

УДК 621.01

*С. Ф. Власов, В. Б. Чернявский, В. С. Власов*

## **ДИСПЕТЧЕРСКИЙ КОНТРОЛЬ РАБОТЫ ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДАННЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЯЧЕЕК**

Одной из важнейших государственных задач является энергетическая безопасность и конкурентоспособность страны. В горнодобывающей отрасли эта задача непосредственно связана с повышением эффективности использования горного оборудования. В частности, рентабельность угольных шахт в современных рыночных условиях напрямую зависит от экономически рационального и технологически обоснованного использования горнопроходческого оборудования. Поэтому перед угольнодобывающими предприятиями особую остроту приобретает вопрос повышения эффективности использования проходческого оборудования и производительности труда. Статья посвящена разработанной методике диспетчерского контроля проходческих комбайнов. Эта методика, благодаря математическому и статистическому анализу, позволяет обрабатывать, анализировать данные расхода электроэнергии, которые были получены из высоковольтных ячеек и произвести расчет фактически пройденной длины заходки проходческого забоя. Результаты анализа и обработки данных позволяют их использовать при принятии решений по организации проходческих работ. В статье использованы методы теории вероятностей и статистического анализа.

*Ключевые слова:* высоковольтные ячейки, статистический анализ данных, расходы электроэнергии, автоматизация работы проходческих комбайнов.

**Актуальность исследований.** Для повышения эффективности работы угольных шахт новые очистные механизированные комплексы для добычи угля, как правило, оснащаются системой контроля технологических параметров, позволяющей контролировать работу, как отдельных узлов, так и всего агрегата в целом [1–3]. К сожалению, на сегодняшний день такие системы контроля отсутствуют при использовании горнопроходческого оборудования

для проведения капитальных и подготовительных выработок. Поэтому на шахтах силами специалистов по информационным системам делаются попытки по разработке таких систем, позволяющих контролировать работу горнопроходческого оборудования. Однако эти системы позволяют только контролировать расход электроэнергии проходческих забоев, для чего используются высоковольтные ячейки.

**Постановка задачи.** На шахте «Степная» ОАО «Павлоградуголь» (г. Павлоград, Днепропетровская обл., Украина) в настоящее время с высоковольтных ячеек собирается информация о расходе электроэнергии проходческими комбайнами, которая поступает на диспетчерский пункт в виде информационных таблиц. Эта информация не позволяет реально оценить количество пройденных заходов в подготовительных выработках. Информация фиксируется со слов горных мастеров и не всегда является достоверной. Расчет фактически пройденного длины заходки за смену позволит вести проходческие работы на основе привязки к тарифам на электроэнергию и усовершенствовать методику начисления премий. Поэтому целью проведенных исследований является разработка методики диспетчерского контроля работы проходческих комбайнов для оперативного сбора, обработки и анализа информации.

**Результаты исследований.** Иностранное и отечественное программное обеспечение (ПО), которое, как правило, поставляется с очистным оборудованием, позволяет осуществлять контроль над такими параметрами как положение комбайна или струговой установки и механизированного комплекса в очистном забое, работу гидростоек механизированного комплекса. В настоящее время аналогичного ПО для комбайнов, используемых для проведения подготовительных горных выработок не существует. Поэтому и отсутствует система контроля фактического подвигания проходческих забоев за смену. Это предопределило необходимость разработки методики диспетчерского контроля фактического подвигания проходческих забоев.

Для того, чтобы разработать эту методику необходимы следующие исходные данные:

1. Энерговооруженность оборудования, используемое при проходке горной выработки;
2. Плановые и фактические данные по подвиганию очистного забоя;
3. База данных расхода электроэнергии за заданный промежуток времени, записанных с блоков защиты и управления (БЗУ), которые установлены на высоковольтных ячейках.
4. Схема электроснабжения высоковольтных ячеек, от которых запитаны проходческие комбайны.

После получения необходимых данных, был выполнен их анализ:

1. Собраны в базу данных информация о расходе электроэнергии в проходческом забое с заданным временем. Для этого специальное программное обеспечение, разработанное на шахте «Степная», считывает каждые 30 минут с БЗУ данные о текущем расходе электроэнергии на высоковольтной ячейке. Далее эти данные заносятся в базу Microsoft Access. В данной базе столбец IndexUnit содержит код устройства на высоковольтной ячейке. Если в базе данных отсортировать данные для IndexUnit и построить столбчатый график, то будет видно в какое время совершались работы в забое. Также в данной таблице БД хранятся столбцы с точной датой и временем записи (столбец time\_history). Кроме того, имеются столбцы отдельно с датой (столбец Дата) и временем (столбец Время).

2. По этим данным была сформирована таблица по расходу электроэнергии за смену и соответствующего им подвигания каждого проходческого забоя.

3. Выполнена статистическая обработка экспериментальных данных с целью установления закономерностей длины заходки подготовительных выработок от расходуемой электроэнергии проходческими комбайнами за смену;

Исходные экспериментальные данные являются набором количественных значений, и их можно рассматривать как статистические величины, и они могут быть обработаны с помощью методов математической статистики [4].

Методы математической статистики, в силу их объективности, позволяют получать наиболее значимые результаты при обработке экспериментальных данных. Глубина и достоверность этих результатов зависит от мощности и правильности применяемых методов. На достоверность результатов имеет влияние качество обрабатываемого материала.

Основу математических моделей многих процессов и явлений в различных науках составляют уравнения различного вида: нелинейные, дифференциальные, дифференциальные в частных производных и т. д. Для решения подобных уравнений, необходимо иметь возможность вычислять значения функций, которые входят в описание математической модели рассматриваемого процесса при произвольном значении аргумента [5].

В данном случае имеется таблично заданная некоторая функция  $f(x)$ , выражающая связь между длиной заходки и расходом электроэнергии. Таким образом, вид приближающей функции определим путем сравнения вида приближенно построенного графика функции  $y=f(x)$  с графиками известных функций. Используя данные из таблицы значений расхода электроэнергии строим точечный график  $f(x)$ , а затем строим кривую, которая должна наиболее оптимально представлять характер расположения точек (рис. 1). В результате получим кривую и вид приближающей функции.

Результатом построения приближающей функции будет коэффициент достоверности аппроксимации, который показывает степень соответствия трендовой модели к исходным данным. Его значение может лежать в диапазоне от 0 до 1. И чем ближе к единице, тем точнее модель описывает имеющиеся данные.

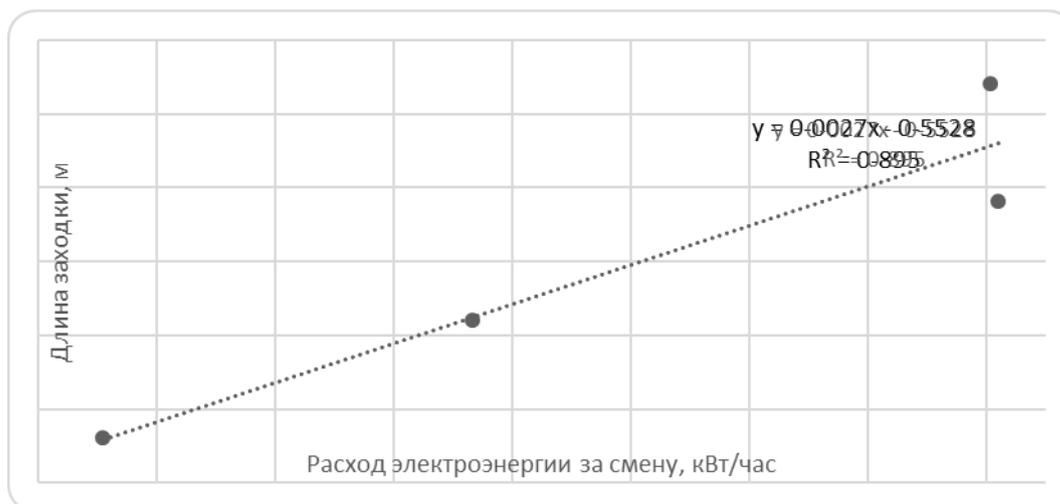


Рис. 1. Расход электроэнергии за смену

Для последующих вычислений и анализа полученных данных необходимо использовать программу Mathcad. Для этого в рабочую область программы вводим следующие данные:

- массив исходных данных по проходке по сменам;
- интервал обрабатываемых данных в заданном массиве –  $i := 0 .. 48$ ;
- минимальное значение исходных данных –  $\min(x) = 0,8$ ;
- максимально значение исходных данных –  $\max(x) = 3,2$ ;
- количество элементов в заданном массиве –  $\text{length} = 49$ ;
- график распределения расстояния проходки представлен на рис. 2 –  $f(i)$

$:= X_i$ .

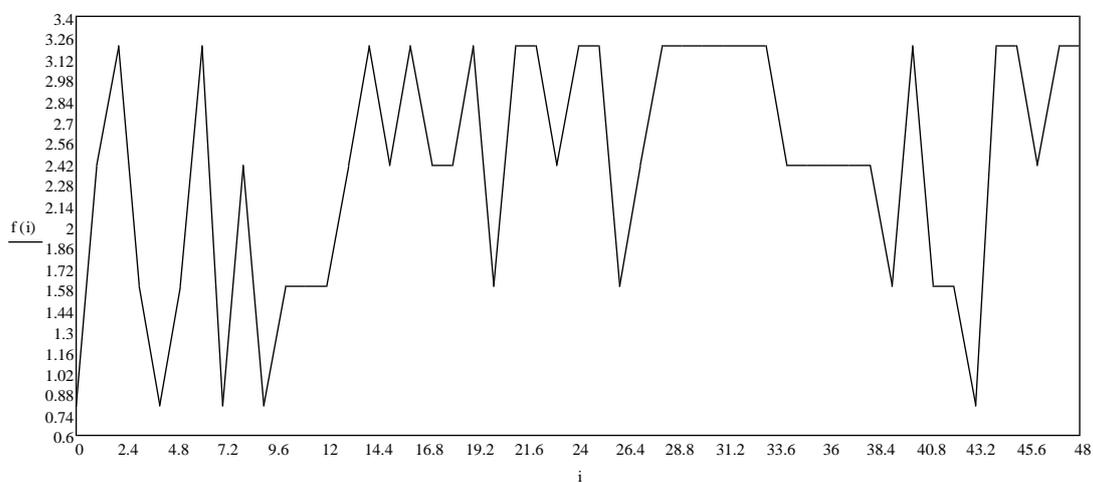


Рис. 2. График распределения значений проходки для 170 сб. штр. г. 300

С целью дальнейшей обработки полученных данных, были определены характеристики непрерывной случайной величины. К ним причисляются математическое ожидание, дисперсию, асимметрию и эксцесс.

**Математическое ожидание**  $m := \text{mean}(x) = 2,4$ .

**Дисперсия случайной величины**  $D := \sum_i \frac{(x_i - m)^2}{49} = 0,653$ .

Учитывая, что дисперсия является смещенной относительно математического ожидания, то необходимо высчитать дисперсию без сдвига [6]:

$$D_{no} := \sum_i \frac{(x_i - m)^2}{48} D_{no} = 0,667.$$

**Среднее квадратическое отклонение**

$$S := \sqrt{D} = 0,808.$$

Затем определим среднее квадратическое отклонение без сдвига:

$$S_{no} := \sqrt{D_{no}} = 0,816.$$

**Коэффициент асимметрии**

$$A := \sum_i \frac{(x_i - m)^3}{49} = -0,313.$$

В результате можно утверждать, что отрицательная асимметрия свидетельствует о том, что пологий спуск слева от  $x$ . Так же небольшое значение асимметрии показывает, что распределение значений нормальное.

**Эксцесс**

$$E := \sum_i \frac{(x_i - m)^4}{49} = 0,92.$$

Важно уточнить, что эксцесс должен быть в пределах  $\pm 3$ , так как тогда можно будет утверждать, что нет противоречия гипотезе о нормальном распределении случайной величины.

Полученное значение эксцесса  $E=0,92$  свидетельствует о том, что гипотеза о том, что наши исследуемые данные имеют нормальное распределение, не противоречит экспериментальным данным, а сама вершина распределения более острая, чем у нормального.

**Коэффициент вариации случайной величины**

$$V := \frac{s}{m} = 0,33.$$

Затем было выполнено определение погрешностей распределения случайной величины длины проходки для 180 с.б. штр. г. 300. Результаты представлены на рис. 3.

$$Y(i) := \frac{dx(i)}{x_i} \cdot 49.$$

Полученный график значений относительной погрешности для исходных данных проходки, изображен на рис. 4.

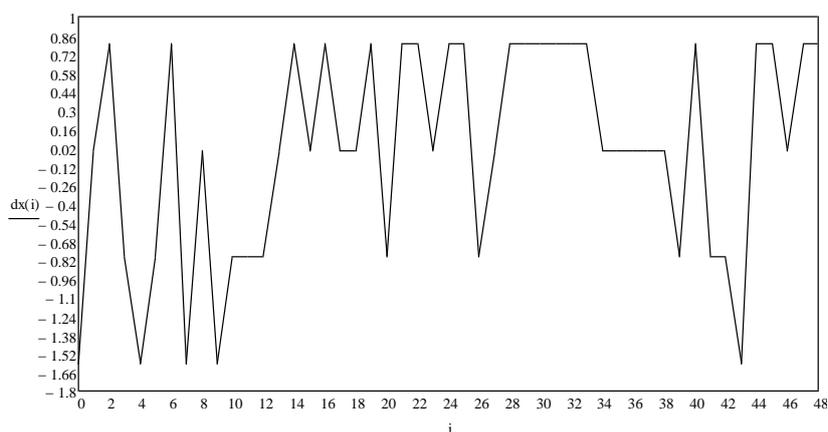


Рис. 3. График значений абсолютной погрешности относительно массива исходных данных для 170 с.б. штр. г. 300

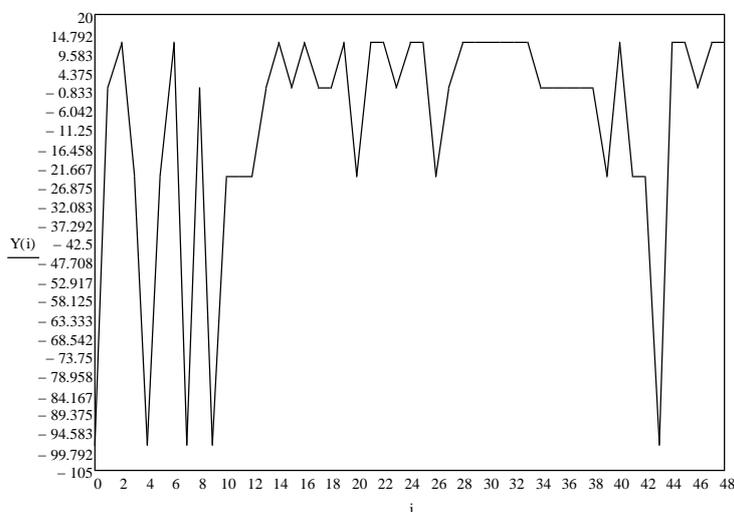


Рис. 4. График значений относительной погрешности относительно массива исходных данных для 170 с.б. штр. г. 300

## Технические науки

$$Y_o(i) := \frac{dx(i)}{49} \cdot 49.$$

Полученный график значений приведенной погрешности для исходных данных проходки, изображен на рис. 5.

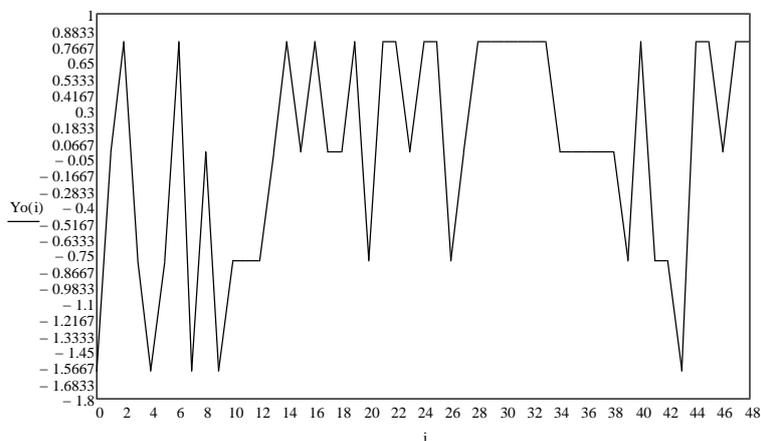


Рис. 5. График значений приведенной погрешности относительно массива исходных данных для 170 сб. штр. г. 300

В результате проведенных статистических исследований, на основании предположения о линейности распределения данных была построена автокорреляционная функция распределения значений проходки, которая подтвердила это предположение

$$R_{\tau} = \sum_{i=1}^{20} \frac{(x_i - m)(x_{i+\tau} - m)}{49}$$

Полученная автокорреляционная функция отображена на рис.6.

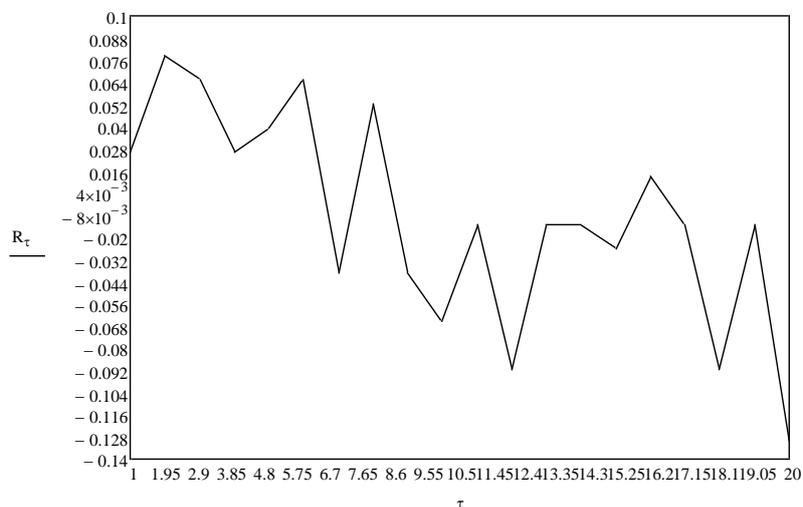


Рис. 6. График автокорреляционной функции проходки для 170 сб. штр. г. 300

Далее был повторен статистический анализ для данных расхода электроэнергии посменно, результаты которого представлены на табл. 1.

Таблица 1

**Характеристики распределения случайной величины  
для расхода электроэнергии**

Наименование	Значение
Минимальное значение в массиве данных	$\text{Min}(x) = 20,13$
Максимальное значение в массиве данных	$\text{Max}(x) = 1664$
Длина массива исходных данных	$\text{Length}(x) = 49$
Математическое ожидание	$m = 1,063 \times 10^3$
Дисперсия со сдвигом	$D = 1,854 \times 10^5$
Дисперсия без сдвига	$D_{no} = 1,893 \times 10^5$
Среднее квадратическое отклонение со сдвигом	$S = 430,632$
Среднее квадратическое отклонение без сдвига	$S_{no} = 435,095$
Асимметрия	$A = -6,304 \times 10^7$
Эксцесс	$E = 9,2 \times 10^{10}$
Коэффициент вариации	$V = 1,854 \times 10^5$
Максимальная грубая погрешность	$V_{\text{max}} = 1,381$
Минимальная грубая погрешность	$V_{\text{min}} = 2,398$
Доверительные границы для математического ожидания	$m+DD = 1,143 \times 10^3$ $m-DD = 983,949$
Доверительные границы среднеквадратического отклонения	$\frac{S \cdot \sqrt{N-1}}{\sqrt{U1}} = 291,068$ $\frac{S \cdot \sqrt{N-1}}{\sqrt{U2}} = 632,644$

При определении асимметрии было установлено, что ее отрицательное значение свидетельствует о пологом спуске функции слева от  $x$ .

Учитывая то, что при определении эксцесса, полученный результат больше нуля ( $E > 0$ ), то можно утверждать, что вершина функции островерхая.

Полученное значение коэффициента вариации свидетельствует о том, что выборка вариабельно сильна.

По результатам вычислений построены следующие графики представленные на рис. 7.

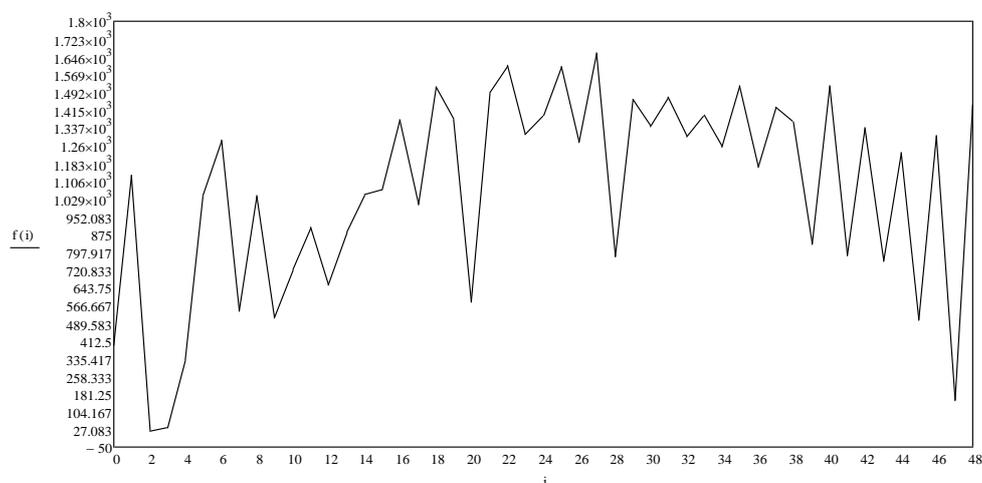


Рис. 7. График распределения значений электроэнергии для 170 сб. штр. г. 300

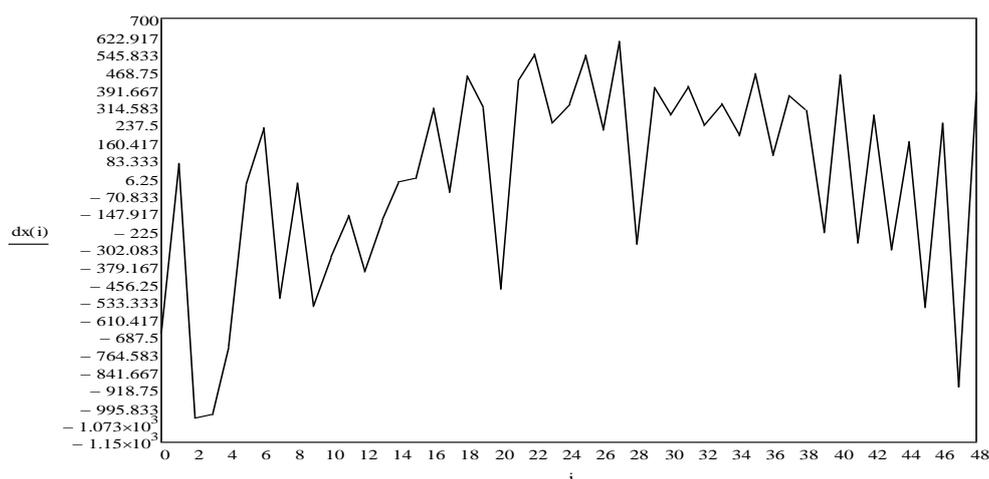


Рис. 8. График абсолютной погрешности значений электроэнергии для 170 сб. штр. г. 300

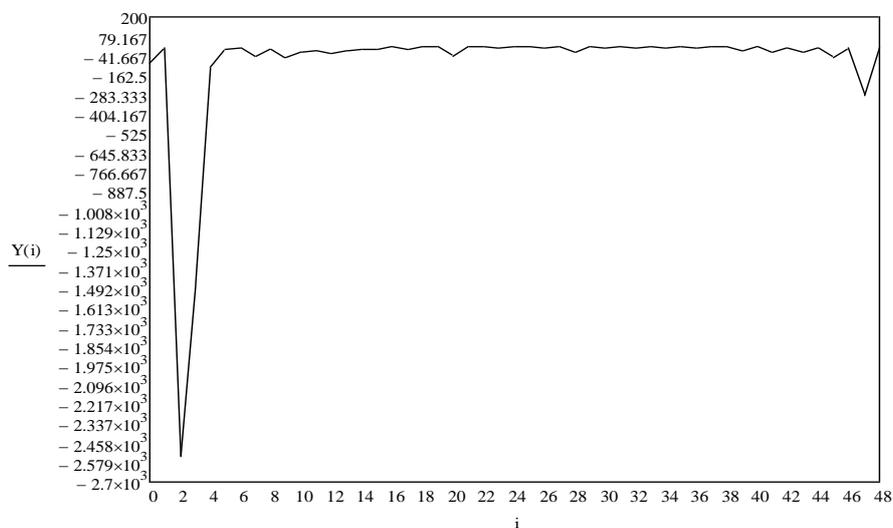


Рис. 9. График относительной погрешности значений электроэнергии для 170 сб. штр. г. 300

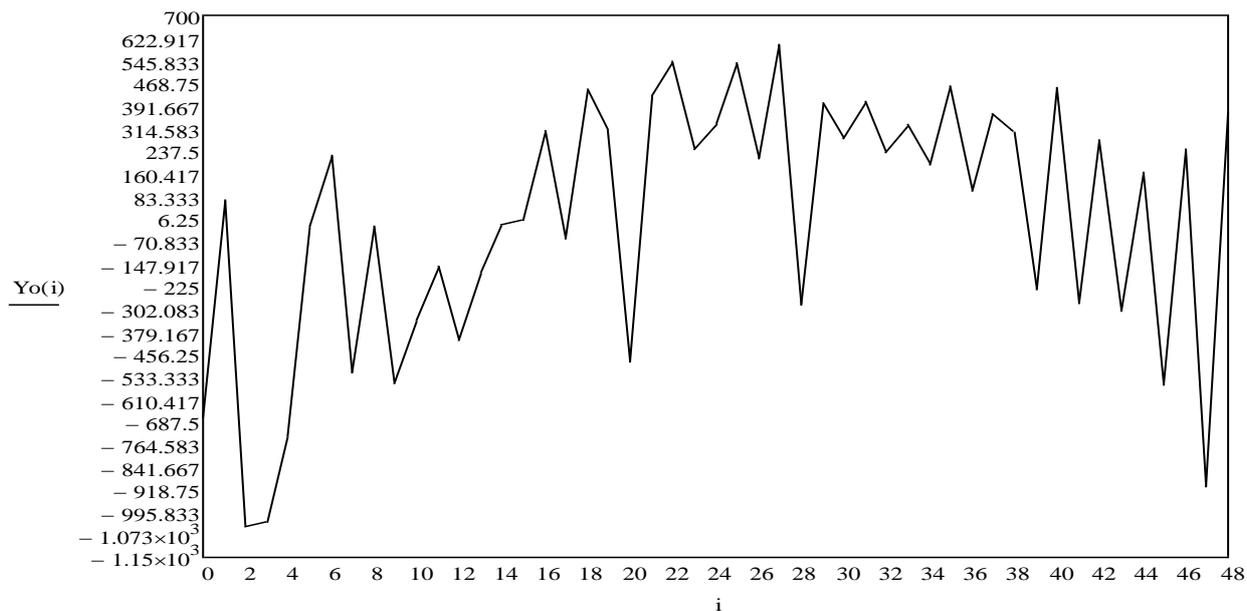


Рис. 10. График приведенной погрешности значений электроэнергии для 170 сб. штр. г. 300

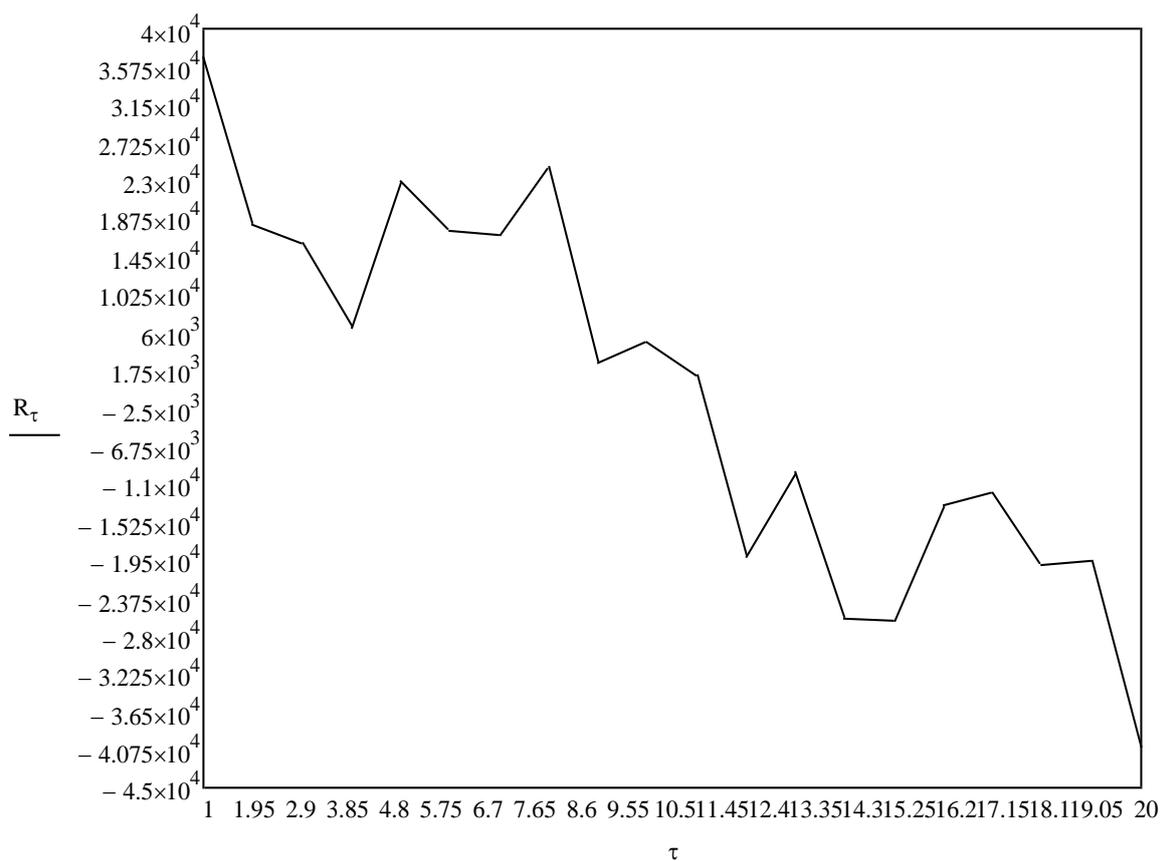


Рис. 11. График автокорреляции функции для электроэнергии для 170 сб. штр. г. 300

После такого же подтверждения предположения о линейном распределении посменного расхода электроэнергии, был выполнен поиск взаимокорреляционной функции.

Взаимокорреляционная функция – стандартный метод оценки степени корреляции двух последовательностей. Она часто используется для поиска в длинной последовательности более короткой заранее известной [7]. Рассмотрим два ряда  $x$  – длина проходки и  $y$  – расход электроэнергии.

Далее необходимо добавить в Mathcad формулу для построения взаимокорреляционной функции:

$$R_{\tau} = \sum_{i=1}^{20} \frac{(x_i - m)(x_{i+\tau} - m)}{49},$$

где  $x$  – массив данных длины проходки;

$y$  – массив данных расхода электроэнергии.

В результате вычисления функции  $R_{\tau}$  график взаимокорреляции длины проходки от расхода электроэнергии будет иметь следующий вид (рис. 2.12).

Построенный график подтверждает предположение о линейной зависимости длины проходки от расхода электроэнергии. Это означает, что данные имеют сильную взаимосвязь между собой.

Определен коэффициент пропорциональности среднего удельного расхода электроэнергии по каждому проходческому забою.

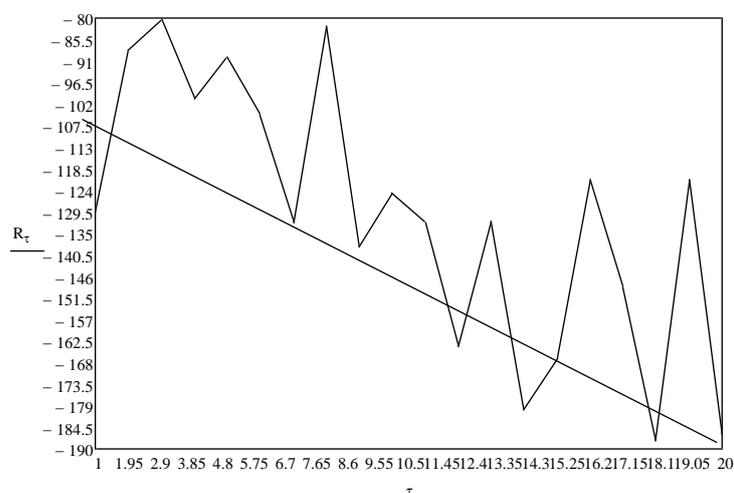


Рис. 12. График взаимокорреляционной функции длины проходки от расхода электроэнергии для 170 сб. штр. г. 300

Проведя анализ экспериментальных данных и результатов их статистической обработки, можно сделать вывод об их сильной линейной зависимости, что позволяет найти коэффициент пропорциональности.

Результаты вычислений приведены в табл. 2.

Таблица 2

### Удельный расход электроэнергии в 170 сб. штр. г. 300

проходка, м	Удельный расход электроэнергии, кВт/ч
0,8	0,001585
1,6	0,001959
2,4	0,001904
3,2	0,002553

Таким образом, найдя среднее значение удельного расхода, мы получим средний коэффициент пропорциональности:

$$K_{\text{ср.проп}} = \frac{0,001585 + 0,001959 + 0,001904 + 0,002553}{4} = 0,002.$$

Используя этот коэффициент при обратном нахождении пройденного расстояния в забое, зная лишь расход электроэнергии за смену, мы сможем определить длину проходки.

### Выводы.

1. Разработана методика диспетчерского контроля работы проходческих комбайнов, позволяющая создавать базу данных и выполнять их анализ с помощью методов математической статистики.

2. Определен коэффициент пропорциональности для удельных затрат электроэнергии, что позволяет определить длину заходки в проходческом забое. Построены взаимокорреляционные функции проходки подготовительных выработок от расхода электроэнергии.

**Список литературы**

1. Демченко Н. П. Технические средства передачи информации в системах управления угольных шахт. М.: Недра, 1990. 253 с.
2. Лаевский С. Г., Демченко Н. П., Бацежев Ю. Г., Чехлатый Н. А. Автоматизация управления электроснабжением шахт. М.: Недра, 1992. 214 с.
3. Чехлатый Н. А. Средства контроля работы очистных и проходческих комбайнов // Уголь Украины. 2011. № 2. С. 19–21.
4. Основы математической статистики.  
URL: <http://www.studmed.ru/docs/document26815/content> (дата обращения: 25.03.2016).
5. Аппроксимация функций.  
URL: [http://physics.herzen.spb.ru/library/01/01/nm\\_labs/approximation.htm](http://physics.herzen.spb.ru/library/01/01/nm_labs/approximation.htm) (дата обращения: 25.03.2016).
6. Основы теории вероятностей. Дисперсия случайной величины.  
URL: <https://www.calc.ru/Osnovy-Teorii-Veroyatnostey-Dispersiya-Sluchaynoy-Velichiny.html> (дата обращения: 07.04.2016).
7. Взаимная и автокорреляционные функции сигнала.  
URL: [http://jstonline.narod.ru/rsw/rsw\\_b0/rsw\\_b0f0/rsw\\_b0f0a.htm](http://jstonline.narod.ru/rsw/rsw_b0/rsw_b0f0/rsw_b0f0a.htm) (дата обращения: 20.04.2016).

**ВЛАСОВ Сергей Федорович** – доктор технических наук, профессор кафедры строительного производства, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: [osmy@ukr.net](mailto:osmy@ukr.net)

**ЧЕРНЯВСКИЙ Виктор Борисович** – кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий в машиностроении, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: [vikbc007@gmail.com](mailto:vikbc007@gmail.com)

**ВЛАСОВ Владислав Сергеевич** – аспирант кафедры программного обеспечения компьютерных систем, Национальный горный университет. 49600, Украина, г. Днепр, пр. Дмитрия Яворницкого, 19.

E-mail: [osmy@ukr.net](mailto:osmy@ukr.net)