

УДК 622.834.1

А.Г. ПЕТРУШИН, канд.техн.наук, доц., МАЛАНЧУК Е.О., ассист. (Донецкий национальный технический университет)

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ НЕПРАВИЛЬНОЙ ФОРМЕ ОЧИСТНОЙ ВЫРАБОТКИ

Представлены результаты исследования распределения сдвижений и деформаций на базе трехмерной математической модели. Установлен ряд закономерностей влияния факторов, обусловленных конфигурацией выработанного пространства, на характер деформаций земной поверхности.

Характер и результат развития процесса сдвижения зависит от множества факторов и процессов, протекающих в толще горных пород. Это обуславливает с одной стороны практическую невозможность полной повторяемости экспериментов на базе натуральных маркшейдерских наблюдений, а с другой, необходимость разработки методик, позволяющих учесть максимальное количество влияющих параметров.

Нормативная методика расчета сдвижений и деформаций земной поверхности [1] позволяет прогнозировать их величины на основании данных в главных сечениях мульды сдвижения, исходя из допущения, что очистная выработка имеет прямоугольную форму и ориентирована параллельно элементам залегания пласта. Вместе с тем, на практике встречается большое количество выработок неправильной (непрямоугольной) формы. Если отклонения от правильной формы не превышают 0,1Н, при расчетах такие выработки заменяются прямоугольными с эквивалентной площадью [1]. Очевидно, что применение эквивалентной выработки приводит к искажению реальной картины распределения сдвижений и деформаций, как в качественном, так и в количественном отношении.

Данная работа имеет своей целью исследование и выявление закономерностей влияния неправильной формы выработанного пространства на процесс сдвижения земной поверхности на основе метода математического моделирования, который позволяет решить наиболее сложные задачи теории сдвижения земной поверхности, за короткое время проанализировать большое количество вариантов возможных горно-геологических условий отработки угольных пластов и выявить основные качественные и количественные закономерности.

Методика выполнения исследования состояла в следующем:

1. Расчет сдвижений и деформаций для очистной выработки неправильной формы по нормативной методике (замена эквивалентной выработкой).
2. Математическое моделирование процесса сдвижения методом конечных элементов в трехмерной постановке [2, 3].
3. Математическое моделирование методом численного интегрирования функций единичного влияния в пространственной постановке задачи.
4. Сравнительный анализ качественной и количественной картины, как в характерных сечениях, так и по всей площади мульды сдвижения, направленный на выявление закономерностей влияния формы лавы.

В описываемом исследовании анализировались очистные выработки следующих типов:

- выработка, несимметрично расширяющаяся или суживающаяся по мере подвигания (рис.1,а);
- выработка, симметрично расширяющаяся или суживающаяся по мере подвигания (рис.1,б);

- клинообразная выработка (рис 1,в).

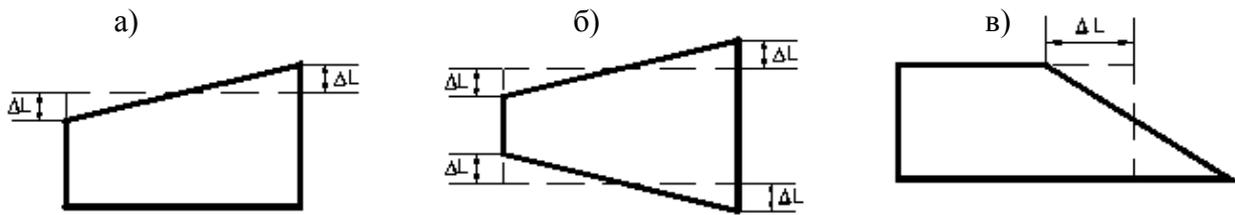


Рис. 1. Формы очистных выработок

Будем характеризовать выработку неправильной формы величиной её отклонения от прямоугольника – ΔL (рис.1). Было выполнено около 50 расчетов для следующих горно-геологических условий: горизонтально залегающий угольный пласт мощностью 1 м; глубина ведения горных работ изменялась от 200 м до 1000 м; размеры эквивалентных прямоугольных выработок в плане составляли 200x300, 200x400 и 200x500 м; величины отклонений от прямоугольной формы (ΔL) изменялись от 20 до 200 метров.

На рис.2.а приведена наиболее характерная картина распределения оседаний для несимметрично расширяющейся (суживающейся) по мере подвигания забоя формы лавы.

Анализ полученных данных позволяет выделить следующие особенности:

- наибольшее отличие в оседаниях для правильной и неправильной формы наблюдается над расширяющейся (положительный экстремум) и суживающейся (отрицательный экстремум) частью выработки. Величина отклонения достигает 20% от максимума оседаний;

- изолиния нулевых разностей оседаний проходит вдоль главного поперечного сечения выработки прямоугольной формы (размеры обеих выработок в данном сечении одинаковы) и перпендикулярно сторонам выработки;

- несимметричная форма оказывает влияние на распределение сдвижений и деформаций только в полумульде, расположенной над скошенной частью выработки;

- точка максимального оседания перемещается в сторону увеличения размеров выработки. При этом величина максимального оседания увеличивается незначительно (не более 1%);

- в сечении А-А (рис.3), проходящем через отрицательный экстремум графика разностей оседаний величины максимальных наклонов и горизонтальных деформаций изменяются незначительно. Но в связи со смещением точки перегиба кривой оседаний наблюдается уменьшение наклонов и горизонтальных деформаций в полумульде, расположенной над суживающейся частью выработки по сравнению с соответствующими величинами, вызванными выработкой прямоугольной формы.

- в сечении В-В (рис.3), проходящем через положительный экстремум графика разностей оседаний наблюдается противоположная картина. Точка перегиба кривой оседания, расположенная в полумульде над расширяющейся частью выработки, смещаются в сторону скошенной границы выработки. В связи с этим наблюдается уменьшение наклонов в указанной полумульде. Величины горизонтальных деформаций сжатия и растяжения в рассматриваемой полумульде увеличиваются.

На рис.2.в приведены наиболее характерные графики изолиний оседаний, вызванных симметрично расширяющейся (суживающейся) по мере подвигания забоя очистной выработкой и прямоугольной выработкой.

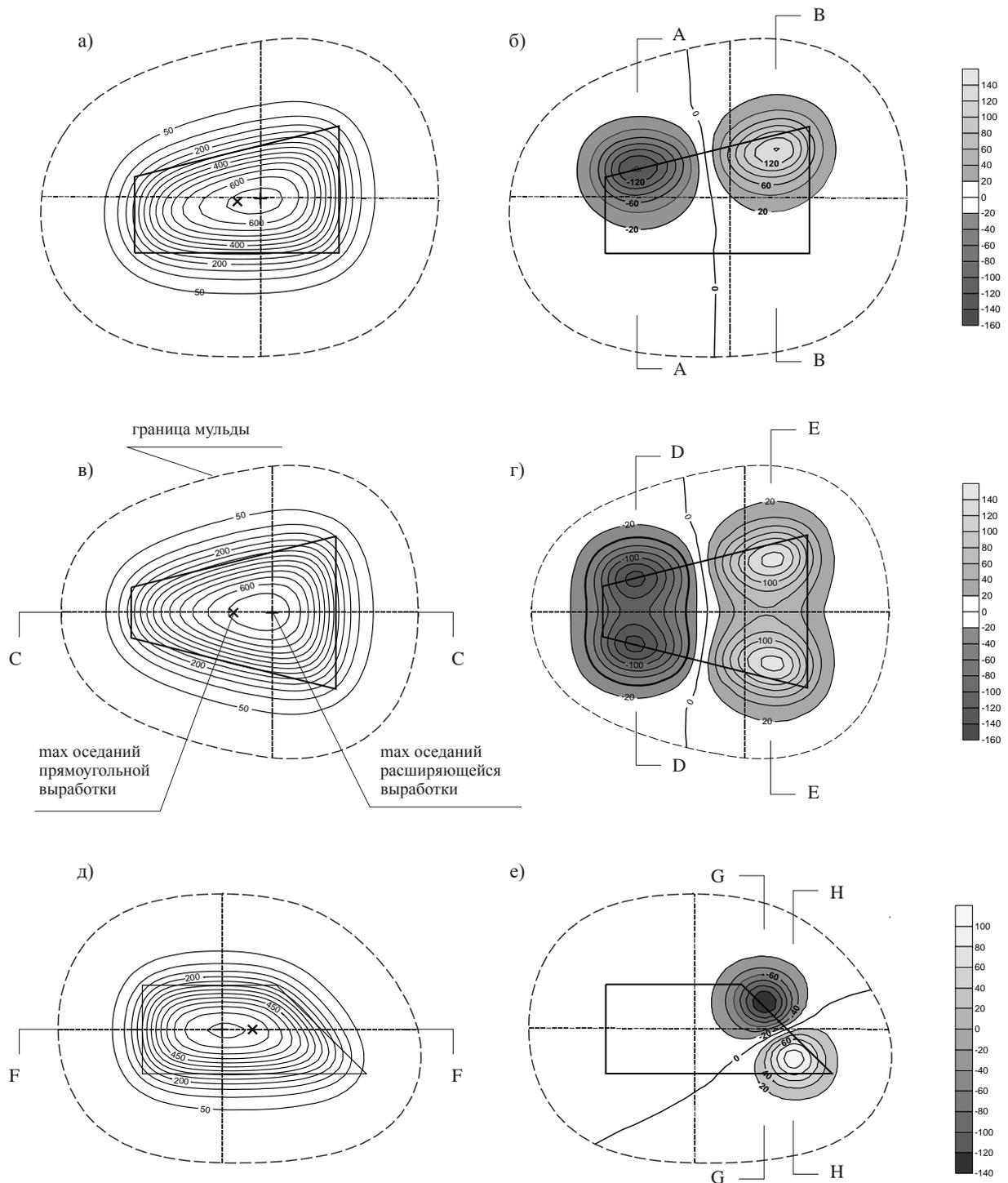


Рис. 2. Изолинии оседаний (а, в, д) и разностей оседаний (б, г, е) для выработок непрямоугольной формы

Анализ рис.2.в позволяет выявить следующие закономерности:

- изолиния нулевых разностей оседаний проходит вдоль главного поперечного сечения выработки прямоугольной формы;
- график изолиний разностей оседаний имеет четыре экстремума – два положительных, расположенных над расширяющейся частью выработки, и два отрицательных, расположенных над суживающейся частью выработки;

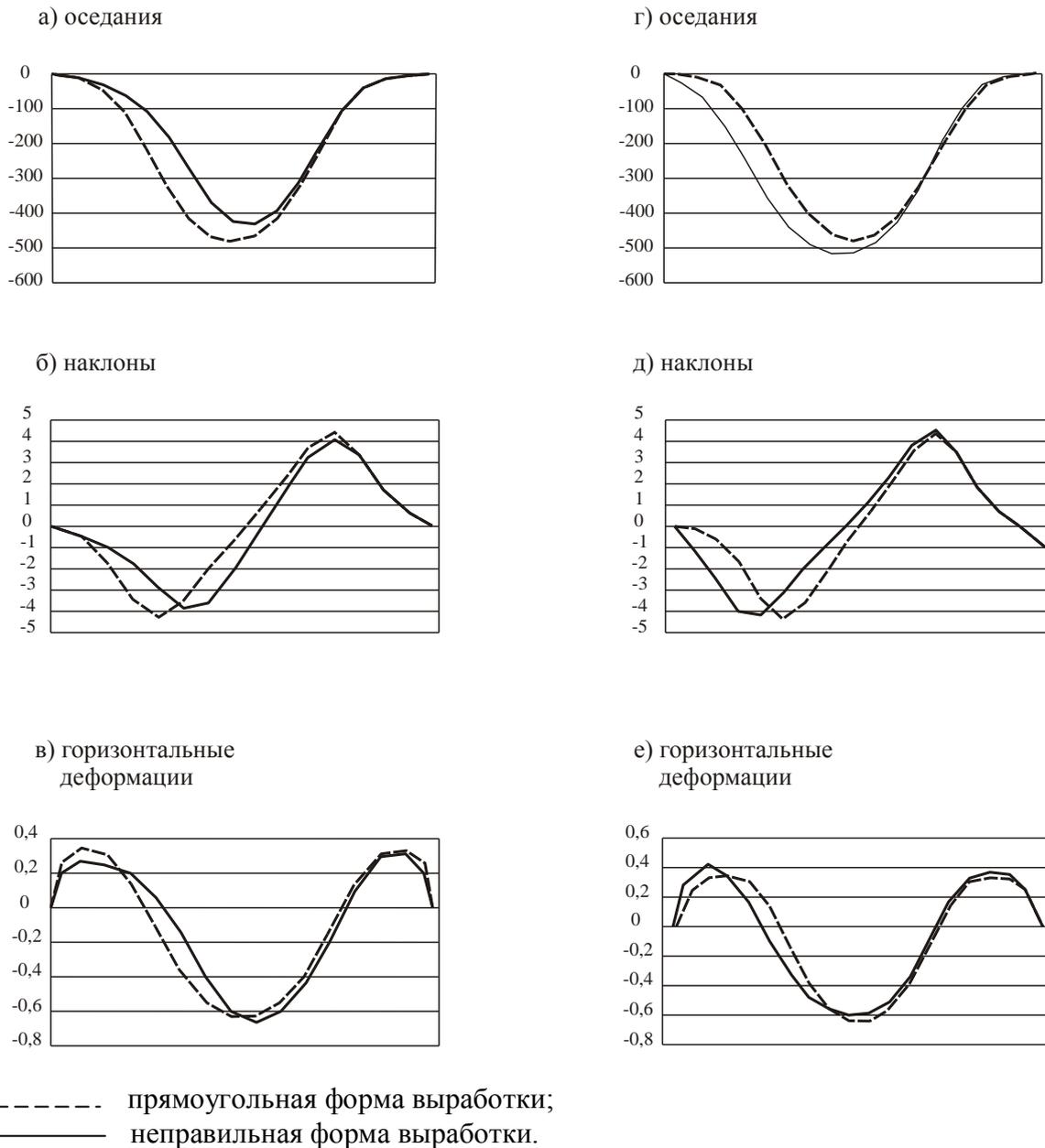


Рис. 3. Графики в сечении А-А (а, б, в) и в сечении В-В (г, д, е)

- в продольном главном сечении С-С (рис.4) происходит смещение точки максимального оседания в сторону расширения выработанного пространства, при этом величина максимального оседания изменяется незначительно (в пределах точности производимых вычислений). Точки перегиба кривой в данном сечении не смещаются, что приводит к уменьшению максимального наклона в полумульде над суживающейся частью выработки и незначительному увеличению максимального наклона в полумульде над расширяющейся частью выработки. Значения горизонтальных деформаций ощутимо изменяются в обеих полумульдах. В полумульде над суживающейся частью выработки величины горизонтальных деформаций, как сжатия, так и растяжения, уменьшаются. Наибольшие изменения претерпевают при этом деформации сжатия. В полумульде, расположенной над расширяющейся частью выработки сжатие увеличивается, при этом наблюдается тенденция по смещению точки максимального сжатия в сторону расширения выработки. Величина растяжения в рассматриваемой полумульде также увеличивается. Величины горизонтальных

сдвижений увеличиваются в центральной части мульды сдвижения, при этом значения максимальных сдвижений не изменяются.

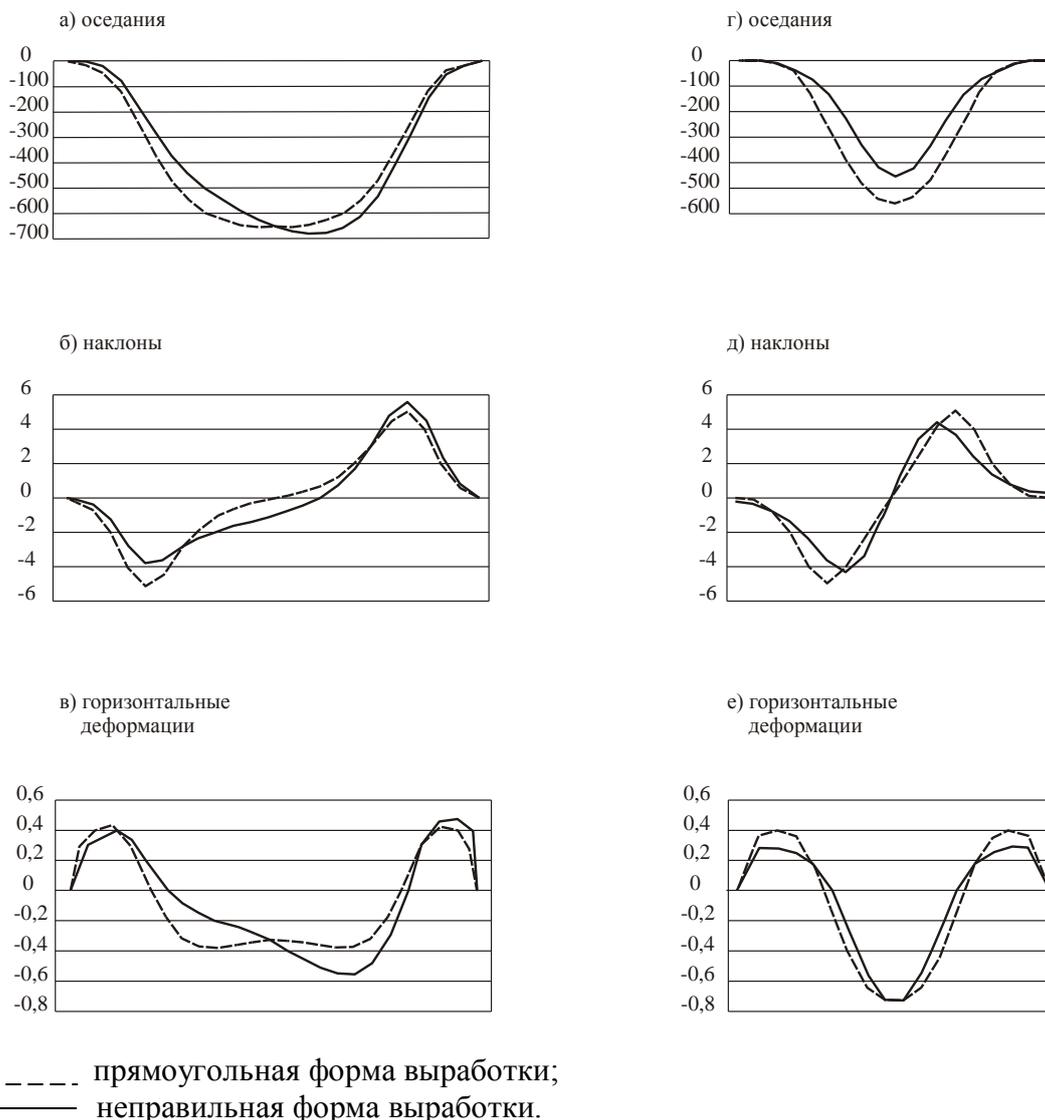
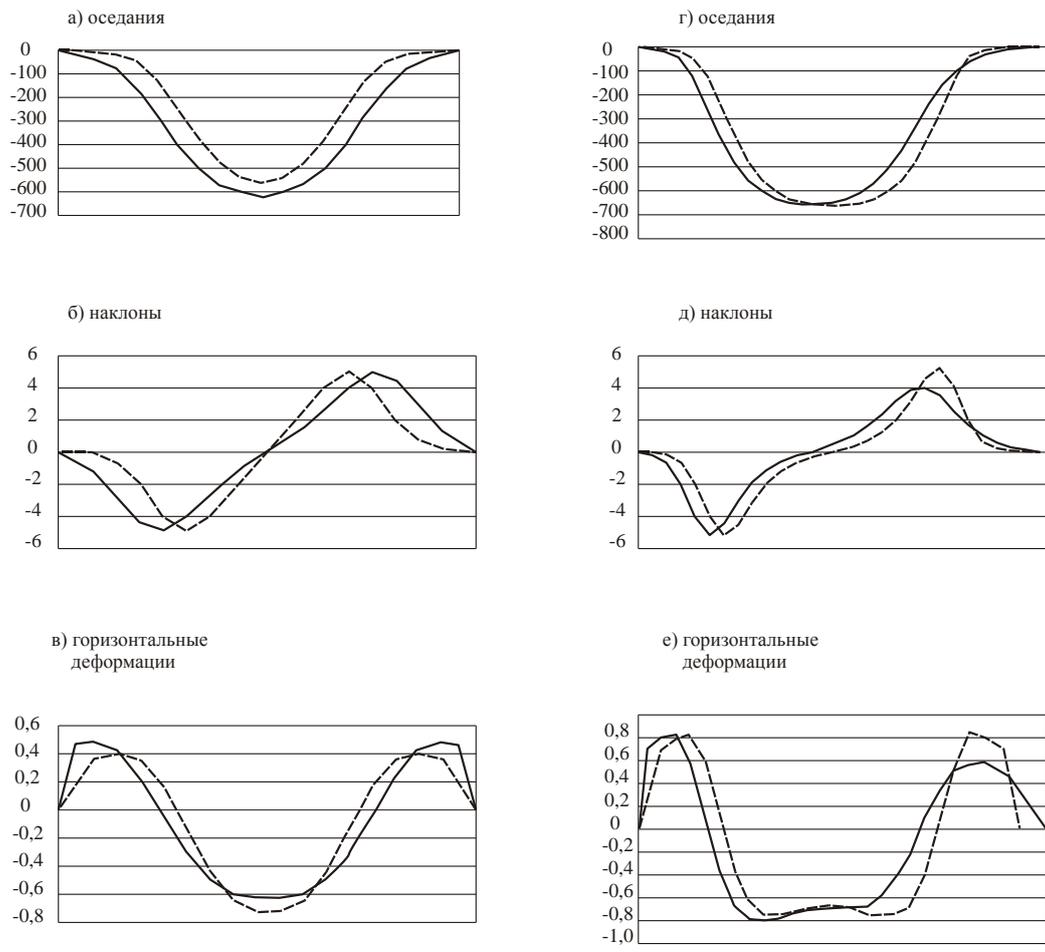


Рис. 4. Графики в сечении С-С (а, б, в) и в сечении D-D (г, д, е)

- в полумульде над суживающейся частью выработки (сечение D-D, рис.4) происходит уменьшение оседаний, наблюдается смещение точек перегиба кривой оседания в сторону центра лавы. Также наблюдается уменьшение величин наклонов, горизонтальных сдвижений и горизонтальных деформаций.

- в сечении E-E (рис.5), расположенном над расширяющейся частью выработки наблюдается противоположная картина. Величины оседаний, вызванные выработкой неправильной формы, больше величин оседаний, вызванных прямоугольной выработкой. При этом увеличение наблюдается на протяжении всего сечения. Точки перегиба кривой смещаются в сторону границ выработки, величины максимальных наклонов не изменяются. Деформации сжатия уменьшаются, а величины растяжений увеличиваются, в особенности в краевой части мульды сдвижения. Величины горизонтальных сдвижений также увеличиваются в краевой части мульды.



----- прямоугольная форма выработки;
 ————— неправильная форма выработки.

Рис. 5. Графики в сечении Е-Е (а, б, в) и в сечении F-F (г, д, е)

- степень влияния неправильной формы выработки на оседания земной поверхности прямо пропорциональна отношению отклонения ΔL от прямоугольной выработки к глубине ведения горных работ - $\Delta L/H$. С уменьшением этого отношения, рассмотренные тенденции в распределении сдвижений и деформаций сохраняются, но амплитуда расхождения между значениями уменьшается.

На рис.2.д, приведены изолинии оседаний, характерный для выработок клиновидной формы. Из анализа представленных графиков можно заключить:

- данная форма выработки оказывает влияние в первую очередь на распределение сдвижений и деформаций над скошенной границей выработки. Точка максимального оседания незначительно смещается в сторону, противоположную скошенному краю выработки. Величина максимального оседания не изменяется.

- степень влияния рассматриваемой формы выработки на деформации земной поверхности прямо пропорциональна отношению $\Delta L/H$, но меньше, чем для ранее рассмотренных форм. При $\Delta L/H \leq 0.25$ отклонения сдвижений и деформаций земной поверхности вызванные клинообразной выработкой от соответствующих величин, вызванных прямоугольной выработкой находятся в пределах точности выполняемых расчетов.

- график изолиний разностей оседаний имеет два экстремума. Положительный экстремум смещен относительно границы прямоугольной выработки в сторону

выступающего угла выработки неправильной формы, а отрицательный экстремум – в противоположную сторону. Расчеты, выполненные для моделей, имеющих большее отклонение от прямоугольной формы, показывают, что клинообразная форма выработки в большей степени влияет на уменьшение оседания, т.е. отрицательный экстремум имеет большую величину, чем положительный экстремум.

- в главном продольном сечении F-F (рис.5) наблюдается смещение точек перегиба кривой оседания в обеих полумульдах в сторону, противоположную скошенному краю выработки. Также происходит уменьшение максимального наклона в полумульде, расположенной над скошенной частью выработки и наблюдается уменьшение деформаций растяжения. Точки максимального растяжения и сжатия в полумульде, расположенной над прямоугольной частью выработки, смещаются в сторону границы выработки.

- для сечения G-G (рис.6), проходящего через отрицательный экстремум графика разностей оседаний, наряду с уменьшением величины максимального оседания также наблюдается смещение точек перегиба кривой оседания в сторону выступающей части выработки. В связи с этим, наклоны в центральной части выработки увеличиваются. Точка максимального сжатия смещается в сторону расширения выработки.

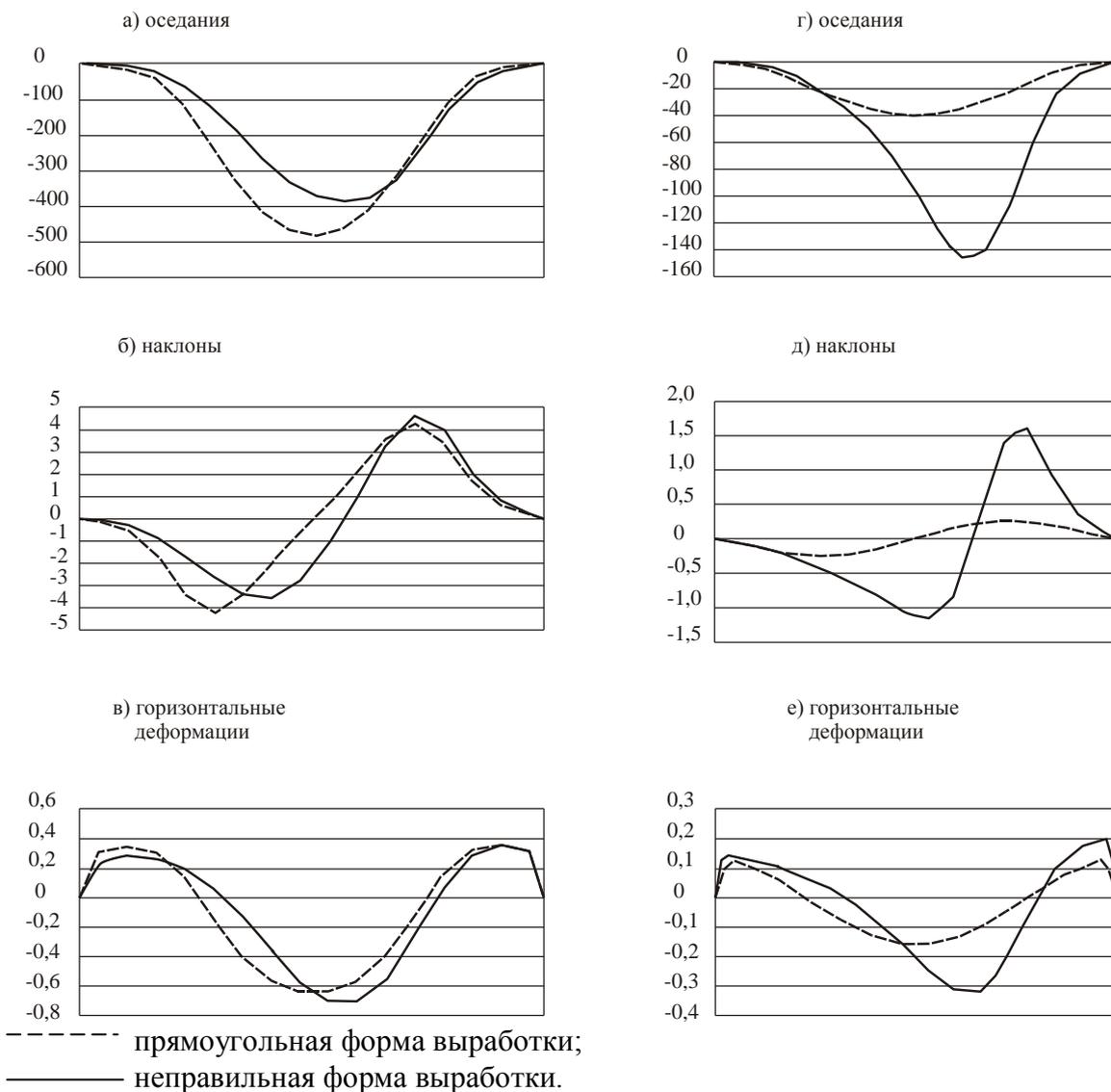


Рис. 6. Графики в сечении G-G (а, б, в) и в сечении H-H (г, д, е)

- для сечения Н-Н (рис.6), проходящего через положительный экстремум графика разностей оседаний характерны следующие тенденции в распределении сдвижений и деформаций: максимальный наклон в обеих полумульдах увеличивается в 4÷6 раз, максимальное оседание увеличивается в 3÷4 раза, максимальные величины горизонтальных сдвижений увеличиваются на 54%.

Таким образом, по результатам исследования влияния формы очистной выработки на сдвижения и деформации земной поверхности можно сделать следующие выводы:

- форма мульды сдвижения стремится повторить форму очистной выработки;
- наблюдается смещение точки максимального оседания (в сторону противоположную клину или в сторону расширения выработки) и точек перегиба кривой оседания;
- основное влияние форма очистной выработки оказывает на распределение сдвижений и деформаций в полумульде, расположенной над скошенной частью выработки;
- большее влияние неправильная форма выработки оказывает на величины наклонов и горизонтальных деформаций в центральной части мульды сдвижения;
- степень влияния неправильной формы выработки прямо пропорциональна отношению $\Delta L/H$, где ΔL – отклонение от прямоугольной формы, H глубина ведения горных работ ($\Delta L/H \leq 0.25$ клиновидная выработка может рассматриваться как прямоугольная, а при значении $\Delta L/H \leq 0.1$ - симметрично и несимметрично расширяющаяся выработка может заменяться прямоугольной).

Библиографический список

1. Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом : отраслевой стандарт Украины ГСТУ 101.00159226.001-2003. - К:Минтопэнерго, 2004. – 128 с.
2. Гавриленко Ю.Н. Численное моделирование процессов сдвижения массива горных пород и земной поверхности методом конечных элементов в объемной постановке / Ю.Н.Гавриленко, А.Г.Петрушин // Физико-технические проблемы горного производства: сб. науч. тр. – Донецк: ООО “Лебедь”. – 2001. - Вып. 3. – С. 12 – 25.
3. Гавриленко Ю.Н. Основные принципы моделирования сдвижений и деформаций земной поверхности методом конечных элементов / Ю.Н.Гавриленко, А.Г.Петрушин // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: гірничо-геологічна. – Донецк: ДонНТУ. – 2003. - Вып. 62. – С. 100-114.

Надійшла до редколегії 21.12.2009

А.Г. ПЕТРУШИН, О.О. МАЛАНЧУК

РОЗПОДІЛ ЗРУШЕНЬ ТА ДЕФОРМАЦІЙ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ НЕПРАВИЛЬНІЙ ФОРМІ ОЧИСНОЇ ВИРОБКИ

Наведені результати дослідження розподілу зрушень та деформацій на базі тривимірної математичної моделі. Встановлено ряд закономірностей впливу факторів, обумовлених конфігурацією виробленого простору, на характер деформацій земної поверхні.

A. PETRUSHIN, O. MALANCHUK

DISTRIBUTION OF SHIFTS AND DEFORMATIONS OF THE SURFACE DUE TO IRREGULAR SHAPE OF UNDERGROUND COAL MINES

The results of an analytical research of the distribution of deformations on the basis of a three-dimensional mathematical model are presented. The influence of the factors conditioned by the configuration of the mined-out space on surface deformation is studied.

© *А.Г. Петрушин, Е.О. Маланчук, 2010*