

# ГОРНОЕ ДЕЛО

УДК 622:658.562

МРНТИ 52.01.81

**Д. В. Мозер**, к.т.н., **Ш. О. Сақимбаева**

Карагандинский государственный технический университет

## ВЛИЯНИЕ "ТЕНЕВОГО ЭФФЕКТА" НА ТОЧНОСТЬ ГНСС ИЗМЕРЕНИЯ НА ОТКРЫТЫХ РАЗРАБОТКАХ

В настоящее время внедрение глобальных навигационных спутниковых систем ГНСС на горнодобывающих предприятиях Казахстана достигает больших объемов. Несмотря на их повсеместное использование, до сих пор не изучена проблема искажения спутникового сигнала - "теневого эффекта". Описан опыт исследования ошибки за счет "теневого эффекта". Установлено, что при приближении к откосу точность измерения в режиме "кинематика" падает, а критическое отстояние, удовлетворяющее точности измерения, составляет не более 5 м.

**Ключевые слова:** глобальная навигационная спутниковая система, теневой эффект, базовая станция, открытые разработки, производительность труда, погрешность.



Қазіргі таңда ғаламдық навигациялық жер серігі жүйелерін ГНССЖ Қазақстанда тау-кен ендірісінде енгізу ауқымды келемдерді алады. Олардың барлық жерде қолдануына қарамастан, жер серігінің дабылдардың "келеңкелік эффект" қателігін зерттеу әлі күнге дейін толық зерттелмеген. Бұл жұмыста "келеңкелік эффект" қателігін зерттеу тәжірибесі сипатталған.

**Түйінді сөздер:** ғаламдық навигациялық жер серігі жүйесі, келеңкелік әсер, базалық бекет, ашық еңдеулер, еңбек енімділігі, қателік.



Currently, the introduction of the global navigation satellite systems (GNSS) in mining enterprises of Kazakhstan reaches high volumes. Despite the widespread usage they has not investigated the problem of distortion of the satellite signal "shadow effect". This paper describes the experience of the study due to the "shadow effect" error. The results showed that accuracy of "kinematics" mode decreases due to approach to the slope, and the critical distance which provides satisfying accuracy is not more than five meters.

**Key words:** global navigating satellite system, shadow effect, base station, open-cast minings, labor productivity, error.

Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) позиционирования широко используется как для определения высокоточных координат, при геодезических работах на открытых горных разработках, так и в научных исследованиях, связанных с вопросами геодинамики и геомеханики земной поверхности. Измерения деформаций карьерных откосов по наблюдательным станциям начинаются с тщательного планирования времени и продолжительности спутниковых наблюдений. Преимуществами использования ГНСС являются их глобальный характер обслуживания, полная независимость позиционирования от погодных условий и времени суток, достаточно высокая надежность и точность. Несмотря на перечисленные преимущества, у ГНСС систем имеют место ошибки при получении данных, связанные с различными искусственными факторами, которые присутствуют при измерениях на местности.

На горных предприятиях существуют не только атмосферные препятствия, но и такие, как электрический шум, теневой эффект от откоса и ограниченная видимость (рис. 1).

Неблагоприятное воздействие электрического шума можно исключить еще на стадии проектирования наблюдательной станции. В этом случае необходимо избегать закладки рабочих и опорных реперов ближе, чем 25-50 м от высоковольтных линий

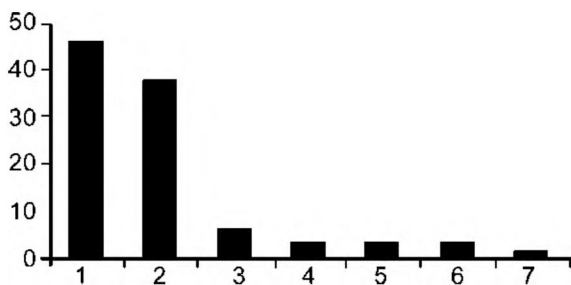


Рис. 1. Влияние различных факторов на точность GPS измерений: 1 – ионосферная рефракция (45 %); 2 – геометрия спутников (38 %); 3 – эфемеридные данные (6 %); 4 – отражение сигнала, т. е. теневой эффект (4 %); 5 – тропосферная рефракция (3 %); 6 – спутниковые часы (3 %); 7 – приемник (1 %)

электропередачи, трансформаторных подстанций и контактной сети электрического транспорта. Воздействие многолучевого хода спутникового радиосигнала удастся устранить путем экранирования приемника. Во время обработки базовых линий с исключением из нее спутников с некачественным радиосигналом при заложении наблюдательных линий необходимо учитывать эффект отражения сигнала от откосов [1].

В "геометрии спутников" отражается то, как расположены спутники относительно друг друга и ГНСС приемника. Орбитальные ошибки известны как "ошибки эфемериды", показывающие неточности данных о расположении спутников. Хотя спутники и находятся на достаточно четко определенных орбитах, небольшое отклонения от орбит все же возможно вследствие гравитации.

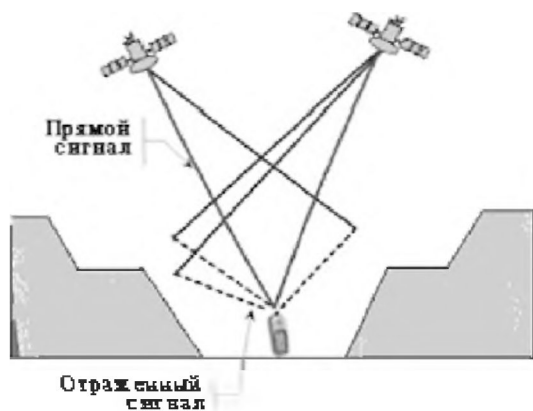


Рис. 2. Теневой эффект отраженного сигнала

Учитывая данные рис. 2, можно сказать, что исполнитель самостоятельно может влиять на уменьшение искажения спутникового сигнала только в четвертом факторе "теневого эффекта". Данную ошибку можно наблюдать при заложении наблюдательной станции вблизи откоса, который вызывает отражение сигнала, что увеличивает время прохождения сигнала, вызывая тем самым ошибку.

Проведено исследование для определения влияния теневого эффекта на точность измерения ГНСС. Для этого была разработана схема измерений, состоящая из 3-х точек на поверхности откоса. Измерения проводились от точки № 1 к точке № 3. На вышестоящем откосе на расстоянии 500 м от бровки установлена базовая станция и определены координаты опорных реперов методом "статика", а координаты рабочих точек - методом "кинематика". Измерение проводилось с помощью двухчастотного приемника GPS Leica System-400, и специально разработанных жестких штативов, на котором устанавливался отгоризонтированный и отцентрированный трегер с антенной AT-302 фирмы "Leica". Антенна типа "choke-ring" не использовалась при съемке реперов, так как GPS приемник является двухчастотным. При высоте уступа 12 м заложены точки на расстоянии  $L_1=15$  м;  $L_2=10$  м;  $L_3=5$  м от откоса (рис. 3).

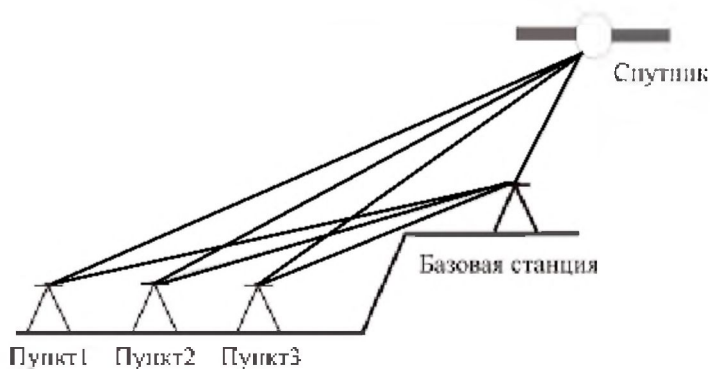


Рис. 3. Схема определения теневого эффекта

Все измерения производились в течение 11-16 ч на каждой точке по 3 серии наблюдения через интервал 1, 2, 5 см на штативе с изменением положения антенны по оси  $x$  и  $z$ . Измерения проводились на карьере.

Обработка полученных результатов производилась методом наименьших квадратов. Полученные в опыте среднеквадратические ошибки измерения занесены в таблицу. Количество спут-

ников и качество сигнала при работе практически оставались неизменными [1,2].

### Определение среднеквадратической ошибки по оси X и Z

Номер точки	Среднеквадратическая ошибка измерений с движением антенны через		
	1 см, м	2 см, м	5 см, м
<b>По оси X</b>			
1	0,002608	0,003198	0,003371
2	0,002858	0,003397	0,003690
3	0,003260	0,003867	0,004276
<b>По оси Z</b>			
1	0,004178	0,004614	0,005330
2	0,004854	0,005218	0,006012
3	0,005231	0,005521	0,006325

Судя по измеренным данным, где было изменено положение трегера с антенной по оси x и z, можно сделать вывод о том, что при каждом приближении к откосу от точки 1 к точке 3 ошибка точности измерения уменьшается в среднем по оси x на 18 %, а по оси z - на 17 %. Используя полученные данные (таблица), построим график среднеквадратических ошибок по оси x и z (рис. 4).

Расчет допустимой ошибки измерения  $m_{x, доп}$  произведен согласно "Методическому руководству по искусственному укреплению откосов скальных и полускальных пород на карьерах". По данным литературных источников К.М. Антоновича и Б.Б. Серапинаса, традиционно считается, что ошибка измерения по оси z всегда выше, чем плановая ошибка по оси x согласно полученным данным в проведенной работе. Анализ полученных результатов исследования позволяет заключить, что по оси x для определения превышений  $m_{x, доп}$  все измерения находятся в допуске. Даже на самой ближней точке к откосу на расстоянии 5 м погрешность составляет 3,8 мм, а чем дальше от откоса, тем меньше погрешность измерений. Для определения превышений

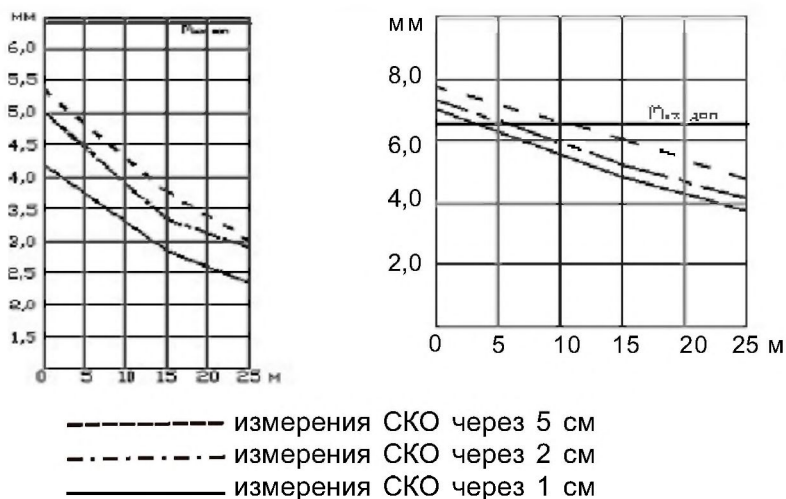


Рис. 4. Определение среднеквадратической ошибки измерения относительно оси  $x$  и  $z$  при приближении к откосу

по оси  $z$  выводится  $mz$ , доп, допустимое с пересечением измеренных линий. При расстоянии 5 м наблюдается, что погрешность составляет 6,3 мм. Применение двухчастотных приемников уменьшает ошибку за ионосферу. Увеличение содержания электронов в ионосфере приводит к увеличению ошибки измерения GPS систем.

Несмотря на приведенные ошибки спутниковых систем при измерениях, применение глобальной навигационной спутниковой системы ГНСС в инженерно-геодезических работах для открытых разработок является оптимальным решением по сравнению с традиционными методами. В процессе работы увеличиваются эффективность и производительность труда: если учесть перечисленные выше ошибки, можно повысить точность измерений и экономическую эффективность спутниковой системы наблюдения в период выполнения съемки.

## Литература

1. *Мозер Д.В.* Совершенствование методики маркшейдерских наблюдений за состоянием карьерных откосов с применением глобальных спутниковых систем: автореф. канд. техн. наук. - Караганда, 2010. - 31 с.
2. *Мозер Д.В.* Online контроль за движением откосов бортов карьеров с помощью GPS систем для обеспечения безопасности и экологической стабильности на горнодобывающем предприятии // *Новости науки Казахстана.* - 2007. - Вып. 1. - С. 32-35.