

$$f(t_p) = \lambda_p \exp(-\lambda t_p),$$

где  $\lambda_p$  – параметр распределения, имеющий смысл числа событий в единицу времени;  $t_p$  – текущая переменная.

Функция распределения имеет вид

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t).$$

По этим двум формулам можно рассчитать вероятность непрерывной работы комбайна  $t_p$  (его электродвигателей), остановки  $t_0$ , а также вероятность того, что время непрерывной работы составит не более  $t_{pi}$  мин и продолжительность остановок не превышает  $t_{oi}$  мин.

Продолжительность цикла достаточно точно удовлетворяет гамма-распределению с плотностью

$$f(t) = \frac{\lambda^\eta}{\Gamma(\eta)} t^{\eta-1} e^{-\lambda t}.$$

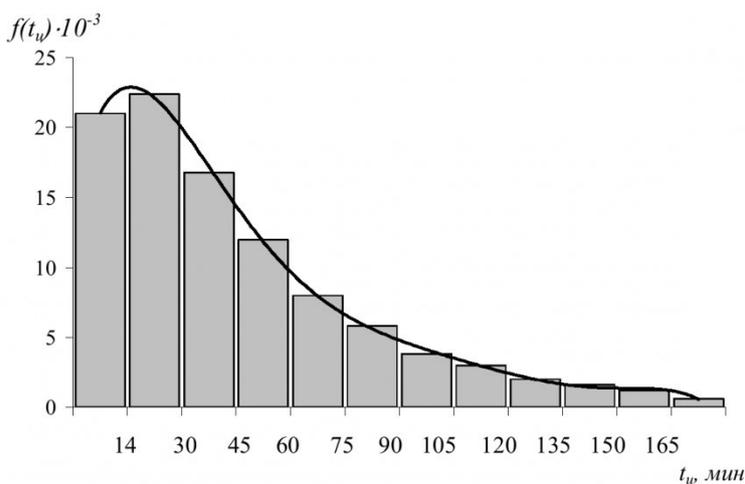


Рис. 4. Гистограмма распределения продолжительности цикла работы комбайна

(рис. 4). Наблюдения показали, что при нагрузке на очистной забой до 1500 т/сутки продолжительность цикла с доверительной вероятностью  $p=0.9$  находится в пределах 40 – 50 мин, а при нагрузке до 2500 т/сутки – до 78 мин.

Очистные забои, работающие с нагрузкой 1,0 млн. т/год и выше, характеризуются продолжительностью цикла до 135 – 180 мин.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стариков Б.Я., Азарх В.Л., Рабинович З.М. Асинхронный электропривод очистных комбайнов. М.: Недра, 1981. - 288 с.
2. Технические и технологические решения по созданию шахты нового технического уровня для перспективных угольных районов Кузбасса: Препринт №2 / Брагин В. Е., Герман П. П., Ялевский В. Д., Лермонтов Ю.С.- Кемерово: «Кузбассуглетехнология», 1996. - 31 с.

□ Авторы статьи:

Захарова  
Алла Геннадьевна  
- канд. техн. наук, доц. каф. электропривода и автоматизации

Гребенщикова  
Ирина Анатольевна  
- канд. техн. наук, ст. преп. каф. электропривода и автоматизации

УДК 621.3.016:622.232.7

И.А. Гребенщикова, А.Г.Захарова

### МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ЦИКЛА ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА

Одной из важнейших задач при решении проблемы энергосбережения является установление закономерностей формирования затрат энергии в виде математических моделей, необходимых для анализа режимов потребления электроэнергии как отдельными звеньями технологической цепи, так и предприятием в целом, а также реализация этих моделей в виде конкретных программных решений.

Важным вопросом, решение которого необходимо для прогнозирования затрат электроэнергии, является учет случайных воздействий на звенья технологической цепи, так как случайные воздей-

ствия на отдельные звенья формируют разбросы характеристик системы при продвижении вверх по иерархической лестнице объектов, образующих систему (предприятие).

Теория случайных процессов описывает переходы системы между ее состояниями под влиянием случайных воздействий. Для построения математической модели случайного процесса необходимо определить число состояний системы и вероятности переходов системы между ее состояниями. Далее можно промоделировать траектории случайного процесса - последовательность переходов системы между ее состояниями.

Таблица 1

Период	Описание	Потребляемая мощность	Обозначение состояния
$t_o$	Двигатели выключены	Отсутствует	$E_0$
$t_{min}$	Двигатель нижнего шнека работает на холостом ходу	$P_{min} = (0.12 \div 0.16) P_{ном.дв}$	$E_1$
$t_{min.cp}$	Двигатели нижнего и верхнего шнеков работают на холостом ходу	$P_{min.cp} = (0.26 \div 0.35) P_{ном.дв}$	$E_2$
$t_{cp}$	Комбайн работает со средней нагрузкой	$P_{cp} = (0.7 \div 0.8) P_{ном.дв} + 0.8 P_{ном.под}$	$E_3$
$t_{ном}$	Комбайн работает с номинальной нагрузкой	$P_{ном} = P_{ном.дв} + P_{ном.под}$	$E_4$
$t_{max.cp}$	Комбайн работает с максимальной нагрузкой	$P_{max.cp} = (1.06 \div 1.36) P_{ном.дв} + P_{ном.под}$	$E_5$

В последнее время одним из наиболее перспективных методов прямого моделирования динамики стохастических систем считается метод "вероятностных клеточных автоматов" [1], который позволяет моделировать динамику разнообразных пространственно-временных структур и находящий разнообразные применения в задачах физики, химии, биологии и техники. Суть метода вероятностного автомата заключается в следующем.

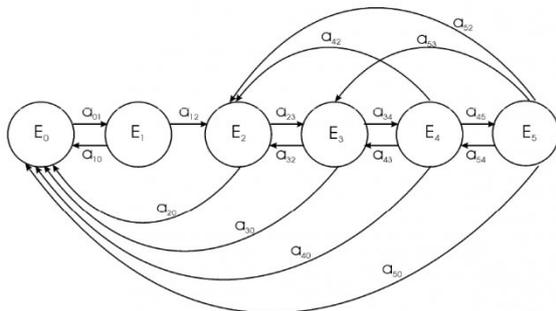


Рис. 1. Граф состояний системы "очистной комбайн"

"Вероятностный автомат" - это система с конечным числом состояний, переходы между которыми описываются при помощи вероятностей перехода. "Вероятностный автомат" генерирует случайные переходы при помощи некоторого заранее

определенного правила, основанного на генерации случайных чисел. Это правило и определяет структуру "вероятностного автомата".

Для моделирования работы реального звена угледобывающего предприятия был выбран рабочий цикл очистного комбайна KGS-345. Поскольку нас интересует взаимосвязь между потребляемой электрической мощностью и производительностью комбайна, при описании состояний достаточно использовать два параметра - потребляемую мощность и производительность.

Для комбайна KGS-345 продолжительность рабочего цикла составляет в среднем 80 мин. В течение цикла можно выделить шесть временных периодов, описание которых представлено в табл.1. Приведенные в таблице значения потребляемой электрической мощности выражены через суммарную номинальную мощность двигателей резания  $P_{ном.дв}$  и номинальную мощность двигателя подачи  $P_{ном.под}$ . Для комбайна KGS-345  $P_{ном.дв} = 300$  кВт,  $P_{ном.под} = 60$  кВт.

Так как продолжительность перехода комбайна из одного состояния в другое составляет в среднем 0,4-0,5 мин, то при определении вероятностей перехода за один шаг длина шага принимается равной 0,4 мин. С учетом средней продолжительности цикла 80 мин., получаем число временных шагов за цикл, равное 200.

Таблица 2

Матрица вероятностей перехода								Параметры состояния	
Обозначение состояния	Номер состояния	0	1	2	3	4	5	Мощность, кВт·час/мин	Производительность, т/мин
$E_0$	0	0,19	0,81	0	0	0	0	0	0
$E_1$	1	0,01	0,04	0,95	0	0	0	0,6-0,8	0
$E_2$	2	0,01	0	0,06	0,93	0	0	1,3-1,75	0
$E_3$	3	0,10	0	0,21	0,19	0,50	0	4,3-4,8	7
$E_4$	4	0,10	0	0,10	0,14	0,26	0,40	6	9
$E_5$	5	0,10	0	0,10	0,20	0,24	0,36	6,3-7,8	11



Рис. 2. Относительное время пребывания комбайна в состоянии  $E_0$  (все двигатели выключены)



Рис. 3. Относительное время пребывания комбайна в состоянии  $E_1$  (двигатель нижнего шнека работает на холостом ходу)



Рис. 4. Относительное время пребывания комбайна в состоянии  $E_2$  (двигатели нижнего и верхнего шнека работают на холостом ходу)



Рис. 5. Относительное время пребывания комбайна в состоянии  $E_3$  (комбайн работает со средней нагрузкой)



Рис. 6. Относительное время пребывания комбайна в состоянии  $E_4$  (комбайн работает с номинальной нагрузкой)

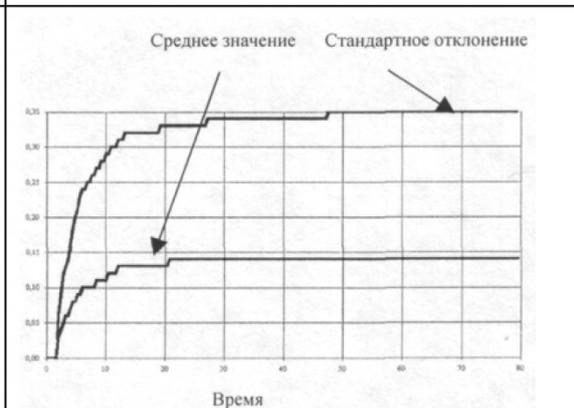


Рис. 7. Относительное время пребывания комбайна в состоянии  $E_5$  (комбайн работает с максимальной нагрузкой)

На основе оценок вероятностей перехода и расчета параметров состояний были определены параметры рабочего цикла, показанные в виде графа на рис. 1. Вершины графа (кружки) соответствуют состояниям системы, а стрелки - переходам из одного состояния - в другое.

Соответствующая графу матрица скоростей перехода [2] уравнения Чепмена-Колмогорова имеет вид:

$$\hat{A} = \begin{pmatrix} -\lambda_0 & a_{01} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{10} & -\lambda_1 & a_{12} & 0 & 0 & 0 \\ a_{20} & 0 & -\lambda_2 & a_{23} & 0 & 0 \\ a_{30} & 0 & a_{32} & -\lambda_3 & a_{34} & 0 \\ a_{40} & 0 & a_{42} & a_{43} & -\lambda_4 & a_{45} \\ a_{50} & 0 & a_{52} & a_{53} & a_{54} & -\lambda_5 \end{pmatrix},$$

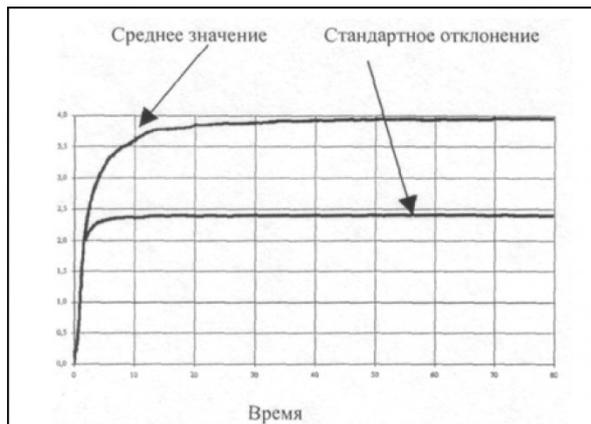


Рис. 8. Изменение среднего значения и стандартного отклонения для потребляемой мощности комбайна в течение рабочего цикла

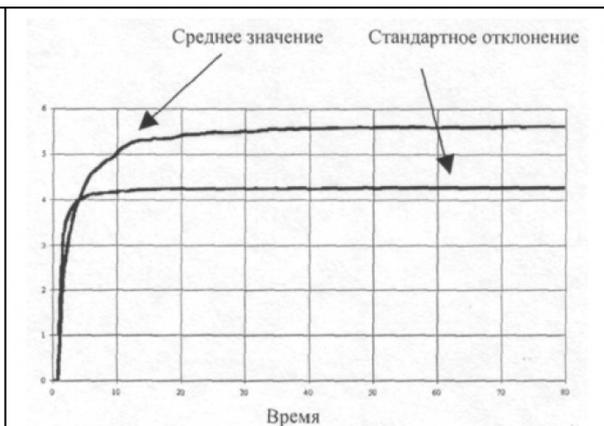


Рис. 9. Изменение среднего значения и стандартного отклонения для производительности комбайна в течение рабочего цикла

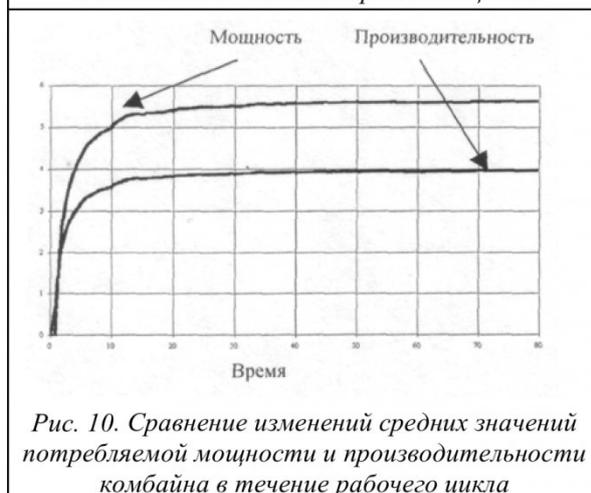


Рис. 10. Сравнение изменений средних значений потребляемой мощности и производительности комбайна в течение рабочего цикла

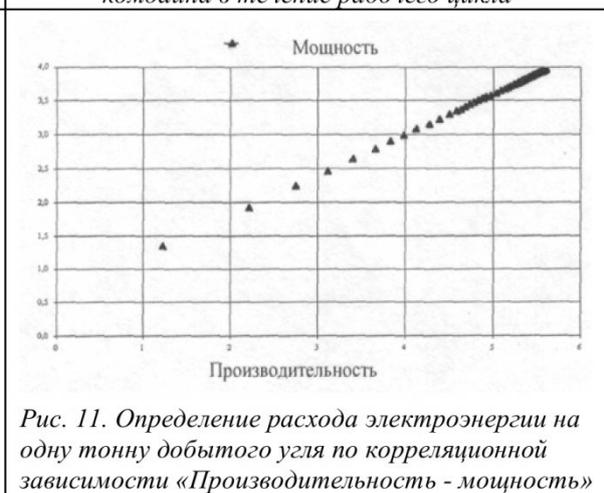


Рис. 11. Определение расхода электроэнергии на одну тонну добытого угля по корреляционной зависимости «Производительность - мощность»

где  $\lambda_0 = -a_{01}$ ;  $\lambda_1 = -a_{10} - a_{12}$ ;

$\lambda_2 = -a_{20} - a_{23}$ ;  $\lambda_3 = -a_{30} - a_{32} - a_{34} - a_{35}$ ;

$\lambda_4 = -a_{40} - a_{42} - a_{43} - a_{45}$ ;  $\lambda_5 = -a_{50} - a_{52} - a_{53} - a_{54}$ .

Таким образом, входные параметры для моделирования рабочего цикла комбайна KGS-345 можно представить в виде табл. 2. Следует обратить внимание на нестандартную размерность мощности. Это сделано для того, чтобы по корреляционной диаграмме в координатах «мощность - производительность» можно было бы непосредственно считывать расход электроэнергии на одну добытую тонну угля.

На рис. 2 – 11 показаны примеры результатов реализаций моделируемого случайного процесса для приведенных значений параметров системы.

Относительное время пребывания комбайна в состояниях (табл. 1) представлено на рис. 2 – 7. Так рис. 2 показывает, что относительное время пребывания комбайна в состоянии  $E_0$  (все двигатели выключены) стабилизируется около среднего значения 0,1, следовательно, ПВ в рассматриваемой реализации рабочего цикла равна 0,9. На рис. 8, 9 показаны изменения среднего значения и стандартного отклонения потребляемой мощности и производительности комбайна. Рис.10 показывает, что потребляемая средняя электрическая мощность 228 кВт стабилизируется около 3,8 кВт·час/мин, производительность - вблизи значения 5,6 т/мин. По наклону зависимости рис. 11 можно получить расход электрической энергии на одну тонну добытого угля – 0,6 кВт·ч/т

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гулд Х., Тобочник Я. Компьютерное моделирование в физике. Ч. 2 –М.: Мир, 1990. - 398 с.
2. Богданов Дж., Козин Ф. Вероятностные модели накопления повреждений. –М.: Мир, 1985. - 354с.

□ Авторы статьи:

Гребенщикова  
Ирина Анатольевна  
- канд. техн. наук, ст.преп. каф. электропривода и автоматизации

Захарова  
Алла Геннадьевна  
- канд. техн. наук, доц. каф. электропривода и автоматизации