

*к.т.н., доц. Подлипенская Л.Е.,
к.э.н. Хмелева А.В.,
ассистент Бубунец Ю.В.,
ассистент Долгопятенко С.И.
(ДонГТУ, г.Алчевск, Украина)*

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ РЯДОВ МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА

Пропонується алгоритм і комп'ютерна програма статистичної обробки динамічних рядів метановиділення виємочної ділянки.

Случайный характер формирования динамики горно-геологических показателей обуславливает применение статистических методов при их исследовании. Использование различных автоматизированных систем на угольных шахтах позволяет вести записи изменения процессов во времени с определенной степенью дискретизации. На первом этапе обработки экспериментального материала необходимо создать базу данных, отвечающей задачам исследования, с учетом специфики взаимодействия горно-геологических процессов.

Одним из важнейших показателей, отвечающим за безопасное ведение горных работ, является концентрация метана в горных выработках. Исследования динамики метановыделения выемочного участка предполагает создание базы данных временных рядов по различным переменным, содержащим показатели концентрации метана и значения влияющих факторов, измеренных по всей длине столба. Как правило, динамические ряды концентрации в исходных массивах формируются по времени t . Но для прогноза динамики метановыделения также необходимо исследование рядов по переменной L – расстоянию отхода лавы от разрезной печи. Для этого требуется решить задачу определения концентрации метана и других горно-геологических показателей, отнесенных к последовательным эквидистантным интервалам по длине выемочного участка, с выбранным шагом дискретизации Δl , техническое решение которой, с учетом большой протяженности выемочных столбов, представляет ряд трудностей. Помимо этого, при обработке реальных временных рядов часто возникают проблемы, связанные с зашумлением информационных сигналов и пропусками в последовательности исходных данных. Решать представленные задачи целесообразно на этапе подготовки и первичного статистического ана-

лиза данных. С этой целью использование компьютерных технологий, с учетом концептуальной модели прогнозирования метановыделения на основе исходных динамических рядов метановыделения и связанных с ним показателей, имеет существенное значение. В настоящее время имеется множество статистических пакетов, которые позволяют решать задачу подготовки статистических данных. Наиболее используемы пакеты Statistica, SPSS, Mathcad, MatLab каждый из которых решает некоторые из представленных проблем в диалоговом режиме, что важно на этапе поиска подходов к анализу данных и построения прогнозных моделей. Но использование этих пакетов в комплексе требует от исследователя значительной математической подготовки и владения компьютерными технологиями. Автоматизация и построение единого программного продукта первичной обработки статистических данных с учетом специфики динамических показателей горного производства и особенностей методов прогнозирования [1,2] на основе анализа временных рядов является актуальной задачей.

Целью настоящей работы является разработка алгоритма создания базы данных и практическая реализация его в виде компьютерной программы обработки и преобразования статистических временных рядов, связанных с метановыделением в горные выработки. В процессе создания базы данных, отвечающей задачам исследования, необходимо решить две задачи: избавление эмпирических данных от шумов и преобразование временного ряда к динамическому по требуемой дискретной переменной.

Рассмотрим первую задачу. Многие динамические процессы, наблюдаемые на выемочном участке, в частности процесс метановыделения, по своей сущности являются периодическими. Но периодический характер изменений обычно искажается влиянием большого числа случайных факторов. Поэтому, для целей прогноза необходимо отделить полезный сигнал от шума. Существует несколько математических методов, позволяющих разлагать временной ряд по ортонормированной или линейно-независимой системе функций, в результате которого достигается фильтрация ряда. Наиболее известные – это разложение в тригонометрический ряд Фурье, аппроксимация ортогональными полиномами Чебышева, моделирование эргодических стационарных случайных процессов на основе спектрального разложения, вейвлет анализ и др. Однако ограничения, налагаемые на условия применимости этих методов, нередко оказываются невыполнимыми для наблюдаемых динамических рядов показателей горного производства. Как правило, имеется единичная реализация процесса, которая содержит не только регулярные (периодические) и непериодические (трендовые) составляющие, но и квазирегулярные составляющие.

Одним из новых подходов к анализу временных рядов, является преобразование одномерного ряда в многомерный с помощью сдвиговой процедуры [3]. В зарубежной литературе метод известен под названием SSA (Singular Spectrum Analysis), он возник из анализа хаотического поведения ряда и аттракторов. В России метод получил название “Гусеница” из-за скользящей процедуры векторов вложения из исходного ряда (подобно движению гусеницы) и возник из статистических аналогий с методом главных компонент. В основе метода лежит следующий алгоритм. Задавшись числом $M < N/2$ (лаг или длина гусеницы), значениями исходного ряда последовательно заполняют строки матрицы X . При этом первая строка содержит первые M элементов ряда, вторая – со второго элемента по $M+1$ и так далее, пока ряд не исчерпается. Далее определяются главные компоненты матрицы X , которые ранжируются в порядке возрастания их вклада в исходный ряд. Метод позволяет интерактивно производить непосредственный поиск гармонических и квазипериодических компонент, фильтрацию или сглаживание ряда, выбирая соответствующие значимые компоненты. Затем по отобраным главным компонентам восстанавливается исходный ряд, свободный от шума. Данный метод имеет определенные аналогии с вейвлет и Фурье анализом (если ряд состоит из набора строго гармонических компонент, то фактически осуществляется разложение в ряд Фурье).

Наиболее важные преимущества данного метода состоят в следующем:

- 1) базовые функции метода порождаются исследуемым рядом, т.к. являются собственными векторами;
- 2) имеется возможность восстановления ряда по информативным компонентам, исследование которых интерактивно доступно;
- 3) возможна оценка не только частоты и амплитуды гармонических компонент анализируемого ряда, но и их фазы;
- 4) имеется возможность многовариантного прогноза.

Таким образом, метод позволяет аналитически определять периодические (не обязательно гармонические) компоненты исследуемого ряда. Восстановление по первой, как правило, трендовой компоненте, приводит к сглаживанию наблюдаемого ряда. Помимо сглаживания и фильтрации, метод “Гусеница” может быть использован для восстановления временных рядов с пропущенными наблюдениями. Заполнение пропусков в рамках этого метода аналогично прогнозу и состоит в продолжении выделенной методом составляющей ряда и ее структуры на места пропущенных наблюдений.

В качестве примера использования метода “Гусеница” приведем ряд среднесуточных значений концентрации метана на исходящей

струе 25 орловской лавы шахты “Молодогвардейская”, на рисунке 1, линия 1.

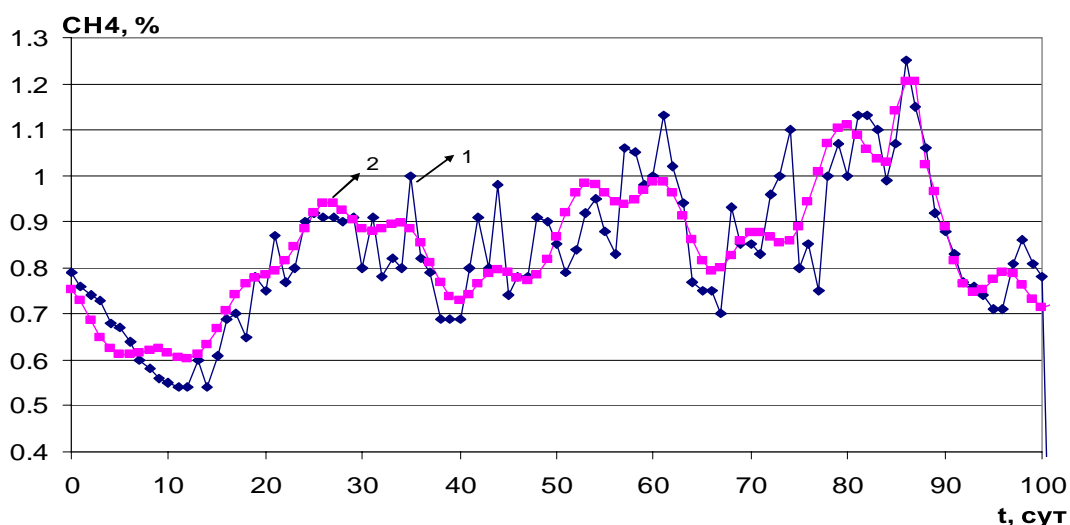


Рисунок 1 – Концентрация метана на исходящей струе 25 лавы шахты “Молодогвардейская”: 1 – исходный ряд, 2 – сглаженный ряд

Представленный ряд содержит незначительные пропуски данных. Применение метода “Гусеница” позволяет получить сглаженный ряд, характеризующий основную тенденцию процесса, свободный от случайных флуктуаций рисунок 1, линия 2, подготовленный для дальнейшего статистического анализа. Следует отметить, что процесс сглаживания требует тщательного анализа, чтобы исключить возможность “сгладить” под видом случайных отклонений существенные кратковременные изменения показателей, отражающие важные моменты в поведении системы. В связи с этим, наблюдаемые аномальные значения в исходном ряде концентрации метана необходимо изучать отдельно для выяснения характера причин, их вызвавших.

Для решения второй задачи рассмотрим очищенный от шумов векторный временной ряд $\bar{X}_t = \{L_t, V_{1t}, V_{2t}, \dots, V_{kt}, F_{1t}, F_{2t}, \dots, F_{mt}\}_{t=1}^N$ длины N , содержащий показатели газодинамического состояния выработки V_1-V_k , факторы F_1-F_m , которые могут служить регрессорами в математической модели прогнозирования метановыделения и L_t – расстояние отхода лавы от разрезной печи. Исследование ряда \bar{X}_t по времени, не позволяет оценить ту часть динамики процессов метановыделения, которая обусловлена добычей угля в очистном забое, поскольку даже при отсутствии работ по выемке угля, показатели метановыделения подвержены колебаниям. Взяв в качестве переменной ряда показатель L , можно, не преобразовывая \bar{X}_t , построить новый неэквидистантный ряд

$\bar{X}_L = \{V_{1L}, V_{2L}, \dots, V_{kL}, F_{1L}, F_{2L}, \dots, F_{mL}\}_{L=0}^{LN}$. Если интервал дискретизации величина переменная, что характерно для исходных динамических рядов метановыделения определенных по L_t , то необходимо для дальнейшего исследования выполнить переход к эквидистантному ряду.

Предлагается способ преобразования временного ряда, эквидистантного по t , к динамическому ряду, эквидистантному по L . Преобразование почасовых данных о добыче по 25 лаве шахты “Молодогвардейская” в течении 30 последовательных календарных дней (объем выборки составил 720 часов) позволяет записать расстояние отхода лавы от разрезной печи в течении суток $t \in [t_i, t_{i+1}]$ сплайнами вида:

$$L_i(t) = \begin{cases} L(t_i), & t_i \leq t \leq t_i + a_i \\ \lambda_i(t - a_i) + L(t_i), & t_i + a_i \leq t \leq t_{i+1} \end{cases}, \quad (1)$$

где a_i – временные координаты конца ремонтной 1-ой смены в i -тые сутки, при стабильной работе лавы постоянные; λ_i – параметр скорости подвигания очистного забоя, который вычисляется по формуле:

$$\lambda_i = \frac{L(t_{i+1}) - L(t_i)}{t_{i+1} - t_i - a_i} \quad (2)$$

Эмпирическая зависимость, подтверждающая (1), приведена на рисунке 2. Начало отсчета по временной переменной совпадает с началом первой смены.

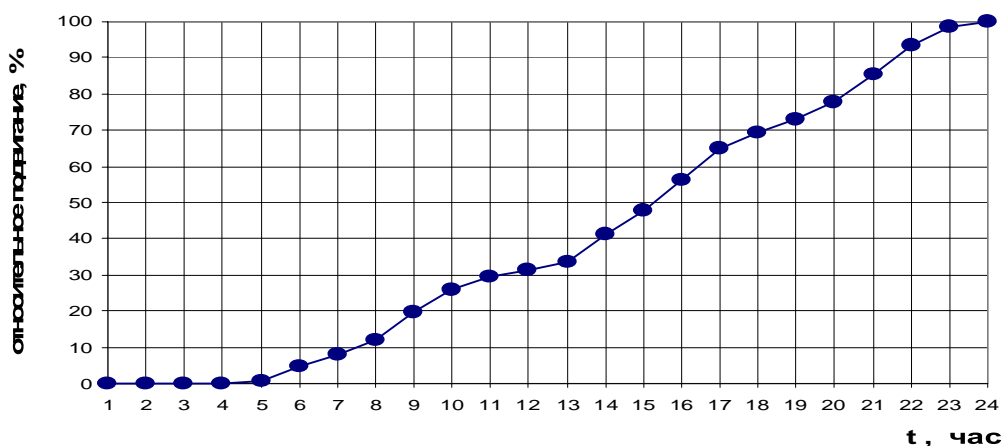


Рисунок 2 – Среднее подвигание очистного забоя за час, отнесенное к суммарному подвиганию за сутки

Исследования посменных изменений концентрации метана на исходящей струе из лавы в течении суток показали, что в среднем наибольшая концентрация метана наступает в последней смене, а совмещение графиков нагрузки и концентрации метана, позволило выявить тесную связь метановыделения с объемами добываемого угля, но с запаздыванием в одну смену, рисунок 3.

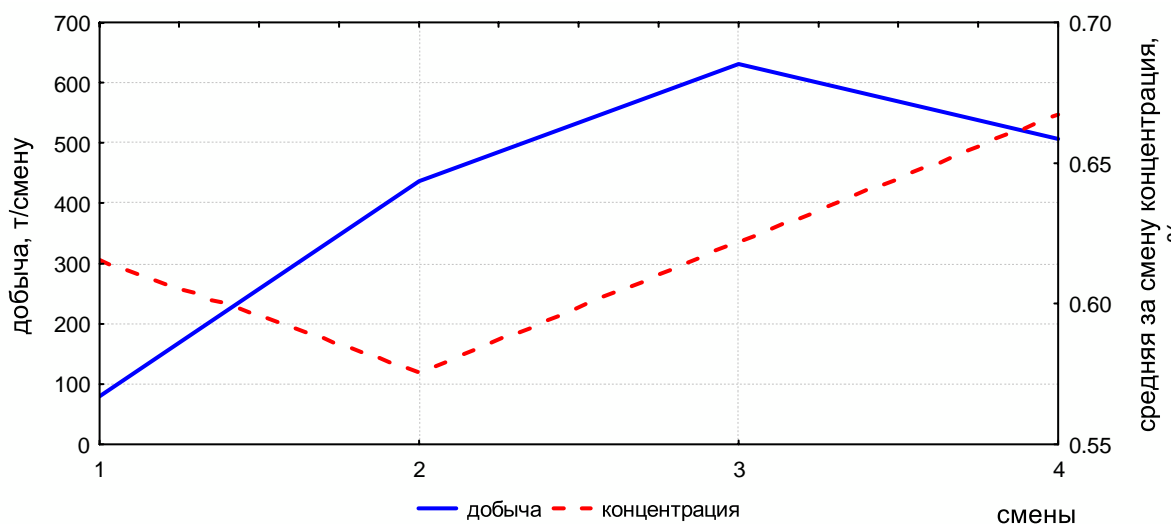


Рисунок 3 – Добыча и средняя концентрация по сменам

На основании выполненных исследований предлагается следующий алгоритм преобразования векторного ряда \bar{X}_t :

1) Выбирают шаг дискретизации переменной L (например, $\Delta L = 1$ м) и строят равномерный ряд $\{L_j\}_{j=0}^{N_L}$.

2) При помощи формулы (1) определяют соответствующий неравномерный ряд моментов времени t_j .

3) Используя линейную интерполяцию для всех факторов, входящих в \bar{X}_t , определяют значения этих факторов в новом ряду $\bar{y}_j = \{V_{1j}, V_{2j}, \dots, V_{kj}, F_{1j}, F_{2j}, \dots, F_{mj}\}_{j=0}^{N_L}$, эквидистантном по переменной L .

Практическая реализация представленного алгоритма обработки и преобразования исходных статистических временных рядов, связанных с метановыделением в горных выработках, представляет собой программный продукт, выполненный на языке DELPHI. В качестве базовых компонентов использованы компоненты проекта JEDI, в модулях математической обработки использованы модифицированные методы и функции библиотек LAPACK и LINPACK. Исходными данными для расчета являются числовые массивы, которые могут быть прочитаны по желанию пользователя из отдельного файла в тек-

стовом формате, получены из буфера обмена или встроенного модуля нормализации входных данных. Кроме этого, зарезервирована возможность анализа рядов, получаемых автоматически из базы данных предприятия в реальном масштабе времени. Для этой цели существенно оптимизировано быстродействие расчетного модуля. По сравнению со стандартными математическими пакетами быстродействие повышается многократно лишь благодаря использованию компилируемого языка программирования. Однако, кроме этого, весьма существенного прироста в быстродействии удалось добиться за счет использования алгоритмов учитывающих характер входных данных (отсутствие комплексных значений, использование положительно-определенных рядов и т. п.). Проведенная работа по оптимизации быстродействия позволила увеличить скорость расчета более чем на два порядка. Программа позволяет, как освобождать введенные ряды данных от шумов с помощью алгоритма Гусеница, так и преобразовывать многомерный временной ряд в динамический по переменной L , шаг дискретизации которой может варьироваться по усмотрению пользователя. Результаты расчета могут быть экспортированы в стандартные математические пакеты и электронные таблицы для дополнительного исследования или оформления. Программа хорошо проиллюстрирована графиками, которые помогают принять правильное решение при выборе оптимальной структуры сглаженного ряда.

Таким образом, предлагаемый алгоритм моделирования динамических рядов метановыделения выемочного участка и разработанный на его основе программный продукт, позволят преобразовывать исходные динамические ряды, полученные на базе стандартной информации соответствующих отделов шахты, к виду, необходимому для дальнейшей статистической обработки данных о метановыделении и влияющих на него факторах. Результаты преобразования и обработки данных используются как входные данные для статистического анализа и текущего прогноза динамики метановыделения выемочных участков.

Предлагается алгоритм и компьютерная программа статистической обработки динамических рядов метановыделения выемочного участка.

An algorithm and computer program of statistical treatment of dynamic rows to mining extraction area is grounded.

Библиографический список

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

2. Подлипенская Л.Е., Долгопятенко С.И. Методика гибридного прогнозирования динамических процессов горного производства // Сб. научн. трудов ДонГТУ, вып. 25 – Алчевск: ДонГТУ, 2007. – С. 106 - 116.

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

Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Клишиным Н.К.