

УДК 622:62-75

Г.А. Воронов, Е.С. Оксенкруг

**КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ
НАД ПОДЗЕМНЫМИ ХРАНИЛИЩАМИ
В ОТЛОЖЕНИЯХ КАМЕННОЙ СОЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ
СПУТНИКОВЫХ МЕТОДОВ**

Семинар № 3

Объект «Вега» представляет собой комплекс инженерных сооружений, из которых самыми масштабными в плане и по высоте являются 15 подземных емкостей в солянокупольных структурах, созданных методом камуфлетного ядерного взрыва и в настоящее время, эксплуатируемые как хранилища радиоактивных отходов.

Такие формы воздействия на геосреду, как создание искусственных полостей в земной коре, эксплуатация подземных хранилищ с меняющимся режимом противодействия сопровождаются возмущением начального напряженно-деформированного состояния недр и, при неблагоприятном сочетании ряда факторов, могут сильно изменить природное состояние геологической среды вплоть до возникновения сильных деформаций и сейсмических событий. Интенсивность этих событий может быть достаточно высока, чтобы привести к повреждениям горных выработок, объектов обустройства промыслов, транспортных сооружений, линий наземных и подземных коммуникаций, магистральных трубопроводов и других объектов, расположенных на земной поверхности и в зоне влияния техногенных нарушений первоначального напряженного со-

стояния недр [1]. По этой причине для комплексного мониторинга и анализа деформированного состояния перекрывающей породной толщи и земной поверхности организуется система маркшейдерско-геодезических наблюдений, включающая в себя площадную сеть реперов GPS-измерений [2].

Для измерения деформаций земной поверхности и определения смещений пунктов сети наблюдений в плане используется система глобального позиционирования GPS-Navstar, как наиболее точная из существующих. Точность статических измерений составляет в плане 5 мм + 1 мм/км, по высоте 10 мм + 1 мм/км. Схема сети GPS-наблюдений представлена на рисунке. Построение сети наблюдений выполняется по условию Делоне, которое основано на последовательном перестроении пар треугольников, появляющихся при добавлении новых точек в триангуляцию. Каждый новый треугольник, появившийся при добавлении очередной новой точки в триангуляцию, проверяется совместно со старым, с которым он имеет общую сторону на условии Делоне. Условие состоит в том, что внутри круга, построенного по трем точкам, не должна попадать никакая другая

точка. При нарушении условия Делоне треугольники перестраиваются, проводится другая диагональ в четырехугольнике, образованном из этих двух треугольников. При перестроении появляются два новых треугольника, которые снова проверяются и т.д.

Все смежные пары треугольников проверяются последовательно по критерию минимума диагоналей в четырехугольнике и при необходимости перестраиваются. При этом геометрия сети строится таким образом, чтобы при необходимости обеспечить дальнейшее сгущение реперов в выделенных динамически нагруженных зонах, и, кроме того, сеть должна быть создана таким образом, чтобы все объекты наблюдений находились внутри границ внешних векторов сети. Это условие необходимо для правильной трансформации результатов наблюдений из геоцентрической системы координат в прямоугольную. Сгущение сети производится методом вставки новой точки в треугольник по условию Делоне путем добавления новых векторов в сеть без изменения исходной геометрии сети.

Проведенные GPS-измерения представляют собой первый цикл контрольных наблюдений. Указанные измерения проводились на сети, содержащей 54 вектора между 15 рабочими реперами (около технологических скважин объекта «Вега») и шестью опорными реперами сети за пределами зоны влияния подземных хранилищ.

Производство GPS-измерений осуществлялось исключительно дифференциальным методом, применение которого позволило добиться наивысшей точности. Проведение наблюдений производилось только в статическом режиме. Время наблюдений было выбрано пропорционально

длине наблюдаемого вектора, но не меньше 1 часа. Для увеличения надежности и повышения точности измерений продолжительность сеанса измерения базисов длиной свыше 10 км составила до 5 часов. При ухудшении приема сигнала на пункте, о чем свидетельствует ухудшение фактора снижения точности (DOP), или пропуске целых циклов длительность сеанса была увеличена. В процессе измерений каждое ребро сети было измерено непосредственно.

При помощи программы планирования измерений был выбран тот период времени, когда количество одновременно наблюдаемых спутников не меньше 5 и показатель снижения точности DOP имеет наименьшее значение.

Перед производством измерений антенны приемников были приведены к горизонту и ориентированы. Используемое время регистрации накопления – 15 секунд, как наиболее подходящее для наблюдений, угол отсечки принимаемых сигналов - 15° [3, 4]. В процессе наблюдений было использовано жесткое принудительное центрирование приемных антенн и центров пунктов GPS наблюдений. Центрирование антенны производилось с точностью 0,5-1 мм.

Обработка результатов спутниковых измерений выполнялась с использованием программного комплекса SPECTRUM SURVEY SUITE в следующей последовательности:

- постобработка результатов измерений;
- уравнивание GPS сети;
- анализ точности уравненных сетей с использованием статических характеристик.

Для окончательной обработки векторов использовались уточненные эфемериды (координаты траекторий полета спутников), т.е. эфемериды

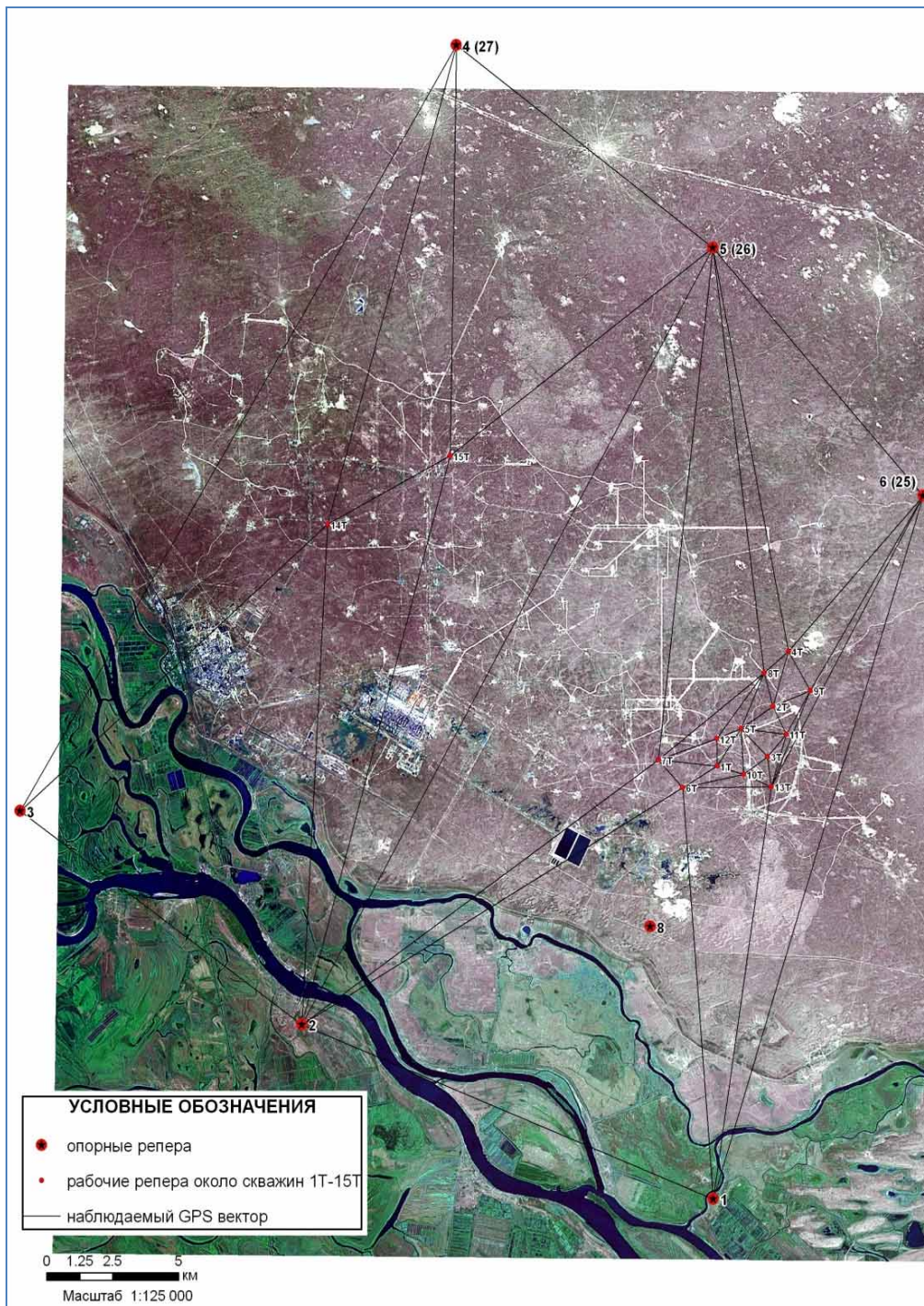


Схема площадной сети GPS-измерений

спутников, вычисленные с точностью 0,2 мм и выше.

Уравнивание сети производилось с целью окончательного выявления всех точек сети, имеющих неоднородности определения координат и выходящих за пределы допуска, а также выявления измерений, несущих ошибки баз данных.

Уравнивание сети было выполнено строгим методом наименьших квадратов. Сначала выполнялось полностью свободное уравнивание для выявления точек, точность определения которых превышает допуск. Затем, после замены сомнительных результатов измерений, было выполнено уравнивание с несколькими фиксированными точками. У этих точек были зафиксированы плановые координаты и эллипсоидальные высоты. Для нахождения подходящих для фиксации точек, выполнялось несколько вариантов уравнивания сети. Фиксированные точки считаются опорными пунктами сети и должны отвечать требованиям опорного репера.

По результатам свободного уравнивания в качестве зафиксированных точек с плановыми координатами и фиксированными высотами были выбраны следующие пункты: 1, 2, 3, 4(27), 5(26), 6(25). Все они являются опорными векторами GPS-сети, находятся за пределами зоны сдвигения и равномерно распределены по периферии сети.

При уравнивании сети были выбраны следующие условия:

- предел сходимости равный 0,0001 м;
- доверительный уровень 95 %;
- стандартные веса векторов сети.

Результаты уравнивания сети содержат следующие данные: описание уравнивания сети, входные координаты и поправки к ним, уравненные координаты и стандартные отклонения,

преобразование в картографические координаты, наблюдения и разности, достоверность наблюдений, относительная точность. По результатам уравнивания была проведена проверка совместимости найденного и выбранного фактора дисперсии методом хи-квадрат. Рассчитанный фактор дисперсии (VF) равен 0.7949, попал в диапазон $0.7630 < VF < 1.2690$, соответствующий статистической проверке дисперсии с доверительным уровнем 95 %, это означает, что значения и примененный вес в уравнивании свободны от ошибок. Последующие циклы измерений будут уравнены относительно этих же фиксированных точек.

По результатам свободного уравнивания первого цикла наблюдений была произведена оценка точности измеренной сети по внутренней сходимости и ее соответствие предъявляемым требованиям.

После уравнивания сети в цикле измерений вычислены следующие статистические характеристики:

- прямоугольные геоцентрические X, Y и Z и геодезические B, L и H координаты и поправки к ним;
- СКП этих координат, определенные через полную ковариационную матрицу ошибок, которая вычисляется в процессе уравнивания;
- размеры эллипсов ошибок;
- статистические параметры, позволяющие выявить некачественные линии, которые должны быть исключены из уравнивания.

Вышеперечисленные данные статистической обработки приведены в таблице.

В результате проведения уравнивания были определены контрольные координаты всех пунктов сети, а требуемая точность маркшейдерско-геодезических наблюдений была обнаружена на всех векторах.

Каталог контрольных координат пунктов маркшейдерско-геодезической сети с анализом точности с использованием статистических характеристик

Точка	Уравненные координаты		СКП определения координат		Размеры эллипса ошибок: большая полуось, азимут, малая полуось
	Геодезические	Плановые, м	0,001 с	мм	95% уровень достоверности
12Т	P 42° 45' 54.61256''	N 5182679.239	0.14609	4.5	бол. 11.0 мм
	L 48° 16' 24.26945''	E 291807.565	0.21260	4.5	азм. 71°
	H -23.930 м				мал. 11.0 мм
7Т	P 42° 45' 29.77804''	N 5181991.109	0.14398	4.4	бол. 10.9 мм
	L 48° 14' 38.32215''	E 289533.637	0.20950	4.4	азм. 80°
	H -23.187 м				мал. 10.9 мм
6Т	P 42° 44' 58.20864''	N 5180983.144	0.13790	4.3	бол. 10.4 мм
	L 48° 15' 23.56425''	E 290459.292	0.20062	4.3	азм. 87°
	H -24.678 м				мал. 10.4 мм
1Т	P 42° 45' 22.05546''	N 5181673.418	0.14436	4.5	бол. 10.9 мм
	L 48° 16' 25.55510''	E 291799.973	0.21005	4.5	азм. 83°
	H -24.788 м				мал. 10.9 мм
5Т	P 42° 46' 08.39450''	N 5183070.551	0.13740	4.2	бол. 10.4 мм
	L 48° 17' 10.67608''	E 292806.498	0.19997	4.2	азм. 89°
	H -22.596 м				мал. 10.4 мм
10Т	P 42° 45' 15.26057''	N 5181428.271	0.14343	4.4	бол. 10.8 мм
	L 48° 17' 13.81438''	E 292816.443	0.20868	4.4	азм. 85°
	H -26.817 м				мал. 10.8 мм
3Т	P 42° 45' 34.86619''	N 5182002.174	0.14732	4.5	бол. 11.1 мм
	L 48° 17' 56.55547''	E 293743.923	0.21436	4.5	азм. 87°
	H -23.968 м				мал. 11.1 мм
11Т	P 42° 46' 00.36196''	N 5182765.393	0.14078	4.3	бол. 10.6 мм
	L 48° 18' 29.13632''	E 294461.960	0.20488	4.3	азм. 91°
	H -22.889 м				мал. 10.6 мм
2Т	P 42° 46' 31.14649''	N 5183730.926	0.13877	4.3	бол. 10.5 мм
	L 48° 18' 08.00983''	E 294046.521	0.20198	4.3	азм. 93°
	H -24.316 м				мал. 10.5 мм
8Т	P 42° 47' 12.91980''	N 5185034.205	0.13545	4.2	бол. 10.2 мм
	L 48° 17' 48.88330''	E 293685.301	0.19719	4.2	азм. 89°
	H -21.547 м				мал. 10.2 мм
13Т	P 42° 45' 01.46199''	N 5180966.638	0.13504	4.2	бол. 10.2 мм
	L 48° 18' 02.75029''	E 293839.916	0.19647	4.2	азм. 87°
	H -26.544 м				мал. 10.2 мм
9Т	P 42° 46' 53.32391''	N 5184368.071	0.13250	4.1	бол. 10.0 мм
	L 48° 19' 13.28451''	E 295454.026	0.19288	4.1	азм. 91°
	H -25.306 м				мал. 10.0 мм
4Т	P 42° 47' 37.83588''	N 5185771.971	0.12893	4.0	бол. 9.7 мм
	L 48° 18' 31.84900''	E 294622.546	0.18773	4.0	азм. 91°
	H -25.149 м				мал. 9.7 мм
15Т	P 42° 51' 22.02876''	N 5193148.754	0.18872	5.8	бол. 14.3 мм
	L 48° 08' 21.76311''	E 281942.244	0.27511	5.8	азм. 78°
	H -25.338 м				мал. 14.3 мм
14Т	P 42° 50' 00.87052''	N 5190811.402	0.21273	6.6	бол. 16.1 мм
	L 48° 04' 46.89633''	E 277299.624	0.30998	6.6	азм. 78°
	H -25.026 м				мал. 16.1 мм

Это позволит проводить циклический мониторинг состояния породного массива объекта «Вега» и анализировать развитие геомеханических и геодинамических процессов сдвига для оценки их воздействия на подземные емкости и технологические скважины объекта «Вега», обоснования технических и проектных решений по выводу объекта из эксплуатации и обеспечению радиационной и экологической безопасности.

Накапливание числа циклов позволит уточнить положение опорных реперов и более достоверно интерпретировать результаты наблюдений. Только многократные, регулярные, тщательно продуманные наблюдения позволят построить реальную картину деформирования породного массива и земной поверхности в районе расположения объекта наблюдений и его развития во времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никонов А.А. Голоценовые и современные движения земной коры. Изд. «Наука». М. 1977, - 240 с.

2. Технический проект выполнения комплекса маркшейдерских работ на объекте «Вега» (Астраханское ГКМ). Том II. Организация и выполнение комплекса маркшейдерских работ. ООО «Подземгазпром», - Москва, 2006, - 50 с.

3 Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. М., ЦНИИГАиК., 2002, - 124 с.

4. Инструкция по производству маркшейдерских работ (РД 07-603-03). **ГИАБ**

Коротко об авторах

Воронов Г.А. – аспирант, Московский государственный горный университет,
Оксенкруг Е.С. – Подземгазпром.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 3 симпозиума «Неделя горняка-2008».
Рецензент д-р техн. наук, проф. С.А. Гончаров.

