

## **ВЛИЯНИЕ ДОКРИТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ НА СДВИЖЕНИЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАД ОЧИСТНОЙ ВЫРАБОТКОЙ**

*Назаренко В.А., Балафин И.Е., Леонов С.Ф.*

*Национальный горный университет, г. Днепропетровск, Украина*

*Рассмотрены результаты маркшейдерских измерений горизонтальных смещений реперов наблюдательных станций над очистными выработками шахт Западного Донбасса. Показано, что на значительном удалении от границ мульды имеют место малые деформации, которые в сумме приводят к значительным сдвигениям наблюдаемых точек поверхности. Эти сдвигения достигают 20-30% от максимальных сдвижений в мульде.*

Подземная отработка угольных пластов нарушает равновесное состояние горных пород и вызывает сдвигение земной поверхности. Промышленные, гражданские и природные объекты на поверхности, подвергаясь влиянию горных разработок, претерпевают кинетические и динамические изменения, которые могут привести к изменению условий их эксплуатации и существования. Степень этого влияния определяется величинами деформаций основания объекта, а сами деформации возникают вследствие неравномерного распределения сдвижений над очистными горными выработками. Сдвигения отдельных точек поверхности характеризуется направлением и величиной их перемещения в пространстве.

В маркшейдерской практике принято изучать процесс сдвигения посредством высокоточных инструментальных измерений на профильных линиях реперов, закладываемых над горной выработкой в главных сечениях мульды сдвигения [1]. По результатам измерений определяют вертикальные (оседания  $\eta$ ) и горизонтальные (горизонтальные сдвигения  $\zeta$ ) составляющие векторов сдвигения реперов и на основании их анализа устанавливают закономерности распределения сдвижений и деформаций на поверхности. В обобщенном виде эти закономерности являются основанием для прогноза влияния горных разработок на подрабатываемые объекты и для выбора соответствующих мер их охраны.

Действующая нормативная методика прогноза влияния горных разработок на подрабатываемые объекты [2] основана на расчете ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности в мульде, границы которой определяются по граничным углам или критическим (граничным) значениям деформаций наклона  $i = 0,5 \cdot 10^{-3}$  или растяжения  $\varepsilon = 0,5 \cdot 10^{-3}$ . Считается, что за пределами границ мульды деформации настолько малы, что их величины сопоставимы с ошибками маркшейдерских измерений, и ими можно пренебречь.

С позиций решения большинства инженерных задач, связанных с подработкой поверхностных объектов, такой подход оправдан. Однако могут возникнуть неординарные ситуации, когда речь идет о влиянии горных разработок на положение пунктов геодезической основы на земной поверхности или ведении горных работ вблизи высокотехнологичных производств, требующих строжайшего соблюдения геометрических параметров оборудования. В таких случаях малые, докритические деформации поверхности могут оказаться недопустимыми.

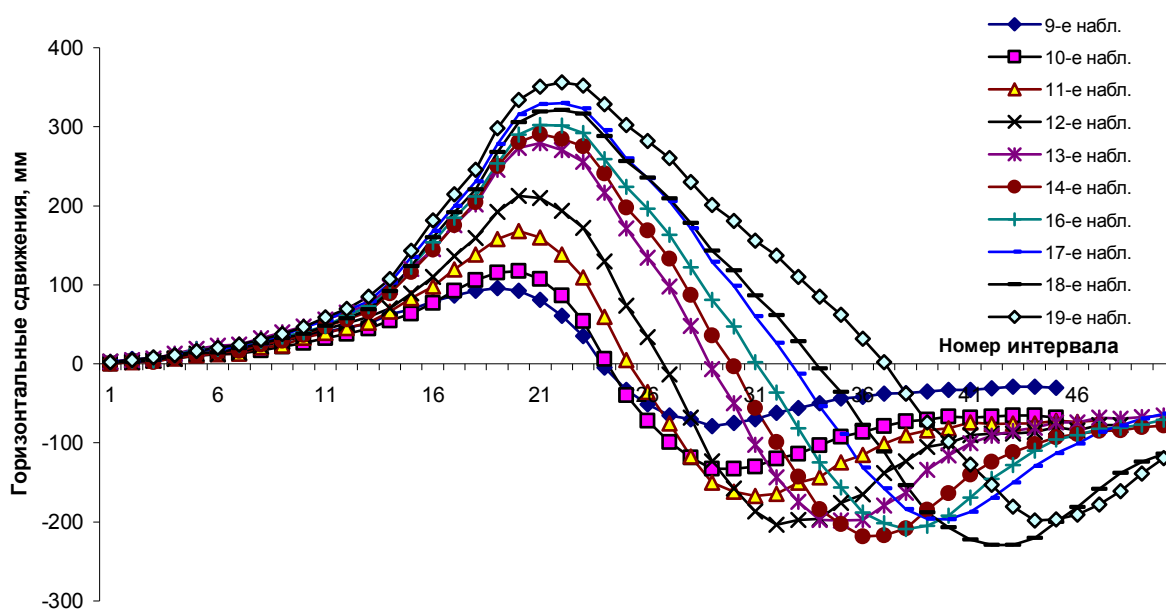
На шахтах Западного Донбасса процесс сдвигения земной поверхности над очистными горными выработками изучается с 1963 года. За это время кафедрой маркшейдерии НГУ выполнен большой объем натурных маркшейдерских инструментальных наблюдений за сдвижением земной поверхности. Всего на шахтах Западного Донбасса заложено 34 наблюдательных станции, состоящих из 70 профильных линий (без учета специальных наблюдательных станций №№ 27-34, заложенных над крупными тектоническими нарушениями и станции № 18, на которой наблюдения не проводились) и 3934 грунтовых реперов. На станциях выполнено 498 серий наблюдений, включая

кратковременные (частотные) наблюдения.

Наблюдательные станции подработаны очистными горными работами по пластам мощностью от 0,60 до 1,20 м. Глубина разработки пластов по станциям изменяется от 100 до 550 м, мощность наносов – 50-200 м, угол падения пластов – 2-5°.

Анализ результатов натуральных наблюдений на профильных линиях, заложенных в главных сечениях мульды по направлению подвигания очистного забоя (на шахтах Западного Донбасса это направление, как правило, совпадает с направлением вкрест простирания угольного пласта), выявил несоответствие распределения измеренных горизонтальных сдвижений общепринятым представлениям о сдвигении земной поверхности. Теоретически горизонтальные сдвигения должны начинаться с нуля над целиком со стороны разрезной печи, увеличиваться до положительного максимального значения, уменьшаться до нуля и далее – до максимального отрицательного значения и постепенно увеличиваться до нуля над целиком со стороны забоя лавы. Это означает, что за границами мульды сдвигения земная поверхность должна оставаться ненарушенной и неподвижной.

Экспериментально установлено, что над целиком со стороны забоя лавы значения сдвижений, рассчитанные от опорных реперов, расположенных со стороны разрезной печи, не принимают нулевых значений. Для иллюстрации этого положения на рис.1 показаны графики горизонтальных сдвижений, построенные по результатам натуральных измерений на наблюдательной станции №8 (шахта "Степная, 713-я и 715-я лавы).



**Рисунок 1 – График горизонтальных сдвижений реперов наблюдательной станции №8**

Несоответствие установленного экспериментально и теоретического распределений горизонтальных сдвижений наблюдается на профильных линиях, расположенных со стороны разрезной печи лавы, и у которых расчет горизонтальных сдвижений выполняется от опорных реперов, расположенных над целиком у разрезной печи (точка с абсциссой 1 на рис. 1). Количество кривых распределения на графике определяется числом серий инструментальных наблюдений, выполненных по мере подвигания очистного забоя лавы.

Возможны несколько причин возникновения установленного несоответствия:

- нарушение опорных реперов профильной линии;
- ошибки измерений при первом наблюдении, выполняемом до начала отработки лавы для определения исходного положения реперов профильной линии;
- ошибки измерений при наблюдениях, следующих после первого наблюдения;

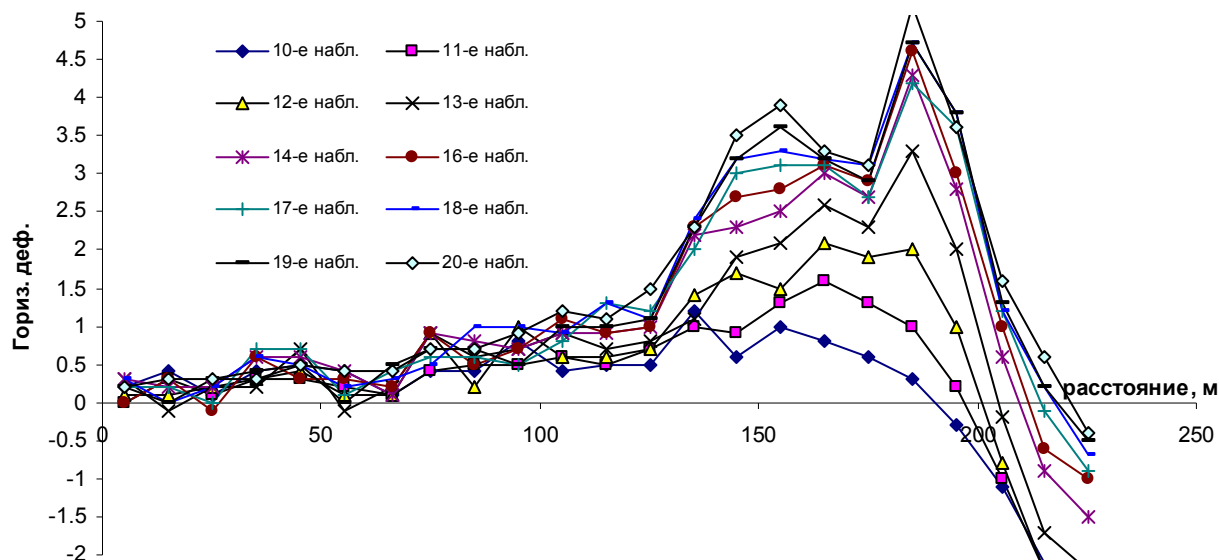
– неустановленные закономерности сдвижения земной поверхности.

Первая из названных причин, на наш взгляд, маловероятна, т.к. распределения горизонтальных деформаций, подобные тем, что приведены на рис. 1, наблюдаются и на других наблюдательных станциях. Кроме этого, отличия горизонтальных сдвижений в правых частях графиков на рис. 1 от нуля увеличиваются по мере развития процесса сдвижения, а это означало бы, что опорные реперы претерпевают нарушения перед каждой серией инструментальных наблюдений.

Влияние ошибок измерений при первом наблюдении можно также исключить по причине, как уже указывалось, повторения подобных отклонений на других наблюдательных станциях, на которых выполнялись независимые измерения разными исполнителями. Вероятность возникновения ошибок измерений исключается строгим соблюдением методики измерений и учетом всех влияющих факторов путем введения соответствующих поправок, о чем свидетельствуют журналы полевых измерений и математической обработки их результатов. Названные факты позволяют исключить и третью возможную причину несоответствия экспериментальных и теоретических распределений.

Анализ графиков на рис. 1 показывает, что в их левой части (со стороны разрезной печи) отсутствует переходной участок, на котором горизонтальные сдвижения равны нулю, и от которого сдвижения начинают увеличиваться. Этот факт приводит к выводу, что реальные сдвижения возможно начинаются до участка, на котором производились измерения и по этой причине не были зафиксированы наблюдениями.

Из графика развития горизонтальных деформаций на той же наблюдательной станции (рис. 2) видно, что до критического значения  $\varepsilon = 0,5 \cdot 10^{-3}$  интервалы между реперами профильной линии претерпевают незначительные деформации растяжения, абсолютные значения которых меньше 5 мм на 10 м, но имеют место на значительном удалении от точки, принятой за границу мульды сдвижения.



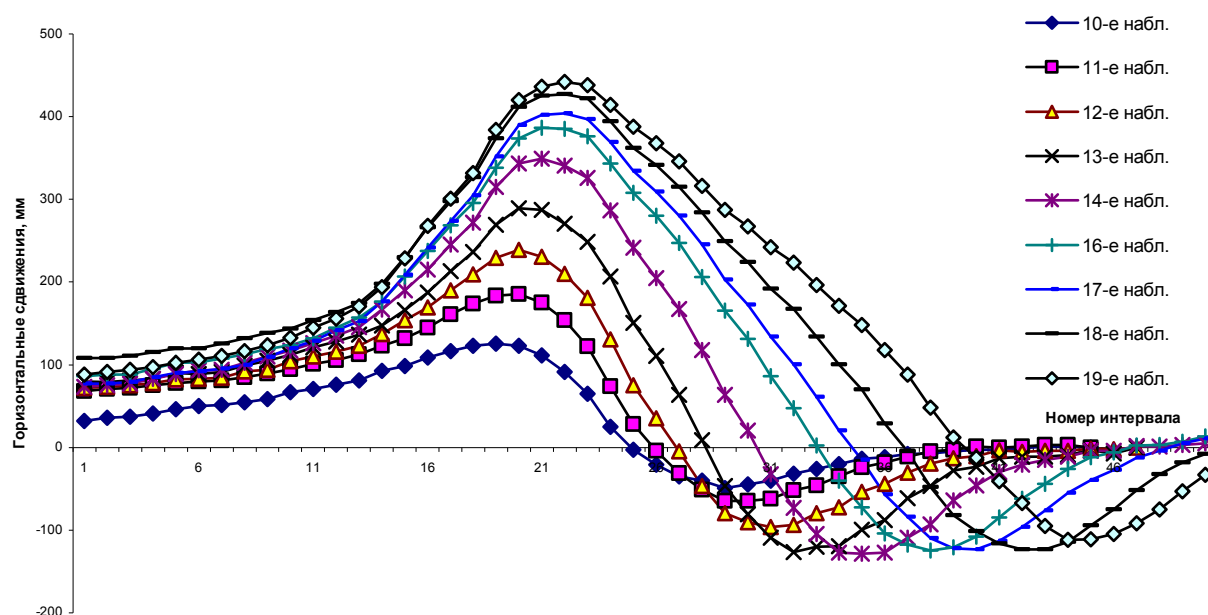
**Рисунок 2 – Фрагмент графика развития горизонтальных деформаций на профильной линии наблюдательной станции №8**

Согласно [1] величина горизонтального сдвижения  $\xi$  репера профильной линии определяется как разность горизонтального расстояния  $D_1$  от опорного репера до данного из первого наблюдения и такого же расстояния  $D_2$  из повторного (последующего) наблюдения

$$\xi = D_2 - D_1.$$

Величины  $D_1$  и  $D_2$  определяются, как сумма приведенных измеренных длин интервалов  $d_1$  и  $d_2$  соответственно из первого и последующих наблюдений. Если удлинения интервалов на краю мульды меньше критического, они исключаются из расчетов. Но если таких интервалов много, то сумма малых растяжений одного знака может привести к значительному их накоплению на границе мульды. Именно это обстоятельство, на наш взгляд, явилось причиной отклонения правых участков кривых распределения горизонтальных сдвижений от нуля на рис. 1.

С учетом изложенного выполнен расчет горизонтальных сдвижений от неподвижных рабочих реперов, находящихся над целиком со стороны движущегося забоя лавы. График распределения сдвижений (рис. 3) показывает, что максимальные значения при таком расчете возросли на 20-30% в зависимости от степени развития процесса сдвижения земной поверхности над движущимся очистным забоем. На границе мульды по мере подвигания забоя происходит накопление горизонтальных сдвижений и на момент, когда левая часть мульды полностью сформировалась, сдвиги достигли 100 м или 22% от величины максимального сдвижения.



**Рисунок 3 – График распределения горизонтальных сдвижений, рассчитанных от неподвижных реперов над целиком со стороны движущегося забоя лавы**

Если проследить экспоненциально убывающие сдвигения в левой части графика, то можно оценить, на какое расстояние распространяется влияние очистной выработки на земную поверхность со стороны разрезной печи лавы. Очевидно, что это влияние, выраженное в малых, докритических деформациях поверхности, имеет место на значительном удалении от очистной выработки. Этот факт подтверждается Кулибабой С.Б., исследовавшим влияние очистных работ на вертикальные шахтные стволы [3].

Если наши выводы верны, то возникает вопрос о надежности маркшейдерских подходов пунктов и пунктов геодезической основы на земной поверхности, которые используются для решения наиболее ответственных и высокоточных маркшейдерских работ. Даже если эти пункты находятся за пределами границ влияния очистных работ, определяемых по граничным углам [2], не исключено, что их положение в действительности будет нарушено. Это приведет к непоправимым ошибкам маркшейдерских измерений.

Другой аспект рассматриваемого вопроса заключается в изучении и установлении закономерностей сдвижения земной поверхности над очистными работами угольных шахт и разработке мер охраны подрабатываемых объектов. Ошибки определения горизонтальных

сдвижений по причине игнорирования малых деформаций на краю мульды сдвижения могут достигать значительных величин. Причем, эти ошибки, как правило, занижают величины сдвижений. Следовательно, возникает вопрос об объективности оценки влияния очистных работ на земную поверхность и объекты, которые на ней расположены.

Сдвигание земной поверхности является интегральным отражением процессов, происходящих в массиве горных пород, окружающем очистную выработку. При решении многих геомеханических задач используются геометрические параметры мульды сдвижения на земной поверхности. В частности, по граничным углам устанавливаются границы зон влияния очистной выработки в массиве. Результаты наших исследований показывают, что со стороны разрезной печи влияние горных работ распространяется далеко за пределы мульды сдвижения, а, следовательно, и в подрабатываемом массиве деформации пород имеют место на значительном удалении от границ очистной выработки. Установление закономерностей деформирования горных пород в этой области позволит более успешно решать вопросы охраны горных выработок, расчета их крепи и пр.

Из приведенных рассуждений следует, что методика косвенного определения горизонтальных сдвижений путем сложения измеренных рулеткой абсолютных деформаций отдельных интервалов между реперами профильной линии, не обеспечивает надежного и однозначного определения величин сдвижений земной поверхности (включая и максимальные значения) над очистной выработкой. По нашему мнению для объективной оценки сдвижений поверхности над целиком со стороны разрезной печи лавы необходимо непосредственно определять положение рабочих реперов профильной линии относительно опорных. Эта задача может быть решена, если расстояния до рабочих реперов измерять светодальномером, установленным на опорном репере. При этом опорный репер необходимо выносить как можно дальше за пределы зоны влияния очистной выработки.

Второй способ избежать накопления малых деформаций измеряемых интервалов заключается в непосредственном координировании реперов профильной линии посредством GPS-технологий (это направление исследований успешно реализуется проф. Гавриленко Ю.Н. [4]).

Выводы.

Маркшейдерские инструментальные наблюдения за сдвижением земной поверхности над целиком со стороны разрезной печи очистной выработки указывают на наличие докритических, малых по величине деформаций. Эти деформации наблюдаются на значительном удалении от границ мульды сдвижения, построенных по принятым критериям. Суммарное влияние малых деформаций на краю мульды составляет 20-30% от максимального положительного горизонтального сдвижения в мульде.

Недооценка влияния малых деформаций может привести к нарушению положения пунктов геодезической основы на земной поверхности, необоснованным инженерным решениям по охране поверхностных объектов от вредного влияния горных разработок.

Для уточнения закономерностей сдвижения земной поверхности и горных пород со стороны разрезной печи очистной выработки необходимо изменить методику маркшейдерских измерений на наблюдательных станциях с возможностью непосредственного определения смещений реперов профильных линий или координирования их положения относительно удаленных опорных пунктов.

#### **Список источников**

1. Инструкция по наблюдениям за сдвижением земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях/ Мин-во угольн. пром-ти СССР.– М.: Недра, 1989. – 96 с.
2. Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом / Отраслевой стандарт. – К.: Мінпаливенерго України, 2004. – 127 с.
3. Кулибаба С.Б. Исследование развития процесса сдвижения в массиве горных пород при движущемся очистном забое // Геоинформатика, геодезия, маркшейдерия / Сб. докл.

конф. – Донецк, 2002. – С. 51-57.

4. Гавриленко Ю.Н., Шоломицкий А.А., Ермаков В.Н. Геоинформационная система мониторинга территорий закрывающихся шахт // Геоинформатика, геодезия, маркшейдерия / Сб. докл. конф. – Донецк, 2002. – С. 5-12.

#### **Краткие сведения об авторах:**

**Назаренко Валентин Алексеевич** – д-р техн. наук, профессор кафедры маркшейдерии, Национальный горный университет, г. Днепропетровск, Украина.

**Балафин Игорь Евгеньевич** – горный инженер-маркшейдер, тов. "Скала", г. Борщов, Украина.

**Леонов Сергей Федорович** – горный инженер-маркшейдер, мл. научн. сотр. кафедры маркшейдерии, Национальный горный университет, г. Днепропетровск, Украина.