

УДК 662.1:553.982

Ахметшин Артур Ильдарович
инженер сектора управления качеством
минерального сырья,
Институт горного дела УрО РАН,
620075 г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: ouart@mail.ru

**МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
РАЗРАБОТКИ ЗАПАДНО-КАМЫНСКОГО
НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
ОАО «СУРГУТНЕФТЕГАЗ»**

Аннотация:

Рассмотрены проблемы маркшейдерского обеспечения нефтяного месторождения, представлены результаты работ по созданию маркшейдерской опорной сети в районе куста скважины.

Ключевые слова: месторождения нефти, маркшейдерское обеспечение, GPS навигация, опорные пункты

DOI: 10.18454/2313-1586.2017.03.077

Akhmetshin Artur I.
engineer of mineral raw materials
quality management sector.
The Institute of mining UB RAS
620075 Yekaterinburg,
58 Mamin-Sibiryak st.
e-mail: ouart@mail.ru

**MINING SURVEYOR SOFTWARE
OF WEST-KAMINSKY OIL DEPOSIT
MINING, LTD “SURGUT OILGAS”**

Abstract:

This article considers the problems of mining surveyor software oil deposit. The results of works on creation mining surveyor reference network in the area of oil well are presented.

Key words: oil deposit, mining surveyor software, GPS navigation, reference network

Западно-Камыньское месторождение в границах Западно-Камыньского и Ай-Пимского лицензионных участков с запасами нефти 112 млн. т разрабатывается с 2001 г. ОАО «Сургутнефтегаз». В административном отношении Западно-Камыньское месторождение расположено в пределах Сургутского района ХМАО-Югры в 130 км от г. Ханты-Мансийска и в 175 км от г. Сургута; в 30 – 40 км к северо-западу расположены Ай-Пимское и Камыньское разрабатываемые нефтяные месторождения.

Западно-Камыньское месторождение расположено на Среднеобской низменности Сургутской болотной провинции (рис. 1). Местность представляет собой плоско-волнистую, со слабо выраженными формами речной эрозии и аккумуляции озерно-аллювиальную равнину. Водоохранные зоны рек и озер занимают около 15 % площади Западно-Камыньского и южной части Западно-Ай-Пимского лицензионных участков.

В районе Западно-Камыньского лицензионного участка присутствуют пункты триангуляции II класса, расстояния между которыми колеблются от 9 до 15 км. Но имеющейся геодезической информации в Государственной геодезической сети (ГГС) явно недостаточно для маркшейдерского обеспечения, поэтому на участке планируется создание дополнительной опорной маркшейдерской сети (ОМС).

При выполнении работ были использованы следующие материалы:

- технический проект разработки Западно-Камыньского нефтяного месторождения;
- технический проект производства маркшейдерско-геодезических работ ОАО «Сургутнефтегаз».

На этапе освоения месторождения созданы пункты опорной сети (табл. 1), которые расположены около разведочной скважины 641 Р, и пункт под названием К 17, расположенный между кустовой площадкой К 17 и карьером песка.

Плотности размещения пунктов ГГС на территории РФ, согласно [2], установлены в количестве пунктов на одну тысячу квадратных километров (табл. 2, рис. 2)

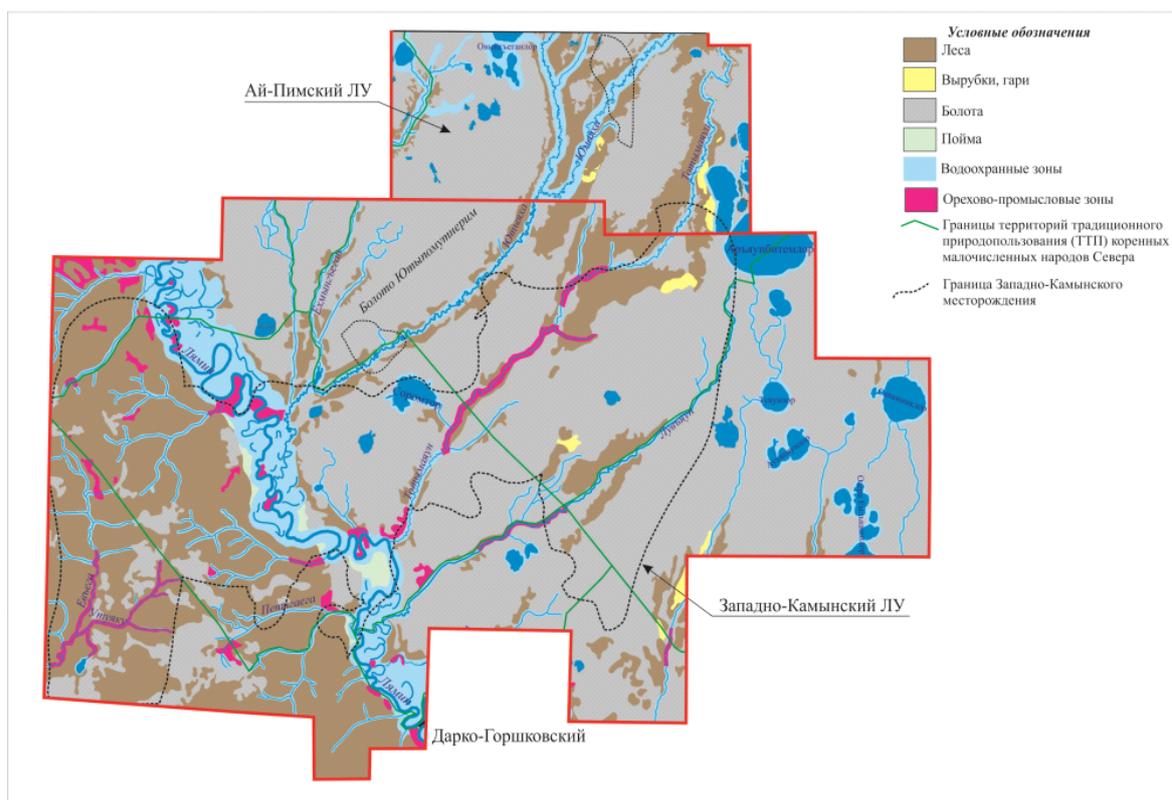


Рис. 1 – Обзорная карта месторождения

Таблица 1

Пункты триангуляции в пределах Западно-Камынского лицензионного участка

№ пункта	Название пункта	Тип и класс пункта
1	Таллор	Трианг. II кл
2	Лямин	Трианг. II кл
3	Юмаяха	Трианг. II кл
4	Увьёга	Трианг. II кл
5	Кешилор	Трианг. II кл
6	Лувьяунтор	Трианг. II кл
7	Лукъявин	Трианг. II кл

Таблица 2

Нормы плотности размещения пунктов государственных геодезических сетей

Территории	Количество пунктов ГГС на тыс. км ²
1. Экономически освоенные территории, территории повышенного риска возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также приграничные территории	33
2. Районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности	20

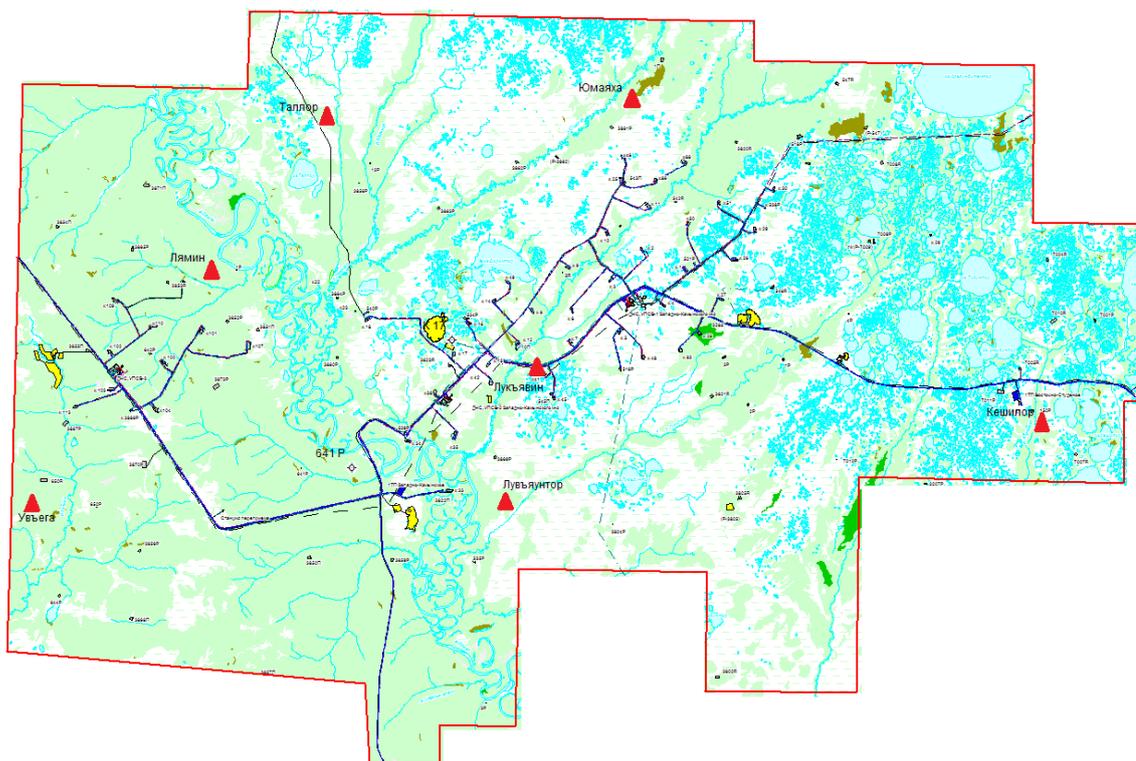


Рис. 2 – Обзорная схема размещения пунктов Западно-Камынского лицензионного участка

Из табл. 2 следует, что плотность пунктов на данном лицензионном участке не соответствует положениям Инструкции [2], а географо-экологические особенности данной местности не позволяют развить государственную сеть до необходимой плотности. Так как за последние 5 – 10 лет широко развиваются и применяются для маркшейдерского обеспечения технологии спутниковой навигации GPS, данное значение плотности некатастрофично для развития ГГС.

Для устранения существующего положения автором выполнена работа по созданию дополнительной маркшейдерской опорной сети в районе куста скважин № 38 и расположенных рядом с ним дожимной насосной станции (ДНС) и установки предварительного сбора воды (УПСВ) Западно-Камынского месторождения.

В соответствии с инструкцией [1] для топографической съемки принимается не менее четырех пунктов на 1 км^2 , в незастроенной части – не менее одного пункта на 1 км^2 . Для сибирских месторождений нефти и газа это избыточная плотность пунктов на месторождении, и, ввиду географического расположения месторождения, добиться такой плотности невозможно. В связи с этим опорная сеть создана методами GPS технологий.

По требованиям инструкции [1] плано-высотная опорная сеть создается с применением спутниковой аппаратуры по точности I разряда полигонометрии и 4 класса нивелирования. Это позволит сократить как трудовые, так и временные затраты на производство работ (табл. 3).

Минимальная длина сторон, обеспечивающая нормативную величину предельной погрешности дирекционных углов и предельной относительной невязки хода в плановых сетях, созданных с использованием спутниковой аппаратуры [3], приведена в табл. 4.

Таблица 3

Характеристика сетей полигонометрии 1 и 2 разрядов

Показатели	1 разряд	2 разряд
Предельная длина хода, км:		
- отдельного	5	3
- между исходной и узловой точками	3	2
- между узловыми точками	2	1,5
Предельный периметр полигона, км	15	9
Длина сторон хода, км:		
- наибольшая	0,8	0,35
- наименьшая	0,12	0,08
- средняя расчетная	0,30	0,20
Число сторон в ходе, не более	15	15
Предельная относительная невязка хода	1:10 000	1:5 000
Средняя квадратическая погрешность измерения угла (по невязкам в ходах и полигонах), сек	5	10
Угловая невязка хода или полигона, не более, где n - число углов в ходе, сек	$10\sqrt{n}$	$20\sqrt{n}$

Таблица 4

Минимальная длина сторон в плановых сетях, создаваемых двухчастотной спутниковой аппаратурой

Аналог создаваемой плановой сети	Минимальное расстояние между пунктами, км							
	Исходным и определяемым				Смежными определяемыми			
	Категория радиовидимости							
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Полигонометрия 1 разряда	0,26	0,5	0,37	1,23	0,21	0,29	0,4	0,98

Места расположения пунктов выбирались при рекогносцировке, с проверкой возможности выполнения спутниковых определений на пунктах и с учетом выявленных зон возможных препятствий, искажений и радиопомех. Схема расположения пунктов и геометрия векторов представлены на рис. 3.

К факторам, влияющим на прохождение радиосигнала, относятся механические препятствия, отражающие объекты, радиопомехи, влияние ионосферной и тропосферной рефракции. Высотная опорная сеть не должна быть по точности ниже IV класса.

Площадь, где планируется создание опорной маркшейдерской сети около куста скважины 38 и расположенной рядом с ним ДНС, УПСВ составляет 0,584 км² (площадь была вычислена с помощью ПО MapInfo). На основании Инструкции [1] количество пунктов будет равняться 4.

Расстояния между векторами приведены в табл. 5.

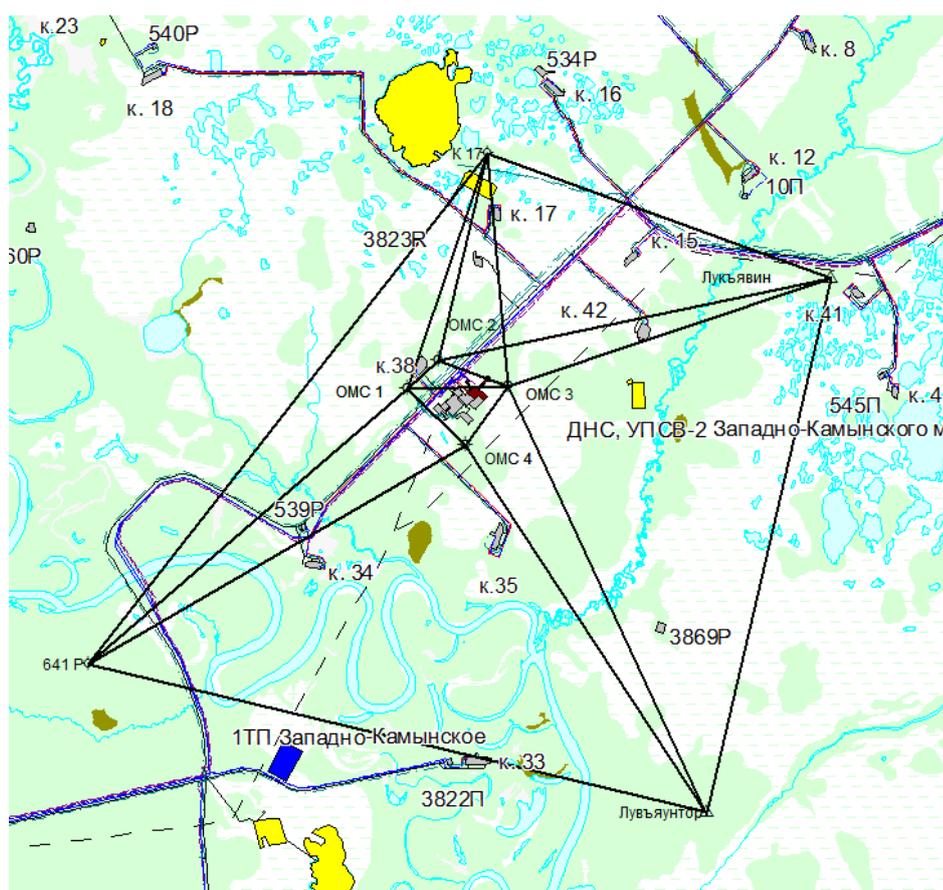


Рис. 3 – Схема расположения пунктов и геометрия векторов создаваемой ОМС

Таблица 5

Расстояния между соответствующими векторами ОМС

Вектор	Длина вектора , км
К 17 - ОМС 1	2,919
К 17 - ОМС 2	2,503
Лукьявин - ОМС 2	4,689
Лукьявин - ОМС 3	3,981
641 P - ОМС 4	5,100
641 P - ОМС 1	4,937
Лувьяунтор - ОМС 3	5,569
Лувьяунтор - ОМС 4	5,171
ОМС 4 - ОМС 3	0,858
ОМС 4 - ОМС 1	0,943
ОМС 2 - ОМС 3	0,860
ОМС 1 - ОМС 2	0,486
ОМС 1 - ОМС 3	1,168
К 17 - ОМС 3	2,734
Лукьявин - К 17	4,271
К 17 - 641 P	7,600
641 P - Лувьяунтор	7,432
Лувьяунтор - Лукьявин	6,435

Центры геодезических пунктов являются носителями геодезических координат и служат для обеспечения стабильного положения закрепляемых точек на местности и их сохранности в течение продолжительного времени [4].

Выбор конструкции центра геодезического пункта зависит от географо-климатических особенностей проведения работ, в частности от характера грунта и глубины промерзания. Поскольку месторождение находится в пределах Сургутского района (ХМАО – Югра), где глубина промерзания грунта колеблется от 1,8 до 2,5 м, то необходимо подобрать знак (грунтовый репер), который будет заглублен на 3 м.

Согласно правилам закладки центров и реперов [5] для данных условий рекомендуется использовать грунтовый репер (тип 160) – опознавательный знак. На рис. 4 представлен данный опознавательный знак.

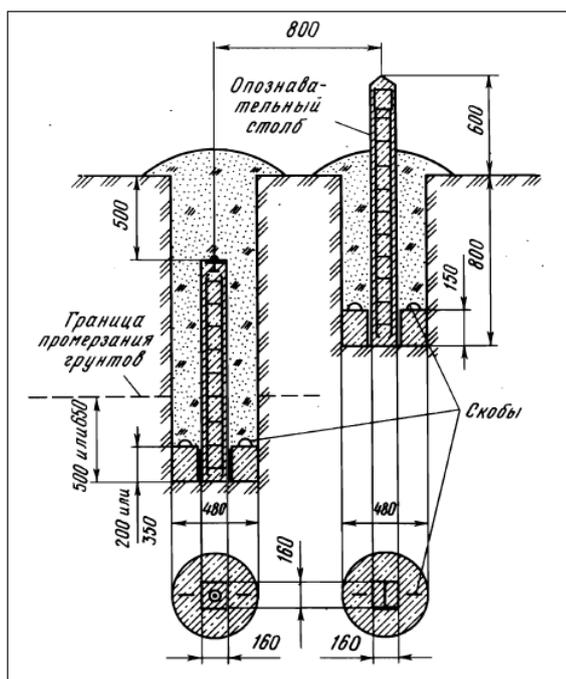


Рис. 4 – Грунтовый репер (тип 160) – опознавательный знак

После комплекса измерений производится расчеты оценки точности координат. Оценка точности координат пунктов выполняется по методу наименьших квадратов [6].

Вес P определения координаты по вектору длиной D рассчитывается на основе паспортной точности приемника по формуле:

$$P = \frac{\mu_0^2}{m_{i_{\text{изм}}}^2}, \quad (1)$$

где μ_0 – ошибка единицы веса; $m_{i_{\text{изм}}}^2$ – средняя квадратическая погрешность измерения i -го вектора.

Средняя квадратическая погрешность измерения вектора может быть вычислена по формуле

$$m_{i_{\text{изм}}}^2 = R^2 \cdot m_{i_{\text{пас}}}^2 + m_{\text{цбаза}}^2 + m_{\text{цровер}}^2, \quad (2)$$

где $m_{i_{\text{пас}}}^2$ – паспортная точность измерения вектора между двумя спутниковыми приемниками; $m_{\text{цбаза}}^2$, $m_{\text{цровер}}^2$ – ошибки центрирования приемника и определения его вы-

соты, соответственно, на базовом и роверном приемниках; R – коэффициент радиовидимости.

Паспортная точность измерения вектора в плане зависит от его длины D_i и вычисляется следующим образом:

$$m_{i_{\text{пас}}} = a + b \cdot D_i, \text{ км} \quad (3)$$

где a и b – коэффициенты, приведенные в паспорте используемого оборудования.

Для использованного при измерениях приемника Trimble R10 GNSS точность измерения вычисляется по формуле

$$m_{i_{\text{пас}}} (\text{мм}) = 3 + 0,5 \cdot D_i, \text{ км - в плане.} \quad (4)$$

При установке обоих приемников на штативах с применением оптических центров и компарированных рулеток значения $m_{\text{Цбаза}}^2$, $m_{\text{Цровер}}^2$ равны между собой и определяются по формуле

$$m_{\text{Цбаза}}^2 = m_{\text{Цровер}}^2 = \left(\frac{h \cdot \tau'}{\rho'} \right)^2 + m_h^2 = m_{\text{Ц}}^2, \quad (5)$$

где $h = 1,5$ м – высота установки антенны; $\tau = 6'$ – цена деления круглого уровня; $\rho' = 3438'$; $m_h = 1$ мм – ошибка измерения высоты инструмента.

Коэффициент радиовидимости принимается равным 1, если условия приема спутниковых сигналов удовлетворительные, т.е. одновременно выполняются следующие требования:

- фактор, характеризующий геометрию созвездия спутников PDOP, меньше 6;
- отношение «сигнал/шум» меньше 40;
- качество радиосигнала выше 90 %;
- потери целых циклов при приеме радиосигнала отсутствуют.

Если же условия приема спутниковых сигналов неудовлетворительные, т.е. это такие условия, при которых не выполняется хотя бы одно из вышеперечисленных требований, коэффициент радиовидимости принимается равным 2.

Для расчетов, исходя из реальных условий измерений, принят коэффициент 2.

Используя формулы (1) – (6) и технические характеристики приборов, вычисляем весовые коэффициенты. Все результаты вычислений сведены в табл. 7. Вычисляется ошибка единицы веса μ как ошибка измерения вектора длиной 1 км:

$$\mu = \sqrt{2^2 \cdot (3 + 0,5 \cdot 1)^2 + 2 \cdot (1500 \cdot 0,2 \cdot 6 / 3438)^2} = 7,04, \text{ мм.}$$

По формуле (1) вычислим вес координаты по вектору длиной D . Результаты представлены в табл. 6.

Составляем конфигурационную матрицу A :

$$A = \begin{pmatrix} a_{11}, K, a_{1m} \\ K & K & K \\ a_{11}, K, a_{nm} \end{pmatrix}, \quad (6)$$

где n – количество векторов; m – количество пунктов.

Коэффициенты матрицы A_{mn} принимают значения 0 – 1,1 в зависимости от схематики геометрических связей (измеряемых векторов) оцениваемой сети.

Таблица 6

Вес координат по векторам

Вектор	D , км	R	$m_{i_{\text{пас}}}$, мм	$m_{\text{ц}}$, мм	$m_{i_{\text{изм}}}^2$, мм	P_i
К 17 - ОМС 1	2,919	2	10,2	0,5	20,4	0,119
К 17 - ОМС 2	2,503	2	8,7	0,5	17,5	0,161
Лукъявин - ОМС 2	13,277	2	46,4	0,5	92,9	0,006
Лукъявин - ОМС 3	12,481	2	43,6	0,5	87,4	0,006
641 Р - ОМС 4	5,100	2	17,8	0,5	35,7	0,039
641 Р - ОМС 1	4,937	2	17,2	0,5	34,6	0,041
Лувьяунтор - ОМС 3	5,569	2	19,4	0,5	39,0	0,033
Лувьяунтор - ОМС 4	5,171	2	18,1	0,5	36,2	0,038
ОМС 4 - ОМС 3	0,858	2	3,0	0,5	6,0	1,353
ОМС 4 - ОМС 1	0,943	2	3,3	0,5	6,6	1,123
ОМС 2 - ОМС 3	0,860	2	3,0	0,5	6,1	1,347
ОМС 1 - ОМС 2	0,486	2	1,7	0,5	3,5	4,088
ОМС 1 - ОМС 3	1,168	2	4,1	0,5	8,2	0,735
К 17 - ОМС 3	2,734	2	9,6	0,5	19,2	0,135
Лукъявин - К 17	4,271	2	14,9	0,5	29,9	0,055
К 17 - 641 Р	7,600	2	26,6	0,5	53,2	0,018
641 Р - Лувьяунтор	7,432	2	26,0	0,5	52,0	0,018
Лувьяунтор - Лукъявин	6,435	2	22,5	0,5	45,1	0,024

На рис. 5 представлена схема геометрических связей измеряемых векторов.

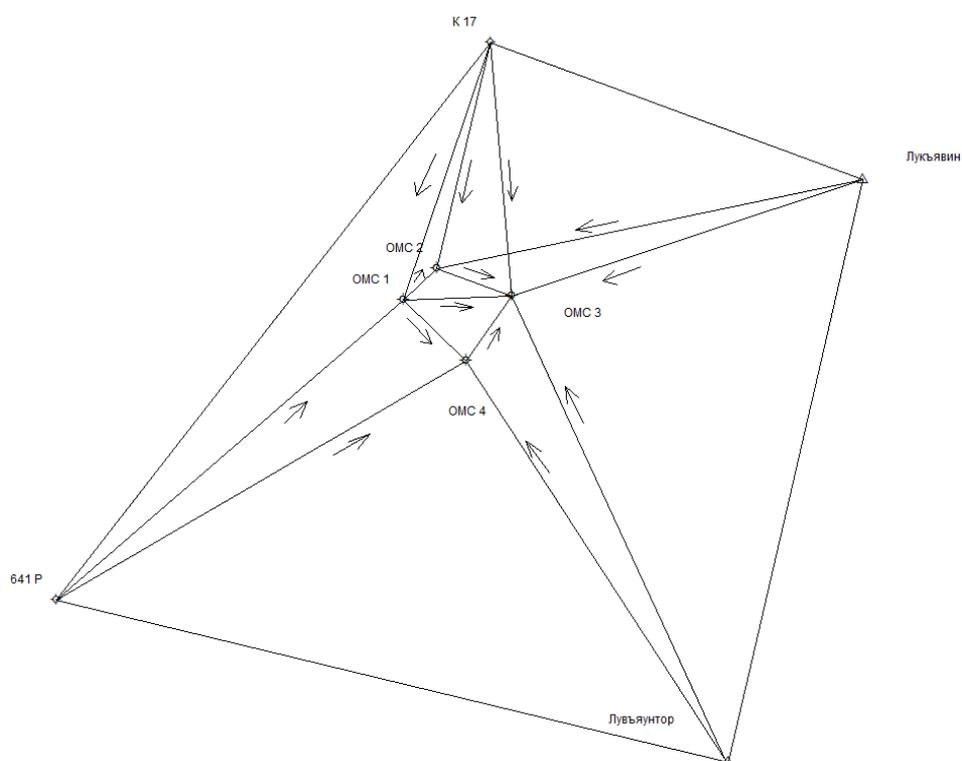


Рис. 5 – Схема геометрических связей измеряемых векторов

По схеме (рис. 5) составляем конфигурационную матрицу А (табл. 7):

Таблица 7

Конфигурационная матрица А

Вектор	ОМС 1	ОМС 2	ОМС 3	ОМС 4
К 17 - ОМС 1	1	0	0	0
К 17 - ОМС 2	0	1	0	0
Лукьявин - ОМС 2	0	1	0	0
Лукьявин - ОМС 3	0	0	1	0
641 Р - ОМС 4	0	0	0	1
641 Р - ОМС 1	1	0	0	0
Лувьяунтор - ОМС 3	0	0	1	0
Лувьяунтор - ОМС 4	0	0	0	1
ОМС 4 - ОМС 3	0	0	1	-1
ОМС 4 - ОМС 1	1	0	0	-1
ОМС 2 - ОМС 3	0	-1	1	0
ОМС 1 - ОМС 2	-1	1	0	0
ОМС 1 - ОМС 3	-1	0	1	0
К 17 - ОМС 3	0	0	1	0
Лукьявин - К 17	0	0	0	0
К 17 - 641 Р	0	0	0	0
641 Р - Лувьяунтор	0	0	0	0
Лувьяунтор - Лукьявин	0	0	0	0

Составляем диагональную матрицу весовых коэффициентов Р размерами $n \times n$ (рис. 6).

0,119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0,161	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0,006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0,006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0,039	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0,041	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0,033	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0,038	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1,353	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,123	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,347	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,088	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,735	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,135	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,055	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,018	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,018	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,024

Рис. 6 – Диагональная матрица весовых коэффициентов

По формуле вычисляем матрицу обратных весовых коэффициентов Q:

$$Q = (A^T P A)^{-1}. \quad (7)$$

Матрица обратных весовых коэффициентов следующая:

1,83	1,74	1,65	1,68
1,74	1,84	1,66	1,64
1,65	1,66	1,88	1,72
1,68	1,64	1,72	2,04

Вычисляем среднеквадратическое отклонение (СКО) определения пунктов в плане и по высоте по формуле (8) и результаты сводим в табл. 8:

$$m_{i_{\text{план}}} = \mu\sqrt{Q_{ii}}. \quad (8)$$

Точность определения высотного положения пунктов в 1,5 – 2 раза ниже точности определения планового положения [6]. Исходя из этого СКО определения пунктов спутниковой сети по высоте рассчитывается по формуле

$$m_{i_{\text{высота}}} = 2 \cdot \mu\sqrt{Q_{ii}}. \quad (9)$$

Таблица 8

СКО определения пункта в плане и по высоте

Пункт	Вес оцениваемого пункта	СКО определения пунктов в плане, мм	СКО определения пунктов по высоте, мм
ОМС 1	1,83	9,53	19,07
ОМС 2	1,84	9,56	19,12
ОМС 3	1,87	9,65	19,29
ОМС 4	2,05	10,07	20,13

Координаты закладываемых пунктов представлены в табл. 9 (в условной системе координат).

Таблица 9

Плановые координаты закладываемых пунктов

Пункт	X	Y
ОМС 1	2421310,880	2568384,380
ОМС 2	2421641,730	2568742,750
ОМС 3	2421352,240	2569556,110
ОМС 4	2420649,200	2569059,840

Выполненные маркшейдерские работы по созданию ОМС на месторождении позволили получить следующие результаты:

- создана опорная маркшейдерская сеть в районе куста скважины 38 и расположенных рядом с ней ДНС и УПСВ Западно-Камынского месторождения нефти;
- максимальные высотные погрешности измерений, полученные при создании опорной маркшейдерской сети, не превышают предельно допустимых погрешностей, принятых инструкцией по производству маркшейдерских работ, производимых при помощи GPS оборудования;
- выполнены требования Инструкции [1], по которым СКО расположения опорных пунктов в плане не должно превышать 0,2 мм в масштабе плана, а для масштабов 1:500 и 1:1000 погрешность не должна превышать 10 и 20 см, соответственно, достигнутая погрешность составила 0,2 мм; СКО по высотным отметкам не должно превышать 1/10 высоты сечения рельефа, что для планов масштабов 1:500 и 1:1000 и высоте сечения рельефа 0,5 м составляет 5 см. Согласно расчетам, максимальное СКО по высоте составило 2 см.

Литература

1. Инструкция по производству маркшейдерских работ (РД 07-603-03) / Утв. постановлением № 73 Госгортехнадзора России от 06.06.2003 г. – М., 2003. – 92 с.
2. Об утверждении методики определения и расчета показателей деятельности Федерального агентства геодезии и картографии от 1.03.2006. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901988294>
3. Методические указания по созданию, контролю и реконструкции маркшейдерско-геодезических сетей на нефтяных и газовых месторождениях с использованием спутниковой аппаратуры / РАН. – СПб., 1998. - 38 с.
4. Инструкция по охране геодезических пунктов / ГКНИП -07-11-84 [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://uristu.com/library/ssst/usr_12272/
5. Правила закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сети. – М.: Картгеоцентр – Геодезиздат, 1993. – 104 с.
6. Гришко С.В. Уравнивание спутниковых сетей. Предварительная оценка точности проектов спутниковых измерений / С.В. Гришко. – Пермь: Изд-во Перм. Гос. Техн. ун-та, 2010. – 19 с.