

Р.В. Кирия, Ю.В. Бабенко, Т.Ф. Мищенко

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕГО ОБЪЕМА ГРУЗА  
В АККУМУЛИРУЮЩЕМ БУНКЕРЕ,  
РАБОТАЮЩЕМ В СИСТЕМЕ ПОДЗЕМНОГО  
КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

*Аннотация. На основании математической модели функционирования аккумулярующего бункера, работающего в неуправляемом режиме, получены аналитические зависимости среднего объема груза в бункере от объема бункера и параметров грузопотоков, поступающего и разгружаемого из бункера. Результаты аналитических исследований достаточно хорошо совпадают с результатами имитационного моделирования.*

*Ключевые слова: аккумулярующий бункер, математическая модель, система подземного конвейерного транспорта.*

**Введение**

В системе подземного конвейерного транспорта угольных шахт широкое применение получили аккумулярующие бункеры. Они позволяют за счет накопления некоторого количества груза в бункере при остановке конвейерных линий некоторое время не останавливать работу всей системы конвейерного транспорта и, тем самым, увеличить ее пропускную способность.

Однако, несмотря на применение аккумулярующих бункеров эффективность функционирования систем подземного конвейерного транспорта угольных шахт не высокая, это связано с частым переполнением бункеров, а также потерями производительности из-за отсутствия груза в бункере. Поэтому необходимо в бункере поддерживать минимальное количество груза.

Для этого необходимо определить среднее количество груза в бункере в зависимости от величины грузопотока поступающего и разгружаемого из аккумулярующего бункера.

В системах подземного конвейерного транспорта угольных шахт в основном применяются аккумулирующие бункеры, работающие в неуправляемом и управляемом режимах.

В работе [1], на основании математической модели, определен средний объем количества груза в аккумулирующем бункере, работающем в управляемом режиме, то есть в режиме поддержания объема груза в бункере в заданных пределах с помощью включения и выключения питателя. Однако, в случае неуправляемого аккумулирующего бункера, работающего в системе конвейерного транспорта, средний объем груза в бункере не определялся.

### Основная часть

В данной статье на основании математической модели функционирования бункера, работающего в неуправляемом режиме, получены аналитические зависимости среднего объема груза в бункере от объема бункера и параметров грузопотоков, поступающего и разгружаемого из бункера.

В неуправляемом режиме работы аккумулирующего бункера, количество груза в бункере не поддерживается в заданных пределах. При этом надбункерный конвейер при достижении предельного допустимого объема груза в бункере  $V_{\max}$  выключается, а при достижении количества груза в бункере, равного нулю, подбункерный конвейер не выключается, то есть постоянно работает независимо от количества груза в бункере (см. рисунок 1).

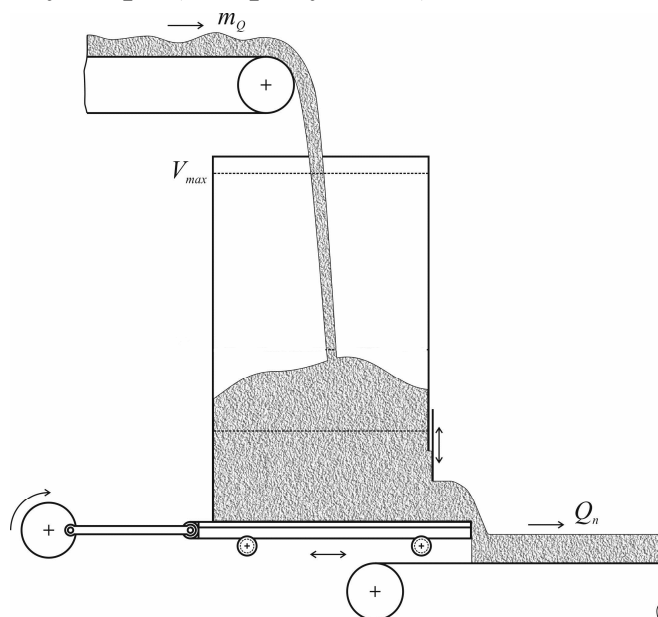


Рисунок 1 – Схема работы аккумулирующего бункера в неуправляемом режиме

Как было показано в работе [2, 3], процесс функционирования аккумулирующего бункера, работающего в неуправляемом режиме, является марковским случайным процессом с непрерывными временем и дискретным состоянием.

При этом грузопотоки, загружаемый в бункер и разгружаемый из него, представляют собой случайные процессы в виде прямоугольных импульсов с высотой, равной средней минутной производительностей загружаемого грузопотока  $m_Q$  и разгружаемого грузопотока  $Q_n$ , и интервалов поступления груза и его отсутствия (см. рис. 2).

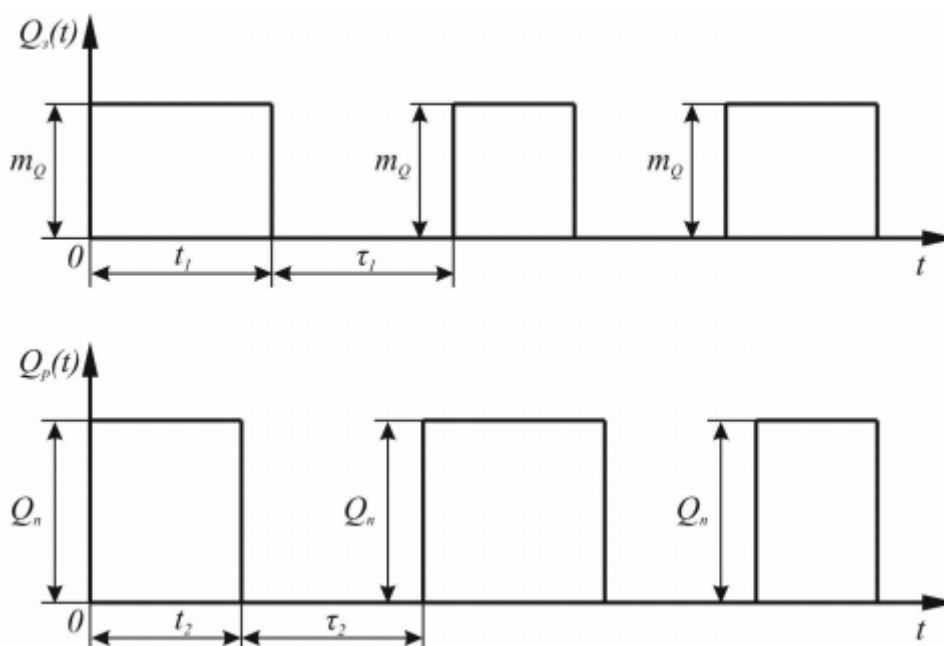


Рисунок 2 – Графики поступающего в аккумулирующий бункер грузопотока (а) и выходящего из аккумулирующего бункера грузопотока (б)

При этом согласно [4] интервалы работы  $t_1$  и простоя  $\tau_1$  надбункерного конвейера и интервалы работы  $t_2$  и простоя  $\tau_2$  подбункерного конвейера распределены по экспоненциальному закону с параметрами  $\lambda_1$  и  $\mu_1$  надбункерного конвейера и параметрами  $\lambda_2$  и  $\mu_2$  подбункерного конвейера.

При этом параметры  $\lambda_1$ ,  $\mu_1$  и  $\lambda_2$ ,  $\mu_2$  являются интенсивностями простоев и восстановлений, которые определяются по формулам [5,6]:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 1/T_{c_1}; & \mu_1 &= 1/T_{n_1}; \\ \lambda_2 &= 1/T_{c_2}; & \mu_2 &= 1/T_{n_2}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $T_{c_1}$  – среднее время работы надбункерного конвейера, мин;

$T_{n_1}$  – среднее время простоя надбункерного конвейера, мин;

$T_{c_2}$  – среднее время работы подбункерного конвейера, мин;

$T_{n_2}$  – среднее время простоя подбункерного конвейера, мин.

Как отмечалось выше, при работе аккумулирующего бункера в неуправляемом режиме, если объем груза в бункере достигает предельного значения  $V_{\max}$ , то надбункерный конвейер отключается. При этом питатель и подбункерный конвейер не выключаются, т.е. работают постоянно.

Обозначим через  $V(t)$  количество груза, находящегося в данный момент времени  $t$  в бункере.

Предположим, что объем бункера  $V$  приближенно равен максимальному допустимому объему груза в бункере  $V_{\max}$ , т.е.  $V \approx V_{\max}$ .

Рассмотрим случай, когда средний грузопоток  $\bar{m}_Q$ , поступающий в аккумулирующий бункер, больше среднего грузопотока  $\bar{Q}_n$ , разгружаемого из бункера, т.е.  $\bar{m}_Q > \bar{Q}_n$ .

Сначала предположим, что подбункерный конвейер работает без простоев, т.е.  $\lambda_2 = \mu_2 = 0$ , а производительность питателя равна  $\bar{Q}_n$ .

В этом случае средний объем груза в аккумулирующем бункере, работающем в стационарном неуправляемом режиме, т.е. при  $t \rightarrow \infty$ , определяется как математическое ожидание текущего объема груза в бункере по формуле

$$V_c = M[V(t)] = \rho^{-1} \left[ \int_0^{m_0} m P_0(m) dm + \int_0^{m_0} m P_1(m) dm + m_0 P_{30} \right], \quad (2)$$

где  $m$  – текущее значение количества груза в бункере, м<sup>3</sup>;

$m_0$  – максимальное допустимое значение количества груза в бункере, м<sup>3</sup>.

Здесь  $P_0(m)$  – вероятность нахождения системы «конвейер – бункер – конвейер» в состоянии, при котором надбункерный и подбункерный конвейеры работают, при этом количество груза в бункере равно  $m$ ;  $P_1(m)$  – вероятность нахождения системы «конвейер – бункер – конвейер» в состоянии, при котором надбункерный конвейер не работает, а подбункерный работает, при этом количество груза в бункере равно  $m$ ;  $P_{30}$  – вероятность нахождения системы «конвейер – бункер – конвейер» в состоянии, при котором надбункерный и под-

бункерный конвейеры работают, при этом бункер заполнен, т.е.  $m = m_0$ ;  $P_{n1}$  – вероятность нахождения системы «конвейер – бункер – конвейер» в состоянии, при котором надбункерный конвейер не работает, подбункерный конвейер работает, при этом бункер пуст, т.е.  $m = 0$ .

Согласно работе [2] величины  $P_0(m)$ ,  $P_1(m)$ ,  $P_{30}$ ,  $P_{n1}$  являются решением системы уравнения Колмогорова, описывающего процесс функционирования аккумулирующего бункера, работающего в неуправляемом режиме, при  $\bar{m}_Q > \bar{Q}_n$ , которые определяются из выражений

$$\begin{aligned} P_0(m) &= \frac{\mu_1}{m_Q - \bar{Q}_n} e^{A_1 m} P_{n1}; & P_1(m) &= \frac{\mu_1}{\bar{Q}_n} e^{A_1 m} P_{n1}; & P_{30} &= \frac{\mu_1}{\lambda_1} e^{A_1 m_0} P_{n1}; \\ P_{n1} &= \frac{1}{1 + \frac{\mu_1}{\lambda_1} e^{A_1 m_0} + \frac{\mu_1 m_Q}{\mu_1 m_Q - (\lambda_1 + \mu_1) \bar{Q}_n} (e^{A_1 m_0} - 1)}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $A_1 = \frac{\mu_1 m_Q - (\lambda_1 + \mu_1) \bar{Q}_n}{\bar{Q}_n (m_Q - \bar{Q}_n)}$ .

Подставляя в уравнение (2) значения  $P_0(m)$ ,  $P_1(m)$ ,  $P_{30}$ ,  $P_{n1}$ , определенные по формулам (3), после интегрирования с учетом равенства  $m_0 = \rho V$ , получим:

$$V_c = \frac{\frac{\bar{m}_Q}{(\bar{m}_Q - \bar{Q}_n)} \left[ V e^{A_1 \rho V} - \frac{(e^{A_1 \rho V} - 1)}{\rho A_1} \right] + \frac{V e^{A_1 \rho V}}{\gamma_1}}{1 + \frac{e^{A_1 \rho V}}{\gamma_1} + \frac{\bar{m}_Q}{(\bar{m}_Q - \bar{Q}_n)} (e^{A_1 \rho V} - 1)}, \quad (4)$$

где

$$A_1 = \frac{\mu_1 [m_Q - (1 + \gamma_1) \bar{Q}_n]}{(m_Q - \bar{Q}_n) \bar{Q}_n}.$$

Полагая в левой части равенства (4)  $\bar{Q}_n = 0$ , после преобразования получим

$$\text{при } \bar{Q}_n = 0 \quad V_c = V.$$

Следовательно, при работе аккумулирующего бункера в неуправляемом режиме в случае  $\bar{m}_Q > \bar{Q}_n$  при  $\bar{Q}_n = 0$  средний объем груза

в бункере равен максимальному объему бункера  $V$ , то есть бункер всегда заполнен до предела.

Рассмотрим случай  $\bar{m}_Q < \bar{Q}_n$ .

Сначала предположим, что в системе «конвейер – бункер – конвейер» подбункерный конвейер функционирует без остановок, т.е.  $\lambda_1 = \mu_1 = 0$ , а грузопоток, загружаемый в бункер, постоянный и равен  $\bar{m}_Q$ .

В этом случае средний объем груза в аккумулирующем бункере, работающем в стационарном неуправляемом режиме, определяется как математическое ожидание текущего объема груза в бункере по формуле

$$V_c = M[V(t)] = \rho^{-1} \left[ \int_0^{m_0} m \bar{P}_0(m) dm + \int_0^{m_0} m \bar{P}_2(m) dm + m_0 \bar{P}_{32} \right]. \quad (5)$$

Здесь  $\bar{P}_0(m)$  – вероятность нахождения системы «конвейер – бункер – конвейер» в состоянии, при котором надбункерный и подбункерный конвейеры работают, при этом количество груза в бункере равно  $m$ ;  $\bar{P}_1(m)$  – вероятность нахождения системы «конвейер – бункер – конвейер» в состоянии, при котором надбункерный конвейер работает, а подбункерный не работает, при этом количество груза в бункере равно  $m$ ;  $\bar{P}_{32}$  – вероятность нахождения системы «конвейер – бункер – конвейер» в состоянии, при котором надбункерный и подбункерный конвейеры работают, при этом бункер заполнен, т.е.  $m = m_0$ ;  $\bar{P}_{n0}$  – вероятность нахождения системы «конвейер – бункер – конвейер» в состоянии, при котором надбункерный конвейер работает, подбункерный конвейер не работает, при этом бункер пуст, т.е.  $m = 0$ .

Согласно работе [2] величины  $\bar{P}_0(m)$ ,  $\bar{P}_1(m)$ ,  $\bar{P}_{32}$ ,  $\bar{P}_{n0}$  являются решением системы уравнения Колмогорова, описывающего процесс функционирования аккумулирующего бункера, работающего в неуправляемом режиме, при  $\bar{m}_Q < \bar{Q}_n$ , которые определяются из выражений

$$\bar{P}_0(m) = \frac{\lambda_2}{\bar{m}_Q - Q_n} e^{A_2 m} \bar{P}_{n0}; \quad \bar{P}_2(m) = \frac{\lambda_2}{\bar{m}_Q} e^{A_2 m} \bar{P}_{n0}; \quad \bar{P}_{32} = \frac{\lambda_2}{\mu_2} e^{A_2 m_0} \bar{P}_{n0};$$

$$\bar{P}_{n0} = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_2}{\mu_2} e^{A_2 m_0} + \frac{\lambda_2 Q_n}{(\lambda_2 + \mu_2) \bar{m}_Q - \mu_2 Q_n} (e^{A_2 m_0} - 1)}, \quad (6)$$

где  $A_2 = \frac{(\lambda_2 + \mu_2) \bar{m}_Q - \mu_2 Q_n}{\bar{m}_Q (Q_n - \bar{m}_Q)}$ .

Подставляя в уравнение (5) значения  $\bar{P}_0(m)$ ,  $\bar{P}_1(m)$ ,  $\bar{P}_{3_2}$ ,  $\bar{P}_{n_0}$ , определенные по формулам (6), после интегрирования получим:

$$V_c = \frac{\frac{(Q_n - \bar{Q}_n)}{(\bar{Q}_n - \bar{m}_Q)} \left[ \frac{(e^{A_2 \rho V} - 1)}{\rho A_2} - V e^{A_2 \rho V} \right] + \gamma_2 V e^{A_2 \rho V}}{1 + \gamma_2 V e^{A_2 \rho V} + \frac{(Q_n - \bar{Q}_n)}{(\bar{Q}_n - \bar{m}_Q)} (1 - e^{A_2 \rho V})}, \quad (7)$$

где

$$A_2 = \frac{\mu_2 [\bar{m}_Q (1 + \gamma_2) - Q_n]}{\bar{m}_Q (Q_n - \bar{m}_Q)}.$$

Устремим в левой части равенства (7)  $Q_n$  к бесконечности, в результате после преобразования получим:

при  $Q_n \rightarrow \infty$

$$V_c \rightarrow \frac{\lambda_2}{\mu_2 (\lambda_2 + \mu_2)} \left( 1 - e^{-\frac{\mu_2}{\bar{m}_Q} \rho V} \right) \frac{\bar{m}_Q}{\rho}. \quad (8)$$

Следовательно, при работе аккумулирующего бункера в неуправляемом режиме в случае  $\bar{m}_Q < \bar{Q}_n$  при  $Q_n \rightarrow \infty$  средний объем груза в бункере уменьшается и стремится к постоянному положительному значению, близкому к нулю при  $V \geq 100 \text{ м}^3$ .

Рассмотрим случай  $\bar{m}_Q = \bar{Q}_n$ . В этом случае выполняется условие  $\bar{m}_Q > Q_n$  и средний объем аккумулирующего бункера  $V_c$  определяется по формуле (2). При этом значения  $P_0(m)$ ,  $P_1(m)$ ,  $P_{30}$  определяются по формулам (3). Подставляя эти значения в (2), после преобразования получим

$$V_c = \left[ \frac{\frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\mu_1 m_Q}{2(m_Q - \bar{Q}_n)\bar{Q}_n} \rho V}{1 + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\mu_1 m_Q}{(m_Q - \bar{Q}_n)\bar{Q}_n} \rho V} \right] V. \quad (9)$$

При больших объемах аккумулирующего бункера, т.е. при  $V \geq 100 \text{ м}^3$ , из последней формулы следует, что  $V_c \approx V/2$ .

Следовательно, при стремлении величины разгружаемого грузопотока  $\bar{Q}_n$  к величине загружаемого в бункер грузопотока  $\bar{m}_Q$  ( $\bar{m}_Q = \bar{Q}_n$ ) средний объем груза в бункере  $V_c$  стремится к значению, равному половине объема бункера  $V/2$ .

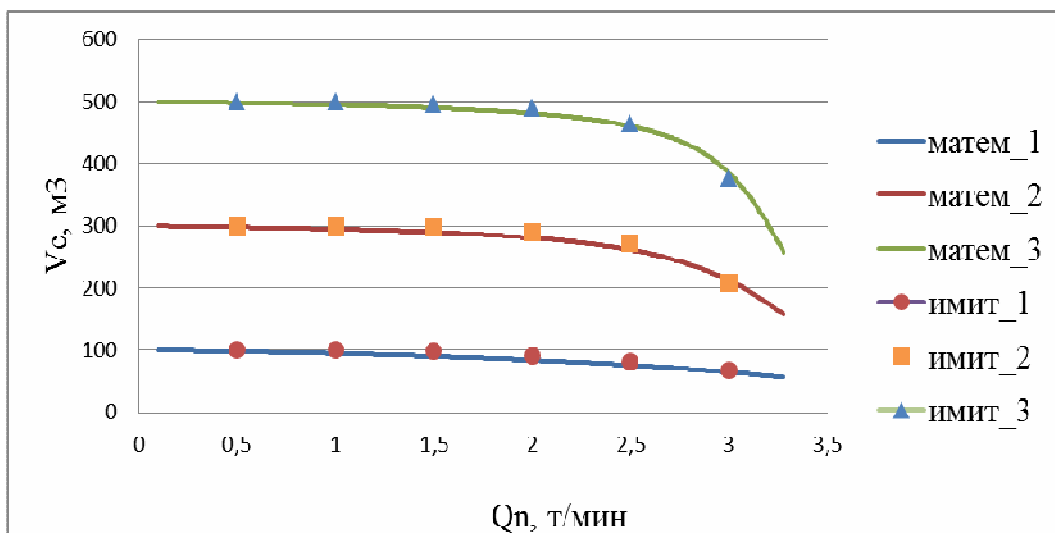
На рисунке 3 и показаны графики зависимости среднего объема груза  $V_c$  в аккумулирующем бункере, работающем в неуправляемом режиме, от производительности питателя  $Q_n$  в случае  $\bar{m}_Q > \bar{Q}_n$  при различных значениях объемов бункера  $V = 100 \text{ м}^3$ ;  $300 \text{ м}^3$ ;  $500 \text{ м}^3$ , рассчитанного по формуле (4).

При этом для всех случаев средняя производительность поступающего грузопотока  $m_Q = 3,7 \text{ т/мин}$ , а интенсивности простоев и восстановлений надбункерного и подбункерного конвейеров принимали значения соответственно  $\lambda_1 = 0,025 \text{ мин}^{-1}$ ,  $\mu_1 = 0,0614 \text{ мин}^{-1}$ ;  $\lambda_2 = 0,017 \text{ мин}^{-1}$ ,  $\mu_2 = 0,069 \text{ мин}^{-1}$ ; удельная плотность груза  $\rho = 1 \text{ т/м}^3$ . При этом, кривым 1,2,3 рисунка 3 соответствуют объемы бункеров  $V = 100 \text{ м}^3$ ;  $300 \text{ м}^3$ ;  $500 \text{ м}^3$ , соответственно.

Там же на рис. 3 показаны результаты имитационного моделирования, где кружочки соответствуют объему бункера  $V = 100 \text{ м}^3$ , треугольники –  $V = 300 \text{ м}^3$ , квадратики –  $V = 500 \text{ м}^3$ .

Из графиков (см. рис.3) видно, что в случае функционирования аккумулирующего бункера в неуправляемом режиме с увеличением производительности питателя  $Q_n$  средний объем груза в бункере уменьшается от значения, равного объему бункера  $V$  при  $Q_n = 0$ , до значения, примерно равного половине объема бункера  $V/2$  при  $Q_n = 3,28 \text{ т/мин}$  ( $\bar{Q}_n = \bar{m}_Q = 2,63 \text{ т/мин}$ ). При этом, с увеличением объема аккумулирующего бункера  $V$  средний объем груза в бункере увеличивается.

Кроме того, из графиков видно, что результаты теоретических исследований отличаются от результатов имитационного моделирования не более, чем на 10–15 %.



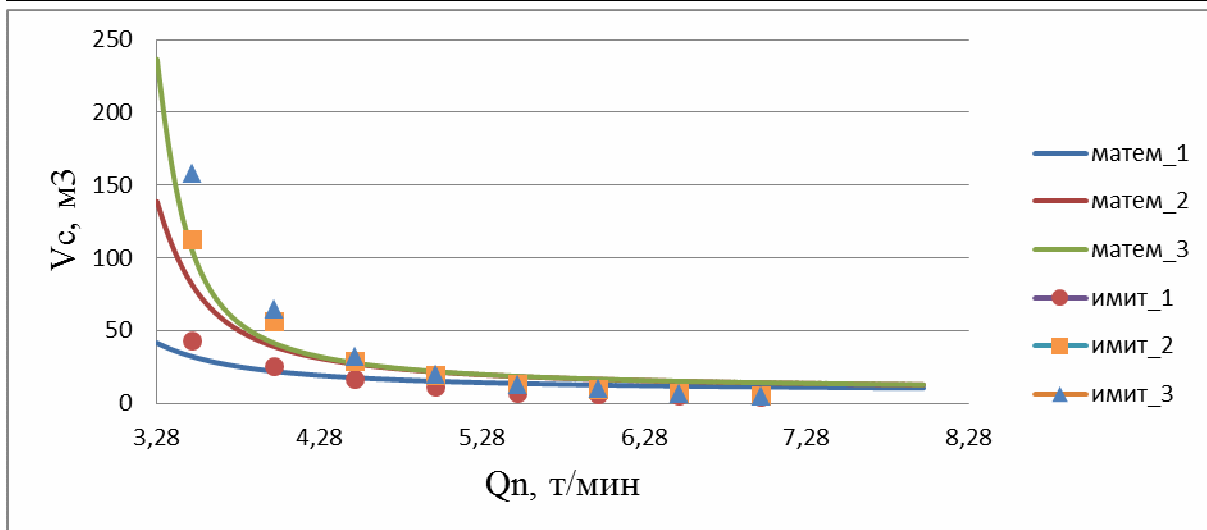
Матем\_1, имит\_1 –  $V = 100 \text{ м}^3$ ; Матем\_2, имит\_2 –  $V = 300 \text{ м}^3$ ; Матем\_3, имит\_3 –  $V = 500 \text{ м}^3$

Рисунок 3 – Графики зависимости среднего объема груза  $V_c$  в аккумулярующем бункере, работающем в неуправляемом режиме, от производительности питателя  $Q_n$  в случае  $\bar{m}_Q > \bar{Q}_n$  при различных значениях объема бункера  $V$

На рисунке 4 показаны графики зависимости среднего объема груза  $V_c$  в аккумулярующем бункере, работающем в неуправляемом режиме, от производительности питателя  $Q_n$  в случае  $\bar{m}_Q \leq \bar{Q}_n$  при различных значениях объема бункера  $V = 100 \text{ м}^3$ ;  $300 \text{ м}^3$ ;  $500 \text{ м}^3$ , рассчитанного согласно формуле (7).

При этом для всех случаев средняя производительность поступающего грузопотока  $m_Q = 3,7 \text{ т/мин}$ , а интенсивности простоев и восстановлений надбункерного и подбункерного конвейеров принимали значения соответственно  $\lambda_1 = 0,025 \text{ мин}^{-1}$ ,  $\mu_1 = 0,0614 \text{ мин}^{-1}$ ;  $\lambda_2 = 0,017 \text{ мин}^{-1}$ ,  $\mu_2 = 0,069 \text{ мин}^{-1}$ ; удельная масса транспортируемого груза  $\rho = 1 \text{ т/м}^3$ . При этом, кривым 1,2,3 рисунка 4 соответствуют объемы бункеров  $V = 100 \text{ м}^3$ ;  $300 \text{ м}^3$ ;  $500 \text{ м}^3$ , соответственно.

Там же на рис. 4 показаны результаты имитационного моделирования, где кружочки соответствуют объему бункера  $V = 100 \text{ м}^3$ , треугольники –  $V = 300 \text{ м}^3$ , квадратики –  $V = 500 \text{ м}^3$ .



Матем\_1, имит\_1 –  $V = 100 \text{ м}^3$ ; Матем\_2, имит\_2 –  $V = 300 \text{ м}^3$ ;  
Матем\_3, имит\_3 –  $V = 500 \text{ м}^3$

Рисунок 4 – Графики зависимости среднего объема груза  $V_c$  в аккумулярующем бункере, работающем в неуправляемом режиме, от производительности питателя  $Q_n$  в случае  $\bar{m}_Q \leq \bar{Q}_n$  при различных значениях объема бункера  $V$

Из графиков (см. рис. 4) видно, что в случае функционирования аккумулярующего бункера в неуправляемом режиме с увеличением производительности питателя  $Q_n$  средний объем груза в бункере уменьшается по гиперболическому закону от значения, примерно равного половине объема бункера  $V/2$ , при  $Q_n = 3,28 \text{ т/мин}$  ( $\bar{Q}_n = \bar{m}_Q = 2,63 \text{ т/мин}$ ) до положительного постоянного значения при  $Q_n \rightarrow \infty$ . При этом, с увеличением объема аккумулярующего бункера  $V$  средний объем груза в бункере увеличивается.

Кроме того, из графиков видно, что результаты теоретических исследований отличаются от результатов имитационного моделирования не более чем на 10–15 %.

### Выводы

Следовательно, на основании упрощенной марковской модели функционирования аккумулярующего бункера, работающего в системе конвейерного транспорта в неуправляемом режиме, определен средний объем груза в бункере в зависимости от объема бункера и параметров грузопотоков, поступающего и разгружаемого из бункера.

При этом установлено, что с увеличением производительности питателя  $Q_n$  средний объем груза в аккумулирующем бункере  $V_c$  уменьшается и при  $Q_n \rightarrow \infty$  стремится к некоторому постоянному значению, близкому к нулю при  $V \geq 100 \text{ м}^3$ , а с увеличением объема бункера  $V$  средний объем груза в бункере  $V_c$  увеличивается.

Кроме того, исследования показали, что с увеличением интенсивности простоя надбункерного конвейера  $\lambda_1$  средний объем груза в аккумулирующем бункере уменьшается, а с увеличением интенсивности простоя подбункерного конвейера  $\lambda_2$  средний объем груза в бункере увеличивается.

Результаты теоретических исследований отличаются от результатов имитационного моделирования на 10-15%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кирия Р. В. Математическая модель функционирования аккумулирующего бункера в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах / Р. В. Кирия, Т. Ф. Мищенко, Ю. В. Бабенко // Наукові вісті «Сучасні проблеми металургії». – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2012. – № 15. – С. 85–96.
2. Кирия, Р. В. Разработка быстрого алгоритма определения пропускной способности системы «конвейер – бункер – конвейер» / Р. В. Кирия, Т. Ф. Мищенко, Ю. В. Бабенко // Системні технології: Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Дніпропетровськ, 2013. – Випуск 1. – С. 146–158.
3. Черкесов, Г.Н. Надежность технических систем с временной избыточностью / Г.Н.Черкесов. - М.: Советское радио, 1974. - 296 с.
4. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. - М.: Высшая школа, 2000. - 480 с.
5. Надежность технических систем: справочник / Под ред. И. А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.
6. Дружинин, Г. В. Надежность автоматизированных производственных систем / Г. В. Дружинин. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 420 с.

А.И. Купин, Б.А. Поддубный, И.О. Музыка

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ  
МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАФИКА  
В ГЕТЕРОГЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЕ**

*Аннотация. Приведена математическая модель поиска оптимального маршрута и его стоимости при наличии разнородных требований к маршрутизации в гетерогенной информационно-коммуникационной сети произвольной нестабильной структуры, позволяющий максимально эффективно использовать ресурсы сети, уменьшая количество блокировок и задержек трафика.*

*Ключевые слова: маршрутизация, управление трафиком, планирование ресурсов, управление информационными коммуникациями, распределенные гетерогенные сети.*

**Введение**

Любая распределенная информационная система прежде всего подразумевает сеть узлов. Поэтому одной из важнейших задач в распределенной сети является маршрутизация. В настоящее время существует большое количество алгоритмов маршрутизации, удовлетворяющих требованиям к передаче трафика, к параметрам качества обслуживания, соглашениям об уровне обслуживания и др. [1-5]. При этом практически все алгоритмы рассчитаны на стабильную сеть и не учитывают мобильные узлы и гетерогенность структуры. В настоящей статье рассматривается математическая модель маршрутизации для современных гетерогенных информационно-коммуникационных сетей с нестабильной структурой.

Все величины, определенные в данной статье, являются нормированными (условными) и могут быть использованы для различных размерностей и условий: пропускная способность и объем трафика измеряется в удобных для конкретной задачи единицах измерения (биты, байты, пакеты и т.д.), стоимость передачи определяет некоторый показатель затрат на передачу: время передачи, энергетические или экономические затраты на передачу и т.д.

**Математическая модель маршрутизации**

Рассмотрим распределенную информационную систему (РИС) и соответствующий ей полный ориентированный граф  $G = (V, E)$ , где  $V$  – множество узлов,  $E$  – множество коммуникационных линий (маршрутов) между каждой парой узлов.

Определим множество  $R$ , такое что  $R \subset V \times V$ . Пары узлов из множества  $R$  соответствуют парам конечных узлов сети, между которыми осуществляется передача трафика.

Для  $\forall (v_i, v_j) \in R$  определим множество всех возможных маршрутов  $L_{ij} = \{l_1(v_i, v_j), l_2(v_i, v_j), \dots, l_n(v_i, v_j)\}$  между узлами  $(v_i, v_j)$ , где  $l_r(v_i, v_j)$  – некоторый уникальный маршрут между узлами  $(v_i, v_j)$ .

В работе [6] были определены для каждой пары узлов  $(v_i, v_j) \in R$  функция  $f(v_i, v_j) \geq 0$ , описывающая объем трафика, передаваемого между этими узлами, и условия для такой функции без учета весовых долей пропускной способности каждого отдельного маршрута. Определим условия, удовлетворяющие функции  $f(v_i, v_j)$  с учетом весовых долей пропускной способности маршрута  $w$ :

$$F(p, v_i, v_j) = \sum_k f_{ij}(p, v_i, v_k) = \sum_k f_{ij}(p, v_k, v_j);$$

$$\forall (v_k) \in V \setminus \{v_i, v_j\};$$
(1)

$$F_{ij}(p, v_k, v_l) \leq \frac{w_{kl}}{w_{ij}} f(p, v_i, v_j) - \sum_{m,n} F_{mn}(p, v_k, v_l);$$

$$(v_m, v_n) \in R \setminus (v_i, v_j),$$
(2)

где  $F_{ij}(v_k, v_l)$  – доля трафика  $F(v_i, v_j)$ , протекающего между узлами  $(v_k, v_l)$ ;  $w_{kl} \geq 0$  – пропускная способность маршрута между узлами  $(v_k, v_l)$ ,  $p$  – идентификатор потока данных.

Условие (1) определяет, что объем трафика, передаваемого по сети из узла  $v_i$ , будет равен объему трафика, поступающего в узел  $v_j$ . Условие (2) означает, что объем трафика, передаваемого по какому-либо маршруту, не превышает пропускной способности этого маршрута.

Рассмотрим РИС как граф, каждой паре узлов  $(v_i, v_j)$  и маршрута между ними  $(v_i, v_j)$  которого приписан кортеж:

$$[w_{ij}, prob_{ij}, L_{ij}, f(v_i, v_j, t)],$$
(3)

где  $prob_{ij}$  – значение вероятности существования хотя бы одного маршрута между узлами  $(v_i, v_j)$ ,  $f(v_i, v_j, t) \geq 0$  – функция, соответствующая общему объему трафика, передаваемого между узлами  $(v_i, v_j)$  в каждый момент времени  $t$ :

$$f(p, v_i, v_j, t) = \frac{dF(p, v_i, v_j)}{dt} \quad (4)$$

Каждому отдельному маршруту  $l_r \in L_{ij}$  соответствует кортеж:

$$\begin{aligned} [w_r(v_i, v_j), prob_r(v_i, v_j), cost_r(v_i, v_j), f_r(p, v_i, v_j, t)]; \\ 0 \leq prob_r(v_i, v_j) \leq 1; \\ 0 \leq cost_r(v_i, v_j), \end{aligned} \quad (5)$$

где  $prob_r(v_i, v_j)$  – значение вероятности существования маршрута  $l_r$  между узлами  $(v_i, v_j)$ ,  $cost_r(v_i, v_j)$  – значение стоимости передачи условной единицы информации по маршруту  $l_r$  между узлами  $(v_i, v_j)$ ,  $f_r(p, v_i, v_j, t) \geq 0$  – функция, соответствующая объему трафика, передаваемого по маршруту  $l_r$  в каждый момент времени  $t$ . Будем при этом считать, что значение  $prob_{ij}$ ,  $prob_r(v_i, v_j)$  и  $cost_r(v_i, v_j)$  одинаковы при передаче трафика в обе стороны (т.е. вероятность существования маршрута и стоимость передачи по этому маршруту в прямом направлении равны вероятности существования этого маршрута и стоимости передачи по этому маршруту в обратном направлении).

Вероятностью существования маршрута между двумя узлами каждого уникального маршрута  $l_r$  будем считать вероятностное произведение всех промежуточных маршрутов (включенных в этот маршрут) между соседними звеньями на этом маршруте:

$$\begin{aligned} prob_r(v_i, v_j) = \prod_{m,n} prob_r(v_m, v_n); \\ \forall l_r(v_m, v_n) \in l_r(v_i, v_j), \end{aligned} \quad (6)$$

где  $r$  – условный номер уникального маршрута между каждой парой узлов  $(v_i, v_j)$ . Здесь и далее будем учитывать только маршруты с вероятностью, отличной от нуля, т.к. маршрут с вероятностью равной нулю не сможет себя никогда реализовать.

Общей вероятностью существования хотя бы одного маршрута между парой узлов  $(v_i, v_j)$  будем считать сумму вероятностей существования всех уникальных маршрутов между этими узлами:

$$\begin{aligned} \text{prob}(v_i, v_j) &= 1 - \prod_{\forall r} (1 - \text{prob}_r(v_i, v_j)); \\ \forall l_r(v_i, v_j) &\in L_{ij}, \end{aligned} \quad (7.1)$$

$$\begin{aligned} \text{prob}(v_i, v_j) &= 1 - \prod_{\forall r} \left( 1 - \prod_{m,n} \text{prob}_r(v_m, v_n) \right); \\ \forall l_r(v_m, v_n) &\in l_r(v_i, v_j) \in L_{ij} \end{aligned} \quad (7.2)$$

Формула (7.2) дает возможность рассчитать вероятность существования хотя бы одного маршрута между двумя узлами гетерогенной сети, основываясь на вероятностях существования каждого отдельного фрагмента сети.

Остаточная пропускная способность участка маршрута  $l_r$  между промежуточными узлами  $(v_m, v_n)$  – величина, показывающая, на какое значение может быть увеличен поток данных  $p^*$  по этому маршруту после вычета всех сторонних потоков данных:

$$w_r^*(p^*, v_m, v_n, t) = w_r(v_m, v_n) - \sum_{\forall g \in G} f_r(p, v_m, v_n, t), \forall p \in P \setminus p^* \quad (8.1)$$

где  $P$  – множество потоков данных, протекающих по маршруту  $l_r$ . Остаточная пропускная способность участка маршрута  $l_r$  между промежуточными узлами  $(v_i, v_j)$  будет соответствовать сегменту маршрута с наименьшей пропускной способностью:

$$\begin{aligned} w_r^*(p^*, v_i, v_j, t) &= \min_{\forall (v_m, v_n)} (w_r^*(p^*, v_m, v_n, t)), \\ \forall (v_m, v_n) &\in (v_i, v_j) \end{aligned} \quad (8.2)$$

Количество информации, переданной в потоке  $p^*$  по маршруту  $l_r$  между парой узлов  $(v_i, v_j)$  за время  $T$ :

$$F_r(p^*, v_i, v_j) \leq \int_0^T w_r^*(p^*, v_i, v_j, t) dt \quad (9)$$

Стоимостью передачи единицы информации для пары узлов  $(v_i, v_j)$  по каждому уникальному маршруту  $l_r$  будем считать сумму стоимостей передачи части этих данных по каждому фрагменту этого маршрута:

$$\text{cost}_r(v_i, v_j) = \sum_{m,n} \text{cost}_r(v_m, v_n) \frac{F_r(p^*, v_m, v_n)}{F_r(p^*, v_i, v_j)} \quad (10)$$

Относительную стоимость передачи трафика по каждому уникальному маршруту  $l_r$  будем считать как отношение стоимости пере-

дачи информации по этому маршруту к вероятности существованию этого маршрута:

$$\begin{aligned} cost_r^*(v_i, v_j) &= \frac{cost_r(v_i, v_j)}{prob_r(v_i, v_j)}; \\ prob_r(v_i, v_j) &> 0 \end{aligned} \quad (11)$$

Очевидно, что маршрут с наиболее низкой относительной стоимостью будет являться наиболее оптимальным маршрутом передачи информации: такой маршрут может иметь более высокую стоимость, чем маршрут с минимальной стоимостью, однако вероятностные потери будут в таком маршруте намного ниже:

$$\begin{aligned} cost_o(v_i, v_j) &= \min_r (cost_r^o(v_i, v_j)) = \min_r \left( \frac{cost_r(v_i, v_j)}{prob_r(v_i, v_j)} \right); \\ prob_r(v_i, v_j) &> 0, \end{aligned} \quad (12)$$

где  $cost_o$  – стоимость передачи данных между узлами  $(v_i, v_j)$  по наиболее оптимальному маршруту.

### Выводы

Решена задача нахождения оптимального маршрута для передачи трафика с учетом нагрузки на сеть, остаточной пропускной способности ее звеньев и требований к маршрутизации при условии непостоянной структуры сети, стоимости передачи трафика и возможности его разделения.

Предложенная математическая модель может быть применена для разработки методов и алгоритмов маршрутизации, поиска решения задачи маршрутизации в информационно-коммуникационных сетях сложной структуры. Реализация модели осуществляется посредством разбиения графа сети на компоненты, для каждого из которых применяется изложенная модель маршрутизации с последующей композицией общего решения.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Capone A., Fratta L., Martignon F. Dynamic online QoS routing schemes: performance and bounds // Computer Networks. 2006. No. 50. P. 966-981.
2. Capone A., Fratta L., Martignon F. Dynamic routing of bandwidth guaranteed connections in MPLS networks // Intern. Journal on Wireless & Optical Communications. 2003. No. 1. pp. 75-86
3. Kwong Kin-Wah, Guerin R., Shakh A., Shu Tao. Balancing performance, robustness and flexibility in routing systems // Proc. of ACM CoNEXT. Madrid, 2008. pp. 372-383.
4. Hadjiona M., Georgiou C., Papa M., Vassiliou V. A hybrid fault-tolerant algorithm for MPLS networks // Proc. of WWIC. Tampere. 2008. pp. 41-52.
5. Ефремов А. С., Зеленцов В. А., Миронов А. С., Уласень С. Н. Прогнозирование остаточного ресурса коммуникационного оборудования // Вестн. связи. 2004. №4. С. 93-99.
6. Зеленцов В. А., Цивирко Е. Г., Чукарин А. В. Метод маршрутизации трафика в информационно-коммуникационной гетерогенной сети // Известия высш. учебных заведений. 2010. №11. Том 53. С. 56-61.
7. Березко М. П., Вишневский В. М., Левнер Е. В., Федотов Е. В. Математические модели исследования алгоритмов маршрутизации в сетях передачи данных // Информационные процессы. 2001. Т. 1, №2. С. 103-125.

И.В. Пелых, Д.А. Кононов

**МОДАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УПРУГОГО КОЛОСНИКОВО -  
КАРТЧОЧНОГО ЭЛЕМЕНТА ПРОСЕИВАЮЩЕЙ  
ПОВЕРХНОСТИ ШИХТОВОГО ВИБРАЦИОННОГО  
ГРОХОТА**

*Анотація. Розглядається рішення задачі модального аналізу руху елемента карткового сита просіює за допомогою системи моделювання задач міцності та математичної фізики ANSYS. Для елемента карткового сита, яке виготовлено для експериментальної установки визначено, що нижча перша частота (59,3 Гц) більше робочої частоти гуркоту (25 Гц), що є не оптимальним, так ка не дотримується умова резонансу. Ключові слова: модальний аналіз, власна частота і форма коливання, карткове сито.*

Длительный период времени в качестве основного рабочего органа шихтовых вибрационных грохотов используются просеивающие поверхности, изготовленные из плоских металлических листов с квадратными, круглыми или щелевидными просеивающими отверстиями или комплектами эластичных резиновых карт-модулей.

В процессе активного абразивного износа листовых металлических сит, разрушаются перемычки между их просеивающими отверстиями, которые постепенно объединяются. Как показывает практика, одно «разрывное» отверстие, объединившее в себе более 4-х первоначальных отверстий, приводит к разрушению (расколу) металлического листа, формирующего ситовое полотно вибрационного грохота. Плоско-листовые полимерные просеивающие поверхности вибрационных грохотов, в условиях мелкого (среднего) грохочения, недостаточно эффективно решают задачи удовлетворения потребительских требований, предъявляемых к повышению качества гранулометрического состава отсортированного материала. Также для листовых резиновых карт-модулей, из-за крупных габаритов характерны низкие показатели ремонтпригодности, обусловленные невозможностью восстановления их работоспособности в случае локального износа, раз-

рыва или растяжения и необходимости проведения их экстренной замены.

Для устранения вышеизложенного комплекса проблем традиционных просеивающих поверхностей листовидного типа, предлагается использовать новую конструкцию упругой динамически активной просеивающей поверхности [1] – сита самоочищающегося колосниково – карточного (ССКК) (рис.1 а-б), составные упругие колосниково-карточные элементы (далее ККЭ) которого, без предварительной деформации устанавливаются в коробе вибрационного грохота.

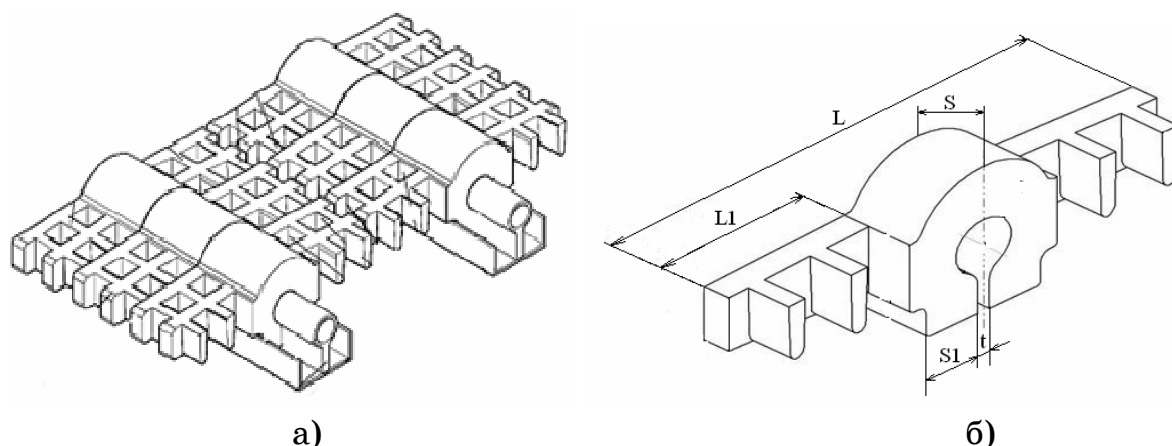


Рисунок 1 - Сегмент ССКК (а) и фрагмент его колосниково-карточного элемента (б)

ККЭ ССКК (рис.1-б) по всей своей длине ( $L$ ) выполнены с центральной дугообразной поверхностью толщиной ( $S$ ), образованной боковой поверхностью эластичного вала с лыской и прилегающими к ней симметрично расположенными горизонтальными полками с рабочей длиной ( $L_1$ ), снабженными выступами-зубцами. Защемление (фиксация) в продольных пазах продольных колосникообразных опор каждого отдельно взятого ККЭ производится его обособленными концевыми частями с толщиной ( $S_1$ ), выполненными в виде пустотелых упорных утолщений.

Цель исследования: предложить методику определения собственных частот и форм колебания резинового элемента, что позволит достигать наибольших амплитуд колебания при резонансном режиме работы.

Задача исследования: разработать модель карточного элемента сита для модального анализа с помощью системы моделирования ANSYS.

### Теоретические основы

Модальный анализ проводится для определения частот и форм (мод) собственных колебаний конструкций. Также модальный анализ может быть первым шагом для других видов динамического анализа, таких, как анализ переходных процессов, гармонический и спектральный анализ. Модальный анализ предполагает, что система является линейной. Все виды нелинейности – нелинейное поведение материала, контактные граничные условия, конечные перемещения – игнорируются. Контакты, в зависимости от своего исходного состояния, остаются открытыми или закрытыми.

Используя метод конечных элементов, дискретные уравнения движения конструкции можно представить в виде матричного уравнения

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F\} \quad (1)$$

здесь  $\{u\}$  – вектор узловых перемещений для всего тела,  $\{\ddot{u}\}, \{\dot{u}\}$  – векторы ускорений и скоростей точек тела,  $[K], [C], [M]$  – «глобальные» матрицы жесткости, демпфирования и масс для всего тела,  $\{F\}$  – вектор эквивалентных узловых сил для всего тела.

Матрицу демпфирования  $[C]$  можно формально получить, аналогично матрицам жесткости и масс, введя некоторую константу внутреннего трения и суммируя соответствующие матрицы элементов, однако в общем случае это не так. Назначением матрицы демпфирования является аппроксимация диссипации энергии. На практике матрица  $[C]$  задается постоянной, строится путем задания величин демпфирования на различных собственных модах или аппроксимируется через матрицы  $[M]$  и  $[K]$  (по Рэлею)

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K]$$

Используя уравнение движения (1) можно получить уравнения для модального анализа.

Предполагается, что внешние силы и демпфирование равны нулю. Уравнение свободных колебаний конструкции в матричной форме имеет вид

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{0\} \quad (2)$$

Для линейной системы свободные колебания являются гармоническими и могут быть записаны в виде

$$\{u\} = \{\phi\}_i \cos(\omega_i t) \quad (3)$$

где  $\{\phi\}_i$  –  $i$ -й собственный вектор, представляющий форму (моду) колебаний на  $i$ -й собственной частоте,  $\omega_i$  –  $i$ -я собственная круговая частота (радиан в единицу времени),  $t$  – время.

Подставляя (3) в (2), получим

$$-\omega_i^2[M] + K\{\phi\} = \{0\}. \quad (4)$$

Это равенство удовлетворяется, если  $\{\phi\}_i = \{0\}$  или определитель матрицы  $-\omega_i^2[M] + [K]$  равен нулю. Первый случай дает тривиальное решение и поэтому неинтересен. Второй случай приводит к обобщенной проблеме собственных значений (4).

Решением обобщенной проблемы собственных значений являются  $n$  пар собственных частот  $\omega^2$  и собственных векторов  $\{\phi\}$ .

Наряду с круговой собственной частотой  $\omega_i$  также вводится собственная частота  $f_i$ , представляющая собой число колебаний в единицу времени:

$$f_i = \frac{\omega_i}{2\pi} \quad (5)$$

Особенностью задачи на собственные значения является то, что собственные формы определяются с точностью до постоянного множителя, поэтому их необходимо нормировать. Часто используется нормирование по отношению к матрице масс. Кроме того, собственные формы ортогональны по отношению к матрице масс (М-ортогональны)

$$\phi_i^T[M]\{\phi\}_j = \{\delta_i\} \quad (6)$$

Из уравнений (4) и (6) следует также условие ортогональности по отношению к матрице жесткости  $K$  (К-ортогональность)

$$\phi_i^T[K]\{\phi\}_j = \omega_i^2 \{\delta\}_{ij} \quad (7)$$

Применение данной методики для модального анализа для резинового сита сложной формы достаточно проблематично и сопряжено с большим числом вычислений. Поэтому более рациональным способом является применение пакета Ansys, предназначенного для решения мультифизических задач.

### Модальный анализ

Процедура модального анализа состоит из четырех основных шагов: построение модели; определение типа анализа, задание опций,

приложение воздействий и получение решения; «экспандирование» мод; анализ результатов.

Свойства материала также должны быть линейными, изотропными или ортотропными, постоянными или зависящими от температуры. Нелинейные свойства (нелинейная упругость, пластичность, ползучесть) игнорируются.

Вследствие упрощения и сокращения времени расчёта рассмотрим половину колосникового элемента наложив соответствующие ограничения. Общий вид объемной модели показан на рис. 2.

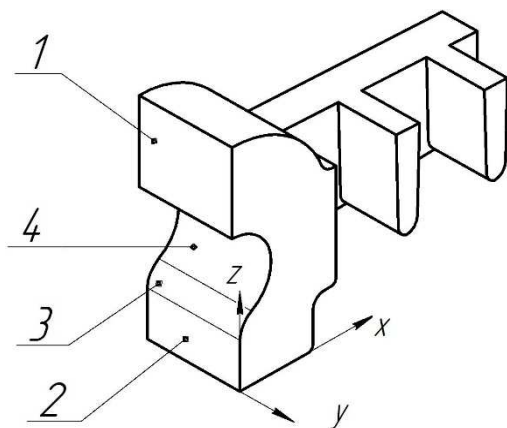


Рисунок 2 - Общий вид элемента

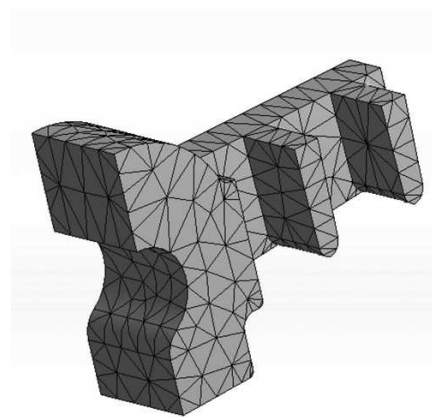


Рисунок 3 - Конечно-элементная модель

В соответствие с принятыми допущениями накладываются следующие граничные условия:

- 1) поверхности 1 и 2 не могут перемещаться в нормальном направлении, т.е.  $\delta_x = \delta_y = \delta_z = free$ ;
- 2) поверхность 3 и полуцилиндр 4 могут перемещаться только в направлении оси  $y$ .

В качестве базового элемента примем колосниковый элемент экспериментальной модели вибрационного грохота, разработанного авторами на кафедре МАМП Национальной металлургической академии Украины [5, 6].

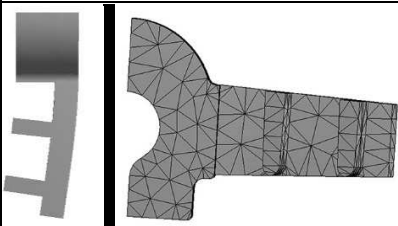
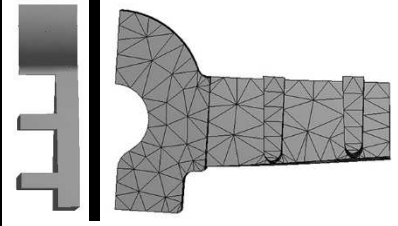
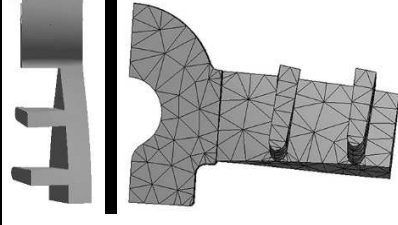
Конечно-элементная модель показана на рис. 3 (общее число узлов 3143, элементов – 1595). В качестве материала используется резина 2959 со следующими характеристиками: плотность модули упругости  $E = 12 \text{ МПа}$ ,  $G = 4,1 \text{ МПа}$ ; коэффициент Пуассона  $\mu = 0,48$ .

В результате решения получаем частоты колебаний (табл. 1) и соответствующие их формы (моды) колебаний.

Из результатов расчета видно, что первая резонансная частота (59,3 Гц) значительно больше рабочей частоты возбуждения грохота (25 Гц). Исходя из этого для достижения резонансного режима необходимо ее понизить. Это возможно изменением геометрических размеров и форм колосникового элемента, а также за счет варьирования механических характеристик резины или полимеров, из которых изготавливается колосник.

Таблица 1

Результаты расчета

| Мода | Частота, Гц | Форма колебания                                                                      |
|------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 2,   | 59,3        |    |
| 3,   | 80,8        |   |
| 4,   | 116,7       |  |

Форма колебаний при низшей частоте (59,4 Гц), в основном, имеет горизонтальную составляющую. Это в реальных условиях приводит к периодическому изменению размера просеивающей ячейки, что должно способствовать качественному самоочищению (уменьшению забиваемости).

Колебания более высоких частот могут передавать сортируемому материалу многовекторную скорость, что значительно повышает «виброкипение» слоя, что также способствует увеличению эффективности грохочения.

### **Выводы**

В статье рассматривается решение задачи модального анализа движения элемента карточного сита просеивающей поверхности с помощью системы моделирования задач прочности и математической физики ANSYS.

Предложена методики определение собственных частот и форм колебания резинового элемента.

Для существующего элемента определено, что низшая первая частота (59,3 Гц) больше рабочей частоты грохота (25 Гц), что является что является не оптимальным, так как не соблюдается условие резонанса.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Патент № 103727 Україна, МПК В 07 В 1/46. Сито вібраційного грохота/ Білодіденко С.В., Пелих І.В., Кононов Д.О., Петренко В.О., Бородай В. І.; заявник і власник Національна металургійна академія України. – № А 201212361; заявл. 29.10.2012; опубл. 11.11.2013, Бюл. №21.
2. Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности. М.: Мир, 1987.
3. Бате К., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов. М.: Стройиздат, 1982.
4. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. М.: Наука, 1984.
5. Рациональная конструкция просеивающей поверхности/вибрационного грохота металлургического производства/ Белодеденко С.В., Петренко В.А., Пелых И.В. //Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2009. –№4. – с. 79 - 82.
6. Исследование процесса грохочения кокса на модели вибрационного грохота / С.В. Белодеденко, Д.А. Кононов, И.В. Пелых // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2013. - №4. – с. 97 – 100.

В.П. Пошивалов, Ю.Ф. Даниев, Л.В. Резниченко  
**СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ  
НАДЁЖНОСТИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ**

*Аннотация. Рассмотрен системный подход к обеспечению надёжности. Приведены основные принципы современной методологии обеспечения надёжности сложных систем на всех этапах жизненного цикла Показана перспективность использования метода активного резервирования с перестраиваемым восстанавливающим элементом в задачах обеспечения надёжности.*

*Ключевые слова: сложная система, системный анализ, обеспечение надёжности, программное обеспечение.*

**Постановка проблемы.** При решении проблемы надёжности сложных систем (СС) условно можно выделить два направления: расчёт надёжности и её обеспечение. Первое направление основывается в основном на применении специальных математических методов, а второе связано с решением традиционных конструкторских и технологических задач по созданию высококачественных систем и правильной их эксплуатации. В процессе становления науки и практики в области надёжности СС стало понятно, что отдельно взятыми расчётными, конструкторскими или одними организационными методами проблему надёжности не решить. Поэтому постепенно ситуация изменилась в пользу разумного сочетания методов расчёта надёжности и организационно-технического обеспечения надёжности систем с помощью нормирования, конструкторских решений и экспериментальной отработки. Непрерывный рост сложности систем ставит перед разработчиками ряд проблем, связанных с обеспечением высокой надёжности, так как недостаточно высокий ее уровень, как показывает практика их эксплуатации, приводит к большому числу аварий. Поэтому на современном этапе, учитывая накопленную информацию в части надёжности сложных систем, актуальным является разработка новых подходов и методов по обеспечению надёжности на этапах от проектирования до снятия системы с эксплуатации.

**Целью работы** является разработка системного подхода к обеспечению надёжности сложных систем.

**Основная часть.** На основе анализа различных источников можно выделить следующие принципы современной методологии обеспечения надёжности:

- системный подход к обеспечению надёжности;
- использование вероятностных показателей надёжности, включаемых в контракты с заказчиком;
- всесторонние отработочные испытания в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным;
- использование на стадиях опытно-конструкторских работ систем автоматизированного проектирования, позволяющих сократить сроки разработки, избежать конструкторских ошибок, проводить сравнение различных вариантов построения систем, оптимизировать проекты по критериям стоимости и надёжности, оптимальных весовых показателей и габаритов;
- использование на стадии производства автоматических и автоматизированных технологических процессов, контрольных систем и средств неразрушающего контроля;
- создание экспериментальной базы, позволяющей проводить отработку элементов систем на этапе испытаний;
- создание отказоустойчивой аппаратуры.

В [1-10] отмечены следующие направления работ по обеспечению надёжности на всех этапах жизненного цикла:

- обеспечение безопасности;
- разработка нормативов и сертификаций, методических документов в области надёжности;
- создание физических основ надёжности;
- программное обеспечение работ по надёжности и безопасности.

В качестве основы обеспечения надёжности СС целесообразно использовать методы системного подхода. Этот подход к проектированию любого объекта дает определенную гарантию получения качественного проектного решения и позволит объективно оценить уровень надёжности на всех этапах жизненного цикла системы. Системный подход отличается от традиционного подхода предположением, что целое обладает такими качествами (свойствами), каких нет у его

частей. Наличием этих качеств целое, собственно, и отличается от своих частей. Данная связь между целыми и его частями была положена в основу первых определений системы, например такого: «система - это совокупность связанных между собой частей» [3].

Системы являются сложными многоуровневыми и многокомпонентными образованиями. В целях адекватной информации и определения причинных связей элементы системы конкретизируются. Такой подход позволяет однозначно определить опасности и опасные состояния системы. Он обеспечивается декомпозицией систем - расчленением иерархии и организации системы на взаимосвязанные составные части (подсистемы, элементы), последующим исследованием их независимо друг от друга и координацией локальных решений. Этот метод представляет, по существу, разложение сложных систем на простые с применением теорем об условных вероятностях и условных распределениях. При этом вначале вычисляются показатели надежности более простых подсистем, а затем полученные результаты группируются с целью получения характеристик всей системы в целом. Рассматриваемый метод может быть использован для упрощения, как пространства состояний, так и конфигурации системы. Эффективность метода зависит от выбора ведущего элемента, т.е. элемента, используемого при декомпозиции системы. Если этот элемент выбран неудачно, то, несмотря на идентичность конечного результата, вычисления окажутся значительно более громоздкими. В случае сравнительно сложных систем правильный выбор главных элементов для создания простой конфигурации может оказаться сложной задачей.

Применение системного подхода при анализе элементов СС дает возможность формально оценить ее структуру. Используемые в ходе анализа характеристики СС могут служить объективной (относительной) мерой его структурного совершенства. Если в качестве примера СС рассмотреть, стартовый комплекс, то в том случае проведение анализа возможно, если выполнен синтез структуры его технологического оборудования, и функций, им реализуемых, а также приняты технические решения по разработке средств обеспечения безопасности каждого из агрегатов и систем оборудования. Такой анализ позволяет принимать окончательное решение при формировании облика стартового комплекса даже в случае использования при его по-

строении принципиально новых, ранее не опробованных, технических решений.

Анализ структуры СС проводится с использованием теории графов. Вершинам графов соответствуют агрегаты, а ребрам (дугам) – технологические операции. В качестве одной из важных характеристик структур СС является сложность, которая характеризует структуру оборудования СС и позволяет оценивать однородность оборудования.

Сложность определяется соотношением

$$U = E \log_a n, \quad (1)$$

где  $e_i$  – связи графа (дуги или ребра);

$$E = \sum_{i=1}^m e_i \text{ – количество дуг и ребер графа;}$$

$n$  – число агрегатов;

$m$  – число технологических операций;

$a$  – произвольное число, значение которого выбирается в диапазоне

$$1 < a < \sqrt{n}. \quad (2)$$

Для обеспечения безопасности функционирования СС ее сложность должна быть по возможности минимальной.

При разработке системного подхода к обеспечению надежности сложных систем необходимо найти взаимосвязь между конструкторскими, технологическими, экономическими, эксплуатационными и эргономическими факторами, определяющими конкурентоспособность системы. В этом отношении важно установить влияние функционально-стоимостного анализа указанных факторов на обеспечение надежности системы. Решение этой задачи чрезвычайно сложно и многовариантно, а также требует оптимизации всех факторов.

Обычно системный подход к обеспечению надежности систем увязывают с оптимизацией лишь конструкторских и технологических факторов, проводя их функционально-стоимостный анализ, включающий две процедуры: функционально-стоимостную диагностику процесса; поиск и выбор оптимального варианта конструкции или технологического процесса, исходя из целей анализа. При выполнении функционально-стоимостного анализа конструкторских и технологических решений необходимо предусмотреть следующие этапы: подготовительный, аналитический, творческий, исследовательский,

рекомендательный, внедрения. Решение этих проблем на этапе проектирования в значительной мере зависит от выбора надежных схемно-конструкторских решений, введения различных видов избыточности, обеспечения определенных запасов работоспособности.

Одним из методов обеспечения надёжности СС является резервирование. При этом определяется основной показатель надежности СС – безотказность в течение требуемого времени. При анализе вероятности безотказной работы рассматривают структурные схемы надежности, образованные из конечного набора последовательных и параллельных блоков определенного типа. Трудности, возникающие при рассмотрении сложных систем, можно уменьшить, используя метод преобразования. Он состоит в последовательном упрощении систем с последовательным и параллельным соединением элементов путем преобразования их в эквивалентные схемы. Подобная процедура выполняется до тех пор, пока вся система не будет сведена к одному-двум элементам. При этом обычно делается допущение о независимости отказов.

Соединения элементов в структурной схеме надёжности СС может включать различные виды последовательного и параллельного соединения элементов (цепей). В настоящее время наибольшее распространение получили математические модели расчета надежности СС и ее комплектующих (функциональных устройств, блоков, цепей), которые могут находиться в активном режиме или в пассивном (ненагруженном) состоянии. При этом зачастую применяется экспоненциальный закон распределения времени безотказной работы.

Для расчета надежности  $P(t)$  СС с такими комплектующими можно использовать следующие соотношения:

– резервированный по схеме  $m / n$  „блок со всеми блоками в активном (нагруженном) режиме”

$$P(t) = \sum_{i=1}^{n-m} C_n^i (1 - e^{-\lambda t})^i (e^{-\lambda t})^{n-i}; \quad (3)$$

– резервированный по схеме  $m / n$  „блок с наличием блоков в ненагруженном режиме”

$$P(t) = e^{-m\lambda t} \left[ 1 + \sum_{i=1}^{n-m} \frac{(1 - e^{-\lambda_{xp} t})}{i!} \prod_{j=0}^{i-1} \left( j + m \frac{\lambda}{\lambda_{xp}} \right) \right], \quad (4)$$

где  $t$  – время работы блока;

$\lambda$  – интенсивность отказов в активном режиме;

$\lambda_{xp}$  – интенсивность отказов блока в режиме хранения ( $\lambda_{xp} = \lambda/10$ ;

$n$  – количество одинаковых параллельных блоков;

$m$  – количество работающих блоков, определяющих работоспособность схемы, и тех, которые зарезервированы остальными  $n - m$  блоками.

Вероятность безотказной работы системы при общем резервировании с постоянно включенным резервом при кратности резервирования  $m$  вычисляется по формуле

$$P_c(t) = 1 - \left[ (1 - P_o(t)) \right]^m, \quad (5)$$

где  $P_o(t)$  – вероятность безотказной работы исходной нерезервированной системы.

Из (5) получаем следующее выражение кратности резервирования:

$$m = \frac{\ln[1 - P_c]}{\ln[1 - P_o(t)]} - 1. \quad (6)$$

Вероятность безотказной работы системы при общем резервировании замещением при кратности резервирования  $m$  вычисляется по формуле

$$P_c(t) = P_o(t) \sum_{i=0}^m \frac{[-\ln P_o]^i}{i!}. \quad (7)$$

Здесь выражение для кратности резервирования  $m$  получить в явном виде нельзя.

В настоящее время одним из эффективных методов обеспечения надёжности является метод активного резервирования с перестраиваемым восстанавливающим элементом (ВЭ) способном обеспечить непрерывность работы системы при возникновении неисправностей в резервируемых блоках. Это необходимо для обеспечения требуемой эксплуатационной надёжности СС ответственного применения.

Другая не менее важная задача - обеспечение надёжности СС с использованием выбранного метода активного резервирования с ВЭ - также является проблематичной. Выигрыш в надёжности при применении того или иного метода активного резервирования с ВЭ всегда

сопровождается ухудшением ряда других характеристик системы, таких как масса, габариты, потребляемая мощность, стоимость. Для систем с различным функциональным составом и характером функционирования возникают проблемы выбора оптимального состава средств восстановления. Поэтому важно решение этой задачи с учетом минимизации структурной избыточности. При этом необходимо решать эти задачи с учетом использования современных комплектующих элементов и новых подходов в технологии испытаний.

Применение программного обеспечения (ПО) в сложных системах требует изучения вопроса повышения его надежности. Каждая ошибка в ПО, применяемом в системах важных для безопасности опасных производственных объектов (таких как система внутриреакторного контроля, система контроля и управления, автоматизированная система контроля радиационной обстановки), может привести к серьезным последствиям и даже аварийным ситуациям. При увеличении сложности и все более широкое распространение программных систем, сжатость сроков разработки, ограниченность в людских и финансовых ресурсах часто не позволяет достичь требуемых показателей надежности ПО. Основная причина ошибок в ПО – сложность. Для борьбы со сложностью выделяются две концепции:

- независимость;
- иерархическая структура.

Необходимо выработать рекомендации по созданию надежного ПО, прогнозированию характеристик ПО в условиях ограниченных ресурсов и достижению требуемых показателей надежности ПО.

В этом плане целесообразно выделить следующие способы обеспечения и повышения надежности ПО:

- усовершенствование технологии программирования;
- выбор алгоритмов, не чувствительных к различного рода нарушениям вычислительного процесса (использование алгоритмической избыточности);
- резервирование программ;
- верификация и валидация программ с последующей коррекцией.

### **Выводы**

- Рассмотрен системный подход к обеспечению надёжности.
- Приведены основные принципы современной методологии обеспечения надёжности сложных систем на всех этапах жизненного цикла.
- Отмечено перспективность использования метода активного резервирования с перестраиваемым восстанавливающим элементом в задачах обеспечения надёжности.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Тимошенко С. П. Основы теории надёжности / С. П. Тимошенко, Б. Н. Симонов, В.Н. Горошко. – М.: Издательство Юрайт, 2015. – 445с.
2. Лазуков В.Л. Способы обеспечения надёжности технических систем // Фундаментальные исследования. – 2009. – № 1 – стр. 33-33
3. Месарович М., Мако Д., Такахара И Теория иерархических многоуровневых систем: Пер. с англ. – М.: Мир, 1973. — 344 с.
4. Непомнящий В.М., Рякин О.М. Прикладные методы верификации программ. - М.: Радио и связь, 1988.-256 с.
5. Атлас Д., Миллер Г., Новак М. Практическое руководство по экстремальному программированию. - М.: Вильямс, 2002. - 318 с.
6. Гэйн К, Сарсон Т. Структурный системный анализ: средства и методы. - М: ЭЙТЕКС, 1993. - ч. 1 и т. 2 -188 с. и 214 с.
7. Бек К. Экстремальное программирование. - М.: Питер, 2002. - 220 с
8. Пальчун Б.П., Юсупов Р.М. Оценка надёжности программного обеспечения. - СПб: Наука, 1994. - 84 с.
9. Смагин В.А. Метод оценивания и обеспечения надёжности сложных программных комплексов. УДК 681.3.06 - <http://www.bezpeka.com/library/sci/smaginl.html>. 2000.
10. Штрик А.А., Осовецкий Л.Г., Мессих И.Г. Структурное проектирование надёжных программ встроенных ЭВМ. - Л. Машиностроение, 1989. - 296 с.

Л.М. Божуха

## ПРО СИСТЕМУ ПЕРЕВАГ ЛІНГВІСТИЧНОГО КЛАСИФІКАТОРА

*Анотація. У роботі представлені результати побудови найпростішої комплексної оцінки на основі трапецієвидного числа лінгвістичного класифікатора з використанням показника Херста для виявлення трендовості показників. Використання запропонованої модифікації методу може розширити область якісних критеріїв оцінки з лінгвістичним класифікатором при аналізі кількісних характеристик.*

*Ключові слова: лінгвістичний класифікатор, стандартний 01-класифікатор, функція належності, показник Херста*

### Постановка проблеми

Для аналізу роботи будь-якої системи можна використовувати математичний апарат на основі вибірки статистичних даних системи. На систему впливає цілий ряд взаємопов'язаних між собою причин, які можна об'єднати за групами. Зв'язок між цими групами може бути дуже суттєвим і тому завжди виникає складність у побудові комплексної математичної моделі системи.

Аналіз кількісних характеристик кожного параметра у причинних групах може бути показаний на побудованій інтерполяційній функції або при використанні математичного апарату планування експерименту. Отримані таким чином критерії є локальними для кожної з груп та не є корисними для систем з іншим набором кількісних характеристик. У більшій мірі математична модель, яка побудована тільки на основі статистичних даних, показує необхідні результати тільки при використанні великого обсягу цих даних. Як правило такі моделі можуть бути багатовимірними, але кількість параметрів, які аналізуються, тільки ускладнюють математичні перетворення і іноді не враховуються зв'язки між факторами.

Багато причинних груп можуть не мати кількісних характеристик, або мати дуже велику їх кількість з невизначеними пороговими значеннями. При оцінюванні цих слабо вимірюваних факторів використовують штучні прийоми. Проблемаю цього підходу є створення

для аналітика або експерта методики виставлення відповідних балів по критерію з термінологією нечітких виражених степенів: «дуже низька», «низька», «середня», «висока», «дуже висока». Проблемою побудови таких критеріїв по якісним характеристикам є існування набору показників неупорядкованих факторів одного рівня ієрархії.

### Постановка задачі

Проблематикою роботи є співставлення лінгвістичного опису з кількісними характеристиками факторів. При побудові комплексної оцінки [1] проаналізувати кількісні характеристики факторів, відношення між факторами у структурі ієрархії цих факторів.

Метою даної роботи є представлення модифікації схеми агрегування даних на одному рівні ієрархії при аналізі довільної системи з зафіксованим набором її показників.

### Основна частина

Нехай моделлю математична модель:

$$FSM = \langle G, L, S \rangle. \quad (1)$$

де  $G$  - деревоподібна ієрархія факторів.

Набір якісних оцінок рівнів кожного фактору в ієрархії  $G$  має вигляд:

$$L = \left\{ \begin{array}{l} \text{дуже низький рівень (ДН)} \\ \text{низький рівень (Н)} \\ \text{середній рівень (С)} \\ \text{високий рівень (В)} \\ \text{дуже високий рівень (ДВ)} \end{array} \right\}. \quad (2)$$

Система переваг одних факторів іншим для одного рівня ієрархії факторів:

$$S = \left\{ F_{k,i} \Re F_{k,j} \mid \Re = \left\{ \begin{array}{l} > \text{відношення переваги,} \\ \approx \text{відношення рівноваги} \end{array} \right\} \right\} \quad (3)$$

Деревоподібна ієрархія факторів  $G$  може бути описана орієнтованим графом без циклів, петель, горизонтальних ребер у межах одного рівня ранжування, який містить одну кореневу вершину:

$$G = \langle F, V \rangle, \quad (4)$$

де  $F = \{ F_i \}$  - множина вершин факторів,  $V = \{ V_i \}$  - множина дуг.

Вершину, яка відповідає фактору у цілому позначимо  $F$ .

Необхідно вибрати ряд окремих показників, про які можна сказати, що вони якнайкраще характеризують окремі сторони і при

цьому утворюють якусь закінчену сукупність, що дає вичерпне уявлення в цілому. Вибір системи показників для аналізу може бути індивідуальним для кожної системи. Значимість тих чи інших показників для оцінки системи різна і тому, перед експертом постає важке завдання відбору і ранжирування чинників аналізу. Показники, які класифіковані за групами, можуть утворювати ієрархію, але в найпростішому випадку вони просто складають неупорядкований набір.

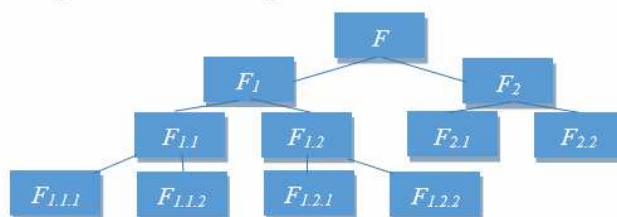


Рисунок 1 - Деревовидна ієрархія

Розглянемо деревовидну ієрархію  $F$ , яка залежить від двох основних груп існування критеріїв аналізу  $F_1, F_2$ . Дерево можна розширити, якщо додавати до графу  $G$  нові вузли. На ієрархії критеріїв (рис. 1) можна обрати систему відношень переваг на основі експертної оцінки груп факторів. На нашій схемі ця система є початковою і на даному етапі моделювання не є експертною. Припустимо, що всі фактори рівнів ієрархії (рис. 1) знаходяться у відношенні рівноваги:

$$S = \left\{ \begin{array}{l} F_1 \approx F_2, F_{1.1} \approx F_{1.2}, F_{2.1} \approx F_{2.2}, \\ F_{1.1.1} \approx F_{1.1.2}, F_{1.2.1} \approx F_{1.2.2} \end{array} \right\}. \quad (5)$$

Сформуємо лінгвістичну змінну «Рівень фактору» з термножиною значень  $L$ . Алгоритм побудови змінної агрегування даних проходить за напрямом дуг графа ієрархії при застосуванні OWA-оператора Ягера [2] з вагами у згортці у вигляді коефіцієнтів Фішберна і кожному рівню відповідає функція належності.

Припустимо, що лінгвістичні оцінки рівнів факторів не є експертними, не відомі їх характеристики і вони відповідають набору якісних оцінок  $L$ :

$$\{F_{1.1.1}(C), F_{1.1.2}(C), F_{1.2.1}(C), F_{1.2.2}(C), F_{2.1}(C), F_{2.2}(C)\}. \quad (6)$$

Для запису якісних характеристик параметру рівня надалі використовується стандартний кількісний вигляд у вигляді відповідної функції належності. Функція належності  $\mu^*(x)$  представляється стандартним п'ятирівневим 01-класифікатором. Функції належності

$\mu^*(x)$  – трапецієвидні трикутні числа  $(a_1^*, a_2^*, a_3^*, a_4^*)$ , де  $a_i^*$  - абсциси вершин трапеції.

Отже, для подальшої побудови алгоритму у якості функції належності обираємо стандартну функцію у вигляді:

$$\mu^*(x) = \begin{cases} ДН : & \mu_1(x) = (-0.05, 0.05, 0.15, 0.25) \\ H : & \mu_2(x) = (0.15, 0.25, 0.35, 0.45) \\ C : & \mu_3(x) = (0.35, 0.45, 0.55, 0.65) \\ B : & \mu_4(x) = (0.55, 0.65, 0.75, 0.85) \\ ДВ : & \mu_5(x) = (0.75, 0.85, 0.95, 1.05) \end{cases} \quad (7)$$

За кожним показником  $F^* = (F_1^*, F_2^*, \dots, F_i^*)$  на обраному підрівні графу  $G$  відомі лінгвістичні оцінки  $L^* = (L_1^*, L_2^*, \dots, L_i^*)$  та визначена вагова система Фішберна  $P^* = (p_1^*, p_2^*, \dots, p_i^*)$ . Показник підрівня  $F^*$  характеризується своєю лінгвістичною оцінкою, яка визначається функцією належності на 01-носії  $x \in [0; 1]$  за допомогою ОWA-оператора Ягера:

$$\begin{aligned} \mu^*(x) &= \sum_{k=1}^i p_k^* * \mu_k^*(x) = \sum_{k=1}^i p_k^* * (a_{k1}^*, a_{k2}^*, a_{k3}^*, a_{k4}^*) = \\ &= \left( \sum_{k=1}^i p_k^* * a_{k1}^*, \sum_{k=1}^i p_k^* * a_{k2}^*, \sum_{k=1}^i p_k^* * a_{k3}^*, \sum_{k=1}^i p_k^* * a_{k4}^* \right), \end{aligned} \quad (8)$$

де  $\mu_k^*(x)$  визначені формулами (7).

Проводячи обчислення послідовно знизу догори по усім рівням ієрархії  $G$ , застосовуючи співвідношення (7), (8) і доведені у роботі [1] результати лінгвістичного розпізнавання показника верхнього рівня ієрархії, отримуємо функцію належності фактору  $F$  та його інтерпретацію:  $\mu_1(x)$ -ДН-Дуже низький;  $\mu_2(x)$ -Н-Низький;  $\mu_3(x)$ -С-Середній;  $\mu_4(x)$ -В-Високий;  $\mu_5(x)$ -ДВ-Дуже високий.

Критерій для побудованої моделі, яка представлена графом  $G$  (рис. 1) з системою переваг (5) та лінгвістичними оцінками факторів (6) на рівні  $F$  має вигляд  $F_1 \approx F_2$  і  $p_1 = 1/2$ ,  $p_2 = 1/2$ . Функція належності цього рівня може бути записана у вигляді:  $\mu^*(x) = (0.35 \ 0.45 \ 0.55 \ 0.65)$ .

Для того, щоб визначити рівень кожного з отриманих факторів, необхідно визначити ступінь схожості трапецієвидного числа  $(a_1^*, a_2^*, a_3^*, a_4^*)$  відповідного рівня і стандартного трапецієвидного числа  $(b_1^*, b_2^*, b_3^*, b_4^*)$  вигляду (7) за допомогою міри розпізнавання рівня (різновидність міри Хемінга):

$0 \leq \nu = 1 - \max \{ |a_1^* - b_1^*|, |a_2^* - b_2^*|, |a_3^* - b_3^*|, |a_4^* - b_4^*| \} \leq 1$ . Рівень фактору  $F$  відповідає лінгвістичній змінній «Середній (С)» при  $\nu = 1 - \max \{ 0, 0, 0, 0 \} = 1 \leq 1$ .

Отже, при порівнянні отриманої функції належності і ступені оцінки критерія маємо, що при побудованій залежності критеріїв ступінь критерія є «Середнім».

Одним з інструментів дослідження показників системи є математичний апарат теорії ймовірностей, яка працює з випадковими явищами та рядами. Багато стохастичних процесів в природі та техніці володіють довгостроковою залежністю та фрактальною структурою. Найбільш адекватним математичним апаратом для дослідження динаміки та структури рядів є фрактальний аналіз, який враховує поведінку системи в період вимірювань та її попередню історію.

Параметр Херста  $H$  представляє собою міру самоподібності або міру тривалої залежності стохастичного процесу. Значення  $H = 0.5$  показує на випадковий ряд та на відсутність довготривалої залежності. Чим ближче  $H$  до 1, тим вище ступінь стійкості довготривалої залежності. Для оцінки показника Херста існує багато методів, які володіють декотрими недоліками. Порівняльний аналіз статистичних властивостей оцінок показника Херста [3] показав, що збільшення точності оцінки  $H$  необхідно використовувати середнє арифметичне виправлених незміщених оцінок, які отримані декількома методами, один з яких бажано обрати метод вейвлет-перетворення. Для визначеності надалі використовуємо R/S-аналіз (метод нормованого розмаху):

$$H = \frac{\ln(R/S)}{\ln(a\tau)}, \quad (9)$$

де  $R = \max_{1 \leq t \leq \tau} (x^{cum}(t, \tau)) - \min_{1 \leq t \leq \tau} (x^{cum}(t, \tau))$  - розмах кумулятивного ряду

$$x^{cum}(t, \tau) = \sum_{i=1}^t (x(t) - \bar{x}(\tau)), \quad \bar{x}(\tau) = \frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^{\tau} x(t);$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{\tau-1} \sum_{i=1}^{\tau} (x(t) - \bar{x}(\tau))^2} - \text{середньоквадратичне відхилення ряду};$$

$a$  - деяке додатне сталe число;

$\tau$  - кількість періодів спостережень.

При значеннях  $0,5 < H < 1$  у часового ряду трендовість поведінки і ряд буде зберігати тенденцію росту(спаду) такий же час у майбутньому. Діапазон  $0 < H < 0,5$  відповідає антиперсистентним рядам. Модифікована система переваг одних факторів іншим для одного рівня ієрархії факторів базується на порівнянні міри самоподібності стохастичного процесу:

$$S = \left\{ F_{k,i} \Re F_{k,j} \mid \Re = \left\{ \begin{array}{l} > \text{відношення переваги, } H_{k,i} > H_{k,j} \\ \approx \text{відношення рівноваги, } H_{k,i} = H_{k,j} \end{array} \right\} \right\}. \quad (10)$$

Отже, всі фактори рівнів ієрархії (рис. 1) можуть знаходитися у відношенні:

$$S = \left\{ \begin{array}{l} F_1 < F_2, F_{1,1} > F_{1,2}, F_{2,1} < F_{2,2}, \\ F_{1,1,1} < F_{1,1,2}, F_{1,2,1} > F_{1,2,2} \end{array} \right\}. \quad (11)$$

На рівні  $F$  побудови критерію  $F_1 < F_2$  і  $p_1 = 1/3$ ,  $p_2 = 2/3$ . Функція належності цього рівня не зміниться в порівнянні з функцією належності в умовах (5) і (6):  $\mu^*(x) = (0.35 \ 0.45 \ 0.55 \ 0.65)$ . При побудованій залежності критеріїв ступінь критерія  $F \in$  «Середнім».

Отже, в лінгвістичному класифікаторі показник Херста для аналізу відношень факторів одного рівня ієрархії (10) з визначеною ваговою системою Фішберна  $P^* = (p_1^*, p_2^*, \dots, p_i^*)$ . не впливає на побудову функції належності критерія найвищого рівня.

Існує декілька варіацій фрактальної розмірності [4]. Для визначення рівнів класифікатора використовується розмірність  $A = 1/H$  простору ймовірностей для оцінки товщини хвостів в функції щільності ймовірності (по Мандельброту). Якісні оцінки кожного фактору в ієрархії отримані на заданій множині значень показника Херста  $H \in \{1, 2/3, 1/2, 2/5, 1/3\}$ . Співвідношення (2), яке характеризує якісні оцінки кожного фактору в ієрархії  $G$ , визначимо так:

$$L = \left\{ \begin{array}{l} \text{дуже низький рівень (ДН)}, \quad 0 < H < 1/3 \\ \text{низький рівень (Н)}, \quad 1/3 < H < 2/5 \\ \text{середній рівень (С)}, \quad 2/5 < H < 1/2 \\ \text{високий рівень (В)}, \quad 1/2 < H < 2/3 \\ \text{дуже високий рівень (ДВ)}, \quad 2/3 < H \end{array} \right\}. \quad (12)$$

Співвідношення (6) для розрахункової моделі виглядає так:

$$\{F_{1.1.1}(C), F_{1.1.2}(B), F_{1.2.1}(C), F_{1.2.2}(C), F_{2.1}(C), F_{2.2}(B)\}. \quad (13)$$

На рівні  $F$  побудови критерію при системі переваг (11) функція належності може бути записана у вигляді:  $\mu^*(x) = (0.47 \ 0.57 \ 0.67 \ 0.77)$ . Рівень фактору  $F$  відповідає лінгвістичній змінній «Високий (В)» при  $\nu = 1 - \max\{0.08, 0.08, 0.08, 0.08\} = 0.92 \leq 1$ .

Отже, при порівнянні отриманої функції належності і ступені оцінки критерія маємо, що при побудованій залежності критеріїв ступінь критерія є «Високим».

### Висновки

Побудована найпростіша комплексна оцінка на основі трапецієвидного числа лінгвістичного класифікатора з використанням показника Херста для виявлення трендовості показників.

Проаналізований алгоритм побудови критерію з врахуванням кількісних характеристик системи для формування початкових умов на кожному з етапів постановки задачі. Алгоритм не дає відповіді на питання про коректність експертної оцінки факторів побудованої ієрархії, про зв'язки між рівнями.

Використання кількісних характеристик ряду з маленькою вибіркою для побудови класифікатора може бути якісною заміною при переході від відношень рівноваги до відношень переваг. Показник Херста є кількісною характеристикою при побудові лінгвістичного класифікатора для аналізу відношень факторів одного рівня ієрархії. Досліджено, що визначена в роботі вагова система Фішберна  $P^* = (p_1^*, p_2^*, \dots, p_i^*)$  не впливає на побудову функції належності критерія найвищого рівня.

Використання запропонованої модифікації методу може розширити область існування критеріїв комплексної оцінки з лінгвісти-

чним класифікатором при використанні кількісних характеристик показників.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Недосекин А. О. Комплексная оценка риска банкротства корпорации на основе нечетких описаний. — На сайте: <http://sedok.narod.ru>.
2. Yager R. Families of OWA operators // Fuzzy Sets and Systems, 59. 1993.
3. Кириченко Л.О. Сравнительный анализ статических свойств оценки показателя Херста. - Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ", 2010. – № 21. – с. 88-95
4. Эрик Найман. Расчет показателя Херста с целью выявления трендовости (персистентности) финансовых рынков [Электронный ресурс]: (Статья). // Э. Найман. 2010. – Режим доступа: [http://www.capital-times.com.ua/index.php?option=com\\_content&task=view&id=11623&Itemid=88888963](http://www.capital-times.com.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=11623&Itemid=88888963)

И.Э. Зинькевич, Л.О. Кириченко, Т.А.Радивилова  
**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ  
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СЛАБО КОРРЕЛИРОВАННЫХ  
ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ**

*Аннотация. В работе рассмотрено прогнозирование слабо коррелированных временных рядов методами экспоненциального сглаживания, нейронной сети и дерева решений на примере данных реального интернет-магазина. Рассмотрены преимущества и недостатки каждого метода.*

*Ключевые слова: временной ряд, прогнозирование, экспоненциальное сглаживание, дерево принятия решений, сети долго-краткосрочной памяти.*

**Введение и цель**

В современном мире, часто возникает потребность в анализе и предсказании временных рядов (ВР). ВР являются распространенной и важной формой описания данных, так как позволяют наблюдать всю историю изменения интересующего нас значения. Это даёт нам возможность судить о «типичном» поведении величины и об отклонениях от такого поведения. Одной из сложной и интересной областей анализа ВР область электронной коммерции.

Электронная коммерция находится в постоянном развитии, чему способствуют новые технологии, услуги и тактические инструменты [1]. Чтобы «выжить» и выделиться среди множества интернет-магазинов, важно понимать поведение пользователя с момента первого прихода на сайт: отслеживать его перемещения, знать, какие продукты он посмотрел, положил в корзину, где кликал, что видел, в какой момент ушел, как и когда возвращался. В этом поможет веб-аналитика, которая подразумевает постоянный сбор, анализ и интерпретацию данных о посетителях, работу с основными метриками.

Качественная аналитика интернет магазина всегда начинается пути посетителя, который он прошел перед совершением покупки. Опишем условный путь пользователя, который пришел из соцсети:

посещение страницы; посетитель обращает внимание на пост; кликает на него; переходит на целевую страницу, на которую ведет ссылка из поста; изучает характеристики продукта; изучает способы оплаты и доставки; добавляет продукт в «Корзину»; оформляет заказ; совершает покупку.

На каждом из этапов пользователь может остановиться и закончить процесс, не совершив покупку. Процент конверсии высчитывается как отношение всех посетителей к количеству покупателей. Например, если сайт посетило 100 человек, но купило — 2, то конверсия равняется 2%. Данное измерение является основным в веб-аналитике всех коммерческих сайтов. Увеличение процента зависит от множества факторов: от дизайна страницы до ее функционала. Мониторинг конверсии позволяет вовремя понять, что электронный магазин нужно усовершенствовать.

Анализ и прогнозирование ВР дневных значений процента конверсии играет важнейшее значение для оптимизация эффективности онлайн-бизнеса. Однако, надо отметить, что практически все из классических методов анализа ВР базируются на вычислении корреляции между значениями ВР [2]. В случае слабо коррелируемых ВР, а также в случае, когда ВР имеет разряженную нулевыми значениями структуру, что характерно для многих сайтов электронных продаж, эти методы не подходят или имеют большую погрешность.

Широкое распространение для решения задач прогнозирования в последнее время получил нейросетевой подход. Нейронные сети позволяют моделировать сложные зависимости между данными в результате обучения на примерах. Однако прогнозирование ВР с помощью нейронных сетей имеет свои недостатки. Во-первых, для обучения нейронных сетей требуется ВР большой длины. Во-вторых, результат существенно зависит от выбора архитектуры сети, а также входных и выходных данных. В-третьих, нейронные сети требуют предварительной подготовки данных, или препроцессинга. Препроцессинг является одним из ключевых элементов прогнозирования: качество прогноза нейросети может решающим образом зависеть от того, в каком виде представлена информация для ее обучения. Общей целью препроцессинга является повышение информативности входов и выходов. Обзор методов выбора входных переменных и препроцессинга содержится в [3, 4].

В последнее время для анализа закономерностей временного ряда все чаще стали применяться методы Data Mining и машинного обучения [5], предназначенные для обнаружения различных шаблонов во временном ряде. При этом особую ценность в обнаружении таких шаблонов имеют логические методы. Эти методы позволяют находить логические if-then правила. Они пригодны для анализа и прогнозирования как числовых, так и символьных последовательностей, и их результаты имеют прозрачную интерпретацию.

Целью представленной работы является проведение сравнительного анализа прогнозирования ВР, на базе классических методов прогнозирования и методов машинного обучения на примере данных реального интернет-магазина.

### Методы исследования

Электронная коммерция находится в постоянном развитии, чему способствуют новые технологии, услуги и тактические инструменты. Регулярно изменяются поставщики, диапазон покупателей, спектр товаров, что приводит к быстрому устареванию информации. Поэтому методы, которые требуют достаточно больших массивов ВР, такие как, например, модели авторегрессии и скользящего среднего, работают плохо.

**Методы экспоненциального сглаживания.** В основу экспоненциального сглаживания (ЭС) заложена идея постоянного пересмотра прогнозных значений по мере поступления фактических. Модель ЭС присваивает экспоненциально убывающие веса наблюдениям по мере их старения. Таким образом, последние доступные наблюдения имеют большее влияние на прогнозное значение, чем старшие наблюдения.

Модель ЭС имеет вид

$$Z(t) = S(t) + \varepsilon_t, \quad (1)$$

$$S(t) = \alpha \cdot Z(t-1) + (1 - \alpha) \cdot S(t-1),$$

где  $\alpha$  – коэффициент сглаживания;  $0 < \alpha < 1$ ;  $Z(t)$  – прогнозируемый ВР;  $S(t)$  – сглаженный ВР; начальные условия определяются как  $S(1) = Z(0)$ . В данной модели каждое последующее сглаженное значение  $S(t)$  является взвешенным средним между предыдущим значе-

нием временного ряда  $Z(t)$  и предыдущего сглаженного значения  $S(t-1)$ .

**Методы машинного обучения** – чрезвычайно широкая и динамически развивающаяся область исследований, использующая огромное число теоретических и практических методов. Одним из методов машинного обучения является метод дерева принятия решений. Дерево принятия решений – средство поддержки принятия решений, использующееся в статистике и анализе данных для прогнозных моделей. Структура дерева представляет собой «листья» и «ветки». На ребрах («ветках») дерева решения записаны атрибуты, от которых зависит целевая функция, в «листьях» записаны значения целевой функции, а в остальных узлах — атрибуты, по которым различаются случаи. Чтобы классифицировать новый случай, надо спуститься по дереву до листа и выдать соответствующее значение. Подобные деревья решений широко используются в интеллектуальном анализе данных. Цель состоит в том, чтобы создать модель, которая предсказывает значение целевой переменной на основе нескольких переменных на входе.

Каждый лист представляет собой значение целевой переменной, измененной в ходе движения от корня по листу. Каждый внутренний узел соответствует одной из входных переменных. Дерево может быть также «изучено» разделением исходных наборов переменных на подмножества, основанные на тестировании значений атрибутов. Это процесс, который повторяется на каждом из полученных подмножеств. Рекурсия завершается тогда, когда подмножество в узле имеет те же значения целевой переменной, таким образом, оно не добавляет ценности для предсказаний. В интеллектуальном анализе данных, деревья решений могут быть использованы в качестве математических и вычислительных методов, чтобы помочь описать, классифицировать и обобщить набор данных, которые могут быть записаны следующим образом:  $(x, Y) = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_k, Y)$ . Зависимая переменная  $Y$  является целевой переменной, которую необходимо проанализировать, классифицировать и обобщить. Вектор  $x$  состоит из входных переменных  $x_1, x_2, x_3$  и т. д., которые используются для выполнения этой задачи [5].

**Сети долго-краткосрочной памяти** (Long Short Term Memory, LSTM) – особый вид рекуррентных нейронных сетей, способных к обучению долгосрочным зависимостям. Они были предложены Хохрейтером и Шмидхубером и доработаны и популяризованы другими в последующей работе. Они работают невероятно хорошо на большом разнообразии проблем и в данный момент широко применяются [3, 4].

LSTM специально спроектированы таким образом, чтобы избежать проблемы долгосрочных зависимостей. Запоминать информацию на длительный период времени - это практически их поведение по умолчанию, а не что-то такое, что они только пытаются сделать. Все рекуррентные нейронные сети имеют форму цепи повторяющих модулей (repeating module) нейронной сети. В стандартной рекуррентные нейронные сети эти повторяющие модули будут иметь очень простую структуру.

**Ошибки прогноза.** Для получения количественных характеристик сравнительного анализа моделей были выбраны следующие характеристики ошибок прогноза. Среднее абсолютное отклонение (Mean Absolute Derivation, MAD) измеряет точность прогноза, усредняя величины ошибок прогноза. Использование MAD наиболее полезно в тех случаях, когда аналитику необходимо измерить ошибку прогноза в тех же единицах, что и исходный ряд. Эту ошибку вычисляют следующим образом:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| X(t) - \hat{X}(t) \right|.$$

Среднеквадратическая ошибка (Mean Squared Error, MSE) – это другой способ оценки метода прогнозирования. Поскольку каждое значение отклонения возводится в квадрат, то этот метод подчеркивает большие ошибки прогноза. Ошибка MSE вычисляется следующим образом:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X(t) - \hat{X}(t))^2.$$

Средняя абсолютная ошибка в процентах (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) вычисляется путем отыскания абсолютной ошибки в каждый момент времени и деление ее на действительное наблюдаемое значение с последующим усреднением полученных абсолютных процентных ошибок. Этот подход полезен в том случае, когда

размер или значение прогнозируемой величины важны в оценке точности прогноза. MAPE подчеркивает насколько велики ошибки прогноза в сравнении с действительными значениями ряда. Данная ошибка вычисляется следующим образом:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|X(t) - \hat{X}(t)|}{X(t)}.$$

### Входные данные

Входными данными в работе служили ежедневные данные сайта онлайн продаж, которые включали в себя количество кликов на сайт из социальных сетей, количество покупок и соответствующий коэффициент конверсии. Кроме этого имелась информация, какой язык использовал покупатель, из какой страны был сделан заказ и другие сведения.

На рис.1 представлены типичные ВР кликов, заказов и процентов конверсии. Ряды заказов и, соответственно конверсии, характеризуются нулевыми значениями, что значительно усложняет прогнозирование на следующий день. Корреляционная функция для ряда конверсии приведена на рис.1 справа. Очевидно практически полное отсутствие корреляции между значениями ВР.

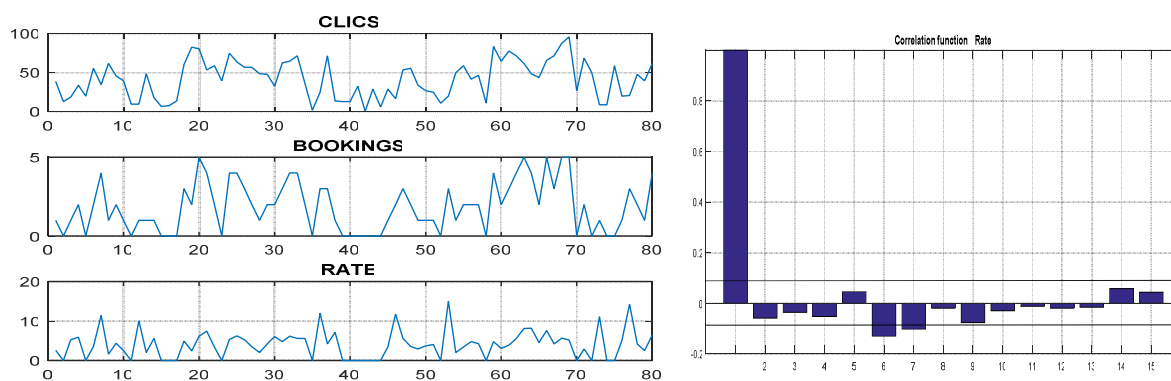


Рисунок 1 – Временные ряды кликов, заказов и процентов конверсии (слева); корреляционная функция для ряда процентов конверсии (справа)

### Результаты исследования

Для построения моделей и нейронной сети использовался язык Python с библиотеками, реализующими методы машинного обучения. Для проведения прогнозирования ВР были разделены на две части, где первая использовалась для обучения модели, а вторая – для

оценки ее правдоподобности. Обучение моделей проводилось по  $S$  последним значениям ( $S$  было выбрано равным 20). Проверка моделей на прогнозирования  $m$  значений проводилась следующим образом: возьмем 20 последних значений первого ряда и сделаем прогноз на одно значений вперед, далее возьмем сдвинем наше окно на одно значение вперед, включив в окно прогноз для нового значения, и сделаем прогноз на одно значение вперед еще раз, и так  $m$  раз. На рис. 2 представлены результаты прогнозов каждой модели на 7 значений вперед. Сплошной линией показаны реальные значения, линия 1 – значения, полученные методом экспоненциального сглаживания, 2 – на основе дерева решений, 3 – с помощью нейронной сети.

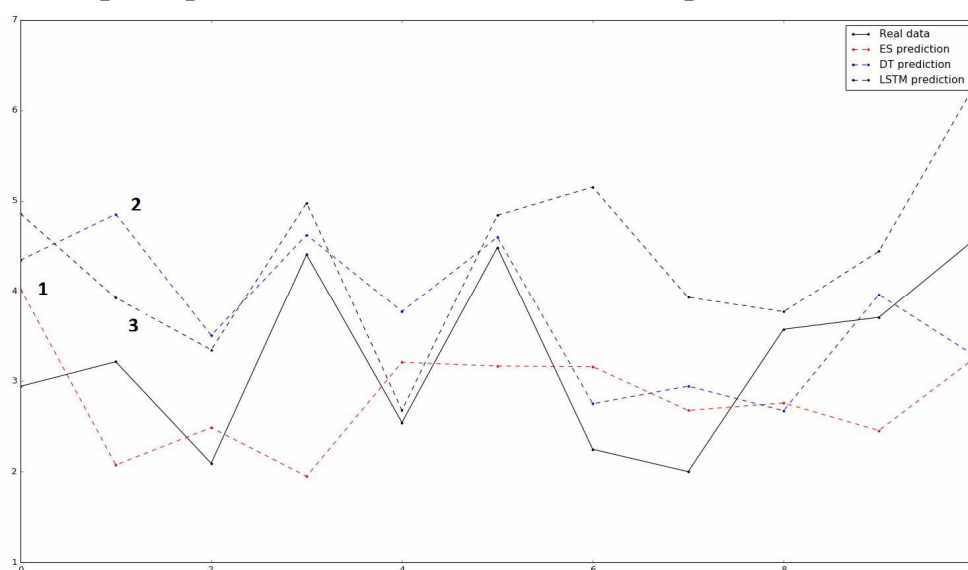


Рисунок 2 – Прогнозные значения для разных моделей

Были рассчитаны прогнозные значения для  $S = 20$  и  $m=1$  (такой выбор параметров определяется требованиями интернет-магазина) по 100 значениям ряда для множества ВР процента конверсии. Результаты вычислений, характерные для большинства рядов, приведены в таблице 1.

Таблица 1

#### Погрешности методов

| Метод       | Экспоненциальное<br>сглаживание | Дерево<br>решений | Нейронная сеть |
|-------------|---------------------------------|-------------------|----------------|
| <i>MAD</i>  | 0.013751                        | 0.014218          | 0.002645       |
| <i>MSE</i>  | 0.000369                        | 0.000353          | 0.000012       |
| <i>MAPE</i> | 0.491                           | 0.513             | 0.072          |

В результате анализа прогнозов разных значений  $S$  и  $m$  было установлено, что метод экспоненциального сглаживания, не смотря на свою простоту и не требовательность в количестве данных, по которым будет построен прогноз, имеет в большинстве случаев наименьшие погрешности прогнозируемых значений, но в то же время, некоторые прогнозные значения значительно удалены от реальных. Метод дерева решений показал себя неудобным в выборе параметров и имеющим погрешности, сопоставимые с ошибками экспоненциального сглаживания, но без сильно удаленных прогнозных значений. Нейронная сеть LSTM, которая имеет более сложную структуру и её необходимо предварительно обучить на достаточно большом временном ряде, показала отличные результаты, как и в общей погрешности прогнозов, так и в удаленности прогнозов от реальных значений временного ряда.

### Выводы

Результаты исследования методов прогнозирования слабо коррелированных временных рядов, типичных для рядов конверсии в электронной коммерции, показали, что экспоненциальное сглаживание является самым простым, быстрым и удобным в настройке методом прогнозирования, однако в случае сложных или долгосрочных зависимостей становится не применим. Метод дерева решений быстрый в обучении, не сложен для понимания, но неудобен в выборе параметров и плохо работает при обучении на данных, которые имеют много признаков. Нейронная сеть является громоздкой, долгой в обучении, требует множества параметров, которые нужно подбирать, но имеет очень хорошие показатели в прогнозировании и на порядок меньшие ошибки.

### ЛИТЕРАТУРА

1. [Электронный ресурс]:  
<http://lpgenerator.ru/blog/2015/07/02/kakoj-dolzha-byt-veb-analitika-internet-magazina>
2. Ханк Д. Бизнес-прогнозирование / Ханк Д. Изд. Дом «Вильямс», 2003. - 656 с.
3. Guyon I. An Introduction to Variable and Feature Selection. J. Guyon Isabelle, Elisseeff Andre / Of Machine Learning Research 2003. –С.1157-1182.
4. Ежов А.А Нейрокомпьютинг и его применения в экономике и бизнесе / Ежов А.А., Шумский С.А. –М., 1998. –С.216.
5. Вьюгин В.В. Математические основы теории машинного обучения и прогнозирования. / Вьюгин В.В.–М., 2013. –С.387.

Н.С. Прядко, Л.В. Музыка

## МЕТОДИКА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СТРУЙНЫМ ИЗМЕЛЬЧЕНИЕМ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

*В данной работе предложена система автоматического управления по критерию максимальной производительности, учитывающая особенности процесса. Для корректного управления процессом измельчения разработана модель измельчительной установки. Для описания процесса разгрузки материала из бункера при изменении площади его выходного отверстия была составлена модель бункера. Предложен оптимальный метод обработки акустических сигналов зоны измельчения средствами микроконтроллера. Разработанные модели позволят качественно улучшить управление процессом измельчения.*

*Ключевые слова: модель, система автоматического управления, объект управления, акустический мониторинг.*

**Введение.** В горнометаллургической, химической и других отраслях промышленности для помола рудных и нерудных полезных ископаемых применяется струйное измельчение. На сегодняшний день струйное измельчение является наиболее энергоемким видом измельчения. Поэтому повышение энергоэффективности данного процесса является актуальной задачей.

Вопросы выбора оптимального режима измельчения и управления процессом рассматривались давно [1-3]. Вопросам повышения эффективности работы измельчительных агрегатов посвящены труды многих советских и зарубежных авторов: С.Е. Андреева, Б.А. Арефьева, И.Г. Гривмава, Д.К. Крюкова, А.Н. Марюты, В.А. Олевского, В.А. Петрова, О.Н. Тихонова, А.Е. Тропа, Г.А. Хаца, С.Ф. Шинкоренко, Б.П. Яшина, Д. Ватсона, А. Линча и многих других. В частности, в [4] описано управление процессом измельчения на базе анализа расходно-напорных характеристик пневмотранспортной сети, давлению в камере измельчения. Однако в этих случаях время

запаздывания было слишком большим и максимум загрузки не удавалось удерживать.

Целью данной работы является синтез системы автоматического управления (САУ) струйной мельницы на основе экспериментальной модели объекта управления и результатов акустического мониторинга зоны измельчения.

Эффективность работы струйной измельчительной установки зависит от степени загрузки измельчительной камеры и замкнутой системы измельчения в целом. Для этого необходимо поддерживать оптимальный уровень заполнения помольной камеры. Зависимость производительности от степени заполнения носит экстремальный характер. Основной задачей САУ является поддержание загрузки в точке максимума производительности. Для поддержания работы системы в точке максимума необходимо управлять потоком исходного материала из бункера.

Рассмотрим работу струйной мельницы (рис. 1). Для подачи материала используется бункер (1) с центральным телом (4), соединенным с силовым приводом идвигающимся вдоль оси [5]. Силовой привод состоит из соленоида (5), ферромагнитного сердечника (12), пружины обратного хода (11) и силового преобразователя (10).

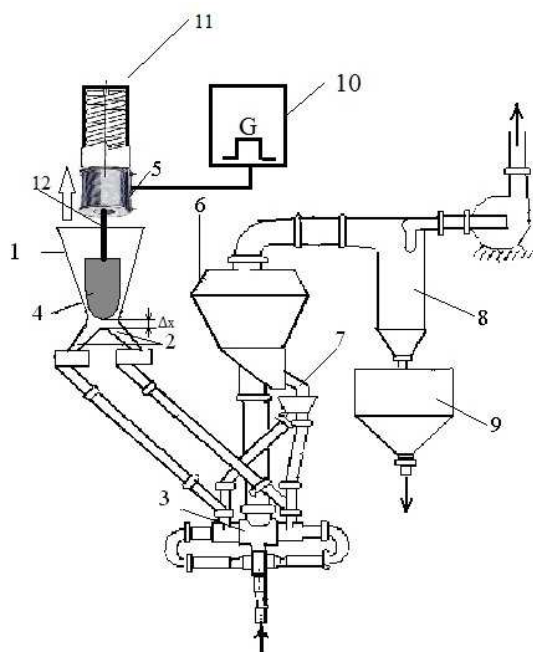


Рисунок 1 - Струйная измельчительная установка

Далее материал поступает в измельчительную камеру (3) по патрубкам (2). Из измельчительной камеры измельченный продукт

поступает в классификатор (6), после чего готовый продукт попадает в бункер разгрузки (9) через циклон (8), а недоизмельченные классы материала по патрубкам (7) возвращаются в измельчительную камеру (3). Степень заполнения измельчительной камеры определяется акустическим датчиком, который установлен в камере (3). Для корректного управления процессом измельчения необходимо представить измельчительную установку в виде модели.

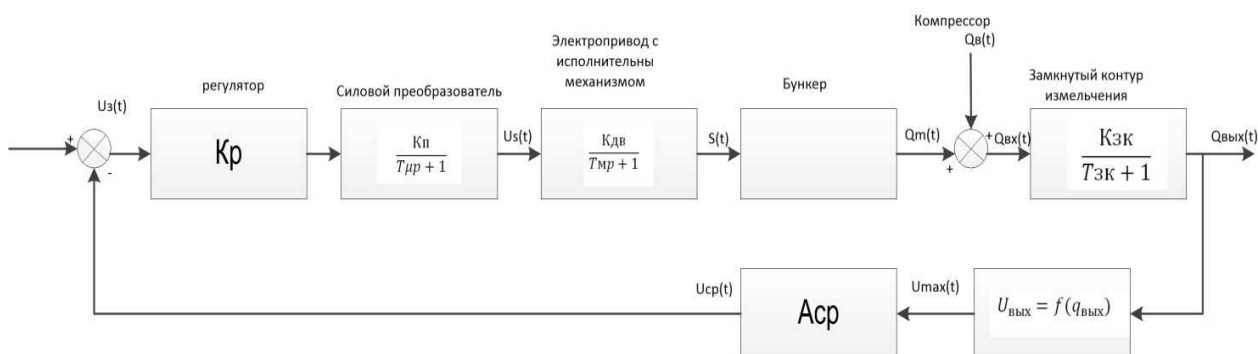


Рисунок 2 - Модель САУ струйной мельницы

Для реализации оптимизации по критерию максимальной производительности необходимо учитывать следующие особенности процесса:

- производительность мельницы в зависимости от концентрации материала при постоянном расходе энергоносителя имеет один экстремум;
- в качестве регулирующего параметра необходимо использовать изменение концентрации;
- основным возмущающим воздействием при измельчении являются физико-механические свойства материала;
- наличие запаздывания при прохождении исходного материала по каналам подачи.

Сигнал задания формируется экспериментально, исходя из типа, крупности исходного материала и готового продукта. Исследованиями, проведенными на измельчительной установке УСИ-20, установлены технологические и акустические параметры процесса (см. табл. 1) [6 - 10].

Параметры работы измельчительной установки

| $t$ , мин | $Q$ , кг/ч | $N \cdot 10^5$ , с <sup>-1</sup> | $A_{cp}$ , В |
|-----------|------------|----------------------------------|--------------|
| 0,1       | -          | 1,56                             | 2,0          |
| 2,0       | 9,15       | 0,96                             | 1,5          |
| 4,0       | 7,2        | 0,94                             | 0,46         |
| 6,0       | 3,0        | 0,46                             | 0,22         |
| 8,0       | 1,35       | 0,75                             | 0,2          |
| 10,0      | 0,6        | 0,18                             | 0,1          |

Связь амплитуды акустических сигналов зоны измельчения и производительности струйной мельницы описывается уравнением (1).

$$Q(t)_{\text{вых}} = 8,741 A_{\text{средн}}(t) + 0,074 \quad (1)$$

где:  $Q(t)_{\text{вых}}$  - выход продукта, кг/ч

Исследования показали, что оптимальный режим работы измельчительной установки достигается при уровне сигнала с акустического датчика  $A = 1.5$  В. Исходя из этого формируется сигнал задания на входе САУ.

Силовой преобразователь в данной системе служит для преобразования сигнала управления в питающее напряжение для соленоида. Данный преобразователь описывается в виде апериодического звена 1-ого порядка, где  $K_p$  (см. рис. 2.) зависит от номинального напряжения питания силового электропривода, а постоянная времени  $T_m$  - от быстродействия преобразователя. Электропривод также описывается апериодическим звеном 1-ого порядка.  $K_{dv}$  зависит от изменения площади выходного отверстия бункера при перемещении центрального тела. Постоянная времени  $T_m$  зависит от инерционности соленоида и исполнительного механизма.

Запишем уравнение выхода исходного материала из конусообразного бункера при изменении площади выходного отверстия.

$$Q(t)_{\text{вых}} = S(t) \lambda \sqrt{3,2g \frac{\pi R_2^2 - S(t)}{2\sqrt{\pi S(t)}}} \quad (2)$$

где  $\lambda$  - коэффициент истечения для сыпучих материалов 0,4-0,7;

$S$  - площадь выходного отверстия бункера;

$R_2$  - максимальный радиус бункера.

Представим (2) в следующем виде:

$$Q(t)_{\text{вых}} = S(t) \lambda \sqrt{\frac{K_1}{\sqrt{S(t)}} - K_2 \sqrt{S(t)}} \quad (3)$$

где  $K_1 = 1,6g\sqrt{\pi}R_2^2$ ,  $K_2 = \frac{1,6g}{\sqrt{\pi}}$ .

Для описания изменения выхода материала из бункера при изменении площади выходного отверстия бункера была составлена модель бункера (рис. 3) на основании уравнений (2-3)

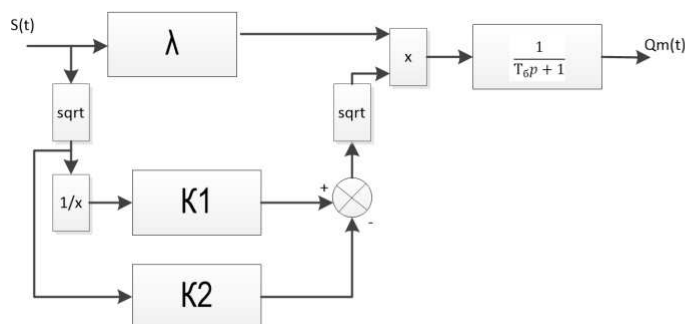


Рисунок 3 - Модель бункера загрузки

Так как камера измельчения (3) классификатор (6) и трубы обратной подачи (7) представляют собой замкнутую систему, то для упрощения описания используем апериодическое звено 1-ого порядка. Постоянная времени  $T_{зк}$  определяется экспериментально, временем которое прошло между подачей максимально возможной порции материала в камеру измельчения и полным завершением процесса измельчения. Из табл. 1 видно, что для полного завершения процесса измельчения необходимо 10 мин. Исходя из этого можно установить, что постоянная времени  $T_{зк}$  составляет 2 мин.

Для получения сигнала управления силовым приводом необходимо анализировать акустические сигналы зоны измельчения. Для выполнения анализа существует множество методик, но для реализации средствами микроконтроллера (МК) наиболее пригодный амплитудный анализ. Для осуществления акустического мониторинга в измельчительной камере устанавливается волновод, который соединен с пьезокерамическим датчиком. Датчик фиксирует столкновения измельчаемых частиц с волноводом и преобразует энергию столкновения в электрический сигнал. Так как сигнал имеет небольшую амплитуду, которая при обычном режиме работы составляет порядка  $A = 0,1$  В, то необходимо использовать прецизионный усилитель с широким диапазоном рабочих частот для преобразования сигнала (рис. 4) в сигнал задания на положение заслонки бункера.

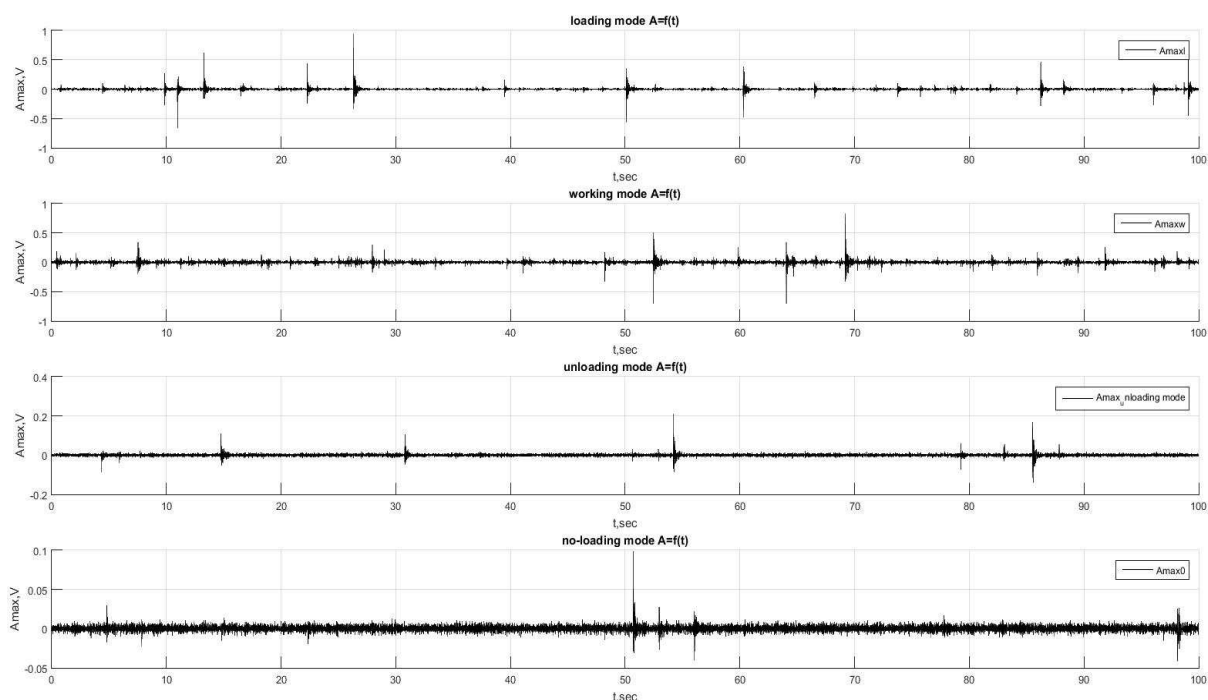


Рисунок 4 - Запись сигналов без усреднения из камеры измельчения при различных режимах работы измельчительной установки

Для этого сигнал поступает на АЦП (аналогово-цифровой преобразователь) МК. После этого фиксируется выборка сигнала, которая записывается в память контроллера. При этом длительность выборки определяется экспериментально. Управлять непосредственно по амплитудным величинам в данном случае невозможно, т.к. в сигнале с датчика заключены высокочастотные выбросы перенапряжений. Поэтому для минимизации влияния случайных величин находится среднее значение выборки, по которому формируется сигнал обратной связи для управления приводом заслонки бункера загрузки.

После применения усреднения по выборке (см. рис. 5.) установлено, что амплитуда выбросов по отношению к основному несущему сигналу уменьшилась.

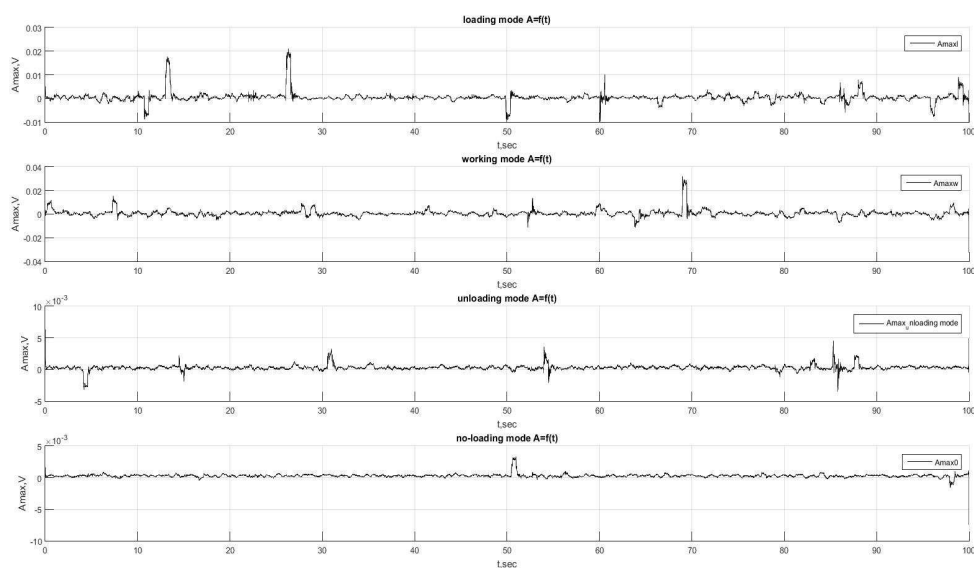


Рисунок 5 - Сигналы с усреднением из камеры измельчения при различных режимах работы измельчительной установки

Данная операция позволяет повысить устойчивость работы всей САУ в целом. Коэффициент регулятора из-за особенности сигналов обратной связи подбирается экспериментальным путем. При слишком большом коэффициенте регулятора возможен выход системы в колебательный режим.

### Выводы

На сегодняшний день струйное измельчение является наиболее энергоемким видом измельчения, поэтому повышение энергоэффективности данного процесса является актуальной задачей. Исходя из этого, была разработана модель системы автоматического управления струйной мельницы на основании экспериментальных данных. Предложен оптимальный метод обработки акустических сигналов средствами микроконтроллера. Данная модель позволит качественно улучшить управление процессом измельчения. В перспективе планируется реализация предложенной системы управления на основе управления приводом бункера загрузки.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Утеуш Э.В., Утеуш З.В. Управление измельчительными агрегатами. М.: Машиностроение, 1973. - 280 с.
2. Марюта А.Н. Автоматическая оптимизация процесса обогащения руд на магнитно-обогащительных фабриках. М.: Недра, 1975.- 231 с.
3. Черноусько Ф.Л., Колмановский В.Б. Оптимальное управление при случайных возмущениях. М.: Наука, 1978. - 351 с.
4. Горобец В.И. Оптимизация параметров и разработка способа автоматического регулирования газоструйной мельницы. Днепропетровск 1972 г. – 21 с.
5. Патент на корисну модель № 112112 Україна, МПК В02С 25/00. Газоструминний млин / Прядко Н.С.Музика Л.В.; заявник і патентоволодар Інститут технічної механіки НАНУ і ДКАУ. – у 201603419; заявл. 04.04.2016; опубл. 12.12.2016, Бюл. № 13. – 7 с.
6. Прядко Н.С. Акустико-эмиссионный мониторинг процесса струйного измельчения // Техническая диагностика и неразрушающий контроль 2012.-№ 6.- С. 46 – 52.
7. Прядко Н.С. Акустические исследования струйного измельчения// LAP LAMBERT Academic Publishing.–OmniScriptum GmbH&Co.Kg.–2013.– Saarbrucken Germany.–172с.
8. Патент на винахід № 104427 Україна, МПК В02С 25/00. Спосіб моніторингу струминного подрібнення і газоструминний млин / Пілов П.І., Горобець Л.Ж., Прядко Н.С.; заявник і патентоволодар Національний гірничий університет. – а 201016004; заявл. 31.12.2010; опубл. 10.02.2014, Бюл. № 3. – 6 с.
9. Pryadko N. Optimization of fine grinding on the acoustic monitoring basis// Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems.- 2015 Taylor & Francis Group, London, p. 99 – 108.
10. Прядко Н.С. Информационные технологии для управления тонким измельчением / Н. С. Прядко, Г. А. Стрельников // Техническая механика. – 2014. – №4. – С. 118 – 125.
11. Емкости для сыпучих грузов в транспортно-грузовых системах/ И.В. Горюшинский, И.И. Кононов, В.В. Денисов, Е.В. Горюшинская, Н.В. Петрушкин. Под общей редакцией И.В. Горюшинского: Учебное пособие. – Самара: СамГАПС, 2003. – 232 с.

V.P. Ivaschenko, G.G. Shvachych, S.G. Semenov

**EFFICIENT PARALLELIZATION ALGORITHMS  
OF THE APPLIED TASKS  
IN MULTIPROCESSOR COMPUTING SYSTEMS**

*The work is dedicated to the construction of numerical-analytical method of designing efficient algorithms for solution of problems in economics and engineering. Using a priori information about the smoothness of the solution, great attention is paid to the construction of high-accuracy solutions. The proposed approach eliminates recurrent structure calculations for desired vectors' decisions which leads to the accumulation of rounding errors. Parallel form of the algorithm is the maximum, and therefore demands the shortest possible time for implementation on parallel computing systems.*

*Keywords: numerical and analytical methods, economic-mathematical model, high order accuracy, parallel computing, dynamic system.*

**Introduction**

Problems that occur before the economists mostly are complicated ones. This due to the fact that they depend on many factors, which do not only interact, but also are determined by time behavior [1]. For this reason, this class of problems is investigated by means of economic and mathematical modeling [2, 3]. The mathematical model allows to take into account a variety of parameters that have an effect on the economic system as a whole.

However, at the economic and mathematical modeling often causes a situation when the system under study has an extremely complex structure. Quite often this is due to the multidimensionality of their description. Multidimensional models are used for marketing research and management. In addition these problems also include problems of segmentation and predict the market, study of the economic depression, analysis and prediction of social and economic phenomena, and others. The above class of problems is crucial for the development of the economics in general and in connection with this the development of effective methods of their solution appears to be actual scientific and practical problem.

In recent decades, research of the dynamics of economic systems one notices steady tendency of transition to continuous time [4, 5]. The class of economic problems using continuous time allows to adapt the methods and models, experience of linear and nonlinear dynamical systems' study, accumulated in technical sciences (especially in the theory of control action) [6].

At the same time, an important feature for the solution of given class problems is their high computational complexity. Therefore, the effective research of these tasks can be carried out only on the basis of multiprocessor systems [7].

On the other hand, through the use of ...finite-difference schemes the significant acceleration computation of these problems is achieved by the effect of paralleling. It is important to make a point of numerically-analytical algorithms for solving applied problems. Higher speedup compared with the finite-difference approach can be achieved with use of analytical solutions that allow to carry out calculations simultaneously and in parallel for all temporary layers and at the same time do not use combined memory [8]. But the most promising approach to mathematical modeling of applied problems of economics and technology should be considered application of the numerical and analytical solutions [9, 10]. Therefore, distributed application for economic problems modeling based on the schemes of higher accuracy order is an important and urgent task.

### **Analysis of recent research and publications**

Currently, macroeconomic processes are being studied as transients to dynamic systems [6]. Therefore, the study of macroeconomic processes is carried out by means of mathematical methods and models, primarily with the help of the dynamic systems theory (mainly automatic control theory), which is based on the apparatus of differential equations and Laplace transforms. In the investigation of transients in the unstructured macroeconomics they use a dynamic model of Keynes and Samuelson-Hicks [3]. Moreover, the processes for monetary and material accumulation modeling, dynamics securities are treated as large systems [5].

We note that the determined class of tasks, as a rule, is described by differential equations and is solved through the application of difference schemes apparatus, which entity is in implemented replace-

ment of derivatives by difference by relations. Thus from standpoint of numerical algorithms the solving of differential equations is distributed on explicit and implicit schemes [11]. In the explicit scheme the value of the unknown function is determined successively layer by layer. In this connection, this approach cannot be used for parallel computing. The implicit schemes allow to conduct calculations with a big step without a significant loss in accuracy, but such an approach requires larger computation. Given analysis shows that the methods of solving tasks of this class should be not only diverse but also to combine quantitative estimates with analysis capabilities. At present, were outlined certain trends in the development of numerical and analytical methods with a complex logical structure, but in comparison with piecewise-difference methods they have higher order of accuracy and the possibility of constructing algorithms with adaptation for orders of approximation [9, 12]. In terms of calculating this approach is a cumbersome, but it shows a kind of standard for comparison with other practices. At the same time despite the fact that the computer experiment is carried out on a multiprocessor system, it could be argued that the fact that hindered the development of numerical and analytical approach, is now losing its relevance.

It should be noted that today solution of complex, large-volume tasks requires powerful computers and is characterized by a word parallel, in other words, there exist parallel computers, computing systems, parallel computing methods, etc. [13, 14]. The appearance of new means of communication and more advanced element base in the computer systems has stimulated the development of high performance computing based on standard technologies and publicly available technologies and components [7, 15].

In this paper, for computational experiments were used so-called "blade" server solutions for multiprocessor systems [7]. On the basis of IB network technologies implemented "blade" server solution multiprocessor system has been realized at which several similar modules are installed in the same housing. Practice shows that the blade systems are more compact and easy to maintain, and their implementation is not much more expensive as compared to the multi-processor computer systems. The main features of its design architecture presented in [7].

Thus, it can be argued that to date fundamental problems of potentially infinite peak increase performance for computers disappeared. But the really serious problem is how to use this enormous potential. In this paper, the possibility of constructing the maximum parallel computing algorithms for the problems of techniques and economics is shown.

### **Statement of the Problem Research.**

The existing methods for solving the problems of techniques and economics are not always suitable for reasons of accuracy, speed, memory requirements, structure algorithms, applicability for multi-processor computer systems. In this context new ideas appear and are implemented in the field of computational mathematics. Ultimately, for the most perfect mathematical models it is necessary to design new methods of implementation of numerical experiments.

### **Purpose and objectives of research**

The purpose of this work is to construct maximum parallel algorithms for solving the problems of economics and techniques which are described by dynamic models. In this case we consider the problems of mathematical modeling of this class on parallel computing systems of cluster type. Majority of ordinary algorithms for solving these problems (sweep methods, decomposition of a matrix into a product of two diagonal matrices, doubling, etc.) in the presence of several processors work usually no faster than at a single processor. The reason for this is substantial sequence of computations for these algorithms.

### **The main material of research**

Creation of parallel computing systems has required elaboration of the mathematical concept for parallel algorithm development, ie, algorithms adapted for implementation on such systems. Basis for algorithm parallel development can serve as a sequential algorithm, and also as a task itself [8]. At parallelizing of sequential algorithm the pragmatic approach seems to be the most rational, namely, the sequential algorithm identifies common elements, which are then transformed into a parallel form.

We consider construction of numerically-analytical scheme on the example of following boundary value problem for heat conductivity equation with constant coefficients. It is required to find the solution of equation in the area  $\{0 \leq x < x_L, 0 < t \leq T\}$ :

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2}, \quad (1)$$

satisfying the initial condition

$$Y(x, 0) = \phi(x) \quad (2)$$

and the boundary conditions

$$Y(0, t) = \mu_0(t), \quad Y(x_L, t) = \mu_L(t). \quad (3)$$

Here  $\mu_0(t)$ ,  $\mu_L(t)$ ,  $\phi(x)$  are defined functions. It is known that on certain assumptions of the smoothness the solution of problem (1) – (3) exists and is unique.

Let us introduce grid the variable  $x$  steps between nodes

$$Dx1_p = \frac{x_L}{2m}, \quad p = \overline{1, 2m-1}, \quad m \in Z, \quad (4)$$

where  $m$  - the integer parameter sampling. For uniformly distributed nodes

$$\begin{cases} Dx1 = x_p - x_{p-1} = const, \\ x_p = x_{p-1} + p \cdot Dx1, \quad p = \overline{1, 2m-1}. \end{cases} \quad (5)$$

On the basis of a priori information the desired function is submitted in the form of the Taylor series

$$Y_{p+\varepsilon_x, 1}(t, x) = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_x^n \cdot Y_{p, n+1}(t), \quad (6)$$

where

$$\begin{cases} \varepsilon_x = \frac{x - x_p}{x_{p+1} - x_p} \in [+1, -1], \\ Y_{p, n+1} = \frac{Dx1^n}{n!} \cdot \frac{\partial Y}{\partial x^n} \Big|_{x=x_p}. \end{cases}$$

After agreement (6) to the equation (1), equating coefficients of identical powers, we obtain a system of ordinary differential equations ODEs

$$Y'_{p, n+1}(t) = \frac{(n+1)(n+2)}{Dx1^2} \cdot Y_{p, n+3}(t) \quad (7)$$

having a Cauchy form

$$Y_{p, n+1}(0) = \phi_{p, n+1}, \quad (8)$$

where  $\phi_{p, n+1}$  are the known values of the Taylor component of the initial function (2).

We restrict ourselves to the right side of the Taylor series (6) by a finite number of terms, we obtain

$$Y_{p+\varepsilon_x,1}(x,t) = \sum_{n=0}^N \varepsilon_x^n \cdot Y_{p,n+1}(t), \quad (9)$$

where  $N$  is integer. To approximate the equation (1) at point  $(x_p, t)$  we introduce the trailing communications

$$\begin{Bmatrix} Y_{p,N+1} \\ Y_{p,N} \end{Bmatrix}. \quad (10)$$

Putting  $\varepsilon_x = \pm 1$  in (9), we get on the three-point template system of two algebraic equations

$$\begin{cases} Y_{p,N+1} + Y_{p,N} = \left[ Y_{p+1,1} - \sum_{n=0}^{N-2} Y_{p,n+1} \right], \\ Y_{p,N-1} - Y_{p,N} = (-1)^N \cdot \left[ Y_{p-1,1} - \sum_{n=0}^{N-2} (-1)^n \cdot Y_{p,n+1} \right]. \end{cases} \quad (11)$$

and find

$$\begin{Bmatrix} Y_{p,N+1} \\ Y_{p,N} \end{Bmatrix} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left[ Y_{p+1,1} \pm (-1)^N \cdot Y_{p-1,1} \right] - \sum \phi_n^\pm \cdot Y_{p,n+1} \right\}, \quad (12)$$

where

$$\phi_n^\pm = 1 + (-1)^{n+N}, \quad N = 2, 3, 4, \dots \quad (13)$$

are normalizing factors.

At  $N = 2$  value  $n = \overline{0,0}$  and then we receive

$$\begin{cases} Y_{p,2} = \frac{1}{2} \cdot [Y_{p+1,1} - Y_{p-1,1}], \\ Y_{p,3} = \frac{1}{2} \cdot \{ [Y_{p+1,1} + Y_{p-1,1}] - 2 \cdot Y_{p,1} \}. \end{cases} \quad (14)$$

After substituting (14) into (7) we obtain

$$Y'_{p,1}(t) = \frac{1}{Dx1^2} \cdot \{ [Y_{p+1,1}(t) + Y_{p-1,1}(t)] - 2 Y_{p,1}(t) \}, \quad p = \overline{1, 2m-1}, \quad (15)$$

where -  $\{Y_{0,1}(t), Y_{2m,1}(t)\}$  are the boundary functions of the first kind.

For  $N = 3$ , and the value of the relations (7) and (14) we obtain ODEs of the higher order

$$\begin{cases} Y'_{p,1}(\tau) = \frac{1}{2 \cdot Dx1^2} \cdot [Y_{p+1,2}(\tau) - Y_{p-1,2}(\tau)], \\ Y'_{p,2}(\tau) = \frac{1}{Dx1^2} \cdot [Y_{p+1,2}(\tau) + Y_{p-1,2}(\tau) - 2Y_{p,2}(\tau)], \end{cases} \quad (16)$$

where

$$\begin{cases} Y_{0,2}(\tau) = Dx1 \cdot gW(\tau), \\ Y_{2m,2}(\tau) = Dx1 \cdot gL(\tau), \end{cases} \quad (17)$$

are known boundary functions of the second kind.

It should be noted that the developed approach involves ordinary finite- difference methods as a particular case. The scheme (15) coincides with the classical Dirichlet problem, and the scheme (16) with the Neumann problem. For the problem (16) it is indicative the fact that the transmission of information on the boundaries of the area in the natural scheme is implemented through internal point accurately without lowering the order of approximation.

With the reduction increase N-order approximation orders of connections (12) increase. Note that the integration of ODEs (15) – (17) having the form of Cauchy with explicit methods is the most developed procedure. Variety of standard programs allows us to consider this procedure as an elementary. From the viewpoint of economy on number of operations the last cannot be improved.

The developed procedure of numerical-analytical digitization is quite simple generalized to other types of differential equations of mathematical physics. In particular, in stationary tasks it is easier to localize the features and to use the high-order schemes at smooth areas.

The value of the order of approximation in conjunction with carrying out computation based on shredded grids allows to be oriented in the evaluation of calculations' the accuracy .

Let us show how to formulate the algorithm of approximate calculations based on operating with functions as with formulas.

When constructing the computational algorithm (13) – (17) we used a priori information available for task and above all the information on membership to a particular class of smoothness, describing the task functions. Since the smoothness specifically determines its widths. The value of the widths gives an indication of the optimally possible accuracy of computational algorithm.

Let us consider Cauchy data as dependent variables

$$\{Y_{p,1}(t), Y_{p,2}(t)\}, \quad p = \overline{1, 2m-1}. \quad (18)$$

Rewriting ODEs (4) as following

$$Y_{p,n+3}(t) = \frac{Dx1^{2n}}{(n+1)(n+2)} Y'_{p,n+1}(t). \quad (19)$$

From ratios (18), (19) it follows

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_{p,3}(t) = \frac{Dx1^2}{2!} Y_{p,1}^{(1)}(t), \\ Y_{p,4}(t) = \frac{Dx1^2}{3!} Y_{p,2}^{(1)}(t), \\ Y_{p,5}(t) = \frac{Dx1^4}{4!} Y_{p,1}^{(1)}(t), \\ Y_{p,6}(t) = \frac{Dx1^6}{6!} Y_{p,2}^{(1)}(t), \\ \dots\dots\dots \end{array} \right. \quad (20)$$

Thus, the general solution of (6) can be represented as follows

$$Y_{p+\varepsilon_x,1}(t, x) = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_x^{2n} \cdot \frac{Dx1^{2n}}{(2n)!} \cdot Y_{p,1}^{(n)}(t) + \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_x^{2n+1} \cdot \frac{Dx1^{2n+1}}{(2n+1)!} \cdot Y_{p,2}^{(n)}(t). \quad (21)$$

The first summand of (21) satisfies the condition of adiabatic wall and the second corresponds to wall conditions with constant temperature.

In algebraic computation it is more convenient mathematical model with the divided respective to Cauchy data (18) form

$$\sum_{n=0}^{\infty} Y_{p,1}^{(n)}(t) \cdot \frac{Dx1^{2n}}{(2n)!} = \frac{1}{2} [Y_{p+1,1}(t) + Y_{p-1,1}(t)], \quad (22)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} Y_{p,2}^{(n)}(t) \cdot \frac{Dx1^{2n+1}}{(2n+1)!} = \frac{1}{2} [Y_{p+1,2}(t) + Y_{p-1,2}(t)]. \quad (23)$$

In general, at physical realizable unknown variables there exists fast convergence of infinite series (22), (23). We face this, e.g., in the case when derivatives of the functions are limited by derivatives of exponential functions, which fortiori confirms differentiation termwise used in the analysis. However, in practical cases, the series should converge fast enough that makes possible to confine by only a few initial members of the series.

**Conclusions and prospects for further research**

In this paper efficiency for parallelization of dynamical systems, for solving the problem in terms of economics and technique is shown. Particular attention is paid to the numerically-analytical methods of solving tasks. Higher acceleration of computations compared with the finite-difference approach is explained through the use of analytical solutions that allow to perform calculations simultaneously and in parallel on all temporary layers without the using combined memory. This approach excludes the recurrent structure for unknown vectors' calculating which, as a rule, leads to the accumulation of rounding errors. Thus constructed parallel form of the algorithm is maximal and, hence, has the lowest possible time implementation of the algorithm on parallel computing systems.

**REFERENCES**

1. Иванилов Ю.П. Математические модели в экономике / Ю.П. Иванилов, А.В. Лотов. – М.: Наука, 2007. – 304 с.
2. Трояновский В. М. Элементы математического моделирования в макроэкономике / В. М. Трояновский. — М.: Издательство РДЛ, 2001. – 151 с.
3. Коломаев В.А. Экономико-математическое моделирование / В.А. Коломаев. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2005. – 295 с.
4. Царьков В.А. Динамические модели экономики. Теория и практика экономической динамики / В.А. Царьков. – М.: Экономика, 2007. – 216 с.
5. Петров Л.Ф. Методы динамики анализа экономики / Л.Ф. Петров. – М.: Инфра-М, 2010. – 239 с.
6. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – СПб.: Профессия, 2007. – 752 с.
7. Башков Є.О. Високопродуктивна багатопроцесорна система на базі персонального обчислювального кластера / Є.О. Башков, В.П. Іващенко, Г.Г. Швачич // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія “Проблеми моделювання та автоматизації проектування”. – Вип. 9 (179). – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – С.312 – 324.
8. Ivaschenko V.P. Specifics of constructing of maximally parallel algorithmic forms of the solving of the appliend tasks / V.P. Ivaschenko,

- G.G. Shvachych, M. A. Tkach // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць, № 2(91): 3 – 9.
9. Швачич Г.Г. Параллельные схемы численно-аналитической визуализации векторов решений / Г.Г. Швачич // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2006. [Транспорт, физика и математика, химия]. – Одесса: Черноморье. – 2006. – Т. 5. – С. 48 – 50.
10. Shvachych G.G. Component system of numeral-analytical visualization of vectors decisions multiprocessor calculable complexes/ G.G. Shvachych // IV International Conference [“Strategy of Quality in Industry and Education”]; May 30 – June 6, 2008; Varna; Bulgaria . – Proceedings. – V. 2: 810-815.
11. Годунов С.К. Разностные схемы [введение в теорию] / С.К. Годунов, В.С. Рябенкий. – М.: Наука, 1973. – 400 с.
12. Иващенко В.П. О проблеме численно-аналитической концепции визуализации векторов решений / В.П. Иващенко, Г.Г. Швачич, М.А. Ткач // «Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації», тези доповідей VI міжнародної наукової конференції. – Кам'янець-Подільський, 2014.-204.- С. 65-68.
13. Ivaschenko V.P. Latest technologies based on use of high-efficient multiprocessing computer systems/ V.P. Ivaschenko, N.I. Alishov, G.G. Shvachych, M.A. Tkach // Journal of Qafqaz University. Mathematics and Computer Science. Baku, Azerbaijan. – Vol. 1. – Numb. 1: 44 – 51.
14. Ivaschenko V.P. Prospects of network interface infiniband in multiprocessor computer system for solving tasks of calculations' area spreading/ V.P. Ivaschenko, G.G.Shvachych, M.A. Tkach // System technologies. – № 2(91). – Dnipropetrovs'k: 32 – 43.
15. Воеводин В.В. Параллельные вычисления / В.В. Воеводин. – С.Пб.: БХВ – Петербург, 2002. – 608 с.

В.Ф. Балакин, А.А. Байрымов

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНФОРМ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛЬНЫХ ДЛИННОМЕРНЫХ ПРОФИЛЕЙ

*Прессование стальных длинномерных изделий методом Конформ в настоящее время не является достаточно распространенным, в то время как прессование изделий из алюминия и меди приобретает популярность и демонстрирует высокую эффективность. Это объясняется значительно более высоким сопротивлением деформации стали по сравнению с вышеуказанными цветными металлами и, как следствие, высокими нагрузками на инструмент. В связи с этим повышение стойкости инструмента в процессе Конформ актуальная задача, требующая своего решения. Предлагается схема очага деформации, в которой часть контактной поверхности рабочего инструмента выполнена подвижной. Проведен анализ напряженно – деформированного состояния очага деформации.*

*Ключевые слова: инструмент, экструзия, нагрузка, деформация, Конформ.*

### Моделирование процесса экструзии.

**Введение.** Моделирование процесса прессования стальной канатки методом Конформ было проведено в программе Deform 3D. Для упрощения моделирования расчет производился для процесса равноканального углового прессования (РКУП). Процесс РКУП аналогичен процессу Конформ по схеме деформации и нагрузки на инструмент, отличие заключается в способе подачи заготовки и дискретности процесса, что не имеет значение для текущего исследования.

**Анализ публикаций.** Известен ряд работ, посвященных исследованию влияния равноканального углового прессования на формирование структуры и свойств углеродистой стали [1,2], которые свидетельствуют о значительном улучшении механических свойств стали. Так, в работе [3] показано, что временное сопротивление стали 45 увеличивается на 31%, предел текучести на 45%, твердость на 32%, что сопровождается значительными усилиями на инструмент. Поэтому работа по совершенствованию технологии и оборудования процесса

Конформ, в частности, организации очага деформации с целью непрерывного прессования стальных изделий в промышленных условиях является актуальной.

*Постановка проблемы.* Прессование стальных длинномерных изделий методом Конформ в настоящее время не является достаточно распространенным, в то время как прессование изделий из алюминия и меди приобретает популярность и демонстрирует высокую эффективность. Это объясняется значительно более высоким сопротивлением деформации стали по сравнению с вышеуказанными цветными металлами и, как следствие, высокими нагрузками на инструмент. В связи с этим повышение стойкости инструмента в процессе Конформ актуальная задача, требующая своего решения. Предлагается схема очага деформации, в которой часть контактной поверхности рабочего инструмента выполнена подвижной. Проведен анализ напряженно – деформированного состояния очага деформации.

*Целью статьи* совершенствование технологии Конформ, и адаптация для обработки стальных изделий.

Одним из методов осуществления ИПД при производстве длинномерного проката является метод Конформ. Конформ - процесс позволяет осуществлять интенсивную пластическую деформацию по схеме РКУП в непрерывном режиме.

Моделирование осуществлялось в программе Deform 3D, по схеме приведенной на рисунке 1. Исходные данные для моделирования: диаметр катанки 6.5 мм; материал катанки: 0.08 Carbon Steel; температура процесса 400°C; скорость прессования: 50 мм / с; угол между каналами контейнера: 120 °; коэффициент трения: 0.3.

Моделирование процесса прессования показало, что основные нагрузки во время прессования возникают на криволинейной поверхности, расположенной непосредственно после поворота заготовки в канале (отмечена красным цветом на рисунке 1).

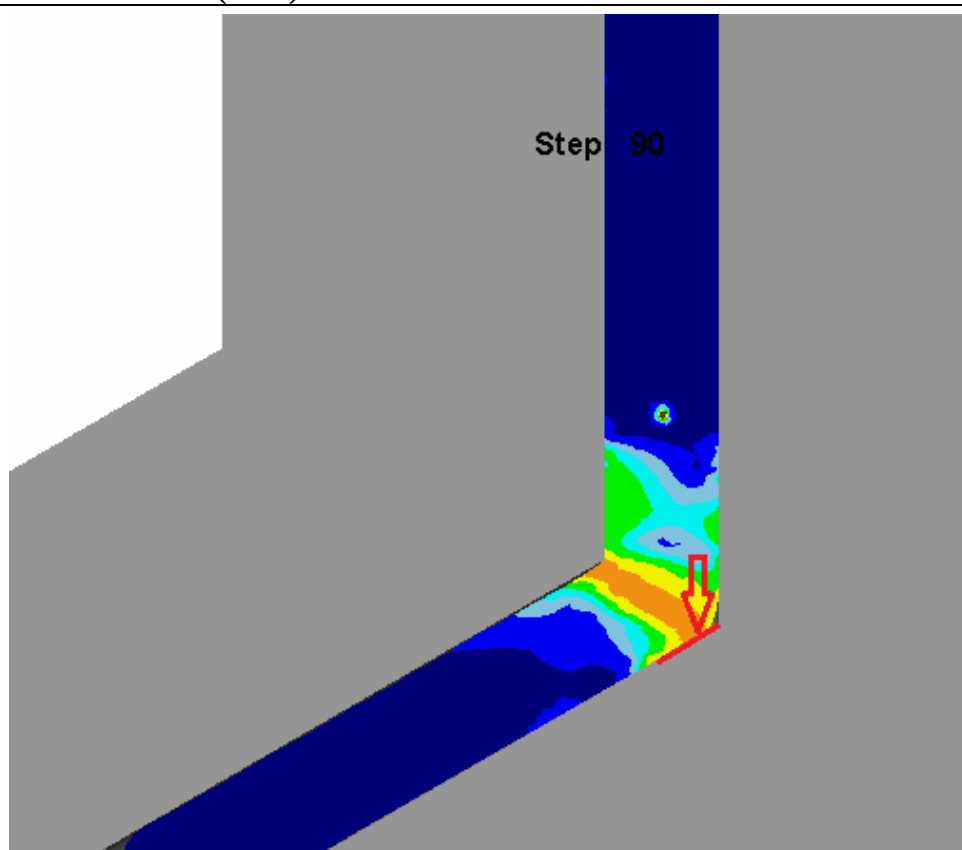


Рисунок 1 – Нагрузка на инструмент в процессе РКУП

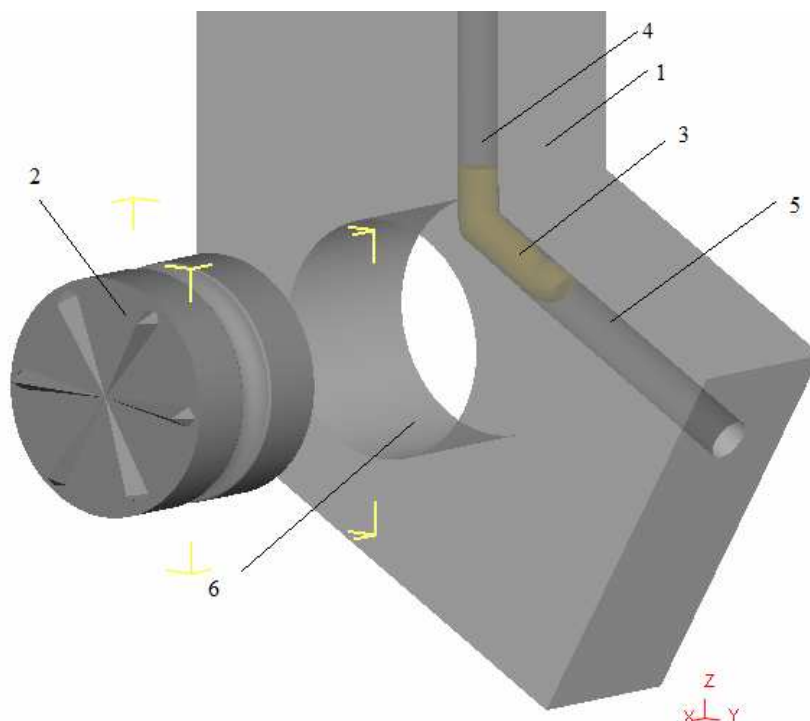
Контактные давления на эту поверхность обусловлены высоким усилием прессования, и зависят от угла между каналами, скорости прессования, температуры и материала катанки, а также от коэффициента трения между заготовкой и поверхностью нагрузки. Использование специальных смазок позволяет уменьшить силу прессования, износ инструмента, однако полностью не решает главную проблему – уменьшения нагрузки на инструмент.

#### **Разработка новой схемы деформации в процессе Конформ**

В основе идеи уменьшения сил контактного трения положено замену наиболее нагруженной поверхности в очаге деформации подвижной контактной поверхностью. Поставленная цель достигается за счет установки в очаге деформации калиброванного ролика соответствующего диаметра. На рисунке 2 изображена новая схема организации деформации. Заготовка 3 попадает в контейнер 1 и находится во входном канале 4.

После начала прессования заготовка давит на ролик 2, в результате чего ролик начинает вращаться, таким образом, заготовка последовательно перемещается к выходному каналу 5. При этом ро-

лик размещен в специальном отверстии 6 в контейнере (на рисунке ролик смещен для наглядности). Во время прессования заготовка попадает в ручей нанесенный на ролике, и центрирует ролик вдоль оси X (на рисунке 2).



1 - контейнер, 2 - ролик, 3 - заготовка, 4 - входной канал,

5 - выходной канал, 6 - отверстие в контейнере для ролика

Рисунок 2 – Предлагаемая конструкция контейнера для прессования стальной катанки

В такой конструкции наиболее нагруженная поверхность (рисунок 1) заменена роликом 2 (рисунок 2). Вращаясь за счет сил трения, давления на ролик будут меньшими по сравнению с давлением, действующими в традиционной конструкции. Таким образом, предлагаемая схема организации очага деформации позволит в целом снизить усилия прессования, и увеличить стойкость инструмента.

**Выводы.** Произведен анализ наиболее нагруженных областей инструмента при равноканальном угловом прессовании. Предложена альтернативная схема организации очага деформации в процессе Конформ, позволяющая уменьшить силу прессования и уменьшить износ инструмента.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Валиев Р.З. Получение уникальных механических свойств углеродистой стали 45 за счет интенсивной пластической деформации / Р.З. Валиев, Н.Г. Зарипов, М.В. Караваева, С.К. Нуриева // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Математика. Физика, 2011. – Том 23. – № 11
2. Астафурова Е.Г. Особенности микроструктуры и механическое поведение стали 06МБФ после равноканального углового прессования / Е.Г. Астафурова, Г.Г. Захарова, Е.В. Найденкин, Г.И. Рааб, П.Д. Одесский, С.В. Добаткин // Письма о материалах, 2011. – Том 1. – С. 198-202.
3. Пинчук С.И., Рааб Г.И., Тишкевич Д.Г., Балакин В.Ф., Лысак В.В. Структура и свойства стали 45 после равноканального углового прессования при 400°C. MetalJournal - 2014.

І.В. Коваленко, В.В. Кійко

## ОЦІНЮВАННЯ ЗАДОВОЛЕНOSTІ СПОЖИВАЧІВ ПРОДУКЦІЇ ТА ПОСЛУГ

*Анотація. В статті розглянуто існуючі підходи до оцінювання задоволеності споживачів продукції та послуг. Показано, що необхідним є враховувати найбільш важливі для споживача характеристики продукції. Запропоновано використання метода аналізу ієрархій для визначення пріоритетних напрямів діяльності поліпшення системи менеджмента якості.*

*Ключові слова: задоволеність споживача, характеристики продукції, парні порівняння, метод аналізу ієрархій, оцінка важливості.*

### Вступ

На сьогодні важливість системи менеджменту якості, що ефективно працює на підприємстві, не потребує доказів. На багатьох підприємствах вже впроваджено систему менеджменту якості, яка відповідає вимогам ISO 9001:2015, котрий фокусується на зниженні ризиків та застосуванні процесного підходу до розуміння і задоволення вимог споживача [1]. В ньому є два розділи, що стосуються саме цієї теми. Розуміння сподівань споживача виходить на перший план.

Підприємству необхідно визначити найбільш придатні саме для його потреб методи збору інформації від споживачів та розробити методики обробки і аналізу отриманих даних для поліпшення процесів своєї діяльності.

### Постановка завдання

Існують різні підходи до оцінювання задоволення вимог споживача. Один з них полягає у визначенні якості продукції (послуг) як ступіні розбіжності між очікуванням і сприйняттям продукції (або послуги) споживачами. Другий, найбільш поширений підхід, орієнтований на задоволеність продукцією (послугою) як ступіня відповідності стандарту на неї. Задоволеність споживача пов'язана з контролем якості продукції та не враховує побажань і очікувань, а також ступеня їх важливості для споживача.

Щоб задовольнити вимоги стандарту ISO 9001:2015, підприємства-виробники використовують анкетування споживачів. Дуже важливим тут є правильне розставлення пріоритетів та підбір питань, тому чітке розуміння запитів споживача, які організація прагне задовольнити, сприятиме отриманню більш повної інформації.

Однак, трапляються випадки, коли великі підприємства-споживачі самі розробляють анкети, які покликані виявити задоволеність/незадоволеність свого персоналу тією чи іншою продукцією (послугою). Вони відображають найбільш важливі для споживача характеристики продукції. Надалі потрібно зробити так, щоб запити споживачів були трансформовано в нормативні характеристики продукції.

### **Оцінка характеристик**

Наведемо приклад опитування споживачів щодо якості півмасок протиаерозольних. Підприємство використовувало для цього свою форму, в якій оцінювались характеристики продукції [2]:

1. прилягання до обличчя
2. надійність кріплення на голові
3. можливість регулювання розміру
4. захисні властивості
5. гігієнічні якості
6. використання сумісно с іншими ЗІЗ
7. опір повітрю при вдиханні
8. опір повітрю при видиху
9. підсос через лицьову частину
10. механічна міцність

Визначимо ранги важливості цих характеристик методом аналізу ієрархій [3].

Для попарного порівняння факторів у [3] запропонована спеціальна оціночна шкала, що складається з чотирьох основних і двох проміжних суджень. У ній судження експертів представляються наступним чином (табл. 1):

Шкала відносної важливості

| Інтенсивність відносної важливості | Визначення                                        |
|------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 0                                  | варіанти не можуть бути порівняні                 |
| 1                                  | рівна важливість                                  |
| 3                                  | помірна перевага одного над іншим                 |
| 5                                  | суттєва або сильна перевага                       |
| 2,4                                | проміжні рішення поміж двома сусідніми судженнями |

Позначимо безліч порівнюваних факторів:  $C_1, C_2, C_3 \dots C_n$ . Ваги цих факторів позначимо, відповідно:  $V_1, V_2, V_3 \dots V_n$ .

Результати порівняння видаються як матриці парних порівнянь, яка має вигляд:

Таблиця 2

Матриця парних порівнянь

|       | $C_1$       | $C_2$       | ... | $C_n$       |
|-------|-------------|-------------|-----|-------------|
| $C_1$ | $V_1 / V_1$ | $V_1 / V_2$ | ... | $V_1 / V_n$ |
| $C_2$ | $V_2 / V_1$ | $V_2 / V_2$ | ... | $V_2 / V_n$ |
| ...   | ...         | ...         | ... | ...         |
| $C_n$ | $V_n / V_1$ | $V_n / V_2$ | ... | $V_n / V_n$ |

Тобто, результати парних порівнянь представляються у вигляді квадратної матриці  $C = (c_{ij})$  з одиничною діагоналлю (порівняння фактора самого з собою дорівнює одиниці). Тут  $c_{ij}$  означає відношення оцінок відповідних елементів; індекси  $i$  та  $j$  змінюються від одиниці до величини, рівній кількості факторів. Оскільки при послідовному переборі всіх можливих пар фактори порівнюються між собою двічі, при складанні матриці повинна виконуватися умова «зворотньої симетричності»:

$$c_{ji} = \frac{1}{c_{ij}} \quad (1)$$

Суть обробки матриці полягає в розкладанні:  $C \approx AX$ , де власний вектор матриці позначається  $A = (a_1, a_2, a_3, \dots a_n)$ , де  $a_1, a_2, a_3, \dots a_n$  - значення компонент власного вектора матриці. У загальному вигляді

значення компоненти власного вектора матриці можуть бути представлені в наступному вигляді:

$$a_i = \sqrt[n]{\frac{v_i}{v_1} \cdot \frac{v_i}{v_2} \cdot \dots \cdot \frac{v_i}{v_n}}, i=\overline{1,n}, \quad (2)$$

Підсумком цих операцій буде власний вектор матриці (A). Далі розраховується вектор пріоритетів X, який і буде показувати ранги важливості порівнюваних факторів.  $X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ , де  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  - значення компонент вектора пріоритетів (ранги важливості). Компоненти вектора пріоритетів можуть бути визначені за такими формулами:

$$x_1 = \frac{a_1}{S_a}, \quad x_2 = \frac{a_2}{S_a}, \quad \dots \quad x_n = \frac{a_n}{S_a} \quad (3)$$

де  $S_a$  - сума значень компонент власного вектора матриці

$$S_a = a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n \quad (4)$$

Матриця парних порівнянь, власний вектор матриці (A) і вектор пріоритетів (X) має вигляд:

Таблиця 3

Розрахунок вектора пріоритетів

| Б<br>С | 1     | 2    | 3     | 4    | 5     | 6     | 7    | 8    | 9    | 10    | A     | X    |
|--------|-------|------|-------|------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|------|
| 1      | 1,00  | 3,00 | 3,00  | 0,33 | 1,00  | 3,00  | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 1,00  | 0,90  | 0,08 |
| 2      | 0,33  | 1,00 | 1,00  | 0,33 | 1,00  | 1,00  | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 1,00  | 0,58  | 0,05 |
| 3      | 0,33  | 1,00 | 1,00  | 0,33 | 1,00  | 1,00  | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 1,00  | 0,58  | 0,05 |
| 4      | 3,00  | 3,00 | 3,00  | 1,00 | 3,00  | 3,00  | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 2,00  | 1,86  | 0,16 |
| 5      | 1,00  | 1,00 | 1,00  | 0,33 | 1,00  | 1,00  | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 1,00  | 0,64  | 0,06 |
| 6      | 0,33  | 1,00 | 1,00  | 0,33 | 1,00  | 1,00  | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 1,00  | 0,58  | 0,05 |
| 7      | 3,00  | 3,00 | 3,00  | 1,00 | 3,00  | 3,00  | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 3,00  | 1,93  | 0,17 |
| 8      | 3,00  | 3,00 | 3,00  | 1,00 | 3,00  | 3,00  | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 3,00  | 1,93  | 0,17 |
| 9      | 3,00  | 3,00 | 3,00  | 1,00 | 3,00  | 3,00  | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 3,00  | 1,93  | 0,17 |
| 10     | 1,00  | 1,00 | 1,00  | 0,50 | 1,00  | 1,00  | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 1,00  | 0,67  | 0,06 |
| Σ      | 16,00 | 20,0 | 20,00 | 6,17 | 18,00 | 20,00 | 6,00 | 6,00 | 6,00 | 17,00 | 11,60 | 1,00 |

Процедура МАІ має вбудований критерій якості роботи експерта - індекс узгодженості (IU). який дає інформацію про рівень порушення чисельної (кардинальної) і транзитивної (порядкової) узгодженості експертних суджень. Визначимо узгодженість проведених оцінок, використовуючи формулу:

$$IU = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

де  $\lambda$  - власне число,  $n$  - число порівнюваних факторів.

Для розрахунку  $\lambda_{\max}$  визначається сума за кожною колонкою матриці, яка множиться на відповідну компоненту вектора пріоритетів.

IU порівнюється з величиною, отриманою при випадковому виборі кількісних величин, яка трактується як середня.

Далі визначається узгодженість проведених оцінок, шляхом визначення відносної узгодженості (VU).

$$VU = \frac{IU}{CB} \leq 20\% \quad (6)$$

де VU - відношення узгодженості, IU - індекс узгодженості, CB – величина, що відповідає середній випадковій узгодженості матриці.

В результаті розрахунку отримуємо  $\lambda = 10.19265$ ,  $IU = 0.021405$ ,  $CB = 1.49$ ,  $VU = 1.4\%$ .

Оскільки VU не перевищує 20%, то результати опитування експертів можуть бути використані в подальших розрахунках/

#### Оцінка важливості

Таким чином, маємо ранги важливості (табл. 4).

Таблиця 4

Ранги важливості характеристик продукції

| №  | Бажання споживача (БС)            | Ранг |
|----|-----------------------------------|------|
| 1  | прилягання до обличчя             | 0,08 |
| 2  | надійність кріплення на голові    | 0,05 |
| 3  | можливість регулювання розміру    | 0,05 |
| 4  | захисні властивості               | 0,16 |
| 5  | гігієнічні якості                 | 0,06 |
| 6  | використання сумісно с іншими ЗІЗ | 0,05 |
| 7  | опір повітрю при вдиханні         | 0,17 |
| 8  | опір повітрю при видиху           | 0,17 |
| 9  | підсос через лицьову частину      | 0,17 |
| 10 | механічна міцність                | 0,06 |

За даними таблиці 4, можна сказати, що споживачі найбільшу увагу звертають на опір повітрю при вдиханні, опір повітрю при видиху, підсос через лицьову частину, захисні властивості. Інші характеристики або менше цікавлять споживачів, або вони їх задовольняють, тому при заповнюванні анкети на них не звертається увага.

Оцінімо вплив нормативних характеристик продукції на бажані характеристики споживачів. Для цього експерти оцінюють вплив за допомогою шкали

#### 1. Слабий вплив

2. Середній вплив

3. Сильний вплив.

Нормативні характеристики продукції (НХ):

1. Опір диханню

2. Коефіцієнт підсмоктування

3. Маса

4. Сумісність зі шкірою

5. Площа поля зору

6. Експлуатаційні властивості

7. Стійкість до температури

8. Стійкість до займання

9. Міцність кріплення головного гарнітуру

10. Міцність кріплення клапана видиху

11. Проходження повітряного потоку крізь клапан видиху

Знаходимо абсолютну і відносну важливість нормативних характеристик продукції.

Таблиця 5

Абсолютна і відносна важливість нормативних характеристик продукції

| НХ                   | 1   | 2    | 3    | 4    | 5    | 6   | 7    | 8    | 9   | 10   | 11   |
|----------------------|-----|------|------|------|------|-----|------|------|-----|------|------|
| Абсолютна важливість | 0,5 | 0,98 | 0,47 | 0,18 | 0,18 | 0,8 | 0,48 | 0,48 | 1,1 | 0,98 | 1,65 |
| Відносна важливість  | 6%  | 13%  | 6%   | 2%   | 2%   | 10% | 6%   | 6%   | 14% | 13%  | 21%  |

Відносна важливість є одним з головних показників для визначення пріоритету діяльності інженерно-технічного персоналу підприємства.

З наведеної таблиці видно, що пріоритетними напрямками для підвищеної уваги є: проходження повітряного потоку крізь клапан видиху, міцність кріплення клапана видиху, міцність кріплення головного гарнітуру, коефіцієнт підсмоктування.

### **Висновки**

Отримані дані мають вплив на процеси системи менеджменту якості: орієнтація на споживача, планування, процеси, пов'язані зі споживачем, проектування і розробка, покращення і є підґрунтям для прийняття управляючих рішень керівництвом підприємства.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2015, IDT) [Текст]. – Введ. 2016. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016, 22 с.
2. ДСТУ EN 149:2003. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Фільтрувальні півмаски для захисту від аерозолів. Вимоги, випробування, маркування (EN 149:2001, IDT) [Текст]. – Введ. 2004. – К.: Держспоживстандарт України, 2004, 26 с.
3. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст]// Т.Саати. М.:Радио и связь, 1993. 278 с.

В.П. Малайчук, С.В. Клименко, А.Т. Кудреватых  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ  
НЕДОСТУПНЫХ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ  
ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ  
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

*Аннотация. Предложен визуально-аналитический метод исследования матриц измерений цифровых изображений объектов, недоступных для визуального наблюдения, с неизвестными статистическими закономерностями и отсутствием эталонов, путем сканирования и сжатия матриц скачкообразно-подвижным окном или и последующей сравнительной обработкой гистограмм строк и столбцов, и выделения текстур по критерию хи-квадрат.*

*Ключевые слова: цифровое изображение, флуктуация, визуально-аналитический анализ.*

**Постановка задачи**

Информация о состоянии технических объектов, поверхности которых недоступны для визуального наблюдения, содержится в тех или иных видах пространственных изменений яркости (структурах) их цифровых изображений. Цифровые изображения описываются матрицами измерений яркости с неизвестными статистическими закономерностями [1]. Они могут быть разделены на два класса: 1) это низкочастотные (медленные) пространственные изменения яркости; 2) быстрые (высокочастотные) изменения яркости на поверхностях контролируемых объектов (флуктуации). Их информативность исследуется путем статистической обработки матриц взаимно автокоррелированных не стационарных выборок случайных величин с целочисленными значениями от нуля до 255  $X(i, j)$ , где  $i$  и  $j$  - координаты точки, в которой измеряется яркость изображения. Цель обработки – выделить участки изменения яркости (текстуры) и оценить их параметры (координаты, размеры, форма, интенсивность, коррелированность) в условиях отсутствия эталонных (обучающих) образцов поверхностей технических объектов.

Исследование начинается с проверки гипотезы об однородности распределения яркости цифрового изображения и если гипотеза подтверждается, то на этом обработка прекращается. В противном случае продолжается исследование цифрового изображения путем обработки матрицы низкочастотных и высокочастотных измерений.

### **Первичная обработка измерений цифрового изображений**

Рассматривается матрица измерений с авто и взаимно коррелированными целочисленными величинами от нуля до 255 единиц яркости. Законы распределения вероятностей их неизвестны, но могут быть построены для визуального рассмотрения их гистограммы и оценены статистические параметры (начальные и центральные моменты, коэффициенты корреляции и корреляционные функции).

В исследовании цифровых изображений получателем информации является, как правило, оператор, так что метод их обработки называется визуально-аналитическим. Слабый контраст цифрового изображения создает трудности для визуального наблюдения, обусловленные большим ограничением диапазона яркости  $\Delta X = X_{\max} - X_{\min}$ , хотя в цифровом представлении могут запоминаться измерения от 0 до 255 значений яркости. Диапазон яркости можно измерить путем линейного контрастирования цифрового изображения [2]. Это линейное преобразование матрицы измерений яркости  $X(i, j)$  в матрицу  $X^*(i, j)$  с диапазона  $X_{\max} - X_{\min}$  в диапазон  $X_{\max}^* - X_{\min}^*$ .

$$X^*(i, j) = \frac{X(i, j) - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} (X_{\max}^* - X_{\min}^*) + X_{\min}^*,$$

при этом сохраняется вид закона распределения измерений яркости  $X(i, j)$ .

Если в изображении большое число участков имеет невысокую яркость, то для выравнивания яркости можно изменить ее гистограмму, то есть закон распределения вероятности путем следующего нелинейного преобразования. Сначала вычислить эмпирическую функцию распределения вероятности  $F^*(q)$

$$F^*(q) = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} \text{sgn}[q - X(i, j)], \quad q = 0, 1, 2, \dots, 255$$

и сформировать матрицу яркости  $X^*(i, j)$  по формуле

$$X^*(i, j) = (X_{\max}^* - X_{\min}^*) F^*(X(i, j)) + X_{\min}^*.$$

### Оценка интегральных параметров цифрового изображения

Визуально-аналитический анализ интегральных параметров цифровых изображений позволяет провести гипотезу об однородности изображения (отсутствия структур). Определим среднее интегральное значение измерений яркости, выборочную дисперсию  $\overline{\overline{X}}, \overline{\overline{D}}^*$  и эмпирический закон распределения вероятностей яркости цифровую гистограмму

$$\Gamma(q(k)) = W^*(q(k)) = F^*(q(k)) - F^*(q(k) - 1), \quad q(k) = 0, 1, 2, \dots, 255.$$

Эти интегральные показатели характеризуют усредненное значение яркости изображения, разброс яркостей  $\sqrt{\overline{\overline{D}}^*}$  и ее вероятностное распределение. Ожидается равенство оценок, если изображение однородное

$$\overline{\overline{X}} \approx \overline{q^*} \approx \sum_{k=0}^{255} q(k)W(q(k)) \approx q_{\max}^*$$

где  $q_{\max}^*$  – значение яркости, вероятность которого максимальна  $W(q_{\max}^*) = W_{\max}$ .

Если один яркостный показатель цифрового изображения – это коррелированность измерений яркости. Показатель коррелированности характеризует статические связи измерения  $X(i, j)$  с его ближайшими соседними измерениями  $X(i + m_1, j + m_2)$ , где  $m_1, m_2 = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm d$ . Рассмотрим скачкообразное квадратное окно размером  $n_0$ , координаты центра которого  $i_0, j_0$  изменяются скачком на расстояние  $n_0$ . Тогда  $i_0(k) = i_0(k - 1) + n_0$ ,  $j_0(k) = j_0(k - 1) + n_0$ ,  $i_0(1) = j_0(1) = 0, 5(n_0 + 1)$ ,  $d = 0, 5(n_0 + 1)$ ,  $k = 1, 2, 3, \dots, N - d$ ,  $N$  – размер матрицы  $X(i, j)$ .

Ковариация  $R(i_0, j_0)$  подвижного окна с координатами  $i = i_0, j = j_0$  вычисляется по формуле

$$\overline{\overline{R}}^*(i_0, j_0) = \frac{1}{n_0^2 - 1} \sum_{m_1=-d}^d \sum_{m_2=-d}^d X(i_0, j_0) X(i_0 + m_1, j_0 + m_2).$$

Используя ее 4 оценки средних значений измерений подвижного окна по строкам и столбцам в каждой точке  $i_0(k)$  и  $j_0(k)$ ,

выборочные дисперсии, средние значения их квадратов, оценим коррелированности строк и столбцов и матрицы по строкам и столбцам.

### Вторичная обработка измерений цифрового изображений

Измерения  $X(i, j)$  в пределах подвижного окна – это случайные величины, содержащие информацию о яркости изображения в окрестности точки  $i_0(k_1)$  и  $j_0(k_2)$ . Среднее значение яркости в этой точке равно

$$\overline{X}(i_0(k_1), j_0(k_2)) = \frac{1}{n_0^2 - 1} \sum_{m_1=-d}^d \sum_{m_2=-d}^d X(i_0(k_1) + m_1, j_0(k_2) + m_2).$$

Разности соседних измерений и среднего – это флуктуации яркости в пределах подвижного окна и их информационными показателями могут служить выборочная дисперсия и коррелированность

$$\overline{D^*}(i_0(k_1), j_0(k_2)) = \frac{1}{n_0^2 - 1} \sum_{m_1=-d}^d \sum_{m_2=-d}^d (X(i_0(k_1) + m_1, j_0(k_2) + m_2) - \overline{X}(i_0(k_1), j_0(k_2)))^2$$

$$r(i_0(k_1), j_0(k_2)) = \frac{\overline{R^*}(i_0(k_1), j_0(k_2)) - \overline{X}^2(i_0(k_1) + m_1, j_0(k_2) + m_2)}{\overline{D^*}(i_0(k_1), j_0(k_2))}.$$

Информация о текстурах цифрового изображения содержится в трех матрицах случайных величин  $\overline{X}(i_0(k_1), j_0(k_2))$ ,  $\overline{D^*}(i_0(k_1), j_0(k_2))$  и  $r(i_0(k_1), j_0(k_2))$ . Она может быть получена путем их компьютерной визуально-аналитической обработки и анализа, начиная с визуального рассмотрения матриц  $\overline{X}(i_0(k_1), j_0(k_2))$ ,  $\overline{D^*}(i_0(k_1), j_0(k_2))$  и  $R(i_0(k_1), j_0(k_2))$  выделение и описание тех или иных неоднородностей (текстур), изучения гистограмм и оценки статистических параметров.

Упростим обозначения  $i_0(k_1) = k_1$ ,  $j_0(k_2) = k_2$  и исследуем матрицы  $\overline{X^*}(k_1, k_2)$ ,  $\overline{D^*}(k_1, k_2)$  и  $\overline{R^*}(k_1, k_2)$ , содержащие информацию о текстурах нестабильности яркости, изменчивости ее флуктуаций и коррелированности, путем анализа статистических закономерностей строк и столбцов усредненных трех матриц.

Начнем с визуально-аналитического анализа гистограммных чисел строк и столбцов. Вычислим сначала значения яркости которых больше или равны значениям яркости измерений  $q = 0, 1, 2, \dots, 255$  в каждой строке  $\overline{X^*}(k_2 / k_1)$  и в каждом столбце  $\overline{X^*}(k_1 / k_2)$

$$n_1(q / k_1) = \sum_{k=1}^{N_2} \operatorname{sgn} \left[ q - \overline{X}^* (k_2 / k_1) \right], n_2(q / k_2) = \sum_{k=1}^{N_1} \operatorname{sgn} \left[ q - \overline{X}^* (k_1 / k_2) \right].$$

Их разности – это ненормированные гистограммные числа строк и столбцов матриц  $n(q, k_1)$  и  $n(q, k_2)$

$$W(q / k_1) = n_1(q / k_1) - n_1((q - 1) / k_1),$$

$$W(q / k_2) = n_2(q / k_2) - n_2((q - 1) / k_2).$$

Они характеризуют закон распределения вероятностей яркости в данной строке  $k_1$  и в столбце  $k_2$ .

Их изменения от строки к строке и от столбца к столбцу являются признаком наличия текстуры, т.е. изменения стабильности яркости цифрового изображения. Для оценки их однородности используется критерий хи-квадрат путем сравнения ненормированных гистограммных чисел  $W(q / k)$  и  $W(q / k - 1)$  двух соседних выборок.

В результате такой обработки матриц гистограммных чисел формируются две выборки показателей однородности хи-квадрат  $Z(k_1)$  и  $Z(k_2)$ , содержащих информацию об аномальных участках. Таким же методом исследуются усредненные матрицы дисперсий флуктуации и ковариаций, обрабатываются показатели их однородности и выделяются текстуры.

Эффективность рассмотренного метода зависит от выбора площади подвижного окна, поиска его оптимальных размеров. Основным методом – это метод перебора вариантов и сжатие матриц цифровых изображений, используя суммарно-разностные преобразования исходной матрицы  $X(i, j)$ . Выделим из нее матрицу 2x2 и запишем ее в виде

$$\begin{vmatrix} X(i-1, j-1) & X(i-1, j) \\ X(i, j-1) & X(i, j) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} X(2k_1-1, 2k_2-1) & X(2k_1-1, 2k_2) \\ X(2k_1, 2k_2-1) & X(2k_1, 2k_2) \end{vmatrix}$$

Эта матрица характеризуется двумя показателями средним значением ее элементов и средним значением их разности.

Средние значения суммы и разности равны

$$\overline{X}(k_1, k_2) = \frac{1}{4} [X(2k_1-1, 2k_2-1) + X(2k_1, 2k_2) + (X(2k_1, 2k_2-1) + X(2k_1-1, 2k_2))]$$

$$\overline{\Delta X}(k_1, k_2) = \frac{1}{2} [X(2k_1-1, 2k_2-1) - X(2k_1, 2k_2) + (X(2k_1, 2k_2-1) - X(2k_1-1, 2k_2))]$$

Средние значения и разности – это матрицы, содержащие информацию о медленных изменениях и флуктуациях яркости. Их статистические обработки позволяют выделить текстуру путем визуально-аналитического анализа гистограммных показателей средних значений дисперсий и ковариаций.

### **Выводы**

Предложено решение задачи исследования цифровых изображений недоступных для наблюдения поверхностей технических объектов неразрушающего контроля путем сжатия матрицы измерений цифрового изображения и разделение ее на три матрицы: первая – медленно изменяющиеся измерения, и вторая и третья характеризующиеся высокочастотными измерениями (флуктуациями). Их статистические обработки позволяют выделить текстуру путем визуально-аналитического анализа гистограммных показателей средних значений дисперсий и ковариаций. Для сжатия используется метод сканирования скачкообразным подвижным окном или метод суммарно-разностного преобразования. Полученные матрицы обрабатываются путем сравнительного анализа гистограммных выборок их строк и столбцов и оценки однородности с использованием критерия хи-квадрат. Проверяется гипотеза об идентичности статистических закономерностях измерений строк и столбцов матриц, а также определение тех, которые не удовлетворяют этим требованиям. Таким образом, в условиях отсутствия эталонов, путем сканирования и сжатия матриц скачкообразным подвижным окном и последующей сравнительной обработки гистограмм строк и столбцов выделяются текстуры цифровых изображений, используя критерий хи-квадрат

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Прэтт У. Цифровая обработка изображений // У. Прэтт / М.: Мир. – 1982. – 312с.
2. Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений // В.Т. Фисенко, Т.Ю. Фисенко / СПб. – 2008. – 192с.

Т.А. Манько, И.А. Гусарова, К.В. Козис

## **КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ВИЗУАЛЬНО НЕДОСТУПНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

*Аннотация. Рассматривается визуально-аналитический метод контроля состояния визуально ненаблюдаемых поверхностей технических объектов путем компьютерной обработки их цифровых изображений.*

*Ключевые слова: визуально-аналитический метод, цифровое изображение, яркость, матрица измерений, гистограмма.*

### **Постановка задачи**

Цифровые изображения поверхностей технических объектов содержат информацию об их состоянии и качестве. Это матрицы цифровых показателей яркости, состоящие из конечного числа элементов – измерений. В прямоугольной системе координат присваивается два числа ( $i$  и  $j$ ), так что цифровое изображение описывается матрицей измерений яркости  $X(i, j)$ , от белого, серого и до черного.

Исследование цифровых изображений начинается с понимания их как зрительных образов. Эти образы хотя и носят субъективный характер, но позволяет различать малую, среднюю и большую интенсивность яркости, очертить их границы и линии контуров. Таким образом, можно выделять из множества цифровых изображений похожие друг на друга, то есть их классифицировать, например, выделять «нормальные» и «аномальные» по тем или иным признакам. Субъективность такого разделения очевидна и требует своего подтверждения путем статистической обработки матриц измерений как случайных величин с неизвестными статистическими закономерностями.

Обработка множества цифровых изображений поверхности одного объекта контроля производится в два этапа. Первый этап – это визуальный анализ рассмотрения экспериментальных цифровых изображений и разделения на два класса: однотонные изображения различной освещенности (серости) и отличные от них с различным искажением однотонности. Для повышения эффективности анализа цифровых изображений визуально изучали не только изображения,

но и их гистограммы. Это вероятное распределение яркости каждой матрицы от 0 до 256 единиц измерения яркости.

### Визуальный анализ экспериментальных цифровых изображений

Контролировались невидимые поверхности трех однотонных объектов большой площади, так что информация об их состоянии содержалась в цифровых изображениях множества участков каждой поверхности. На рисунках 1 и 2 показаны два цифровых изображения и их цветные гистограммы (первый – в «норме», второй – «аномальный»).

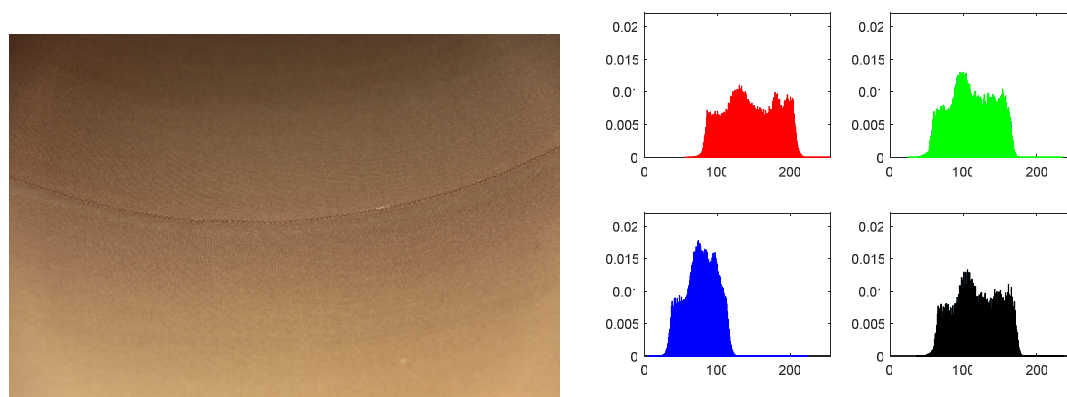


Рисунок 1 - Цифровое изображение и его гистограммы «нормальной» поверхности

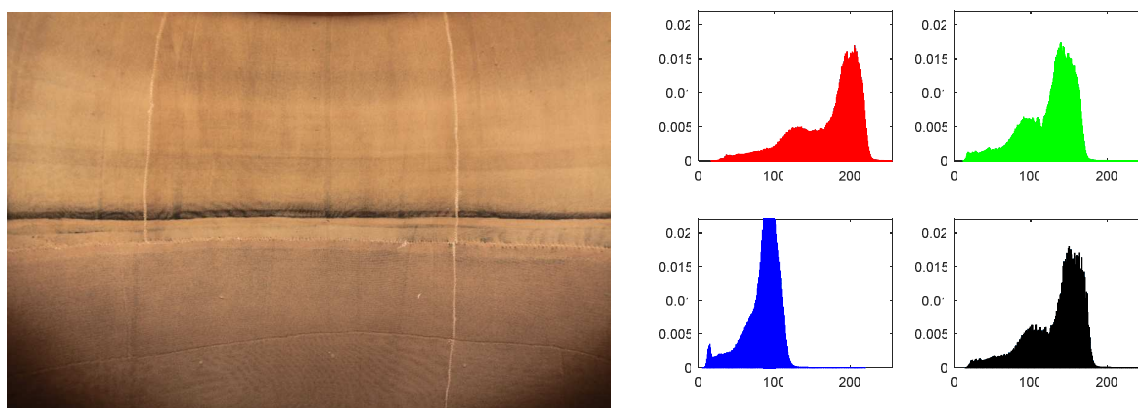


Рисунок 2 - Цифровое изображение и его гистограммы «аномальной» поверхности

Проведение визуального анализа и разделение цифровых изображений на классы зависит от опыта, навыков и знаний оператора. В нашем случае это делалось впервые на основе только теоретических знаний. Цифровое изображение невидимых поверхностей технических объектов – это матрицы измерений случайных величин, иска-

женных помехами и измерительным шумом. Один из методов ослабления их влияния на эффективность визуального исследования – одновременно анализировать как цифровые изображения, так и гistogramмы их измерений. Это график сжатого представления измерений матрицы: как часто каждое измерение повторяется. На графиках рис. 1-2 число их появления каждого разделено на общее число измерений матрицы.

Анализ всех гistogramм исследованных изображений позволил сделать вывод о том, что цветные гistogramмы содержат такую же информацию исследуемой поверхности, как и гistogramмы не цветных (серых) цифровых изображений. Поэтому при визуальном анализе рассматривались только серые гistogramмы цифровых изображений.

По результатам визуального анализа цифровых изображений трех поверхностей однотонных объектов были сделаны следующие выводы:

1) цифровые изображения нормальных участков всех трех поверхностей обладают одинаковыми признаками «схожести», изображения их однотонные, одинаковые по цвету, у них нет сильно выраженных темных и белых пятен;

2) на аномальных цифровых изображениях, на их сером фоне проявляются белые и черные участки разной формы и различной яркости.

### **Компьютерная обработка цифровых изображений**

Результаты и выводы визуального анализа должны подтверждаться путем статистической обработки матриц измерений цифровых изображений. Это оценки математических ожиданий, дисперсии и статистические закономерности измерений яркости. Это средние значения измерений, их разброс (корень квадратный из выборочной дисперсии) и гistogramма. Это сжатая информация о цифровом изображении в виде оценок их двух параметров и графика в виде гistogramмы. Они были получены с помощью специальной компьютерной программы. У гistogramмы оценивались следующие параметры:

1) минимальное и максимальное значения яркости как значения черного и белого;

2) их среднее значение, как центр разброса измерений;

3) их разность как максимальное значение разброса измерений исследуемого цифрового изображения.

Все статистические данные нормальных поверхностей сводятся в таблицы 1.1 – 1.3

Таблица 1.1

Интегральная оценка состояния цифровых изображений поверхности первого технического объекта

| Номер<br>ЦИ | Оценка матрицы<br>измерений |              | Оценка параметров гистограммы |            |                                 |                       |
|-------------|-----------------------------|--------------|-------------------------------|------------|---------------------------------|-----------------------|
| №           | $\bar{X}$                   | $\sqrt{D^*}$ | $X_{\min}$                    | $X_{\max}$ | $\frac{X_{\min} + X_{\max}}{2}$ | $X_{\max} - X_{\min}$ |
| 1.1         | 106                         | 28           | 23                            | 173        | 98                              | 150                   |
| 1.2         | 103                         | 27           | 24                            | 168        | 96                              | 144                   |
| 1.3         | 118                         | 31           | 51                            | 179        | 115                             | 128                   |
| 1.4         | 90                          | 10           | 64                            | 116        | 90                              | 52                    |
| 1.5         | 114                         | 36           | 44                            | 181        | 112,5                           | 137                   |
| 1.6         | 108                         | 35           | 48                            | 176        | 112                             | 128                   |
| 1.7         | 103                         | 23           | 54                            | 155        | 104,5                           | 101                   |
| 1.8         | 101                         | 17           | 67                            | 135        | 101                             | 68                    |
| 1.9         | 107                         | 33           | 44                            | 143        | 93,5                            | 99                    |
| 1.10        | 122                         | 48           | 38                            | 180        | 109                             | 142                   |
| 1.11        | 114                         | 29           | 26                            | 208        | 117                             | 182                   |
| 1.12        | 108                         | 25           | 53                            | 179        | 116                             | 126                   |
| 1.13        | 103                         | 27           | 53                            | 161        | 107                             | 108                   |
| 1.14        | 107                         | 21           | 52                            | 157        | 104,5                           | 105                   |
| 1.15        | 106                         | 11           | 53                            | 149        | 101                             | 96                    |
| 1.16        | 111                         | 30           | 79                            | 137        | 108                             | 58                    |
| 1.17        | 124                         | 33           | 45                            | 164        | 104,5                           | 119                   |
| 1.18        | 113                         | 21           | 43                            | 179        | 111                             | 136                   |
| 1.19        | 129                         | 43           | 24                            | 157        | 90,5                            | 133                   |
| 1.20        | 119                         | 28           | 39                            | 202        | 120,5                           | 163                   |
| 1.21        | 112                         | 25           | 60                            | 183        | 121,5                           | 123                   |

**Интегральная оценка состояния цифровых изображений поверхности второго технического объекта**

| Номер<br>ЦИ | Оценка матрицы<br>измерений |              | Оценка параметров гистограммы |            |                                 |                       |
|-------------|-----------------------------|--------------|-------------------------------|------------|---------------------------------|-----------------------|
|             | $\bar{X}$                   | $\sqrt{D^*}$ | $X_{\min}$                    | $X_{\max}$ | $\frac{X_{\min} + X_{\max}}{2}$ | $X_{\max} - X_{\min}$ |
| 2.1         | 101                         | 25           | 15                            | 160        | 87,5                            | 145                   |
| 2.2         | 110                         | 23           | 16                            | 155        | 85,5                            | 139                   |
| 2.3         | 109                         | 19           | 16                            | 151        | 83,5                            | 135                   |
| 2.4         | 104                         | 18           | 30                            | 149        | 89,5                            | 119                   |
| 2.5         | 116                         | 31           | 9                             | 161        | 85                              | 152                   |
| 2.6         | 112                         | 19           | 22                            | 147        | 84,5                            | 125                   |
| 2.7         | 109                         | 23           | 20                            | 157        | 88,5                            | 137                   |
| 2.8         | 110                         | 23           | 23                            | 154        | 88,5                            | 131                   |
| 2.9         | 114                         | 24           | 20                            | 155        | 87,5                            | 135                   |
| 2.10        | 115                         | 26           | 16                            | 158        | 87                              | 142                   |
| 2.11        | 113                         | 33           | 11                            | 171        | 91                              | 160                   |
| 2.12        | 104                         | 21           | 19                            | 147        | 83                              | 128                   |
| 2.13        | 111                         | 23           | 20                            | 159        | 89,5                            | 139                   |
| 2.14        | 99                          | 22           | 20                            | 147        | 83,5                            | 127                   |
| 2.15        | 106                         | 22           | 23                            | 150        | 86,5                            | 127                   |
| 2.16        | 117                         | 25           | 23                            | 157        | 90                              | 134                   |
| 1.17        | 111                         | 21           | 23                            | 157        | 90                              | 134                   |
| 2.18        | 114                         | 29           | 12                            | 166        | 12                              | 154                   |
| 2.19        | 114                         | 33           | 7                             | 165        | 86                              | 158                   |
| 2.20        | 113                         | 21           | 24                            | 158        | 91                              | 134                   |
| 2.21        | 120                         | 21           | 35                            | 159        | 97                              | 124                   |
| 2.22        | 115                         | 24           | 27                            | 170        | 98,5                            | 143                   |
| 2.23        | 123                         | 30           | 33                            | 179        | 106                             | 146                   |

**Интегральная оценка состояния цифровых изображений поверхности третьего технического объекта**

| Номер<br>ЦИ | Оценка матрицы<br>измерений |              | Оценка параметров гистограммы |            |                                 |                       |
|-------------|-----------------------------|--------------|-------------------------------|------------|---------------------------------|-----------------------|
|             | $\bar{X}$                   | $\sqrt{D^*}$ | $X_{\min}$                    | $X_{\max}$ | $\frac{X_{\min} + X_{\max}}{2}$ | $X_{\max} - X_{\min}$ |
| 3.1         | 110                         | 18           | 26                            | 146        | 86                              | 120                   |
| 3.2         | 113                         | 23           | 23                            | 162        | 92,5                            | 139                   |
| 3.3         | 121                         | 29           | 15                            | 170        | 92,5                            | 155                   |
| 3.4         | 117                         | 27           | 18                            | 160        | 89                              | 142                   |
| 3.5         | 115                         | 24           | 24                            | 161        | 92,5                            | 137                   |
| 3.6         | 119                         | 24           | 22                            | 162        | 92                              | 140                   |
| 3.7         | 114                         | 22           | 30                            | 154        | 92                              | 124                   |
| 3.8         | 122                         | 12           | 57                            | 150        | 103,5                           | 93                    |
| 3.9         | 102                         | 23           | 30                            | 149        | 89,5                            | 119                   |
| 3.10        | 114                         | 19           | 57                            | 147        | 102                             | 90                    |
| 3.11        | 123                         | 23           | 30                            | 164        | 97                              | 134                   |
| 3.12        | 124                         | 26           | 22                            | 165        | 93,5                            | 143                   |
| 3.13        | 123                         | 22           | 25                            | 164        | 94,5                            | 139                   |
| 3.14        | 117                         | 22           | 26                            | 156        | 91                              | 130                   |
| 3.15        | 111                         | 20           | 23                            | 151        | 87                              | 128                   |

Эти показатели характеризуют источник освещенности и отражательные свойства цифровых изображений класса «нормы». Их можно сравнивать между собой и определять цифровые изображения, которые отличаются от большинства в своем классе «норма».

Для оценки отражательных свойств всей поверхности можно использовать усредненные значения средних оценок исследуемой поверхности

$$\overline{\overline{X}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_1} \overline{X}(i, j), \quad \overline{\overline{D^*}} = \frac{1}{N_1} \sum_{i=1}^{N_1} \left( \overline{X}(i, j) - \overline{\overline{X}} \right)^2,$$

где  $N_1$  – число цифровых изображений первой поверхности

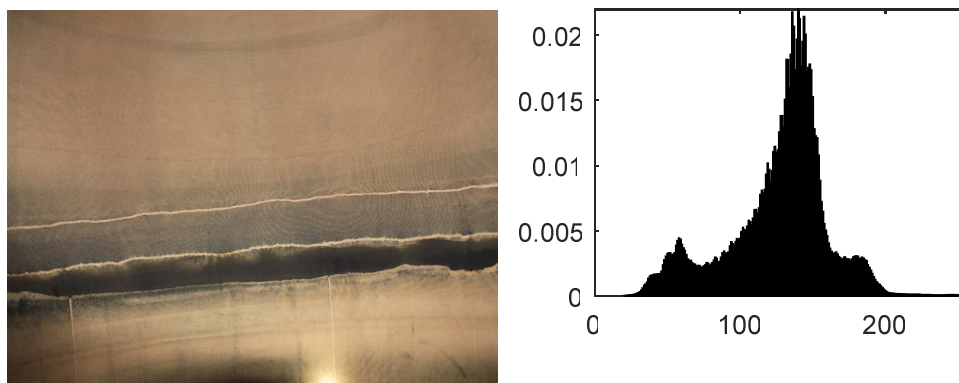
Их используют для обнаружения цифровых изображений, не относящихся к первому классу. Если какое-либо среднее  $\overline{X}(i)$  не удовлетворяет неравенству

$$\overline{\overline{X}} - 2\sqrt{\overline{\overline{D^*}}} \leq \overline{X}(i) \leq \overline{\overline{X}} + 2\sqrt{\overline{\overline{D^*}}},$$

то это  $\overline{X(i)}$  исключается из первого класса и повторно измеряется этот участок поверхности.

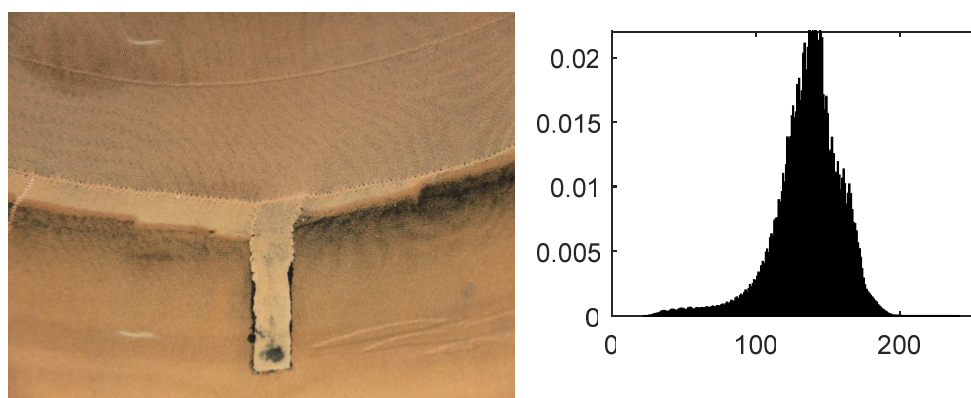
Высокую информативность имеет гистограммный метод при выделении цифровых изображений. В этом можно убедиться, рассмотрев четыре вида «аномальных» изображений представленных на рис. 3.

### Усиленная пробивка ткани резиной



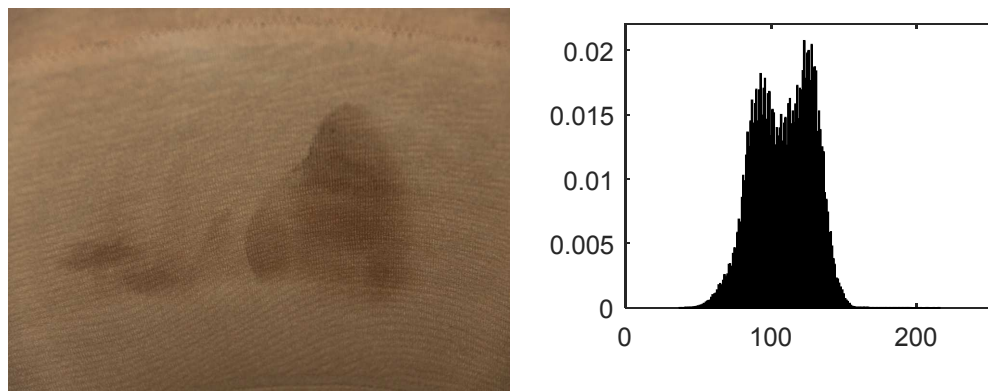
а)

### Складки



б)

### Пятна



в)

### Выпуклость

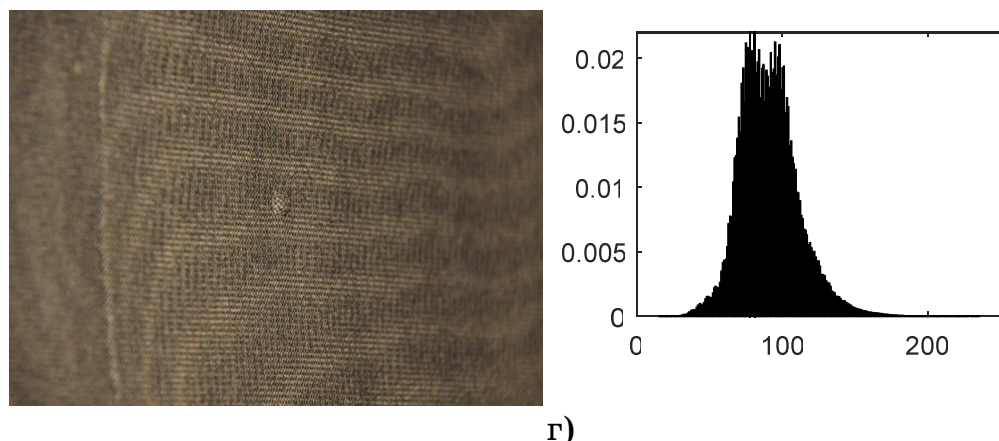


Рисунок 3 - Аномальные цифровые изображения и их гистограммы, где а) усиленная пробивка ткани резиной; б) складки; в) пятна; г) выпуклость

Из их анализа следует подтверждение информативности гистограммного метода при выделении и классификации «аномальных» цифровых изображений.

### Выводы

В условиях недостатка априорных данных об информативности и статистических закономерностях экспериментальных матриц измерений яркости цифровых изображений разрабатываемых и недоступных для наблюдения технических объектов контроль их состояния и качества должен проводиться комплексно и поэтапно. На первом этапе путем визуального анализа цифровых изображений проводится их классификация с выделением класса «аномальных» цифровых изображений и класса изображений, контролируемые поверхности которых считаются в норме. На втором этапе путем статистической обработки матриц измерений формируются данные для визуально-аналитического анализа и проверки гипотез о состоянии контролируемых поверхностей технических объектов и подтверждения результатов их классификации путем визуального исследования цифровых изображений.

По этим данным можно сравнивать также состояние и качество поверхностей технических объектов, технологии их разработки.

### ЛИТЕРАТУРА

1. В.Т. Фесенко, Т.Ю. Фисенко, Компьютерная обработка и распознавание изображений: учеб. пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. - М.: Техносфера, 2005. - 1072 с.

А.А. Сенько, А.И. Купин

## **КЛАСТЕРИЗАЦИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ РАБОТЫ СЕКЦИИ ОБОГАЩЕНИЯ**

*Аннотация. Исследованы возможности использования различного математического аппарата для создания моделей оперативного прогнозирования. Созданные модели позволяют получить результаты, адекватные задачам оперативного управления производственными процессами. Нелинейная зависимость производительности от коэффициента шаровой загрузки позволяет получить приемлемые показатели производительности при снижении расхода шара до 5%.*

*Ключевые слова: data mining, кластеризация, обогащение, Scada.*

Процесс измельчения сырья, который широко используется в различных отраслях промышленности, характеризуется высокой ресурсоемкостью и во многом определяет качество дальнейшей переработки сырья. Однако существующий уровень автоматизации процессов измельчения не обеспечивает ведения стабильного и оптимального по параметрам процесса.

На сегодняшний день уровень автоматизации процессов измельчения на различных предприятиях изменяется от практически нулевого уровня до достаточно развитых систем интеллектуальной поддержки управлением процесса измельчения. При этом наиболее типичные задачи автоматизации решаются посредством введения контуров стабилизации соответствующих технологических параметров: стабилизация расхода руды в мельнице; стабилизация соотношения «руда-вода» посредством подачи воды в мельницу; стабилизация плотности слива классифицирующего аппарата (классификатора или гидроциклона) подачей дополнительной воды в классификатор или зумпф.

Примерно в 95% случаев автоматизация процессов измельчения ограничивается этими задачами. Однако решения, которые существуют на сегодняшний день, не полностью удовлетворяют как технологов, так и инвесторов.

Одним из методов повышения эффективности автоматизации измельчения, который позволяет отследить в определенной мере изменяющиеся свойства руды и условия измельчения, является контроль объемного заполнения мельницы рудой.

Стабилизируя объемное заполнение на заданном уровне, можно в определенной степени подстраивать текущую производительность под изменяющиеся условия. Поддерживая объемное заполнение на максимально возможном уровне, можно добиться следующих результатов:

- использовать мельницу в режиме максимально возможной в данных условиях производительности;
- снизить абсолютный и удельный расход электроэнергии, что объясняется известным положением, утверждающим, что минимум энергии разрушения достигается при максимуме возможного объемного заполнения;
- стабилизация объемного заполнения в определенной степени стабилизирует циркуляционную нагрузку. Это объясняется тем, что последняя состоит из двух частей: циркуляционного объема, находящегося в мельнице и объема, находящегося в контуре классифицирующего аппарата. Стабилизация циркуляционной нагрузки в некоторой степени улучшает стабилизацию плотностного режима при поддержании соотношения «руда-вода».

К сожалению, прямые методы контроля объемного заполнения мельницы рудой отсутствуют. С другой стороны, существует ряд косвенных методов измерения объемного заполнения мельницы рудой.

В работе [2] описан способ автоматического контроля заполнения мельниц с помощью магнитомодуляционных датчиков.

Достоинством магнитомодуляционного датчика является возможность индикации угла отрыва шаров в мельнице. Недостатками датчика являются низкая надежность вследствие наличия скользящего контакта и токосъемных шин для передачи информации, необходимость переделки футеровки мельницы, громоздкость, сложность и высокая стоимость оборудования, износ немагнитной вставки в футеровке мельницы.

В [2] приводится описание радио-телеизмерительного датчика шума мельницы, предназначенного для регистрации степени заполнения мельниц рудой.

Радиотелеметрический способ контроля загрузки мельниц дает невысокую точность вследствие того, что модуляция телеизмерительного датчика возникает раньше, чем датчик входит в зону перехода шаров с круговых траекторий на параболические и в зону перехода шаров с параболических траекторий на круговые, и оканчивается позже, чем датчик выходит из этих зон.

Кроме того, РИЗМ не удалось применить для автоматического контроля загрузки рудой шаровых мельниц из-за особенности их работы в водопадном режиме. Эти недостатки не позволяют применять РИЗМ для надежного определения загрузки рудой мельниц мокрого самоизмельчения и шаровых мельниц. Авторами работы [4] предлагается контролировать шаровую загрузку мельницы по активной мощности приводного двигателя мельницы. Угол отклонения центра тяжести определяется силами внутреннего трения в мельнице, которые зависят от физико-механических свойств исходной руды, плотности пульпы в мельнице, профиля и степени износа футеровки и другими факторами. Поскольку в процессе нормальной работы мельницы вышеуказанные факторы являются переменными величинами, силы внутреннего трения изменяются, и однозначно судить о шаровой загрузке мельницы только по активной мощности приводного двигателя мельницы не представляется возможным [5].

Процесс измельчения материала в шаровой мельнице сопровождается излучением звуковой энергии, возникающей из-за соударений шаров и материала друг с другом и о футеровку. Считается, что сила звука, излучаемого мельницей, зависит от величины загрузки мельницы рудой [6].

Одним из известных методов является контроль акустического или вибрационного шума мельницы. Наиболее известными являются разработки ОАО «Союзцветметавтоматика» «Звук-7» (акустический шум) и УРК-3 (вибрационный шум). Развитием этих разработок является виброакустический анализатор ВАЗМ-1, который является универсальным интеллектуальным прибором нового поколения, реализованном на базе РС-совместимого контроллера.

Прибор использует три типа шумовых параметров: акустический шум, вибрационный шум, энергетический шум. Однако, некоторое повышение точностных характеристик прибора достигается за счет обработки трех видов сигналов, а не за счет формирования ин-

формативных признаков для контроля объемного заполнения мельниц рудой.

Вышесказанное подтверждает вывод о целесообразности выбора и разработки перспективных методов контроля технологических объектов управления по процессам, сопровождающим функционирование технологических объектов управления.

Принципиально новые возможности получения эмпирической информации об обогатительных процессах открываются с внедрением на обогатительных предприятиях автоматизированных систем оперативного диспетчерского управления и сбора данных (Supervisory Control And Data Acquisition – SCADA-систем). Основной аспект новизны описываемой технологии заключается в интеграции созданных авторами моделей и средств компьютерного моделирования инженерных задач с действующими на промышленных предприятиях SCADA-системами с целью расширения их функциональных возможностей адаптивными средствами оперативного прогнозирования.

С целью обнаружения «скрытых» связей между параметрами производственного процесса обогащения руды, которые могут влиять на его ход, были использованы методы Data Mining.

Для формирования моделей отображения пространства входов производственного процесса обогащения сырья на пространство его выходов проведена обработка на примере данных работы мельницы, собранных на протяжении месяца. Фрагмент данных приведен в таблице 1.

Таблица 1

Статистика работы мельницы

| 0-10  | 10-20 | +20   | K    | Fe    | Fe mag | Q ore |
|-------|-------|-------|------|-------|--------|-------|
| 60,3  | 26    | 13,7  | 46,5 | 29,87 | 20,45  | 139   |
| 45    | 41    | 14    | 43,5 | 29,87 | 20,45  | 135   |
| 38,5  | 54,9  | 16,4  | 40,5 | 31,62 | 22,2   | 134   |
| 29,1  | 53,7  | 17,2  | 43,5 | 31,62 | 22,2   | 124   |
| 47,44 | 39,08 | 13,48 | 46,5 | 31,47 | 22,08  | 133   |
| 38,4  | 46,84 | 14,16 | 43,5 | 31,47 | 22,08  | 121   |
| 40,89 | 42,35 | 16,76 | 43,5 | 32,88 | 23,28  | 113   |
| 37,6  | 40,77 | 21,63 | 46,5 | 32,88 | 23,28  | 99    |

Всего было произведено 95 замеров по 7 параметрам (классу крупности, коэффициенту шаровой загрузки мельницы, содержанию

железа, содержанию магнитного железа и производительности мельницы).

Отобранные параметры были подвергнуты кластерному анализу. После обработки данных используя the Microsoft Clustering algorithm было получено 5 кластеров. Профили полученных кластеров представлены в таблице 2. Из них выделены те, в которых параметр производительности приобретает максимальные значения. Данным требованиям отвечают Cluster 2 и Cluster 3. Cluster 3 имеет более высокие значения показателя  $Q_{ore}$  с учетом отклонения от среднего значения, поэтому его параметры были выбраны в качестве оптимальных для работы секции обогащения.

На основе анализа ретроспективных данных мониторинга проводится классификация (кластеризация) пространств входов и выходов с целью выделения областей, соответствующих определенным состояниям процесса. В пространстве  $Y$  (выходы) определяются области «желаемых» исходов  $Y^+$ , соответствующие регламентным значениям как характеристик продуктов разделения, так и параметров процесса. Структура базы данных мониторинга позволяет определить для каждой представленной в базе «точки»  $Y_i$  пространства  $Y$  соответствующую ей «точку»  $X_i$  пространства  $X$  (входы). С практической точки зрения это означает, что по данным мониторинга всегда можно определить, при каких условиях был получен тот или иной результат. Следующим шагом технологии является формирование моделей, описывающих отображения областей пространства  $X$  в области пространства  $Y$ . Полученные модели при оперативном управлении обеспечивают предсказание характеристик выходов  $Y_t$  по текущим значениям входов  $X_t$ , а в случае негативного прогноза позволяют оперативно определить наиболее рациональный вариант воздействия на процесс, обеспечивающий возвращение выходных характеристик к требуемым значениям.

Таблица 2

| Cluster profiles |           |            |        |        |        |        |        |
|------------------|-----------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Variabl<br>es    | States    | Population | Cl 1   | Cl 2   | Cl 3   | Cl 5   | Cl 4   |
| Size             |           | 66         | 23     | 19     | 10     | 7      | 7      |
| _20              | Mean      | 15,15      | 17,02  | 14,11  | 11,63  | 18,89  | 13,57  |
| _20              | Deviation | 3,93       | 3,99   | 2,4    | 3,75   | 3,4    | 1,57   |
| 0_10             | Mean      | 44,4       | 37,59  | 44,54  | 59,73  | 35,63  | 50,4   |
| 0_10             | Deviation | 11,54      | 9,53   | 5,91   | 11,29  | 7,5    | 5,65   |
| 10_20            | Mean      | 40,63      | 45,4   | 42,02  | 28,49  | 45,51  | 36,03  |
| 10_20            | Deviation | 9,54       | 8,49   | 6,24   | 9,7    | 5,9    | 5      |
| Fe mag           | Mean      | 21,96      | 21,84  | 22,2   | 21,84  | 22,34  | 21,54  |
| Fe mag           | Deviation | 0,42       | 0,05   | 0,12   | 0,22   | 0,67   | 0,75   |
| Fe               | Mean      | 31,28      | 31,13  | 31,58  | 31,14  | 31,76  | 30,8   |
| Fe               | Deviation | 0,5        | 0,15   | 0,14   | 0,27   | 0,8    | 0,8    |
| Q ore            | Mean      | 129        | 124,53 | 135,55 | 136,37 | 112,89 | 129,36 |
| Q ore            | Deviation | 11,48      | 7,51   | 6,92   | 7,65   | 17,23  | 8,32   |
| К                | 43,5      | 37         | 0,602  | 0,456  | 0,339  | 0,86   | 0,7    |
| К                | 46,5      | 17         | 0,398  | 0,264  | 0,095  | 0,14   | 0,177  |
| К                | 40,5      | 12         | 0      | 0,279  | 0,566  | 0      | 0,123  |
| К                | missing   | 0          | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |

Специфика задач формирования моделей обогащительных процессов предполагает реализацию большого объема вычислений. В связи с этим актуально определение наиболее рациональных вариантов организации вычислительного процесса. Для решения обозначенной проблемы предложена концепция и архитектура информационной системы, которая должна обеспечить интегрированное представление и систематизацию классов решаемых задач и разнородных исполнителей (используемых программных средств).

### Выводы

Исследованы возможности использования различного математического аппарата для создания моделей оперативного прогнозирования. Наличие больших объемов данных, полученных в результате функционирования SCADA-систем, обеспечивает создание и практическое применение моделей, основанных на методах Data Mining в сочетании с методами нейронных сетей и нечеткой логики. В ходе анализа были выделены кластеры высокого уровня производительности мельницы. Для получения кластеров использованы Microsoft Clustering algorithm (включающие метод the Expectation

Maximization и K-means clustering). Созданные модели позволяют получить результаты, адекватные задачам оперативного управления производственными процессами. Нелинейная зависимость производительности от коэффициента шаровой загрузки позволяет получить приемлемые показатели производительности при снижении расхода шара до 5%. Наиболее рациональным для прогнозирования многостадийных схем обогащения минерального сырья представляется вариант комбинированных решений, предполагающий совместное использование разнотипных моделей для различных состояний обогатительного процесса или различных операций технологических схем.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Улитенко К.Я. Автоматизация процессов измельчения в обогащении и металлургии / К.Я. Улитенко // Цветные металлы. Специальный выпуск. - 2005. - № 10. - С. 54-60.
2. Гринман И.Г. Измерения степени загрузки мельницы рудой с помощью телеизмерительного датчика / И.Г. Гринман, Ж.М. Сакбаев, Ж.Р. Жотобаев // Обогащение руд. - 1962. - №1. - С. 27-29.
3. Гейзенблазен Б.Е. Разработка и исследования радиоизотопного измерителя заполнения мельниц мокрого самоизмельчения / Б.Е. Гейзенблазен, Л.Т. Лорман, М.Н. Левченко // Обогащения руд. - 1978. - №2. - С.38-41.
4. Гончаров Ю.Г. Автоматический контроль и регулирование технологических процессов на железорудных обогатительных фабриках / Ю.Г. Гончаров, А.С. Давидкович, Б.Е.Гейзенблазен. - М.: Недра, 1968. - 277 с.
5. Марюта А.Н. Зависимости энергетических параметров электродвигателя шаровой мельницы от загрузки ее шарами и измельчаемым материалом / А.Н. Марюта, Е.В. Кочура // Известия ВУЗов. Горный журнал. - 1973. - №2. - С. 23-28.
6. Утеуш Э.В. Управление измельчительными агрегатами / Э.В. Утеуш, З.В. Утеуш - М.: Машиностроение, 1973. - 280 с.

Ю.Е. Харламов, Лю Ли, А.В. Безуглый, В.А. Безуглый,

А.В. Николенко, О.В. Замковой, А.Н. Овчарук

**ИННОВАЦИОННАЯ СХЕМА КОММУТАЦИИ  
КОРОТКОЙ СЕТИ СОВРЕМЕННЫХ  
РУДОВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ**

*Анотація. Наведено параметри рудовідновних печі, призначеної для виробництва феронікелю. Дана характеристика пічного трансформатора з глибоким введенням 110 кВ потужністю 48 МВ.А з широким діапазоном вторинної напруги, що дозволяє працювати з високим коефіцієнтом використання встановленої потужності. Запропоновано схему розщепленої фази, що складається з 4-х вторинних обмоток з їх подальшою комутацією, що забезпечує мінімальну кількість комутуючих елементів і мінімальний струм комутації.*

*Ключові слова: рудовідновних піч, феронікель, глибокий введення, пічної трансформатор, комутація, розщеплена фаза.*

Дальнейшее развитие электротермического производства ферросплавов базируется на строительстве и внедрении печных агрегатов повышенной единичной мощности, работающих как на переменном, так и на постоянном токе в зависимости от качества исходного сырья и выплавляемых сплавов [1–3].

При разработке параметров таких печей особое внимание уделяется конструкции футеровки, обеспечивающей их надежную эксплуатацию на протяжении десятилетий без капитальных ремонтов [4–5], системам токоподвода и компенсации реактивной мощности, позволяющим значительно снизить удельный расход электроэнергии на единицу производимой продукции, и системам очистки пылегазовых смесей, выделяющихся при протекании восстановительных процессов, их полной утилизации в собственном производстве или смежных отраслях промышленности.

Наличие дешевой электроэнергии и сырья – основных условий, определяющих рентабельность электротермии, и запрет некоторыми государствами его экспортировать, обусловили необходимость и воз-

возможность интенсивного развития производства ферросплавов в странах Юго-Восточной Азии – Китае, Индонезии, Индии, Малайзии и др.

В 2011 году в городе Хуа-Хуа (КНР) был введен в эксплуатацию завод по производству ферроникеля в составе двух рудотермических печей мощностью по 48 МВ·А каждая, производства компании Sinosteel, четырех вращающихся трубчатых печей и четырех конвертеров. Техническая характеристика рудотермической печи приведена в таблице 1.

Таблица 1

## Характеристика рудовосстановительной электропечи

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Мощность печи, МВ·А                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 48                                                                                             |
| Номинальная мощность трансформатора, МВ·А                                                                                                                                                                                                                                                                         | 16                                                                                             |
| Количество трансформаторов, шт.                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 3                                                                                              |
| Первичное напряжение, кВ                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 110                                                                                            |
| Пределы вторичного линейного напряжения, В:<br>- при последовательном включении вторичных обмоток<br>- при параллельном включении вторичных обмоток                                                                                                                                                               | 800 – 340<br>400 – 170                                                                         |
| Число ступеней трансформатора                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 24                                                                                             |
| Охлаждение трансформатора                                                                                                                                                                                                                                                                                         | масляно-водяное                                                                                |
| Электроды:<br>- тип электродов<br>- количество электродов, шт.<br>- диаметр электродов, мм<br>- диаметр распада электродов, мм<br>- скорость перемещения электродов, мм/мин<br>- ход электродов, мм                                                                                                               | самообжигающиеся<br>3<br>1500<br>4200<br>200 – 300<br>1000                                     |
| Режим плавки                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | непрерывный                                                                                    |
| Исходный загружаемый материал                                                                                                                                                                                                                                                                                     | моношихта (ога-рок)                                                                            |
| Ванна печи:<br>- форма<br>- диаметр ванны, мм<br>- высота ванны от пода до свода, мм<br>- количество выпускных отверстий для выпуска шлака<br>- диаметр выпускного отверстия шлаковой летки, мм<br>- количество выпускных отверстий для выпуска металла<br>- диаметр выпускного отверстия металлической летки, мм | круглая<br>15240<br>7000<br>2<br>70<br>2<br>70<br>150<br>350 – 450<br>600 – 650<br>1000 – 1100 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- уровень оси летки для выпуска металла (от пода печи), мм</li> <li>- уровень расплава металла, мм</li> <li>- уровень оси летки для выпуска шлака (от пода печи), мм</li> <li>- уровень расплава шлака, мм</li> <li>- уровень слоя твердой шихты, мм</li> <li>- высота подсводного пространства, мм</li> </ul>                     | 4500 – 4900<br>1500 – 2000                                                                                    |
| <b>Футеровка ванны печи:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- рекомендуемый материал в рабочей зоне печи</li> <li>- температура футеровки, °С: <ul style="list-style-type: none"> <li>· в зоне металлической ванны (стены и подина)</li> <li>· в зоне шлакового пояса</li> <li>· в зоне твердой шихты</li> <li>· в подсводном пространстве</li> </ul> </li> </ul> | периклазо-<br>углеродистые ог-<br>неупоры<br>не более 1500<br>не более 1650<br>не более 1200<br>не более 1000 |
| <b>Свод печи:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- форма</li> <li>- рекомендуемый материал футеровки</li> <li>- рабочее разряжение под сводом печи, Па</li> <li>- температура колошникового газа, °С</li> </ul>                                                                                                                                                   | плоская<br>шамот, диас<br>2 – 5<br>800 – 1000                                                                 |
| <b>Количество патрубков на своде:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- для отвода газов, шт.</li> <li>- для подачи шихты, шт.</li> <li>- смотровые люки, шт.</li> </ul>                                                                                                                                                                                           | 1<br>27 – 30<br>2 – 3                                                                                         |
| <b>Производительность печи (по огарку), т/ч</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>65 – 70</b>                                                                                                |

Как указано в характеристике, каждая печь имеет по 3 одно-фазных трансформатора по 16 МВ·А. Характеристика трансформатора приведена в таблице 2.

Таблица 2

Характеристика печного трансформатора

| Ступени транс-<br>форматора | Номинальная<br>мощность, кВА | Номинальное<br>напряжение, В | Номинальная<br>сила тока, А |
|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1                           | 16000                        | 800/400                      | 20000/40000                 |
| 2                           | 15600                        | 780/390                      | 20000/40000                 |
| 3                           | 15200                        | 760/380                      | 20000/40000                 |
| 4                           | 14800                        | 740/370                      | 20000/40000                 |
| 5                           | 14400                        | 720/360                      | 20000/40000                 |
| 6                           | 14000                        | 700/350                      | 20000/40000                 |
| 7                           | 13600                        | 680/340                      | 20000/40000                 |
| 8                           | 13200                        | 660/330                      | 20000/40000                 |
| 9                           | 12800                        | 640/320                      | 20000/40000                 |
| 10                          | 12400                        | 620/310                      | 20000/40000                 |
| 11                          | 12000                        | 600/300                      | 20000/40000                 |
| 12                          | 11600                        | 580/290                      | 20000/40000                 |

|    |       |         |             |
|----|-------|---------|-------------|
| 13 | 11200 | 560/280 | 20000/40000 |
| 14 | 10800 | 540/270 | 20000/40000 |
| 15 | 10400 | 520/360 | 20000/40000 |
| 16 | 10000 | 500/250 | 20000/40000 |
| 17 | 9600  | 480/240 | 20000/40000 |
| 18 | 9200  | 460/230 | 20000/40000 |
| 19 | 8800  | 440/220 | 20000/40000 |
| 20 | 8400  | 420/210 | 20000/40000 |
| 21 | 8000  | 400/200 | 20000/40000 |
| 22 | 7600  | 380/190 | 20000/40000 |
| 23 | 7200  | 360/180 | 20000/40000 |
| 24 | 6800  | 340/170 | 20000/40000 |

Проектом предусматривалось использование в процессе производства никельсодержащего сырья с различными физико-химическими свойствами. В связи с этим печной трансформатор должен иметь широкий диапазон регулировки напряжения вторичной обмотки с высоким коэффициентом использования установленной мощности трансформатора.

Авторами была досконально проработана теоретическая основа решения этой проблемы. Существующий метод завышения сечения вторичной обмотки на нескольких последующих ступенях, по сравнению с первой, не обеспечивает решения поставленной задачи. В нашем случае было необходимо решить эту проблему при изменении напряжения вторичной обмотки печи на 50 %. Предложена схема расщепленной фазы, состоящая из 4 вторичных обмоток, рассчитанных на ток 10 кА с последующей их коммутацией, которая обеспечивает минимальное количество коммутирующих элементов и минимальный ток коммутации. Для решения такой задачи было предложено нестандартное расположение выводов вторичных обмоток трансформатора, что и было успешно реализовано китайским заводом-изготовителем трансформатора (компания Sinosteel) по патенту украинских специалистов. В процессе коммутации 4 вторичные обмотки включались параллельно, что обеспечивало фазный ток 40 кА, а ток электродов 69,2 кА. Цепь собиралась 4 перемычками в цепях 10 кА с линейным расширением 400 В. Второй режим коммутации предусматривает попарное последовательно-параллельное включение вторичных обмоток. Коммутация осуществляется двумя перемычками в цепи тока 10 кА (рисунке 1).

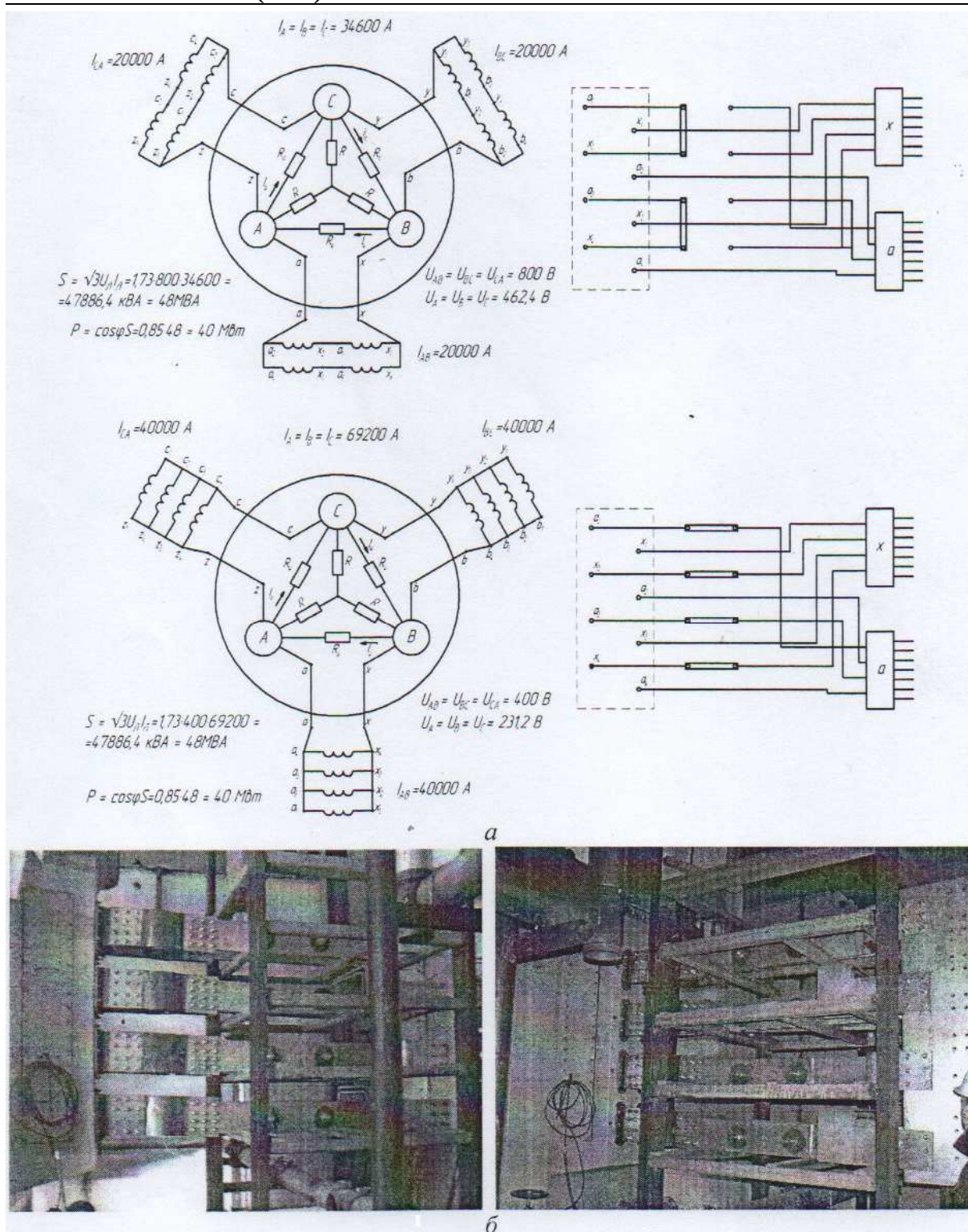


Рисунок 1 - Коммутация короткой сети: а – схема; б – общий вид

При такой коммутации линейное напряжение вторичной обмотки составляет 800 В при номинальном токе фазы 20 кА, а ток электрода 34,6 кА. Питающая подстанция с глубоким вводом 110 кВ (рисунок 2). Токоподвод 110 кВ к печным агрегатам осуществляется

через современные измерительно-коммутирующие устройства (рисунок 3).

Короткая сеть выполнена медными водоохлаждаемыми трубами (рисунок 4). В печи используется новый по форме кожух электрода и токоподвод.

С помощью гидравлики осуществляется перепуск и перемещение электродов. За период эксплуатации печи коммутирующие устройства и другие узлы электрической цепи показали возможность надежной эксплуатации и эффективной работы печи на оптимальных электрических параметрах ведения процесса на никельсодержащем сырье с различными физико-химическими свойствами.



Рисунок 2 - Распределительная подстанция 110 кВ

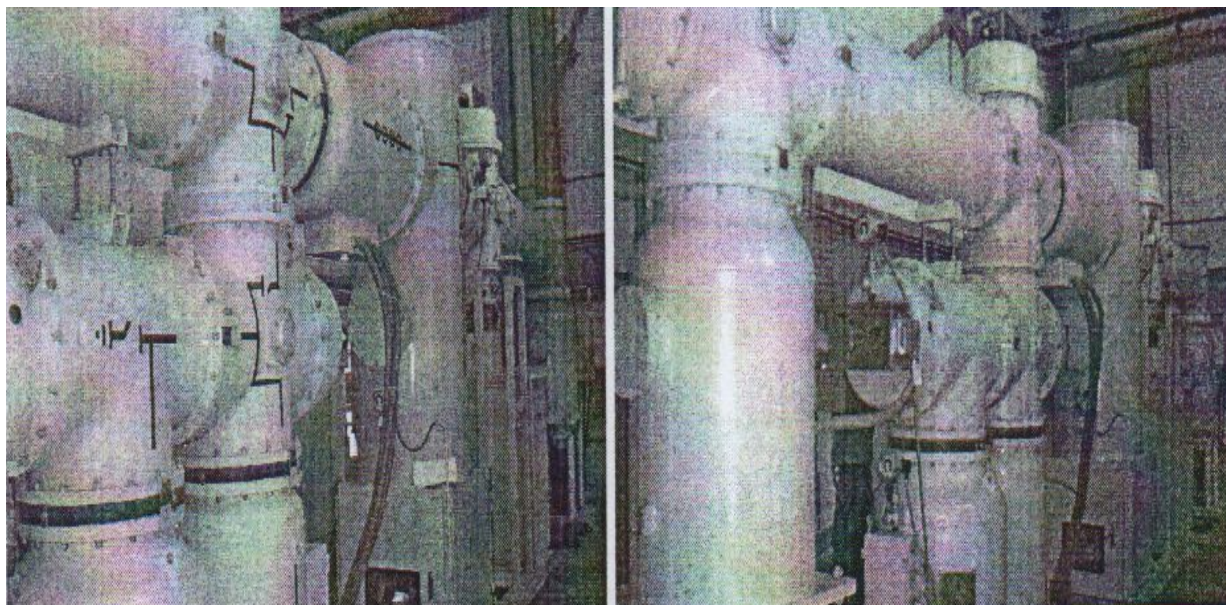


Рисунок 3 - Электрическое коммутирующее высоковольтное устройство 110 кВ

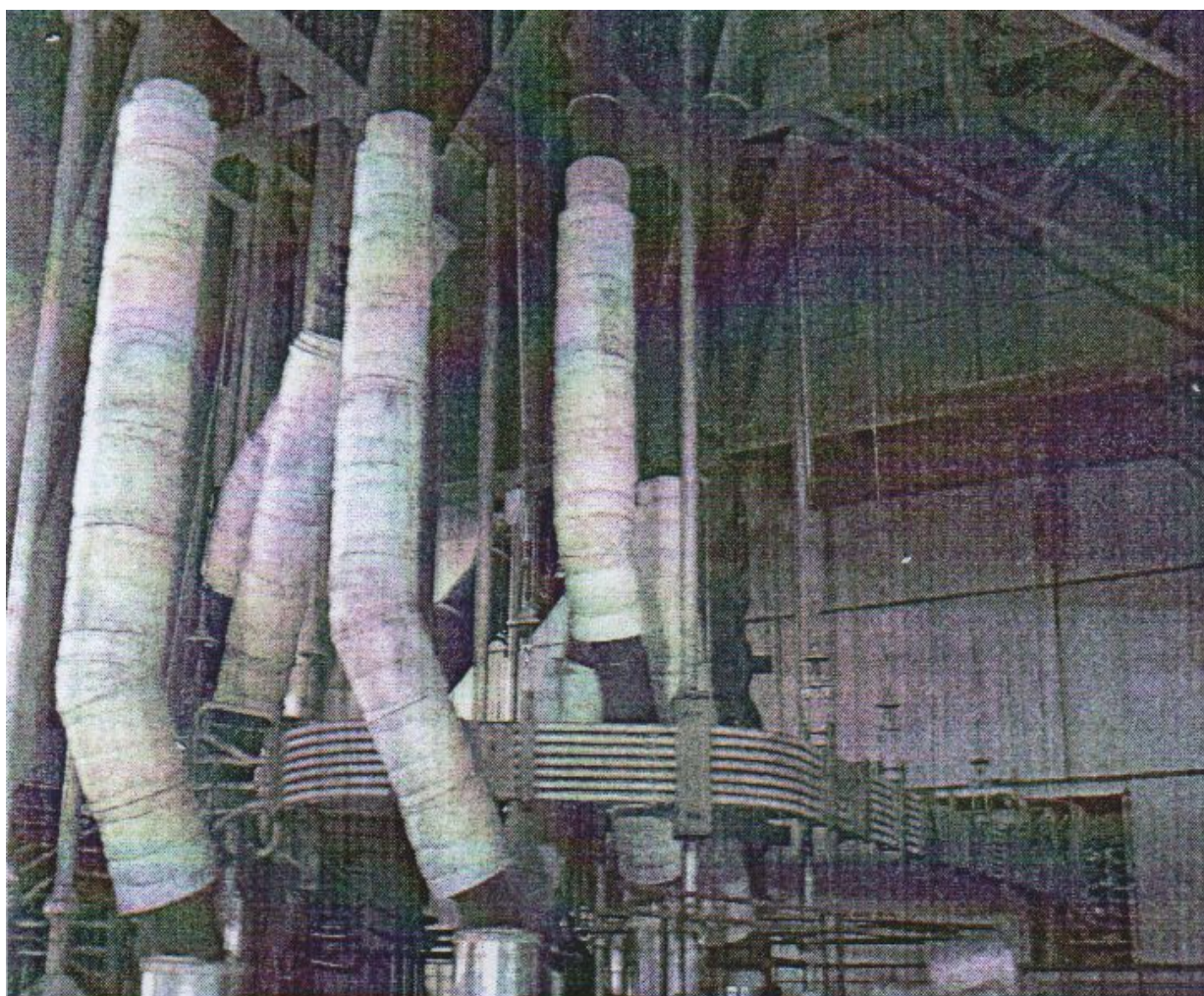


Рисунок 4 - Общий вид короткой сети

Внедренная схема токоподвода на участке короткая сеть – электрод заключается в том, что он, в отличие от отечественных рудовосстановительных печей, осуществляется за счет контакта медных щек с наружными ребрами кожуха электрода. Такая конструкция кожуха электрода обеспечивает его высокую механическую прочность, исключает обрывы и обеспечивает оптимальный режим спекания электродов за счет физического тепла, выделяющегося из реакционных зон печи.

Для обеспечения работы рудовосстановительной печи с высоким коэффициентом мощности ( $\cos \varphi$  0,92–0,95) в коммутационной схеме подключения предусмотрена компактная установка поперечной компенсации реактивной мощности.

### Выводы

Разработанная и внедренная коммутационная схема подключения рудовосстановительной печи мощностью 48 МВ·А с глубоким вводом напряжения (110 кВ) высокой стороны, производящей ферроникель из окисленных никельсодержащих руд, обеспечивает высокий (0,92–0,95) коэффициент мощности, а широкий диапазон вторичного напряжения (170–800 В) позволяет оптимизировать электротехнологические параметры процесса плавки и полностью использовать установленную мощность печного трансформатора.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ферросплавные электропечи. Учебник / Гладких В.А., Гасик М.И., Овчарук А.Н., Пройдак Ю.С. – Днепропетровск: Системные технологии. 2007. – 259 с.
2. Рудовосстановительные печи и технологии производства марганцевых ферросплавов. Под редакцией д.т.н. Куцина В.С. и академика НАН Украины Гасика М.И. – Днепропетровск: НМетАУ, 2011 – 508 с.
3. Производство ферросплавов / Шевченко В.Ф. Издательство «Издательский дом «Вокруг света», 2013, 424 с.
4. Geldenhuys I.J. Aspects of DC chromate smelting at Mintek – an overview. INFACON XIII, Kazakhstan, Almaty, 2013, p. 31 – 47.
5. Рудовосстановительные электропечи повышенной мощности – новый этап в развитии электротермии на стыке двух тысячелетий / Величко Б.Ф., Куцин В.С., Беспалов О.П., Овчарук А.Н., Ольшанский В.И., Филиппов И.Ю., Бобуцкий В.И. // Сучасні проблеми металургії. Ключові аспекти розвитку електрометалургійної галузі. Наукові вісті – Дніпропетровськ: 2016. – т. XIX, с. 253 – 260.

О.О. Шумейко, Г.Я. Шевченко

## **РАНЖУВАННЯ ДОКУМЕНТІВ ЗА ІНФОРМАЦІЙНИМ ЗАПИТОМ**

*Анотація. Запропоновано метод побудови текстового ранжирування наявного корпусу документів у відповідності з інформаційним внеском в них складових інформаційного запиту.*

*Ключові слова: ранжування документів, інформаційний пошук, ентропія.*

### **Вступ**

Під терміном ранжирування, як правило, розуміють процес вибірки пошуковою машиною документів з бази даних і впорядкування їх за ступенем відповідності з інформаційним (пошуковим) запитом [1-3]. Існує поняття текстового ранжирування і ранжирування за гіпертекстовими посиланнями [2, 3]. У першому випадку пошуковою машиною враховуються такі чинники як, наприклад, щільність ключових фраз в текстах статей (документів), оформлення заголовків [3, 4]. При ранжируванні за гіпертекстовими посиланнями беруться до уваги посилання на сайт з інших ресурсів.

В основі більшості алгоритмів ранжирування документів лежить ідея  $TF*IDF$  (див. [4]), яка використовує частоту використання ключових слів в поточному документі та в інших документах корпусу. Окрім того, серед використаних параметрів-

- виділення ключових слів тегами і їх відстань до початку документа;
- довжина документа;
- число пар слів, які йдуть підряд в запиті і в такому ж вигляді зустрічаються в тексті;
- число ключових слів із запиту які взагалі зустрічаються в тексті;
- чи зустрічається весь запит в тексті та ін.

Існуючі методи ранжирування документів досить механістичні і часто спираються на формальний вигляд документів, які підлягають ранжируванню. У разі, коли документ представлений малою кількіс-

тю ключових слів і відсутня можливість повнотекстового пошуку, використовуються модифікації TF\*IDF, PCA та інше. (див. [2-3])

У даній роботі запропоновано метод побудови текстового ранжирування наявного корпусу документів у відповідності з інформаційним внеском в них складових інформаційного запиту.

### **Використання інформаційної ентропії для ранжування документів**

Нехай наявний корпус документів, кожен з яких визначений частотним словником словоформ, які входять до нього  $D_k = \{w_i^k : n_i^k\} (k = 1, \dots, N)$ , а через  $S = \{s_i\}$  позначимо інформаційний запит.

Потрібно провести ранжирування корпусу документів  $\{D_k\}_{k=1}^N$  у відповідності із інформаційним запитом  $S$ . В основі запропонованого методу ранжирування лежить ідея використання зміни значення ентропії при об'єднанні документів. Зазначимо, що такого роду конструкції використовуються при розв'язку оптимізаційних задач теорії інформації, наприклад, при побудові дерев рішень C4.5 та ін. (див. [5]).

У подальшому нам будуть потрібні наступні поняття:

В якості міри невизначеності випадкового об'єкту (системи)  $A$  зі скінченною множиною можливих станів  $A_1, A_2, \dots, A_n$  та відповідною імовірністю  $p_1, p_2, \dots, p_n$ , Клод Шеннон запропонував використовувати функціонал названий ентропією.

$$H(A) = H(p_1, p_2, \dots, p_n) = - \sum_{k=1}^n p_k \log p_k,$$

Логарифми беруться при довільній основі, але у випадку, якщо за одиницю вимірювання ступеня невизначеності прийняти невизначеність, що міститься в досліді з двома рівно імовірними результатами (наприклад, наявний елемент в деякій множині або відсутній), то слід брати основу яка дорівнює двом. Зазначимо, що при заданому  $n$  величина ентропії максимальна і дорівнює  $\log n$  лише у випадку, коли всі  $p_i$  рівні між собою, тобто

$$p_1 = p_2 = \dots = p_n = \frac{1}{n}.$$

Таким чином,  $H(D_k) = -\sum_{i=1}^{N_k} \frac{n_i^k}{N_k} \log_2 \frac{n_i^k}{N_k}$ , де  $N_k$  – загальне число

словоформ у документі  $D_k$ , а  $n_i^k = \text{num}(w_i^k)$  – число входжень словоформи  $w_i^k$  у даний поточний документ ( $\text{num}(s)$  – число входжень слова  $s$ ).

Для двійкового випадку, у разі, коли серед  $n$  станів системи  $A$  наявні  $m$ , які мають деяку властивість  $V$ , то ентропія по відношенню до властивості  $V$  буде дорівнювати

$$H(A, V) = -\frac{m}{n} \log_2 \frac{m}{n} - \frac{n-m}{n} \log_2 \frac{n-m}{n}.$$

Якщо використовувати якийсь атрибут  $Q$ , який має  $q$  значень, то необхідно визначити приріст інформації, що вимірює очікуваний рівень ентропії (різницю між інформацією з  $A$  та інформації, що необхідна для визначення елемента з  $A$  після того, як значення атрибуту  $Q$  було визначено, тобто, приріст інформації завдяки атрибуту  $Q$ ):

$$G(A, Q) = H(A) - \sum_{j=1}^q \frac{|A_j|}{|A|} H(A_j, V).$$

де  $A_j$  – множина станів  $A$ , для яких атрибут  $Q$  приймає  $i$ -те значення, а  $|X|$  – число елементів множини  $X$ .

Для нашого випадку, величина ентропії документу  $D_k$  відносно слова  $s_i$  з інформаційного запиту  $S$  буде дорівнювати

$$H(D_k, s_i) = -\frac{\text{num}(s_i)}{N_k} \log_2 \frac{\text{num}(s_i)}{N_k} - \frac{N_k - \text{num}(s_i)}{N_k} \log_2 \frac{N_k - \text{num}(s_i)}{N_k}.$$

Величина приросту ентропії буде дорівнювати

$$H(D_k, S) = H(D_k) - \sum \left\{ \frac{\text{num}(s_i)}{N_k} H(D_k, s_i) \mid s_i \in S \right\}.$$

Чим більше буде значення приросту ентропії, тим більше наш документ буде відрізнятися від інформаційного запиту.

З іншої сторони, значення ентропії залежить від кількості станів системи (у нашому випадку від кількості словоформ, які описують документ), тому для ранжирування нам треба визначення не абсолютного значення зміни значення ентропії, а відносного, тобто

$$\bar{H}(D_k, S) = \frac{H(D_k) - \sum \left\{ \frac{\text{num}(s_i)}{N_k} H(D_k, s_i) \mid s_i \in S \right\}}{H(D_k)},$$

яке дозволяє оцінити зменшення рівня ентропії документу, якщо відома інформація щодо ключових слів (складових інформаційного пошуку). Значення  $\bar{H}(D_k, S) = 1$  вказує на той факт, що даний документ  $D_k$  ніякого відношення до даного інформаційного пошуку не має, тобто інформація про  $s_i \in S$  не змінює загальний обсяг інформації щодо  $D_k$ . І чим менше значення  $\bar{H}(D_k, S)$ , тим менша ступінь невизначеності  $D_k$  відносно  $S$ .

Розглянемо приклад.

| № | Документ                                                                                        | Опис документу                                                                  |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Васильев Ф.П.<br>"Методы оптимизации"                                                           | оптимизация, функция, минимизация, дифференциальные уравнения, численные методы |
| 2 | Корнейчук Н.П., Лигун А.А., Доронин В.Г.<br>"Аппроксимация с ограничениями"                     | аппроксимация, неравенство, приближения, сплайн                                 |
| 3 | Лоран П. - Ж. "Аппроксимация и оптимизация"                                                     | сплайн, аппроксимация, интерполяция, экстраполяция, оптимизация                 |
| 4 | Самарский А.А., Гулин А.В.<br>"Численные методы математической физики"                          | аппроксимация, разности, дифференциальные уравнения                             |
| 5 | Лебедев П.Д., Ушаков А.В.<br>"Аппроксимация множеств на плоскости оптимальными наборами кругов" | сеть, круг, аппроксимация, кривая, многоугольник                                |
| 6 | Бляшке В. "Круг и шар"                                                                          | круг, шар, минимизация, симметрия                                               |
| 7 | Леонтьев В. "Экономические эссе"                                                                | круг, интерес, экономика, политика                                              |
| 8 | Смит Р.С, Эренберг Р.Дж.<br>Современная экономика труда.                                        | труд, политика, экономика                                                       |

Додаємо до опису документу словоформи з назви документу і отримуємо для кожного документу частотний словник. Після обчислення значення ентропії отримуємо наступні дані

| № | Частотний словник                                                                                      | Ентропія<br>( $H(D_k)$ ) |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 1 | оптимизация-2, функция-1, минимизация-1, дифференциальные уравнения-1, численные методы-1              | 2,251629                 |
| 2 | аппроксимация-2, неравенство-1, приближения-1, сплайн-1, ограничения-1                                 | 2,251629                 |
| 3 | сплайн-1, аппроксимация-2, интерполяция-1, экстраполяция-1, оптимизация-2                              | 2,235926                 |
| 4 | аппроксимация-1, разности-1, дифференциальные уравнения-1, численные методы-1, математическая физика-1 | 2,321928                 |
| 5 | сеть-1, круг-2, аппроксимация-2, кривая-1, многоугольник-1, плоскость-1                                | 2,500000                 |
| 6 | круг-2, шар-2, минимизация-1, симметрия-1                                                              | 1,918296                 |
| 7 | круг-1, интерес-1, экономика-2, политика-1                                                             | 1,921928                 |
| 8 | труд-2, политика-1, экономика-2, современность-1                                                       | 1,918296                 |

В якості прикладу інформаційного запиту візьмемо текстовий рядок «аппроксимация круговыми сплайнами», який після перетворення в словоформи буде мати вигляд «аппроксимация, круг, сплайн».

Наступним кроком знайдемо кількість інформації, що необхідна для визначення елементу з поточного документу, якщо відоме слово (словоформа) з інформаційного пошуку.

| № | аппроксимация | круг     | сплайн   |
|---|---------------|----------|----------|
| 1 | 0,000000      | 0,000000 | 0,000000 |
| 2 | 0,918296      | 0,000000 | 0,650022 |
| 3 | 0,863121      | 0,000000 | 0,591673 |
| 4 | 0,721928      | 0,000000 | 0,000000 |
| 5 | 0,811278      | 0,811278 | 0,000000 |
| 6 | 0,000000      | 0,918296 | 0,000000 |
| 7 | 0,000000      | 0,721928 | 0,000000 |
| 8 | 0,000000      | 0,000000 | 0,000000 |

Значення 0 показує, що дане слово в описі документу відсутнє, тому ніяким чином не впливає на співвідношення поточного документу з даним словом з інформаційного пошуку.

Далі знайдемо загальний обсяг інформації, необхідної для визначення елементу з поточного документу, по всій множині складових інформаційного пошуку, потім, обчислимо абсолютне значення зміни ентропії за умовою наявності інформації що до складових інформаційного пошуку, і, нарешті, значення відносної зміни рівня ентропії і за отриманими значеннями маємо рейтинг документів відносно даного інформаційного пошуку

| № | $\sum \left\{ \frac{num(s_i)}{N_k} H(D_k, s_i) \middle  s_i \in S \right\}$ | $H(D_k, S)$ | $\bar{H}(D_k, S)$ | Рейтинг |
|---|-----------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------|---------|
| 1 | 0,000000                                                                    | 2,25163     | 1,000000          | 7       |
| 2 | 0,414436                                                                    | 1,83719     | 0,815940          | 1       |
| 3 | 0,331131                                                                    | 1,9048      | 0,851905          | 4       |
| 4 | 0,144386                                                                    | 2,17754     | 0,937816          | 6       |
| 5 | 0,405639                                                                    | 2,09436     | 0,837744          | 2       |
| 6 | 0,306099                                                                    | 1,6122      | 0,840432          | 3       |
| 7 | 0,144386                                                                    | 1,77754     | 0,924875          | 5       |
| 8 | 0,000000                                                                    | 1,9183      | 1,000000          | 8       |

Зазначимо, що так як даний алгоритм не несе семантичної складової, то, на жаль ніяким чином не враховується загальна спрямованість документу, тому має сенс зроби деяке узагальнення алгоритму, формуючи новий запит на основі отриманої інформації.

Так як у результаті ми маємо значення вкладу слів інформаційного пошуку в кожен документ  $D_k$ , то, можна вважати, що і інші слова даного документу пов'язані з словоформами інформаційного пошуку. Таким чином, вага кожного слова документа (відносно словоформ інформаційного пошуку) може бути розрахована наступним чином

$$\bar{W}(D_k, S) = \frac{\sum \left\{ \frac{num(s_i)}{N_k} H(D_k, s_i) \middle| s_i \in S \right\}}{H(D_k)},$$

окрім оригінальних словоформ інформаційного пошуку, вага яких дорівнює 1, тобто

$$\bar{W}(D_k, s_i) = \begin{cases} \bar{W}(D_k, S), & s_i \notin S, \\ 1, & s_i \in S. \end{cases}$$

| №                 | 1 | 2       | 3      | 4       | 5       | 6       | 7       | 8 |
|-------------------|---|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---|
| $\bar{W}(D_k, S)$ | 0 | 0,18406 | 0,1481 | 0,06218 | 0,16226 | 0,15957 | 0,07513 | 0 |

Загальне вагове значення для кожного слова з нового інформаційного запиту обчислимо наступним чином

$$\bar{W}(s_i) = \begin{cases} \frac{\sum \{ \bar{W}(D_k, S) | s_i \in D_k \}}{\sum \{ 1 | s_i \in D_k \}}, & s_i \notin S, \\ 1, & s_i \in S. \end{cases}$$

Сформуємо новий інформаційний пошук, який буде складатися з усіх слів, які є в документах корпусу, окрім тих, що мають нульовий рейтинг і знайдемо відносний приріст ентропії з урахуванням ваги

$$\bar{H}(D_k, S) = \frac{H(D_k) - \sum \left\{ \bar{W}(s_i) \frac{num(s_i)}{N_k} H(D_k, s_i) \middle| s_i \in S \right\}}{H(D_k)},$$

і вже за даною величиною визначимо рейтинг документів вже з урахуванням всієї інформації, яка входить в корпус і пов'язана з інформаційним пошуком.

| № | $\sum \left\{ \bar{W}(s_i) \frac{num(s_i)}{N_k} H(D_k, s_i) \middle  s_i \in S \right\}$ | $\bar{H}(D_k, S)$ | Рейтинг |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------|
| 1 | 0,0693569                                                                                | 0,9692            | 7       |
| 2 | 0,4742572                                                                                | 0,78937           | 2       |
| 3 | 0,3926891                                                                                | 0,82437           | 4       |
| 4 | 0,1802972                                                                                | 0,92235           | 6       |
| 5 | 0,5372771                                                                                | 0,78509           | 1       |
| 6 | 0,3895175                                                                                | 0,79695           | 3       |
| 7 | 0,1952600                                                                                | 0,8984            | 5       |
| 8 | 0,0311366                                                                                | 0,98377           | 8       |

Таким чином, рейтинг документів змінився з урахуванням словоформ розширеного інформаційного пошуку.

Можна, взагалі, зняти пріоритет слівформ інформаційного запиту і прирівняти права запиту з правами документу. В такому разі ми вважаємо, що на першому кроці ми вказали на пріоритети пошуку, а на другому дозволяємо підправити пошук з урахуванням всіх документів, тобто

$$\bar{W}(s_i) = \frac{\sum \{ \bar{W}(D_k, S) | s_i \in D_k \}}{\sum \{ 1 | s_i \in D_k \}}$$

для всіх слівформ. В такому випадку маємо

| № | $\sum \left\{ \bar{W}(s_i) \frac{num(s_i)}{N_k} H(D_k, s_i)   s_i \in S \right\}$ | $\bar{H}(D_k, S)$ | Рейтинг |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------|
| 1 | 0,069357                                                                          | 0,9692            | 7       |
| 2 | 0,202380                                                                          | 0,91012           | 3       |
| 3 | 0,175197                                                                          | 0,92164           | 4       |
| 4 | 0,080671                                                                          | 0,96526           | 6       |
| 5 | 0,265499                                                                          | 0,8938            | 1       |
| 6 | 0,190553                                                                          | 0,90067           | 2       |
| 7 | 0,101409                                                                          | 0,94724           | 5       |
| 8 | 0,031137                                                                          | 0,98377           | 8       |

#### Висновок

Отримані результати дозволяють ефективно організувати текстове ранжирування невеликих за кількістю множин документів у відповідності з інформаційним (пошуковим) запитом.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Шумейко А.А. Интеллектуальный анализ данных / А.А.Шумейко, С.Л.Сотник .— Днепропетровск: Белая, 2012 .— 212 с . – Режим доступа: <http://pzs.dstu.dp.ua/Data/dm.pdf>
2. Маннинг К. Введение в информационный поиск / К.Маннинг, П.Рагхаван, Х.Шютце .— М: Вильямс, 2014 .— 528 с.
3. Шокин Ю.И. Проблемы поиска информации / Ю.И.Шокин, А.М.Федотов, В.Б.Барахнин. Новосибирск: Наука, 2010 .— 220 с . – Режим доступа: <http://elib.sbras.ru:8080/jspui/bitstream/SBRAS/7176/1/search.pdf>
4. Гулин А. Алгоритм текстового ранжирования Яндекса на РОМИП-2006 // А.Гулин, М.Маслов, И.Сегалович . – Режим доступа: [http://cache-kiev10.cdn.yandex.net/download.yandex.ru/company/03\\_yandex.pdf](http://cache-kiev10.cdn.yandex.net/download.yandex.ru/company/03_yandex.pdf)
5. Сегаран Т. Программируем коллективный разум / Т.Сегаран .— СПб: Символ-Плюс, 2008 .— 368 с.
6. Михалев А. Компьютерные методы интеллектуальной обработки данных: учебное пособие / А.Михалев, Е.А.Винокурова, С.Л.Сотник .— Днепропетровск: НМетАУ, ИК "Системные технологии", 2014 .— 209 с. Режим доступа: [http://sotnyk.com/Articles/cmipbook\\_20140818.pdf](http://sotnyk.com/Articles/cmipbook_20140818.pdf)
7. Дюк В.А. Data Mining. Учебный курс / В.А.Дюк, А.П.Самойленко .— Сп.б.: Питер, 2002 .— 368 с.

**МЕТОДИ АВТОМАТИЧНОГО АНАЛІЗУ  
НОВИННОГО КОНТЕНТУ, НА ОСНОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ  
ІНФОРМАЦІЇ В ОНТОЛОГІЧНУ ФОРМУ  
ПРЕДСТАВЛЕННЯ ТА МАЙБУТНЬОЇ ОБРОБКИ  
ОТРИМАННОЇ СЕМАНТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ**

*Анотація. У даній статті були досліджені проблеми отримання об'єктивної та багатоаспектної новинної інформації із різних джерел, а також методи обробки отриманої інформації. Також були розглянуті методи штучного інтелекту, за допомогою яких можливо вирішити дані проблеми. В статті викладений один із варіантів вирішення проблеми отримання об'єктивної новинної інформації за допомогою семантичного порталу, шляхом заміни онтології порталу, яка описує академічну галузь на онтологію новин.*

*Ключові слова: Semantic WEB, OWL, RDFS, XML, пошук, новини, об'єктивність.*

**Вступ**

У сучасному світі вплив ЗМІ на повсякденне життя критично зріс. З розвитком інтернет-технологій ми отримали доступ до різної інформації, в тому числі і новинної, але останнім часом, виникла проблема отримання не просто інформації, а фактів, що мають конкретне підтвердження. Переважна більшість інформаційних агентств залежать від різних джерел фінансування, як державних, так і приватних, через що інформація, яка надається ними, може бути заздалегідь не об'єктивною. Таким чином, на сьогоднішній день кількість недостовірного новинного контенту зростає і ця обставина безпосередньо впливає на соціальні, політичні та економічні аспекти життя. Така ситуація з впливом недостовірного контенту на суспільне життя складається через те, що дуже важко знайти механізми фільтрації необ'єктивного новинного контенту.

Останнім часом в багатьох європейських країнах виникає все більший інтерес до розробки методів боротьби з даною проблемою.

Багато європейських політиків, такі як, наприклад, федеральний уповноважений з проведення виборів Дітер Заррайтер (ФРН) стурбований таким станом речей: "Громадяни та ЗМІ повинні з особливою обережністю реагувати на новини в ході цієї передвиборчої кампанії. Слід знати, що робляться спроби ними маніпулювати". Він наполягає на ретельних перевірках інформаційного контенту, що публікується, з метою відокремити недостовірну чи сфальшовану інформацію від істинної [1]. Крім політиків адміністрація соціальної мережі facebook так само шукає можливі варіанти боротьби з фальшивими або зміненими новинами, за їхніми словами в найближчому майбутньому будуть реалізовані механізми для боротьби з недостовірними новинами [2]. Ці завдання можуть бути вирішеними саме засобами штучного інтелекту [3].

### **Проблеми отримання об'єктивної інформації**

У сучасному світі сильно зріс вплив ЗМІ на повсякденне життя в суспільстві або державі. Зараз інформаційні потоки сильно відрізняються від колишніх і новинні агентства можуть використовувати для публікації новин не тільки друковані видання, але соціальні медіа, такі як facebook, twitter та інші, а так само власні новинні вебсайти. Крім власних друкованих або електронних видань агентства можуть використовувати різні новинні портали, які виступають в ролі майданчиків для розміщення новинного контенту з різних джерел. На таких порталах користувач може знайти кілька варіантів однієї і тієї ж новини, які надані різними ЗМІ, але, на жаль, механізм перевірки контенту на достовірність відсутній. В результаті користувач повинен покладатися тільки на свої власні аналітичні здібності, аналізуючи ту чи іншу новинну інформацію.

Для отримання новин агентства застосовують різні методи - від використання власних репортерів і кореспондентів в тій чи іншій країні або регіоні до копіювання новинного контенту з місцевих видань. Деякі агентства використовують інформацію, яка одержана не від професійних журналістів, а від звичайних очевидців або ж від зацікавлених осіб. У цьому випадку встановити достовірність отриманої інформації буває досить складно.

Іншою, не маловажною, проблемою є отримання, зберігання і обробка великих масивів новинних даних. Раніше інформації було набагато менше, ніж зараз, і журналісти витрачали зусилля, в основ-

ному, на її пошуки. Тепер же ми маємо справу з великими масивами інформації, часто неструктурованою. Зараз журналісти змушені працювати на двох рівнях: аналіз і структуризація інформації, що надходить і подання даних у вигляді зрозумілому користувачеві. Сьогодні новини поширюється в той же момент, коли вони відбуваються. Тому так важливо зібрати якомога більше фактів про події для подальшого аналізу. Завдяки цьому змінюється суть журналістики - важливо не те, хто першим повідомив новину, а хто зміг її пояснити, проаналізувати можливі наслідки і об'єктивно і неупереджено оцінити те, що відбувається.

На жаль, в сучасному світі мало хто ставить перед собою завдання об'єктивного інформування суспільства. На сьогоднішній день новинний контент набув такого характеру, що вже майже неможливо знайти неупереджене викладення фактів, що сприяє створенню ілюзії паралельної реальності, що згубно впливає на всі процеси всередині суспільства, держави, регіону і світу в цілому. Більшість ЗМІ займається інтерпретацією фактів замість їх об'єктивного висвітлення через майже відсутність незалежних інформаційних агентств. Таким чином, формування суспільної думки відбувається в тому фокусі, який створено певними корпораціями, фінансовими групами, політичними і державними діячами, які стоять за тими чи іншими інформаційними агентствами. Тоді як саме правдива інформація є фундаментом для прийняття правильних рішень. Саме тому суспільство критично потребує джерел об'єктивної інформації. З іншого боку, немає явної сили, яка була б зацікавлена в об'єктивному висвітленні тих чи інших подій.

Таким чином, боротьба з недостовірним або зміненим новинним контентом є критичним завданням світового суспільства особливо для країн, що розвиваються.

Новинний контент є об'ємним і таким, що постійно змінюється, отже, нам потрібне рішення, яке зможе впоратися з великими обсягами даних і адаптуватися до швидких змін. Загально визнано, що тільки засоби штучного інтелекту здатні вирішити цю проблему. Одним з таких рішень є метод семантичної фільтрації.

Метою даної статті є дослідження методів семантичного аналізу новинного контенту з різних джерел на основі перетворення інфо-

рмації в онтологічну форму подання, а також розробка методу вирішення проблеми, яка викладена вище.

### **Представлення інформації за допомогою семантичного порталу**

Для вирішення проблем із застосуванням технології Semantic Web, часто використовуються онтології, які дозволяють формалізувати знання про предметну область таким чином, щоб вони могли оброблятися і людиною і комп'ютерною системою. Онтологічний опис предметної області дозволяє виконувати автоматичну обробку її контенту. Таким чином, онтології визначаються як ключова технологія для застосування і розвитку Semantic Web. Крім того, важливою характеристикою сучасних семантичних методів є їх адаптивність - можливість застосування в різних областях (медицина, політика, освіта, трафік і т.д.).

Одним з можливих варіантів вирішення проблеми обробки великих масивів неоднорідної і розподіленої інформації новинного контенту може бути перетворення інформації в онтологічну форму подання і подальша обробка отриманої семантичної інформації [4].

У процесі дослідження проблеми було вивчено один з можливих варіантів вирішення проблеми контролю якості наданого новинного контенту. Рішення базується на використанні порталу, розробленого на основі семантичних технологій, в якості платформи для прозорості взаємодії декількох суб'єктів, накопичення та обміну їх інформації та забезпечення якості їх діяльності. Портал був розроблений в рамках міжнародного проекту Tempus 516935 "Національна система забезпечення якості і взаємної довіри в системі вищої освіти (TRUST) як технічний засіб підтримки і гармонізації процесів з оцінки і забезпечення якості вищої якості освіти.

Для посилення соціальної функції порталу та уникнення контролю залежною стороною, система побудована за принципами соціальної мережі. Користувачі є головними вкладниками, контролерами та вигодонабувачами контенту і функцій порталу. Додаючи інформацію, безпосередньо пов'язану з профілем користувача, користувач реєструє нові ресурси або пов'язує раніше визначені ресурси користувача, що створюють нові відносини. Кожен користувач створює приватний простір з набором ресурсів, які пов'язують його профіль з унікальними значеннями властивостей. Відкритий простір створюється спільно.

Портал дозволяє створювати і застосовувати різні системи цінностей у вигляді гнучких багатовимірних показників якості, зважених за ступенем їх важливості для ранжування запиту. Таким чином, кожен користувач може оцінити відносну якість деяких ресурсів з різних точок зору.

Портал працює відповідно до інформації, що зберігається в її онтологічній базі знань. Як правило, ці знання або база знань використовується як сховище тільки для системного контенту. Ми також використовуємо онтології для опису самого порталу: його архітектури і функціональності. Онтологія виступає ядром у вигляді онтологічної бази знань і семантичного АПІ, для обробки онтологій призначених для відкритого і гнучкого зберігання та обробки інформації, що надається користувачами. Важливою особливістю архітектури порталу є його гнучкість, яка досягається за рахунок поділу описів самого порталу та предметної області на дві окремі онтології:

1. Сервісна онтологія містить допоміжні класи і властивості для системної бізнес-логіки, підтримки реєстрації ресурсів, бізнес-аналітики, рейтингу і т.д. Вона спроектована для використання в якості основної незалежної структури, досить гнучкої для взаємодії з онтологіями, які описують будь-який можливий домен в системі менеджменту ресурсів підтримки моніторингу якості;

2. Доменна онтологія включає в себе:

- ядро (визначає поняття і властивості, які використовуються для оцінки якості);

- шар користувача (який кожна організація може гнучко адаптуватися до місцевих умов або кожен користувач може адаптувати до власних вподобань);

- система цінностей (яка визначає вагові коефіцієнти для різних показників якості в різних контекстах);

- процеси забезпечення якості (формально визначені внутрішні або крос-організаційні процеси забезпечення моніторингу оцінки якості).

Завдяки гнучкій структурі побудови порталу за рахунок поділу на дві окремі онтології сервісну і доменну портал може бути повністю змінений шляхом простої модифікації онтологій. Сервісна онтологія здатна взаємодіяти із онтологіями, які описують будь-який домен відмінний від створеного під вищу освіту і який також оперує з чис-

ленними ресурсами і потребує процесу забезпечення якості, який базується на оцінюванні ресурсів (бізнес, виробництво, медицина, медіа) [5].

Портал надає технічні засоби для:

- Конструювання напівспільного профілю користувача;
- Спільного оформлення фактів;
- Перегляду фактів;
- Підтвердження правильності опублікованої інформації методами соціальної перевірки;
- Об'єднання ресурсів, що залежать від створеної системи цінностей користувача на основі гнучких багатовимірних показників якості;
- Обробка фактів, зареєстрованих на порталі та інформації, отриманої з надійних зовнішніх джерел (побудова рейтингів зареєстрованих ресурсів);
- Збір, аналіз і поширення даних, які можуть бути отримані за допомогою анонімних або цільових запитів, обстежень або шляхом імпорту зовнішніх статистичних даних.

### **Застосовані технології**

Новинний контент доволі великий та неструктурований, включає в себе багато різноманітних масивів інформації. Дані отримуються з різних джерел і більшість з них ми повинні використовувати спільно для отримання більш повної картини того що відбувається, та також за для розвитку новинних систем. Розроблена онтологія забезпечує один із варіантів представлення новинного контенту. Онтологія описує новинний контент відповідно до пов'язаної інформації та концепцій. Онтологія була створена із ціллю відповіді на три основні питання: Що? – що робиться за для освітлення подій, Де? – де відбуваються події, Коли? – коли вони відбуваються, ці питання можуть виникнути під час проектування новинних систем тощо.

Для побудови моделі об'єкту, яка є описом того що мається на увазі, ми використовуємо RDFS. RDFS представляє систему типів для RDF, але у порівнянні із ним є більш технологічно просунутим.

Сьогодні найпопулярнішою мовою онтологій є OWL. Фактично OWL є розширенням лексики RDF та також є похідним від мови OIL DAML, але із покращеною системою машинного інтерпретування web-контенту. Саме тому при розробці була обрана саме OWL.

Завдяки тому що RDFS та OWL сумісні, розроблена онтологія буде утримувати RDFS елементи у синтаксисі OWL. Для безпосередньої розробки онтології існує багато редакторів, але для даної роботи був використаний найбільш популярний – Protege [6].

Основними компонентами новинної онтології є поняття, відносини, екземпляри та аксіоми. Поняття представляють собою набір або клас сутностей у межах новинної області. Кожний клас, визначений в онтології, описує загальні характеристики індивідів. Найбільш фундаментальні поняття відповідають класам, які знаходяться в корені різних таксономічних дерев. Кожен індивід в світі OWL є членом класу owl:Thing. Таким чином, кожен певний клас автоматично є підкласом owl:Thing. Специфічні для даної області кореневі класи визначаються простим оголошенням іменованого класу. Наприклад такі класи як автор, видання, стаття тощо.

Також онтології включають у себе відношення поміж класами або властивостями. Ієрархія класів може бути визначена шляхом вказування що клас є підкласом іншого класу, таким чином клас «публікації автора» має декілька підкласів таких як «стаття», «огляд» або «журналістське розслідування». OWL також може визначати властивості класів, які не дуже відрізняються від властивостей RDFS. Прості властивості можливо визначати за допомогою компонентів owl:ObjectProperty та owl:DatatypeProperty.

Характеристики властивостей роблять данні більш виразними таким чином, що система може робити більш точні висновки. В OWL можливо визначати відношення однієї властивості до іншої. Прикладами властивостей можуть бути компоненти owl:equivalentProperty та owl:inverseOf. Функціональні властивості висловлюють той факт, що властивість може мати не більш одного значення для кожного екземпляру. Припустимо, що окремий екземпляр «автор» має властивість вік – він не може мати більше одного показника віку, але це не означає, що автор не може не вказувати вік. Тому заповнюючи профіль автора ми можемо не вказувати деякі подробиці, але чим їх більше вказано, тим більш повною буде характеристика того чи іншого екземпляру онтології. Типові приклади функціональних властивостей розробленої онтології включають прізвище, вік, місце роботи, назва статті, автор статті і т.д. Розроблений набір властивостей є унікальним і підібраний з урахуванням того, що в подальшому онтологія, з

усіма класами і їх властивостями, буде інтегрована до семантичного порталу.

### **Обробка інформації**

За допомогою інструментів порталу ми можемо проводити верифікацію інформаційного контенту згідно із джерелами та рейтингування по заздалегідь виставленим пріоритетам. Одним з таких інструментів є соціальна перевірка. Соціальна перевірка представляє собою набір механізмів які дозволяють громадськості брати участь у підтвердженні інформації. Вони дозволяють проводити кросс-контроль над інформацією, проводити голосування або використовувати особисту аргументацію для прийняття рішень.

На відміну від пошукових систем, де аналізуються вподобання користувача і інформація обробляється статично, за допомогою порталу ми можемо будувати експертні системи цінностей на підставі тих джерел інформації, яким довіряє користувач. Ці джерела ми визначаємо на підставі рейтингування, призначаючи вагові коефіцієнти переважним для нас критеріям. Це дозволяє навчати систему на основі експертної думки. Таким чином створюється експертна система на основі саме експертних знань, наприклад, визнаних експертів – новини і аналітика великих новинних агентств. Звичайні користувачі мають можливість спостерігати за рівнем довіри експертів до тої чи іншої інформації і в залежності від нього визначати її достовірність.

### **Висновки**

У статті ми розглянули один із варіантів вирішення проблеми отримання об'єктивної новинної інформації за допомогою семантичного порталу. Розроблений за для оцінки якості української академічної спільноти, портал може бути змінений під будь-яку предметну галузь заміною доменної онтології. В даній роботі розглянута можливість заміни онтології, яка описує академічну галузь на онтологію новин. Як ми з'ясували, портал надає необхідний та зручний, для користувача, інструментарій для обробки та аналізу новинного контенту.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Бундестаг ищет способы борьбы с фейковыми новостями [Электронный ресурс]. – Режим доступа:  
<http://news.liga.net/news/world/14453387-bundestag-ishchet-sposoby-borby-s-feykovymi-novostyami.htm>
2. Facebook Looks to Harness Artificial Intelligence to Weed Out Fake News [Электронный ресурс]. – Режим доступа:  
[https://www.wsj.com/articles/facebook-could-develop-artificial-intelligence-to-weed-out-fake-news-1480608004?mod=pls\\_whats\\_news\\_us\\_business\\_f](https://www.wsj.com/articles/facebook-could-develop-artificial-intelligence-to-weed-out-fake-news-1480608004?mod=pls_whats_news_us_business_f)
3. Fake News? Big Data And Artificial Intelligence To The Rescue [Электронный ресурс]. – Режим доступа:  
<https://www.forbes.com/sites/jasonbloomberg/2017/01/08/fake-news-big-data-and-artificial-intelligence-to-the-rescue/#4931c36b4a30>
4. H. Wache, T. Vugele, U. Visser, H. Stuckenschmidt, G. Schuster, H. Neumann, and S. Hübner, "Ontology-based Integration of Information - A Survey of Existing Approaches," In: Proceedings of IJCAI-01 Workshop: Ontologies and Information Sharing, Seattle, WA, 2001, Vol. pp. 108-117.
5. Terziyan V., Golovianko M., Shevchenko O., Semantic Portal as a Tool for Structural Reform of the Ukrainian Educational System, In: Information Technology for Development, Vol. 21, No. 3, 2015, Taylor & Francis, pp. 381-402.
6. J. Cardoso, "The Semantic Web: A mythical story or a solid reality?", In: Metadata and Semantics, Springer US, 2009, pp 253-257.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Кирия Р.В., Бабенко Ю.В., Мищенко Т.Ф.</b><br>Определение среднего объема груза в аккумулярующем бункере,<br>работающем в системе подземного конвейерного транспорта угольных<br>шахт ..... | 3  |
| <b>Купин А.И., Поддубный Б.А., Музыка И.О.</b><br>Математическая модель маршрутизации трафика в гетерогенной<br>информационной среде .....                                                     | 14 |
| <b>Пелых И.В., Кононов Д.А.</b><br>Модальный анализ упругого колосниково - карточного элемента<br>просеивающей поверхности шихтового вибрационного грохота .....                               | 20 |
| <b>Пошивалов В.П., Даниев Ю.Ф., Резниченко Л.В.</b><br>Системный подход к обеспечению надёжности сложных систем .....                                                                          | 27 |
| <b>Божуха Л.М.</b><br>Про систему переваг лінгвістичного класифікатора.....                                                                                                                    | 35 |
| <b>Зинькевич И.Э., Кириченко Л.О., Радивилова Т.А.</b><br>Сравнительный анализ методов прогнозирования слабо<br>коррелированных временных рядов.....                                           | 43 |
| <b>Прядко Н.С., Музыка Л.В.</b><br>Методика автоматического управления струйным измельчением на<br>основе моделей объекта и системы управления.....                                            | 51 |
| <b>Ivaschenko V.P., Shvachych G.G., Semenov S.G.</b><br>Efficient parallelization algorithms of the applied tasks in<br>multiprocessor computing systems .....                                 | 59 |
| <b>Балакин В.Ф., Байрымов А.А.</b><br>Совершенствование процесса Конформ для производства стальных<br>длинномерных профилей .....                                                              | 69 |
| <b>Коваленко І.В., Кійко В.В.</b><br>Оцінювання задоволеності споживачів продукції та послуг.....                                                                                              | 74 |
| <b>Малайчук В.П., Клименко С.В., Кудреватых А.Т.</b><br>Исследование цифровых изображений недоступных для наблюдения<br>поверхностей технических объектов<br>неразрушающего контроля .....     | 81 |
| <b>Манько Т.А., Гусарова И.А., Козис К.В.</b><br>Контроль состояния визуально недоступных поверхностей<br>технических объектов .....                                                           | 87 |
| <b>Сенько А.А., Купин А.И.</b><br>Кластеризация статистических данных работы секции обогащения.                                                                                                | 95 |

**Харламов Ю.Е., Лю Ли, Безуглый А.В., Безуглый В.А.,  
Николенко А.В., Замковой О.В., Овчарук А.Н.**

Инновационная схема коммутации короткой сети современных  
рудовосстановительных печей..... 102

**Шумейко О.О., Шевченко Г.Я.**

Ранжування документів за інформаційним запитом ..... 110

**Тітов К.Ю.**

Методи автоматичного аналізу новинного контенту, на основі  
перетворення інформації в онтологічну форму представлення та  
майбутньої обробки отриманої семантичної інформації..... 118

РЕФЕРАТЫ

УДК 622.647.82:51.001.57

Кірія Р.В. **Визначення середнього об'єму вантажу в акумулюючому бункері, працюючому в системі підземного конвеєрного транспорту вугільних шахт** /Р.В. Кірія, Ю.В. Бабенко, Т.Ф. Міщенко // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 2 (109). - Днепр, 2017. - С.3 - 13.

На підставі математичної моделі функціонування акумулюючого бункера, що працює в некерованому режимі, отримано аналітичні залежності середнього обсягу вантажу в бункері від обсягу бункера і параметрів вантажопотоків, що надходять і розвантажуються з бункера. Результати аналітичних досліджень досить добре збігаються з результатами імітаційного моделювання

Бібл. 6, іл. 4.

УДК 004.724

Купін А.І., Піддубний Б.А., Музика І.О. **Математична модель маршрутизації трафіку в гетерогенному інформаційному середовищі** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 2 (109). - Днепр, 2017. - С.14 - 19.

Наведено математичну модель пошуку оптимального маршруту і його вартості при наявності різнорідних вимог до маршрутизації в гетерогенній інформаційно-комунікаційній мережі довільної нестабільної структури, що дозволяє максимально ефективно використовувати ресурси мережі, зменшуючи кількість блокувань і затримок трафіку.

Бібл. 7.

УДК 621.928.024.1

Пелых И. В., Кононов Д. А. **Модальный анализ упругого колосниково - карточного элемента просеивающей поверхности шихтового вибрационного грохота** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 2 (109). - Днепр, 2017. - С.20 - 26.

Рассматривается решение задачи модального анализа движения элемента карточного сита просеивающей поверхности с помощью системы моделирования задач прочности и математической физики ANSYS. Для элемента карточного сита, которое изготовлено для экспериментальной установки определено, что низшая первая частота (59,3 Гц) больше рабочей частоты грохота (25 Гц), что является не оптимальным, так как не соблюдается условие резонанса.

Бібл. 6.

УДК 519.71

Пошивалов В.П., Даниєв Ю.Ф., Резниченко Л.В. **Системний підхід до забезпечення надійності складних технічних** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 2 (109). - Днепр, 2017. - С.27 - 34.

Розглянуто системний підхід до забезпечення надійності і наведені основні принципи сучасної методології забезпечення надійності складних технічних систем на всіх етапах життєвого циклу. Показана перспективність використання методу активного резервування з елементом, що перебудовується та відновлюється, в задачах забезпечення надійності.

Бібл. 10.

УДК 004.02:004.67:51.7

Божуха Л.Н. **Про систему предпочтения лингвистического классификатора** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 2 (109). - Днепр, 2017. - С.35 - 42.

В работе представлены результаты построения простейшей комплексной оценки на основе трапецевидного числа лингвистического классификатора с использованием показателя Херста для выявления трендовости показателей. Использование предложенной модификации метода может расширить область качественных критериев оценки с лингвистическим классификатором при анализе количественных характеристик.

Библ. 4, ил. 1, табл. 0.

УДК 519.2:004.9

Зінькевич І.Е., Кіріченко Л.О., Радівілова Т.А. **Порівняльний аналіз методів прогнозування слабо корельованих часових рядів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 2 (109). - Днепр, 2017. - С.43 - 50.

У роботі проведено порівняльний аналіз прогнозування слабо корельованих часових рядів методами експоненціального згладжування, нейронної мережі та дерева рішень, на основі даних реального інтернет-магазину. Розглянуто переваги та недоліки кожного методу.

Бібл.5, рис. 2, табл.1.

УДК 622.776

Прядко Н.С., Музика Л.В. **Методика автоматичного управління струминним подрібненням на основі моделей об'єкта і системи управління** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 2 (109). - Днепр, 2017. - С.51 - 58.

Запропоновано методику автоматичного управління роботою струминної подрібнювальної установки за критерієм максимальної продуктивності, що враховує особливості процесу. З метою коректного управління подрібненням розроблена модель подрібнювальної установки. Для опису процесу розвантаження матеріалу з бункера при зміні площі його вихідного отвору була складена модель бункера. Запропоновано оптимальний метод обробки акустичних сигналів зони подрібнення засобами мікроконтролера. Розроблені моделі дозволять якісно поліпшити управління процесом подрібнення.

Бібл. 11.

УДК 004.272.43.003.13

Іващенко В.П. **Ефективні алгоритми розпаралелювання прикладних задач в багатопроцесорних обчислювальних системах** / В.П. Іващенко, Г.Г. Швачич, С.Г. Семенов

// Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 2 (109). - Днепр, 2017. - С.59 - 68.

Роботу присвячено побудові числово-аналітичним методом конструювання ефективних алгоритмів для розв'язування задач економіки і техніки. Використовуючи апріорну інформацію про гладкості рішення, велика увага приділяється побудові рішень високого порядку точності. Запропонований підхід виключає рекурентну структуру обчислень шуканих векторів рішень, яка призводить до накопичення помилок округлення. Побудована паралельна форма алгоритму є максимальною, і, отже, має мінімально можливий час реалізації на паралельних обчислювальних системах.

Бібл. 15.

УДК 621.778.04

Балакін В.Ф., Байримов А.А. **Удосконалення процесу Конформ для виробництва сталевих довгомірних профілів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 2 (109). - Днепр, 2017. - С.69 - 73.

Пресування сталевих довгомірних виробів методом Конформ в даний час не є достатньо поширеним, в той час як пресування виробів з алюмінію і міді набуває популярності і демонструє високу ефективність. Це пояснюється значно більш високим опором деформації сталі в порівнянні з вищевказаними кольоровими металами і, як наслідок, високими навантаженнями на інструмент. У зв'язку з цим підвищення стійкості інструменту в процесі Конформ актуальне завдання, що вимагає свого вирішення. Пропонується схема осередку деформації, в якій частина контактної поверхні робочого інструмента виконана рухомою. Проведено аналіз напружено - деформованого стану осередку деформації.

Бібл. 3, іл. 2.

УДК 339.137.24

Коваленко І.В, Кійко В.В. **Оцінювання задоволеності споживачів продукції та послуг** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 2 (109). - Днепр, 2017. - С.74 - 80.

В статті розглянуто існуючі підходи до оцінювання задоволеності споживачів продукції та послуг. Показано, що необхідним є враховувати найбільш важливі для споживача характеристики продукції. Запропоновано використання метода аналізу ієрархій для визначення пріоритетних напрямів діяльності поліпшення системи менеджмента якості.

Бібл. 3, табл. 5.

УДК 519.233.6

Малайчук В.П., Клименко С.В., Кудреватых А.Т. **Дослідження цифрових зображень недоступних для спостереження поверхонь технічних об'єктів неруйнівного контролю** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 2 (109). - Днепр, 2017. - С.81 - 86.

Запропоновано візуально-аналітичний метод дослідження матриць вимірювань цифрових зображень об'єктів, недоступних для візуального спостереження, з невідомими статистичними закономірностями і відсутністю еталонів, шляхом сканування і стиснення

матриць стрибкоподібним рухомим вікном та подальшої порівняльної обробки гістограмних рядків і стовбців, і виділення текстур за критерієм  $\chi$ -квадрат.

Бібл. 2

УДК 620.179.11

Манько Т.А., Гусарова І.О., Козіс К.В. **Контроль стану візуально недоступних поверхонь технічних об'єктів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 2 (109). - Днепр, 2017. - С.87 - 94.

Розглянуто метод контролю стану візуально недоступних поверхонь технічних об'єктів, шляхом дослідження цифрових зображень, які містять інформацію об їх стані та якості. Отриманні дані дозволили класифікувати, порівняти та виділити класи «нормальних» та «аномальних» цифрових зображень. Результати та висновки візуального аналізу підтверджені шляхом статистичної обробки матриць вимірювання цифрових зображень.

Бібл.2, іл.3, табл.1.

УДК 004.942

Сенько А.О., Купин А.І. **Кластеризація статистичних даних роботи секції збагачення** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 2 (109). - Днепр, 2017. - С.95 - 101.

Досліджено можливості використання різного математичного апарату для створення моделей оперативного прогнозування. Розглядаються непрямі методи зміни об'ємного заповнення млина рудою. Запропоновані моделі дозволяють отримати результати, адекватні завданням оперативного управління виробничими процесами. Нелінійна залежність продуктивності від коефіцієнта кульової завантаження дозволяє отримати прийнятні показники продуктивності при зниженні витрат куль до 5%.

Бібл. 6, іл. 0, табл. 2

УДК 669.15'74 – 198:669.018.5

Харламов Ю.Є., Лю Лі, Безуглий А.В., Безуглий В.А., Ніколенко А.В., Овчарук А.М., Замковий О.В. **Інноваційна схема комутації короткої мережі сучасних рудовідновних печей** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 2 (109). - Днепр, 2017. - С.102 - 109.

Наведено параметри рудовідновних печі, призначеної для виробництва феронікелю. Дана характеристика пічного трансформатора з глибоким введенням 110 кВ потужністю 48 МВ.А з широким діапазоном вторинної напруги, що дозволяє працювати з високим коефіцієнтом використання встановленої потужності. Запропоновано схему розщепленої фази, що складається з 4-х вторинних обмоток з їх подальшою комутацією, що забезпечує мінімальну кількість комуючих елементів і мінімальний струм комутації.

Бібл. 5.

УДК 002.513.5

Шумейко О.О., Шевченко Г.Я. **Ранжирування документів за інформаційним запитом** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 2 (109). - Днепр, 2017. - С.110 - 117.

Запропоновано метод побудови текстового ранжирування наявного корпусу документів у відповідності з інформаційним внеском в них складових інформаційного запиту.

Бібл. 7

УДК 624.04

Тітов К.Ю. **Методи автоматичного аналізу новинного контенту, на основі перетворення інформації в онтологічну форму представлення та майбутньої обробки отриманої семантичної інформації** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 2 (109). - Днепр, 2017. - С.118 - 126.

Метою даної статті є дослідження методів семантичного аналізу новинного контенту з різних джерел на основі перетворення інформації в онтологічну форму подання, а також розробка методу отримання та обробки новинної інформації.

Бібл. 6

UDK 622.647.82:51.001.57

Kiriya R. **Determination of the average volume of cargo in the storage bunker operating in the underground conveyor transport system of coal mines** / R. Kiriya, Yu. Babenko, T. Mishenko // System technologies. N 2(109) - Dnipro, 2017.- P.3 - 13.

Based on the mathematical model of the functioning of the storage hopper operating in an uncontrolled mode, analytical dependencies of the average volume of cargo in the hopper on the volume of the hopper and the parameters of the cargo flows of arriving and unloading from the bunker were obtained. The results of analytical studies quite well coincide with the results of simulation.

Refs.6, ill. 4.

UDC 004.724

Kupin A. I, Piddubny B. A., Muzyka I. O. **Mathematical model of routing in heterogeneous distributed information system** // System technologies. N 2(109) - Dnipro, 2017.- P.14 - 19.

The article provides a mathematical model of finding the optimal route with minimal cost in the presence of heterogeneous requirements for routing in the distributed information communication network, which allows the most efficient use of network resources by reducing the number of locks and traffic delays. Theoretical research is confirmed by modeling of traffic routing on the example of a fragment of a heterogeneous network.

Bibl. 7.

UDC 621.928.024.1

Pelikh I.V., Kononov D.A. **Modal analysis of the elastic kolosnikovo-card member of the sinking surface of the vibrational vibration grillation** // System technologies. N 2(109) - Dnipro, 2017.- P.20 - 26.

The solution of the problem of the modal analysis of the movement of the element of the screening screen sieve with the help of the simulation system of strength problems and mathematical physics ANSYS is considered. For the element of the card screen that is made for the experimental setup, it is determined that the lowest first frequency (59.3 Hz) is larger than the working frequency of the screen (25 Hz), which is not optimal, so the resonance condition is not observed.

Bibl. 6.

UDC 519.71

Poshivalov V.P., Daniev J.F., Reznichenko L.V. **The system approach to maintenance of reliability of difficult systems** // System technologies. N 2(109) - Dnipro, 2017.- P.27 - 34.

The system approach to maintenance of reliability is considered and main principles of modern methodology of maintenance of reliability of difficult technical systems at all stages of life cycle are resulted. It is marked perspective of use of a method of active reservation with перестраиваемым a restoring element in problems of maintenance of reliability

Bibl. 10.

UDC 004.02:004.67:51.7

Bozhukha L. **About the system preferences linguistic classifier** // System technologies. N 2(109) - Dnipro, 2017.- P.35 - 42.

The paper presents the results of the build a simple integrated assessment on the basis a trapezoidal number of linguistic classifier with the Hurst exponent for revealing trendwest indicators. Using the pro-proposed modified method can give the opportunity to improve quality assessment criteria from a linguistic classifier in the analysis of quantitative characteristics.

Bibl. 4, ill. 1, table 0.

UDC 519.2:004.9

Zinkevich I.E., Kirichenko L.O., Radivilova T.A. **Comparative analysis of predicting methods for weakly correlated time series** // System technologies. N 2(109) - Dnipro, 2017.- P.43 - 50.

The article compares the forecasting of weakly correlated time series using exponential smoothing methods, a neural network, and a decision tree. Time series were data from a real online store. The advantages and disadvantages of each method are considered.

Ref.5, fig. 2, tab.1.

UDK 622.776

Pryadko N., Muzika L.V. **Automatic control methodology of jet grinding on the basis of object and control system models** // System technologies. N 2(109) - Dnipro, 2017.- P.51 - 58.

Methodology of automatic control taking into account the process features is offered for a jet grinding mill on the criterion of maximal productivity. For the correct grinding control the grinding mill model is created. For description of material unloading process from a bunker at its exit area change the bunker model was made. The optimal acoustic signal processing method of grinding zone is offered by microcontroller facilities. The worked out models allow improving the grinding process control.

Bibl. 11.

UDK 004.272.43.003.13

Ivaschenko V.P. **Efficient parallelization algorithms of the applied tasks in multi-processor computing systems** / V.P. Ivaschenko, G.G. Shvachych, S.G. Semenov // System technologies. N 2(109) - Dnipro, 2017.- P.59 - 68.

The work is dedicated to the construction of numerical-analytical method of designing efficient algorithms for solution of problems in economics and engineering. Using a priori information about the smoothness of the solution, great attention is paid to the construction of high-accuracy solutions. The proposed approach eliminates recurrent structure calculations for desired vectors' decisions which leads to the accumulation of rounding errors. Parallel form of the algorithm is the maximum, and therefore demands the shortest possible time for implementation on parallel computing systems.

Bibl. 15

UDK 621.778.04

Balakin V.F., Bajrymov A.A. **Improving the Conform process for the production of long steel profiles** // System technologies. N 2(109) - Dnipro, 2017.- P.69 - 73.

Compression steel long products is not Conform method now quite common, while compressing the products of aluminum and copper is gaining popularity and exhibits high effi-

ciency. This is explained by a much higher deformation resistance of steel in comparison with the above base metals and, therefore, high load on the tool. In connection with this increase in tool life in the process Conform actual problem to be solved. It is proposed to focus the deformation scheme in which a part of the contact surface of the working tool can be moved. Analysis of stress - strain state of the deformation zone.

Bibl. 3.

UDC339.137.24

Kovalenko I.V., Kiiko V.V. **Estimation the satisfaction customer requirements of products and services** // System technologies. N 2(109) - Dnipro, 2017.- P.74 - 80.

In the article are considered the existing approaches to estimation the satisfaction customer requirements of products and services. The necessity of taking into account the most important characteristics of the product is shown. It is proposed to use the hierarchy analysis method for determining the priority areas of the quality management system.

Bibl. 3, tabl. 5.

UDC 519.233.6

Malaychuk V.P., Klymenko S.V., Kudrevatykh A.T. **The study of digital images unobservable surfaces technical objects non-destructive testing** // System technologies. N 2(109) - Dnipro, 2017.- P.81 - 86.

The proposed a visual and analytical method for studying matrices measurement of digital images of objects that are inaccessible to visual observation, with unknown statistical laws and the lack of standards, by scanning and compression matrices, abruptly moving the window and then comparative histogram processing of rows and columns, and the allocation of textures by the criterion of  $\chi$ -square.

Bibl. 2

UDC 620.179.11

Manko T.A., Husarova I.A., Kozis K.V. **State control of visual inaccessible surfaces of technical objects** // System technologies. N 2(109) - Dnipro, 2017.- P.87 - 94.

State control method of visual inaccessible surfaces of technical objects was examined by research of digital images which contains information about their state and quality. Received data lets classify compare and mark out the classes of "normal" and "abnormal" digital images. Results and conclusions of visual analysis were confirmed by statistical treatment of matrix measurements of digital images.

Bibl. 2, ill. 3, tabl. 1.

UDC 004.942

Senko A.O, Kupin A.I. **Clustering of statistical data of the beneficiation section work** // System technologies. N 2(109) - Dnipro, 2017.- P.95 - 101.

The possibilities of using different mathematical apparatus for creating models of operational forecasting are explored. Indirect methods of changing the volume filling of the ore mill are considered. The proposed models make it possible to obtain results adequate to the tasks of operational management of production processes. Nonlinear dependence of productivity on the coefficient of ball load allows to obtain acceptable performance indicators with a decrease in the ball consumption to 5%.

Bibl. 6, il. 0, tabl. 2

UDC 669.15'74 – 198:669.018.5

Kharlamov Y.E., Liu Li, Bezugly A.V., Bezugly V.A., Nikolenko A.V., Ovcharuk A.N., Zamkovoj O.V. **Innovative scheme of switching the short network of modern ore-stands** // System technologies. N 2(109) - Dnipro, 2017.- P.102 - 109.

The parameters of the ore reduction furnace intended for the production of ferronickel are given. The characteristic of the furnace transformer with a deep input of 110 kV with a capacity of 48 MVA is given with a wide range of secondary voltage, which allows working with a high utilization factor of the installed capacity. A split-phase scheme is proposed, consisting of 4 secondary windings with their subsequent commutation, which provides a minimum number of switching elements and a minimum switching current.

Bibl. 5.

UDC 002.513.5

Shumeyko A., Shevchenko G. **Ranging documents by the information request** // System technologies. N 2(109) - Dnipro, 2017.- P.110 - 117.

The method of text available ranging set of documents in accordance with the information constituents request.

Bibl.7

UDC 624.04

Titov K.Yu. **Methods of automatic analysis of news content, on the basis of information transformation into the ontological form of film and future processing of receiving semantic information** // System technologies. N 2(109) - Dnipro, 2017.- P.118 - 126.

The purpose of this article is to investigate the methods of semantic analysis of the news content from various sources based on the transforming the information to the ontological form of presentation as well as to develop a method for solving the problem of the obtaining and processing the news information.

Bibl.6

**АВТОРЫ ВЫПУСКА**

**Кирия Руслан Виссарионович** - к.т.н., ст. научн. Сотрудник, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

**Мищенко Тамара Федоровна** - главный технолог, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

**Бабенко Юлия Васильевна** - к.т.н., доцент кафедры информационных технологий и систем, Национальная металлургическая академия Украины.

**Купін Андрій Іванович** – д.т.н., професор, завідувач кафедри комп’ютерних систем та мереж, ДВНЗ «Криворізький національний університет».

**Піддубний Богдан Андрійович** - аспірант кафедри комп’ютерних систем та мереж, ДВНЗ «Криворізький національний університет».

**Музыка Иван Олегович** - доцент кафедры комп’ютерных систем та мереж, к.т.н., ДВНЗ «Криворізький національний університет».

**Кононов Дмитрий Александрович** - к.т.н., доцент кафедры машин и агрегатов металлургического производства НМетАУ.

**Пелых Игорь Владимирович** - ведущий инженер ЧАО «ЕВРАЗ ДМЗ».

**Пошивалов Владимир Павлович** - ведущий научный сотрудник, Институт технической механики Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины.

**Даниев Юрий Фаизович** - старший научный сотрудник, Институт технической механики Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины.

**Резниченко Людмила Васильевна** - младший научный сотрудник, Институт технической механики Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины.

**Божуха Лілія Миколаївна** - кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри математичного забезпечення ЕОМ, Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара.

**Зинькевич Илья Эдуардович** – магістрант кафедри прикладної математики Харківського національного університету радіоелектроніки.

**Кириченко Людмила Олеговна** – д.т.н., професор кафедри прикладної математики Харківського національного університету радіоелектроніки.

**Радивилова Тамара Анатольевна** – к.т.н., доцент каф. інфокомунікаційної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки.

**Прядко Наталия Сергеевна** – старший научный сотрудник Института технической механики НАН Украины и ГКА Украины, д.т.н., с.н.с.

**Музыка Лев Владимирович** – аспірант Інститута технічної механіки НАН України і ГКА України.

**Іващенко Валерій Петрович** - д.т.н., проф., перший проректор НМетАУ.

**Швачич Геннадій Григорович** - д.т.н., проф., зав. каф. ПМ та ОТ, НМетАУ.

**Семенов Сергій Геннадійович** - д.т.н., проф., зав. каф. обчислювальної техніки та програмування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Балакин Валерий Федорович** – д.т.н., проф., зав. кафедры технологического проектирования Национальной металлургической Академии Украины.

**Байрымов Антон Александрович** - аспирант кафедры технологического проектирования Национальной металлургической Академии Украины.

**Коваленко Ірина Володимирівна** - Державний вищий навчальний заклад «НГУ», Дніпро, асистент, ТОВ НВП «Стандарт», інженер з якості.

**Кійко Володимир Вікторович** - Державний вищий навчальний заклад «НГУ», Дніпро, асистент.

**Малайчук Валентин Павлович** – д.т.н., професор, зав.каф. радіоелектронної автоматики фізико-технічного факультету Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

**Клименко Світлана Володимирівна** – к.т.н., доцент кафедри радіоелектронної автоматики фізико-технічного факультету Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

**Кудрєватих Олександр Тихонович** – ст.викладач кафедри радіоелектронної автоматики фізико-технічного факультету Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

**Манько Тамара Антоновна** – д.т.н., професор, професор кафедри «Технология производства» Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара.

**Гусарова Ирина Александровна** – к.т.н., Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное», Начальник отдела.

**Козис Кристина Викторовна** – Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное», Ведущий инженер.

**Сенько Антон Александрович** - асистент кафедри комп'ютерних систем та мереж, Криворізький національний університет.

**Замковой Олег Владимирович** – аспирант каф. Электрометаллургии, НМетАУ.

**Овчарук Анатолий Николаевич** – д.т.н., проф. каф. Электрометаллургии, НМетАУ.

**Харламов Юрий Евгеньевич** – аспирант каф. Электрометаллургии, НМетАУ.

**Лю Ли** – зам. Начальника ВЭД SinosteelJEMECO (КНР).

**Безуглый Анатолий Владимирович** – старший преподаватель каф. Электротехники и электропривода.

**Безуглый Владимир Анатолиевич** – аспирант каф. Электротехники и электропривода.

**Николенко Анатолий Васильевич** – к.т.н., доц., каф. Электротехники и электропривод.

**Шумейко О.О.** - д.т.н., проф., зав.каф. Програмного забезпечення систем. Дніпровський державний технічний університет (м.Кам'янське).

**Шевченко Г.Я.** - к.т.н., керівник наукового центру Noosphere (м.Дніпро).

**Тітов К.Ю.** - аспірант кафедри систем та засобів штучного інтелекту ХНУРЕ.