

*Бубунець Ю.В.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Україна)*

## **ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ПРОГНОЗИРУЕМОСТЬ МЕТАНООБИЛЬНОСТИ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

*Наведені результати статистичних досліджень метановості виробок вугільних шахт, вивчені питання правомірності застосування нормального закону розподілення при визначенні очікуваної метановості виробок, запропоновано виділення зон потенційної прогнозованості метановиділення за допомогою індикаторів хаотичності.*

**Ключові слова:** метановість, прогноз, індикатор хаотичності, прогнозна модель.

*Приведены результаты статистических исследований метанообильности выработок угольных шахт, изучены вопросы правомерности использования нормального закона распределения при определении ожидаемой метанообильности выработок, предложено выделение зон потенциальной прогнозируемости метановыделения с помощью индикаторов хаотичности.*

**Ключевые слова:** Метанообильность, прогноз, индикатор хаотичности, прогнозная модель.

Проектирование разработки выемочных участков на угольных шахтах, разрабатывающих газоносные пласты, требует выполнения прогноза метанообильности выемочного участка. Определение ожидаемой метанообильности горных выработок для действующих шахт выполняется по фактической метанообильности выработок - аналога данного шахтопласта [1]. В основу данного прогноза положено, что метановыделение рассматривается как случайная величина и подчиняется нормальному закону распределения. Проведенные исследования временных рядов метановыделений выемочных участков в большинстве случаев не подтверждают выполнения нормального закона ни для рядов по всему выемочному столбу, ни по их значимым частям.

Анализ исследований и разработок показывает, что рост средних скоростей подвигания забоев и размеров выемочных столбов обусловил динамику геомеханических и аэрогазодинамических процессов, выходящую за пределы известных и широко апробированных нормативно-

методических положений. В связи с отмеченными современными технологическими особенностями необходимо применять комплексные подходы для прогноза метанообильности выработок, в частности в работах [2,3] предложен адаптивный прогноз метанообильности на основе пространственных информационно-аналитических моделей.

В работе [4] исследована неравномерность распределения метана в угольном пласте и результаты исследований говорят о том, что распространённое представление о метаноносности угольных пластов и их структуре препятствует внедрению новых способов предотвращения внезапных выбросов метана и угля, внезапных выделений метана в горные выработки, поэтому для обеспечения метанобезопасности при подземной добыче угля необходимо производить идентификацию участков пласта с повышенной природной метаноносностью.

Определение ожидаемой метанообильности в очистной выработке и на выемочном участке по фактическим данным выработки-аналога, требует комплексного исследования динамики метановыделения на основе теории хаоса и динамики нелинейных систем, с целью установления его потенциальной прогнозируемости для применения соответствующих прогнозных моделей.

Расчет ожидаемого среднего метановыделения в очистной выработке и на выемочном участке по фактическим данным выработки - аналога учитывает нагрузку на очистной забой, длину лавы, глубину разработки и ширину условного пояса дренирования зависящую от системы разработки [1]. Для учета возможных колебаний метановыделения применяется коэффициент неравномерности  $k_n$ . Множитель  $k_n$  рассчитывается в предположении, что метановыделение, рассматриваемое как случайная величина, подчиняется нормальному закону распределения.

Нами были проведены исследования временных рядов метановыделения на шахтах ОАО «Краснодонуголь», разрабатывающих высокогазоносные пласты. В частности на рисунках 1,2 приведены гистограмма и теоретическая кривая нормального закона распределения среднесуточной метанообильности, соответственно, выемочного участка и очистного забоя 1-й восточной лавы шахты «Самсоновская – Западная».

Проверка соответствия эмпирического распределения нормальному закону по критерию Пирсона показывает, что наблюдаемое значение критерия  $\chi^2_{наб}=29,4$ , значительно превышает критическое значение  $\chi^2_{кр}=12,6$  при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ . Следовательно, нет оснований принять гипотезу о нормальном распределении среднесуточных значений метанообильности выемочного участка и очистного забоя для условий 1-й восточной лавы шахты «Самсоновская-западная».

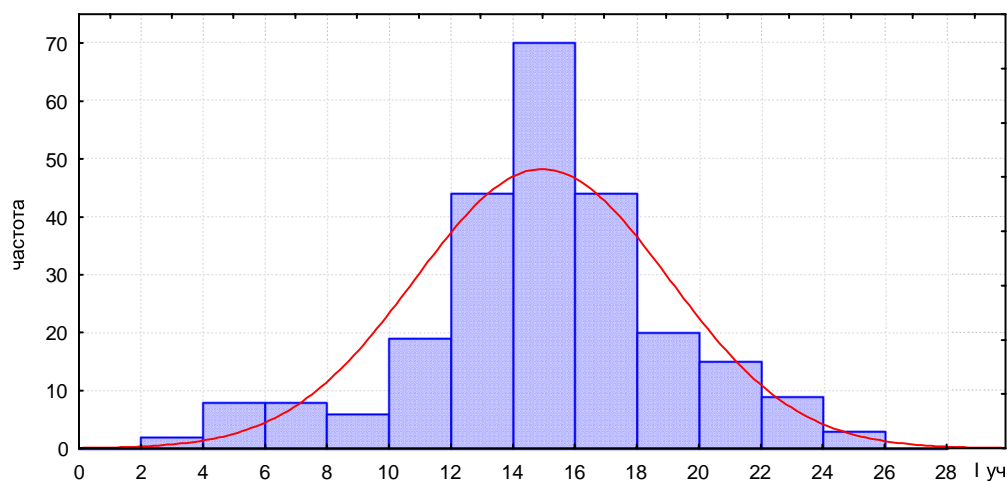


Рисунок 1 – Гистограмма и теоретическая кривая нормального закона распределения среднесуточной метанообильности выемочного участка 1-й восточной лавы шахты «Самсоновская-западная»

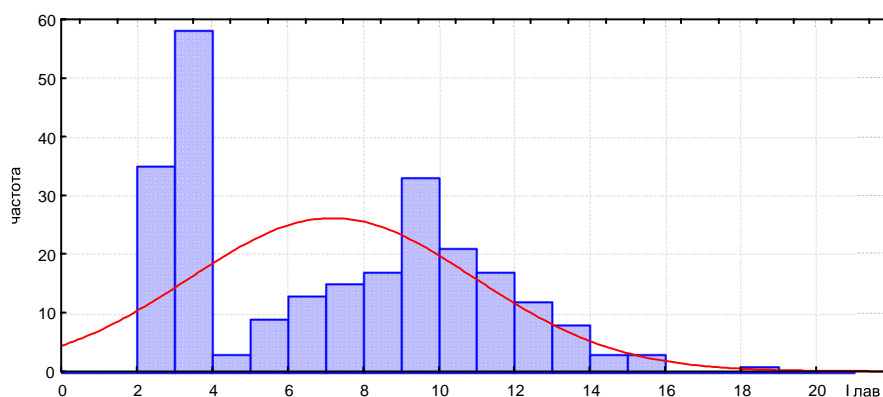


Рисунок 2 – Гистограмма и теоретическая кривая нормального закона распределения среднесуточной метанообильности очистного забоя 1-й восточной лавы шахты «Самсоновская-западная»

Некоторые авторы [5] предлагают избавляться во временных рядах метановыделений от трендов, что зачастую приводит к нормальному закону распределения. С этой целью, представленные выше ряды подвергнуты преобразованию к первым разностям по формуле  $u_t = x_t - x_{t-1}$ . Результаты проверки рядов разностей представлены на рисунках 3 и 4.

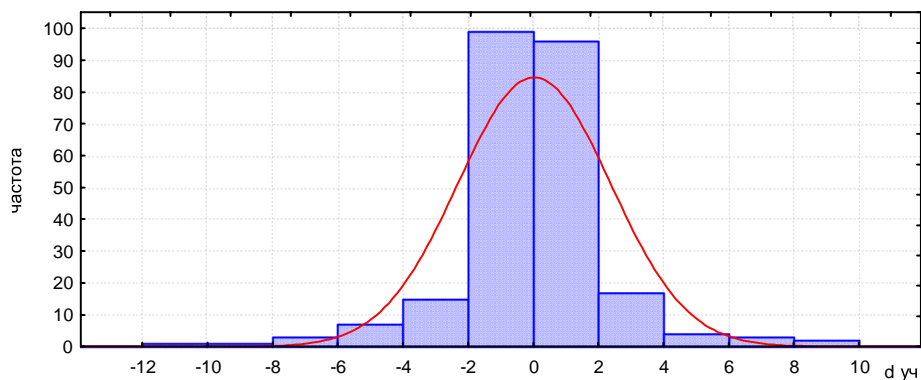


Рисунок 3 – Гистограмма и теоретическая кривая нормального закона распределения для первой разности среднесуточной метанообильности выемочного участка 1-й восточной лавы шахты «Самсоновская – Западная»

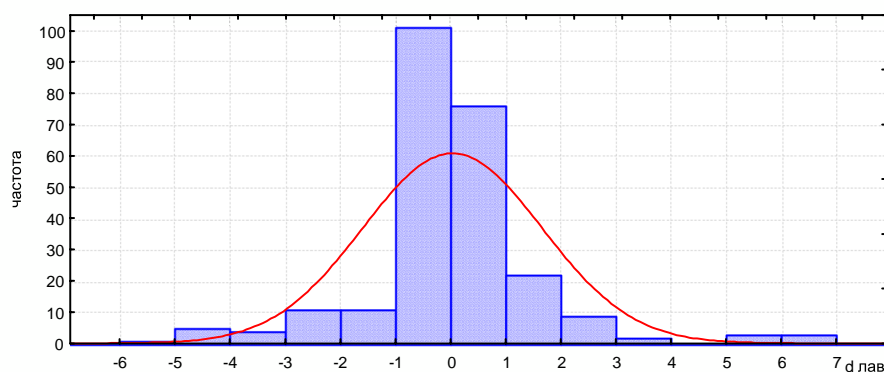


Рисунок 4 – Гистограмма и теоретическая кривая нормального закона распределения для первой разности среднесуточной метанообильности очистного забоя 1 восточной лавы шахты «Самсоновская – Западная»

Результаты проведенных исследований и представленные графики с рассчитанными критериями Пирсона демонстрируют:

а) не соответствие эмпирических распределений метановыделений нормальному закону распределения;

б) эмпирические распределения разностей метановыделения для различных выемочных участков и очистных забоев на разных шахтопластах имеют много общего, а именно, все распределения имеют острые пики и толстые хвосты (т.е. встречаемые частоты редких значений - за пределами трех сигм значительно превышают ожидаемые при нормальном законе распределений в 5-10 раз, следовательно, даже с помощью коэффициента неравномерности эти экстремальные значения не могут быть спрогнозированы).

В настоящее время в результате статистических исследований установлено, что существует множество других вероятностных распределений, в том числе степенные. "Хвосты" этих распределений убывают гораздо медленнее, за что они получили название "распределений с тяжелыми хвостами". Эти законы распределения вероятностей имеют фундаментальный характер для процессов, попадающих под категорию катастрофических. Степенные распределения "с тяжелыми хвостами" описывают не только катастрофы и стихийные бедствия с большими ущербами, но и абсолютное большинство кризисных явлений и аварийных ситуаций.

Следовательно, ряды метановыделений с распределениями степенного вида необходимо прогнозировать с учетом возможных рисков их хаотической динамики, что делает невозможным ограничиваться использованием коэффициента неравномерности, даже если он будет модифицирован. Нужны принципиально новые решения, основанные на более реалистичных моделях стохастических процессов метановыделения.

Для исследований правомерности представления временного ряда метановыделения случайной величиной применяется метод случайного перемешивания данных. Если при этом автокорреляционная функция ряда принципиально не изменяется, то порядок следования данных в ряду не существенен, и рассматриваемую величину правомерно представить случайной величиной.

Для ряда лав была выполнена процедура перемешивания, которая показала принципиальное изменение автокорреляционной функции.

Автокорреляционная функция, рисунок 5, медленно спадает. Такое поведение автокорреляционной функции свидетельствует о том, что в системе обнаруживаются фундаментальные внутренние статистические закономерности, получившие название «долговременная память». Наличие долговременной памяти свидетельствует о неслучайности сложившегося для каждого показателя чередования спадов и подъёмов их значений.

Автокорреляционная функция для перемешанных значений среднесуточной метанообильности, рисунок 6, не выходит за пределы, соответствующие белому шуму. Значит, порядок следования значений метановыделений во временном ряду имеет значение, и, следовательно, при прогнозе ожидаемой метанообильности выработок необходимо моделировать метановыделение как случайный процесс.

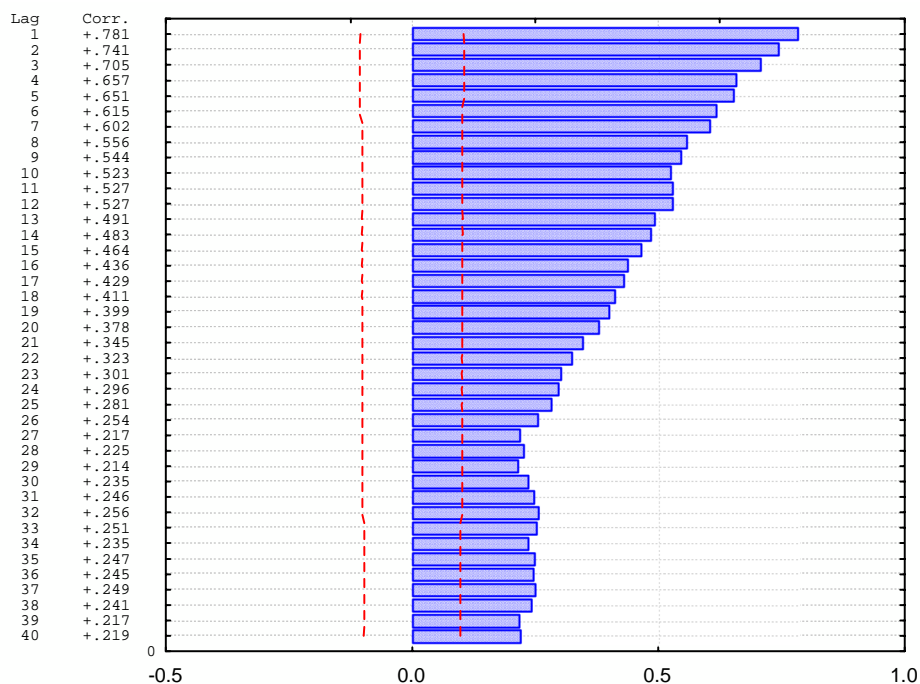


Рисунок 5 – Автокорреляционная функция среднесуточной метанообильности выемочного участка 1-й восточной лавы шахты «Самсоновская-западная»

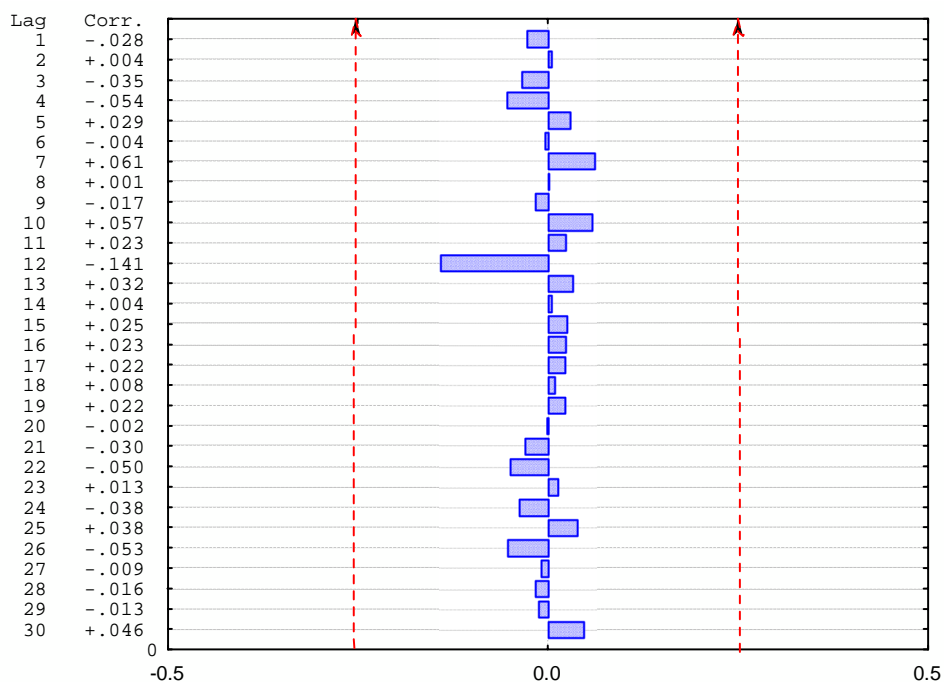


Рисунок 6 – Автокорреляционная функция для перемешанных значений среднесуточной метанообильности Иуч выемочного участка 1-й восточной лавы шахты «Самсоновская-западная»

Комплексное исследование динамики метановыделения на основе теории хаоса и динамики нелинейных систем позволяет учитывать смешанную природу процессов метановыделения, заключающуюся в том, что на одних участках временного ряда показатель является детерминированным, на других – не поддается достоверным прогнозам, а на третьих – подчиняется нормальному закону распределения. Поэтому прогнозу по фактической метанообильности выемочного участка должно предшествовать исследование потенциальной прогнозируемости (выявление долговременной памяти, трендов, циклов и тенденций их развития) метановыделений выработки-аналога. Это возможно осуществить при помощи простых индикаторов хаотичности (показатель Херста и др.)[6].

Использование показателя Херста, характеризующего отношение силы тренда (детерминированный фактор) к уровню шума (случайный фактор) для рядов метановыделения и факторов, на них влияющих, позволяет проводить эффективное зонирование ряда метановыделений по степени детерминированности процесса, а, следовательно, сделать прогноз метановыделения более гибким и не привязанным к одной, на весь ряд, модели.

Применение указанных методов теории хаоса в нескольких различных по условиям отработки лавам на этапе ретроспективного анализа выявило некоторые закономерности, которые продемонстрированы на графиках, рисунки 7,8.

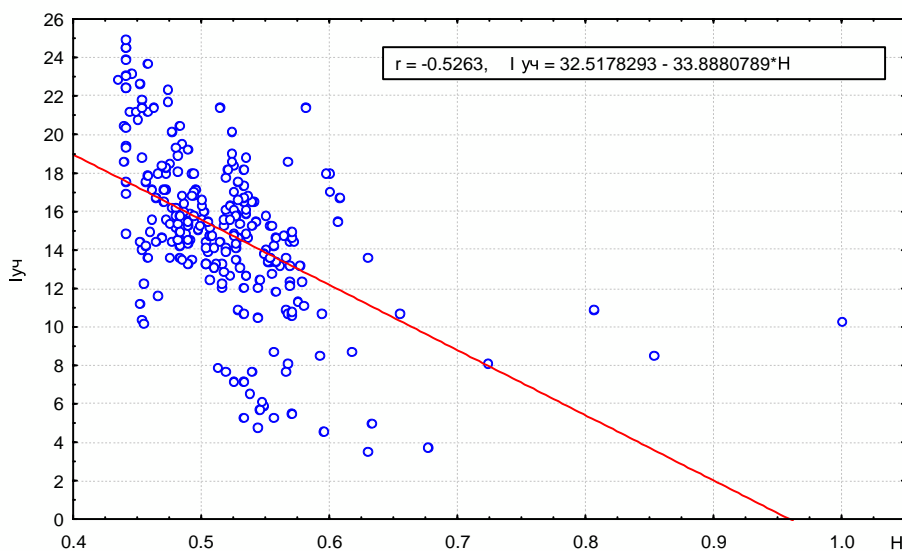


Рисунок 7 – Зависимость  $I_{уч}$  от показателя Херста -  $H$  для ряда разностей скорости подвигания по выемочному участку 1-й восточной лавы шахта «Самсоновская-западная»

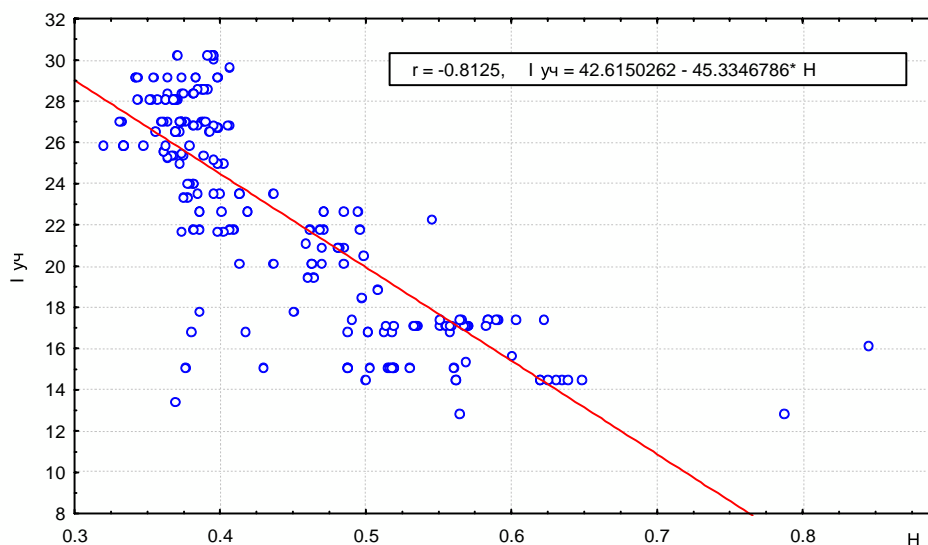


Рисунок 8 – Зависимость  $I_{уч}$  от показателя Херста  $H$  для ряда разностей скорости подвигания по выемочному участку 25-й орловской лавы шахты «Молодогвардейская»

Оба графика показывают, что при увеличении  $H$  (это означает усиление детерминированной составляющей разности подвигания очистного забоя) происходит значительное уменьшение уровня метановыделения выемочного участка. Напротив, при сильно хаотическом изменении скорости подвигания ( $H$  менее 0,5) метановыделение существенно увеличивается. Связь между  $I_{уч}$  и  $H$  существенная, коэффициент корреляции  $r = 0,5-0,8$  при объеме выборки  $n=285$  наблюдений. Следовательно, контроль за хаотичностью ведения очистных работ (например, по показателю Херста) позволит управлять метановыделением в лаве и на участке.

Необходимо отметить, что в анализируемых рядах связь между метановыделением и скоростью подвигания в явном виде не просматривается (коэффициент корреляции  $r = 0,2-0,3$ ), рисунки 9,10, в то время как применение показателя хаотичности делает связь между факторами очевидной, а возможные выводы – конструктивными.

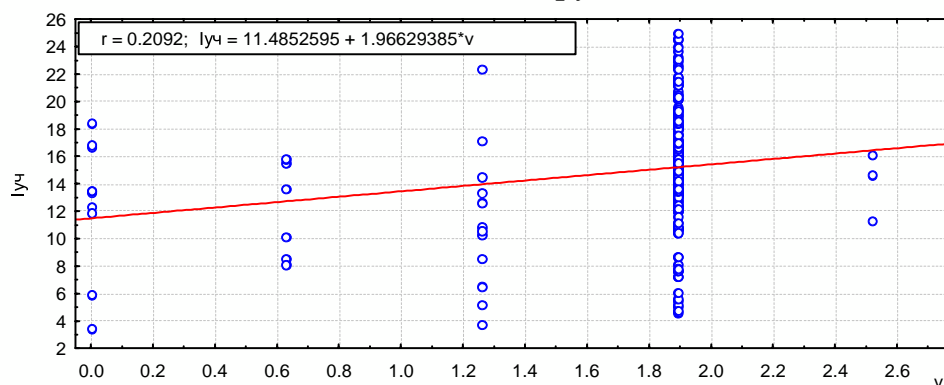


Рисунок 9 – Зависимость  $I_{уч}$  от скорости подвигания по выемочному участку 1-й восточной лавы шахты «Самсоновская-западная»



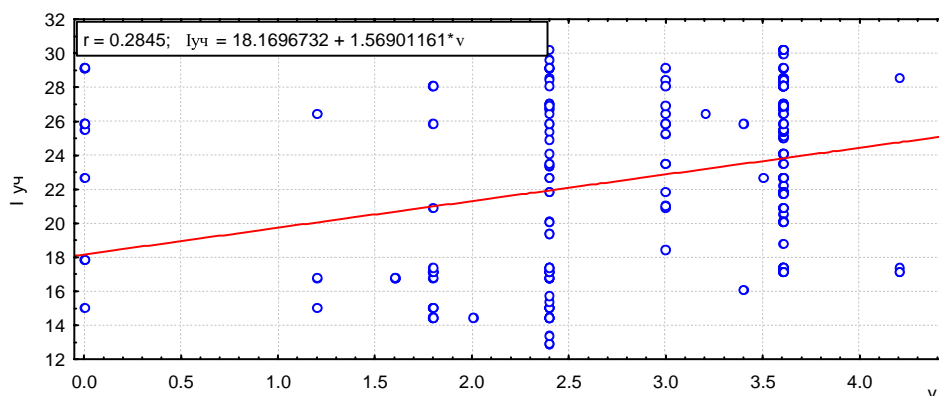


Рисунок 10 – Зависимость  $I_{\text{уч}}$  от скорости подвигания по выемочному участку 25-й орловской лавы шахты «Молодогвардейская»

Таким образом, прогноз ожидаемого метановыделения в очистной выработке и на выемочном участке по фактическим данным выработки-аналога необходимо осуществлять по зонам потенциальной прогнозируемости, выделяемых с помощью индикаторов хаотичности.

В пределах выделенных зон целесообразно применять различные прогнозные модели:

- на участке детерминированного поведения метановыделения использовать прогнозную модель SSA [7,8], учитывающую взаимосвязи метановыделения и влияющих факторов;
- на участке с характером процесса близким к случайному блужданию, использовать ARIMA-модели [9];
- на участке хаотичного поведения процесса использовать методы, основанные на прогнозе среднего значения с помощью различных моделей сглаживания [10].

### Библиографический список

1. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. Государственный нормативный акт об охране труда. –К.:Основа, 1994. – 312 с.
2. Полевщиков Г.Я., Преслер В.Т., Тризно С.К., Головков М.А. Автоматизированные системы прогноза газопроявлений в угольных шахтах // ФТПРПИ, 1996. - № 3 – С. 54-60.
3. Козырева Е.Н. Определение параметров комплексного управления газовой выделением на выемочном участке // Горный информационно-аналитический бюллетень № 5 – М.: Изд-во МГГУ, 2001. – С. 130-134.
4. Колесниченко Е.А., Колесниченко И.Е. Проблема промышленного извлечения рассеянного в угольных пластах метана и метанобезопасности в шахтах // Горная промышленность, № 5, 2006. – С.53-54.
5. Ушаков К.З. Газовая динамика шахт М., Недра, 1984,248с.

6. Hurst, H.E. "Long-term Storage of Reservoirs," *Transactions of the American Society of Civil Engineers* 88, 1991.

7. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов: Учеб. пособие. СПб: Изд-во СПбГУ, 2004. 76 с.

8. Подлипенская Л.Е., Бубунец Ю.В. Исследование динамики метановыделения выемочного участка// Сб. научн. трудов ДонГТУ, вып. 23 – Алчевск: ДонГТУ, 2007. – С. 56 - 66.

9. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление /Пер. с англ./, вып. 1, М.: Мир, 1974 – 406с.

10. Кендел М.Д., Стьюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды.– М.: Наука, 1976.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. Клишиным Н.К.*