ее пропадании. Исключение составляет признак повышенной турбулентности, который при пропадании соответствующей причины может быть снят только подачей из прибора управления и индикации команды «Снять неисправность». Признак повышенной турбулентности свидетельствует о том, что в последний час полета в 30 % пятиминутных интервалов наблюдалось превышение вертикального ускорения самолетом порога 0,5 g. При его возникновении мигает красный светодиод индикатора пилота. В случае аварийного отключения центрального прибора или отсутствия связи между центральным прибором и прибором управления и индикации красный светодиод горит

непрерывно. Зеленый светодиод индицирует наличие электропитания гравиметра.

– Задача **Формирование массива выходных данных** формирует строки файлов выходной информации по данным задач «Формирование гравиметрической информации», «Контроль технического состояния» и данным GPS.

– Задача **Тест на точность** предназначена для проверки качества работы гравиметра на неподвижном основании. Задача имитирует начальные и конечные опорные измерения длительностью 1 ч. и полет длительностью 10 ч. По завершению задачи на экране прибора управления и индикации индицируются значения СКПур и СКПурh, характеризующие средние квадратические значения измерений ускорения силы тяжести узкодиапазонным и широкодиапазонным каналами соответственно, а также значения дрейфов широкодиапазонного и узкодиапазонного каналов TrWz и TrWzh.

2.8. Файлы регистрируемых данных

Измеряемые данные и параметры состояния гравиметра записываются на жесткий диск прибора управления и индикации (ПУИ) в виде файлов:

- G – файл данных ГРЧЭ и акселерометров;
- S – файл данных гировертикали;
- H – файл титульный, фиксирует константы и параметры гравиметра;
- R – файл данных о функционировании аппаратуры и систем управления;
- T – файл данных о работе систем термостатирования.

G- и S-файлы записываются во время полетных измерений, предполетных и постполетных опорных измерений с частотой 8.75 Гц и 3 Гц соответственно. Формат обоих файлов – двоичный. Титульный файл, H- файл, записывается каждый раз в момент начала записи G-, S-файлов. Его формат текстовый (ASCII формат). Все три файла располагаются на диске, назначенном оператором при запуске ПУИ. За один час записи они занимают на диске примерно 8 МБ, их содержание раскрыто ниже. G-, S-, H-файлы служат исходными данными для постобработки проведенных измерений аномалии силы тяжести.

Запись технологических **R- и T-файлов** производится с начала запуска программы ПУИ и до ее закрытия и приостанавливается во время записи G,S файлов. Формат R-,T-файлов текстовый, дискретность записи – 60 с. Оба файла располагаются в той же директории, из которой запускается программа ПУИ. R-,T-файлы применяются разработчиком для диагностики неисправностей гравиметра.

Имена G-, S-, H-, R-, T-файлов начинаются с букв **g, s, h, r, t** соответственно. и далее следует местное время начала записи файла в формате **дд чч мм**. Например, “g120637.air” означает: G-файл, начало его записи 12 числа в 06 ч. 37 мин. G- и S-файлы имеют расширение “.air”, титульный файл – “.tit”, R- и T-файлы – “.dat”. В заголовки G- и S-файлов записывается дата, время, номер полета, номер измерений и служебная информация.

Для визуализации G-, S-файлов используется программа **aconvert.exe**, которая преобразует эти файлы в текстовый формат и переписывает их в файлы с теми же названиями, но с расширением “*.dat”. Программу **aconvert.exe** нужно поместить в ту же директорию, где находятся G-, S-файлы.

Содержание G-файла

Каждая запись G-файла состоит из заголовка, 16 параметров и контрольной суммы. Последовательность параметров, наименования и размерности приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры G-файла

№	Параметр	Размерность
1	Top	с
2	Tgps	ччммсс.dd
3	Tsynh	с
4	Owzf	м/с ²
5	Wzf	м/с ²
6	Owzc	м/с ²
7	Wzc	м/с ²
8	Owxa	м/с ²
9	Wxa	м/с ²
10	Owya	м/с ²
11	Wya	м/с ²
12	text	-
13	Wx · DUgby	м/с ²
14	Wy · DUgbx	м/с ²
15	σDP	м
16	Nh	-

Здесь Top – время с начала запуска гравиметра;

Tgps – гринвичское время (чч,мм,сс.dd), получаемое из GPS;

Wz, Wzh, Wxa, Wya – средние на интервале времени $[t_i - \delta\tau, t_i]$, где $\delta\tau = 16/300$, или 0.0533... секунды, значения составляющих кажущегося ускорения узкодиапазонного и широкодиапазонного каналов и горизонтальных ускорений по осям свободной в азимуте системы координат;

T_{synh} – интервал времени от начала текущей гринвичской секунды (ее начало задает получаемый из GPS синхроимпульс) до конца указанного выше интервала;

oWz , $oWzh$, $oWxa$, $oWya$ – средние на предыдущем интервале времени δt значения составляющих кажущегося ускорения по осям свободной в азимуте системы координат;

text – приращения нормированной внешней контрольной температуры (датчик располагается под кожухом центрального прибора);

Nh – количество тактов (периода $1/300$ с.) превышений Wz диапазона 0.5 g ($N1$) и Wzh диапазона 1 g ($N2$) за предыдущий интервал времени $0.106...c$. Величина Nh характеризует турбулентность, $Nh = N1 + N2 \times 1000$.

Отсчеты Wz , Wzh , oWz , $oWzh$ сглажены аperiodическим фильтром первого порядка с постоянной времени 2 с. Произведения $Wx \cdot DU_{gby}$, $Wy \cdot DU_{gbx}$ – средние на интервале $[t_i - 2\delta t, t_i]$. σDP – среднее квадратическое значение показаний датчика положения пробной массы ГРЧЭ.

Содержание S-файла

Каждая запись S-файла состоит из заголовка, 16 параметров и контрольной суммы. Последовательность параметров, наименования и размерности приведены в табл. 3, а параметры слова состояние SY – в табл. 4.

Таблица 3

Параметры S-файла		
№	Параметр	Размерность
1	Top	с
2	Tgps	ччммсс.дд
3	Tsynh	C
4	Vxa	1/с
5	Vya	1/с
6	qN	1/с
7	Aghk	радиан
8	C	радиан
9	Dvxa	1/с
10	Dvya	1/с
11	tdp	$1/c^2$
12	tdq	$1/c^2$
13	DUx	радиан
14	DUy	радиан
15	DUz	радиан

Здесь V_{xa} , V_{ya} – текущие значения нормированных проекций относительной угловой скорости платформы на оси свободной в азимуте системы координат;

qN – значение северной составляющей абсолютной угловой скорости;

$Aghk$ – значение курса свободной в азимуте системы координат, отсчитывается по часовой стрелке;

C – значение азимутального угла между приборной и свободной в азимуте системы координат, отсчитывается по часовой стрелке;

dv_{xa} , dv_{ya} – значения нормированных сигналов демпфирования;

tdp , tdq – значения соответствующих параметров алгоритма;

DU_x , DU_y , Duz – значения угла поворота внутренней рамки карданова подвеса, внешней рамки и корпуса прибора относительно основания. При совпадении оси Y платформы с продольной осью самолета положительные отсчеты DU_x , DU_y соответствуют подъему носа и левого крыла самолета соответственно, а значение Duz уменьшается при циркуляции самолета по часовой стрелке;

SY – статус аппаратной и информационной готовности гравиметра в hex-формате.

Таблица 4

Параметры слова «состояние» SY

Бит	Значение, если бит = 1
0	Наклон вокруг оси $X > 10^0$
1	Наклон вокруг оси $Y > 10^0$
2	ГРЧЭ не в норме
3	Превышение шума ГРЧЭ
4	Дрейф гироскопа не в норме
5	Следящая система X не в норме
6	Следящая система Y не в норме
7	Следящая система Z не в норме
8	Дрейф ДУС не в норме
9	Неисправность платы приема датчиков углов
10	Недостоверность информации GPS
11	Нет синхроимпульса GPS
12	Нет приема данных GPS
13	Неисправность платы приема сигналов акселерометров
14	Неготовность аппаратуры
15	Аварийное состояние

Содержание Н-файла

Титульный файл содержит информацию о полете и заданных на этот полет константах.

Например:

$F = 55^{\circ}48'35.5''$ – географическая широта точки старта,

$L = 35^{\circ}42'14.6''$ – географическая долгота точки старта,

$G = 9.812345 \text{ м/с}^2$ – нормальное ускорение силы тяжести в точке старта,

$D = 13:04:2001$ – дата полета.

Остальные величины приведены в размерностях (радиан, м, с. и для углов $[^{\circ}, ', '']$):

Tgg – постоянная времени гиравертикали,

Tf – постоянная времени апериодического фильтра,

Tvk – постоянная времени гравиметрического фильтра,

Xant X – координата (поперечная ось самолета) антенны GPS (м),

Yant Y – координата (продольная ось самолета) антенны GPS (м),

Zant Z – координата (вертикальная ось самолета) антенны GPS (м),

Kwx – поправка к масштабному коэффициенту акселерометра X,

Kwy – поправка к масштабному коэффициенту акселерометра Y,

Kwzm – поправка к масштабному коэффициенту ГРЧЭ, малый диапазон,

Kwzb – поправка к масштабному коэффициенту ГРЧЭ, большой диапазон,

Kp – поправка к масштабному коэффициенту гироскопа по оси X,

Kq – поправка к масштабному коэффициенту гироскопа по оси Y,

Kr – поправка к масштабному коэффициенту ДУС,

dp – дрейф гироскопа по оси X,

dq – дрейф гироскопа по оси Y,

dr – дрейф ДУС по оси Z,

dWx – смещение нуля акселерометра X,

dWy – смещение нуля акселерометра Y,

Awx – невыставка акселерометра X,

Awy – невыставка акселерометра Y,

Ay – неортогональность осей гироскопа,

Betz – невыставка ГРЧЭ вокруг оси X,

Gamz – невыставка ГРЧЭ вокруг оси Y,

dDUx – нулевой сигнал датчика угла X,

dDUy – нулевой сигнал датчика угла Y,

dDUz – нулевой сигнал датчика угла Z,

K_{wxq} – масштабный коэффициент квадратичной поправки ГРЧЭ по оси X,

K_{wyq} – масштабный коэффициент квадратичной поправки ГРЧЭ по оси Y,

$KDPq$ – масштабный коэффициент квадратичной поправки ГРЧЭ по показаниям датчика положения.

2.9. Основные требования к установке гравиметра Силомер (GT-2A) на самолете

Гравиметр размещается в кабине самолета. Корпусы центрального прибора, а также приборов питания, управления и индикации электрически соединяются с корпусом самолета.

Самолет должен быть оборудован аппаратурой GPS типа «Z–Xtreme» или «Surveyor» фирмы Ashtech или аналогичной. Приемник GPS устанавливается на расстоянии не более 2 м от центрального прибора и прибора питания. Антенна приемника GPS должна быть установлена на открытом участке фюзеляжа самолета и на расстоянии (в горизонтальном направлении) не более 1 м от центра центрального прибора.

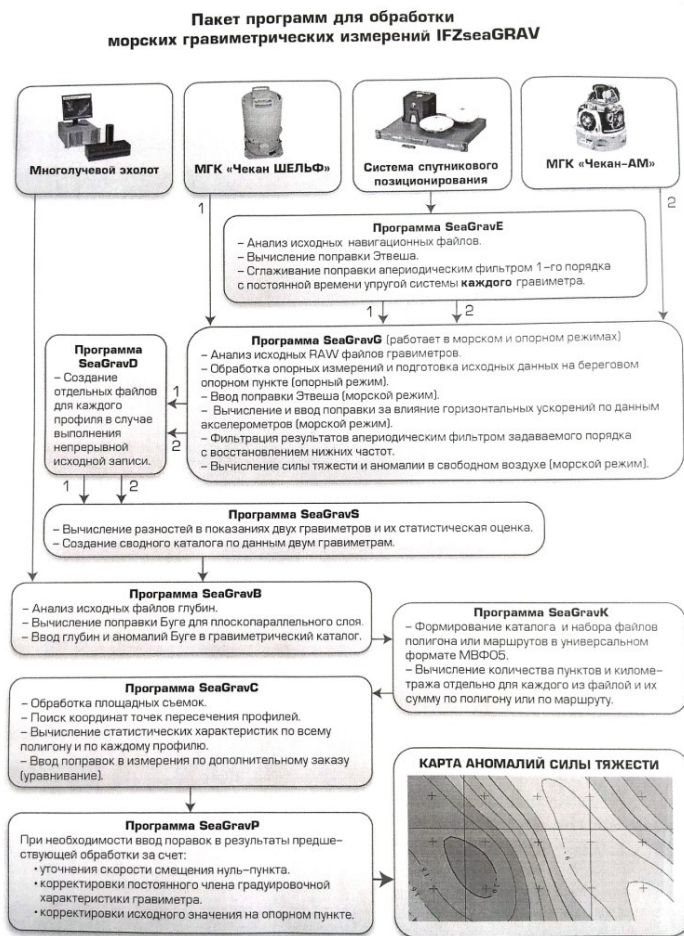
Базовый двухчастотный фазовый приемник GPS должен быть установлен таким образом, чтобы максимальное удаление от любой точки полигона было минимально возможным, но не более 50 км. Антенна должна быть установлена на открытом участке местности вдали от высоких строений или природных образований и также вдали от радиопередающих устройств – ретрансляторов, радиостанций и локаторов, затрудняющих прием радиосигнала от спутников.

3. ПРОГРАММЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МОРСКИХ И АВИАЦИОННЫХ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

В процессе выполнения морских и авиационных гравиметрических измерений регистрируется большой объем разнотипной информации, в результате обработки которой получается измеряемая величина. Наличие в процессе измерений различных по функциональному назначению приборов требует создания программ, объединенных в единый пакет. Кроме гравиметрических привлекаются данные навигационных систем, эхолотов, высотомеров и других датчиков. Все они существенно различаются по формату представления и способу обработки [2].

3.1. Программы SEAGRAV для обработки морских измерений гравиметрическими комплексами Чекан АМ и Шельф («Попугай»)

Общая блок-схема программы SEAGRAV приведена на рис. 12.



При обработке все исходные файлы выбираются из директории автоматически всеми программами пакета IFZseaGRAV

Рис. 12. Общая блок-схема программы SEAGRAV

В пакет входят зависимые друг от друга по входу-выходу программы, обеспечивающие обработку всей поступающей информации

для вычисления ускорения свободного падения и его аномалий по первичным измерениям всех источников информации на борту судна.

В процессе обработки цифровые отсчеты гравиметрического датчика (пиксели) переводятся в показания (мГал). Для получения абсолютного значения силы тяжести и аномалий необходимо учесть показания и абсолютное значение на опорном пункте, смещение нуля пункта, поправку Этвеша. Для получения аномалий необходимо вычесть нормальное поле и учесть поправку Буге.

На рис. 13 представлена схема вычислений и исполняемых программ, обеспечивающих получение конечного результата. Используемые программы выбирают необходимые для работы файлы в автоматическом режиме, минимизируя участие оператора.

Выходные файлы отечественных гравиметрических комплексов Чекан АМ и Шельф («Попугай») в своем имени содержат символы содержания данных (сила тяжести G, навигация N, отсчеты R), дату и номер записи (число, месяц, номер записи ddmm_nn). Они также различаются расширением (dat, raw, prt). Программы комплексов в реальном времени вычисляют приращение силы тяжести от опорного пункта, записывают его в файл с привязкой ко времени и выводят на экран график для контроля процесса измерений.

Записанный файл Gddmm_nn.dat, содержащий измеренные приращения силы тяжести от опорного пункта с интервалом 1 с., может использоваться для вычисления абсолютного значения силы тяжести. Поскольку режим фильтрации, используемый в реальном времени, задается априорно, то он может быть не наилучшим для фактических условий измерений.

В структуре используемого в реальном времени фильтра имеются колебательные звенья, которые при определённых условиях вносят недопустимые по величине помехи с периодом, равным собственному для этих звеньев. Если одновременно записываются первичные отсчеты упругой системы в файл Gddmm_nn.raw, то они могут обрабатываться с использованием подобранного для этих условий фильтра по порядку и частоте среза.

Из этих соображений в пакете программ предусмотрено использование первичных отсчетов двойной упругой системы, что позволяет делать неоднократную тестовую обработку с различными параметрами фильтра для выбора наилучших и использовать их для дальнейшей обработки.

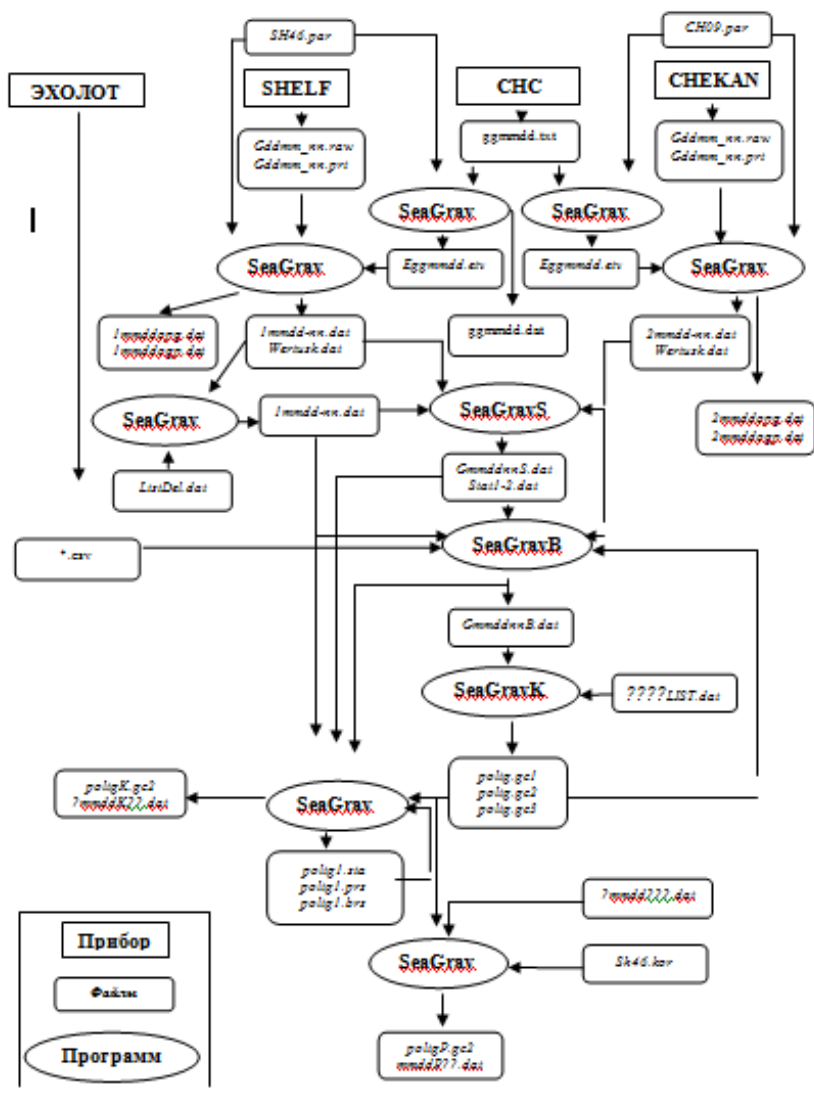


Рис. 13. Пакет программ IFZ_SEAGRAV для обработки измерений морскими гравиметрическими комплексами Чекан АМ и Шельф («Попугай»)

Процесс обработки выполняется в несколько шагов при необходимости с промежуточным контролем и корректировкой получаемой

информации. После каждого этапа обработки выходным файлам присваиваются новые имена, построенные с сохранением части исходного имени. Таким образом, по имени промежуточного файла можно определить, на каком этапе обработки он получен.

В процессе счета требуется введение ряда констант, которые записываются в отдельный файл параметров `name.par`. В его имени записывается тип комплекса (`sh` или `ch`), его заводской номер (46), порт опорного пункта и номер звена (`b05`) – всего не более 8 знаков.

Этот файл является единым для всего пакета программ, поэтому содержит все необходимые параметры, используемые в любой из них. Каждая из программ выбирает из файла те параметры, которые необходимы для её работы. Эти параметры вносятся в файл оператором в ручном режиме строго по месту, так как при пользовании программы их находят по номеру строки в файле.

Полное содержание файла параметров представлено на рис. 14.

2017	{ <code>god</code> – год }
2	{ <code>tpg</code> – типкомплекса: 1 – ЧЕКАН-АМ; 2 – ШЕЛЬФ }
3.46451	{ <code>b</code> – линейный коэфф.градуировочной характеристики, $mGal/e.o.$ }
0.0000206	{ <code>b1</code> – квадратичный коэфф. град. характеристики, $mGal/(e.o.)^2$ }
0.922	{ <code>C</code> – скорость смещения нальпункта, $mGal/сут$ }
11.41	{ <code>Тисх</code> –момент измерений на ОГП, <i>сут от начала года</i> }
–2809.84	{ <code>GR0</code> – начальные показания на ОГП, $mGal$ }
0.0	{ <code>ots0</code> – отсчет при горизонтальном положении маятников, <i>о.е.</i> }
122.60	{ <code>Tg</code> – постоянная времени упругой системы, <i>сек</i> }
5	{ <code>Pf</code> – порядок аperiодического фильтра, <i>число звеньев до 20</i> }
300	{ <code>Tf</code> – сумма всех постоянных времени, <i>секунд</i> , $Tf > Tg$ }
1	{ <code>Treg</code> – период регистрации в выходной файл, <i>секунд</i> 1–3600 }
978271.52	{ <code>Gp</code> – значение силы тяжести на опорном пункте, $mGal$ }
2.67	{ <code>ro</code> – плотность промежуточного слоя:
1 соотв. <code>ro</code> = 2.30; 2 соотв. <code>ro</code> = 2.67; 3 соотв. <code>ro</code> = иное }	
1	{ <code>pa</code> – формула аномалии в свободном воздухе:
1 – формула Гельмерта-14; 2 – междунар. формула 1971 г. }	
SAGAR	{ <code>zagar</code> – часть заголовка строки в выходном файле для профиля }
G	{ <code>ns</code> – номер прибора на борту (G – если он единственный, 1, 2... }
1	{ <code>ti</code> – вид измерений: 1 – морские; 2 – опорные }

Рис. 14. Содержание файла параметров `sh46b05.par`

Для корректировки результатов обработки, представляемых в формате МВФ05, используется отдельная программа. Параметры для корректировки записываются в аналогичном по имени файле парамет-

ров со сменой расширения на «.kog» (рис. 15). Кроме представленных ниже параметров, постоянная составляющая (например, скачок) может быть учтена изменением значения в исходном опорном пункте. Обработанные файлы записываются под именем входных с заменой символа на шестом месте, где ставится символ «Р».

1.00451	{ b_k/b – отношение нового и старого линейных коэффициентов градуировочной характеристики }
0.022	{ C_k-C – разность скоростей смещения нуля-пункта новой и старой ($мГал/сут$) }
11.41	{ Тисх – время начала измерений в звене (<i>суток от начала года</i>) }
978271.52	{ Gr – значение силы тяжести на опорном пункте, $мГал$ }
1.195665	{ ρ_k/ρ_0 – отношение новой и старой плотности промежуточного слоя }

Рис. 15. Содержание файла корректирующих параметров sh46b05.kog

Пакет включает восемь связанных по входу-выходу программ, позволяющих контролировать и корректировать результаты в процессе обработки. Все программы имеют имя SEAGRAV с добавлением функциональных отличительных символов (B,C,D,G,K,E, P,S), описанных ниже. Технологические связи программ между собой и их функции представлены на схеме (рис. 13). Сюда входят также программы для обработки данных спутниковых навигационных систем (СНС), выходные форматы которых согласованы с другими программами пакета обработки.

Программа SEAGRAVE предназначена для вычисления поправки Этвеша по координатам от СНС. Последние записываются в ряд последовательных файлов от выхода до захода судна в порт с перерывами только на перезапуски записей. По технологии обработки программа выполняется первой, так как её выходные данные используются в процессе работы основной программы обработки гравиметрических данных. В папке для работы программы должны быть все файлы координат за время выполнения измерений и файл параметров name.par комплекса. Входные файлы ggmmdd.txt содержат время и координаты с частотой 1 Гц (рис. 16). Если на борту имеется несколько гравиметрических комплексов, то программа выполняется отдельно для каждого из них, так как они имеют различные постоянные времени упругой системы.

Входной файл (фрагмент)						
\$GPRMC,061556.00,A,1113.00375,N,07436.60440,E,7.1,279.4,190616,,,a*7B						
\$GPRMC,061557.00,A,1113.00391,N,07436.60244,E,7.0,279.7,190616,,,a*70						
\$GPRMC,061558.00,A,1113.00416,N,07436.60050,E,6.9,279.9,190616,,,a*76						
Выходной файл (фрагмент)						
<i>дата</i>	<i>время</i>	<i>широта</i>	<i>долгота</i>	<i>погр. ЭТсекТсут</i>		
20160219	061556.	+11.21672917	+074.61007333	0.133	22556	16139.261065
20160219	061557.	+11.21673183	+074.61004066	0.135	22557	16139.261076
20160219	061558.	+11.21673600	+074.61000833	0.135	22558	16139.261088

Рис. 16. Формат входного и выходного файлов программы SEAGRAVE

Поправка Этвеша определяется по формуле

$$E = 7.5 \cos^2 \varphi \Delta \lambda / \Delta t, \quad (12)$$

где E – текущая величина поправки, мГал,

φ – широта места,

$\Delta \lambda / \Delta t$ – скорость изменения долготы, угл.мин/час.

Вторая составляющая поправки вычисляется программой SEAGRAVG для каждого профиля отдельно. Далее поправка сглаживается апериодическим фильтром первого порядка с постоянной времени упругой системы

$$E = E(\tau p + 1), \quad (13)$$

где E – сглаженное значение поправки,

τ – постоянная времени упругой системы,

p – оператор дифференцирования.

Постоянная времени τ читается из файла параметров для используемого гравиметрического датчика.

Программа автоматически выбирает из папки все файлы ggmmdd.txt и последовательно обрабатывает их в хронологическом порядке. В результате работы сеанса запуска выдаётся необходимый при дальнейшей обработке файл Eggmmdd.etv с именем первого обрабатываемого файла и с добавлением символа «Е». С частотой 1 Гц записаны время, координаты в градусах с долями, поправка, секунды от начала суток, год и день года с долями в одной группе. Пропуски из-за сбоев и перезапусков первичных файлов интерполируются. Таким образом, в дальнейшем используется единый для всего интервала работ файл поправок с частотой 1 Гц без перерывов. Для анализа выдаются

аналогичные файлы отдельно на каждый интервал записи файла координат с именем входного файла и расширением .dat. На рис. 16 даны образцы входного и выходного файлов. Структура выходного файла частично формирует структуру строки формата MBФ05.

Программа SEAGRAVG предназначена для обработки штатных первичных файлов комплексов Шельф («Попугай») и Чекан АМ Gddmm_nn.raw (и-или Rddmm_nn.raw) и работает в двух режимах: морские или опорные измерения. Режим вычислений, как и тип прибора, читается из файла параметров.

В обоих режимах обработки измерений вычисление показаний гравиметрического датчика выполняется по формуле

$$G_r = b (m_1 \pm m_2 - m_0) + b_1 (m_1 \pm m_2 - m_0)^2, \quad (14)$$

где G_r – показания гравиметрического датчика, мГал;

b, b_1 – линейный и квадратичный коэффициенты градуировочной характеристики;

m_1, m_2, m_0 – отсчеты каждой из кварцевых систем и их начальная сумма, ед. отс.

Знак \pm используется для комплексов Чекан или Шельф («Попугай») соответственно.

Вычисление поправки от влияния горизонтальных ускорений выполняется в режиме обработки морских измерений:

$$\delta G = \alpha \ddot{a}_x + \beta \ddot{a}_y, \quad (15)$$

где α и β – углы отклонения измерительной оси от вертикали;

\ddot{a}_x и \ddot{a}_y – соответствующие горизонтальные ускорения по осям стабилизации.

Углы α и β вычисляются по горизонтальным ускорениям и передаточной функции гиросвертикали:

$$\begin{aligned} \alpha &= \ddot{a}_x (T_1 p + 1) / (T_2 p + 1) (T^2 p^2 + 2 \varepsilon T p + 1), \\ \beta &= \ddot{a}_y (T_1 p + 1) / (T_2 p + 1) (T^2 p^2 + 2 \varepsilon T p + 1), \end{aligned} \quad (16)$$

где T, T_1 и T_2 – постоянные времени гиросtabilизатора;

\ddot{a}_x, \ddot{a}_y – горизонтальные ускорения по осям стабилизации;

ε – демпфирование гиросплатформы.

Вычисленная поправка δG также фильтруется аperiодическим фильтром с постоянной времени упругой системы и прибавляется к показаниям G_r при обработке морских измерений. В этом же режиме

обработки к показаниям датчика прибавляется поправка Этвеша, читаемая из файла Egmmdd.etv на момент измерения. Показания гравиметра вместе с поправками фильтруются апериодическим фильтром задаваемого порядка с восстановлением нижних частот. Передаточная функция $W(p)$ фильтра имеет следующий вид:

$$W(p) = (tp + 1)/(T_{\phi}p + 1)^n, \quad (17)$$

где T_{ϕ} – постоянная времени фильтра, n – его порядок.

Числитель передаточной функции восстанавливает нижние частоты полезного сигнала, задавленного упругой системой гравиметра. Для исключения фазовых искажений (сдвига по времени) сигнал пропускается в обратном по времени направлении через этот же фильтр с исключением форсирующего звена в числителе.

На следующем этапе обработки по программе вычисляются и вводятся поправки за смещение нуль-пункта, вторая составляющая поправки Этвеша, приращение от исходного пункта, полное значение силы тяжести и аномалия в свободном воздухе (AF) по формуле

$$AF = G - \gamma, \quad (18)$$

$$\text{где} \quad G = G_{\text{оп}} + g_r - g_{\text{роп}} - C(T - T_{\text{оп}}) + 0.0041V^2; \quad (19)$$

$$\gamma = 978030 (1 + 0.005302 \sin^2\varphi - 0.000007 \sin^2 2\varphi) - 14, \quad (20)$$

$$\text{или} \quad \gamma = 978031.8 (1 + 0.0053024 \sin^2\varphi - 0.0000059 \sin^2 2\varphi); \quad (21)$$

G и $G_{\text{оп}}$ – сила тяжести на морском и опорном пунктах, мГал;

g_r и $g_{\text{роп}}$ – показания гравиметра на морском и опорном пунктах, мГал;

γ – нормальное поле силы тяжести, мГал;

T и $T_{\text{оп}}$ – время измерений на морском и опорном пунктах, сут.;

C – скорость смещения нульпункта, мГал/сут.;

V – скорость судна, узел;

φ – широта пункта.

После обработки морских измерений выдается файл результатов с задаваемой дискретностью (от 1 с.) в принятом межведомственном формате МВФ05 с именем Gmmdd-nn.dat.

Если обрабатывается несколько приборов, то первый символ G меняется на цифры по номерам приборов в обработке (1, 2...). Далее в имени выходного файла следует номер месяца mm и дня dd со сменой

их мест в отличие от исходных, что позволяет ранжировать файлы по времени.

Для отличия от похожего имени файла, получаемого комплексами в реальном времени, в имени выходного файла вместо символа подчеркивания «_» применяется символ «-» на том же месте.

В рабочей папке для работы программы должны быть все подлежащие обработке файлы Gddmm_nn.raw (или Rddmm_nn.raw) и файлы протоколов Gddmm_nn.prt. В папке должен быть также файл параметров папе.par используемого гравиметра.

Если обрабатываются морские измерения, то в папке должен быть также файл Eggmdd.etv, содержащий координаты и поправку Этвеша для всего пакета обрабатываемых файлов. В режиме обработки морских измерений программа вычисляет среднее квадратическое значение вертикальных ускорений (Гал) по каждому профилю и выдает результат в одном отдельном файле wertusk.dat для всего пакета профилей.

В режиме обработки опорных измерений вычисляются показания гравиметрического датчика по формуле (3) и выполняется их сглаживание фильтром (6) только в прямом направлении.

В первом из двух выходных файлов с задаваемой дискретностью записываются время измерений, показания, год и сутки с долями от начала года в одной группе (для построения графика).

Во втором файле записываются результаты обработки опорных наблюдений: время (сутки с долями), среднее значение показаний на этот момент времени и скорость смещения нуля-нункта за время наблюдений. Для обработки могут привлекаться наблюдения в нескольких заходах с большим промежутком времени между ними.

В именах выходных файлов сохраняется Gmmdd первого по хронологии файла G0804org и G0804ogr соответственно. В третьем файле G0804ogr записываются результаты обработки опорных измерений.

При запуске программа спрашивает имя файла параметров. При обработке морских измерений она спросит также и имя файла поправок Этвеша. Далее программа последовательно автоматически выбирает из папки все исходные файлы, и сортирует их по времени начала записи, и последовательно обрабатывает.

Таким образом, если в одной папке собраны все необходимые для работы файлы, то при пуске программы без вмешательства оператора обработаются все результаты измерений по количеству исходных файлов.

На рис. 17 представлены образцы файлов выдачи данных.

Выходной файл G0804-01.dat морских измерений (формат МВФ05)																		
файл	плата	время	широта	долгота	глубина	курс	скор	расст.	попЭ	сила	таж	аффгаб						
G0408_01	1	20160804	024758.	+07.96509217	+076.69354383	0000.00	0000.00	307.1	10.3	23.20580	-31.113	978156.329	41.275 2 41.275					
Файл вертикальных ускорений Wertusk.dat																		
файл WzTcum																		
G1112_02 10.6 108.98																		

Выходной файл G0804ogr.dat опорных измерений																		
день	чч	мм	СС	гг	дд	сутки												
106 17 39 47							14.681	17106.7359610										

Файл G0804org.dat результатов опорных измерений																		
Togr = 164.3 Gogr = -2674.77 C = 0.863																		

Рис. 17. Форматы записи выходных файлов программы SEAGRAVG

Программа SEAGRAVD создает отдельные файлы для каждого профиля с использованием суммарных многопрофильных записей. В реальном времени морские гравиметрические комплексы «Shelf» и «ChekanAM» записывают до четырех файлов разнотипной информации. В практике полевых работ нередки случаи её непрерывной регистрации на ряде профилей без отключения на переходах. Такая технология выполнения съёмки применяется при коротких профилях, при ночных работах, при неперiodическом обслуживании, при других обстоятельствах.

Технологически целесообразным является первичная обработка суммарных файлов с использованием программ SEAGRAVE и SEAGRAVG. В этом случае из-за переходных процессов на фильтрах теряется меньше информации. Дальнейшая обработка и использование результатов измерений выполняется по схеме один профиль – один файл, в связи с чем возникает потребность их выделения из файлов непрерывной записи.

Для работы программы необходимо создать файл-заказ, в котором указать суммарный файл и интервалы записи профилей. Имя файла произвольное, например Fdel.dat. Образец файла показан на рис. 18.

Исх файл	Начало профиля	Конец профиля
G2801-04	20170128 151529	20170128 152236
G2801-04	20170128 152236	20170128 152959

Рис. 18. Формат файла FileDel для программы SEAGRAVD

В одной строке записываются имя первичного суммарного файла, дата и время начала и конца вторичных файлов отдельных профилей, записанных в едином суммарном файле. Число строк соответствует числу образуемых вторичных файлов. Для создания файла Fdel.dat надо выбрать информацию из соответствующих по времени строк суммарного файла (20170128 151529). Поскольку чтение файла деления выполняется по месту, то должны быть заполнены все позиции в строке, кроме пробелов. При необходимости в строке записываются нули, например, в строке времени при смене суток должно быть записано «000000», а не «0». При образовании имен вторичных файлов сохраняется принцип их образования в реальном времени при измерениях (день, месяц, номер в сутках). Первый из вторичных файлов имеет номер суммарного, а сам суммарный сохраняется с другим номером в сутках (G2801-54). Каждый последующий вторичный файл имеет номер на единицу больше (nn+1). Принцип сохраняется, если даже по факту внутри первичного файла происходит смена даты. В этом случае гарантированно исключается потеря полученных ранее в прямых измерениях файлов в следующих сутках.

Первичные файлы реального времени G2801_04.raw и G2801_04.dat записываются и номеруются так же, как описано выше. Соответствующие им файлы *.prt также создаются. Внутри файлов записываются моменты времени начала, конца и продолжительность в секундах. Таким образом, при запуске программы образуются 4 файла на каждый профиль: Gddmm_nn, Gddmm_nn.raw, Gddmm_nn.prt и Gmmdd-nn.dat. Суммарные первичные файлы сохраняются с порядковыми номерами n+50.

Программа SEAGRAVS предназначена для сведения результатов синхронных измерений двумя приборами. Из файлов двух приборов выбираются данные на один и тот же гравиметрический пункт, вычисляются и записываются в сводный файл средние значения полной силы тяжести и аномалий. В конце строки выходного файла дописывается разность показаний двух приборов. По завершении сеанса в отдельном файле записываются для каждого профиля количество пунктов, среднее и среднее квадратическое значения межприборных разностей.

В рабочую папку загружаются файлы формата MBФ05 обоих приборов. При пуске программа спрашивает отличительные символы в имени первого прибора (1mmdd-??, 1mmdd??k и т.п.). Далее в автоматическом режиме будут обработаны все находящиеся в папке файлы двух приборов. Соответствующим выходным файлам присваивается имя Gmmdd??s.dat, в котором убирается третий от конца знак и в кон-

це добавляется «s». Файлу статистических характеристик присваивается имя stat1-2.dat.

Программа SEAGRAVC предназначена для обработки площадных съёмок, предполагающих наличие контрольных секущих профилей под любым углом к рабочим. Она находит координаты пунктов пересечений профилей, невязки измерений в найденных пунктах, вычисляет их статистические характеристики по всему полигону и по каждому профилю. Вводит поправки в измерения по дополнительному заказу.

Программа работает как с единым файлом полигона *.gc2, так и с отдельными файлами на каждый профиль. В папке, кроме программы, должны присутствовать единый файл полигона или полученные любой из программ обработки файлы в формате МВФ-05, причём каждому прямолинейному профилю должен соответствовать один файл. В противном случае файл с несколькими профилями должен быть разделен предыдущей программой по числу профилей со своими именами, аналогичными по структуре ?mmd??.dat. На первом месте имени файла вместо знака «?» необходимо задать «G», «1» или «2». Последние три знака в имени могут занимать «-nn», «nnS» или «nnB». Этим осуществляется возможность оценивать качество измерений на любом этапе обработки. Если в исходном файле вписаны глубины и вычислена аномалия Буге, то вычисляются также невязки глубин в пунктах пересечений профилей. При запуске программы необходимо назвать имя полигона (name.gc2). Если полигона с таким именем в папке нет, то программа присваивает это имя выходным файлам и просит назвать признак в имени файлов отдельных профилей, по которому они выбираются из папки (?mmd??.). Имя полигона может быть любым, не более 8 знаков. При работе выбираются все файлы указанного типа, находящиеся в папке. В результате выдаётся файл polig.prs – все найденные пункты пересечения с координатами, именами пересекающихся профилей, моментами времени на каждом из них, разностью во времени измерений, разностью показаний (невязки) и разностью глубин, если они имеются в исходных файлах.

В файле polig.brs в том же формате записываются пункты пересечений, в которых невязка превышает тройной стандарт на полигоне в целом.

В файле polig.sta представлены статистические характеристики невязок (постоянная и случайная составляющие) по каждому из профилей и по полигону в целом (отбракованные не учитываются). После окончания работы программа задаёт вопрос о введении поправок в результаты измерений. При ответе «Y» или «y» программа вводит со-

ответствующие поправки, при любом другом ответе заканчивает работу. В качестве поправки на профиле учитываются постоянная составляющая на этом профиле с обратным знаком и половина постоянной составляющей между покрытиями. Обе читаются из файла name.sta.

После введения поправок имена файлов изменяются: вместо ?mmdd???.dat имя становится ?mmkdd??.dat или poligk.gc2. Файлы после введения поправок снова могут быть обработаны программой для получения оценки точности. Для этого при запуске необходимо ввести признак «k?»». В этом случае необходимо предварительно переименовать все выходные файлы polig предыдущего сеанса работы программы, так как все выходные файлы предыдущего счета будут утеряны.

Пример записи выходных файлов программы SEAGRAVC показан на рис. 19.

Файл polig.prs									
галсА		галсВ	ТАТвр	λ	δG	δH	ТА - ТВ		
1	1041603В	1050104В	108.079002	123.046037	13.73574955	80.95437941	0.518	-1.73	-14.967035
2	1041903В	1050104В	111.785537	123.012032	13.73574014	80.84334250	0.500	-0.83	-11.226495
3	1042102В	1042203В	113.802903	114.020584	13.10728123	80.78613330	-0.174	-13.61	-0.217681
4	1042102В	1050104В	113.535205	122.989358	13.73560154	80.76928775	0.221	0.77	-9.454153

Файл polig.sta									
iA = 16 iB = 3									
колG, ммГал Н, м									
ппгалссистслучсистслуч									
1	1041603В	1	0.518	0.518	-1.73	1.73			

		19 1050104В	8	0.179	0.303	0.972	11.77		
		Полигон	20	0.136	0.278	11.40			
Погр.ед		0.172	8.05						

Рис. 19. Форматы записи выходных файлов программы SEAGRAVC

Программа SEAGRAVB предназначена для вычисления аномалии Буге и занесения её в файл формата МВФ-05, если гравиметрические измерения сопровождались промером.

Первыми из папки автоматически выбираются все nadir-файлы *.csv эхолота и поочерёдно обрабатываются. Из файлов выбираются время и глубины, причём время преобразуется в согласованный с другими программами формат, в том числе для построения графиков. При этом исключаются одиночные выбросы. Поправка Буге для плоского слоя вычисляется по формуле

$$AB = 0.0419\sigma H, \quad (22)$$

где σ – средняя плотность земной коры, г/см³; H – глубина моря, м.

Далее программа интерполирует поправку и глубину на каждую секунду и сглаживает аperiодическим фильтром с малой постоянной времени (1–5 с.) без сдвига во времени. Результаты обработки записываются в промежуточный файл, единый для всех профилей и ранжированный по времени.

Форматы входных и промежуточных файлов программы SEAGRAVH показаны на рис. 20.

Входной файл *.csv			
дата	время		глуб
		42838.6843800231,13.04.2017	
16:25:30.434,015B°07.586358'N,081B°01.775996'E,503180.34,1672311.03,2374.9742838.6844865046,13.04.2017			
16:25:39.633,015B°07.571712'N,081B°01.776492'E,503181.23,1672284.03,2376.1542838.6845929977,13.04.2017			
16:25:48.834,015B°07.557230'N,081B°01.776885'E,503181.94,1672257.34,2376.76		Промежуточный файл	
Hggmdd.dat			
дата	ччммсс	глуб+	глуб-погрБ сек сутки года
170413	162530	2375.14	-2375.07 163.210 59130 17103.684375
170413	162531	2375.22	-2376.15 163.216 59131 17103.684387

170413	162540	2376.13	-2376.26 163.278 59140 17103.684491
170413	162541	2376.16	-2376.26 163.280 59141 17103.684502

Рис. 20. Форматы входных и промежуточных файлов программы SEAGRAVH

Кроме колонок даты и времени, в файле с дискретностью 1 с. представлены первичные значения с эхолота со знаком «-», а также сглаженные значения поправки Буге и глубины со знаком «+». При запуске программа запрашивает имя файла параметров и автоматически обрабатывает весь пакет в папке. Постоянная времени и порядок фильтра задаются через общий для всех программ файл параметров.

Выходные файлы маркируются буквой «b» в конце имени ?mmdd??b.dat.

На рис. 13 показаны все возможные имена файлов, которые обрабатываются программой.

Программа SEAGRAVK формирует каталог полигона или маршрута, куда входят сводные файлы формата MBФ05 name.GC1, name.GC2 и name.GC3, вычисляет на каждом профиле количество пунктов, принятых в обработку, и километраж, а также их значения по полигону в целом. Для создания сводных файлов необходимо подготовить лист соответствия LISTpol.dat, в котором указывают имена файлов, относящиеся к именам профилей. Образец файла представлен ниже (рис. 21). Он составлен на базе справочного файла WERTUSK.dat, получаемого при первичной обработке файлов .RAW. В конце строчки в ручном режиме дописывается имя профиля из 9 знаков. Если имя

профиля короче, то его необходимо дополнить пробелами в конце. Обычно профиль содержит имя полигона и его номер на нём. Если необходимо собрать файлы с поправкой Буге, надо соответственно поменять имя входного файла (заменить символ «_» на 6-м месте символом «b»).

G0109b01	10.8	9.83	BLB61001a
G0112b01	8.4	12.26	BLB61001b
G0113b02	7.1	13.09	BLB61004

Рис. 21. Формат файла LISTPol для программы SEAGRAVB

Во вводной части («шапке») выходного файла name.GC1 объемом 24 строки записываются данные об организации и судне, выполняющих съёмку, руководители работ, персонале исполнителя, измерительных и вспомогательных приборах, сопутствующих работах и другая информация. В рабочей части файла name.GC1 записываются имена профилей, количество пунктов, дата и время начала, широта и долгота его начала, широта и долгота конца, а также курс, скорость и длина профиля. Нижней строкой в файле записываются общее количество пунктов и общая длина всех профилей. Формат файла представлен на рис. 22.

Tack	Npun	-----	Start	----->	-----	Finis	----->	Cours	Speed	Length
BLB6C001	5292	2017	0820	0236	16.8700	84.8113	15.8324	86.4997	122.5	14.6 213.8 1.0
BLB6C002	5054	2017	0917	2341	15.9583	85.3334	16.5021	87.1654	72.9	14.6 204.9 1.0

BLB6L028	8025	2017	0917	0040	17.2878	86.7210	15.9379	85.3344	224.7	9.4 210.3 1.0
=====										
230429					6295.5					

Рис. 22. Формат файла polig.gc1

«Шапка» файла набирается в ручном режиме перед запуском программы. В процессе работы она переписывается в файл name.GC1 в его начале.

В выходном файле name.GC2 по программе происходит перезапись из файлов каждого профиля всей строки со сменой имени файла на имя профиля без перерывов между профилями. При этом нумерация пунктов начинается с начала каждого профиля (рис. 23).

BLB6C002	5134	20170918	134300.	16.50203783	87.16500567	2613.52	2614.96	67.7	14.6	204.85490	52.200	978417.831	-14.526	2	165.064
BLB6C002	5135	20170918	134310.	16.50214983	87.16535650	2615.05	2615.05	72.6	13.3	204.89433	52.207	978417.838	-14.525	2	165.170
BLB6C003	1	20170918	140600.	16.53463900	87.18312217	2601.50	2601.26	15.5	137	0.00000	12.665	978421.253	-12.706	2	166.059
BLB6C003	2	20170918	140610.	16.53496317	87.18321117	2601.27	2601.27	15.5	13.7	0.03711	12.665	978421.270	-12.705	2	166.044

Рис. 23. Формат файла BLB6.gc2

Выходной файл name.GC3 аналогичен предыдущему, однако каждый профиль начинается его именем в отдельной строке (BLB6C003). Выдается по заказу. Структура записи в файле приспособлена для загрузки в банк данных.

Программа SEAGRAVP предназначена для корректирования результатов предшествующей обработки. Обработка материалов измерений выполняется по ходу экспедиционных работ с прогнозируемым значением скорости смещения нуль-пункта. После заключительных опорных наблюдений и её уточнения нередко возникает необходимость внести коррекцию в результаты вычислений. Наибольшее время при обработке занимает просмотр графического материала, обрезание концов файлов из-за переходных процессов при переходе с профиля на профиль, подготовка к дальнейшим шагам обработки. Поэтому предпочтительной является корректировка результатов выполненной ранее обработки без повтора предыдущих этапов работ. С использованием настоящей программы учитываются поправки к скорости смещения нуль-пункта и постоянному члену градуировочной характеристики, изменения показаний на постоянную величину. Кроме того, программа перевычисляет аномалию Буге, если задается иная средняя плотность земной коры.

Вначале по программе определяются необходимые для вычислений коэффициенты в корректирующем файле параметров. При введении поправки от изменения скорости смещения нуль-пункта по программе вычисляется промежуток времени между исходным и морским пунктами, вычисляется корректирующая поправка и исправляется результат непосредственно в файле формата МВФ-05 без перевычисления исходной информации. При этом в файле корректировки параметров (.kor) необходимо задать разницу между «новой» и «старой» скоростью смещения нуль-пункта.

По программе корректируются результаты, вводится поправка за погрешность линейного коэффициента градуировочной характеристики b. Для этого в корректирующем файле параметров (.kor) необходимо задать отношение «нового» и «старого» коэффициентов. По программе вычисляется приращение силы тяжести между рядовым и опорным пунктами, умножается на корректирующий коэффициент и вычисляется поправка в приращение силы тяжести от опорного пунк-

та, которая прибавляется к полному значению силы тяжести и аномалиям.

Если необходимо учесть изменение показаний на постоянную величину, то в корректирующем файле достаточно изменить исходное значение на опорном пункте на эту величину.

Если надо вычислить аномалию Буге с другой плотностью, то в корректирующем файле следует задать «старую» и «новую» среднюю плотность коры.

При запуске программы выбираются из папки подлежащие корректировке файлы по шаблону в имени. Шаблон набирается на экране монитора по запросу программы. Выходной файл повторяет имя входного с отметкой о коррекции: вместо Gmmdd-nn присваивается GmmddKnn.

Представленный пакет программ позволяет обработать полевые материалы измерений, выполняемых ответственными морскими гравиметрическими комплексами, с минимальным вмешательством исполнителя, который вводит исходные данные для вычислений, записывая их в отдельные файлы, и оценивает получаемые результаты. Наибольший объем машинного времени расходуется по программе SEAGRAVG (до 60 мин.) при длительности измерений на судне до 40 сут. Исполнитель работ тратит время на обрезание файлов в начале и конце профиля. Это обусловлено наличием переходных процессов в фильтрах и в чувствительном элементе гравиметра при заходах на каждый профиль. Процедура обрезания выполняется визуально на основе построенных графиков изменения силы тяжести и поправки Этвеша каждого профиля.

Достоинством пакета следует считать минимизацию «ручного труда» исполнителя и удобный ввод результатов обработки в базу данных пакета GEOSOFТ для дальнейших работ.

3.2. Программа Chekan_QC для обработки аэрогравиметрических данных, полученных с помощью авиационной модификации гравиметров Чекап АМ, шельф («Попугай»)

Программа «Chekan_QC» предназначена для проведения оперативного полевого контроля и последующей обработки аэрогравиметрических измерений, выполненных с использованием *авиационной модификации* гравиметра мобильного Чекап АМ, Шельф («Попугай»).

По программе выполняются следующие действия:

- контроль исходных гравиметрических и навигационных данных, полученных в реальном времени;
- автоматическое разделение полета на галсы съемки;
- логический контроль всей входной информации;
- вычисление наблюденного значения силы тяжести;
- вычисление поправок за инерциальные ускорения с использованием данных спутниковых навигационных систем (СНС), полученных в дифференциальном режиме;
- вычисление и фильтрация аномалий силы тяжести в свободном воздухе (АСВ);
- вычисление оценок качества измерений и условий полета в процессе прохождения галса;
- составление базы данных аэрогравиметрической съемки;
- вычисление оценок точности определения силы тяжести по сходимости измерений на повторных (ПКП) и возвратных контрольных пунктах.

Программа предназначена для работы под управлением операционных систем класса Windows (Windows 98, Windows ME, Windows NT, Windows XP, Windows Vista).

Минимальные системные требования к ПЭВМ для обработки данных:

- процессор Pentium IV;
- оперативная память 1024 Мб;
- свободное место на «жестком» диске 100 Гб;
- разрешение экрана 1024x768.

Состав программы с описанием представлен в табл. 5.

Таблица 5

Состав программы «Chekan_QC» с описанием

Имя директории (файла)	Описание
chekan_qc\	содержит директории и файлы программы «Chekan_QC» (4 папки и 133 файла, общий размер – 68,9 Мб)
bin\	содержит элементы управления меню программы
libm\	содержит файлы динамически подключаемой библиотеки
sat\	содержит массивы гравиметрических данных по различным доступным проектам (например, ArcGP)
toolbox\	содержит файлы динамически подключаемой библиотеки

Имя директории (файла)	Описание
license.dat	информация об использованной при разработке версии ППП Matlab
*.dll	файлы динамически подключаемой библиотеки (всего 117 файлов общим размером 36511 Кб)
chekan_qc.exe	исполняемый файл
*.fig	файлы оконного интерфейса (всего 11 файлов общим размером 655 Кб)
back-ground.jpg	файл заставки
back-ground1.jpg	файл заставки
setting.mat	файл установок для обработки

Входными данными для работы программы в режиме оперативного полевого контроля аэрогравиметрических измерений являются четыре файла данных гравиметра, записанные в полете с использованием программы AIRGRAV из состава модуля программного ДНИЯ.467617.007:

- gNNN.raw;
- tNNN.dat;
- nNNN.dat;
- gNNN.dat.

Примечание: NNN – номер файла.

Дополнительно для постобработки аэрогравиметрических измерений используются файлы уточненной в дифференциальном режиме спутниковой навигационной информации.

В процессе работы программы создаются и записываются на «жесткий» диск ПЭВМ промежуточные файлы во внутреннем формате ППП Matlab:

- файлы line_*.mat, каждый из которых содержит 10-герцовый массив исходных данных для обработки одного галса съемки;
- файлы profile_*.mat, каждый из которых содержит 10-герцовый массив обработанных данных одного галса съемки;
- файл surv_*.mat, содержащий базу данных аэрогравиметрической съемки.

Примечание: Символ «*» означает уникальный идентификатор имени файла, назначаемый пользователем. Идентификатор может принимать как числовые, так и символьные значения.

Файлы `line_*.mat` записываются в директорию `lines\`, которая автоматически создается в директории, содержащей файлы данных гравиметра за полет, при сохранении первого файла.

Файлы `profile_*.mat` записываются в директорию `profiles\`, которая автоматически создается в директории `lines\` при сохранении первого файла.

Результаты обработки съемки также могут быть экспортированы в текстовые файлы `profile_*.xyz` и `surv_*.xyz`.

Файлы `profile_*.xyz` содержат результаты обработки одного галса съемки. Файлы `surv_*.xyz` могут содержать результаты обработки нескольких галсов или всей совокупности галсов съемки.

Формат выходных файлов автоматически определяется форматом файлов навигационных данных, используемых при обработке измерений.

Программа «Chekan_QC» предназначена для выполнения следующих основных операций:

- установка параметров обработки;
- подготовка исходных данных для обработки галса съемки;
- обработка галса с оценкой качества данных;
- обработка результатов аэрогравиметрической съемки с оценкой качества измерений.

Установка параметров обработки выполняется посредством разработанного графического интерфейса без использования каких-либо файлов параметров. Запись текущих значений установок хранится в файле `setting.mat`, расположенном в корневой директории программы `chekan_qc\`.

Подготовка исходных данных состоит из следующих операций:

- загрузка файлов данных гравиметра за полет;
- автоматическое разделение полета на галсы съемки;
- загрузка файла спутниковых навигационных данных, полученных в дифференциальном режиме.

Загрузка файлов данных за полет сопровождается первичным контролем исходных данных гравиметра, записанных в реальном времени. При этом выполняется:

- анализ соответствия форматов 4 файлов гравиметра;
- контроль совпадения времени начала и завершения файлов;
- проверка наличия сбоя в регистрации данных;
- индикация результатов первичного контроля.

В результате загрузки формируется единый файл данных за полет, структура которого совпадает форматом файлов `lines_*.mat`.

Автоматическое разделение полета на галсы производится в соответствии с алгоритмом, приведенном на рис. 24. Здесь введены следующие обозначения: ω_z – азимутальная угловая скорость; \lim – минимальная угловая скорость разворота (настраиваемый параметр); dur – минимальная продолжительность галса (настраиваемый параметр); N – число записей в файле; i – счетчик текущей записи в файле; L – текущая длина прямого участка.

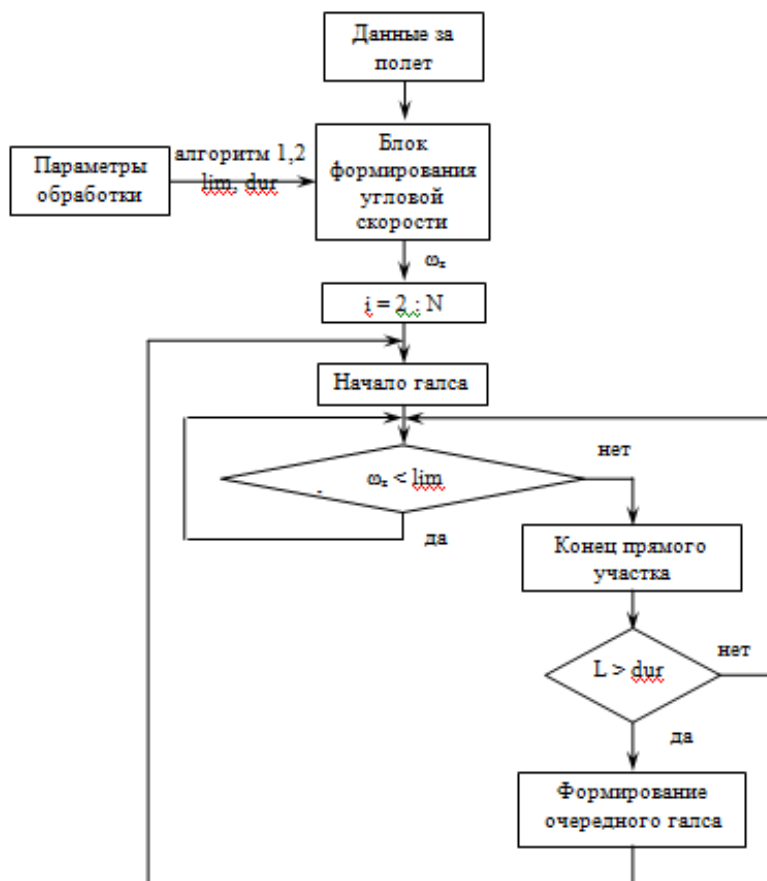


Рис. 24. Структурная схема алгоритма разделения полета на галсы

По выбору пользователя источником азимутальной угловой скорости может быть либо выходной сигнал волоконно-оптического гироскопа (алгоритм 1), либо производная путевого угла, записанного в реальном времени по данным спутниковой навигационной системы (алгоритм 2).

После автоматического разделения данных за полет на галсы запись в файлы производится пользователем. При этом существует возможность не сохранять какой-либо из определенных программой галсов или сохранять в файле участок галса.

Загрузка спутниковых навигационных данных, полученных в дифференциальном режиме, сопровождается проверкой файлов на соответствие формату данных. При загрузке дополнительно анализируется время начала и окончания файла. Файл навигационных данных должен начинаться раньше и заканчиваться позже, чем файл данных гравиметра на галс (line_*.mat.).

В случае успешной загрузки файла данных спутниковых навигационных систем производится автоматическая запись навигационных данных в столбцы 20 – 24 файла line_*.mat.

Обработка галса съемки производится в соответствии с алгоритмом, представленным на рис. 25.

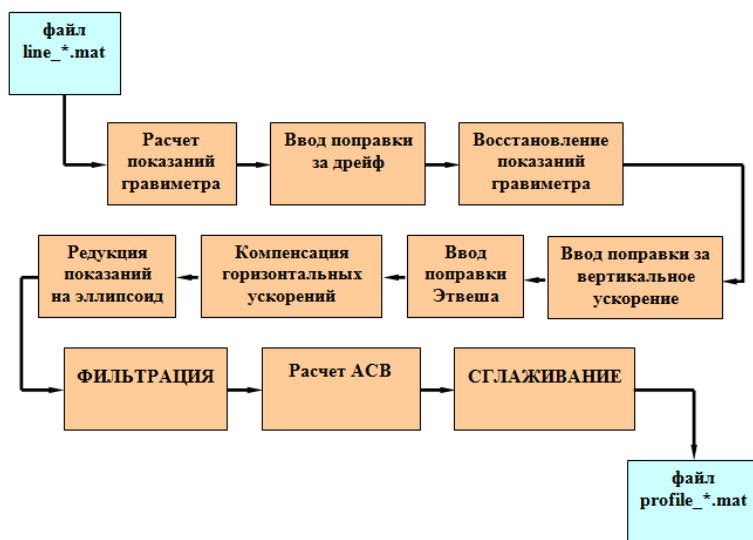


Рис. 25. Структурная схема обработки галса

Расчет показаний гравиметра в миллигалах выполняется в соответствии с формулой

$$\begin{aligned} dg_m &= b \cdot (m - m_0) + a \cdot (m - m_0)^2 - gr_0 \text{ [мГал]}, \\ m &= m_1 + m_2, \end{aligned} \quad (23)$$

где m_1, m_2 – показания 1-й и 2-й упругой системы датчика гравиметрического (ДГ); b, a – коэффициенты ДГ, определенные на стенде завода-изготовителя при значении $m_0 = 3000$ пикс; gr_0 – показания гравиметра при выполнении опорных измерений.

Ввод поправки за дрейф нуля-пункта гравиметра производится в соответствии с формулой

$$dg = dg_m - C \cdot (T - T_0), \quad (24)$$

где C – скорость смещения нуля-пункта гравиметра, T – текущее время измерений, T_0 – время измерения опорного значения gr_0 .

Восстановление показаний гравиметра выполняется с использованием цифрового восстанавливающего фильтра с передаточной функцией:

$$F_r(p) = \frac{T_g p + 1}{0,01 p + 1}, \quad (25)$$

где T_g – постоянная времени гравиметра, p – оператор Лапласа.

Ввод поправки за вертикальное ускорение производится по информации от спутниковой навигационной системы в соответствии с алгоритмом, приведенным на рис. 26.

При этом выполняется пересчет ускорений из места установки антенны к месту установки гравиметра.

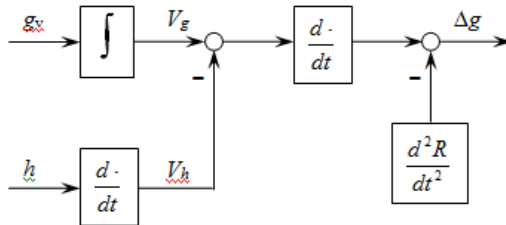


Рис. 26. Схема ввода поправки за вертикальное ускорение

При этом выполняется пересчет ускорений из места установки антенны к месту установки гравиметра. На рисунке введены следующие обозначения: h – уточненная в дифференциальном режиме высота от спутниковой навигационной системы, g_v – сигнал на выходе восстанавливающего фильтра;

$$R = 100000 \cdot (R_x \sin \psi + R_y \sin \theta + R_z (\cos \psi - 1) + R_z (\cos \theta - 1)), \quad (26)$$

где R_x, R_y, R_z – смещение антенны приемника СНС по отношению к чувствительному элементу гравиметра в продольной, поперечной плоскостях и по высоте соответственно; ψ, θ – углы тангажа и крена.

Программа позволяет графическим способом определить временной сдвиг между вертикальными скоростями, рассчитанными по показаниям гравиметра и СНС. Учет сдвига выполняется посредством ввода соответствующей константы в окне «Settings».

Расчет поправки Этвеша выполняется в соответствии с формулой

$$\begin{aligned} dg_{\text{cotv}} = & \left(\frac{1.45852}{1000} \cdot V_E \cos \varphi + \frac{V_N^2}{R} \cdot \left(1 + \frac{h}{R} - 0.5e^2 \cdot (2 - 3\sin^2 \varphi) \right) + \right. \\ & \left. + \frac{V_E^2}{R} \left(1 + \frac{h}{R} - 0.5e^2 \cdot \sin^2 \varphi \right) \right) \cdot 100000, \end{aligned} \quad (27)$$

где $e^2 = 2\alpha - \alpha^2$, $\alpha = 1/298.257$; $R = r \cdot (1 - e^2) \cdot (1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{2/3}$; $r = 6378137$ м – для вычисления радиуса Земли (референц-эллипсоид МГС-84); h – высота полета; φ – широта места; V_N, V_E – северная и восточная составляющие горизонтальной скорости самолета.

Редукция показаний гравиметра на эллипсоид выполняется в соответствии с формулой

$$\Delta g = \Delta g + 0.3086h. \quad (28)$$

Фильтрация показаний гравиметра производится нерекурсивным фильтром с трапецидальной оконной функцией. Частота среза фильтра назначается пользователем. Амплитудно-частотная характеристика фильтра при длине окна 180 с. приведена на рис. 27.

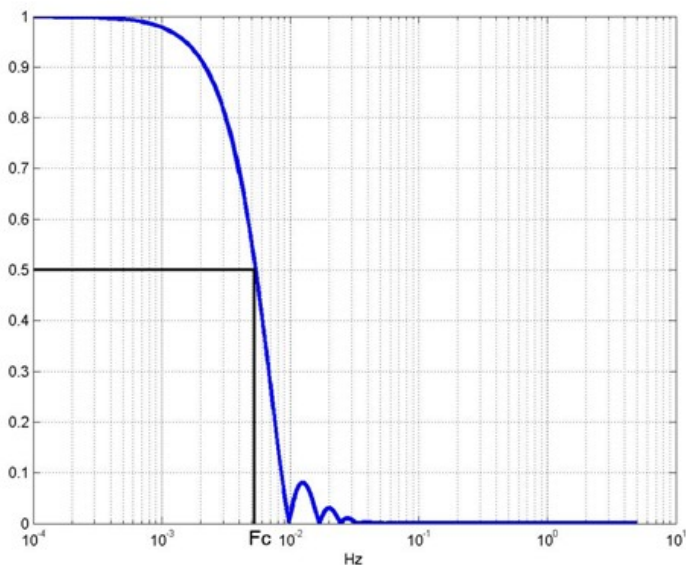


Рис. 27. Амплитудно-частотная характеристика фильтра

Расчет аномалии ускорения силы тяжести в свободном воздухе (АСВ) выполняется в соответствии с формулой

$$g_a = \Delta g - \gamma + g_0, \quad (29)$$

где g_0 – значение УСТ на ОГП; γ – нормальное значение силы тяжести, вычисленное по одной из четырех формул (по выбору пользователя):

- $\gamma = 978049 \cdot (1 + 0.0052884 \sin^2 \varphi - 0.0000059 \sin^2 2\varphi)$ (формула Кассиниса);

- $\gamma = 978030 \cdot (1 + 0.005302 \sin^2 \varphi - 0.000007 \sin^2 2\varphi) - 14$ (формула Гельмерта);

- $\gamma = 978031.846 \cdot (1 + 0.0053024 \sin^2 \varphi - 0.0000058 \sin^2 2\varphi)$ (GRS67);

$$- \gamma = 978032.68 \cdot \frac{1 + 0.001931855139 \sin^2 \varphi}{\sqrt{1 - 0.006694380 \sin^2 \varphi}} \text{ (WGS84)}. \quad (30)$$

Сглаживание измеренного профиля АСВ выполняется посредством перевода во временную область ограниченного числа гармоник

частотного изображения сигнала (по выбору пользователя – 10, 15,..., 35). При этом для перевода сигнала во временную и частотную области используется алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ).

Программа автоматически выполняет контроль качества гравиметрических данных, навигационной информации, а также условий полета. При этом галс разбивается на 6 равных по длительности участков и контроль производится по каждому участку в отдельности. Результаты контроля отображаются в графическом виде.

Критерии оценки качества приведены в табл. 6, где D – дисперсия, M – математическое ожидание.

По программе автоматически вычисляются следующие параметры галса:

- протяженность,
- длительность,
- генеральный курс,
- координаты начала и конца галса.

По программе производится расчет экстремальных и средних значений, а также среднеквадратических отклонений сигналов, характеризующих качество данных гравиметра, навигационной информации и условий полета.

Пользователь имеет возможность выбирать для обработки и последующей записи только нужный фрагмент галса и отбраковывать те участки, которые, по его мнению, не нужны или не верны.

Исходные данные и данные, полученные в результате обработки профиля, записываются пользователем в файл `profile_*.mat`. При наличии идентификатора имени галса в файле навигационных данных имя файла назначается автоматически.

При наличии дополнительных массивов гравиметрических данных на участок исследований пользователь имеет возможность сравнивать полученный в результате обработки профиль с полем аномалии УСТ, полученным ранее.

Программа позволяет проводить обработку аэрогравиметрической съемки с оценкой качества измерений, для чего в программе предусмотрены следующие функциональные возможности, предназначенные для постобработки результатов аэрогравиметрической съемки:

- создание (загрузка) базы данных;
- редактирование базы данных;
- оценка точности аэрогравиметрических измерений;
- отображение информации в графическом и цифровом виде;
- запись результатов обработки.

Таблица 6

Контроль качества данных

Величина	Оцениваемая характеристика	«Удовлетворительно»	«Неудовлетворительно»
Гравиметрический датчик			
Разность показаний упругих систем	$D(m_2 - m_1)$	< 5 пикс	> 10 пикс
Выход за диапазон показаний	$\frac{dm_1}{dt}, \frac{dm_2}{dt}$	$\neq 0$	$= 0$
Стабильность частоты опроса	$ \max(dt) $	$< 0,2$ с	> 1 с
Гиropлат форма			
Погрешности стабилизации	$ \max(\alpha, \beta) $	$< 0,5$ м/с	> 1 м/с
Смещение нуля-пункта ВОГ	$M(\omega_z)$	$< 0,04$ °/с	$< 0,1$ °/с
Расчет курса	$ M(K) - M(TOG) $	$\neq 0$	$= 0$
Навигационные данные			
Прием данных СНС в реальном времени	$ \max(F) $	≥ 1	< 1
HDOP	$M(HDOP)$	< 3	> 5
Гладкость координат	$\frac{d\varphi}{dt}, \frac{d\lambda}{dt}$	$\leq 0,0005^\circ$	$> 0,0005^\circ$
Условия полета			
Высота	$D(h)$	< 5 м	> 10 м
Горизонтальные ускорения	$ \max(W_x, W_y) $	< 50 Гал	> 100 Гал
Крен и тангаж	$ \max(\theta, \psi) $	$< 5^\circ$	$> 7^\circ$
Путевая скорость	$ \max(V) $	< 130 м/с	> 150 м/с

При выполнении постобработки результатов аэрогравиметрической съемки пользователь создает или загружает существующую базу данных (файл `surv_*.mat`), содержащую гравиметрическую и навигационную информацию по ряду профилей съемки. Максимальное количество профилей в базе данных не должно превышать 500 шт.

Каждый профиль в базе данных может иметь один из двух следующих статусов:

– «активный», профиль хранится в базе данных и используется при расчетах качества измерений;

– «пассивный», профиль хранится в базе данных, но не используется при расчетах качества измерений и экспорте базы данных.

Выбор текущего профиля базы данных и изменение его статуса выполняется пользователем посредством разработанного графического интерфейса. Пользователь может также изменять статус всех профилей в целом.

Оценка точности аэрогравиметрических измерений выполняется по разности значений АСВ в точках пересечения профилей. До начала расчета программа выполняет преобразование координат профиля из географической (λ, φ) в местную прямоугольную систему координат (X, Y) по следующим формулам:

$$\begin{aligned} X &= (\lambda - \lambda_0) \cdot R \cos \varphi, \\ Y &= (\varphi - \varphi_0) \cdot R, \end{aligned} \quad (31)$$

где $R = a(1 - 0.5 \cdot e^2 \sin^2 \varphi)$ – радиус Земли, $e^2 = 0.0066934$, (λ_0, φ_0) – минимальные значения долготы и широты места первого загруженного в базу данных профиля.

Расчет может выполняться как для текущего профиля, так и для всей съемки в целом. При этом на экране отображается информация о следующих статистических характеристиках массива, содержащего значения разностей:

- количество элементов массива (точек пересечения);
- минимальное и максимальное значение;
- математическое ожидание и дисперсия.

Статистические оценки выводятся в цифровом и графическом виде как для текущего профиля так для съемки в целом.

По завершении расчета в директории, содержащей файл `surv_*.mat`, автоматически создаются следующие файлы со статистической информацией:

- `surv_*.crs` (содержит информацию о каждой точке пересечения);
- `surv_*.sts` (содержит статистическую информацию о профиле и съемке в целом).

Файлы автоматически перезаписываются после выполнения очередного расчета.

При разработке графического интерфейса использовались средства пакета Graphic User Interface (GUI), входящего в состав ППП Matlab.

В зависимости от объема загружаемой и обрабатываемой информации и производительности ПЭВМ длительность автономной работы программы может достигать 1–2 мин. При этом на экране основного меню отображается тип текущей операции с соответствующим индикатором прогресса и программа не реагирует на действия пользователя.

3.3. Программное обеспечение SR2MSU камеральной обработки данных аэрогравиметрической съемки для авиационного гравиметрического комплекса Силомер (GT-2A)

Программное обеспечение SR2MSU (версии 1.7) предназначено для задач камеральной экспресс-обработки, а также послеполетной обработки результатов аэрогравиметрических измерений по данным авиационного гравиметрического комплекса Силомер (GT-2A).

Назначение программного обеспечения:

- Экспресс-диагностика функционирования приборного комплекса, экспресс-диагностика экспериментальных данных для последующей камеральной обработки – для краткости QC-обработка (Quality Control).
- Навигационные решения.
- Оценивание аномалий силы тяжести в свободном воздухе на траекториях полета летательного аппарата.

Исходные данные для обработки:

- S-, G-, H-файлы, создаваемые комплексом «Силомер» (GT-2A).
- JPS-файлы, создаваемые двухчастотными (L1 & L2) GPS-приемниками фирмы Javad Navigation Systems. Используются данные подвижного приемника (Rover) и базовых станций (Base#N).
- Координаты базовых станций.
- Leap Seconds параметр, характеризующий целочисленное (в с.) расхождение шкал времени спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС (на 1 января 2006 г. эта величина равнялась 14 с.).

Спецификации выходных файлов комплекса Силомер (GT-2A):

G-, S-файлы являются бинарными файлами, H-файл служит текстовым титульным файлом.

Спецификации первичных спутниковых JPS-файлов:

- Формат первичных бинарных JPS-файлов описан в соответствующей документации фирмы Javad Navigation Systems.
- Частота регистрации первичных спутниковых данных – 1–10 Hz.

Дополнительные данные для обработки:

- Абсолютное значение ускорения силы тяжести в опорной аэродромной точке, геодезические координаты этой точки.
- Список маршрутов (галсов) в G1-файле.
- Координаты базовых станций GPS.
- Угол маски навигационных спутников.
- Номера навигационных спутников, данные от которых исключаются из обработки.

Задачи обработки:

1. Экспресс-диагностика данных:

- Контроль целостности G-файла,
- Контроль целостности S-файла,
- Контроль синхронизации времени GPS и шкалы времени в G-, S-файлах,
- Контроль целостности JPS- файлов.

В случае выявления сбоев в данных G-, S-, JPS-файлов, аварийном завершении программы осуществляется запись протокольных Егг-файлов.

2. Навигационные решения:

– Определение координат, скорости носителя при помощи фазовых измерений GPS в стандартном и дифференциальном режимах. Формирование V-файлов.

– Оценивание позиционных, скоростных, угловых ошибок инерциальной навигационной системы. Формирование I-файла.

– Контроль первичных JPS-файлов. Формирование QC-файлов.

– Оценивание гравитационных аномалий в свободном воздухе на траекториях полета самолета.

– Контроль возможных сбоев в показаниях гравиметра.

– Формирование G5-файлов со статистическими характеристиками опорных измерений до и после полета.

– Контроль гравиметрических данных.

– Формирование G3-файлов с реализациями оценок гравитационных аномалий в свободном воздухе.

Блок-схема обработки данных показана на рис. 28.

Модуль SR2NAV осуществляет экспресс-диагностику первичных навигационных данных (S-, JPS-файлы), вычисляет дифференциальные фазовые навигационные решения GPS и определяет оценки угловых ошибок построения приборной вертикали. Программа использует JPS-файлы, S-файлы, создает V-файлы и I-файлы.

Модуль SR2G20 выполняет проверку G-, S-файлов и конвертирует их гравиметрическую информацию в текстовый формат (G0-, S0-, G1-файлы).

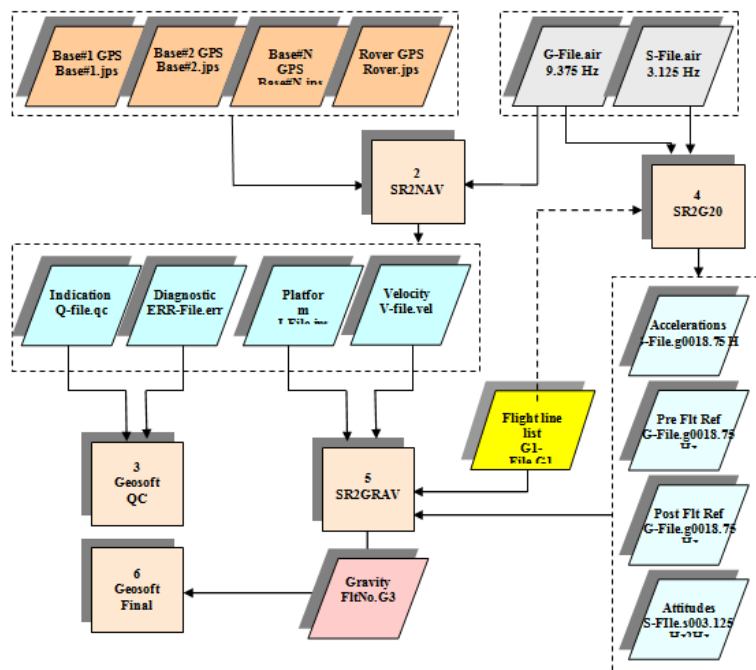


Рис. 28. Блок-схема обработки данных

Модуль SR2GRAV использует G0-, S0-файлы, I-файлы, V-файлы и создает файлы, содержащие аномалию в свободном воздухе (G3-файлы).

Рекомендуемая структура директорий показана на рис. 29.

Программные модули

- SR2NAV – Программа для получения навигационных решений GPS и оценки угловых ошибок построения приборной вертикали ИНС.
- INTERVAL – Программа для определения общих временных границ S- и JPS-файлов.
- SR2G20 – Программа для проверки и конвертации G-, S-файлов.

SR2GRAV – Программа для вычисления аномалии вдоль траектории.

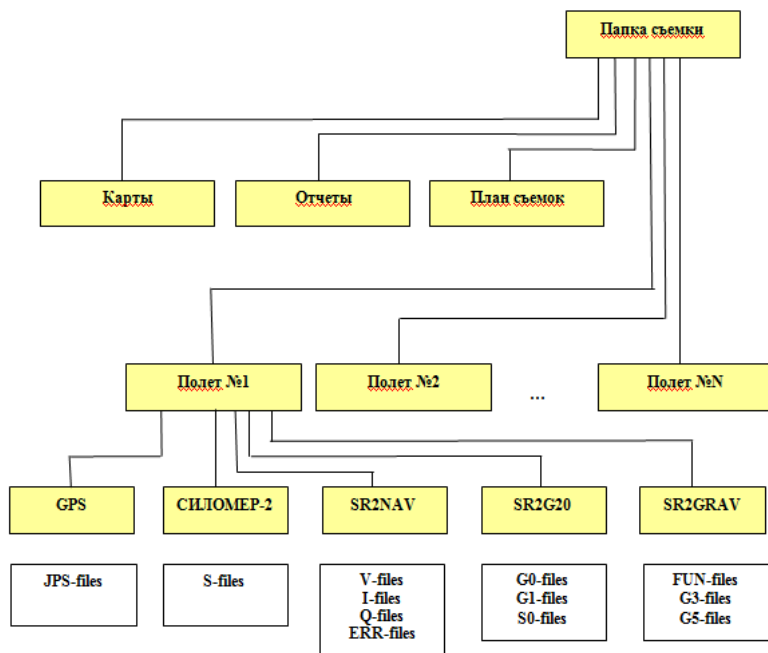


Рис. 29. Рекомендуемая структура директорий

Файлы

S-файлы	*.AIR –	Бинарные файлы, создаваемые гравиметрическим комплексом СИЛОМЕР-2, содержащие данные гравиметров, ИНС, параметры синхронизации информационных потоков.
JPS -файлы	*.JPS –	Бинарные файлы, создаваемые GPS-приемником фирмы Javad Navigation Systems с частотой 1–10 Hz.
I-файлы	*.INS –	Файлы с оценками угловых ошибок построения приборной вертикали, создаваемые SR2NAV.
V-файлы	*.VEL –	Файлы со скоростными и позиционными

FUN-файлы	*.FUN	–	решениями GPS, создаваемые SR2NAV. Бинарные файлы, создаваемые SR2GRAV, содержащие необходимую информацию из V, I, G0, G1, S0-файлов для оценивания гравитационных аномалий.
G1-файлы	*.G1	–	Список галсов.
G3-файлы	*.G3	–	Выходные файлы аномалии в свободном воздухе, создаваемые SR2GRAV.
G5-файлы	*.G5	–	Файлы статистики опорных измерений, создаваемые SR2GRAV.

4. АНОМАЛИИ В СВОБОДНОМ ВОЗДУХЕ И ПРИРАЩЕНИЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

Аномалии силы тяжести G на высоте полета определяются по формуле

$$G = G_n + G_h + G_f, \quad (32)$$

где G_n – нормальное поле; G_h – поправка за высоту, G_f – аномалия в свободном воздухе.

Составляющие G_n , G_h могут быть вычислены с использованием координат GPS по стандартным формулам, например, формуле Гельмерта и формуле $0.3086h$. Член G_f требует определения (оценивания) в процессе обработки.

Измерения по гравиметру F_m определяются по формуле

$$F_m = G + \dot{v}_m + G_e + \Delta G_d + \Delta G_g + \Delta \dot{v} + \Delta F_p, \quad (33)$$

где v_m – вертикальная скорость самолета и гравиметра относительно WGS84, измеренная GPS; G_e – поправка Этвеша, вычисленная с учетом скорости и координат GPS; ΔG_d – тренд гравиметра; ΔF_p – ошибка гравиметра; вызванная угловыми ошибками построения приборной вертикали; ΔG_g – случайный шум гравиметра; Δv – случайный шум в определении вертикальной скорости.

Из формулы для F_m находится «измеренная сила тяжести» G_m :

$$G_m = F_m - \dot{v}_m - G_e - \Delta G_d - \Delta F_p. \quad (34)$$

Тренд гравиметра определяется по формуле

$$\Delta G_d = (F_{m0} - G_0) \frac{t_1 - t}{t_1 - t_0} - (F_{m1} - G_1) \frac{t_0 - t}{t_1 - t_0}, \quad (35)$$

где t – время измерения по GPS; t_0 – время наблюдения на начальной опоре; t_1 – время измерения на конечной опоре; F_{m0} – среднее значение по гравиметру на начальной опоре; F_{m1} – среднее значение по гравиметру на конечной опоре; G_0 – абсолютное значение силы тяжести на начальной опоре; G_1 – абсолютное значение силы тяжести на конечной опоре.

Абсолютное значение силы тяжести на опоре может быть определено с помощью абсолютного гравиметра. Если это невозможно, то вместо G_0 или G_1 используется вычисленное значение:

$$\hat{G}_0 = G_{n0} + G_{h0}, \quad \hat{G}_1 = G_{n1} + G_{h1}. \quad (36)$$

Здесь G_{n0} , G_{n1} – нормальное поле в начальной и конечной точках опоры; G_{h0} , G_{h1} – поправка в свободном воздухе в начальной и конечной точках опоры.

При последнем режиме оценки аномалии может быть смещение, равное аномалии в точке опоры, если начальная и конечная опоры совпадают, и линейный тренд, если они различны.

«Измеренная» аномалия силы тяжести вычисляется по формуле

$$\tilde{G}_f = G_m - G_h - G_n, \quad (37)$$

которая включает шумы GPS и гравиметра. Для удаления шумов и получения оценки силы тяжести используется фильтр низких частот

$$\hat{G}_m = H * \tilde{G}_m. \quad (38)$$

Разрешением фильтра H называется длина волны, амплитуда которой подавляется H вдвое.

Приращение силы тяжести относительно начального опорного гравиметрического пункта вычисляется по формуле

$$\tilde{G}_f = G_m - G_h - G_n. \quad (39)$$

В результате обработки, помимо аномалии, вычисляются приращения силы тяжести в точках измерения относительно начальной опоры

$$\tilde{G}_f + G_n + G_h - G_0. \quad (40)$$

Абсолютное значение силы тяжести на опорном пункте (стоянке самолета-лаборатории) можно получить путем передачи силы тяжести

в точку стояния самолета с ближайшего опорного пункта гравиметрической сети первого или второго класса.

Для получения гравиметрических данных в условном уровне вместо G_0 можно использовать значение $\hat{G}_0 = G_{n0} + G_{h0}$ при условии, что начальная и конечная опоры совпадают. Если они не совпадают, разность $G_0 - G_1$ должна быть точно определена передачей силы тяжести с государственных опорных пунктов.

Конечным результатом по приведенным программам являются значения аномалий вдоль гравиметрического профиля.

5. МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ ФОРМАТ ХРАНЕНИЯ И ОБМЕНА ГРАВИМЕТРИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ

К настоящему времени пересмотрены документы, регламентирующие гравиметрические съемки, уточнены форматы для предоставления и хранения результатов съемок. Например, формат Международного гравиметрического бюро BGI (размещавшегося в Париже, затем в Тулузе, Франция) был пересмотрен в основном в сторону увеличения детальности хранимой информации [2, 3].

Представление результатов гравиметрических съемок все более приобретает вид аналитической аппроксимации, которая, адекватно описывая гравитационное поле, наиболее удобна для решения прикладных задач. Карта в изолиниях остается как дополнение к аналитической аппроксимации в качестве иллюстративного материала. Но процедура перехода от дискретных результатов съемки к аналитическим аппроксимациям (например, через пересчет значений на узлы регулярной сетки) нигде и никак не регламентирована.

Гравиметрическая информация, хранящаяся в базах данных, необходима различным ведомствам и применяется в различных областях. Напомним лишь некоторые области ее применения:

- изучение региональных плотностных неоднородностей верхних слоев земной коры для уточнения геологического строения Земли;
- изучение локальных плотностных неоднородностей верхних слоев с целью прямого поиска полезных ископаемых;
- исследование физических свойств Земли в целом;
- мониторинг геофизических параметров с целью предупреждения о чрезвычайных ситуациях (извержение вулкана, землетрясение и т. п.);
- запуск космических аппаратов и ракет в целях обороны страны;

- метрологические задачи.

В зависимости от сферы применения требования к содержанию гравиметрической информации и к ее точности могут несколько различаться и даже противоречить друг другу. Этим объясняются неизбежные различия во внутриведомственных инструкциях по проведению гравиметрических измерений, в способах первичной и окончательной обработки результатов измерений и их анализа и, наконец, в подходе к хранению полученной информации в базах данных.

Однако при всех различиях в требованиях необходимо обеспечить широкое использование полученной гравиметрической информации независимо от того, кем и с какой конкретной целью она была получена. Ключевую роль здесь играет установление единого формата для обмена и хранения гравиметрических данных, призванного максимально удовлетворять все перечисленные выше потребности.

Каждая организация, выполняющая гравиметрические наблюдения, вправе пользоваться любым удобным и привычным математическим обеспечением для решения своих специфических задач. То же самое относится и к форме предоставления и хранения данных в собственных целях.

Но применяемое в различных организациях математическое обеспечение должно выдавать также собранную информацию о гравитационном поле Земли **в едином формате**, принятом для всех ведомств. Единый формат должен быть достаточно простым и удобным, чтобы математическое обеспечение, применяемое для решения прикладных задач, легко воспринимало данные в этом формате.

5.1. Гравиметрическая информация, подлежащая хранению в базах данных

В базе гравиметрических данных хранится следующая информация.

- **Сила тяжести (или аномалия силы тяжести) или то и другое** в некоторой точке пространства (гравиметрическом пункте).

- **Координаты пункта.** В качестве третьей координаты для пункта на суше указывается его высота над уровнем моря, а для пункта на водной поверхности – глубина в этой точке. Для пункта, полученного измерениями на летательном аппарате, указывается также высота полета.

- **Момент измерений.** Он необходим для высокоточных измерений силы тяжести – имеется в виду введение некоторых поправок (хотя бы учет прямого и косвенного приливного эффекта), а также возможное изменение силы тяжести во времени.

- **Идентификатор пункта** (может отсутствовать, но весьма желателен). Обычно в качестве идентификатора пункта в пределах галса указывают его порядковый номер.

- **Дополнительные сведения**, позволяющие правильно воспользоваться основной информацией.

5.2. Основная гравиметрическая информация

К основной гравиметрической информации относятся сила тяжести, координаты пункта и время измерений. Она может быть представлена разными способами и с разной степенью детальности. Очевидно, что принятый способ должен отвечать максимальному числу возможных применений информации и быть достаточно удобным потребителям.

То же самое относится и к **дополнительной информации**, хотя в этом отношении запросы пользователей базы данных могут различаться, поэтому возможно решение о том, какую именно вспомогательную информацию сохранять и какую можно не сохранять.

В табл. 7 приведены показатели и единицы измерения основной информации в форматах МВФ-05 (проект) и МВФ-78, MGD77, BGI (2003 г.).

Таблица 7

Детальность основных данных
в МВФ-05 (проекте) и в форматах МВФ-78, MGD77 и BGI 2003 г.

Наименование данных	Единица измерения	МВФ-05 (проект)	МВФ-78	MGD77	BGI																								
Длина записи для гравиметрического пункта ¹	байт	148	60	120	145																								
Сила тяжести, аномалии, поправка Этвеша	мГал	0.001	0.1	0.1	0.01																								
Широта и долготы:	м (по широте)	0.0185 ² 0.0111	1.85 ггггммммм	11.1 гггггггг ³	11.1 гггггггг ³																								
Представление		<table><tr><td>±</td><td>г</td><td>г</td><td>.</td><td>г</td><td>г</td><td>г</td><td>г</td><td>г</td><td>г</td><td>г</td><td>г</td></tr><tr><td>±</td><td>г</td><td>г</td><td></td><td>м</td><td>м</td><td>.</td><td>м</td><td>М</td><td>м</td><td>м</td><td>м</td></tr></table>	±	г	г	.	г	г	г	г	г	г	г	г	±	г	г		м	м	.	м	М	м	м	м			
±		г	г	.	г	г	г	г	г	г	г	г																	
±	г	г		м	м	.	м	М	м	м	м																		
Глубина (высота)	м	0.01	0.1	0.1	0.01																								
Момент измерения	с.	0.01	60	0.06	8.64																								
Представление		гггг ммдд ччмм cc.cc	ддммччммм ⁴	ччмммммм	дддддддд ⁵																								

Рассмотрим требования к основным показателям.

1. Координаты пунктов в пределах каталога должны быть представлены единообразно.

2. Пользовательские программы могут различать представление координат по наличию или отсутствию десятичной точки в байте между градусами и минутами широты в первой строке каталога.

3. В форматах MGD77 и BGI координаты даны в виде целых чисел до $0^{\circ}.00001$.

4. В формате МВФ-78 год начала измерений был вынесен в первые 24 записи, содержащие общую информацию о рейсе (объекте).

5. В формате BGI момент измерений представлен в виде номера юлианского дня минус 2400 000, умноженного на 10 000, т. е. с точностью до 10^{-4} суток.

Гринвичское время (GMT) регламентировано для момента измерений в формате BGI, тогда как формат MGD77 позволяет записывать момент по местному времени, указывая отдельно поправку для перехода к GMT. В формате МВФ-78 рекомендовано время по Гринвичу. Проект формата МВФ-05 допускает только GMT, поскольку большинство современных геофизических приборов и навигационных средств работает именно в GMT. Если же по каким-то причинам регистрация происходит в местном или московском времени, в процессе обработки легко перейти к GMT.

Идентификатор пункта относится к основной информации. Он позволяет при работе с десятками и сотнями тысяч измерений легко выделять нужные пункты из массы данных, например, для отбраковки сомнительных данных. Номера пунктов облегчают редактирование каталога и удобны для параболической экстраполяции в некоторых прикладных программах. В качестве идентификатора обычно принимают либо триаду [имя рейса (объекта) + имя галса (профиля) + номер пункта на профиле], либо какую-то часть этой триады. Идентификаторы в рассматриваемых форматах приведены в табл. 8. Под именем объекта и именем галса мы понимаем набор из цифр, заглавных латинских букв и некоторых разрешенных специальных символов (дефис и знак подчеркивания).

Таблица 8

Идентификаторы пунктов в проекте МВФ-05
и в форматах МВФ-78, MGD77, BGI 2003 г.

Форматы	МВФ-05 (проект)	МВФ-78	MGD77	BGI
Идентификатор	IDENггггг ннннн ¹	ггггг нннн	1. <i>Отсутствует</i>	нннннн ²

Примечания.

1. В проекте нового формата МВФ-05 предусмотрены: 9-символьный код (4 символа IDEN для имени рейса и 5 для имени галса), 5-значный номер пункта на данном галсе.

2. В формате BGI записан сквозной 6-значный номер пункта.

5.3. Дополнительная гравиметрическая информация

В проекте формата МВФ-05 в основном сохранено содержание формата МВФ-78 и расположение информации в начальных 24 записях. Предлагаемая кодировка для точностных и других характеристик, как и в формате МВФ-78, основывается на кодах BGI [3]. В кодах для типов гравиметров внесены некоторые новые их типы.

Более существенным дополнением стали только имена (номера) гравиметров, отсутствовавшие в официальном формате МВФ-78 и дописываемые туда на свободное место программами ППП «Магеллан-1».

5.4. Структура формата МВФ-05

Основным недостатком в структуре применяемого формата МВФ-78 является его иерархичное построение (причины его объяснены выше):

- начальные 24 записи с общими сведениями о каталоге пунктов (рейсе, объекте);
- отдельная запись – лидер галса со сведениями, общими для всех последующих пунктов данного галса;
- собственно каталог пунктов по данному галсу.

Такая структура усложняет программы чтения и записи гравиметрической информации и препятствует применению многих прикладных программ, даже программы EXCEL пакета Microsoft Office.

В формате МВФ-78 (прежде всего по той же причине экономии магнитных лент) отсутствовали данные об измерениях отдельными гравиметрами. Поэтому пакеты программ для обработки морских гра-

виметрических измерений (например, ППП «Магеллан» ИФЗ АН СССР) предусматривали свои внутренние форматы, включавшие, в частности, результаты по гравиметрам. Это позволяло найти расхождения в пересечениях и оценить точность измерений каждым гравиметром, а затем и уравнивать измерения индивидуально по каждому прибору.

Структура формата МВФ-05 свободна от перечисленных трудностей. Гравиметрические данные одного рейса записаны в 3 файла.

Таблица 9

Содержание трех файлов формата МВФ-05

Наименование файла	Информация	Имя файла. Расширение ¹
Файл GC1	Секция 1. О рейсе (объекте) в целом, 24 записи Секция 2. Перечень галсов, 1 строка для каждого галса Секция 3. Пояснения исполнителя, свободный текст любой длины	IDENnnnn.GC1
Файл GC2	Собственно каталог гравиметрических пунктов	IDENnnnn.GC2
Файл GC3	Результаты по отдельным гравиметрам и по их комплектам	IDENnnnn.GC3

Примечание: IDEN – первые 4 символа идентификатора рейса, nnnn – любые иные символы, например, номер версии каталога.

Три файла гравиметрического каталога составляют единое целое. Имена файлов должны быть одинаковыми, а расширения – только GC1, GC2 и GC3.

Для большинства прикладных задач файл GC3 может быть не востребованным. В специальных случаях, когда пользователи базы заинтересованы в анализе приборных расхождений, файлы GC2 и GC3 можно обрабатывать параллельно.

Общие правила для файлов МВФ-05 отвечают требованиям к входным файлам для большинства пакетов прикладных программ и обеспечивают визуальный просмотр файла.

Запись в символьных кодах, наличие «десятичной точки» в действительных числах и пробелы между полями с информацией обеспечивают возможность чтения записей в свободном формате.

Фиксированная длина записей в файлах GC2 и GC3 позволяет пользовательским программам осуществлять произвольный (прямой) доступ к файлам, что значительно повышает быстродействие программ.

Формат МВФ-05 не допускает использование кириллицы в идентификаторах гравиметров, рейса и галсов. Это существенно облегчает перенос гравиметрического каталога на ЭВМ другого типа и с другими операционными системами. Строчные буквы не допускаются, так как многие прикладные программы различают заглавные и строчные буквы. Запись информации в файле GC1 латинскими буквами с предпочтением английскому языку предполагает последующий обмен данными с зарубежными и международными центрами данных.

Для некоторых полей формата МВФ-05 информация неизвестна или не указывается по другим причинам (в частности, при передаче в центр сбора данных материалов зарубежных и прежних отечественных экспедиций). Для записи недостающей информации в файле GC2 предусмотрен единый признак отсутствия данных 9999.0. Пропущенные и забракованные пункты не включаются в файлы GC2 и GC3 и в число пунктов на галсе, указанное в байтах 11–15 секции 2 файла GC1.

В проекте формата МВФ-05 предусмотрены два равноправных способа представления координат:

- 1) ± г г . г г г г г г г (градусы до 8-го знака),
- 2) ± г г мм . мм мм (градусы и минуты до 5-го знака).

Первый способ упрощает пользование каталогом, а второй – нагляднее при визуальном просмотре.

5.5. Файл GC1

Данный символьный файл с последовательным доступом содержит три секции:

1. Вводная часть (24 строки по 80 байтов), как и в старом формате МВФ-78.
2. Перечень галсов и краткая информация, связанная с ними.
3. Дополнительные пояснения.

5.5.1. Файл GC1, секция 1

Содержание каждой из 24 записей описано ранее. Как уже было сказано, в начальные записи добавлены имена гравиметров. Они размещены в 14-й записи, начиная с 31-го байта (по 2 байта на каждое имя, а в первом байте 8-й записи, как и в МВФ-78, указано число гравиметров). Имена гравиметров могут потребоваться пользователю, когда он читает файл GC3 с результатами измерений силы тяжести индивидуально каждым гравиметром.

5.5.2. Файл GC1, секция 2

Секция 2 служит своего рода оглавлением каталога, т. е. файлов GC2 и GC3. Каждому галсу каталога соответствует одна строка длиной 121 байт (не считая LF и CR). Содержание строки в основном соответствует «лидеру галса» в МВФ-78 (Инструкция ИГ-78 [1]).

Число пунктов на галсе. Пропущенные или забракованные пункты не включаются в каталог и не входят в это число.

Курс, скорость и расстояние – средние значения на галсе, вычисленные по моментам и координатам первого и последнего пунктов галса, приведенным в каталоге GC2.

5.5.3. Файл GC1, секция 3

Секция 3 содержит любую дополнительную информацию, которую оказалось невозможным закодировать и поместить в секциях 1 и 2 этого файла. Длина записи не должна превышать 80 байтов. Во всех других сомнительных ситуациях исполнителю следует комментировать свои действия.

5.6. Файл GC2

Файл 2 – собственно каталог пунктов. Длина записи 150, считая LF и CR. Каждая строка – один гравиметрический пункт.

Когда измерения выполнены несколькими гравиметрами, исполнитель работ заносит в файл 2 итоговое значение по всем приборам: то среднее или средневзвешенное значение, которое он сам считает наиболее правильным. Если итоговое значение получено не простым осреднением, исполнитель записывает соответствующее пояснение в третью секцию файла GC1.

Высота измерений – для морских наблюдений превышение уровня моря над обычным уровнем в момент измерений (высота морского прилива + ветровой нагон + сейши и т. п.).

Поправка Этвеша записывается та, которая фактически введена в результаты измерений, но не вычисленная по координатам данного и соседних пунктов. Некоторые методики обработки наблюдений на движущемся основании предполагают сглаживание поправки Этвеша,

причем интервал сглаживания и метод выбирает исполнитель. Инструкциями по обработке не регламентирован интервал, на котором вычисляется квадратичный член поправки, и он выбирается исполнителем самостоятельно с целью минимизировать систематическое влияние случайных погрешностей координат. По некоторым другим методикам поправки Этвеша фильтруются, «как в гравиметре» (например, программой ETFILTR2 пакета «Магеллан-2»), и тогда поправки Этвеша не одинаковы для гравиметров с разными постоянными времени. В последнем случае исполнитель записывает в каталог поправку Этвеша для первого по порядку гравиметра (его имя указано в файле GC1, секция 1, запись 14, байты 25–26). Примененный способ вычисления поправки Этвеша должен быть описан в секции 3 файла GC1.

Если измеренные **координаты** имеют меньшую детальность, недостающие цифры справа заменяются пробелами или нулями.

Расстояние отсчитывается по прямой линии от первого пункта галса, вошедшего в каталог. Расстояние представляет собой пример «избыточной информации», поскольку его нетрудно вычислить по координатам пункта. Но, по нашему мнению, расстояние («пикетаж») следует сохранить в формате, так как ряд прикладных программ, применяемых в геологоразведке, требует готового расстояния вдоль профиля в качестве аргумента.

Полная редукция Буге включает в себя *простую редукцию Буге* и *топографическую редукцию*. Простая редукция Буге учитывает только влияние плоскопараллельного слоя заданной эффективной плотности. Топографическая редукция учитывает реальный рельеф местности, т. е. его отличие от плоской пластины. Иногда для расчета топографической редукции принимают разными плотности слагающих пород на суше и на дне акватории.

При расчете аномалии Буге в зависимости от цели вычислений и от наличия данных о рельефе дна и суши могут различаться эффективная плотность и радиус учета реального рельефа. Даже на протяжении одного галса тип примененной редукции Буге может быть разным. Поэтому тип редукции Буге записывается в каждой строке файла GC2 (в прежнем формате МВФ-78 тип редукции Буге предполагался одинаковым на протяжении галса и был указан в лидере галса).

Тип примененной редукции кодируется тремя символами. Если исполнитель применяет иные значения, для которых нет стандартного кода, это оговаривается в 3-й секции файла GC1.

5.7. Файл GC3

Файл GC3 содержит результаты измерений (аномалии в свободном воздухе) по отдельным гравиметрам и, если нужно, по парам или иным комбинациям гравиметров.

Каждая запись файла относится к одному гравиметрическому пункту. Ее порядковый номер в файле GC3 тот же, что и у записи для этого пункта в файле GC2. Первые 35 байтов (идентификатор пункта и момент измерений) идентичны байтам 01–35 файла GC2.

Далее указывается от 1 до 12 результатов. Каждый результат занимает 10 байтов в формате (1x, f9.3). Длина записи в файле зависит от числа результатов и составляет

$$L = 35 + 10N, \quad (41)$$

где N – число результатов в строке, которое равно числу гравиметров плюс число комбинаций. Максимально запись может содержать 12 аномалий (например, по 8 гравиметрам и 4 парам) и иметь длину 155 байтов плюс два служебных символа LF и CR.

Ключом к чтению файла GC3 служат байты 23–40 записи 14 секции 1 файла GC1: число гравиметров (байт 23), общее число результатов (байт 24) и имена-идентификаторы гравиметров (байты 25–40). Порядок записи результатов в файле GC3: сначала результаты по всем гравиметрам в порядке следования имен-идентификаторов, далее — результаты по комбинациям гравиметров. Какие именно комбинации гравиметров записаны в файле GC3, исполнитель указывает в секции 3 файла GC1. Отсутствие такого пояснения означает, что в файле GC3 приведены стандартные комбинации, а именно средние по парам гравиметров: (I+II)/2; (III+IV)/2; (V+VI)/2; (VII+VIII)/2.

Когда число гравиметров меньше восьми, исполнитель имеет возможность записать в файл GC3 несколько вариантов вычислений.

5.8. Особенности аэрогравиметрических измерений

Формат МВФ-05 в равной мере предназначен для представления результатов морских и аэрогравиметрических, причем для последнего вида гравиметрических работ предусмотрены:

- детальность в моменте измерений до 0.01 с.;
- пять знаков в поправке Этвеша, которая в полете может превышать тысячу миллигалов (и иметь знак «минус»);
- на месте глубины – высота пункта на суше над эллипсоидом;
- «высота измерений» – высота полета.

СТРУКТУРА ФОРМАТА МВФ-05 И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ

Гравиметрические данные одного рейса записываются в 3 файла (табл. 1).

Таблица 1

Наименование	Информация	Имя файла. Расширение ¹
Файл GC1	Секция 1. О рейсе (объекте) в целом, 24 записи Секция 2. Перечень галсов, 1 строка для каждого галса Секция 3. Пояснения исполнителя, свободный текст любой длины	IDENnnnn.GC1
Файл GC2	Собственно каталог гравиметрических пунктов	IDENnnnn.GC2
Файл GC3	Результаты по отдельным гравиметрам и по их комплектам	IDENnnnn.GC3

Примечание: IDEN – первые 4 символа идентификатора рейса, nnnn – любые символы, например, номер версии каталога.

Три файла гравиметрического каталога составляют единое целое. Имена файлов должны быть одинаковыми, а расширения – только GC1, GC2 и GC3.

Форма записи информации в каталог должна удовлетворять следующим правилам.

1. Все файлы – символьные в кодах ASCII.
2. Между полями с данными оставлены пробелы в качестве разделителей. Пробелы внутри чисел недопустимы, нельзя отделять пробелом знак «плюс» (если он записан) или «минус» от числа. Следует либо подтягивать знак к числу, либо заполнять промежуток нулями.
3. Плюс перед числом (широта и долгота пункта, поправка Этвеша, аномалия силы тяжести) может быть опущен, т. е. заменен пробелом.
4. Действительные числа записываются с точкой.
5. Незначащие нули слева желательно заменять пробелами.
6. Файлы GC2 и GC3 имеют строго фиксированную длину строки (включая в нее LF и CR в конце каждой строки). Это позволяет осуществить произвольный доступ к файлам.

7. 4-символьный идентификатор (имя) рейса (объекта) назначается исполнителем в виде набора из цифр, заглавных латинских букв и разрешенных специальных символов: дефис и знак подчеркивания. Строчные буквы не допускаются.

8. В формате МВФ-03 эти 4 символа служат первыми символами имен файлов, повторяются в качестве начальных символов идентификаторов галсов во второй секции файла GC1 и повторяются в байтах 1–4 каждой строки-пункта в файлах GC2 и GC3.

9. В файле GC1 также следует употреблять только заглавные или строчные латинские буквы (английский язык). Строчные буквы наряду с заглавными допустимы только в секции 3 файла GC1.

10. Как следует указывать отсутствие информации в файле GC1, в каждом случае оговорено особо. Недостающие действительные числа в файле GC2 заменяются единообразно числом 9999.0 (единым признаком отсутствия данных). При отсутствии даты на месте года, месяца и дня записываются нули. При отсутствии времени измерений нули записываются вместо часов, минут и целых секунд.

11. Пропущенные и забракованные пункты не включаются в файлы GC2 и GC3 и в число пунктов на галсе.

12. В проекте формата МВФ-03 предусмотрены два равноправных способа представления координат:

1) градусы до 8-го знака,

2) градусы и минуты до 5-го знака.

13. Момент измерений указывается по Гринвичу (GMT).

Файл GC1

Файл GC1 содержит три секции:

1. Вводная часть (24 строки по 80 байтов), как и в старом формате МВФ-78.
2. Перечень галсов и краткая информация, связанная с ними.
3. Дополнительные пояснения.

Файл GC1, секция 1

Запись 01

Байты	Формат	Содержание
01	a1	'1'
02–09	8a1	Международный код съемки. Если нет — пробелы
10–14	5a1	'MVF05' (Межведомственный формат 2003 г.)
15–22	8a1	Шифр каталога в центре сбора данных. При представлении данных в центр не заполняется
23–26	4x	Не заполняется
27–31	5i1	Измерявшиеся в рейсе геофизические параметры: 27 – батиметрия 28 – магнитометрия 29 – гравиметрия 30 – сейсмопрофилирование 31 – глубинное сейсмическое зондирование. В каждом из этих байтов указывается один из следующих кодов: 0 – не известно 3 – измерения проводились, но в данном файле их нет 5 – измерения проводились, и они есть в файле Например, если в рейсе, помимо силы тяжести, измерялись глубина и магнитное поле, то в байты 27–31 заносятся коды 5 3 5 1 1
32–37	3i2	Дата создания настоящего файла (год, месяц, день)
38–45	8a1	Шифр, под которым материалы рейса хранятся в организации, передавшей настоящий файл-каталог в центр сбора данных
46	a1	Вид, в котором материалы поступили в центр сбора данных. Заполняется в центре
47–78	32a1	Организация, передавшая данные в центр
79–80	i2	'01'

Запись 02

Байты	Формат	Содержание
01–18	18a1	Страна – исполнитель измерений
19–39	21a1	Название судна или иного носителя, с которого выполнены измерения
40	a1	Тип вышеупомянутого носителя: 0 – не известно 1 – надводное судно 2 – подводная лодка 4 – буй 5 – дрейфующий лед 6 – неподвижное основание, в т. ч. штатив на мелководье 7 – гондола 8 – донный прибор (подводный аппарат на дне) 9 – прочие (назвать в байтах 41–46) A – аэроплан B – вертолет
41–46	6a1	То же самое — кратко текстом, например, SHIP, PLANE, SUBMAR, BOTTOM
47–78	32a1	Руководитель гравиметрических измерений, например, GRAVITY CHIEF TULIN
79–80	i2	'02'

Запись 03

Байты	Формат	Содержание
01–03	3a1	Название судна сокращенно тремя буквами. Заполняется в центре сбора данных. Например, «Витязь» – VIT, «Академик Курчатов» – AKU
04	a1	Источник номера рейса: 0 – номера рейса не существует 1 – номер рейса существует официально 2 – номер присвоен в центре сбора данных
05–07	3a1	Номер рейса. Если номер официальный, заполняется исполнителем. Если нет – в центре сбора данных.
08–58	51a1	Название проекта, если рейс выполнен в рамках какого-либо проекта, например, GEOSX. Здесь же рекомендуется дать краткое описание съемки, например, AREA SURVEY OF MID.ATL. RIDGE
59–78	20a1	Организация-заказчик и организация, финансировавшая измерения, если таковая была (отличная от организации-исполнителя), например: KIMAGE SEVMORGEО
79–80	i2	'03'

Запись 04

Байты	Формат	Содержание
01–06	3i2	Дата выхода судна в рейс (год, месяц, день)
07–40	34a1	Порт выхода и страна
41–46	3i2	Дата прихода из рейса (год, месяц, день)
47–78	32a1	Порт прихода и страна
79–80	i2	'04'

Запись 05

Байты	Формат	Содержание
01–40	40a1	Навигационное оборудование судна (перечислить), например: GPS, MAGNAVOX
41–78	38a1	Навигационное обеспечение для определения места гравиметрических пунктов (перечислить в том порядке, в каком чаще применялось, например: 1 – MAGNAVOX, 2 – BY EYE)
79–80	i2	'05'

Запись 06

Байты	Формат	Содержание
01–40	40a1	Средства для измерения глубины с указанием основных технических параметров: частоты, ширины луча и т. д.
41–78	38a1	Организация, где находятся первичные материалы батиметрии с указанием их формы (ANALOG.RECS или DIGITIZED DATA и т. п.)
79–80	i2	'06'

Запись 07

Байты	Формат	Содержание
01–40	40a1	Средства для измерения магнитного поля, если таковые измерения проводились
41–78	38a1	Организация, где находятся первичные материалы магнитометрии с указанием их формы (ANALOG.RECS или CD ROM и т. п.)
79–80	i2	'07'

Запись 08

Байты	Формат	Содержание
01	i1	Общее число гравиметров, которыми выполнены измерения
02	1x	Пробел
03–40	38a1	Средства для измерения силы тяжести с указанием числа и типа приборов (перечислить), например, 3* AMG + 4*GMNK
41–78	38a1	Организация, где находятся первичные материалы гравиметрических измерений с указанием их формы (CD ROM и т. п.)
79–80	i2	'08'

Запись 09

Байты	Формат	Содержание
01–40	40a1	Средства для сейсмопрофилирования и для ГСЗ, если таковые измерения проводились
41–78	38a1	Организация, где находятся материалы сейсмометрии с указанием их формы (ANALOG RECS, CD ROM и т. п.)
79–80	i2	'09'

Запись 10

Байты	Формат	Содержание
01	a1	'A'
02	1x	Не заполняется
03–64	62a1	<p>Форматы чтения на Фортране информации, содержащейся в файле GC2, а именно: 'A4, A5, 1X, I5, 1X, I4, I2, I2, 1X, I2, I2, 1X, F5.2, 1X, F12.8, 1X, F13.8, 1X,'</p> <p><i>Примечание:</i> здесь указан формат для представления координат в градусах с долями. Если они указаны в виде градусов и минут с долями, то вместо группы дескрипторов 'F12.8, 1X, F13.8, 1X' следует указать группу 'I3, 1X, F8.5, 1X, I4, 1X, F8.5, 1X' (список дескрипторов закончится байтом 74)</p>
65–78	14x	Не заполняются
79–80	i2	'10'

Запись 11

Байты	Формат	Содержание
01	a1	'A'
02–78	67a1	Продолжение списка форматов (начало списка в записи 10), а именно: 'F8.2, 1X, F7.2, 1X, F5.1, 1X, F5.1, 1X, F10.5, 1X, F9.3, 1X, F10.3, 1X, F9.3, 1X, A3, 1X, F9.3'
79–80	i2	'11'

Альтернативный вариант записей 10 и 11. Если он будет принят вместо вышеописанного, который аналогичен формату МВФ-78, то в текст отчета Институт физики Земли РАН предлагает включить абзац:

В отличие от формата МВФ-78, в проекте формата МВФ-05 данные из файла GC2 допускают чтение в свободном формате. Поэтому в записях 10-й и 11-й секции 1-го файла GC1 указываются не форматы чтения, а прямо содержание полей.

Запись 10 (альтернативный вариант)

Байты	Формат	Содержание
01–78	78a1	'OBJECT//LINE_NUM_YYYYMMDD HHMMSS.SSS_', 'LAT_LON_DEPTH_HEIGHT_AZIM_SPEED_DISTANCE',
79–80	i2	'10'

Запись 11 (альтернативный вариант)

Байты	Формат	Содержание
01–43	43a1	'GRAVI- TY_FREEAIRANOM_BOUGERCODE_BOUGUERANOM',
44–78	35x	Не заполняются
79–80	i2	'10'

Запись 12

Байты	Формат	Содержание
01–05	f5.1	Интервал времени в секундах между значениями глубины, регистрируемыми в цифровом виде. Например, если в журнале промера глубины указаны через 5 мин., то указать 300.0. Если интервал превышает 15 мин., указать 000.0
06–14	f9.3	Частота измерения глубин инструментальная, Гц

15–20	f6.1	Принятая скорость звука, м/с, например, 1436.0 или 1500.0
21–22	2a1	Нуль, к которому приведены глубины: 00 – без приведения (уровень моря) 01 – наинизший возможный уровень малой воды (ниже среднего уровня моря на половину максимальной амплитуды прилива) 02 – средняя низкая малая вода 03 – низший уровень малой воды (соответствует наинижнему уровню малой воды в данном месте или немного ниже) 04 – средняя низкая малая сизигийная вода 05 – индийская сизигийная малая вода 06 – средняя малая сизигийная вода 07 – средний уровень моря 08 – средняя малая вода 09 – экваториальная малая сизигийная вода 10 – тропическая низкая малая вода 11 – теоретический нуль глубин 88 – прочие 99 – не известно
23–78	56a1	Метод интерполирования глубин на моменты гравиметрических измерений (кратко), например, 15–MIN INTERVALS PLUS EXTREMUMS. Здесь же указывается нуль глубин, если он не подошел ни под один из указанных выше кодов
79–80	i2	'12'

Запись 13

Байты	Формат	Содержание
01–78	78x	Не заполняются
79–80	i2	'13'

Запись 14

Байты	Формат	Содержание
01–05	f5.0	Стандартный шаг выдачи значений силы тяжести в каталоге, с. Увеличение шага при пропуске пунктов в каталоге здесь не принимается во внимание. Если шаг выдачи на протяжении рейса меняется, указать 999.0
06–15	F10.3	Частота измерений инструментальная, Гц. При непрерывной (аналоговой) регистрации указать 00
16	a1	Примененная формула нормального значения силы тяжести: 1 – Хейсканена 1924 г.

		2 – Кассиниса («Международная 1930 г.») $978\ 049.0 (1 + 0.0052884\sin^2\varphi - 0.0000059\sin^2 2\varphi)$ 3 – Геодезическая референц-система 1967 г. $978\ 031.85 (1 + 0.005278895\sin^2\varphi + 0.000023462 \sin^4\varphi)$ 4 – Гельмерта 1901 г. $978\ 030.0 (1 + 0.0053020\sin^2\varphi - 0.0000070 \sin^2 2\varphi)$ 5 – Гельмерта 1901 г. с поправкой минус 14,0 мГал $978\ 030.0 (1 + 0.0053020\sin^2\varphi - 0.0000070 \sin^2 2\varphi) - 14.0$ 6 – Геодезическая референц-система 1980 г. $978\ 032.68 (1 + 0.005302440\sin^2\varphi + 0.000023462 \sin^4\varphi)$ 7 – прочие (с пояснением в секции 3 файла GC1)
17-20	a4	То же четырьмя символами: 'HEIS', 'CAS ', 'GEL ', 'G-14', '1967', '1980', 'OTHR'
21	a1	Система: 2 – Потсдамская 3 – IGSN71 9 – Прочая (с пояснением в секции 3 файла GC1)
22	1x	Пробел
23	i1	Число гравиметров в файле GC3
24	i1	Число комбинаций гравиметров в файле GC3
25–40	8a2	Имена (номера) гравиметров (до 8 приборов) по 2 символа (цифры и буквы) на каждый
41	a1	Способ нумерации галсов: 0 – не известен 1 – номера галсам присвоены исполнителем 2 – номера присвоены в центре сбора данных
42	a1	Способ градуировки (калибровки, эталонирования) гравиметров: 0 – неизвестен 1 – по пунктам (независимо от данного рейса) 2 – по пунктам в портах захода данного рейса 3 – методом наклона 4 – взяты паспортные данные приборов 5 – способ, предусмотренный конструкцией прибора: дополнительными грузиками, переворачиванием и др.
43–78	36a1	Основные поправки, введенные при обработке измерений: DRIFT (смещение нуля), TARES (скачки), TEMPER. (температура), ACC+TILTS (совместное влияние ускорений и наклонов) и др.
79–80	i2	'14'

Запись 15

Байты	Формат	Содержание
01–10	f10.3	Сила тяжести G на исходном пункте, мГал

11–40	30a1	Исходный пункт: страна, название пункта и его номер по каталогу (с кратким названием каталога)
41–50	f10.3	Сила тяжести G на заключительном пункте, мГал
51–78	28a1	Заключительный пункт: страна, название пункта и его номер по каталогу (с кратким названием каталога)
79–80	i2	'15'

Запись 16

Байты	Формат	Содержание
01–02	i2	Число десятиградусных квадратов, в которые попали гравиметрические пункты рейса (в это число не включается код 9999, замыкающий перечень квадратов)
03	1x	Не заполняется
04–78	15 (i4,1x)	Перечень квадратов. Каждый десятиградусный квадрат кодируется четырехразрядным десятичным кодом. Коды разделяются пробелами. Первая цифра кода вытекает из сочетания знаков при долготе и широте: 1 – сев. широта и вост. долгота, 3 – юж. широта и вост. долгота, 5 – юж. широта и зап. долгота, 7 – сев. широта и зап. долгота. Вторая цифра равна числу десятков градусов в широте, третья и четвертая – числу сотен и десятков градусов в долготе. Например, если пункт имеет координаты 37 ю. Ш. и 04 в. д., он попадает в квадрат 3300. Пункт с координатами 34 с. ш. и 143,5 з. д. — в квадрат 7314
79–80	i2	'16'

Запись 17

Байты	Формат	Содержание
01–03	3x	Не заполняются.
04–78	15 (i4,1x)	Продолжение перечня квадратов, если он не уместился в предыдущей записи. Перечень завершается дополнительным «номером» 9999
79–80	i2	'17'

Записи 18 — 24

Байты	Формат	Содержание
01–78	15 (i4,1x)	Любые дополнительные данные, которые целесообразно сообщить о рейсе
79–80	i2	Номер записи

Файл GC1, секция 2

Каждому галсу каталога соответствует одна строка (запись).

Запись 01

Байты	Формат	Форма представления	Содержание
01–04 05–09	a5 a4	Текст	Идентификатор рейса (объекта) Идентификатор (имя, номер) галса
10	1x	Пробел	
11–15	i5	Целое число	Число пунктов в галсе в файлах GC2 и GC3, т.е. не считая пропущенных и забракованных пунктов
16	1x	Пробел	
17–20	i4	Целое число	Момент 1-го пункта на галсе: год (гггг)
21	1x	Пробел	
22–25	2i2	Целое число	Момент 1-го пункта: месяц и день (ммдд)
26	1x	Пробел	
27–30	2i2	Целое число	Момент 1-го пункта: часы и минуты (ччмм)
31	1x	Пробел	
32–39	f8.4	Действ. число	Координаты 1-го пункта галса: широта (\pm гг.гггг)
40	1x	Пробел	
41–49	f9.4	Действ. число	Координаты 1-го пункта галса: долгота (\pm ггг.гггг)
50	1x	Пробел	
51–58	f8.4	Действ. число	Координаты последнего пункта: широта (\pm гг.гггг)
59	1x	Пробел	
60–68	F9.4	Действ. число	Координаты последнего пункта: долгота (\pm ггг.гггг)
69	1x	Пробел	
70–74	f5.1	Действ. число	Курс, градусы (по прямой от первого пункта к последнему)
75	1x	Пробел	
76–80	f5.1	Действ. число	Скорость, узлы (по прямой от первого пункта к последнему)
81	1x	Пробел	
82–88	f7.2	Действ. число	Расстояние, км (между первым и последним пунктами)
89	1x	Пробел	
90–92	f3.1	Действ. число	Среднее число гравиметров

Файл GC1, секция 2 (продолжение)

Байты	Формат	Форма представления	Содержание
93	1x	Пробел	
94	a1	Текст	Способ нумерации пунктов на галсе: 0 – не известно 1 – номера присвоены исполнителем 2 – номера присвоены в центре сбора данных
96	a1	Текст	Тип наблюдений: 1 – опорные наблюдения в море 2 – рядовые пункты 3 – контрольные измерения 4 – опытные, исследовательские работы 5 – наблюдения в дрейфе 6 – наблюдения на рейде 7 – опорные наблюдения у причала
96	a1	Текст	Наличие других геофизических измерений на галсе (сведения о проведении других геофизических работ в рейсе содержатся в первой записи файла): 4 – были измерения магнитного поля 2 – было сеймопрофилирование 1 – было ГСЗ 5 = 4 + 1 – были магнитометрия и ГСЗ и т. д.
97	a1	Текст	Класс съемки
98	1x	Пробел	

Файл GCI, секция 2 (продолжение)

Байты	Формат	Форма представления	Содержание
99–100	a2	Текст	<p>Способ определения координат гравиметрических пунктов на галсе. В байте 50 указывается основной способ. Если применялся также и другой способ, его код указывается в байте 51 (в противном случае правый байт не заполняется):</p> <p>0 – не известен 1 – Декка, Марс–75 2 – визуально 3 – радиолокатор 4 – Лоран–А 5 – Лоран–С 6 – «Омега» или VLF 7 – спутниковый навигатор типа «Транзит» («Цикада») 8 – радиогеодезическая система 9 – по звездам и солнцу (секстантом) А – спутниковый навигатор типа GPS В – радиодальномерная система Мир, Изумруд, Силедис С – GPS</p>

Файл GC1, секция 2 (продолжение)

Байты	Формат	Форма представления	Содержание
101	a1	Текст	Точность координат гравиметрических пунктов, характеризуемая окружностью, радиус которой равен ср. кв. погрешности положения (включая погрешность интерполирования между наблюдениями). Если погрешности определения широты и долготы заметно различаются, в качестве радиуса указывается средняя квадратическая погрешность долготы. Коды погрешности: 0 – не известна С – радиус меньше 2 м В – от 2 до 5 м А – от 5 до 10 м 1 – от 10 до 20 м 2 – от 20 до 50 м 3 – от 50 до 100 м 4 – от 100 до 200 м 5 – от 200 до 500 м 6 – от 500 до 1000 м 7 – от 1000 до 2000 м 8 – от 2000 до 5000 м 9 – больше 5000 м
102	a1	Текст	Код способа определения координат: 1 – непосредственная обсервация 2 – интерполирование 9 – не указан
103	a1	Текст	Кем оценена точность навигации: 5 – исполнителем измерений 6 – центром сбора данных 9 – не известно
104	1x	Пробел	

Файл GCI, секция 2 (продолжение)

Байты	Формат	Форма представления	Содержание
105	a1	Текст	Способ определения глубин на галсе: 1 – лот 2 – манометр 3 – сейсмопрофилограф 4 – эхолот с поправкой Метьюза по таблицам 1939 г. 5 – эхолот без поправки Метьюза, принимая скорость звука 1500 м/с 6 – то же, принимая скорость звука 1463 м/с 8 – интерполирование по морской навигационной карте А – многолучевой эхолот 9 – глубины на галсе отсутствуют
106	a1	Текст	Относительная с. к. п. глубины моря на гравиметрических пунктах: 0 – не известна 1 – меньше 0,2% 2 – от 0,2 до 0,5% 3 – от 0,5 до 1,0% 4 – от 1,0 до 2,0% 5 – от 2,0 до 5,0% 6 – более 5,0%
107			Вопрос: Нужен ли еще код для абсолютной ошибки, м ???

Файл GC1, секция 2 (продолжение)

Байты	Формат	Форма представления	Содержание
108	a1	Текст	Код точности батиметрических измерений 0 – данные высокой точности 1 – максимальная эффективная полуширина луча меньше 5° 2 – от 5 до 16° 3 – от 16 до 25° 4 – более 25° 5 – предполагается низкая (но приемлемая) точность 6 – известно, что точность низкая (но приемлемая) 7 – предполагается плохая (неприемлемая) точность 8 – известно, что точность плохая (неприемлемая) 9 – точность не известна
109–110	a2	Текст	Код введенных батиметрических поправок: 01–55 – номер зоны Метьюза 59 – поправка Метьюза введена, зона не указана 60 – формула Кувахары 61 – формула Вильсона 62 – формула Дель Гроссо 88 – другие поправки, указанные в описании 99 – поправки не указаны
111	a1	Текст	Код способа определения глубин: 1 – непосредственное наблюдение 2 – интерполирование 9 – не указан
112	1x	Пробел	

Файл GC1, секция 2 (продолжение)

Байты	Формат	Форма представления	Содержание
113–114	a2	Текст	<p>Тип гравиметра, измерения которым приведены в галсе. Для средних результатов по гравиметрам различных типов указать тот, который получил наибольший вес. Если приборы различных типов имеют примерно равные веса, указать 99 (полный перечень аппаратуры дан в 8-й записи начальных строк файла GC1):</p> <p>Маятниковые приборы:</p> <p>13 – ММП–П 14 – АМП–1 15 – АМП–2 16 – «Можжевельник» 19 – прочие</p> <p>Абсолютные гравиметры:</p> <p>24 – JPLAg, GC5 26 – A10 27 – ГБЛ, ГАБЛ 29 – Прочие</p> <p>Наземные гравиметры:</p> <p>51 – Седин 53 – Уорден 54 – Уорден в термостате 55 – Уорлд Уайд 56 – ГАК (3М, 4М, 6М, ПТ), ГРК–2, ГНУ–КА, ДЕЛЬТА 57 – Шарп 58 – ГНШК–2 59 – прочие</p> <p>Донные гравиметры:</p> <p>64 – Лакоста – Ромберг 65 – струнный WING 66 – КДГ–2, КДГ–3 67 – КДГ–4, ГМТД, ГДКГ 69 – прочие</p> <p>Гравиметры для измерений в движении:</p> <p>70 – «Аскания» GSS–2 71 – «Аскания» GSS–3 73 – Лакоста – Ромберга (модель SL) 74 – ГАЛ–Ф, ГАЛ–М 75 – АМГ 76 – японский струнный TSSG, Нипро-</p>

			ри–1, Нипрори–2 77 – струнные GSI, VSA (США) 78 – ГМН, ГМН–К, Флагман 80 – Лакоста – Ромберга (модель S) 81 – ГСД, ГАМС 85 – Чета–АГГ, МГК 86 – Бодензееверке KSS–30, KSS–51 87 – BGM–3 88 – ГИС–1
115–118	i4	Целое число	Интервал сглаживания показаний гравиметра для подавления вертикальных возмущающих ускорений, в секундах. Для приборов, конструкция которых такова, что интервал сглаживания не существует в явном виде, указать 9999
119	i1	Целое число	Число приборов, инструментальные ошибки которых на данном галсе независимы. Если применяются два односистемных гравиметра с противоположной ориентировкой и условия измерений не позволяют брать индивидуальные результаты каждого из них, такой комплект указывается как один прибор. Несколько гравиметров на общей гироплатформе указываются как один прибор
120	a1	Текст	Ср. кв. погрешность аномалии в свободном воздухе: 0 – не известна А – меньше 0,1 мГал В – от 0,1 до 0,2 мГал С – от 0,2 до 0,3 мГал 1 – от 0,3 до 0,5 мГал 2 – от 0,5 до 1,0 мГал 3 – от 1,0 до 2,0 мГал 4 – от 2,0 до 3,0 мГал 5 – от 3,0 до 5,0 мГал 6 – от 5,0 до 10,0 мГал 7 – от 10,0 до 20,0 мГал 8 – больше 20,0 мГал

Файл GCI, секция 2 (продолжение)

Байты	Формат	Форма представления	Содержание
121	a1	Текст	<p>Код точности гравиметрических данных (ср. кв. погрешность, оцененная по пересечениям):</p> <p>0 – данные высокой точности</p> <p>1 – погрешность до 3 мГал</p> <p>2 – погрешность от 3 до 5 мГал</p> <p>3 – погрешность от 5 до 10 мГал</p> <p>4 – погрешность более 10 мГал</p> <p>5 – предполагается низкая (но приемлемая) точность</p> <p>6 – известно, что точность низкая (но приемлемая)</p> <p>7 – предполагается плохая (неприемлемая) точность</p> <p>8 – известно, что точность плохая (неприемлемая)</p> <p>9 – точность не известна</p>

Файл GC1, секция 3

Секция 3 содержит любую дополнительную информацию, которую оказалось невозможным закодировать и поместить в секциях 1 и 2 этого файла. Длина записи не должна превышать 80 байтов. Выше отмечены некоторые случаи, о которых должна быть сделана запись в секции 3. Во всех других сомнительных ситуациях исполнителю следует комментировать свои действия.

Файл GC2

Файл 2 – собственно каталог пунктов. Длина записи 148, не считая служебных байтов LF и CR. Каждая запись – один гравиметрический пункт. Когда измерения выполнены несколькими гравиметрами, исполнитель работ заносит в файл 2 итоговое значение по всем приборам: то среднее или средневзвешенное значение, которое он считает наиболее правильным. Если итоговое значение получено не простым осреднением, исполнитель записывает соответствующее пояснение в третью секцию файла GC1.

Высота измерений – для морских наблюдений превышение уровня моря над обычным уровнем в момент измерений (высота морского прилива + ветровой нагон + сейши и т. п.).

Поправка Этвеша записывается та, которая фактически введена в результаты измерений, но не вычисленная по координатам данного и соседних пунктов. Некоторые методики обработки наблюдений на движущемся основании предполагают сглаживание поправки Этвеша, причем интервал сглаживания и метод выбирает исполнитель из своих соображений. Инструкциями по обработке не регламентирован интервал, на котором вычисляется квадратичный член поправки, и он выбирается исполнителем самостоятельно с целью минимизировать систематическое влияние случайных погрешностей координат. По некоторым другим методикам поправки Этвеша фильтруются, «как в гравиметре» (например, программой ETFILTR2 пакета «Магеллан-2»), и тогда поправки Этвеша различаются для гравиметров с разными постоянными времени. В последнем случае исполнитель записывает в каталог поправку Этвеша для первого по счету гравиметра. Примененный способ вычисления поправки Этвеша должен быть описан в третьей секции файла GC3.

Если измеренные **координаты** имеют меньшую детальность, недостающие цифры справа заменяются пробелами или нулями.

Расстояние отсчитывается по прямой линии от первого пункта галса, вошедшего в каталог. Расстояние представляет собой пример «избыточной информации», поскольку его нетрудно вычислить по координатам пункта. Но расстояние («пикетаж») следует сохранить в формате, так как ряд прикладных программ, применяемых в геолого-разведке, требует готовое расстояние вдоль профиля в качестве аргумента.

Файл GC2

Байты	Формат	Форма представления	Содержание
01–04 05–09	a5 a4	Текст	Идентификатор рейса (объекта) Идентификатор (имя, номер) галса
10	1x	Пробел	
11–15	i5	Целое число	Номер пункта. Номера, присвоенные исполнителем, могут начинаться не с 1-го и иметь пропуски
16	1x	Пробел	
17–24	i4,i2,i2	Целые числа	Момент: год, месяц и день (ггггммдд)
25	1x	Пробел	
26–35	2i2,f6.3	Целые числа и действ. число	Момент: часы, минуты и секунды с десятичными (ччммсс.ссс)
36	1x	Пробел	
37–48	f12.8	Действ. число	Широта (\pm гг.гггггггг) ¹
49	1x	Пробел	
50–62	f13.8	Действ. число	Долгота (\pm ггг.гггггггг) ¹
63	1x	Пробел	
64–71	f8.2	Действ. число	Глубина, м
72	1x	Пробел	
73–79	f7.2	Действ. число	Высота измерений, м
80	1x	Пробел	
81–85	f5.1	Действ. число	Курс, градусы
86	1x	Пробел	
87–91	f5.1	Действ. число	Скорость, узлы
92	1x	Пробел	
93–102	f7.2	Действ. число	Расстояние, км (от начального пункта галса)
103	1x	Пробел	

Примечание: Когда координаты указываются в виде градусов и минут с долями, информация в байтах 37–62 имеет вид

Байты	Формат	Форма представления	Содержание
37–39	i3	Целое число	Широта: градусы (\pm гг)
40	1x	Пробел	
41–48	f8.5	Действ. число	Широта: минуты (мм.мммммм)
49	1x	Пробел	
50–53	i4	Целое число	Долгота: градусы (\pm гг)
54	1x	Пробел	
55–62	f8.5	Действ. число	Долгота: минуты (мм.мммммм)

Файл GC2 (продолжение)

Байты	Формат	Форма представления	Содержание
104–112	f9.3	Действ. число	Поправка Этвеша, мГал
113	1x	Пробел	
114–123	f10.3	Действ. число	Полная сила тяжести G, мГал
124	1x	Пробел	
125–133	f9.3	Действ. число	Аномалия в свободном воздухе, мГал
134	1x	Пробел	
135–137	a3	Текст (код)	Тип аномалии Буге
138	1x	Пробел	
139–148	f9.3	Действ. число	Аномалия Буге, мГал

Тип примененной редукции кодируется тремя символами, указанными ниже. Если исполнитель применяет иные значения, для которых нет стандартного кода, это оговаривается в 3-й секции файла GC1.

Трехсимвольный код типа поправки Буге

1-й символ		2-й символ		3-й символ	
Код	Радиус учета рельефа, км	Код	Эффективная плотность при засыпке акваторий, г/см ³	Код	Эффективная плотность при учете рельефа на суше, г/см ³
0	Рельеф не учтен	1	1.27	1	2.30
1	5.0 км (зона H2 Хейфорда)	2	1.64	2	2.67
2	30.0 км (зона L)				
3	100.0 км (зона N)				
4	167.0 км (зона O2)				
5	50.0 км				
B	Кольцевая зона от 1 до 167 км				
C	Кольцевая зона от 2.3 до 167 км				
D	Кольцевая зона от 5.2 до 167 км				
E	Радиус не известен				
F	58.8 км (зона M)				
G	3.5 км (зона G)				
H	18.8 км (зона K)				
9	Иной радиус				

Файл GC3

Файл GC3 содержит результаты измерений (аномалии в свободном воздухе) по отдельным гравиметрам и, если нужно, по парам или иным комбинациям гравиметров. Расположение информации в строке файла GC3 приведено в данном приложении.

Каждая запись файла относится к одному гравиметрическому пункту. Ее порядковый номер в файле GC3 тот же, что и у записи для этого пункта в файле GC2. Первые 35 байтов (идентификатор пункта и момент измерений) идентичны байтам 01–35 файла GC2.

Далее указываются от 1 до 12 результатов. Каждый результат занимает 10 байтов в формате (1x, f9.3). Длина записи в файле зависит от числа результатов и составляет

$$L = 35 + 10N,$$

где N – число результатов в строке, которое равно числу гравиметров плюс число комбинаций. Максимально запись может содержать 12 аномалий (например, по 8 гравиметрам и 4 парам) и иметь длину 155 байтов плюс два служебных символа LF и CR.

Ключом к чтению файла GC3 служат байты 23–40 записи 14 секции 1 файла GC1: число гравиметров (байт 23), общее число результатов (байт 24) и имена-идентификаторы гравиметров (байты 25–40). Порядок записи результатов в файле GC3: сначала результаты по всем гравиметрам в порядке следования имен-идентификаторов, далее — результаты по комбинациям гравиметров. Какие именно комбинации гравиметров записаны в файле GC3, исполнитель указывает в секции 3 файла GC1. Отсутствие такого пояснения означает, что в файле GC3 приведены стандартные комбинации, а именно средние по парам гравиметров: (I+II)/2; (III+IV)/2; (V+VI)/2; (VII+VIII)/2.

Когда число гравиметров меньше восьми, исполнитель имеет возможность записать в файл GC3 несколько вариантов вычислений:

Байты	Формат	Форма представления	Содержание
01–04 05–09	a5 a4	Текст	Идентификатор рейса (объекта) Идентификатор (имя, номер) галса
10	1x	Пробел	
11–15	i5	Целое число	Номер пункта. Номера, присвоенные исполнителем, могут начинаться не с 1-го и иметь пропуски
16	1x	Пробел	
17–24	i4,i2,i2	Целые числа	Момент: год, месяц и день (ггггммдд)
25	1x	Пробел	
26–35	2i2,f6.3	Целые числа и действ. число	Момент: часы, минуты и секунды с десятичными (ччммсс.ссс)
36	1x	Пробел	
37–45	f9.8	Действ. число	1-й гравиметр: аномалия в свободном воздухе
46	1x	Пробел	
47–55	f9.8	Действ. число	2-й гравиметр
и т. д.			

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие гравиметрические комплексы для проведения морских и аэрогравиметрических исследований вы знаете?
2. Для чего предназначен гравиметр Чекан АМ?
3. Комплекс Шельф («Попугай») является модификацией какого гравиметра?
4. Какие задачи обеспечивают гравиметрические комплексы?
5. Принцип действия датчика гравиметрического.
6. Схема датчика гравиметрического. Что является его основой?
7. Из чего состоит двойная кварцевая упругая система гравиметра крутильного типа?
8. Для чего предназначена система термостатирования?
9. Устройство гироскопической платформы.
10. Принцип действия системы гироскопической стабилизации.
11. Различия двух версий Чекан АМ и Шельф («Попугай»).
12. Для чего предназначен гравиметр Силомер?
13. Решение каких основных задач обеспечивает гравиметр Силомер?
14. Основные параметры и технические характеристики гравиметра Силомер.
15. Из каких блоков состоит центральный прибор гравиметра?
16. Какие блоки входят во вспомогательные приборы?
17. Как записывается основное гравиметрическое уравнение, используемое при определении аномалии силы тяжести?
18. Функциональная схема гравиметра Силомер.
19. Из каких блоков и приборов состоит аэрогравиметрический комплекс Силомер?
20. Конструкция гравиметрического чувствительного элемента.
21. Функции гиросtabilизации и термостатирования гравиметра.
22. Что представляет собой прибор управления и индикации?
23. Основные задачи, реализованные в центральном приборе.
24. Какие файлы записываются на жесткий диск прибора управления и индикации?
25. Из каких частей состоят файлы G, S, H?
26. Основные требования к установке гравиметра Силомер на самолете.
27. Общая схема программы SEAGRAV для обработки морских измерений гравиметрическими комплексами Чекан АМ и Шельф («Попугай»).

28. Пакет программ IFZ_SEAGRAV для обработки измерений морскими гравиметрическими комплексами Чекан АМ и Шельф («Попугай»).

29. Для чего предназначена программа SEAGRAVE?

30. По какой формуле определяется поправка Этвеша?

31. Предназначение программы SEAGRAVG.

32. Какие файлы создает Программа SEAGRAVD?

33. Формат файла FileDel для программы SEAGRAVD.

34. Предназначение программы SEAGRAVC.

35. Для чего предназначена программа SEAGRAVB?

36. Форматы входных и промежуточных файлов программы SEAGRAVN.

37. Что формирует программа SEAGRAVK?

38. Формат файла LISTPol для программы SEAGRAVB.

39. Формат файла polig.gc1.

40. Формат файла BLB6.gc2.

41. Для чего предназначена программа SEAGRAVP?

42. Предназначение программы «Chekan_QC».

43. Структурная схема алгоритма разделения полета на галсы.

44. Структурная схема обработки галса.

45. Схема ввода поправки за вертикальное ускорение.

46. Амплитудно-частотная характеристика фильтра.

47. Предназначение программного обеспечения SR2MSU (версия 1.7).

48. Что осуществляют модули SR2NAV, SR2G20, SR2GRAV?

49. Формула для определения аномалий силы тяжести на высоте полета.

50. По каким формулам определяются измеренные значения по гравиметру, тренд гравиметра, абсолютные значения и аномалии силы тяжести?

51. Значение межведомственного формата хранения и обмена гравиметрическими данными.

52. Гравиметрическая информация, подлежащая хранению в базах данных.

53. Детальность основных данных в проекте МВФ-05 и в форматах МВФ-78, MGD77 и BGI 2003 г.

54. Требования к основным показателям в различных форматах.

55. Структура формата МВФ-05.

56. Файлы GC1, GC2 и GC3 и их содержание.

57. Особенности аэрогравиметрических измерений в формате МВФ-05.

58. Структура формата МВФ-05 и представление информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блажнов Б.А., Несенюк Л.П., Пешехонов В.Г., Соколов А.В., Элинсон Л.С., Железняк Л.К. Интегрированный мобильный гравиметрический комплекс. Результаты разработки и испытаний // Применение гравиинерциальных технологий в геофизике: сб. ст. и докл. / под ред. В.Г. Пешехонова. СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2002. С. 33–44.
2. *Гравиметр GT-2A (GT-2M)*: учеб. пособие. М.: ЗАО НТП Гравиметрические технологии, 2011.
3. Единые технические требования по мировой гравиметрической съемке. Ч. IV: Инструкция по морской гравиметрической съемке (ИГ-78). ГУНиО МО, 1979.
4. Пешехонов В.Г., Степанов О.А., Августов Л.И., Блажнов Б.А. и др. Современные методы и средства измерения параметров гравитационного поля Земли. СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2017. С. 33–44.
5. EOL Land data format record description 126 characters, EOS Sea data format record description 146 characters // Bureau Gravimetrie International. Bulletin d'Information. June 2003. № 92. 9–17.
6. Lepretre J.P. Progress report for the creation of a worldwide gravimetric data bank // Bureau Gravimetrie International. (Paris): Bulletin d'Information. Novembre. 1976. № 39. 1–41.

Учебное издание

**Конешов Вячеслав Николаевич
Костицын Владимир Ильич**

**Аппаратура и технологии гравиразведки
и магниторазведки: авиационные и морские гравиметры**

Учебное пособие

Редактор *Л. А. Богданова*
Корректор *Л. И. Семицветова*
Компьютерная верстка: *Н. М. Ржевитина*
Дизайн обложки: *И. В. Сибикина*

Подписано в печать 02.06.2021. Формат 60х84/16
Усл. печ. л. 6,28. Тираж 100 экз. Заказ 98.

Издательский центр
Пермского государственного
национального исследовательского университета
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Типография ПГНИУ.
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15