

**УДК 622.1:622.834**

## **АНАЛИЗ ХРОНОИЗОЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА СДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА**

**Назаренко В. А., Стельмашук Е. В.**  
(ГВУЗ «НГУ», г. Днепропетровск, Украина)

*За результатами натурних інструментальних спостережень розроблена просторово-часова модель формування земної поверхні у мульді зрушення для умов вугільних шахт Західного Донбасу. Запропоновано новий тип ізоліній, що характеризують час і місце виникнення у мульді осідань і нахилів певної величини.*

*Space-time model for formation of ground surface subsidence profile is developed based on the results of field instrumental observations for conditions of coal mines in the Western Donbas. A new type of contour-chronoisosubsidece is proposed. These lines characterize the time and place where certain subsidence is formed.*

На современном этапе развития угледобывающей промышленности строительство новых шахт практически не ведется. Прирост добычи угля, одного из основных энергоносителей в Украине, осуществляется за счет разработки новых угольных пластов глубокого залегания и расширения шахтных полей действующих шахт. В результате в различных сферах жизнедеятельности общества возникает множество проблем, от решения которых зависит эффективность использования природных ресурсов, состояние окружающей среды, безопасность производства и др. Одним из аспектов комплекса проблем является расширение территорий, которые оказываются в зонах влияния горных разработок, и, как следствие, увеличение числа объектов, требующих защиты от вредного влияния горных работ.

Обеспечение безопасной подработки сооружений и природных объектов является одной из основных задач маркшейдерской службы горного предприятия. Решение этой задачи зависит от объективности прогнозирования влияния горных выработок на подрабатываемые объекты, что в свою очередь, определяется соответствием принятых исходных параметров условиям разработки месторождения. В настоящее время расчет ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности, являющийся основой для выбора соответствующих мер охраны подрабатываемых сооружений и природных объектов, производится по нормативной методике Правил [1]. Однако действующая методика предусматривает расчет сдвижений и деформаций при закончившемся процессе сдвижения. Результаты расчетов не дают представления о развитии деформаций поверхности во времени и не учитывают различия развития деформаций на отдельных участках зоны влияния очистных работ. Этот факт стал причиной интереса многих исследователей к динамике процесса сдвижения.

Исследования последних лет позволили установить общие закономерности развития мульды сдвижения на стадии ее формирования и разработать методику пространственно-временного моделирования [2, 3, 4, 5] и графическую модель сдвижения поверхности. Эта модель представлена совокупностью специальных изолиний, которые дают возможность определять место возникновения и значения оседаний и наклонов в мульде сдвижения, а также ее профиль на любой момент времени и при любом положении движущегося очистного забоя лавы. Назначений модели – прогнозирование ожидаемых оседаний и наклонов поверхности без выполнения сложных и громоздких математических расчетов и графических построений. Ниже приведены результаты анализа этих моделей.

Если оценивать пространственно-временные модели развития оседаний (рис. 1) и наклонов (рис. 2), то можно утверждать, что хроноизолинии в системе координат  $L/H$ ,  $D_1/H$  распределены в нисходящем порядке со сдвигом в сторону движения очистного забоя, а их отметки по мере увеличения ординаты  $D_1/H$  возрастают. С увеличением  $D_1/H$  происходит увеличение зоны влияния очистной выработки на земную поверхность – увеличивается ин-

тервал абсцисс  $L/H$ , охоплюємою моделлю.

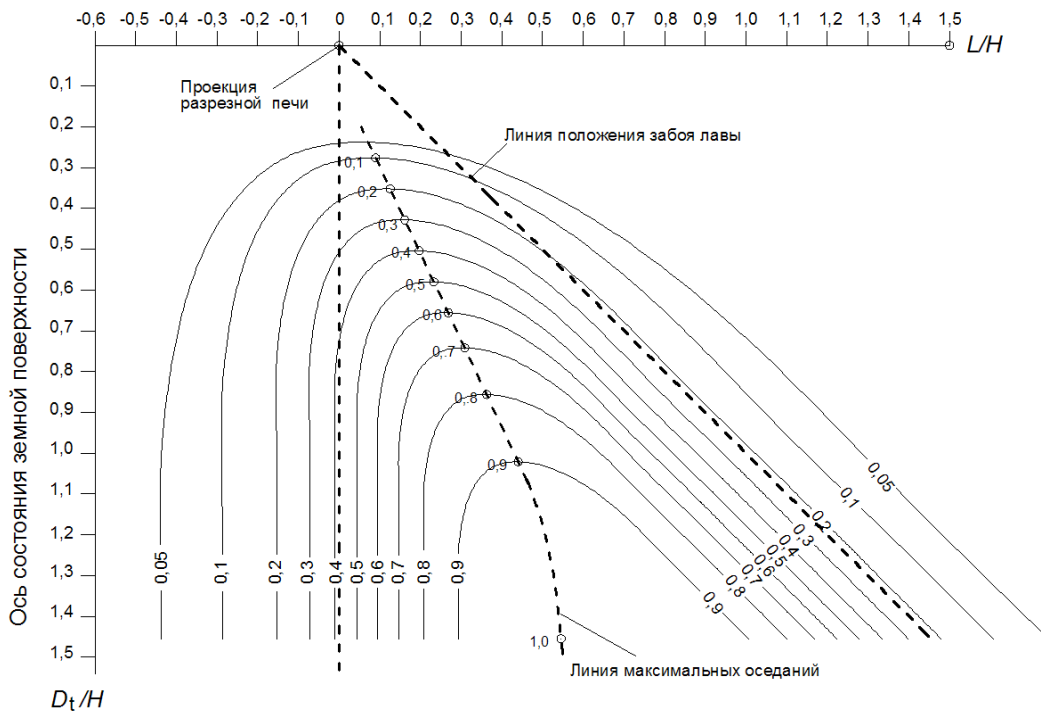


Рис. 1. Хроноизолинейная модель процесса оседания земной поверхности

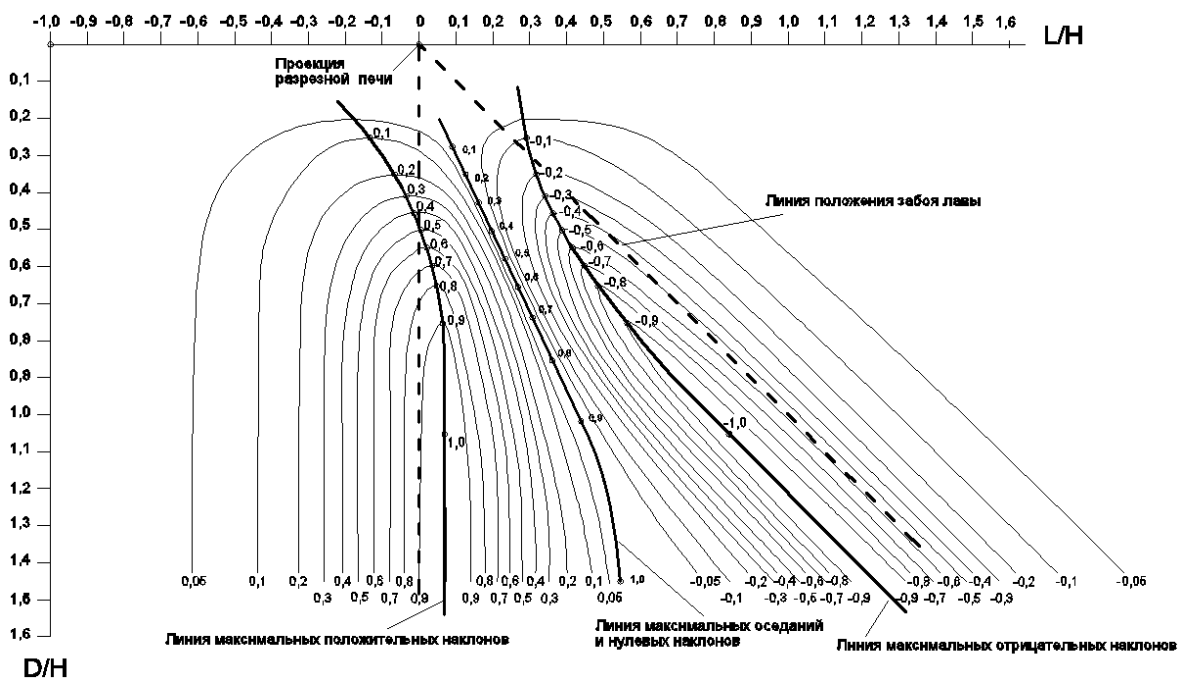


Рис. 2. Хроноизолинейная модель процесса изменения наклонов земной поверхности

Форма изолиний в целом остается неизменной, а отдельные участки изолиний имеют различный наклон. Отрезки прямых линий, касательные к изолиниям, изменяют угол наклона от  $90^\circ$  в левой части модели до  $0^\circ$  – в замковой верхней части и затем до угла  $45^\circ$  – в правой части модели (при условии равенства масштабов по осям  $L/H$  и  $D/H$ ).

Прямолинейность и взаимная параллельность участков изогипс свидетельствует о стабильности и равномерности процесса сдвижения, изогнутость и непараллельность участков является признаком активного изменения величин моделируемых величин. На пологих участках изолиний моделей градиент оседаний и наклонов наибольший. По мере роста угла наклона градиент уменьшается и при вертикальном положении градиент равен нулю – процесс остановился.

Исходя из изложенного выше с целью установления характера протекания процесс оседания земной поверхности на стадии формирования мульды, представляется принципиально важным выделить прямолинейные участки изолиний модели и криволинейные участки с изменяющимся углом наклона касательных к ним. В среде AutoCAD был выполнен комплекс графических построений, заключающийся в проведении касательных прямых линий к изолиниям моделей на различных участках. Путем визуального контроля установлены точки сопряжения прямолинейных и криволинейных участков изолиний на обеих моделях рисунков 3 и 4. Эти точки были соединены полилинией, которая после сглаживания преобразована в сплайн. Полученные в результате геометрических построений линии перехода криволинейных участков изолиний в прямолинейные показаны на рисунке 3.

В результате совмещения графиков моделей оседаний и наклонов установлено, что эти линии практически совпадают друг с другом, что позволило создать обобщенный график характерных линий и точек динамической модели процесса сдвижения на стадии формирования мульды. Этот график показан на рисунке 4. Согласно результатам исследований максимальных оседаний в формирующейся мульде [6] процесс оседания земной поверхности при отходе лавы от разрезной печи начинается при размере выработанного пространства  $D_t = 0,2H$ .

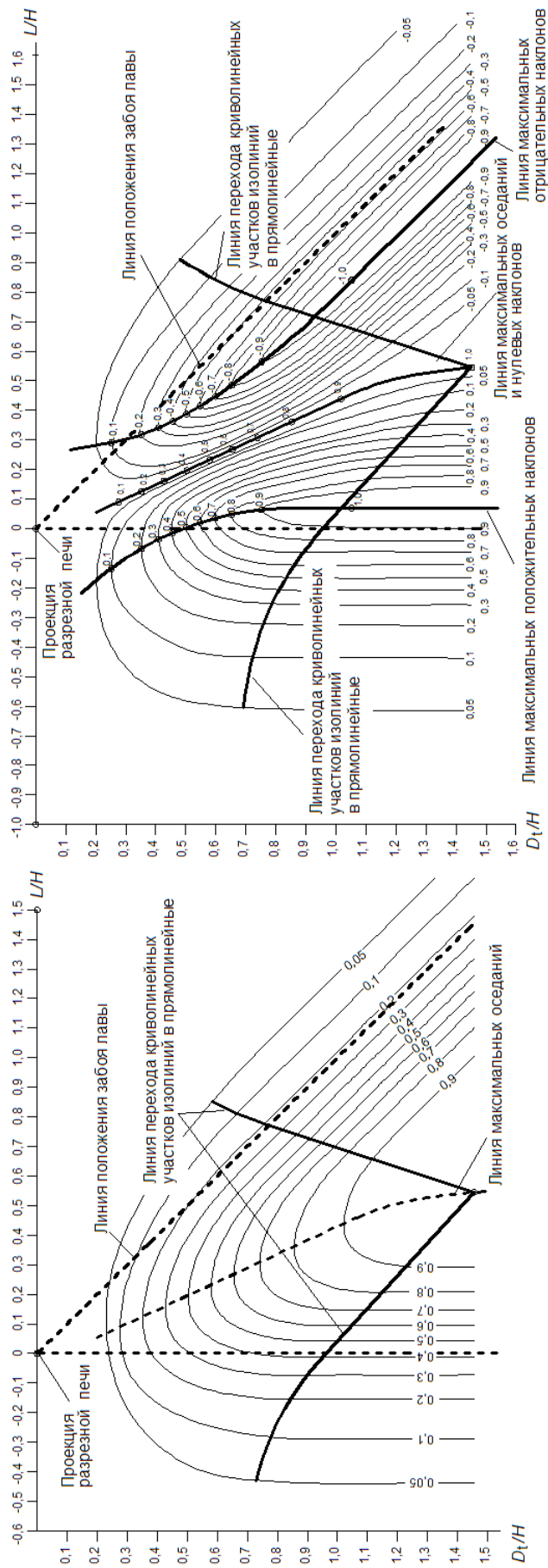


Рис. 3. Определение линий перехода криволинейных участков изопиний модели в прямолинейные

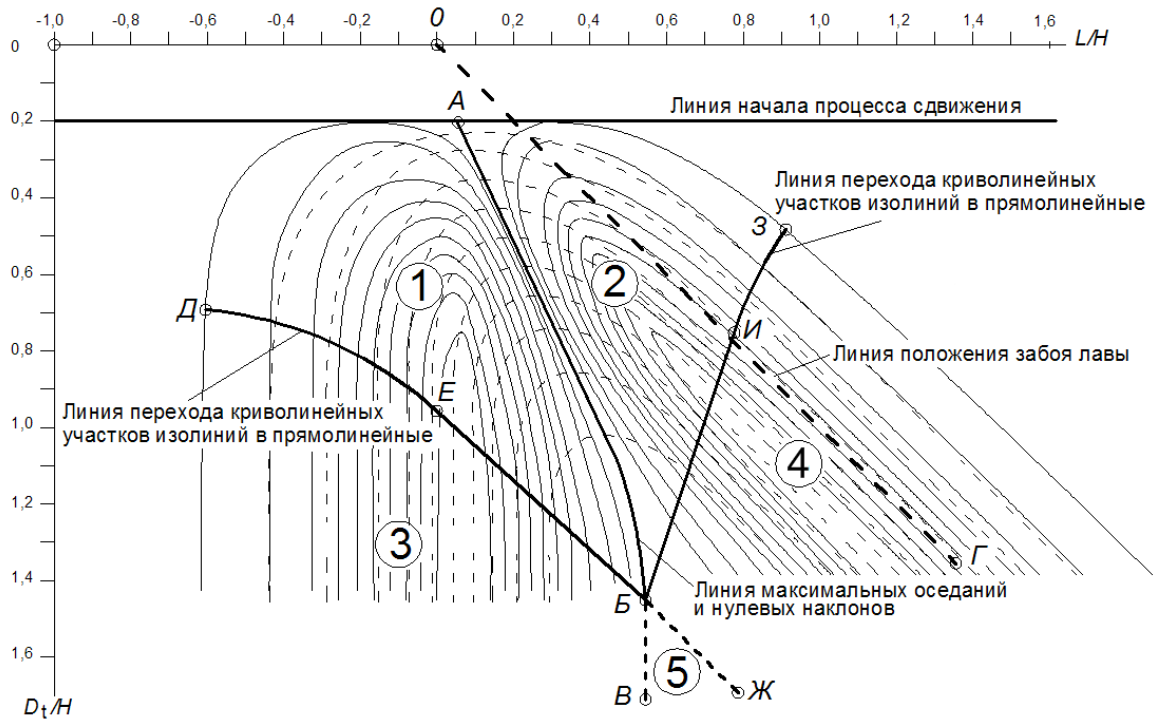


Рис. 4. Обобщенный график характерных точек и линий динамической модели процесса сдвижения на стадии формирования мульды

Линия максимальных оседаний и нулевых наклонов, изображенная на рисунке 4 линией  $AB$ , если ее продолжить, займет положение  $BB$ . Согласно тем же исследованиям [6] отрезок  $BB$  на графике модели будет вертикальным (параллельным линии проекции разрезной печи).

Линия перехода криволинейных участков изолиний в прямолинейные  $DEB$  состоит из двух участков:  $DE$  – дуга окружности радиуса, равного 1, т.е.  $H$ ,  $EB$  – отрезок прямой, параллельный линии положения очистного забоя  $OG$ . Отрезок  $BЖ$  является продолжением линии  $DEB$ . Линия перехода криволинейных участков изолиний в прямолинейные  $ZIB$  так же состоит из двух участков:  $ZI$  – дуга окружности радиуса, равного 1,  $IB$  – отрезок прямой.

На графике рисунка 4 можно выделить пять зон, в которых конфигурация изолиний и характер сдвижения различаются. Зона 1 характеризуется активным изменением оседаний и положительных наклонов поверхности и соответствует формирующейся

обратной полумульде динамической мульды на стадии формирования [7]. Зона 2 так же характеризуется активным изменением оседаний и отрицательных наклонов поверхности и соответствует формирующейся прямой полумульде. Зона 3 обозначает участки земной поверхности, на которых оседания достигли своего предела и процесс сдвижения завершился. Изолинии в пределах этой зоны вертикальны.

Зона № 4 соответствует стадии синхронного сдвижения, в которой профиль мульды остается неизменным и прямая полумульда перемещается вслед за очистным забоем. Изолинии моделей в этой зоне параллельны линии положения очистного забоя, что свидетельствует о равенстве скоростей перемещения забоя лавы и динамической мульды на поверхности.

В пятой зоне изолинии оседания и наклонов отсутствуют. Здесь оседания достигли максимума и остаются неизменными при увеличении размера выработанного пространства  $D_r$ . Наклоны поверхности равны нулю. Эта зона обозначает плоское дно мульды.

Таким образом, можно сказать, что в зонах 3 и 5 процесс сдвижения завершился, а в зонах 1, 2, 4 – находится в стадии активного развития.

На рисунке 5 показана номограмма развития процесса сдвижения с обозначением всех стадий, через которые проходит мульда сдвижения при отходе лавы от разрезной печи и выделены характерных области мульды сдвижения, а именно: область формирования мульды с выделением в ней областей формирования обратной и прямой полумульд; область окончания процесса сдвижения, включающая область формирования плоского дна мульды; область синхронного сдвижения поверхности.

### **Выводы.**

Хроноизолинейные модели оседания и наклонов земной поверхности характеризуют развитие мульды сдвижения на малоизученной стадии формирования. Изолинии моделей позволяют определять величины оседаний и наклонов поверхности и профиль мульды на любой произвольный момент времени, характеризующийся подвиганием очистного забоя от начала отработки лавы.

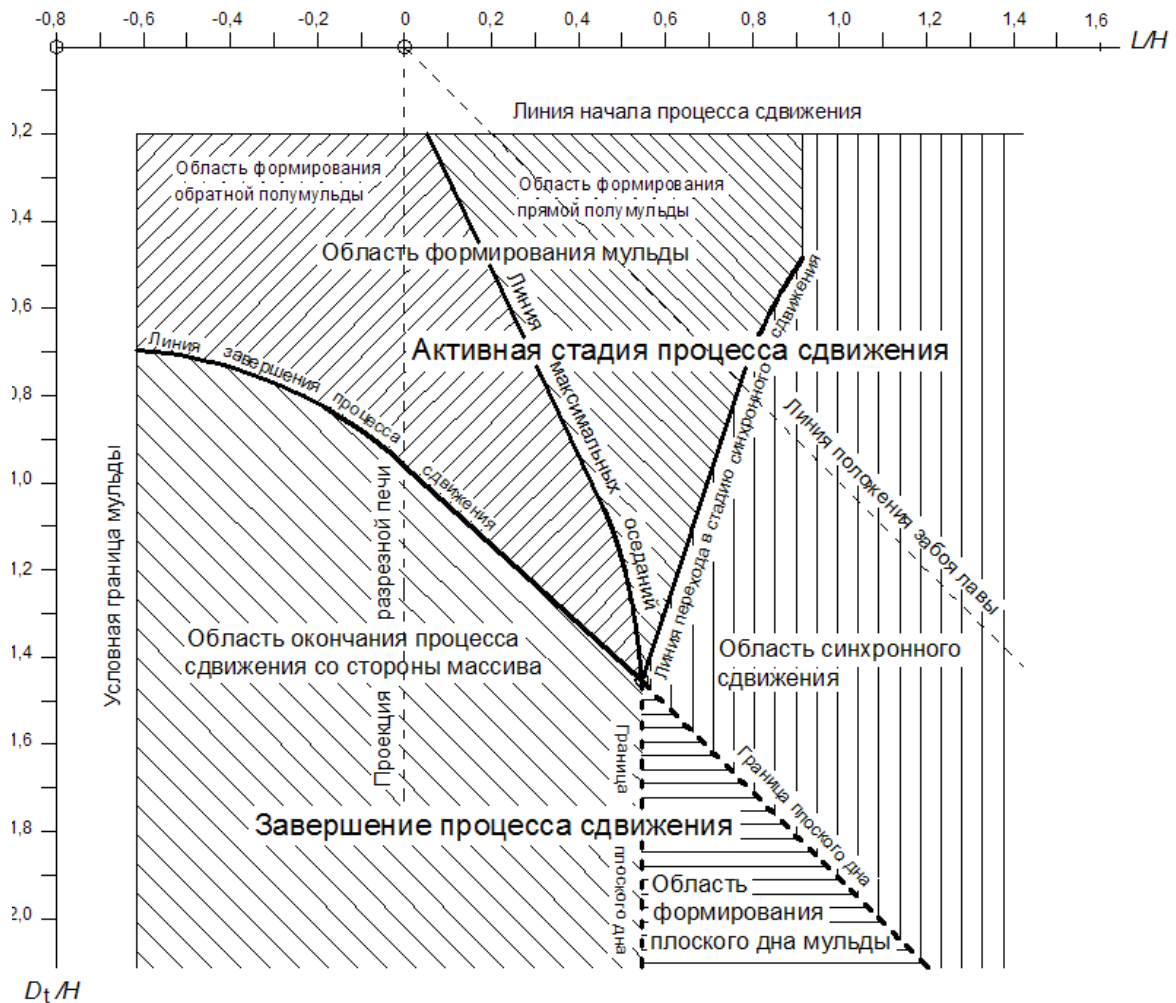


Рис. 5. Номограмма стадий развития процесса сдвижения над разрезной печью

Получаемые по моделям величины сдвижений и деформаций имеют высокую надежность, на что указывает сравнение с результатами натуральных инструментальных маркшейдерских наблюдений на шахтах Западного Донбасса.

В сравнении с известными способами прогнозирования оседаний, включая и нормативную методику Правил [1], разработанная модель обеспечивает большую точность и исключает громоздкие вычисления и вспомогательные графические построения.

Методика пространственно-временного моделирования и разработка хроноизолинейных моделей процесса сдвижения земной поверхности может быть реализована на угольных месторождениях с горизонтальным или пологим залеганием пластов.



## СПИСОК ССЫЛОК

1. Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом // Отраслевой стандарт. — К. : Мінпаливенерго України, 2004. — 127 с.
2. Назаренко В. А., Стельмащук Е. В. Моделирование формирования мульды сдвижения земной поверхности над движущимся забоем // Проблеми гірського тиску. — № 17 — Д. : ДонНТУ, 2009. — С. 4—9.
3. Назаренко В. А., Стельмащук Е. В. Исследование развития наклонов поверхности при формировании мульды сдвижения // Науковий вісник НГУ. — 2010. — № 4. — С. 18—22.
4. Назаренко В. А., Кучин А. С. Калибровка хроноизолинейной модели процесса сдвижения. — Форум гірників - 2011. Дніпропетровськ, НГУ, 2011. — С. 261—267.
5. Назаренко В. А., Сдвижкова Е. А., Кучин А. С. Модель развития наклонов земной поверхности на стадии формирования мульды сдвижения для условий Западного Донбасса. — Форум гірників - 2012. Дніпропетровськ, НГУ, 2012. — С. 242—245.
6. Йощенко Н. В., Назаренко В. А. Закономерности формирования максимальных оседаний земной поверхности над очистным забоем / Геотехнічна механіка : Міжвід. зб. наук. праць / Ін-т геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України. — Вип. 72. — Дніпропетровськ, 2007. — С. 23—31.
7. Назаренко В. А., Антипенко Г. А. О некоторых терминах и определениях процесса сдвижения земной поверхности // Уголь Украины. — 2001. — № 9. — С. 44—45.