

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI FANLAR AKADEMIYASI
АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
O‘ZBEKISTON ALOQA VA AXBOROTLASHTIRISH AGENTLIGI
УЗБЕКСКОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ

ИНФОРМАТИКА
VA ENERGETIKA
MUAMMOLARI

6·2009

ПРОБЛЕМЫ
ИНФОРМАТИКИ
И ЭНЕРГЕТИКИ

*Журнал под таким названием издается с января 1992 г.
по 6 номеров в год*

ТАШКЕНТ
ИЗДАТЕЛЬСТВО «ФАН» АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
2009

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

В.К.КАБУЛОВ (*главный редактор*)
Ш.Х.ФАЗЫЛОВ (*зам. главного редактора*)
Т.П.САЛИХОВ (*зам. главного редактора*)
Б.М. АЗИМОВ (*ответственный секретарь*)
Т.С.КАМАЛОВ (*ответственный секретарь*)
Ж.А.АБДУЛЛАЕВ
К.Р. АЛЛАЕВ
М.М. АРИФОВ
Т.Ф.БЕКМУРАТОВ
Р.А. ЗАХИДОВ
Х.З. ИГАМБЕРДИЕВ
М.М. КАМИЛОВ
О.М.НАБИЕВ
Ш.А.НАЗИРОВ
Т.Х.НАСЫРОВ
З.С. ТАЛИПЖАНОВ
А. А.ХОДЖАЕВ
Н.Р.ЮСУПБЕКОВ

Адрес редакции:
100170, Ташкент, ул. И.Муминова, 9
Телефоны: 262-56-36, 262-68-95

Редакторы А.С. Михерева, М. Саидова

Журнал зарегистрирован Агентством по печати и информации Республики Узбекистан 22.12.2006 г.
Регистр №0046. Сдано в набор 16.12.2009. Подписано к печати 29.03.2010. Формат 70×108 1/16. Гарнитура литературная.
Печать офсетная. Бумага офсетная. Усл. печ. л.9.73. Уч. - изд. л. 8.0. Тираж 150. Заказ № 8. Цена договорная.

Издательство “Фан” АН РУз: 100170, Ташкент, ул. И.Муминова, 9.
Отпечатано в типографии Института математики и информационных технологий АН РУз:
100187, Ташкент, ул.Ф.Ходжаева, 29.

© Издательство “Фан” АН РУз, 2009 г.

УДК 62-501.12

Х.З.ИГАМБЕРДИЕВ, О.О.ЗАРИПОВ

РЕГУЛЯРНЫЕ АЛГОРИТМЫ ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИЙ АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Х.З.Игамбердиев, О.О.Зарипов

Адаптив филтрлаш концепциялари асосида динамик системаларнинг ҳолатини
мунтазам баҳолаш алгоритмлари

Адаптив филтрлаш концепциялари ва ноқоррект қўйилган масалаларни ечиш усуллари
асосида динамик бошқарув объектлари ҳолатини турғун баҳолаш алгоритмлари келтирилган.

H.Z.Igamberdiyev, O.O.Zaripov

Regular algorithms of firm estimation of conditions of dynamic system on the basis of the adaptive filtering concept

Happen to algorithms of firm estimation of conditions of dynamic object control on the basis of
the adaptive filtering concept and methods solution of problems set forth incorrectly.

В большинстве процессов управления или многошаговых процедур принятия решения в технических и технологических системах имеют место присущие им неопределенности. Эти неопределенности не позволяют точно оценить влияние управляющих воздействий на качество функционирования синтезируемой системы. Неопределенности, существующие как в самой системе, так и в наблюдениях, во многих задачах могут быть представлены как стохастические процессы. К таким задачам применимы методы стохастического управления [1-4].

Рассмотрим систему, описываемую уравнениями

$$x_{i+1} = A_i x_i + B_i u_i + \Gamma_i w_i, \quad (1)$$

$$z_i = H_i x_i + v_i, \quad (2)$$

где x_i – вектор состояния системы размерности n ; u_i – вектор управления размерности l ; z_i – вектор наблюдения размерности m ; w_i и v_i – векторы шума объекта и помехи наблюдения размерности q и p соответственно, являющиеся последовательностью вида гауссовского белого шума с характеристиками $E[w_i] = 0$, $E[w_i w_k^T] = Q \delta_{ik}$, $E[v_i] = 0$, $E[v_i v_k^T] = R \delta_{ik}$, $E[w_i v_k^T] = 0$; A_i, B_i, Γ_i и H_i – матрицы соответствующих размерностей; δ_{ik} – символ Кронекера.

Будем использовать квадратический критерий качества

$$J_0 = E \left\{ \sum_{k=0}^{N-1} (x_{k+1}^T P_{k+1} x_{k+1} + u_k^T V_k u_k) \right\}, \quad (3)$$

где весовые матрицы P_k положительны и полуопределены. В предположении о существовании закона управления весовые матрицы управления V_k принимаются положительно определенными. Основной причиной, обуславливающей широкое применение квадратического критерия качества, является его удобство для аналитических исследований.

Так как система (1) линейна, а начальное состояние, шумы и помехи – гауссовские, ее состояние в любой момент времени тоже является гауссовским. Кроме того, если учесть гауссовский характер шумов и помех, и предположить линейность уравнения (2), то можно сделать предположение, что измерения тоже будут гауссовскими для всех i [1,4]. Можно показать [4], что плотности $p(x_i | z^i)$ и $p(x_i | z^{i-1})$ являются гауссовскими для всех i . Апостериорная плотность $p(x_i | z^i)$ может быть выражена через среднее \hat{x}_{ii} и ковариационную матрицу P_{ii} ошибки оценивания. Эти статистики определяются уравнениями фильтра Калмана:

$$\hat{x}_{i|i-1} = A_{i,i-1} \hat{x}_{i-1|i-1} + B_{i,i-1} u_{i-1}, \quad (4)$$

$$\hat{x}_{ii} = \hat{x}_{i|i-1} + K_i [z_i - B_{i,i-1} u_{i-1} - H_i \hat{x}_{i|i-1}], \quad (5)$$

где

$$K_i = P_{i|i-1} H_i^T [H_i P_{i|i-1} H_i^T + R_i]^{-1}, \quad (6)$$

$$P_{i|i-1} = A_{i,i-1} P_{i-1|i-1} A_{i,i-1}^T + Q_{i-1}, \quad (7)$$

$$P_{ii} = P_{i|i-1} - K_i H_i P_{i|i-1}, \quad (8)$$

а начальными условиями являются $\hat{x}_{0|-1} = \mu_0$, $P_{0|-1} = M_0$.

Уравнения (4)-(8) описывают среднее, ковариацию и, следовательно, функцию гауссовской апостериорной плотности для системы, соответствующей уравнениям (1)-(2). Тогда стратегия управления, минимизирующая критерий качества (3) при ограничениях вида (1) и (2), формируется на основе уравнения $u_i = -\Lambda_{i+1} A_{i+1,i} x_i$,

$$\text{где } \Lambda_{i+1} = (\tilde{A}_{i+1,i}^T \tilde{I}_{i+1,i} \tilde{A}_{i+1,i} + V_i)^{-1} \tilde{A}_{i+1,i}^T \tilde{I}_{i+1,i},$$

$$\tilde{I}_{i+1,i} = A_{i+1,i}^T \tilde{I}_{i+1,i+1} A_{i+1,i} + P_i, \quad \Pi_{ii} = \Pi_{i+1,i} - \Pi_{i+1,i} \Gamma_{i+1,i} \Lambda_{i+1}, \quad \tilde{I}_{N-1|N} = P_N.$$

Данная стратегия позволяет синтезировать системы управления на основе принципа разделения. В соответствии с этим принципом процедура оценивания параметров или переменных состояния выполняется отдельно с вычислением параметров устройства управления. В связи с этим в теории и практике построения систем управления динамическими объектами различного функционального назначения вопросам оценивания вектора состояния управляемых объектов в условиях наличия шумов объекта и помех измерений придается весьма важное значение. В реальных условиях функционирования управляемых объектов внешние помехосигнальные условия могут изменяться в широких пределах. Это обстоятельство обуславливает необходимость либо оценки неизвестных статистических характеристик шумов объекта и помех измерений и использования полученных оценок для изменения параметров

фильтров, либо использования фильтров без прямой оценки указанных характеристик, в которых адаптация осуществляется непосредственной подстройкой параметров фильтров [5]. Однако при практическом использовании указанных подходов возникают трудности вычислительного характера, связанные с плохой обусловленностью и неустойчивостью решаемых задач. Если исходные данные известны приближенно, то упомянутая неустойчивость приводит к практической неединственности решения в рамках заданной точности и к большим трудностям в выяснении смысла получаемого приближенного решения. Поэтому целесообразно рассмотреть различные возможные подходы к решению задач повышения точности вычисления состояния динамических систем на основе методов регуляризации. Отмеченные обстоятельства указывают на необходимость создания регулярных алгоритмов устойчивого оценивания состояния динамических систем при параметрической априорной неопределенности и синтеза вычислительных схем их практической реализации.

Рассмотрим линейную динамическую систему, описываемую уравнениями (1), (2). Важное свойство оптимального фильтра заключается в том, что остаточные члены, определяемые как

$$y_i = z_i - H_i \hat{x}_{i|i-1},$$

являются последовательностью вида белого шума. При этом ковариация остаточного члена равна

$$C_0 \stackrel{\Delta}{=} E[y_i y_i^T] = HPH^T + R,$$

а автоковариационная матрица процесса y_i равна

$$C_j \stackrel{\Delta}{=} E[y_{i+j} y_i^T] = H[A(I - KH)]^{j-1} A[PH^T - KC_0] \quad (9)$$

при $j = 1, 2, 3, \dots$, где K – произвольный коэффициент усиления.

Определяя матрицу S как

$$S = PH^T - KC_0, \quad (10)$$

уравнение (9) можно записать в виде

$$C_j = H[A(I - KH)]^{j-1} AS.$$

Матрицы K и S в уравнениях (9) и (10) имеют одинаковую размерность $n \times m$.

Абсолютный минимум функции f , определяемой в виде

$$f = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s_{ij}^2,$$

где s_{ij} – (i, j) -й элемент матрицы S , достигается при $S=0$.

Для определения коэффициента усиления K , который приводит матрицу S к нулю, будем использовать метод проекции градиента [6]. При достаточно малых погрешностях в исходных данных первые приближения в градиентных методах обычно мало отличаются от соответствующих приближений при точных исходных данных. С увеличением же числа итераций получаемые приближения могут как угодно далеко отклоняться от искомым решений. Другими словами, для принципиальной применимости любого итерационного метода, в частности градиентного, к решению некорректных задач он должен порождать регуляризирующее семейство операторов, в котором параметром регуляризации является номер итерации [6-8].

Запишем функцию А.Н. Тихонова [9] для рассматриваемой задачи

$$T_r(k_{pq}) = J(k_{pq}) + \alpha_r \Omega(k_{pq}), \quad k_{pq} \in K,$$

где $\alpha_r > 0$, $r = 1, 2, \dots$, $\lim_{r \rightarrow \infty} \alpha_r = 0$, а стабилизатором служит функция $\Omega(k_{pq}) = \|k_{pq}\|^2 / 2$.

Так как $\Omega(k_{pq}) = \|k_{pq}\|^2 / 2$ – сильно выпуклая функция, то Ω – нормальное решение существует и единственно ($k_{pq}^* \in K^* = \{k_{pq} : k_{pq} \in K, J(k_{pq}) = J_*\}$, $J_* = \inf J(k_{pq})$, $J_* > -\infty$), при этом $\lim_{r \rightarrow \infty} \|k_{pq}^r - k_{pq}^*\| = 0$ и $\|v_r - k_{pq}^r\| \rightarrow 0$ при $r \rightarrow \infty$.

Тогда можно показать [6,7], что последовательность $\{k_{pq}^r\}$, определяемая условием

$$v_{r+1} = P_K(v_r - \beta_r(f_r'(v_r) + \alpha_r v_r)), \quad r = 1, 2, \dots; \quad v_1 \in K, \quad (11)$$

сходится по норме к точке $k_{pq}^* \in K^*$ с минимальной нормой. Последовательности $\{\alpha_r\}$, $\{\beta_r\}$ в (11) можно выбрать, например, в виде $\alpha_r = r^{-1/3}$, $\beta_r = r^{-1/2}$, $r = 1, 2, \dots$.

Для решения задачи адаптивного оценивания вектора состояния в условиях априорной неопределенности ковариационных матриц шума объекта и помехи измерений запишем выражение для обновляемого процесса

$$v_{i+l|i} = z_{i+l} - H\hat{x}_{i+l|i},$$

где $\hat{x}_{i+l|i} = A_{i+l,i}\hat{x}_i = A_i^l \hat{x}_i$.

Рассмотрим следующую последовательность взаимноковариационных матриц $M(v_{i+j|i} v_{i+l|i}^2)$, $j = 2, \dots, l$. Следуя методам оптимальной динамической фильтрации, можно показать, что

$$M(v_{i+j|i} v_{i+l|i}^2) = H A_i^{j-1} P_{i+l|i} H^T, \quad j = 2, \dots, l, \quad (12)$$

где $P_{i+l|i} = M(\tilde{x}_{i+l|i} \tilde{x}_{i+l|i}^T)$.

Уравнение (12) можно записать в матричной форме

$$Y_v = S P_{i+l|i} H^T, \quad (13)$$

где

$$Y_v = \begin{bmatrix} M(v_{i+2|i} v_{i+l|i}^T) \\ M(v_{i+3|i} v_{i+l|i}^T) \\ M(v_{i+4|i} v_{i+l|i}^T) \\ \dots \\ M(v_{i+l|i} v_{i+l|i}^T) \end{bmatrix}, \quad S = \begin{bmatrix} H \\ HA_i \\ HA_i^2 \\ \dots \\ HA_i^{l-2} \end{bmatrix} A_i.$$

Возможны и другие способы формирования матриц Y_v и S . Для синтеза адаптивного фильтра в рассматриваемой постановке необходимо вычислить матрицу $P_{i+l|i} H^T$. Принимая более реалистическую точку зрения, будем полагать, что правая часть уравнения (13) задана с некоторой погрешностью, обусловленной наличием шума модели объекта и помехи измерений в (1) и (2). Таким образом, вместо (13) будем рассматривать уравнение вида

$$Y_v^\delta = S P_{i+l|i} H^T, \quad (14)$$

с условием аппроксимации $\|y_{v,j}^\delta - y_{v,j}\| \leq \delta$ для каждого j ($j = 1, 2, \dots, m$) – номера столбца матрицы Y_v^δ .

Для упрощения дальнейших выкладок перепишем уравнение (14) в виде

$$Y_v^\delta = SD_i, \quad (15)$$

где $D_i = P_{i+1|i} H_i^T$.

Применим для решения уравнения (15) метод регуляризации [7-9]. Тогда $d_j^\alpha = (\alpha I + S^T S)^{-1} S^T y_{v,j}^\delta$ ($\alpha = r^{-1}$), где $\alpha > 0$ - параметр регуляризации.

Более удобным с вычислительной точки зрения является итерированный вариант метода регуляризации, который может быть записан в виде

$$d_{j,r} = (I - S^T S g_r(S^T S)) d_{j,0} + g_r(S^T S) S^T y_{v,j}^\delta, \quad j = 1, \dots, m, \quad (16)$$

где d_j - j -й столбец матрицы D , $g_r(S^T S) = (S^T S + \alpha I)^{-1}$ или $g_r(\lambda) = (r^{-1} + \lambda)^{-1}$, $0 \leq \lambda < \infty$ - порождающая система функций.

Параметр регуляризации r в алгоритме (16) целесообразно выбирать по величине невязки $\|Sd_{j,r} - y_{v,j}^\delta\|$. При реализации приближения (16) параметр регуляризации будем выбирать, исходя из выполнения неравенства вида

$$b_1 \delta \leq \|Sd_{j,r} - y_{v,j}^\delta\| \leq b_2 \delta, \quad b_1 > 1, \quad b_2 \geq b_1. \quad (17)$$

При этом, если $\|Sd_{j,0} - y_{v,j}^\delta\| \leq b_2 \delta$, то положим $r = 0$, т.е. за приближенное решение уравнения (15) примем начальное приближение $d_{j,0}$.

Для установления сходимости приближения (16) на основе правила (17) останова итерационного процесс рассмотрим выражения

$$\begin{aligned} d_{j,r} - d_j^* &= (I - S^T S g_r(S^T S))(d_{j,0} - d_j^*) + g_r(S^T S) S^T (y_{v,j}^\delta - y_{v,j}), \\ Sd_{j,r} - y_{v,j}^\delta &= S(I - S^T S g_r(S^T S))(d_{j,0} - d_j^*) - (I - S^T S g_r(S^T S))(y_{v,j}^\delta - y_{v,j}), \end{aligned}$$

где d_j^* - ближайшее к $d_{j,0}$ решение уравнения (15).

Таким образом, если правило останова (17) при сколь угодно малом $\delta > 0$ выдает $r = 0$, то $\|Sd_{j,0} - y_{v,j}^\delta\| \leq b_2 \delta$ и в пределе при $\delta \rightarrow 0$ получаем $Sd_{0,r} = y_{v,j}$, т.е. $d_{0,r}$ - решение уравнения (15).

Рассмотрим алгоритм фильтрации динамических систем при наличии автокоррелированных шумов объекта и помех измерений. Будем полагать, что модели системы и измерений имеют вид

$$x_{i+1} = A_{i+1|i} x_i + \Gamma_{i+1|i} \eta_i, \quad \eta_{i+1} = \tilde{A}_{i+1|i} \eta_i + \tilde{\mu}_i w_{i+1}, \quad (18)$$

$$z_{i+1} = H_{i+1} x_{i+1} + \xi_{i+1}, \quad \xi_{i+1} = \tilde{H}_{i+1} \xi_i + \tilde{v}_i v_{i+1}. \quad (19)$$

Априорные данные заданы в виде

$$\begin{aligned} w_i &\sim N(0, Q_i), \quad v_i \sim N(0, R_i), \quad x_0 \sim N(\bar{x}_0, P_0), \quad \eta_0 \sim N(\bar{\eta}_0, P_0^{(m)}), \\ \text{cov}(x_0, \eta_0) &= \text{cov}(x_0, w_i) = \text{cov}(\eta_0, w_i) = \text{cov}(\eta_0, v_i) = \text{cov}(v_i, w_i) = 0. \end{aligned}$$

Тогда, следуя методам теории оптимальной фильтрации и динамического оценивания [4,10], можно показать, что алгоритм фильтрации задается соотношениями

$$x_{i+1|i+1} = x_{i+1|i} + K_{i+1} (z_{i+1} - \tilde{H}_{i+1} z_i - H_{i+1} x_{i+1|i} + \tilde{H}_{i+1} H_i x_{i|i}), \quad (20)$$

$$x_{i+1|i} = A_{i+1|i} x_{i|i} + \Gamma_{i+1|i} \eta_{i|i}, \quad \eta_{i+1|i} = \tilde{A}_{i+1|i} \eta_{i|i}, \quad (21)$$

$$\eta_{i+1|i+1} = \eta_{i+1|i} + K_{i+1}^{(\eta)} (z_{i+1} - \tilde{H}_{i+1} z_i - H_{i+1} x_{i+1|i} + \tilde{H}_{i+1} H_i x_{i|i}), \quad (22)$$

$$\begin{aligned}
P_{i+1}^{(1)} &= P_{i\bar{l}i} H_i^T - A_{i+1\bar{l}i} P_{i\bar{l}i} H_i^T \tilde{H}_{i+1} - \tilde{A}_{i+1\bar{l}i} W_{i\bar{l}i}^T H_i^T \tilde{H}_{i+1}, \\
P_{i+1}^{(2)} &= W_{i\bar{l}i}^T H_i^T - \tilde{A}_{i+1\bar{l}i} W_{i\bar{l}i}^T H_i^T \tilde{H}_{i+1}, \quad \text{cov}(x_i, \eta_i) = W_{i\bar{l}i}.
\end{aligned} \tag{23}$$

При этом коэффициенты усиления K_{i+1} и $K_{i+1}^{(\eta)}$ определяются на основе выражений

$$K_{i+1} P_{i+1\bar{l}i}^{(22)*} = P_{i+1}^{(1)}, \quad K_{i+1}^{(\eta)} P_{i+1\bar{l}i}^{(22)*} = P_{i+1}^{(2)}, \tag{24}$$

где $P_{i+1\bar{l}i}^{(22)*}$ – ковариационная матрица ошибки оценивания для случая автокоррелированных шумов объекта и помехи измерений.

Здесь целесообразно использовать метод расширения вектора состояния и метод разностных измерений Брайсона-Хенриксона [1,11]. В методе расширения вектора состояния x_i дополняется вектором η_i . Новый вектор состояния будет иметь вид $x_i^* = [x_i^T, \eta_i^T]^T$. Тогда соотношения (18)-(19) примут вид

$$x_{i+1}^* = A_{i+1\bar{l}i}^* x_i^* + b_i^* w_{i+1}, \tag{25}$$

$$z_{i+1} = H_{i+1}^* x_{i+1}^* + \zeta_{i+1}, \tag{26}$$

где

$$x_i^* = \begin{bmatrix} x_i \\ \eta_i \end{bmatrix}, \quad A_{i+1\bar{l}i}^* = \begin{bmatrix} A_{i+1\bar{l}i} & \Gamma_{i+1\bar{l}i} \\ 0 & \tilde{A}_{i+1\bar{l}i} \end{bmatrix}, \quad b_i^* = \begin{bmatrix} 0 \\ b_i \end{bmatrix}, \quad H_{i+1}^* = \begin{bmatrix} H_{i+1} & 0 \end{bmatrix}.$$

При использовании метода разностных измерений формируются новые измерения y_{i+1} как линейные комбинации двух последовательных измерений z_i и z_{i+1} :

$$y_{i+1} = z_{i+1} - \tilde{H}_{i+1} z_i, \tag{27}$$

Используя (25)-(27), получаем модель для описания измерений

$$y_{i+1} = (H_{i+1}^* A_{i+1\bar{l}i} - \tilde{H}_{i+1} H_i^*) x_i^* + H_{i+1}^* b_i^* w_{i+1} + \tilde{v}_i v_{i+1}. \tag{28}$$

Для соотношений (25) и (28) целесообразно использовать фильтр Глonti-Липцера [4,12], основной блок которого имеет вид

$$\begin{aligned}
x_{i+1\bar{l}i+1}^* &= x_{i+1\bar{l}i}^* + K_{i+1} (y_{i+1} - y_{i+1\bar{l}i}), \\
\begin{bmatrix} x_{i+1\bar{l}i}^* \\ y_{i+1\bar{l}i} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} A_{i+1\bar{l}i}^* \\ (H_{i+1}^* A_{i+1\bar{l}i} - \tilde{H}_{i+1} H_i^*) A_{i+1\bar{l}i}^* \end{bmatrix} x_{i\bar{l}i}^*.
\end{aligned}$$

Эффективность функционирования алгоритма фильтрации (20)-(23) существенно зависит от точности вычисления матриц коэффициентов усиления K_{i+1} и $K_{i+1}^{(\eta)}$ на основе выражений (24). Матрица $P_{i+1\bar{l}i}^{(22)*}$ в этих выражениях может оказаться вырожденной или плохо обусловленной. Для вычисления K_{i+1} и $K_{i+1}^{(\eta)}$ целесообразно использовать регулярные процедуры [6-9]. Применяя операторную форму регулярных итерационных методов к уравнению (24), получим

$$k_{i+1,r}^{(j)} = (I - P_{i+1\bar{l}i}^{(22)*T} G_k) k_{i+1,0}^{(j)} + G_k P_{i+1}^{(1)T} \quad (r = m^l, l = 1, 2, \dots), \tag{29}$$

где $k_{i+1}^{(j)}$ – j -й столбец матрицы K_{i+1}^T , $j = 1, 2, \dots, n$; $m \geq 2$ – задаваемое натуральное число.

В (29) операторы $G_k = G_{k-1} \sum_{j=0}^{m-1} (I - P_{i+1\bar{l}i}^{(22)*T} G_{k-1})^j$, $k = 1, 2, \dots$ итеративно

строятся по начальному оператору

$$G_0 = g(P_{i+1\bar{l}i}^{(22)*T}) = (P_{i+1\bar{l}i}^{(22)*T} + \alpha I)^{-1}, \tag{30}$$

где $\alpha = const > 0$.

Регулярную итерационную схему (29) целесообразно использовать при $m = 2$. В вычислительной схеме (29) параметром регуляризации является номер итерации. Параметр α введен в выражение (29) посредством уравнения (30) только лишь для улучшения меры его численной устойчивости. Регуляризация здесь производится за счет многократного итерирования при фиксированном значении α .

В теории и практике оптимальной рекуррентной фильтрации динамических систем встречаются ситуации, когда шумы системы и помехи измерений являются взаимно-коррелированными [4,12]. На основании методов теории динамического оценивания [4,10,11] алгоритм фильтрации в рассматриваемом случае можно записать в виде

$$x_{i+1|i+1} = x_{i+1|i} + K_{i+1} (z_{i+1} - H_{i+1} x_{i+1|i}), \quad x_{i+1|i} = A_{i+1|i} x_{i|i} + K_i^p [z_i - H_i x_{i|i}], \quad (31)$$

$$K_{i+1} = P_{i+1|i} H_{i+1}^T [H_{i+1} P_{i+1|i} H_{i+1}^T + R_{i+1}]^{-1},$$

$$P_{i+1|i} = [A_{i+1|i} - K_i^p H_i] P_{i|i} [A_{i+1|i} - K_i^p H_i]^T + \Gamma_i Q_i \Gamma_i^T - K_i^p R_i K_i^p, \quad P_{i+1|i+1} = [I - K_{i+1} H_{i+1}] P_{i+1|i}.$$

Матрица усиления K_i^p в (31) определяется на основе выражения

$$K_i^p R_i = \tilde{A}_i \hat{O}_i, \quad (32)$$

где $\hat{O}_i = \text{cov}(w_i, v_j)$.

Точность решения задачи фильтрации при коррелированных шумах объекта и помехи измерений существенно зависит от точности вычисления коэффициента усиления K_i^p на основе уравнения (32). Эта система уравнений может быть плохо обусловленной, т.е. малым изменениям исходных данных могут отвечать большие изменения решения. Для регуляризации решения уравнения (32) будем использовать регулярные итерационные методы.

Условия аппроксимации исходных данных примем в виде $\|\mathfrak{S}_{i,j}^{(\delta)} - \mathfrak{s}_{i,j}\| \leq \delta$, $\|R_i^{(h)T} - R_i^T\| \leq h$. Приближения к псевдорешению $k_{i,j}^* = (R_i^T)^+ \mathfrak{s}_{i,j}$ уравнения (32) будем строить в виде

$$k_{i,j,r} = g_r(R_i^{(h)T}) \mathfrak{S}_{i,j}^{(\delta)}, \quad \bar{k}_{i,j,r} = g_r(R_i^{(h)T}) R_i^{(h)T} k_{i,j,r}, \quad (33)$$

где $k_{i,j}$ – j -й столбец матрицы K_i^{pT} , $j=1,2,\dots,n$; $\mathfrak{s}_{i,j}$ – j -й столбец матрицы $\mathfrak{S}_i^T = \hat{O}_i^T \tilde{A}_i^T$. Приближения (33) можно также записать в виде $k_{i,j,r} = B_r^{(h)} \mathfrak{S}_{i,j}^{(\delta)}$, $\bar{k}_{i,j,r} = \bar{B}_r^{(h)} \mathfrak{S}_{i,j}^{(\delta)}$, где операторы

$$B_r^{(h)} = g_r(R_i^{(h)T}), \quad \bar{B}_r^{(h)} = B_r^{(h)} R_i^{(h)T} B_r^{(h)} \quad (34)$$

аппроксимируют R_i^T . Принимая во внимание, что матричный оператор $R_i^{(h)T}$ является самосопряженным, для регуляризации решения уравнения (32) используем метод М.М.Лаврентьева [7,8], в котором $g_r(\lambda) = (\alpha + \lambda)^{-1}$, $\alpha = r^{-1}$. Тогда приближения (33) и (34) примут вид $k_{i,j,\alpha} = (R_i^{(h)T} + \alpha I)^{-1} \mathfrak{S}_{i,j}^{(\delta)}$, $\bar{k}_{i,j,\alpha} = (R_i^{(h)T} + \alpha I)^{-1} R_i^{(h)T} k_{i,j,\alpha}$, $B_\alpha^{(h)} = (R_i^{(h)T} + \alpha I)^{-1}$, $\bar{B}_\alpha^{(h)} = B_\alpha^{(h)} R_i^{(h)T} B_\alpha^{(h)}$. Переходя к итерированному варианту рассматриваемого метода можно написать

$$k_0 = 0, \quad k_{i,j}^{(l)} = k_{i,j}^{(l-1)} - B^{(h)} (R_i^{(h)T} k_{i,j}^{(l-1)} - \mathfrak{S}_{i,j}^{(\delta)}), \quad l=1,\dots,r, \quad (35)$$

$$\bar{k}_0 = 0, \quad \bar{k}_{i,j}^{(l)} = \bar{k}_{i,j}^{(l-1)} - B^{(h)} (R_i^{(h)T} \bar{k}_{i,j}^{(l-1)} - R_i^{(h)T} k_{i,j,r}^{(l-1)}), \quad l=1,\dots,r. \quad (36)$$

В (35), (36) $B^{(h)} = g(R_i^{(h)T})$. Число итераций r примем за параметр регуляризации. Для номеров вида $n = 2^l$ итерации (35) и (36) целесообразно вычислять по схеме Шульца-Хотеллинга [8]

$$G_0^{(h)} = g(R_i^{(h)T}), \quad G_i^{(h)} = G_{i-1}^{(h)}(2I - R_i^{(h)T} G_{i-1}^{(h)}), \quad i = 1, 2, \dots,$$

$$k_{i,j}^{(l)} = G_i^{(h)} \xi_{i,j}^{(\delta)}, \quad \bar{k}_{i,j}^{(l)} = G_i^{(h)} R_i^{(h)T} G_i^{(h)} \xi_{i,j}^{(\delta)}, \quad l = 2^i, \quad i = 1, 2, \dots$$

При этом операторы $B_i^{(h)} = G_i^{(h)}$, $\bar{B}_i^{(h)} = B_i^{(h)} R_i^{(h)T} B_i^{(h)}$ можно трактовать как аппроксимации к псевдообратному оператору R^+ . Выбор параметра r в (35) и (36) можно осуществлять по величине невязки на основе соотношения вида $\|R_i^{(h)T} k_{i,j,r} - \xi_{i,j}^{(\delta)}\| = b(\delta + \|k_{i,j,r}\| h)$, $b > 1$.

Приведенные регулярные рекуррентно-итерационные алгоритмы адаптивного оценивания вектора состояния динамических объектов представляют собой хорошо реализуемые на ЭВМ уравнения и могут быть эффективно использованы в задачах синтеза систем управления динамическими объектами.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. Красовского А.А. М.: Наука, 1987. - 712 с.
2. Афанасьев В.Н. Динамические системы управления с неполной информацией: Алгоритмическое конструирование. М.: КомКнига, 2007.
3. Малин А.С., Мухин В.И. Исследование систем управления. М.: ГУ ВШЭ, 2005. - 400с.
4. Фильтрация и стохастическое управление в динамических системах / Под ред. Леондеса К. Т. Пер. с англ. М.: Мир, 1980. - 407 с.
5. Первачев С.В., Перов А.И. Адаптивная фильтрация сообщений. М.: Радио и связь, 1991.-160с.
6. Васильев Ф.П. Методы решения экстремальных задач. М.: Наука, 1981. - 400 с.
7. Бакушинский А.Б., Гончарский А.В. Итеративные методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1989. - 128 с.
8. Вайникко Г.М., Веретенников А.Ю. Итерационные процедуры в некорректных задачах. М.: Наука, 1986. – 178с.
9. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1979. – 285 с.
10. Колос М.В., Колос И.В. Методы линейной оптимальной фильтрации. М.: Наука, 2000. - 158 с.
11. Брайсон А., Хо Ю-Ши. Прикладная теория оптимального управления/ Пер. с англ. М.: Мир, 1972. - 544 с.
12. Огарков М.А. Методы статистического оценивания параметров случайных процессов. М.: Энергоатомиздат, 1990. -208 с.

А.С. КАБИЛЬДЖАНОВ

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНО - АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ СТАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ

А.С. Кабильджанов

Бошқарув объектлари статик моделини тузишга интеллектвал-алгоритмик ёндашув

Мақолада бошқарув объектлари статик моделини тузишнинг алгоритмлаштириш ва интеллектваллаштириш масалалари кўриб чиқилган.

A.S.Kabiljanov

Savvy - algorithmic approach to building of steady-state models of objects of management

In clause the questions algorithmization and intellectualization of a task of construction of static models of objects of management are considered.

При описании установившихся режимов функционирования объектов управления наиболее часто используются статические модели. Общее уравнение статической модели объекта управления записывается в виде

$$y = f(x, a), \quad (1)$$

где x , y – входной, выходной сигналы объекта управления, в общем случае векторы; a - вектор неизвестных параметров модели; f - вектор-функция, в общем случае ее вид неизвестен.

Построение статических моделей требует решения двух основных задач:

- определения вида функциональных зависимостей f_i , $i = \overline{1, n}$, входящих в f ;
- нахождения значений вектора неизвестных параметров a по результатам совместной обработки всех полученных в эксперименте значений x и y .

Задача выбора вида функциональной зависимости относится к трудно формализуемым задачам, так как одна и та же кривая может быть описана самыми различными аналитическими выражениями, а рациональный выбор того или иного аналитического описания может быть обоснован лишь при учете определенного перечня требований [1, 2].

Основными требованиями, предъявляемыми к статическим моделям объектов управления, являются компактность, адекватность и содержательность [1- 3].

На практике компактность математической модели достигается включением в нее только значимых входных параметров и удачным выбором элементарных функций, обеспечивающих хорошее приближение при их небольшом числе.

Адекватность статической модели объекта управления на наборе заданных элементарных функций обеспечивается путем решения экстремальной задачи вида

$$\rho(a^*) = \min_{a \in A} \rho(a), \quad (2)$$

где $\rho(a)$ - функция невязки экспериментальных y_{ij} и модельных \hat{y}_{ij} значений выходного параметра объекта управления; A – область допустимых значений вектора параметров a .

Наиболее часто на практике в качестве функции невязки используется среднеквадратическая функция вида

$$\rho(a) = \left[\frac{1}{Nn} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N [y_{ij} - \hat{y}_{ij}]^2 \right]^{0.5}, \quad (3)$$

где N - объем выборки экспериментальных данных.

Как правило, содержательность или интерпретируемость достигается путем придания определенного смысла параметрам и функциям, входящим в математическую модель.

В тех случаях, когда априорной информации об объекте управления недостаточно, или процесс настолько сложен, что невозможно составить его детерминированную модель, построение статической модели объекта управления, как правило, осуществляется экспериментально-статистическими методами [1-5]. При этом статическая модель объекта управления наиболее часто представляется в виде отрезка ряда Тейлора, в который разлагается неизвестная зависимость (1), а коэффициенты полинома определяются методом наименьших квадратов [4].

Такой подход является чисто формальным и имеет ряд недостатков. Основные недостатки вытекают из чувствительности метода наименьших квадратов к неоднородности статистики и плохой обусловленности решений [4]. При наличии промахов и случайных ошибок метод наименьших квадратов может привести к получению абсурдного решения.

Предлагаемый интеллектуально - алгоритмический подход к построению статических моделей объектов управления лишен большинства недостатков, присущих методам корреляционного и регрессионного анализа. Кроме того, он позволяет повысить содержательность статической модели объекта управления и обеспечить робастность процедуры параметрической идентификации.

Интеллектуально - алгоритмический подход к построению статических моделей объектов управления в своей основе использует метод Брандона, алгоритм вычисления оценок, метод медианных оценок, метод невязок и метод наименьших квадратов и сводится к следующему.

Запишем уравнение статической модели для i -й выходной переменной объекта управления в виде

$$\hat{y}_i = a_0 \prod_{j=1}^k f_j(x_j), \quad (3)$$

где $f_j(x_j)$ - любая функция величины x_j . Порядок расположения переменных x_1, x_2, \dots, x_k в выражении (3) определяется из следующего условия: чем большее влияние на y_i оказывает переменная x_j , тем меньше должен быть порядковый номер индекса.

Если ввести оценку $P(x)$ степени влияния переменных x_1, x_2, \dots, x_k на выходную переменную объекта управления y , данному требованию будет соответствовать условие

$$P(x_1) < P(x_2) < \dots < P(x_j) < \dots < P(x_k). \quad (4)$$

Вид функций f_j выбирается на основе интеллектуального подхода по эмпирической линии регрессии, построенной при помощи робастной процедуры. В начале по точкам выборки системы величин $y_i, x_1, x_2, \dots, x_k$ строятся поле корреляции и эмпирическая линия регрессии $y_i - x_1$. Таким образом, определяется

тип зависимости $\hat{y}_{ix_1} = f_1(x_1)$ и методом наименьших квадратов рассчитываются коэффициенты этого уравнения регрессии. Затем составляется выборка новой величины:

$$y_{i1} = y_i / f_1(x_1). \quad (5)$$

Полученная величина y_{i1} не зависит уже от x_1 , а определяется только переменными x_2, x_3, \dots, x_k . Поэтому можно записать

$$\hat{y}_{i1} = a_0 \prod_{j=2}^k f_j(x_j). \quad (6)$$

По точкам новой выборки величин y_{i1} и x_2 вновь строятся корреляционное поле и эмпирическая линия регрессии, характеризующая зависимость y_{i1} от x_2 :

$$\hat{y}_{ix_2} = f_2(x_2). \quad (7)$$

Рассчитываются ее коэффициенты и вновь составляется выборка новой величины:

$$y_{i2} = y_{i1} / f_2(x_2) = y_i / [f_1(x_1) f_2(x_2)]. \quad (8)$$

Полученная величина y_{i2} не зависит уже от двух факторов x_1 и x_2 и может быть определена из следующего уравнения регрессии:

$$\hat{y}_{i2} = a_0 \prod_{j=3}^k f_j(x_j). \quad (9)$$

Такая процедура определения функций $f_j(x_j)$ продолжается до получения выборки величины y_{ik} :

$$y_{ik} = y_{ik-1} / f_k(x_k) = y_i / [f_1(x_1) f_2(x_2) \dots f_k(x_k)]. \quad (10)$$

Полученная величина y_{ik} не зависит от всех переменных x_1, x_2, \dots, x_k и определяется коэффициентом исходного уравнения

$$\hat{y}_{ik} = a_0 = \frac{1}{N} \sum_{l=1}^N y_{ikl}, \quad (11)$$

где N - объем выборки.

Применение описанного выше алгоритма построения статической модели объекта управления предполагает решение четырех задач:

- вычисления оценок $P(x_j)$ степени влияния переменных x_1, x_2, \dots, x_k на выходную переменную объекта управления y и ранжирования переменных в порядке убывания значений $P(x_j)$, $j=1, k$;

- организации робастной процедуры построения эмпирической линии регрессии;

- построения интеллектуальной процедуры выбора функциональной зависимости, аппроксимирующей полученную эмпирическую линию регрессии;

- параметрической идентификации в постановке (3).

Анализ существующих методов оценки значимости входных параметров объектов управления показал, что для решения первой задачи достаточно эффективным и лишенным недостатков, присущих методам корреляционного и регрессионного анализа, являются алгоритмы вычисления оценок [5].

При организации процедуры построения эмпирической линии регрессии, обеспечивающей робастность решения последующей задачи параметрической идентификацией, в качестве базового метода был принят метод медианных оценок. В соответствии с данным методом для упорядоченной выборки значений

каждой входной переменной $x_{j1} < x_{j2} < \dots < x_{jn}$; $j = \overline{1, k}$ определяется число классов L , например, по правилу Старджеса [2].

Применительно к каждой паре i -го выходной переменной и j -го входного объекта управления в каждом классе определяются медианы центров с координатами (x_{jl}^*, y_{ijl}^*) , $l = \overline{1, L}$, как медианы пяти оценок абсцисс $\overline{x_{jl}}, x_{jl}^c, x_{jl}^p, x_{jl}^m, x_{jl}^{0,5}$ и ординат $\overline{y_{ijl}}, y_{ijl}^c, y_{ijl}^p, y_{ijl}^m, y_{ijl}^{0,5}$ $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, k}$, через которые проводится эмпирическая линия регрессии.

Пять оценок определяются по следующим формулам:

- $\overline{x_{jl}} = \frac{1}{n_l} \sum_{i=1}^{n_l} x_{ji}$ - среднее арифметическое для l -го интервала;

- $x_{jl}^c = (x_{jl}^{0,25} + x_{jl}^{0,75}) / 2$ - центр сгиба,

где $x_{jl}^{0,25}, x_{jl}^{0,75}$ - 25 и 75 % квантили для l -го интервала, соответственно;

- $x_{jl}^p = (x_{jl1} + x_{jln_l}) / 2$ - центр размаха для l -го интервала;

- $x_{jl}^m = x_{jlk}; k = \text{int}(n_l / 2)$ - медиана для l -го интервала,

где int – знак операции округления в сторону ближайшего целого;

- $\overline{x_{jl}^{0,5}} = \frac{2}{n_l} \sum_{i=i_l}^{n_l} x_{jli}$ - среднее арифметическое 50% наблюдений,

где $i_l = \text{int}(0,25n_l)$; $n_l = \text{int}(0,75n_l)$.

Применительно к выходным переменным объекта управления медианные центры в каждом классе вычисляются по аналогичным формулам.

Интеллектуальная процедура выбора функциональной зависимости в соответствии с методом невязок организована по следующему алгоритму.

1. По экспериментальным данным строится график зависимости $y = f(x)$.
2. На построенном графике выбираются две далеко отстоящие друг от друга точки (x_1, y_1) и (x_2, y_2) .
3. Вычисляются средние арифметические, геометрические и гармонические значения для x и y

$$\begin{cases} \overline{x}_{\text{ар}} = \frac{x_1 + x_2}{2} \\ \overline{x}_{\text{геом}} = \sqrt{x_1 \cdot x_2} \\ \overline{x}_{\text{гарм}} = \frac{2 \cdot x_1 \cdot x_2}{x_1 + x_2} \end{cases} \quad (12)$$

$$\begin{cases} \overline{y}_{\text{ар}} = \frac{y_1 + y_2}{2} \\ \overline{y}_{\text{геом}} = \sqrt{y_1 \cdot y_2} \\ \overline{y}_{\text{гарм}} = \frac{2 \cdot y_1 \cdot y_2}{y_1 + y_2} \end{cases} \quad (13)$$

4. По вычисленным значениям $\overline{x}_{\text{гарм}}, \overline{x}_{\text{геом}}, \overline{x}_{\text{ар}}$ на графике определяются значения y_1^*, y_2^* и y_3^* .

5. Вычисляются значения невязок

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_1 = |y_1^* - \bar{y}_{\text{ар}}| \\ \varepsilon_2 = |y_1^* - \bar{y}_{\text{геом}}| \\ \varepsilon_3 = |y_1^* - \bar{y}_{\text{гарм}}| \\ \varepsilon_4 = |y_2^* - \bar{y}_{\text{ар}}| \\ \varepsilon_5 = |y_2^* - \bar{y}_{\text{геом}}| \\ \varepsilon_6 = |y_3^* - \bar{y}_{\text{ар}}| \\ \varepsilon_7 = |y_3^* - \bar{y}_{\text{гарм}}| \end{array} \right. \quad (14)$$

6. Выбирается минимальное значение ε_{\min} .

7. По полученному минимальному значению ε_{\min} производится выбор вида функциональной зависимости в соответствии со следующим интеллектуальным правилом [2]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Если } \varepsilon_{\min} = \varepsilon_1, \text{ то линейная } y = a + b \cdot x; \\ \text{Если } \varepsilon_{\min} = \varepsilon_2, \text{ то показательная } y = a \cdot b^x; \\ \text{Если } \varepsilon_{\min} = \varepsilon_3, \text{ то дробно-рациональная } y = \frac{1}{a + b \cdot x}; \\ \text{Если } \varepsilon_{\min} = \varepsilon_4, \text{ то логарифмическая } y = a + b \cdot \ln(x); \\ \text{Если } \varepsilon_{\min} = \varepsilon_5, \text{ то степенная } y = a + x^b; \\ \text{Если } \varepsilon_{\min} = \varepsilon_6, \text{ то гиперболическая } y = a + b/x; \\ \text{Если } \varepsilon_{\min} = \varepsilon_7, \text{ то дробно-рациональная } y = \frac{x}{a + b \cdot x}. \end{array} \right. \quad (15)$$

Правило (15) соответствует классической продукционной модели по представлению знаний и может быть расширено применительно к конкретным классам объектов исследования. Определение параметров выбранной функциональной зависимости производится методом наименьших квадратов.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. Л.: Энергоиздат, 1991.
2. Кабильджанов А.С., Мирюсупов З.З., Юнусова Д.Х. Методы обработки экспериментальных данных. Учебное пособие. Ташкент: ТГТУ, 2003.
3. Штейнберг Ш.Е. Идентификация в системах управления. М.: Энергоатомиздат, 1987.
4. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии. М.: Высшая школа, 1978.
5. Журавлев Ю.И., Камилов М.М., Туляганов Ш.Е. Алгоритмы вычисления оценок и их применение. Ташкент: Фан, 1974.

БЮДЖЕТ ЖОРИЙ БАЛАНСНИ ТАЪМИНЛАШ МОДЕЛИ

А. Абдугафаров, Ф. Аллаяров

Модель обеспечения текущего баланса бюджета

Разработаны модель и алгоритм обеспечения текущего баланса бюджета.

A. Abdugafarov, F. Allayarov

Model ensuring the current balance of the budget

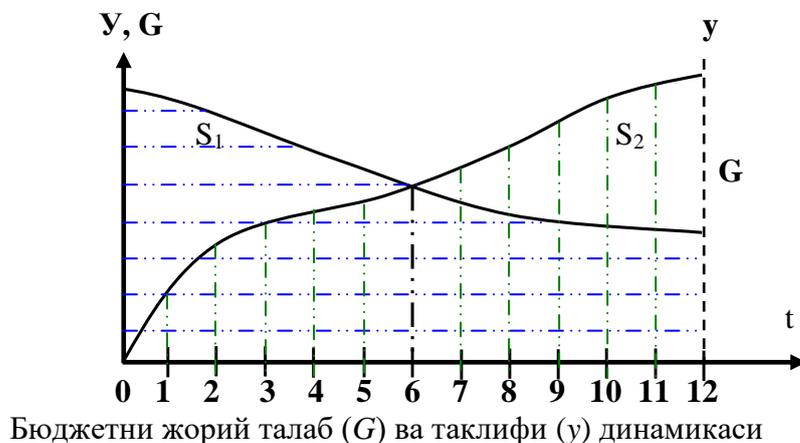
The model and algorithm of ensuring the current balance of the budget are designed.

Бюджетнинг молиявий ижроси муваффақиятли амалга ошиши кўпроқ уни қанчалик тўғри режалаштирилганлигига, даромадлар ва харажатлар таркибининг балансланганлигига боғлиқ. Агар давлат бюджети ижросига нақд пул ҳаракати нуқтаи назаридан қаралса, ялпи тушум ҳар доим ялпи тўловларга тенг бўлади, шунинг учун давлат идораларининг бюджет счетлари қайсидир маънода доимо баланслашган бўлади [1]. Аммо, бюджет ижросига бу кўринишдаги муносабат, қилинадиган харажатларни фақат тушумга боғлаб қўйиб, бюджет маблағларидан самарали фойдаланишга, кўзланган мақсадларга ўз вақтида эришишга ҳар доим имкон беравермайди.

Шунинг учун ҳам, бюджетни шакллантиришда, қарор қабул қилишда, режалаштиришда уни баланслаштиришга қатта аҳамият берилади. Умуман, бюджет балансининг уч хил кўриниши фарқланади: анъанавий умумий баланс, жорий баланс ва операцион баланс [1].

Анъанавий умумий баланс ялпи даромадлар билан ялпи харажатлар орасидаги фарқ сифатида аниқланиб, бюджетда қанча миқдорда дефицит (етишмовчилик) ёки профицит (ортиқчалик) мавжудлигини ифодалайди. Лекин, бюджет умумий балансланган бўлганлиги билан йил давомида даромадлар тушуми билан харажатлар динамикаси орасида кучли фарқ бўлиши, яъни жорий баланс таъминланмаган бўлиши мумкин.

Таҳлиллар кўрсатадики [2], давлат бюджетининг даромадлар тушуми динамикаси ўсувчи, харажатлар динамикаси эса камаювчи тенденцияга эга бўлар экан (расм).



Координат системаси билан $Y = f(t)$ ва $G = \varphi(t)$ эгри чизиклар воситасида ҳосил бўлган юзалар ўзаро тенг бўлса ҳам, мазкур эгри чизикларнинг мос келмаслиги сабабли, бюджетда йилнинг биринчи ярмида дефицит (S_1 юза), иккинчи ярмида эса профицит (S_2 юза) вужудга келар экан. Ушбу фарқ жорий дисбаланс орқали ифодаланади.

Юқори инфляция шароитларида бюджетнинг анъанавий умумий баланси билан операцион кўрсаткичлари ва ўзгариш тенденциялари орасида катта фарқланиш мавжуд бўлиши мумкин. Ушбу ўзгариш операцион баланс орқали ифодаланиб, миқдори умумий баланс кўрсаткичидан фоиз тўловининг инфляцион ёки реал қисмини айириш орқали аниқланади.

Қуйида бюджет жорий балансини таъминлаш усули устида тўхталамиз.

Фараз қилайлик, бюджетни ойлар (t) бўйича тушуми (даромади) $Y_1 = f(1)$, $Y_2 = f(2)$, ..., $Y_j = f(j)$, ..., $Y_t = f(t)$ маълум бўлсин. Бюджет харажатлари (i) ҳам (уларни тадбирлар деб атаёмиз) маълум бўлсин.

Қўшимча қуйидаги белгилар киритамиз:

a_j – бюджет йилида ойлар кетма-кетлиги, яъни:

$$a_1=1, a_2=2, \dots, a_j=j, \dots, a_t=12;$$

b_i – i -нчи тадбирни молиялаштириш ушбу муддатдан олдин амалга ошмаслиги шарт;

c_i – i -нчи тадбирни молиялаштириш ушбу муддатдан сўнг амалга оширилмаслиги керак;

t_i – i -нчи тадбирни давом эттириш даври (ойларда);

r_{ij} – i -нчи тадбирни ойлар бўйича (j) молиялаштириш миқдори;

x_{ij} – “0” ёки “1” қийматини қабул қилувчи булева ўзгарувчи.

Юқоридаги белгилашларда масала шартли қуйидагича ёзилади:

$$\min \{ a_j \cdot x_{ij} \} \geq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$1 \leq j \leq T$$

$$\max \{ a_j \cdot x_{ij} \} \leq c_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$1 \leq j \leq T$$

$$\sum_{j=1}^T x_{ij} = t_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^T (x_{i(j+1)} - x_{ij}) x_{i(j+1)} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{агар } i\text{-нчи тадбир } j\text{-нчи ойда молиялаштирилса,} \\ 0, & \text{акс ҳолда} \end{cases} \quad (5)$$

$$F = \min \sum_{j=1}^T (y_j - \sum_{i=1}^n z_{ij} \cdot x_{ij})^2 \quad (6)$$

Масала шартлари қуйидаги маъноларни билдиради:

• (1) ва (2) тенгсизликлар тадбирларни молиялаштириш белгиланган муддатлардан четда бўлмаслигини ифодалайди;

- (3) тенглик молиялаштириш муддати даврини бажарилишини таъминлайди;
- (4) тенглик молиялаштиришда узилишларга йўл қўймасликни талаб қилади;
- (5) шарт изланаётган номаълум булева ўзгарувчи бўлиб, “0” ёки “1” қийматини қабул қилинишини ифодалайди;
- (6) йил давомида функционал бюджетнинг даромадлари ва харажатлари орасида жорий баланс бўлишини таъминлайди.

Масалани [3] даги усул билан ечиш мумкин. Ечиш алгоритми қуйидагича: Йил бўйи давом этадиган тадбирларни биринчи навбатда молиялаштирамиз, яъни уларнинг қилинадиган харажатларини бюджет даромадлари динамикасида айирамиз. Қолган тадбирларни t нинг қиймати камайиши кетма-кетлиги бўйича тартиблаймиз: биринчи навбатда 11 ой давом этадиган тадбирлар, сўнгра 10 ойлик тадбирлар ва ҳ.к. жойлашади.

Сўнгра тадбирларни навбатма-навбат кўриб, молиялашни ҳар бир варианты бўйича (6) функционални қийматини ҳисоблаб чиқамиз ва тадбирни (6) ни энг кичик қийматини таъминлайдиган вариант бўйича бюджетга киритамиз. Худди шу кўринишда барча тадбирлар бюджетга киритилади. Алгоритмда тадбирларни t нинг қиймати камайиши кетма-кетлигида кўрилиши бюджетнинг жорий балансини таъминлайди.

Таъкидлаш жоизки, юқоридаги усул билан маҳаллий (провинциал), корхона бюджетлари жорий балансини ҳам тузиш мумкин.

Фойдаланилган адабиётлар

1. Набиходжаев А.А., Маҳмудов Б.М., Насретдинова Ш.С. Молиявий дастурлаш. Ўқув қўлланма. Тошкент: Молия, 2005. 268 бет.
2. Абдугафаров А. Некоторые проблемы государственного регулирования экономики // Вопросы моделирования и информатизации экономики. Ташкент, 1996. -Вып. 13. С. 26-31.
3. Абдугафаров А., Саидходжаев П.Ш. Оптимизация плана порядных работ строительных министерств // Вопросы РАСУ. Ташкент, 1978. Вып. 14. С. 14-19.

ЎзР ФА Математика ва инфорацион технологиялар институти

08.07.2009 й.
қабул қилинган

УДК 519.8:621.9

Р.Ў. СИДДИҚОВ

САНОАТ РОБОТИНИНГ ЎЗГАРУВЧАН ШАРОИТДАГИ ҲАРАКАТИДА ОПТИМАЛЛАШТИРИШ МАСАЛАСИ

Р.У. Сиддиков

**Задача оптимизации движения производственных роботов в
переменных условиях**

Разрешена задача оптимизации расходов энергоресурсов при движении производственных роботов в переменных условиях

R.U. Siddikov

The issue on movement optimization of production robots in changeable condition

Solution of issue on optimization of energetic expenses of production robots' movements in changeable conditions.

Роботларни бошқаришнинг анъанавий усуллари роботни бажарувчи механизмини тўла, аниқ динамик модели ва унинг ҳаракатидаги шартлар маълумлиги асосида амалга оширилади. Деярли барча ҳолларда роботнинг ҳаракат тенгламаси тузилмасининг кўриниши ҳам, тенгламалардаги номаълумлар қийматлари ҳам маълум бўлади. Бундай тизимни амалга оширувчи бошқарув алгоритми турли хил таъсирлар остида робот ҳаракатида оғишишлар келиб чиққанда талаб қилинган бошқариш сифатини сақлай олмайди. Натижада робот ҳаракатида аниқлик пасаяди, турғунлик йўқолади ва ўтиш жараёнларидаги тебраниш ўсади.

Сўнгги йилларда роботларни бошқариш назариясида ҳаракатни олдиндан ноаниқ шароитга мослаштириш ғоясига асосланган янги йўналиш изчил равишда ривожланмоқда. Янги йўналиш, асосан, икки - "идентификацияли" ва "ноидентификацияли" ёндашувларга таянади. "Идентификацияли" ёндашув орқали олинган моделлар барчаси детерминирланган кўринишда, "ноидентификацияли" ёндашув орқали олинган моделлар эса стохастик кўринишда бўлади.

Ноидентификацияли ёндашув идентификациялига нисбатан умумий ва кенгрок. Идентификацияли ёндашув назарий жиҳатдан асосланган бўлса ҳам, лекин амалиётда бир қанча қийинчиликларни келтириб чиқаради. Масалан, роботнинг ишчи қўли параметрларини аниқлаш ва баҳолаш бирор вақт оралиғида динамик характеристикаларини ўзгариши бўйича номаълум параметрларга нисбатан ҳаракат тенгламасини ечиш орқали амалга оширилади. Лекин параметрлар тез ўзгариши тенглама ҳолатига нисбатан бир қийматли ечишга имкон бермайди ва, натижада қарор қабул қилишда қийинчилик туғдиради.

Шунинг учун ноидентификацияли ёндашувга мос жараёнларни бошқаришга эътибор қаратилса, уларни бошқаришда кўп ҳолларда бошқарув моделлари стохастик кўринишида бўлади.

Робот ҳаракатини оптимал бошқарув алгоритмлари синтезига ўтишдан аввал, бошқарув сифатига бошланғич ва номаълум параметрик оғишишларнинг таъсир қилиши робот бошқарув тизимида қандай ўзгаришлар ҳосил қилади, деган саволга жавоб берайлик. Агар роботнинг бошқариш тизими қаттиқ дастурга бўйсунса, у ҳолда саволнинг жавоби аниқ, яъни у иш қобилиятини тўла йўқотади ёки айрим ҳолларда авария режимида тушиб қолади.

Роботнинг адаптив ва интеллектуал бошқарув тизимига бўйсунувчи турларининг ўзгарувчан шароитда ҳаракатланиши ҳисобга олинса, улар устида илмий тадқиқот ўтказиш зарур.

Умумий ҳолатда ўзгарувчан шароитда ҳаракатланувчи СР ишчи қўлининг ҳаракат тенгламаси қуйидагича бўлсин [1]:

$$A(q, \xi)\ddot{q} + b(q, \dot{q}, \xi) = u \quad (1)$$

Бу ерда $q - n$ – ўлчовли умумлашган координаталар вектори;

$\dot{q}, \ddot{q} - q$ векторни вақт бўйича 1 ва 2-тартибли ҳосилалари; $u - n$ – ўлчовли моментлар бўйича бошқарув вектори;

ξ – СР ишчи қўли ва бир нуқтадан иккинчи нуқтага кўчувчи юк параметрлари вектори (звенолар узунлиги, звенолар оғирлиги ва момент инерцияси, юкнинг оғирлиги ва момент инерцияси ва бошқалар);

$A(q, \xi)$ – СР ҳолатини аниқловчи $(n \times n)$ – ўлчовли матрица функция;

$b(q, \dot{q}, \xi)$ – СР ишчи қўли звенолари моментларини ифодаловчи n – ўлчовли вектор функция.

Фараз қилайлик, $q_{\text{оас}}(t)$ дастурий траектория берилган бўлсин, у ҳолда масала моментларни бошқариш алгоритмининг синтезида берилган аниқлик билан дастурий траектория бўйлаб силжитишни таъминлашдан иборат.

Аниқ бошланғич шарт остида ва номаълум параметрик оғишишларда бундай масалани ҳал қилиш мураккабликни келтириб чиқаради.

Аниқ бошланғич шартга эквивалент равишда оғишишларнинг бошланғич шarti куйидагича бўлсин:

$$z(t_0) = \begin{pmatrix} q(t_0) - q_{\text{оас}}(t_0) \\ \dot{q}(t_0) - \dot{q}_{\text{оас}}(t_0) \end{pmatrix}$$

Параметрик оғишиш $|\xi - \bar{\xi}|$ катталиги билан ўлчанади, бу ерда $\bar{\xi}$ – (1) тенгламадаги ξ параметрнинг баҳоланиши.

Агар $z(t_0) = 0$ бўлса, $\xi = \bar{\xi}$, бўлади. СРни бошқарув тизими детерминирланган ҳолатга ўтади ва (1) тенгламанинг кўриниши эса куйидагича бўлади:

$$u_{\text{оас}}(t) = A(q_{\text{оас}})\ddot{q}_{\text{оас}} + b(q_{\text{оас}}, \dot{q}_{\text{оас}}) \quad (2)$$

(2) тенглама ўзгарувчан шароит учун амалиётда кам учрайди.

СРнинг ҳаракат тенгламасини ифодалашда динамик коэффициентлар, демпфир, юкнинг бир нуқтадан иккинчи нуқтага кўчишида звеноларга тушувчи оғирлик кучини ифодаловчи динамик коэффициент, звенолар бирикмасининг мустақамлигини аниқловчи коэффициентлар эътиборга олинади. Келтирилган коэффициентларни ҳисобга олган тенглама [2]да берилган ва бу коэффициентларга шартлар келиб чиққан.

(1) тенглама Декарт координаталар тизимида ва каноник кўринишда куйидагича берилган бўлсин:

$$\ddot{x}(t, \xi) + f(x(t, \xi), \dot{x}(t, \xi))\dot{x}(t, \xi) + c(x(t, \xi)) = u(t, \xi) \quad (3)$$

Бу ерда назарий томондан, $f(\bullet)$ – n – ўлчовли фазода биринчи тартибли узлуксиз ҳосилага эга; $c(\bullet)$ – n – ўлчовли фазода узлуксиз; $|u(\bullet)| \leq M < \infty$.

(3) тенгламанинг тартибини пасайтириш орқали куйидаги система ҳосил бўлади.

$$\dot{x} = y, \quad \dot{y} = -f(x, y) - c(x) + u. \quad (4)$$

Система ўзгарувчан коэффициентли ва кўриниши мураккаб бўлгани учун ечимнинг мавжудлигини аниқлаш зарур.

Бунинг учун СР ишчи қўлининг энергия таъминотини аниқловчи функцияни киритайлик [3]:

$$V(x, y) = \frac{y^2}{2} + \int_0^x c(s)ds \quad (5)$$

(5)ни звенолар бўйича ифодаси куйидагича:

$$V_i(x, y) = \frac{y_i^2}{2} + \int_0^x c_i(s) ds, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

СР учун тезкорлик ва энергоресурслар сарфини камайтириш асосий вазибалар каторига киради.

$$\frac{dV}{dt} \leq M|y| \leq M \left(\frac{y^2}{2} + 1 \right)$$

$$\frac{dV}{dt} [V(t) + 1] \leq M[V(t) + 1]$$

Охирги тенгсизликдан куйидагини ёзиш мумкин:

$$V(t) + 1 \leq [V(0) + 1]e^{Mt} \quad \Rightarrow \quad V(t) \leq [V(0) + 1]e^{Mt} \quad (7)$$

(5) тенгликдан фойдаланиб,

$$y^2 \leq 2[V(0) + 1]e^{Mt}$$

(4) тенгламалар системасида 1-тенгламанинг ечими куйидаги кўриниш олади:

$$x(t) = x_0 + \int_0^t y(s) ds.$$

Охирги тенгсизликдан фойдаланилса,

$$x(t) \leq x_0 + Ce^{Mt}, \quad 0 \leq t \leq \tau.$$

(7) тенгсизликдан $V(t)$ функциянинг чегараланганлиги келиб чиқади.

Бундан эса (4) система ечими $0 \leq t < \infty$ да ечимининг мавжудлиги аниқланади.

Ўзгарувчан шароитда ҳаракатланувчи СР учун тезкорлик масаласини кўйиб бўлмаслиги эътиборга олинса, энергоресурслар сарфини тежаш масаласини ҳал қилиш қолади. Бу масалани ҳал қилиш учун шартли экстремум масаласидан фойдаланилади.

(5)дан вақт бўйича ҳосила олинади.

$$\frac{dV_i}{dt} = y_i \dot{y}_i + c_i(x) \dot{x}_i = -f_i(x_i, y_i) y_i^2 + y_i u_i \quad (8)$$

(8) тенглама нолга тенгланади ва $V_i(x, y)$ функциянинг экстремумга эришиши учун қулайлик туғдирувчи нукталар аниқланади.

$$\frac{dV_i}{dt} = y_i \dot{y}_i + c_i(x) \dot{x}_i = -f_i(x_i, y_i) y_i^2 + y_i u_i = 0$$

$$y_i (-f_i(x_i, y_i) y_i + u_i) = 0$$

$y_i \neq 0$ ҳисобга олинса, иккинчи кўпайтма $-f_i(x_i, y_i) y_i + u_i = 0$ бўлади.

Ва бундан эса $y_i = \frac{u_i}{f_i(x_i, y_i)}$ ечим аниқланади.

Ечим (6) функцияга олиб бориб кўйилади ва оралиқ звенолар учун зарурий ечимлар танланади.

Ихтиёрий $V_0 \geq 0$ учун эгри чизикни фазовий текисликда қараймиз [3]:

$$V(x, y) = \frac{y^2}{2} + G(x) = V_0$$

бу ерда $G(x) = \int_0^x c(s) ds$.

Эгри чизик икки шохчали эканлиги маълум ва улар куйидагича:

$$y = \pm\sqrt{2(V_0 - G(x))}$$

Координаталар бошида $V_0 = G(x)$ бўлади.

Шартли экстремум орқали топилган ечимлар дискрет ҳолда энергоресурсларнинг звенолардаги энг кам ва энг кўп сарфини беради.

Ўзгарувчан шароитда ҳаракатланувчи СРнинг звеноларини узлуксиз ҳаракатида энергоресурслар сарфини оптималлаштириш учун (3) тенгламага қуйидаги сифат мезони қўйилади:

$$J(u) = \int_{t_0}^T u^2 dt$$

(3) тенглама сифат мезони остида Понтрягиннинг максимум принципи асосида ечилади.

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. Динамика управления роботами. М.: Наука, 1984. 336 с.
2. Абдуллаев А.Қ. Асоси ҳаракатланувчан саноат робот ҳаракатининг математик модели //ФарПИ илмий-техникавий журнали. 2008. №4. 27-32 - бетлар.
3. Ли Э.Б., Маркус Л. Основы теории оптимального управления. М.: Наука, 1976. 576 с.

ЎзР ФА математика ва инфор­мацион
технологиялар институти

14.09.2009 й.
қабул қилинган

УДК 621.362:621.383.5

Н.Б. АЛИМОВА

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЯЕМОГО ГЕНЕРАТОРА ТОКА

Н.Б. Алимова

Бошқарилувчи ток генераторининг математик модели

Мақолада инжекция–вольтаик транзисторлари асосидаги бошқарилувчи ток генераторларининг математик моделлари келтирилган.

N.B. Alimova

Mathematical model of the operated generator of the current

In the article are brought mathematical models operated generator of the current on base injection- voltaic transistor

Аналогия фото-вольтаического эффекта (ФВЭ) в солнечных элементах с инжекционно-вольтаическим (ИВ) эффектом (ИВЭ) в многослойных

полупроводниковых р-п структурах и перспективы создания сильноточной элементной базы устройств электроники приводятся в [1].

Математические модели сильноточных управляемых генераторов стабильного тока на основе биполярных транзисторов не разработаны. Биполярный транзистор (БТ) в инжекционно-вольтаическом режиме (ИВР) работы является управляемым генератором тока (УГТ), на основе которого можно создать полупроводниковые устройства, устойчивые к повышению рабочей температуры и к нестабильности питания с высокими значениями выходного тока.

Управление генератором тока на основе БТ в ИВР можно осуществлять либо заданием напряжения эмиттер-база E_B (рис. 1, а), либо токами эмиттера I_E (рис. 1, б) или базы I_B (рис. 1, в) БТ.

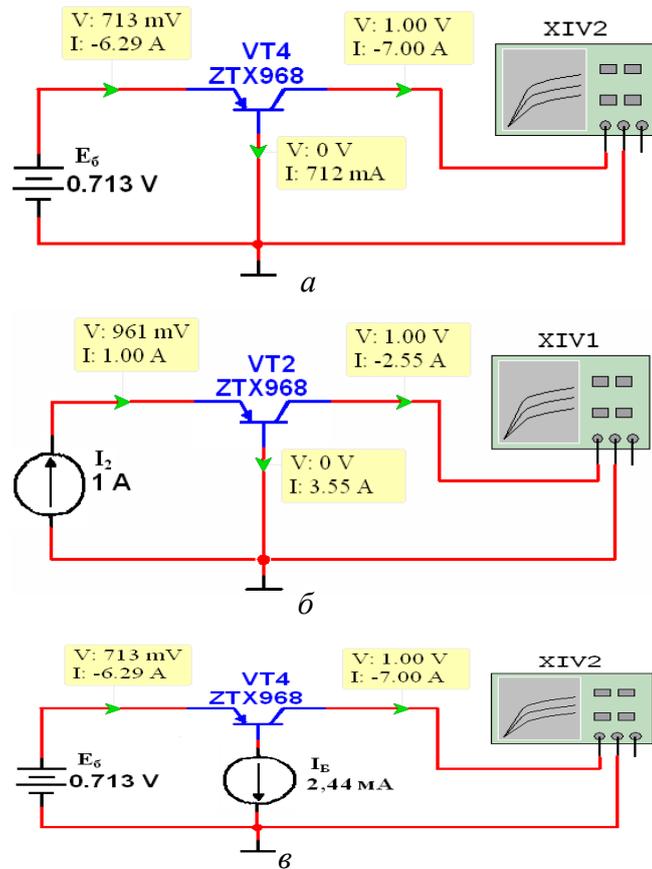


Рис.1. Схемы УГТ при управлении напряжением E_B (а) и токами I_E (б), I_B (в)

Нагрузочная вольтамперная характеристика (ВАХ) БТ в ИВР при управлении E_B описывается уравнением

$$I_H = \alpha_N I_{Э0} [\exp(qE_B / A_Э kT) - 1] - I_{K0} [\exp(qU_H / A_K kT) - 1]. \quad (1)$$

Как видно из уравнения (1), при $U_H=0$ ток нагрузки равен току инжекции I_H , обусловленному инжекцией носителей из эмиттерной области:

$$I_H = I_H = \alpha_N I_{Э0} [\exp(qE_B / A_Э kT) - 1]. \quad (2)$$

Из уравнения (2) определяется величина E_B , соответствующая току инжекции:

$$E_B = (A_Э kT / q) \ln [(I_H / \alpha_N I_{Э0}) + 1]. \quad (3)$$

Если в уравнении (1) значение $I_H=0$, то на выходе БТ между электродами коллектор – база генерируется ИВ ЭДС, величина которой определяется следующим образом:

$$U_H = U_{ИВЭДС} = (A_Э kT/q) \ln[(I_H/\alpha_N I_{КО}) + 1]. \quad (4)$$

Аналогичное рассмотрение можно произвести в случае управления током $I_Э$:

$$I_H = \alpha_N I_Э - (1 - \alpha_I \alpha_N) I_{КО} [\exp(qU_H/A_K kT) - 1]. \quad (5)$$

$$I_H = I_I = \alpha_N I_Э, \quad (6)$$

$$I_Э = I_H/\alpha_N, \quad (7)$$

$$U_H = U_{ИВЭДС} = (A_K kT/q) \ln[(I_H/I_{КО})/(1 - \alpha_I \alpha_N) + 1] \quad (8)$$

и током I_B :

$$I_H = \beta I_B - [1 + \beta(1 - \alpha_I)] I_{КО} [\exp(q(U_H + U_{ЭБ} - E_K)/A_K kT) - 1], \quad (9)$$

где $\beta = \alpha_N/(1 - \alpha_N)$ - коэффициент передачи тока базы в схеме включения БТ с общим эмиттером.

$$\text{Здесь} \quad I_H = I_I = \beta I_B, \quad (10)$$

$$I_B = I_H/\beta, \quad (11)$$

$$U_H = U_{ХХ} = E_B + U_{КБХХ} - U_{ЭБХХ} = E_B + U_{ИВЭДС} - U_{ЭБХХ}, \quad (12)$$

$$U_{ИВЭДС} = (A_K kT/q) \ln[(I_H/(1 + \beta(1 - \alpha_I) I_{КО})) + 1], \quad (13)$$

$$U_{ЭБХХ} = (A_K kT/q) \ln[(I_B/(1 - \alpha_I \alpha_N) I_{Э0}) + 1]. \quad (14)$$

Нагрузочные ВАХ для БТ ZTX968 (*p-n-p* - структура) в ИВР, рассчитанные на основе предложенных математических моделей УГТ, параметры которых определены по стандартной методике [2] при управлении напряжением E_B (кривые 1-4) и током $I_Э$ (кривые 1'-4'), приведены на рис. 2.

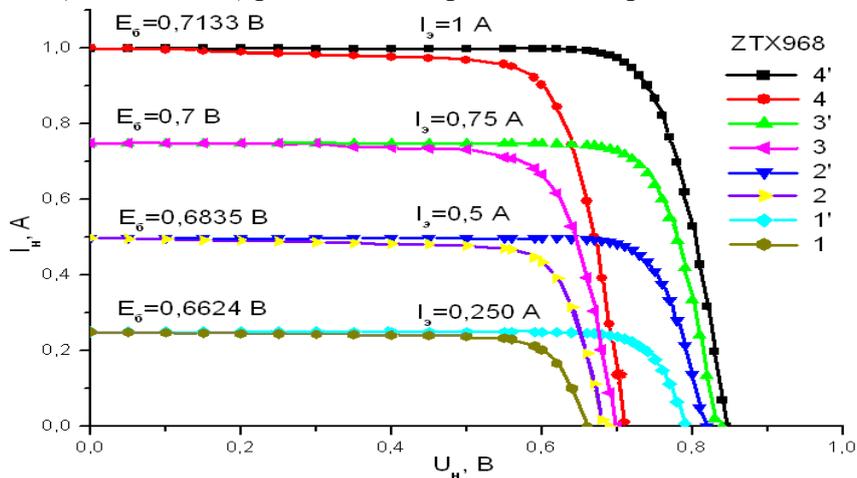


Рис.2. Нагрузочные ВАХ р-п-р БТ ZTX968 в ИВР при управлении напряжением (1-4) и током эмиттера (1'-4')

На горизонтальной части характеристики БТ имеет высокое динамическое сопротивление. Поэтому он может быть рассмотрен как генератор тока для внешних цепей, которые имеют меньшее внутреннее сопротивление.

На рис. 3 приведены нагрузочные ВАХ БТ ИВР при управлении током I_B . При этом напряжение ИВ ЭДС примерно соответствует напряжениям при управлении E_B .

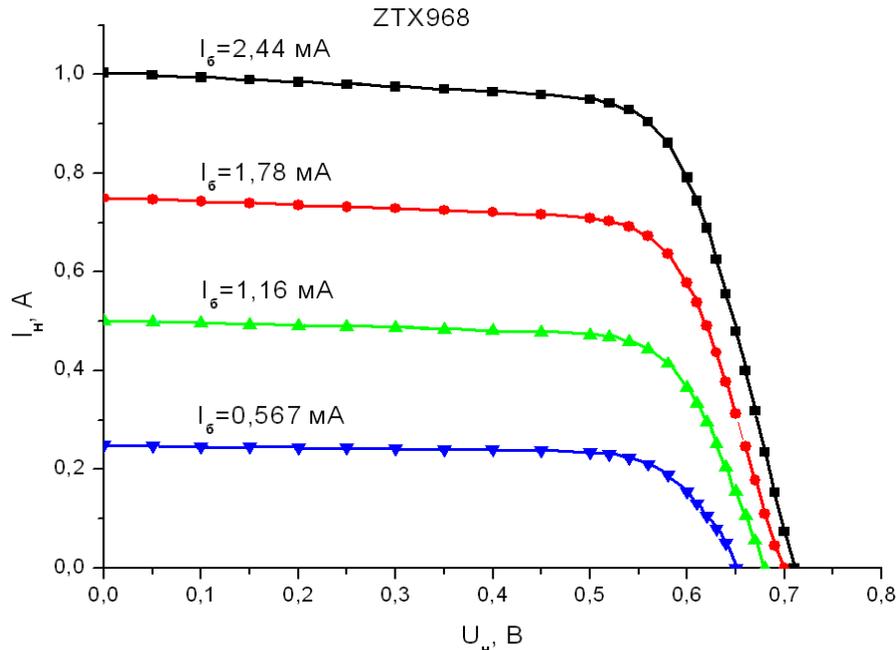


Рис.3. Нагрузочные ВАХ р-п-р БТ ZTX968 в ИВР при управлении током базы

В рассмотренных схемах БТ, управляемый напряжением, током эмиттера или током базы, выполняет роль УГТ с динамическим диапазоном порядка 0.5-0.7В (см. рис. 2, 3).

При управлении напряжением E_B или током базы коэффициент преобразования тока $K_I = \beta_N = \alpha_N / (1 - \alpha_N)$, а при управлении током эмиттера $K_I = \alpha_N < 1$.

Таким образом, из разработанных математических моделей выявлена возможность создания УГТ либо заданием напряжения эмиттер-база E_B , либо токами эмиттера I_E или базы I_B БТ с динамическим диапазоном порядка 0.5-0.7 В.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Арипов Х.К., Алимова Н.Б., Бустанов Х.Х., Обьедков Е.В., Тошматов Ш.Т. Связь фото-вольтаического эффекта в солнечных элементах с инжекционно-вольтаическим эффектом в многослойных полупроводниковых структурах// Гелиотехника. 2009. №1. С.15-21.
2. Чахмахсаян Е.А., Мозговой Г.П., Силян В.Д. Математическое моделирование и макро моделирование биполярных элементов электронных схем. М.: Радио и связь, 1985. - 144 с. ил.

АЛГОРИТМЫ УСТОЙЧИВОГО ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ

Б.Р.Абидов, Ж.У. Севинов

Чизикли динамик бошқарув объектлари параметрларини
турғун баҳолаш алгоритмлари

Адаптив динамик филтрлаш усуллари асосида чизикли динамик бошқарув объектлари параметрларини турғун баҳолаш алгоритмлари келтирилган.

B.R.Abidov, J.U. Sevinov

Algorithms firm estimations parameter linear dynamic object control

Happen to the algorithms firm estimations parameter linear dynamic object control on base of the methods to adaptive dynamic filtering.

Интенсификация производственных процессов непосредственно базируется на современных методах автоматического и автоматизированного управления. Применение этих методов в значительной мере связано с использованием ЭВМ для решения задач моделирования с целью как лучшего изучения производственного процесса, так и определения в каком-то смысле оптимальных управляющих воздействий, обеспечивающих повышение эффективности функционирования объекта [1-3]. Обе эти задачи между собой тесно связаны, и по мере увеличения наших знаний и уточнения закономерностей функционирования производственного процесса создаются условия для нахождения такого воздействия на объект, которое обеспечивает лучшие результаты. Проблема получения модели, хотя и не нова, однако в последние годы во всех областях науки и техники ей стали уделять значительное внимание. Это можно объяснить, с одной стороны, насущными потребностями теории и практики управления в наличии адекватной изоморфной модели объекта управления, на базе которой решаются задачи выбора структуры параметров и законов управления. Единый подход в теории управления объектами различной физической природы дал возможность рассматривать «унифицированный» класс относительно простых моделей. С другой стороны, в связи с использованием ЭВМ значительно возросли возможности, как в построении самой модели, так и в проведении процесса моделирования.

Рассмотрим динамическую систему, описываемую разностным уравнением вида

$$y(t) + A_1 y(t-1) + \dots + A_{n_a} y(t-n_a) = B_1 u(t-1) + \dots + B_{n_b} u(t-n_b) + v(t), \quad (1)$$

где входной сигнал $u(t)$ является m -мерным вектором, выходной сигнал $y(t)$ – p -мерным вектором, A_i – $(p \times p)$ -матрицы, а B_i – $(p \times m)$ -матрицы.

Для определения элементов матриц $A_1, \dots, A_{n_a}; B_1, \dots, B_{n_b}$ необходимо произвести параметризацию уравнения (1). Один из вариантов параметризации

состоит во включении всех элементов матриц из (1) общим числом $(n_a p + n_b m)p$ в вектор θ . Тогда можно определить $((n_a p + n_b m) \times p)$ -матрицу

$$\theta = [A_1, A_2, \dots, A_{n_a}, B_1, \dots, B_{n_b}]^T, \quad (2)$$

а также $(n_a p + n_b m)$ -мерный вектор-столбец

$$\varphi(t) = \begin{bmatrix} -y(t-1) \\ \vdots \\ -y(t-n_a) \\ u(t-1) \\ \vdots \\ u(t-n_b) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

и переписать (1) в виде

$$y(t) = \theta^T \varphi(t) + v(t), \quad (4)$$

где $v(t)$ – помеха измерений.

Формулу (1) можно рассматривать как совокупность p разных линейных регрессий, записанных одна под другой, с одним и тем же регрессионным вектором.

Для вычисления оценки θ используем метод динамической фильтрации [1,4]. Для этого линейную модель регрессии вида (4) запишем в виде

$$\begin{aligned} \theta(t+1) &= \theta(t) + w(t), \\ y(t) &= \varphi^T(t)\theta(t) + v(t), \end{aligned} \quad (5)$$

где

$$E[w(t)w^T(j)] = Q(t)\delta(tj), \quad E[v(t)v^T(j)] = R(t)\delta(tj).$$

Применяя к (5) фильтр Калмана, получим следующее:

$$\hat{\theta}(t/t-1) = \hat{\theta}(t-1/t-1), \quad (6)$$

$$\hat{\theta}(t/t) = \hat{\theta}(t/t-1) + K(t)[y(t) - \varphi^T(t)\hat{\theta}(t)/t-1], \quad (7)$$

$$K(t) = P(t/t-1)\varphi(t)[\varphi^T(t)P(t/t-1)\varphi(t) + R(t)]^{-1}, \quad (8)$$

$$P(t/t-1) = P(t-1/t-1) + Q(t-1), \quad (9)$$

$$P(t/t) = P(t/t-1) - K(t)\varphi^T(t)P(t/t-1). \quad (10)$$

Для реализации фильтра Калмана требуется априорная информация о математической модели объекта, статистике входных и измерительных шумов. Неточность информации об априорных данных может послужить причиной расходимости. Один из возможных путей создания адаптивных алгоритмов фильтрации заключается в использовании корреляционных свойств обновляемой последовательности с целью построения оценок ковариационных матриц входных Q и измерительных R шумов. Этот алгоритм пригоден для стационарных объектов и стационарных входных и измерительных шумов. Перед использованием адаптивного алгоритма осуществляется оценивание вектора состояния на основе классического алгоритма Калмана, в котором неточно заданы матрицы Q и R . При этом необходимо определить степень отличия используемых матриц Q^* и R^* от реальных ковариационных матриц входных и измерительных шумов Q и R . Если Q^* и R^* незначительно отличаются от реальных значений Q , R , фильтр Калмана фактически работает в оптимальном режиме и можно считать, что $Q^* = Q$, $R^* = R$. Таким образом, проверяя оптимальные свойства фильтра Калмана при выбранных Q^* и R^* , можно решить вопрос о правильности

первоначального выбора Q^* и R^* . Такая проверка может строиться на основе статистической обработки обновляемой последовательности. В том случае, когда v_i является белым шумом, фильтр при первоначально выбранных Q^* и R^* работает фактически оптимально, и можно считать, что $Q^*=Q, R^*=R$.

Если $v(t)$ – не белый шум, то фильтр работает в субоптимальном режиме и необходимо оценивать реальные значения Q и R , которые отличны от начальных матриц Q^* и R^* .

Для субоптимального фильтра обновляемый процесс представляет собой небелый гауссов процесс со следующими корреляционными свойствами:

$$C(0) = M(v(t)v^T(t)) = \varphi^T(t)P'(t)\varphi(t) + R, \quad (11)$$

$$C(k) = M(v(t)v^T(t-k)) = \varphi^T(t)[I - K(t)\varphi^T(t)]^{k-1}[P'(t)\varphi(t) - K(t)C(0)],$$

где $P'(t) = (I - K(t)\varphi^T(t))P'(t)(I - K(t)\varphi^T(t))^T + K(t)RK^T(t) + Q$ – априорная ковариационная матрица ошибок оценивания субоптимального фильтра Калмана.

Оценки величин ковариационных матриц $C(k)$ можно получить, используя эргодические свойства стационарной обновляемой последовательности,

$$\hat{C}(k) = \frac{1}{N} \sum_{i=k}^N v(i)v^T(i-k). \quad (12)$$

Оценка матрицы измерительного шума строится на основе использования уравнения (11), т.е.

$$\hat{R} = \hat{C}(0) - \varphi^T(t)(P'(t)\varphi(t)). \quad (13)$$

Ограничимся в дальнейшем случае, когда число неизвестных элементов матрицы Q меньше или равно $n \times m$. Тогда можно написать:

$$\sum_{j=0}^{k-1} \varphi^T(t)Q\varphi(t) = (P'(t)\varphi(t))^T \varphi(t) - \varphi^T(t)(P'(t)\varphi(t))^T - \sum_{j=0}^{k-1} \varphi^T(t)\hat{V}(t)\varphi(t), \quad k=1,2,\dots,n, \quad (14)$$

где

$$\hat{V}(t) = -K(t)(P'(t)\varphi(t))^T - P'(t)\varphi(t)K^T(t) + K(t)\hat{C}(0)K^T(t).$$

Перепишем систему уравнений (14) в виде

$$f(q) = 0, \quad (15)$$

где $q = \{q_1, q_2, \dots, q_{n+m}\}$ – вектор, составленный из элементов ковариационной матрицы Q .

Для решения уравнения (15) используем метод Ньютона для системы уравнений [5,6]. Этот метод сочетает в себе удобство численной реализации с высокой скоростью сходимости.

В методе Ньютона новые приближения осуществляются в соответствии с выражением

$$q^{j+1} = q^j - \left[\frac{\partial f(q^j)}{\partial q} \right]^{-1} f(q^j), \quad j = 0, 1, \dots \quad (16)$$

Использование формулы (16) предполагает обращение якобиана $\frac{\partial f(q^j)}{\partial q}$

системы на каждом шаге итерационного процесса. В практических расчетах вместо (16) целесообразно воспользоваться формулой

$$q^{j+1} = q^j + w^j, \quad (17)$$

где вектор w^j находится как решение системы линейных уравнений

$$\frac{\partial f(q^j)}{\partial q} w^j = -f^j. \quad (18)$$

Итак, на каждом шаге итерационного процесса метода Ньютона вычислим значения функции невязки $f^j = f(q^j)$ и ее якобиана $\frac{\partial f(q^j)}{\partial q}$ в известной точке q^j , найдем решение w^j системы (18) и, наконец, определим новое приближение q^{j+1} по формуле (17).

Будем использовать итеративную модификацию метода М.М.Лаврентьева [7]. Зафиксируем натуральное число $m \geq 1$. Пусть w_0^j – некоторое априори известное приближение к решению уравнения (18). Положив $w_{0,\alpha}^j = w_0^j$, последовательно вычислим $w_{1,\alpha}^j, \dots, w_{m,\alpha}^j$ как решения уравнений

$$\alpha w_{n,\alpha}^j + \frac{\partial f(q^j)}{\partial q} w_{n,\alpha}^j = \alpha w_{n-1,\alpha}^j - f^j, \quad (n=1, \dots, m). \quad (19)$$

При решении (18) также целесообразно использовать итерационную схему вида [7,8]:

$$\alpha w_n^j + \frac{\partial f(q^j)}{\partial q} w_n^j = \alpha w_{n-1}^j - f^j, \quad n=1, 2, \dots \quad (\alpha = \text{const} > 0), \quad (20)$$

каждый шаг итерации заключается в решении корректно поставленной задачи. Постоянная α здесь не обязательно мала, регуляризация достигается за счет многократного итерирования. При меньших α для достижения цели хотя и требуется меньшее число итераций, но сами итерации более трудно осуществить – ухудшается мера устойчивости задачи (20). Стоит обратить внимание на формальное сходство итерационного метода (20) с итерированным вариантом метода М.М.Лаврентьева (19). Однако регуляризация в этих двух методах достигается по-разному: в итерированном варианте метода М.М.Лаврентьева за счет малости α при фиксированном числе итераций, а в итерационном методе (20) – за счет большого числа итераций при фиксированном α .

Таким образом, процедура рассматриваемого адаптивного алгоритма состоит из двух этапов. Первый этап заключается в проверке оптимальности фильтра Калмана, использующего первоначальные оценки Q^* и R^* . Этот этап требует значительного машинного времени для накопления статистики обновляемого процесса, т.е. для определения C_0, C_1, \dots, C_k по уравнению (12).

Если проверка обнаруживает, что фильтр субоптимален, то второй этап работы будет состоять в наилучшей оценке Q и R . Оценки \tilde{Q} и \tilde{R} строятся на основе набранной статистики о ковариационных матрицах C_k обновляемой последовательности и определяются по уравнениям (13) и (14). После того, как оценки \hat{Q} и \hat{R} получены, их используют в классическом алгоритме фильтра Калмана вместо Q^* и R^* .

На основе разработанного алгоритмического обеспечения были решены ряд модельных задач, результаты которых подтверждают эффективность использованных регулярных процедур. Полученные алгоритмы могут быть применены в задачах синтеза систем автоматического контроля и управления технологическими процессами.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. Красовского А.А. М.: Наука, 1987. - 712 с.
2. Ядыкин И.Б., Шумский В.М., Овсепян Ф.А. Адаптивное управление непрерывными технологическими процессами. М.: Энергоатомиздат, 1985. - 240 с.
3. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя / Пер. с англ. Под ред. Цыпкина Я.З. М.: Наука, 1991. - 432 с.
4. Браммер К., Зиффлинг Г. Фильтр Калмана - Бьюси. М.: Наука, 1982. - 200 с.
5. Лапчик М.П., Рагулина М.И., Хеннер Е.К. Численные методы. М.: Академия, 2004. - 384 с.
6. Волков Е.А. Численные методы. М.: Лань, 2007.-538 с.
7. Вайникко Г.М., Веретенников А.Ю. Итерационные процедуры в некорректных задачах. М.: Наука, 1986. – 178с.
8. Бакушинский А.Б., Кокурин М.Ю. Итерационные методы решения нерегулярных уравнений. М.: Ленанд, 2006. – 214 с.

Ташкентский государственный
технический университет

Дата поступления
18.11.2009

УДК 518.566

Н. РАВШАНОВ, Д.К. ШАРИПОВ, Б. АБДУРАХМАНОВ

**ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИОНООБМЕННОГО
ФИЛЬТРОВАНИЯ СУСПЕНЗИИ**

Н. Равшанов, Д.К. Шарипов, Б. Абдурахманов

Ионли аралашмаларни тозалаш технологик жараёнларининг чекли-аналитик ечими

Мақолада ионли аралашмаларни тозалаш технологик жараёнларини ечиш учун сонли-аналитик усуллардан фойдаланилган.

N.Pavshanov, D.K. Sharipov, B. Abdurakhmanov

Numerically - analytical decision of a task of technological process ionized of filtering

In clause is resulted the numerical and analytical decisions for tasks of technological processes of filtering of the ionized solutions.

Для очистки и защиты сточных и подземных вод от источников загрязнения необходимо разработать эффективные методы и средства на основе подробных анализов и комплексного исследования технологии их очистки с помощью того или иного математического аппарата.

Материалы и методы. Для очистки и фильтрования сточных, выбросных вод, промышленных растворов, продуктов питания, фармацевтического сырья и других жидкостей от нежелательных ионных концентратов, технических отходов в технологических циклах используются фильтры. Обычно эти растворы в своих

составах наряду с ионными примесями содержат гель-частицы различных размерностей и свойств.

При процессе фильтрования этих растворов:

- частицы, находящиеся в них, коагулируются в порах фильтра, что приводит к их набуханию, в результате чего его пропускная способность уменьшается;

- образуется слой осадка, вследствие чего изменяются законы протекания технологического процесса (ТП) в целом;

- жидкий раствор, подвергающийся фильтрованию, полностью не очищается от нежелательных ионов, в результате чего он, попадая в окружающую среду, ухудшает экологическое состояние региона.

Для анализа функционирования, исследования и определения основных параметров объекта и их диапазонов изменения, с учетом указанных выше факторов, на основе законов гидродинамики и кинетики процесса разработана математическая модель [1-3]:

$$\begin{cases} \frac{\partial mn}{\partial t} + \frac{\partial un}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{D_\delta}{P} \frac{\partial P}{\partial x}, \\ \frac{\partial N}{\partial t} = \beta(n - n'), \quad N = \frac{n'}{a + bn'}. \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\mu H u}{\rho H k_0 (1 - \delta)^2}, \\ \frac{\partial m \theta}{\partial t} + \frac{\partial u \theta}{\partial x} + \frac{\partial m \alpha}{\partial t} + (1 - m_0) \frac{\partial m \delta}{\partial t} = 0, \\ \frac{\partial \delta}{\partial t} = \lambda(\theta - \gamma \delta), \quad \theta = \frac{\alpha}{1 - \delta}, \quad m = m_1 + \delta(m_0 - m_1), \end{cases} \quad (2)$$

где n и N - концентрации сорбируемого вещества в растворе и сорбенте, рассчитанные на единицу длины сорбционной колонны; u - скорость фильтрования; n' - концентрация ионов в растворе, находящаяся в равновесии с концентрацией N ; P - давление в колонке агрегата; D, D_δ - коэффициент продольной диффузии и баро-диффузии; θ и δ - концентрации взвеси в движущейся смеси и оседание частиц в порах; α - концентрация взвеси, находящейся в взвешенном состоянии в порах фильтра; γ - коэффициент дисперсии; β - эффективная константа скорости обменивающихся ионов; a, b - постоянные изотермы сорбции; m_1 и m_0 - начальная пористость фильтра и пористость осевшей массы; k_0 - коэффициент проницаемости фильтра.

Так как уравнение системы (2) является уравнением гиперболического типа, то при его численном интегрировании возникает мелкомасштабное колебание, и с течением времени его амплитуда будет расти. Поэтому при численном интегрировании таких уравнений обычно добавляют член «искусственной вязкости» с некоторым числовым параметром – коэффициентом искусственной вязкости.

Для удобства интегрирования введем безразмерные переменные и вместо системы (2) получим следующие уравнения:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = -Eu \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{Re} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{u}{Re_1 (1 - \delta)^2} + u\rho \frac{\partial \theta(1, t)}{\partial t}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial m\theta}{\partial t} + \frac{\partial u\theta}{\partial x} + \frac{\partial m\alpha}{\partial t} + (1-m_0)\frac{\partial m\delta}{\partial t} = \frac{\mu_0\alpha_\tau}{x_0^2} \frac{\partial^2\theta}{\partial x^2}, \quad (4)$$

$$\frac{\partial \delta}{\partial t} = \lambda_1(\theta - \gamma\delta), \quad (5)$$

а краевые условия задачи (3) – (5) запишем в виде

$$\begin{cases} u = 1, \theta = e^{-\lambda\gamma H_0 x}, \delta = 0, \quad \text{при } t = 0, \\ \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{H_0^3}{Hk_0} \left[(Eu/Re)P - \frac{u}{(1-\delta)^2} \right], \quad \theta = 1, \text{ при } x = 0, \\ \frac{\partial u}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{m(1-m_0)}{u} \delta, \quad \text{при } x = 1, \end{cases} \quad (6)$$

где $Re = \frac{\rho H_0 u_0}{\mu}$; $Re_1 = \frac{\rho H k_0 u_0}{\mu H_0^2}$ - число Рейнольдса; $Eu = \frac{\rho_0 H k_0}{H_0 \mu}$ - число

Эйлера.

Задачи (3) – (5) решаются численно с применением метода прогонки [4].

Как отмечалось, в результате фильтрования суспензии с помощью фильтровальной перегородки происходит заполнение пор фильтра гелевыми частицами. Поэтому необходимо учитывать влияние ионного обмена на пористость и проницаемость ионитного фильтра, которые подчиняются законам

$$m = m_1 - \frac{N}{\rho_c}, \quad (7)$$

$$k = A_0 d^2 k_0 \frac{m^3}{(1-m)^2} = \frac{A_1 k_0}{S_0^2} \frac{m^3}{(1-m)^2}, \quad (8)$$

где ρ_c - плотность сорбируемого вещества в твердой фазе; d - диаметр частиц; S_0 - удельная поверхность пористой среды; A_0 и A_1 - постоянные.

Тогда уравнение баланса сорбции в системе (1) принимает вид

$$\frac{\partial \left(m_1 - \frac{N}{\rho_c} \right) n}{\partial t} + \frac{\partial un}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial t} = \frac{1}{Pe} \frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial n}{\partial x} + \frac{D_\delta}{u_0 n_0 P} \frac{\partial P}{\partial x}.$$

К первому члену этого уравнения применяем метод квазилинеаризации [5] и получаем

$$\begin{aligned} & \left(m_1 - \frac{N^{(s-1)}}{\rho_c} \right) \frac{\partial n}{\partial t} + \frac{\partial un}{\partial x} + \left(1 - \frac{1}{\rho_c} \right) \frac{\partial N}{\partial t} - \frac{n}{\rho_c} \frac{\partial N^{(s-1)}}{\partial t} + \\ & + \frac{N}{\rho_c} \frac{\partial n^{(s-1)}}{\partial t} + \frac{1}{\rho_c} \frac{\partial (nN)^{(s-1)}}{\partial t} = \frac{1}{Pe} \frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial n}{\partial x} + \frac{D_\delta}{n_0 u_0} \frac{1}{P} \frac{\partial P}{\partial x}, \end{aligned} \quad (9)$$

где $Pe = \frac{H_0 u_0}{D}$ - число Пекле.

Краевые условия задачи (1), (9) записываются в виде

$$\begin{cases} n = 1, \quad N = 0 \quad \text{при } t = 0, \\ n = 1 \quad \text{при } x = 0, \\ n = 0 \quad \text{при } x = 1. \end{cases} \quad (10)$$

С учетом кольтатации пор фильтра гель-частицами формулы (7) и (8) принимают вид

$$m = [m_1 + \delta(m_0 - m_1)] \frac{m_1 - \frac{N}{\rho_c}}{m_1}, \quad k = \frac{Ak_0}{S_0^2} \frac{m^3}{(1-m)^2} (1 - \sqrt{\delta})^3. \quad (11)$$

В строгой постановке решение уравнений (1), (9)-(11), (3)-(6) затруднительно, так как их пришлось бы решать совместно на каждом временном слое. Однако, если в уравнения (3)-(6) значения n и N принять как известные (из предыдущего временного слоя), то решение задачи сильно упрощается, как и предыдущая задача, а уравнения фильтрования решаются независимо от n и N .

Уравнение (4) с учетом (11) принимает вид

$$q \frac{\partial \theta}{\partial t} + 2 \frac{\partial m \theta}{\partial t} + (1 - m_0) \frac{\partial m \delta}{\partial t} + q_1 \theta - q_2 + m_1 \theta \delta \frac{\partial q_0}{\partial t} + \frac{\partial u \theta}{\partial x} = \frac{\partial w}{\partial x}, \quad \frac{\partial w}{\partial x} = \frac{\mu_0 \alpha_\tau}{x_0^2} \frac{\partial \theta}{\partial x}, \quad (12)$$

где $q_0 = 1 - \frac{N}{\rho_c}$, $q = \delta[m_1 q_1 + (m_0 - m_1) \delta]$, $q_1 = \lambda(2\theta^{(s-1)} - \gamma\delta)q$, $q_2 = \lambda q(\theta^{(s-1)})^2$.

Из уравнения (12) видно, что даже в таком упрощенном виде без дополнительных предположений нельзя их привести к расчетной схеме. Поэтому для численного решения задачи в уравнении (12) раскроем производные $\frac{\partial m \theta}{\partial t}$, $\frac{\partial m \delta}{\partial t}$. Исключая $\frac{\partial \delta}{\partial t}$ и производя квазилинеаризацию, получаем

$$Q_1 \frac{\partial \theta}{\partial t} + (Q_2 + Q_3) \theta + a_1 \delta - Q_0 + \frac{\partial u \theta}{\partial x} = \frac{\partial w}{\partial x}, \quad (13)$$

где

$$Q_0 = 2\lambda a_0 q_0 (\theta^{(s-1)})^2, \quad Q_1 = q + 2q_0(m_1 + a_0 \delta), \quad Q_2 = [2m_1 - (m_1 + a_0) \delta] \frac{\partial q_0}{\partial t},$$

$$Q_3 = 2\lambda q_0 (2\theta^{(s-1)} - \gamma\delta), \quad a_0 = m_1 - m_0.$$

Таким образом, уравнение (13) для численного решения задачи фильтрования предпочтительнее, чем непосредственная аппроксимация уравнения (12).

Для численного интегрирования указанных задач система уравнений аппроксимируется односторонней разностной схемой с точностью $O(h)$, и полученные алгебраические уравнения решаются методом прогонки [5].

Рассмотрим более простую модель процесса фильтрования, когда во втором уравнении системы (2) $u = const$. Кроме того, можно предположить, что на достаточной глубине от поверхности фильтра частицы, находящиеся во взвешенном состоянии, не оседают, а осевшие частицы не срываются. Тогда $\alpha(x, t)$ заменяем на $\theta_3(t) = \theta(1, t)$ и получаем

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \theta}{\partial t} + a_0 \frac{\partial \theta}{\partial x} + a_1 \frac{\partial \delta}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} - \frac{\partial \theta_3}{\partial t}, \\ \frac{\partial \delta}{\partial t} = \lambda(\theta - \gamma \delta), \\ \theta = \theta_0 e^{-b_0 x}, \delta = 0 \text{ при } t = 0, \\ \theta = \theta_0 \text{ при } x = 0, \\ \frac{\partial \theta}{\partial x} = -m a_1 \frac{\partial \delta}{\partial t} \text{ при } x = \eta_2. \end{array} \right. \quad (14)$$

Уравнение с краевыми условиями (14) является линейной системой с постоянными коэффициентами и, следовательно, допускает аналитическое решение.

Отметим, что линейная система, допускающая аналитическое решение, с одной стороны, служит модельной задачей для отладки программы численного интегрирования, с другой - для решения обратной задачи ТП фильтрования.

К системе (14) применяем преобразование Лапласа и получаем

$$\theta'' - \frac{a_0}{D} \theta' - \frac{s(s + \lambda + \lambda_1)}{D(s + \lambda_1)} \theta = \frac{s\theta_3 - \varphi_0}{D}, \quad \theta(0, s) = \frac{\theta_0}{s},$$

$$\theta'(\eta_2, s) + \frac{b_1 s}{s + \lambda_1} \theta(\eta_2, s) = 0, \quad \varphi_0 = \theta_0 e^{-b_0 x}, \quad b_1 = m \lambda a_1.$$

Производим замену переменных $\theta = u e^{kx}$ и получаем

$$u'' - v^2 u = \varphi(x), \quad (15)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} u(0, s) = \frac{\theta_0}{s}, \\ u'(\eta_2, s) + \left(k + \frac{b_1}{s + \lambda_1} \right) u(\eta_2, s) = 0, \end{array} \right. \quad (16)$$

где $v^2 = k^2 + \frac{s(s + b_2)}{D(s + \lambda_1)}, \quad k = \frac{a_0}{2D}, \quad b_2 = \lambda + \lambda_1.$

Решение однородного уравнения (15) запишем в виде

$$u = A e^{vx} + B e^{-vx}.$$

Тогда решение неоднородного уравнения следующее:

$$u = -C_1 e^{kx} + C_2 e^{-(b_0 - k)x} + A_0 e^{vx} + B_0 e^{-vx}, \quad (17)$$

где $C_1 = \frac{D\theta_3(s + \lambda_1)}{s + b_2}, \quad C_2 = \frac{\theta_0}{D[v^2 - (b_0 - k)^2]}.$

Коэффициенты A_0 и B_0 определяем из (16):

$$\begin{aligned} \frac{\theta_0}{s} &= -q_1 + q_2 + A_0 + B_0, \text{ при } x = 0, \\ -k C_1 e^{k\eta_2} - (b_0 - k) C_2 e^{-(b_0 - k)\eta_2} + \gamma (A_0 e^{\gamma\eta_2} - B_0 e^{-\gamma\eta_2}) + \\ &+ \left(k + \frac{b_1}{s + \lambda_1} \right) \left(-C_1 e^{k\eta_2} + C_2 e^{-(b_0 - k)\eta_2} + A_0 e^{\gamma\eta_2} + B_0 e^{-\gamma\eta_2} \right) = 0 \text{ при } x = \eta_2. \end{aligned}$$

Решая их совместно, находим

$$A_0 = \frac{q_0 + q_0 q_2}{q_1 + q_2}, \quad B_0 = \frac{q_0 q_1 - q_0}{q_1 + q_2},$$

$$q_0 = C_1 \left(2k + \frac{b_1}{s + \lambda_1} \right) e^{k\eta_2} + C_2 \left(b_0 - \frac{b_1}{s + \lambda_1} \right) e^{-(b_0 - k)\eta_2},$$

$$q'_0 = C_1 - C_2, \quad q_1 = C_1 \left(\gamma + k + \frac{b_1}{s + \lambda_1} \right) e^{\gamma\eta_2}, \quad q_2 = C_2 \left(\gamma - k - \frac{b_2 s}{s + \lambda_1} \right) e^{-\gamma\eta_2}.$$

В первом приближении будем считать, что

$$b_0 = 0, \quad \theta_3 = 0. \quad (18)$$

Это означает, что начальное распределение $\theta(x, 0)$ постоянное. Допущение $\theta_3 = 0$ правомерно. Это следует из того, что на выходе через грань $x = \eta_2$ концентрация взвеси всецело определяется граничным условием (16).

Последнее условие (16) получено из первых двух уравнений (14) в предположении, что за начальное время принято то время, когда фильтрат начинает выходить через грань $x = \eta_2$. Так как время достижения фильтрата грани $x = \eta_2$ значительно меньше, чем продолжительность процесса, то, принимая в качестве второго условия указанное выражение, не противоречим условию поставленной задачи.

Таким образом, решение задачи в изображениях, при условии (18), принимает следующий вид:

$$u(x, s) = \frac{-D\theta_0 b_2 e^{k\eta_2} (s + \lambda_1) \frac{sh vx}{v}}{s(s + b_2) \left[ch v \eta_2 + \left(k + \frac{b_1}{s + \lambda_1} \right) \frac{sh vx}{v} \right]} + \theta_0 \left[\frac{1}{s} - \frac{s + \lambda_1}{s(s + b_2)} \right]^* \quad (19)$$

$$* \frac{ch v(x - \eta_2) - \left(k + \frac{b_1}{s + \lambda_1} \right) \frac{sh v(x - \eta_2)}{v}}{ch v \eta_2 + \left(k + \frac{b_1}{s + \lambda_1} \right) \frac{sh vx}{v}} + \frac{\theta_0 (s + \lambda_1)}{s(s + b_2)}.$$

Решение (19) является отношением двух обобщенных полиномов $\Phi(s)/\psi(s)$ относительно s , причем полином $\psi(s)$ не содержит постоянную, т.е. все условия теоремы разложения соблюдены, поэтому ее можно применить при переходе от изображения к оригиналу:

$$L^{-1}[\Phi(s)/\psi(s)] = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Phi(s)}{\psi'(s)} e^{s_n t}.$$

Тогда аналитическое решение поставленной задачи окончательно получаем в следующем виде:

$$\begin{aligned} \theta(x,t) = & \theta_0 e^{kx} \left\{ \left(2\lambda_1 - \frac{\lambda_1 - b_2}{b_2} e^{-b_2 t} \right) kchk(x - \eta_2) - (k\lambda_1 + b_1)shk(x - \eta_2) \times \right. \\ & \left. \times \left(1 + \lambda_1 - \frac{\lambda_1 - b_2}{b_2} e^{-b_2 t} \right) + Db_2 e^{k\eta_2} \left(\lambda_1 - \frac{\lambda_1 - b_2}{b_2} e^{-b_2 t} \right) shkx \right\} \frac{1}{k\lambda_1 chk\eta_2 + (k\lambda_1 + b_1)shk\eta_2} - \\ & \sum_{i=1}^2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\theta_0 Db_2 e^{k\eta_2} (s_{ni} + \lambda_1) \sin \frac{\mu_2 x}{\eta_2} e^{s_{ni} t} \left[Db_2 e^{k\eta_2} sh\gamma x + \gamma ch\gamma \eta_2 (x - \eta_2) \right] - (ks + k\lambda_1 + b_1)sh\gamma (x - \eta_2)}{s_{ni} \left(F(s_{ni}) \sin \mu_2 + \frac{\mu_2}{\eta_2} \cos \mu_2 \right)}. \\ & F(s_{ni}) = \frac{s_{ni}(s_{ni} + 2\lambda_1)}{2D(s_{ni} + \lambda_1)} \left[\eta_2 \sin \mu_2 - \frac{1 + \eta_2^2 (ks_{ni} + \lambda_1 + b_1)}{\mu_2} \cos \mu_2 \right]. \end{aligned} \quad (20)$$

Таким образом, используя полученные численные и аналитические решения задач технологического процесса ионообменного фильтрования суспензии, можно прогнозировать и определять основные технологические параметры объекта и их приемлемые диапазоны изменения. Полученные аналитические решения модельной задачи можно использовать для определения основных параметров обратной задачи фильтрования, а также для доказательства адекватности разработанных математических моделей процесса фильтрования.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Равшанов Н., Шерматова Г.У. Вычислительный эксперимент для анализа и исследования нестационарного технологического процесса фильтрования ионизированных жидких растворов // Технические и естественные науки. М., 2006. № 6. С. 192-196.
2. Равшанов Н. Исследование сложных технологических процессов фильтрования многокомпонентных суспензий и управление ими // Химическая технология. Контроль и управление. Ташкент, 2008. №6. С. 41-47.
3. Рахимов М.Я., Равшанов Н. Расчет обезвоживания ионизированных суспензий ионитным фильтром // Вопросы вычислительной и прикладной математики: Сб. науч. тр. Ташкент: ИК АН РУз, 1988. Вып.84. С. 150-155.
4. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. М.: Наука, 1971. - 552 с.
5. Беллман Р., Калаба Р. Квазилинеаризации и нелинейные краевые задачи. М.: Мир, 1968. - 154 с.

Институт математики и
информационных технологий АН РУз

Дата поступления
05.01.2010

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ С РЕЦИКЛОМ МАТЕРИАЛЬНЫХ ПОТОКОВ

М.М. Фозилова

Моддий оқимлари рецикли ишлаб чиқариш системаларини тизимли таҳлиллаш

Рецикли технологик тизимлар самарадорлигини ошириш учун тизимли таҳлил нуктаи назаридан асосий ечиладигин масалалар ва уларни ечиш стратегияси аниқланди.

M.M. Fazilova

System analyses of technological system with recycle of material stream

From the point of systemic analyses to increase efficiency of technological system with recycle we obtain main tusks and strategy of their solutions.

Современные производственные системы (ПС) представляют собой совокупность технологических аппаратов, технологических систем (ТС) и систем обеспечения их функционирования в автоматическом и автоматизированном режиме в течение заданного интервала времени. В целом ПС состоит из объекта управления, т.е. ТС и систем управления (СУ). Качество функционирования ТС оценивается степенью приспособления системы к выполнению поставленных перед нею задач. Выбор показателя эффективности является заключительной стадией формулировки цели функционирования ТС. Чтобы показатель эффективности достаточно полно характеризовал качество функционирования ТС, необходимо учитывать все основные особенности и свойства системы, условия функционирования в зависимости от внутренних и внешних возмущающих воздействий.

На практике с позиции системного анализа ПС представляется как некоторый неделимый комплекс с общей целью. В связи с этим рассматриваются различные вопросы, связанные с взаимодействием отдельных технологических процессов и оценкой параметров их функционирования.

Упорядоченная последовательность технологических процессов производства одного либо нескольких целевых или промежуточных продуктов и множество технологических аппаратов с системой материальных и энергетических связей между ними, необходимое и достаточное для производства целевых продуктов, образуют технологическую систему.

Типовая технологическая схема подобных производств в основном состоит из стадий подготовки сырья, синтеза целевого продукта и выделения продукта (рис. 1).

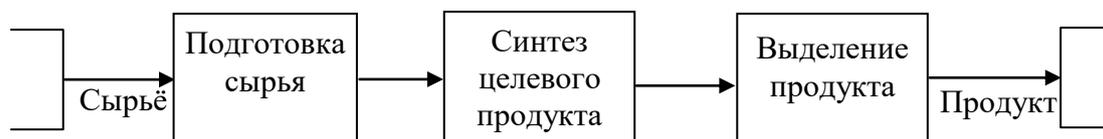


Рис.1. Типовая схема технологической системы

Практически все стадии представляют собой совокупность технологических процессов, в которых исходное сырье претерпевает глубокие превращения, сопровождающиеся изменением агрегатного состояния, внутренней структуры и состава веществ.

Наряду с основными, такие многочисленные процессы как перемешивание жидкостей и твердых материалов, нагревание и охлаждение веществ, разделение жидких и неоднородных газовых смесей и т.д. (рис. 2) определяют возможность осуществления производства и его эффективность.

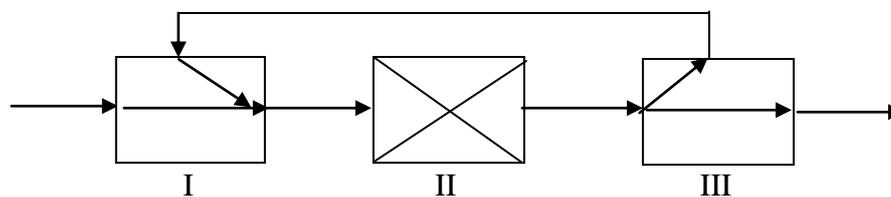


Рис.2. Операторная схема ТС с рециклом:
I – смешения; II – превращения; III – разделения

В различных отраслях химической, нефтехимической, микробиологической, биохимической, пищевой, фармацевтической промышленности все более широкое применение находят ТС с рециклом материальных и энергетических потоков. Рециклическая технологическая связь предусматривает многократное возвращение в один и тот же элемент системы технологических потоков реагирующих компонентов [1]. ТС с рециклом обычно имеют специфические контуры управления, вдоль которых циркулируют потоки осведомительной и управляющей информации между аппаратами ТС и СУ. Различают неуправляемые и управляемые рециркулируемые потоки.

Наличие в ТС рецикла позволяет следующее [2]:

- максимально использовать потенциальные возможности материальных потоков, непрореагировавшее сырье и побочные продукты;
- управлять скоростью процесса свежего сырья и выходом целевого продукта;
- более полно использовать производственные мощности аппаратов;
- полнее использовать сырьевые ресурсы;
- экономить исходные вещества и повышать эффективность процесса.

Для системного исследования процесса функционирования ТС с рециклом необходимо решить:

- задачу анализа, состоящую из изучения свойств и эффективности функционирования ТС в зависимости от структуры технологических связей между аппаратами и технологическими параметрами;

- задачу синтеза, заключающуюся в выборе структуры технологических связей, значений параметров системы и параметров технологических режимов аппаратов, исходя из заданных свойств и показателей эффективности функционирования.

Для исследования свойств и путей повышения эффективности ТС с рециклом можно применить один из способов - обработки экспериментальных данных, полученных непосредственно из объекта управления или компьютерным моделированием.

Компьютерное моделирование используется для прогнозирования влияния изменения условий, схем соединения и производительности на эффективность функционирования системы согласно сформулированной цели, быстрого составления материального и энергетического балансов, оптимизации процесса углубления знаний о поведении ТС, совершенствования управления, нахождения и устранения «узких мест» производства, а также для обучения

операторов-технологов. Подобными исследованиями можно выявить, насколько чувствительны результаты расчетов к изменениям варьируемых параметров.

Компьютерное моделирование позволяет:

- определить стратегию решения задач с рециклом применительно к реальным технологическим системам при столкновении с трудоемкими рекуррентными и повторяющимися вычислениями, вызванными рециклами материальных и энергетических потоков;
- применять развитые принципы и методы к другим подобным объектам управления и программам проектирования ТС;
- отыскивать наиболее благоприятные условия для функционирования процесса с целью повышения его эффективности.

Однако рециклы создают дополнительные трудности при компьютерном моделировании. Необходимы определенные средства, чтобы освободиться от множества повторяющихся циклов вычислений. Это средства должны сочетать в себе современную компьютерную технику с методами обработки информации.

Системный анализ при анализе и расчете процессов ТС реализуется в виде модульного принципа, т.е. сложные процессы рассматриваются как состоящие из модулей, каждый из которых имеет свое математическое описание и которые, объединяясь, образуют сложный процесс, описываемый замкнутой системой уравнений. Следует иметь в виду, что в ТС периодического действия набор типовых процессов, образующих сложный процесс в разное время, может существенно различаться. Особенность большинства ТС состоит в сложности формирования их полного математического описания в виде замкнутой системы уравнений, выражающей фундаментальные законы. Причина заключается в отсутствии достаточной информации о процессах, трудоёмкости формирования модели и идентификации ее параметров, в малом жизненном цикле продуктов.

Цель функционирования можно выразить в виде критерия управления

$$J = f(C_y, K, \Pi, X, Y, U) \quad J(U) = \text{extr.}$$

Здесь X – множество входных параметров; $x \in X$ – область допустимых значений; Y – множество выходных параметров; $y \in Y$ – область достижимых значений; U – ограничения на управление, состоящее из технологических, экономических и экологических $U = \{U_T, U_{\mathcal{E}}, U_{\mathcal{EK}}\}$; C_y – стоимость управления; K – качество выпускаемой продукции; Π – производительность.

Множество математических описаний

$$M = \{M_{TO}, M_{TP}, M_{yy}\},$$

где M_{TO} – модели технологических операций; M_{TP} – модели технологических процессов; M_{yy} – модели управляющих устройств, состоящие из

$$M_{yy} = \{M_{\mathcal{D}}, M_n, M_{uy}, M_{um}, M_{T\mathcal{E}}\},$$

где $M_{\mathcal{D}}$, M_n , M_{uy} , M_{um} – соответственно модель датчика, преобразователя, измерительных устройств, исполнительного механизма, $M_{T\mathcal{E}}$ – модели технологической взаимосвязи, т.е. модели рецикла.

Имея модели отдельных операций и процессов, используя один из методов моделирования сложных систем [3], можно синтезировать полную модель ТС и ПС в целом.

Специфические особенности и свойства ТС с рециклом не позволяют просто принимать готовые модели известных систем, а требуют разработки конкретных вариантов и практического применения для рассматриваемого класса объектов управления.

Алгоритм управления представляет собой последовательность решений, описываемых как функция

$$A_y = \{A_{OI}, A_{OC}, A_{ПС}, A_{ОП}, A_{ОТС}, A_{ВУ}\}.$$

Здесь A_{OI} - алгоритм обработки информации;

A_{OC} - алгоритм оценки состояния;

$A_{ПС}$ - алгоритм прогнозирования состояния;

$A_{ОП}$ - алгоритм оптимизации технологического процесса;

$A_{ОТС}$ - алгоритм оптимизации ТС;

$A_{ВУ}$ - алгоритм вычисления управляющих воздействий.

ТС с рециклом представляют собой структурно- и функционально-сложную систему, которой присущи практически все общесистемные свойства: сложность, предопределенность, управляемость, устойчивость, вычислимость и т.д. Эти и другие вопросы требуют своего решения при формировании каждого элемента в описании метода синтеза систем управления.

Технологическую систему с точки зрения достижения цели функционирования можно представить в виде следующей функции:

$$M_c = \varphi(J, M, A, U).$$

Данная функция характеризует метод синтеза алгоритмов управления.

Функционирование СУ ТС с рециклом, предназначенным для выбора и поддержания стабильных технологических режимов обеспечения оптимального технологического процесса, обуславливает необходимость оптимального выбора технических средств и алгоритмов управления. Для решения функциональных задач управления ТС с рециклом необходимо соответствующее математическое обеспечение, которое представляет собой совокупность математических методов, моделей и алгоритмов.

Таким образом, повышение эффективности СУ зависит от математического обеспечения, от её алгоритмической структуры, которой определяется точность управления по каждому контролируемому параметру, и от технических средств, реализующих управляющие воздействия.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Кроу К. и др. Математическое моделирование химических производств. М.: Мир, 1973. - 391 с.
2. Кафаров В.В., Перов В.Л., Мешалкин В.П. Принципы математического моделирования химико-технологических систем. М.: Химия, 1974. – 344 с.
3. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978. – 400 с.

ЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.372.621.867.2

Т.С. КАМАЛОВ, О.З. ТОИРОВ, Л.И. САЙФУЛЛАЕВА

РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД КОНВЕЙЕРНЫХ УСТАНОВОК И АЛГОРИТМ ИХ ВЫБОРА

Т.С. Камалов, О.З. Тоиров, Л.И. Сайфуллаева

**Конвейерли қурилмаларнинг бошқарилувчи электр юритмалари
ва уларни танлаш алгоритми**

Мақолада тасмали конвейерли қурилмаларнинг частотавий бошқарилувчи электр юритмаларидан фойдаланиш масалалари ва уларни танлаш алгоритми кўриб чиқилган.

T.C. Kamalov, O.Z. Toirov, L.I.Sayfullaeva

The adjustable electric drive of conveyor installations and algorithm of their choice

Questions of use of frequency-adjustable electric drives of tape conveyor installations and algorithm of their choice are considered.

Среди существующих разнообразных конструкций конвейеров, широко применяемых в различных отраслях промышленности, в частности в горно-рудной, наиболее распространены ленточные с использованием унифицированных как одноприводных, так и двухприводных электроприводов барабанов, расположенных в головной и хвостовой частях конвейера.

В качестве электропривода конвейеров используются асинхронные коротко замкнутые и асинхронные с фазным ротором электродвигатели (АД). Часто производственный технологический процесс обслуживает группа конвейеров, объединенных в единую поточно-транспортную систему. При этом движение тянущих органов конвейеров должно быть строго согласованным, в противном случае может возникнуть нарушение технологического процесса.

Основные элементы конвейеров – лента, ролики и электропривод. Последний является силовым элементом, который определяет энергоемкость транспортного конвейера. Наши исследования по конвейерам, работающим в горно-рудной промышленности, показывают, что двигатели в рабочем режиме часто не догружены и коэффициент загрузки их находится в пределах 0.36 – 0.7, из-за того, что они выбраны по пусковым характеристикам. Это повышает удельную норму расхода электрической энергии на единицу транспортируемого груза. Изучению режима работы конвейеров и их элементов, включая статические, динамические режимы работы конвейеров, а также выбор их элементов, посвящен ряд работ [1-8]. Однако эти вопросы рассмотрены, в основном при использовании нерегулируемых электроприводов конвейеров. Между тем некоторые авторы поднимали вопросы использования регулируемых электроприводов, но из-за отсутствия надежных устройств регулирования на 0.4 и 6 кВ не получили практической реализации.

Особенность статических и динамических режимов электроприводов состоит в том, что механическая часть конвейеров представляет собой систему с распределенными параметрами по длине: массой перемещаемого груза, массой и упругостью тягового органа, усилием статического сопротивления. Наличие упругих механических связей способствует возникновению колебаний, которые существенно увеличивают динамические нагрузки на электропривод.

С учетом статических и динамических режимов работы электропривода конвейеров сформулированы следующие требования к регулируемому электроприводу на основе рекомендаций [1-7]:

1. Мощность электропривода конвейера должна соответствовать расчетной статической нагрузке и заданной скорости движения конвейера для тяжелых конвейеров с учетом динамического усилия из-за большой массы поступательно движущихся элементов.

2. Электропривод должен осуществлять пуск конвейера в две ступени: трогания с места и разгона всех движущихся масс до заданной (номинальной) скорости, заданным ускорением, при котором время пуска конвейера в 5-10 раз больше времени распространения динамического импульса, т.е. времени изменения натяжения ленты по всему контуру трассы конвейера.

3. Электропривод должен обеспечить при пуске конвейеров ускорение в пределах $j = 0.1 - 0.2 \text{ м/с}^2$, что должно быть обеспечено соответствующей программой (алгоритмом) системой управления устройством регулируемого электропривода.

4. Торможение электродвигателя конвейера должно осуществляться по наклонным участкам, выдерживая условие

$$q_{\max} \sum h \geq \sum W,$$

где $q_{\max} \sum h$ - составляющая силы тяжести наклонных участков конвейера при наибольшей загрузке, Н; $\sum W$ - сопротивление движению ленты на всех участках конвейера, Н.

При определении мощности электропривода конвейера определяющими являются тяговое усилие конвейера и скорость движения ленты, т.е. $N = \varphi(p, v)$. Все параметры, входящие в тяговое усилие $P = \varphi(\omega, q, q_0, L_2, q_1, H, m_1, m_2, m_3, m_4, m_5)$, выбираются по справочным данным в зависимости от длины конвейера, высоты подъема груза, конструктивных признаков, погодных условий и других параметров.

Время пуска конвейера по выбранной мощности двигателя для заданных ступеней пуска конвейера

$$t_{n.d} = \frac{(GD^2)_k n_3 g}{375(M_{n.c} - M_{cm})k_y},$$

где n_3 - заданная скорость (номинальная) каждой ступени пуска конвейера, об/мин; $M_{n.c}$ - средний пусковой момент электродвигателя, Н·м; k_y - коэффициент, учитывающий упругое удлинение ленты, обеспечивающее неодновременность приведения масс конвейера в движение (для резинотканевых лент $k_y = 0.7 \div 0.8$, для резинотросовых - $k_y = 0.9 \div 1$).

Расчетное время пуска должно удовлетворять требованиям к регулируемому электроприводу пункта 2.

Основным звеном при определении ускорения при пуске конвейера является система управления преобразователем частоты, который должен задавать шаг дискретизации приращения частоты во времени путем выбора закона ускорения и замедления электропривода конвейера [9].

Исследования показывают эффективность применения приводов ленточных конвейеров с регулируемой скоростью на базе частотных преобразователей с короткозамкнутым асинхронным электродвигателем и асинхронно-вентильным каскадом с асинхронным двигателем фазным ротором [9,10].

Нами рассматривается электропривод конвейеров с частотным управлением, как наиболее перспективный и эффективный, позволяющий комплексно управлять электроприводом конвейера в статических и динамических режимах, удовлетворяющим современным требованиям работы конвейеров.

С учетом требований составлен алгоритм выбора электропривода конвейерных установок и преобразователя частоты с выбором его закона управления (ускорения) (рисунок).

Ввод исходных данных:
 $Q, \tau; v, \text{ м/с}; \omega; L, L_{2l}, \text{ м}; H, \text{ м};$
 m_1, m_2, m_3, m_4, m_5

Определение коэффициента ω ,
учитывающего условия работы
конвейера, по справочным данным

Определение значений q, q_1 – погонной
массы материала на ленте, кг/м ;
$$q = m_a = \frac{Q \cdot 1000}{3600 \cdot v};$$

 Q - производительность ленточного
конвейера, т/ч;
 v - скорость ленты, м/с.

Определение значения q_d – погонной массы
движущихся частей конвейера (роликов и ленты)
(кг/м) при B_l -ширине ленты
Для рядового груза $B_l \geq 2a_n + 200 \text{ мм}$.
Для сортированного груза $B_l \geq 3.3a_c + 200 \text{ мм}$;
 a - размер типичного куска, мм.
 q_d выбирается по справочным данным в
зависимости от ширины ленты B_l

Выбор $m_1 m_2 m_3 m_4 m_5$ -
коэффициентов, учитывающих
конструктивные признаки конвейера
по справочным данным

Определение тягового усилия конвейера;
$$P = 10 [\omega (q + q_d) L_2 \pm q_1 \cdot H] m_1 m_2 m_3 m_4 m_5, \text{ н.}$$

 L_2 – горизонтальная длина конвейера, м;
 H - высота подъема груза, м;
знак + при движении ленты вверх;
знак – при движении ленты вниз

Определение общего КПД привода
$$\eta = \eta_i \eta_a;$$

 η_i - КПД передаточного механизма выбирается
из справочника;
 η_a - КПД приводного барабана;

↓
Определение коэффициента,
учитывающего трение и угол обхвата

$$k_c = \frac{e^{f\alpha}}{e^{f\alpha} - 1},$$

e – основание натуральных логарифмов;
 f – коэффициент трения, выбираемый по справочным данным;
 α – угол обхвата шкива лентой.

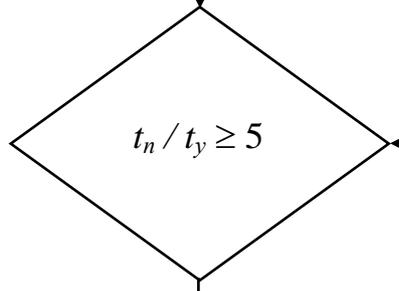
↓
Определение установочной мощности
электродвигателя привода конвейера

$$N = k_3 \frac{P \cdot v}{\eta} \text{ вт},$$

$k_3 = 1.2-1.25$; коэффициент запаса мощности

Выбор двигателя по каталогу мощности

Ввод исходных данных выбранного двигателя (АД):
 P , кВт; n_n , об/мин; U , В; $\cos \varphi$;
 $\frac{I_{пуск}}{I_{ном}}$; $\frac{M_{max}}{M_{ном}}$; $\frac{M_{пуск}}{M_{ном}}$; $\frac{M_{мин}}{M_{ном}}$;
 $\eta_{ном}$, %; J , кг·м².



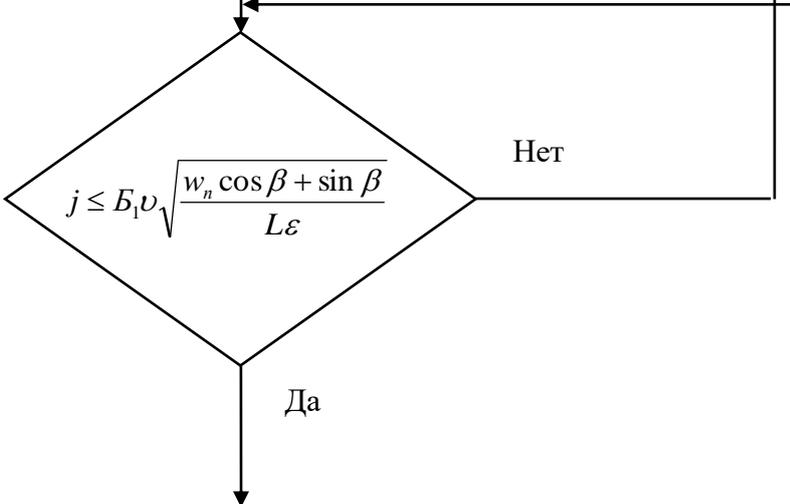
t_n – время пуска конвейера
 t_y – время распространения динамического импульса

Определение расчетного коэффициента сопротивления движению ленты при пуске конвейера

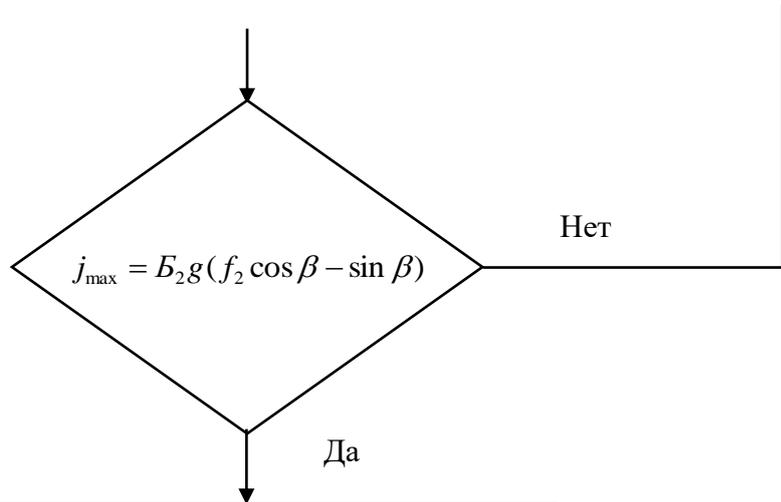
$$w_n \approx k_{п.с} w,$$

где $k_{п.с} = 1.2 \div 1.5$ – коэффициент увеличения сопротивления (меньшее значение принимают при температуре окружающей среды выше 0°C, большее – при температуре ниже 0°C);
 w – коэффициент сопротивления движению ленты при установившемся ее движении (для верхней ветви $w = w_B$, для нижней – $w = w_H$).

$B_1 = 0.4 \div 0.8$ – коэффициент (меньшее значение принимают для конвейеров длиной более 300 м, большее – при длине менее 300 м); L – длина конвейера, м; ε – относительное удлинение ленты.
 Рекомендуется принимать $j = 0.1 \div 0.2 \text{ м/с}^2$



$B_2 = 0.4 \div 0.8$ – коэффициент безопасности; $f_2 = 0.8 \div 1$ – коэффициент трения груза о ленту; β – угол наклона конвейера, град.



Определение t_{\min} - при равноускоренном движении ленты при пуске конвейера минимальная продолжительность (с) пуска

$$t_{n \min} = \frac{g}{j}$$

Определение значения $M_{ст}$ - момент статических сил сопротивления при установившемся движении конвейера, приведенный к валу электродвигателя, при заданной мощности P :

$$M_{ст} = \frac{974 \cdot P}{n_H}$$

Определение значения $(GD^2)_k$ – момент инерции всех движущихся частей конвейера, приведенный к валу двигателя (кг·м²):

$$(GD^2)_k \approx K_k (GD^2)_p + \frac{365v^2 \eta}{n_H^2} [(q + 2q_l)L + (\sum m_{p.в} + \sum m_{p.н} + \sum m_{\sigma})]$$

$K_k = 1.1 \div 1.2$ – коэффициент приведения вращающихся частей механизма привода к ротору двигателя; $(GD^2)_p$ – маховой момент ротора электродвигателя (принимают по каталогу электродвигателя), кг·м²; $m_{\delta.в}$, $m_{\delta.н}$, m_{σ} – массы вращающихся частей соответственно роликкоопор на верхней и нижней ветвях и барабанов, установленных на конвейере, кг

Определение линейной силы тяжести

$$q_l = m_l B_l$$

m_l – масса 1 м² ленты;

B_l – ширина ленты

Определение времени для заданных ступеней пуска конвейера по пусковым характеристикам электродвигателя привода

$$t_{n.д} = \frac{(GD^2)_k n_H g}{375(M_{n.c} - M_{cm})k_y},$$

n_H – заданная скорость (номинальная) вращения двигателя для каждой ступени пуска конвейера, об/мин; $M_{n.c}$ – средний пусковой момент электродвигателя, Н·м; k_y – коэффициент, учитывающий упругое удлинение ленты, обеспечивающее неодновременность приведения масс конвейера в движение (для резинотканевых лент $k_y = 0.7 \div 0.8$; для резинотросовых – $k_y = 0.9 \div 1$).

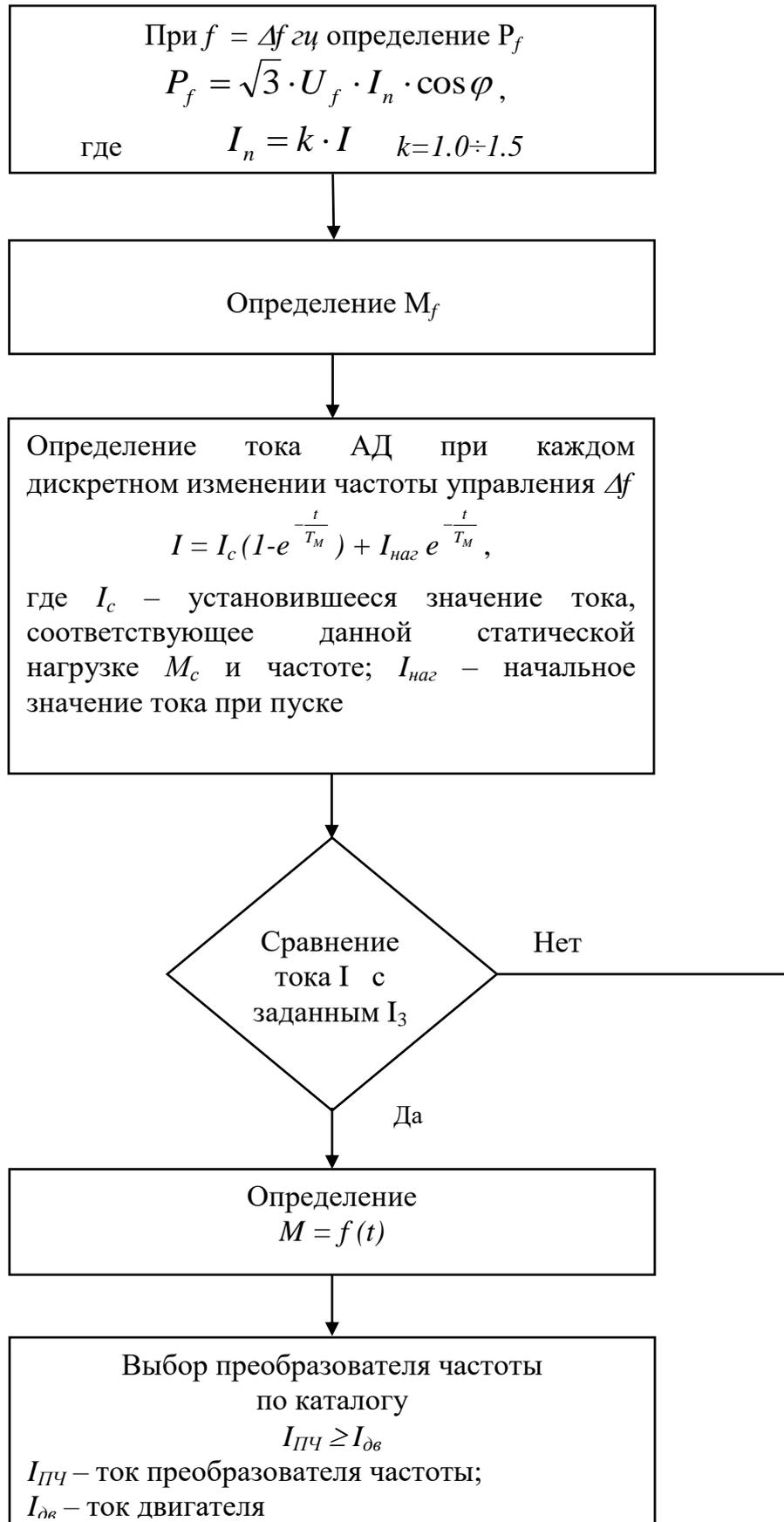
$$t_{n.д} \geq t_{n \min}$$

Нет

Да

Выбор шага дискретизации приращения частоты Δf для закона ускорения и замедления двигателем:
линейный, S – образный, U – образный





ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Теория и расчет ленточных конвейеров. М.: Машиностроение, 1987.
2. Спиваковский А.О. Ленточные конвейеры в горной промышленности. М.: Недра 1982.
3. Соловьев А.С., Соловьев В.С. Автоматизированный электропривод конвейеров. Л., 1977.
4. Белов М.П., Новиков В.А., Рассудов Л.Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. М.: Академия, 2007.
5. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов. М.: Энергия, 1980.
6. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины. М.: Машиностроение, 1983.
7. Кузьмин А.В., Марон Ф.Л. Справочник по расчетам механизмов подъемно-транспортных машин. Минск: Вышэйшая школа, 1983.
8. Пертен А.Ю. Конвейерные системы. Спб.: Професионал, 2008.
9. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Энергосберегающий электропривод и вопросы выбора преобразователя частоты // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». 2009. № 1. С. 36-42.
10. Камалов Т.С. Современное состояние и тенденция развития электроприводов промышленных и сельскохозяйственных установок // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». 2004. №1. С.50-58.

Институт энергетики и автоматки АН РУз

Дата поступления
26.02.2010

УДК 620.4

А.Р. ВАСИКОВ, Т.П. САЛИХОВ, З.Н. ГАРАЕВ

О КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ УРОВНЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРАНЫ

А.Р. Васиков, Т.П. Салихов, З.Н. Гараев

Мамлакатнинг энергетик хавфсизлик даражасини сонли баҳолаш ҳақида

Мақолада мамлакатнинг энергетик хавфсизлик даражасини ягона интеграл курсаткичлар асосида сонли баҳолаш методикаси таклиф қилинган.

A.R. Vasikov, T.P. Salikhov, Z.N. Garaev

About a quantitative estimation of a level of power safety of the country

A method for quantitative estimation of a level of energy safety of the country on the basis of a single, integrated indicator has been offered.

Неуклонный рост мировой потребности в энергии, возрастание ее дефицита в мировом масштабе, следствием чего являются постоянное повышение и значительные колебания цен на нефть и другие энергоносители, вызывают все большую озабоченность правительств многих стран мира, смену векторов их долгосрочной энергетической политики. На первые места все настойчивее выдвигаются вопросы обеспечения энергетической безопасности как на уровне отдельных стран, так и на глобальном уровне.

Например, в Энергетической стратегии России на период до 2020 года записано, что стратегическими ориентирами долгосрочной государственной энергетической политики являются энергетическая и экологическая безопасность [1].

В Республике Беларусь принята специальная «Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь», утвержденная Указом Президента от 17 сентября 2007 г. № 433, которая предусматривает 12 пороговых значений – показателей, от соблюдения которых будет зависеть энергетическая безопасность страны [2].

Национальная энергетическая программа Кыргызстана определила главным приоритетом энергетической стратегии рациональное и эффективное использование природных топливно-энергетических ресурсов, имеющегося технического, научного и кадрового потенциала топливно-энергетического комплекса (ТЭК) для обеспечения энергетической безопасности страны [3].

Аналогичную цель, т.е. обеспечение энергетической безопасности страны, преследуют энергетические политики Японии [4, 5], Республики Корея [6, 7], Польши [8], Грузии [9] и многих других стран.

Не меньшую озабоченность вызывает и вопрос обеспечения глобальной энергетической безопасности [10-13]. В заявлении G8 («группа восемь») о принципах глобальной энергетической безопасности (2006 г.) говорится, что группа намерена укреплять глобальную энергетическую безопасность, действуя по следующим основным направлениям:

- повышение прозрачности, предсказуемости и стабильности глобальных энергетических рынков;
- улучшение инвестиционного климата в энергетическом секторе;
- повышение энергоэффективности и энергосбережения;
- диверсификация видов энергии;
- обеспечение физической безопасности жизненно важной энергетической инфраструктуры;
- сокращение масштабов энергетической бедности;
- решение проблем изменения климата и устойчивого развития.

При этом перечень основных направлений укрепления глобальной энергетической безопасности не всегда совпадает с интересами отдельных государств, что видно из трактовки понятия «энергетическая безопасность» различными с энергетической точки зрения категориями стран: импортеров, экспортеров, транзитеров [14-16].

Для стран-импортеров это:

- обеспечение надежности и непрерывности поставок энергоресурсов;
- стабилизация цен на энергоресурсы на приемлемом уровне;
- удовлетворение постоянно растущего внутреннего спроса;
- диверсификация источников и видов энергоресурсов;
- повышение энергоэффективности и энергосбережение;

- обеспечение безопасности энергетической инфраструктуры;
- развитие инфраструктуры хранения энергоресурсов.

Для стран-экспортеров это:

• обеспечение гарантий устойчивого спроса на экспортируемые энергоресурсы;

- наращивание добычи энергоресурсов;
- диверсификация рынков экспорта энергоресурсов;
- получение максимальной прибыли от экспорта ресурсов;
- обеспечение бесперебойного транзита экспортируемых энергоресурсов;
- удовлетворение постоянно растущего внутреннего спроса;
- повышение энергоэффективности и энергосбережение;
- обеспечение безопасности энергетической инфраструктуры.

Для стран-транзитеров это:

- получение максимальной прибыли от транзита энергоресурсов
- обеспечение безопасности транзита энергоресурсов;
- обеспечение безопасности энергетической инфраструктуры;
- удовлетворение постоянно растущего внутреннего спроса;
- повышение энергоэффективности и энергосбережение.

Кроме того, есть группа стран, в основном развивающихся, для которых «энергобезопасность» означает обеспечение базовой потребности населения в энергоресурсах.

Исходя из этих определений понятия «энергетическая безопасность», многие страны вырабатывают национальные системы индикаторов (показателей) и на их базе проводят количественную оценку и анализ текущего и перспективного уровня энергобезопасности страны. В частности, такая работа проводится в Молдове, где для анализа сформирована система из 27 основных показателей [17], в Беларуси, где на государственном уровне установлены 12 индикаторов энергобезопасности [2], в России, где для оценки уровня энергетической безопасности используются от 10 до 122 показателей [18-20].

Есть даже предложения оценивать энергетическую безопасность только по одному показателю – доле собственных энергоресурсов в общем объеме потребления [21].

Следует согласиться с мнением [21], что многообразие показателей и сложность взаимосвязей существенно затрудняют ее оценку. Необходим единый, интегральный, количественный показатель, который позволит объективно оценить уровень национальной энергетической безопасности, сопоставить ее с показателями других стран.

Для решения этой проблемы, без претензий на абсолютную истину, предлагается следующее.

Анализ приведенных выше трактовок энергетической безопасности показывает, что общими элементами для всех категорий стран являются вопросы удовлетворения постоянно растущего внутреннего спроса на энергию, диверсификация видовой структуры энергопотребления и ценовые вопросы.

Эти элементы энергетической безопасности однозначно соответствуют трактовке понятия данной в 2000 г. Программой Развития ООН, Департаментом ООН по экономике и социальным проблемам и Всемирным Энергетическим Советом [22]: энергетическая безопасность – это доступность энергии в любое время, **в различных формах** и в **необходимых количествах** и по **доступным ценам**.

На наш взгляд, следующие три показателя полностью характеризуют данную трактовку энергетической безопасности. Это:

- **соотношение** показателей душевого национального **производства** и внутреннего **потребления** энергии, что характеризует **доступность** энергии **во времени**;

- показатель **видовой структуры** энергопотребления, что характеризует различие форм используемой энергии;

- величина **душевого энергопотребления**, что в полной мере характеризует уровень экономического развития страны, энергетическую эффективность национальной экономики и уровень **доступности цен** на энергию в стране.

Именно по этим трем показателям (обеспеченности энергией I_{oi} , диверсификации структуры энергопотребления I_{di} и уровня душевого энергопотребления I_{pi}) предлагается выработать общий показатель и провести количественную оценку уровня энергетической безопасности страны.

Использование душевых, а не абсолютных показателей диктуется необходимостью обеспечения объективности при проведении межстрановых сравнений. Например, Индия и Канада имеют сопоставимые показатели производства и потребления энергии: в 2005 году производство первичной энергии составило, соответственно, 419 и 401 млн. т.н.э., а поставки энергии – соответственно, 537 и 272 млн. т.н.э. [23]. Однако если рассмотреть душевые показатели, то очевидна существенная разница в уровне как производства, так и потребления. Для Индии это, соответственно, 383 и 491 кг н.э. на 1 жителя, а для Канады – соответственно, 12434 и 8427 кг н.э. на 1 человека.

Показатель обеспеченности энергией i страны определяется по формуле

$$I_{oi} = \frac{P_i}{C_i}, \quad (1)$$

где P_i - объем душевого производства энергии (кг н.э./чел) i страны;

C_i - объем душевого потребления энергии (кг н.э./чел) i страны.

Данный показатель меняется в пределах от 0, когда страна не имеет национальных источников энергии, до 1, когда объем душевого производства энергии в стране равен или превышает объем душевого потребления энергии. Превышающий потребность объем производства энергии не учитывается, так как для энергетической независимости и обеспечения устойчивого развития страны необходимо произвести достаточное для удовлетворения внутренних потребностей страны количество энергии.

Как известно, процесс диверсификации является **обратным** процессу концентрации. Поэтому для оценки диверсификации видовой структуры энергопотребления предлагается воспользоваться индексом Херфиндаля-Хиршмана (Herfindahl-Hirschman), который используется для определения уровня экономической концентрации [24, 25], и рассчитать показатель диверсификации структуры энергопотребления i страны по формуле

$$I_{di} = 1 - HHI, \quad (2)$$

где $HHI = \sum_{k=1}^n q_k^2$ - индекс Херфиндаля-Хиршмана; n - количество используемых

видов первичной энергии; q - доля k вида первичной энергии в общем энергопотреблении.

Из свойства показателя следует, что чем больше индекс, тем больше уровень диверсификации видовой структуры энергопотребления. Если в энергобалансе страны используется один вид первичной энергии, то формула (2) даёт значение, равное нулю. В том случае, когда доли используемых нескольких видов энергии одинаковы, то формула (2) даёт значение, равное $1-1/n$.

Показатель уровня энергетической безопасности, связанный с душевым энергопотреблением i страны, определяется по формуле

$$I_{\Pi i} = 1 - \frac{C_{i\phi} - C_{\min}}{C_{\max} - C_{\min}}, \quad (3)$$

где C - объем душевого потребления энергии (кг н.э./чел), соответственно, фактический для i страны, принятый для расчета минимальный и максимальный объемы душевого энергопотребления.

Данный нормированный показатель меняется в пределах от 0, когда величина фактического душевого энергопотребления равна или выше принятого максимума, до 1, когда величина фактического душевого энергопотребления равна принятому минимуму. При этом формула (3) отражает взаимосвязь уровня энергетической безопасности и душевого энергопотребления, а именно, чем выше уровень душевого энергопотребления, тем больше угроз для энергетической безопасности страны. Как пример можно привести Исландию, страну с одним из самых высоких уровней душевого энергопотребления и очень высоким душевым валовым внутренним продуктом (ВВП), которая в 2008 году оказалась на грани экономического банкротства в связи с глобальным финансово-экономическим кризисом.

Используя указанные выше показатели и полагая их равнозначность для энергетической безопасности, определяем ее уровень для i страны по формуле

$$I_{\sigma i} = (I_{Oi} + I_{\Pi i} + I_{\Delta i})/3. \quad (4)$$

Данный показатель меняется в пределах от 0, что соответствует низшему уровню безопасности, до $1-1/n$, что соответствует высшему уровню энергетической безопасности.

Для расчета уровня энергетической безопасности за 2005 г. по 130 странам мира нами использованы данные Международного энергетического агентства [23] и Доклада ПРООН о развитии человека [26].

При этом за минимальный уровень душевого энергопотребления принят уровень Бангладеш (170 кг н.э.), за максимальный - среднечеловеческий уровень стран Организации экономического развития и сотрудничества (ОЭСР) – 4740 кг н.э. Данный уровень душевого энергопотребления обеспечивает жителям этих стран высокий уровень доходов, высокое качество уровня жизни и доступность цен на энергию, а также достижение низкой энергоемкости экономики, что является целью для правительств большинства стран мира.

Для расчета показателя диверсификации структуры энергопотребления использованы данные по доле шести видов первичной энергии: угля, нефти, природного газа, атомной энергии, возобновляемых видов энергии (гидроэнергия, солнечная, ветровая и т.д.) и возобновляемых видов топлива (дрова и отходы).

Проведенные расчеты показывают, что наибольшую степень энергетической безопасности имеют страны, обеспеченные собственными источниками энергии, с невысоким ее душевым энергопотреблением и диверсифицированной видовой структурой энергобаланса (таблица).

Результаты расчетов энергетической безопасности

№ п/п	Страны	Показатель			
		обеспеченности	диверсификации	потребления	безопасности
		I_0	I_d	I_p	I_b
1	Колумбия	1.000	0.724	0.899	0.875
2	Индонезия	1.000	0.735	0.860	0.865
3	Вьетнам	1.000	0.687	0.902	0.863
4	Кот д'Ивуар	1.000	0.589	0.943	0.844
5	Боливия	1.000	0.596	0.910	0.836
6	Конго	1.000	0.502	0.972	0.824
7	Мьянма	1.000	0.477	0.974	0.817
8	Бангладеш	0.801	0.646	1.000	0.816
9	Пакистан	0.803	0.713	0.930	0.815
10	Индия	0.781	0.703	0.930	0.805
11	Ангола	1.000	0.508	0.902	0.803
12	Египет	1.000	0.552	0.856	0.802
13	Бразилия	0.900	0.712	0.792	0.801
14	Перу	0.787	0.655	0.930	0.791
15	Габон	1.000	0.553	0.766	0.773
16	Зимбабве	0.908	0.522	0.873	0.768
17	Камерун	1.000	0.352	0.943	0.765
18	Сирия	1.000	0.464	0.832	0.765
19	Аргентина	1.000	0.607	0.678	0.762
20	Алжир	1.000	0.464	0.805	0.756
21	Мексика	1.000	0.584	0.670	0.751
22	Судан	1.000	0.328	0.926	0.751
23	Китай	0.953	0.547	0.748	0.749
24	Тунис	0.793	0.599	0.853	0.748
25	Нигерия	1.000	0.368	0.864	0.744
26	Монголия	1.000	0.385	0.836	0.740
27	Мозамбик	1.000	0.289	0.923	0.738
28	Филиппины	0.540	0.750	0.919	0.736
29	Замбия	0.914	0.365	0.904	0.728
30	Азербайджан	1.000	0.506	0.676	0.727
31	Кыргызстан	0.522	0.735	0.919	0.725
32	Эквадор	1.000	0.293	0.864	0.719
33	Гана	0.719	0.477	0.950	0.715
34	Кения	0.811	0.404	0.928	0.714
35	Гватемала	0.682	0.554	0.899	0.712
36	Конго Д.Р. (б. Заир)	1.000	0.158	0.974	0.711
37	Малайзия	1.000	0.626	0.508	0.711
38	Венесуэла	1.000	0.590	0.536	0.709
39	Румыния	0.729	0.746	0.650	0.708
40	Гаити	0.776	0.370	0.974	0.707
41	Камбоджа	0.742	0.392	0.961	0.698
42	Непал	0.884	0.242	0.963	0.696
43	Сальвадор	0.551	0.643	0.891	0.695

Продолжение таблицы

44	Эритрея	0.631	0.456	0.998	0.695
45	Того	0.808	0.303	0.967	0.693
46	Эфиопия	0.929	0.171	0.972	0.690
47	Бенин	0.638	0.444	0.969	0.684
48	Никарагуа	0.583	0.567	0.895	0.682
49	Босния и Герцеговина	0.673	0.609	0.759	0.680
50	Иран	1.000	0.519	0.516	0.679
51	Ботсвана	0.554	0.665	0.803	0.674
52	Шри Ланка	0.557	0.532	0.932	0.674
53	Грузия	0.395	0.739	0.880	0.671
54	Танзания	0.940	0.146	0.921	0.669
55	Йемен	1.000	0.024	0.967	0.664
56	Таджикистан	0.441	0.622	0.921	0.661
57	Дания	1.000	0.719	0.245	0.655
58	Сенегал	0.419	0.539	0.980	0.646
59	Гондурас	0.457	0.560	0.919	0.645
60	Польша	0.844	0.580	0.503	0.642
61	Таиланд	0.539	0.685	0.696	0.640
62	Македония	0.533	0.638	0.742	0.638
63	Узбекистан	1.000	0.269	0.643	0.637
64	ЮАР	1.000	0.454	0.442	0.632
65	Коста-Рика	0.483	0.562	0.845	0.630
66	Казахстан	1.000	0.611	0.236	0.616
67	Албания	0.485	0.487	0.869	0.614
68	Армения	0.335	0.621	0.851	0.602
69	Куба	0.544	0.416	0.840	0.600
70	Турция	0.278	0.729	0.779	0.595
71	Латвия	0.486	0.709	0.589	0.594
72	Уругвай	0.351	0.576	0.853	0.593
73	Великобритания	0.874	0.703	0.188	0.588
74	Канада	1.000	0.751	0.000	0.584
75	Болгария	0.531	0.741	0.470	0.581
76	Ливия	1.000	0.406	0.326	0.577
77	Чили	0.309	0.740	0.641	0.563
78	Туркменистан	1.000	0.390	0.298	0.562
79	Хорватия	0.428	0.654	0.600	0.561
80	Россия	1.000	0.635	0.048	0.561
81	Литва	0.457	0.726	0.486	0.557
82	Австралия	1.000	0.668	0.000	0.556
83	Норвегия	1.000	0.666	0.000	0.555
84	Намибия	0.239	0.492	0.888	0.540
85	Украина	0.566	0.678	0.372	0.539
86	Панама	0.286	0.445	0.862	0.531
87	Новая Зеландия	0.722	0.729	0.136	0.529
88	Марокко	0.071	0.531	0.937	0.513
89	Эстония	0.727	0.591	0.208	0.509
90	Венгрия	0.372	0.710	0.435	0.506
91	Чехия	0.727	0.702	0.070	0.500

Продолжение таблицы

92	Словения	0.470	0.765	0.236	0.491
93	Саудовская Аравия	1.000	0.463	0.000	0.488
94	Доминиканская	0.207	0.399	0.856	0.487
95	Кувейт	1.000	0.446	0.000	0.482
96	Оман	1.000	0.444	0.000	0.481
97	Бруней-Даруссалам	1.000	0.427	0.000	0.476
98	США	0.697	0.721	0.000	0.473
99	Швеция	0.666	0.743	0.000	0.470
100	ОАЭ	1.000	0.402	0.000	0.467
101	Нидерланды	0.756	0.640	0.000	0.465
102	Словакия	0.350	0.756	0.271	0.459
103	Бахрейн	1.000	0.356	0.000	0.452
104	Молдова	0.025	0.478	0.851	0.451
105	Швейцария	0.401	0.698	0.245	0.448
106	Греция	0.333	0.582	0.427	0.447
107	Катар	1.000	0.265	0.000	0.422
108	Финляндия	0.473	0.788	0.000	0.420
109	Германия	0.390	0.744	0.123	0.419
110	Франция	0.496	0.683	0.074	0.418
111	Тринидад и Тобаго	1.000	0.238	0.000	0.413
112	Португалия	0.132	0.606	0.473	0.403
113	Испания	0.208	0.685	0.304	0.399
114	Италия	0.149	0.648	0.346	0.381
115	Австрия	0.286	0.726	0.125	0.379
116	Иордания	0.035	0.346	0.753	0.378
117	Исландия	0.718	0.412	0.000	0.377
118	Израиль	0.106	0.579	0.420	0.368
119	Беларусь	0.143	0.512	0.442	0.366
120	Гонконг	0.003	0.621	0.468	0.364
121	Ямайка	0.125	0.237	0.722	0.361
122	Япония	0.188	0.690	0.129	0.336
123	Бельгия	0.245	0.719	0.000	0.321
124	Корея Р. (Южная)	0.201	0.696	0.068	0.321
125	Ирландия	0.108	0.603	0.230	0.314
126	Ливан	0.039	0.135	0.696	0.290
127	Мальта	0.000	0.000	0.523	0.174
128	Люксембург	0.015	0.495	0.000	0.170
129	Кипр	0.020	0.072	0.300	0.130
130	Сингапур	0.000	0.316	0.000	0.105

Однако даже полная обеспеченность источниками при низкой диверсификации энергобаланса и очень высоком уровне энергопотребления (Тринидад и Тобаго, Катар, Бахрейн) существенно снижает уровень энергетической безопасности страны. Только разумный уровень энергопотребления, высокая степень диверсификации энергобаланса и развитие собственных источников энергии может обеспечить приемлемый уровень энергобезопасности, в том числе сокращение масштабов энергетической бедности.

На наш взгляд, применение данного метода позволяет, при использовании минимального количества информации (показателей, индикаторов), провести объективную количественную оценку уровня энергетической безопасности страны и межстрановые сопоставления и обеспечивает содержательную интерпретируемость, а также простоту расчета. Он может быть использован в практике ретроспективного анализа и прогнозирования (индикативного планирования) развития энергетики страны, выработке ее целевых показателей на перспективу и объективной оценке степени их достижения.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Энергетическая стратегия России на период до 2020 года. Утверждена распоряжением правительства Российской Федерации от 28 августа 2003 г. № 1234 р.
2. Новая Концепция энергетической безопасности. Энергетика и ТЭК. 2008 февраль. № 2 (59). http://energetika.by/arch/~year_m21=2008~monthm21=2~page_m21=1~news__m21=64.
3. Национальная энергетическая программа Республика Кыргызстан на 2008-2010 гг. http://www.government.gov.kg/index.php?option=com_content&task=view&id=23.
4. Japan's New National Energy Strategy. Ken Koyama, PhD, Senior Research Fellow, Energy Strategy Unit Institute of Energy Economics, Japan, August 30, 2006 Tokyo, Japan.
5. New National Energy Strategy. *Press Release*. May 31, 2006. Agency for Natural Resources and Energy.
6. Young-Chang Kim. KEEL. Electric Power Industry in Korea. 2008.
7. http://www.kazenergy.com/index.php?option=com_content&task=view&id=5377&lang=ru.
8. Guidelines for Energy Policy of Poland until 2020. <http://www.mg.ov.pl/prawo/energia/index.htm>
9. Презентация зам. министра энергетики Грузии «Повышение энергетической безопасности Грузии». 2006.
10. Глобальная энергетическая безопасность. Итоговый документ саммита "группы восьми". (Санкт-Петербург, 2006). <http://www.civilg8.ru/6199.php>.
11. Комиссия ЕС. Зеленая книга. Европейская стратегия устойчивой, конкурентоспособной и безопасной энергетики. 2006. <http://www.rspenergy.ru/main/redirector.asp?id=1>.
12. Statement by OSCE Chairman-in-Office Minister Karel De Gucht, International Conference on The Role of Governments and International Organizations in Promoting Energy Security, Brussels, October 25, 2006.
13. Европейская экономическая комиссия. Комитет по устойчивой энергетике. Семнадцатая сессия. Женева, 2008. 19-21 ноября.
14. Митрова Т.А. Проблемы глобальной энергетической безопасности. Информационно-аналитический материал. М., 2006.
15. Григорьев Л. Энергетика: каждому своя безопасность. Институт энергетики и финансов (Россия). 2006. <http://www.polit.ru/lectures/2006/08/04/grigoriev.html>.
16. Митрова Т.А. (ИНЭИ РАН). Фактор энергетической безопасности в экономическом развитии регионов мира. Конгресс Международного Союза экономистов. Швейцария, 2008.

17. Дука Г.Г., Постолатий В.М. Аспекты проблемы энергетической безопасности Республики Молдова// Электро, 2005. №4.
18. Береснева Н.М. Система поддержки индикативного анализа энергетической безопасности России: Автореферат дис. ... канд. техн.наук. М., 2008.
19. Массель Л.В., Болдырев Е.А. Оценка уровня энергетической безопасности с использованием нейросетей. http://library.mephi.ru/data/scientific-sessions/2001/Neuro_2/2334.html.
20. Литвак В.В., Силич В.А., Яворский М.Й. Концепция энергетической безопасности субъектов федерации// Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». 2006, январь. №1
21. Войкова Н.А. Беленцов В.Н. Интегральная оценка электроэнергетической независимости государства. dspace.nbu.gov.ua:8080/dspace/bitstream/.../2663/.../st_39_3.pdf.
22. Оценка мировой энергетики: энергетика и проблемы устойчивого развития. ПРООН, Департамент ООН по экономике и социальным проблемам. Всемирный Энергетический Совет. США, 2000.
23. International Energy Agency (IEA). Key World Energy Statistics. OECD/IEA, 2007.
24. Светуныков С.Г. Методы маркетинговых исследований. Учебное пособие. – Спб.: Изд-во «ДНК», 2003. - 352 с.
25. Цихан Т.В. Теоретические основы контроля за экономической концентрацией. www.jurenergy.kiev.ua/statti/osncontr.doc .
26. Доклад о развитии человека 2007/2008. Борьба с изменениями климата: человеческая солидарность в разделённом мире / Пер. с англ. М.: Изд-во «Весь мир», 2007.

Институт энергетики и автоматки АН РУз

Дата поступления
28.08 .2009

УДК 621.372

О.Х. ИШНАЗАРОВ

**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПУЛЬПОНАСОСОВ ГОРНОРУДНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

О.Х. Ишназаров

**Тоғ – кон саноатида частотавий ростланадиган пульпонасос электроюритмасининг
имитацион модели**

Мақолада имитацион модель асосида тоғ-кон саноати насосларида энерготежамкор режимлар кўриб чиқилган.

О.Н. Ishnazarov

**Imitating model of frequency-regulated electric drives a pulp of pumps of the mining
industry**

In article on the basis of imitating modeling the effective operating modes of pumps the mining industry is proved energy.

Высокая энергоёмкость технологического оборудования горнорудной промышленности обуславливает применение энергосберегающих технологий при переработке минерально-сырьевых ресурсов.

Одним из энергоёмкого оборудования в горнорудной промышленности являются турбомеханизмы (механизмы с вентиляторной нагрузкой: глубинные скважинные насосы подземного выщелачивания урана, нагнетательные насосы, землесосы, насосы откачки пульпы золото- и медесодержащих руд, компрессора, вентиляторы, дымососы и др.), на долю которых приходится более 20% от всех расходов электроэнергии горнорудной промышленности. Проблема энергосбережения обостряется в связи с дефицитом энергоресурсов и резким увеличением их стоимости. Поэтому первоочередной задачей экономии топливно-энергетических ресурсов является снижение необоснованных энергозатрат, величина которых достигает 30-40% от общего расхода электроэнергии.

До 60% потребляемой электрической энергии используется в нерегулируемом асинхронном электроприводе. Выбор номинальной мощности электродвигателей осуществляется по максимальной нагрузке потребителя, время действия которой в соответствии с графиками нагрузки для многих технологических процессов не превышает 20-30% длительности эксплуатационного режима.

Из спектра различных решений, применяемых для энергосбережения, одно из наиболее эффективных и быстрокупаемых, требующих относительно небольших капиталовложений, — внедрение высокотехнологичной и наукоемкой энергосберегающей техники - частотно-регулируемых асинхронных приводов, позволяющих оптимизировать режимы работы турбомеханизмов в широком диапазоне изменения нагрузок. Однако эффективность его применения во многом определяется обоснованным использованием для конкретных технологических процессов при выборе соответствующего способа управления с учетом специфики производства. Кроме того, в ряде случаев целесообразно переходить от существующего технологического режима работы электроприемников к новому, организованному по заданному энергоэффективному закону управления технологическим процессом.

Традиционные способы регулирования подачи насосных и вентиляторных установок состоят в дросселировании напорных линий и изменении общего числа работающих агрегатов по одному из технологических параметров - давлению на коллекторе или в диктующей точке сети, уровню в приёмном или регулирующем резервуаре и др. Эти способы регулирования направлены на решение технологических задач и практически не учитывают энергетических аспектов транспорта воды или газа.

Наша цель – минимизация энергозатрат турбомеханизмов горнорудной промышленности на примере технологического процесса откачки пульпы, путем реализации энергоэффективного режима частотно-регулируемого электропривода насоса откачки пульпы.

Учитывая, что энергоэффективность является интегральным свойством экономики, комплексная оценка энергоэффективности с экономической точки зрения должна учитывать следующие показатели: расход электроэнергии; потребляемую мощность; коэффициент полезного действия; коэффициент мощности. Критерием экономической эффективности при выборе наилучшего варианта служит наименьший расход электроэнергии при обеспечении требований технологического процесса.

По результатам экспериментов и анализа технологического процесса определены следующие основные требования к регулируемому электроприводу насосов откачки пульпы:

- насосы являются механизмами с длительными режимами работы, поэтому электроприводы насосов должны быть рассчитаны на длительную работу с большим числом часов в году;

- уровень пульпы в зумпфе должен поддерживаться в диктующей точке, так как необходимость стабилизации уровня обусловлена переменным характером поступления пульпы в зумпф, а поддержание требуемых значений технологических параметров (напор, производительность) в системе возможно только при стабилизации уровня пульпы в диктующей точке, т.е. поддержанием заданного уровня пульпы в зумпфе;

- плавный пуск и плавное регулирование скорости вращения, так как резкое изменение скорости вращения вызывает мгновенное повышение или понижение давления в трубопроводе, которое приводит к гидравлическому удару;

- диапазон регулирования должен обеспечить 2:1;

- выходное давление насосов 2-й стадии должен быть постоянным, так как пульпа откачивается в гидроциклонную установку и для ее эффективной работы необходимо поддерживать давление на ее входе постоянным;

- пуск насосов производится на закрытую задвижку.

Технологический процесс стадия измельчения также определяет ряд требований к условиям регулирования насосной установки:

- экономичность, т.е. регулирование должно осуществляться без дополнительных потерь энергии с максимально возможным КПД установки;

- надежность в работе, т.е. устойчивость к агрессивной среде, высоким температурам и влажности;

- возможность реализации автоматического регулирования производительности насосов в функции параметров технологического процесса.

Обобщенные требования к электроприводам могут быть сформулированы следующим образом:

- мощность электродвигателей не превышает 110 кВт;

- режим работы продолжительный и неререверсивный;

- точность поддержания регулируемого параметра при изменении технологических параметров не должна быть хуже 0.5%;

- условия эксплуатации: температура окружающей среды + 5.0 .. +40.0 °С, относительная влажность 85%.

Для обеспечения требования технологического процесса откачки пульпы, учёта известных и дополнительных преимуществ управления производительностью частотой вращения насоса предлагается подход, основанный на использовании математических моделей устройств и переменных процесса управления технологическим процессом откачки пульпы.

Для решения поставленной задачи была разработана имитационная модель частотно-регулируемого электропривода насосной установки.

Практический интерес представляют структурные модели асинхронного электродвигателя, построенные в неподвижной ортогональной системе координат α, β . Это объясняется, тем, что указанные модели могут быть использованы для имитационного моделирования систем, в которых АД подключается к источникам несинусоидального напряжения (автономным инверторам, статическим преобразователям частоты и т.п.).

Для неподвижной относительно статора системы координат $\alpha, \beta (\omega_k = 0)$ дифференциальные уравнения электрического равновесия напряжений в обмотках статора и ротора машины принимают следующий вид [2, 3]:

$$\begin{aligned} U_{1\alpha} &= R_1 i_{1\alpha} + \frac{d\Psi_{1\alpha}}{dt}; \\ U_{1\beta} &= R_1 i_{1\beta} + \frac{d\Psi_{1\beta}}{dt}; \\ U_{2\alpha} &= R_2 i_{2\alpha} + \frac{d\Psi_{2\alpha}}{dt} + \omega \Psi_{2\beta}; \\ U_{2\beta} &= R_2 i_{2\beta} + \frac{d\Psi_{2\beta}}{dt} + \omega \Psi_{2\alpha}. \end{aligned} \quad (1)$$

В системе уравнений (1) приняты следующие обозначения:

$U_{1\alpha}, i_{1\alpha}$ - напряжение и ток статора по оси α ; $U_{2\alpha}, i_{2\alpha}$ - напряжение и ток ротора по оси β ; R_1, R_2 - активные сопротивления обмоток статора и ротора соответственно; $\Psi_{1\alpha}, \Psi_{1\beta}$ - потокосцепления обмоток статора; $\Psi_{2\alpha}, \Psi_{2\beta}$ - потокосцепления обмоток ротора; r_1, L_{11} - активное сопротивление и индуктивность статора.

Четыре уравнения системы (1) содержат восемь линейно зависимых переменных. С помощью выражений связи токов и потокосцеплений обмоток статора и ротора исключим две пары переменных, т.е. выберем состав компонент вектора $\vec{\Psi}$

$$\begin{aligned} \Psi_{1\alpha} &= L_1 i_{1\alpha} + L_{12} i_{2\alpha}; \\ \Psi_{1\beta} &= L_1 i_{1\beta} + L_{12} i_{2\beta}; \\ \Psi_{2\alpha} &= L_2 i_{2\alpha} + L_{12} i_{1\alpha}; \\ \Psi_{2\beta} &= L_2 i_{2\beta} + L_{12} i_{1\beta}, \end{aligned} \quad (2)$$

где L_1 - собственная индуктивность обмотки статора; L_2 - приведенная собственная индуктивность обмотки ротора; L_{12} - приведенная взаимная индуктивность обмоток статора и ротора.

Выбрать состав компонент вектора $\vec{\Psi}$ нужно так, чтобы результирующее математическое описание электромеханического преобразования энергии в АД не содержало алгебраических уравнений, а, следовательно, структурная модель не имела безынерционных контуров. Выберем следующий состав компонент вектора $\vec{\Psi}$:

$$\vec{\Psi} = [i_{1\alpha} \ i_{1\beta} \ \Psi_{2\alpha} \ \Psi_{2\beta}].$$

Из двух последних уравнений системы (2) выразим токи ротора

$$\begin{aligned} i_{2\alpha} &= \frac{1}{L_2} \Psi_{2\alpha} - \frac{L_{12}}{L_2} i_{1\alpha}; \\ i_{1\alpha} &= \frac{1}{L_2} \Psi_{2\beta} - \frac{L_{12}}{L_2} i_{1\beta}. \end{aligned} \quad (3)$$

Полученные выражения (3) подставим в уравнения для потокосцеплений статора, то есть в первые два уравнения системы (2)

$$\Psi_{1\alpha} = L_1 i_{1\alpha} + \frac{L_{12}}{L_2} \Psi_{2\alpha} - \frac{L_{12}^2}{L_2} i_{1\alpha} = \left(L_1 - \frac{L_{12}^2}{L_2} \right) i_{1\alpha} + \frac{L_{12}}{L_2} \Psi_{2\alpha};$$

$$\Psi_{1\beta} = L_1 i_{1\beta} + \frac{L_{12}}{L_2} \Psi_{2\beta} - \frac{L_{12}^2}{L_2} i_{1\beta} = \left(L_1 - \frac{L_{12}^2}{L_2} \right) i_{1\beta} + \frac{L_{12}}{L_2} \Psi_{2\beta}.$$

Обозначив $L_1^\sigma = \left(L_1 - \frac{L_{12}^2}{L_2} \right)$, получим выражения для потокосцеплений

обмоток статора:

$$\Psi_{1\alpha} = L_1^\sigma i_{1\alpha} + \frac{L_{12}}{L_2} \Psi_{2\alpha};$$

$$\Psi_{1\beta} = L_1^\sigma i_{1\beta} + \frac{L_{12}}{L_2} \Psi_{2\beta}.$$
(4)

Далее выражения (3) подставим в уравнения системы (1) и с учетом обозначения

$$p = \frac{d}{dt},$$

получим

$$U_{1\alpha} = R_1 i_{1\alpha} + L_1^\sigma p i_{1\alpha} + \frac{L_{12}}{L_2} p \Psi_{2\alpha};$$

$$U_{1\beta} = R_1 i_{1\beta} + L_1^\sigma p i_{1\beta} + \frac{L_{12}}{L_2} p \Psi_{2\beta};$$

$$U_{2\alpha} = -\frac{R_2 L_{12}}{L_2} i_{1\alpha} + \frac{R_2}{L_2} \Psi_{2\alpha} + p \Psi_{2\alpha} + \omega \Psi_{2\beta};$$

$$U_{2\beta} = -\frac{R_2 L_{12}}{L_2} i_{1\beta} + \frac{R_2}{L_2} \Psi_{2\beta} + p \Psi_{2\beta} + \omega \Psi_{2\alpha}.$$
(5)

Преобразуем (5) к виду, удобному для построения структурной модели

$$i_{1\alpha} = \frac{1}{R_1 + L_1^\sigma p} \left(U_{1\alpha} - \frac{L_{12}}{L_2} p \Psi_{2\alpha} \right);$$

$$i_{1\beta} = \frac{1}{R_1 + L_1^\sigma p} \left(U_{1\beta} - \frac{L_{12}}{L_2} p \Psi_{2\beta} \right);$$

$$\Psi_{2\alpha} = \frac{1}{p} \left(U_{2\alpha} + \frac{R_2 L_{12}}{L_2} i_{1\alpha} - \frac{R_2}{L_2} \Psi_{2\alpha} - \omega \Psi_{2\beta} \right);$$

$$\Psi_{2\beta} = \frac{1}{p} \left(U_{2\beta} + \frac{R_2 L_{12}}{L_2} i_{1\beta} - \frac{R_2}{L_2} \Psi_{2\beta} - \omega \Psi_{2\alpha} \right).$$
(6)

Систему уравнений (6) дополним электромагнитным моментом и моментом сопротивления. Электромагнитный момент определим по выражению

$$M = p_n \frac{L_{12}}{L_2} (i_{1\beta} \Psi_{2\alpha} - i_{1\alpha} \Psi_{2\beta}),$$
(7)

где p_n – число пар полюсов двигателя.

Момент сопротивления турбомеханизма определим [1]

$$M_c = \frac{0.05 + 0.95 \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2}{M_n}, \quad (8)$$

где M_n - номинальный момент двигателя; ω_n - номинальная частота вращения.

Момент двигателя, вычисляемый при решении системы (7), пропорционален мнимой части произведения векторов потокосцепления статора и ротора, или произведению их модулей и значению синуса угла между ними. Модуль потокосцепления ротора меняется медленно, так как постоянная времени ротора достаточно велика. Модуль потокосцепления статора, если рассматривать небольшой отрезок времени, можно принять постоянным.

На основе (1) – (8) получим имитационную модель асинхронного двигателя насосной установки откачки пульпы при частотном регулировании, представленную на рис. 1.

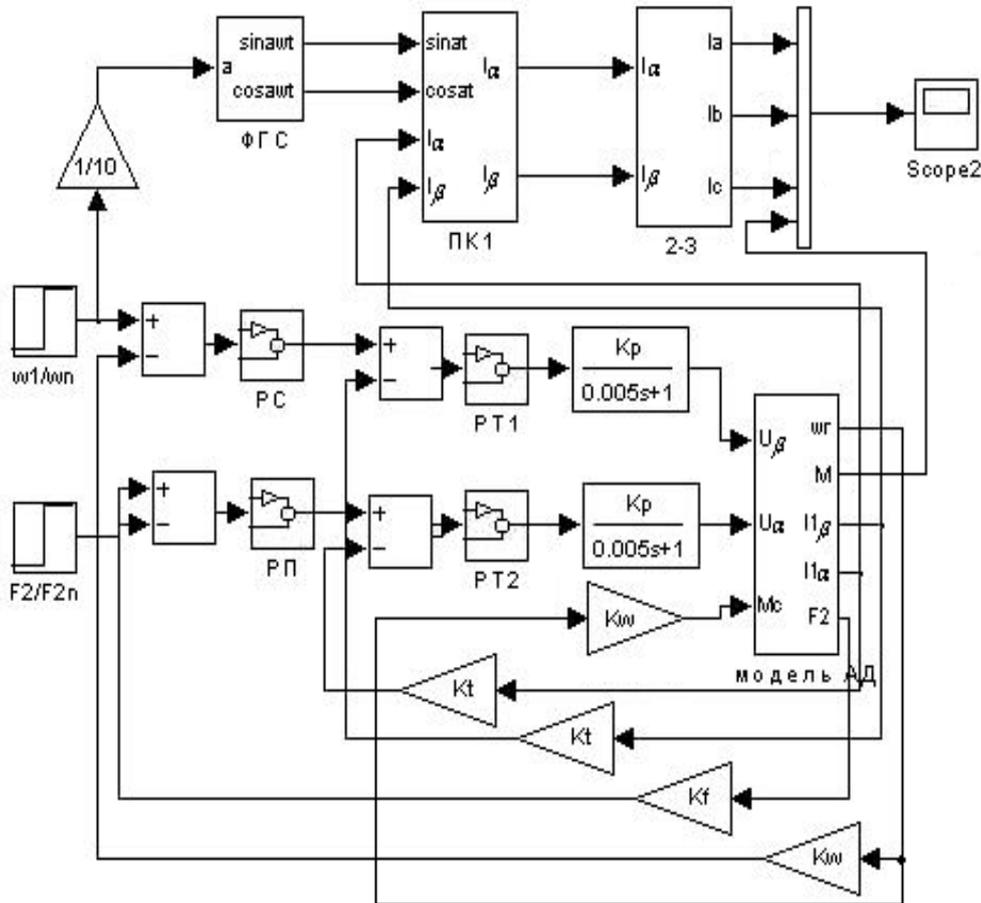


Рис. 1. Имитационная модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода насосной установки

Результаты расчетов и имитационного моделирования системы «частотно-регулируемый асинхронный двигатель – турбомеханизм» представлены на рис. 2-5.

На основании анализа рис. 3-5 асинхронного частотно-регулируемого электропривода турбомеханизма установлено следующее:

1. Максимумы моментов и токов имеют место на начальном участке частотного пуска. Электромагнитный момент двигателя достигает максимального значения, в 1.5 – 3 раза превышающего номинальный момент. Величина этого момента оказывает значительное влияние на надежность работы асинхронного электропривода, являясь причиной ударов в механическом оборудовании.

2. Из анализа ЛАФЧХ видно, что разность между числом положительных и отрицательных переходов равна нулю, т.е. разработанная система является устойчивой.

3. Частотно-регулируемый электропривод турбомеханизмов горнорудной промышленности позволит обеспечить работу системы «электропривод - турбомеханизм» в экономичном режиме.

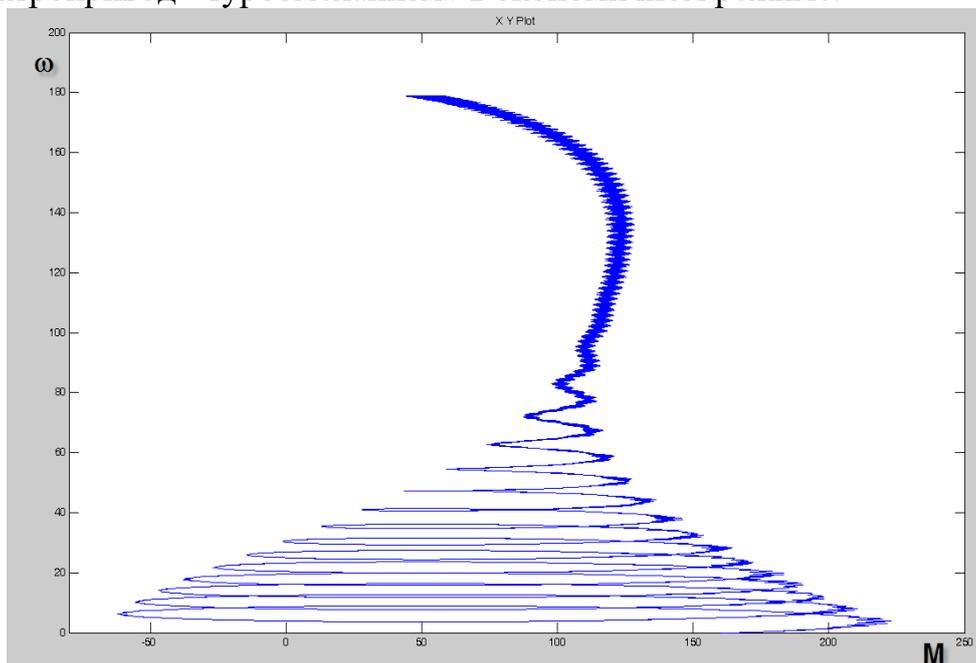


Рис. 2. Динамическая механическая характеристика

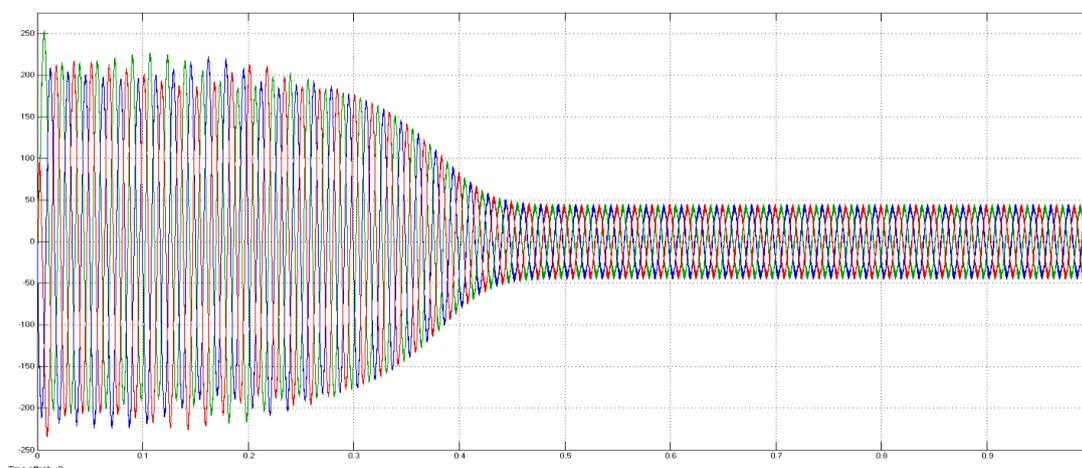


Рис. 3. Изменение токов статора i_{1_abc} при динамическом и статическом режиме частотно-регулируемого турбомеханизма

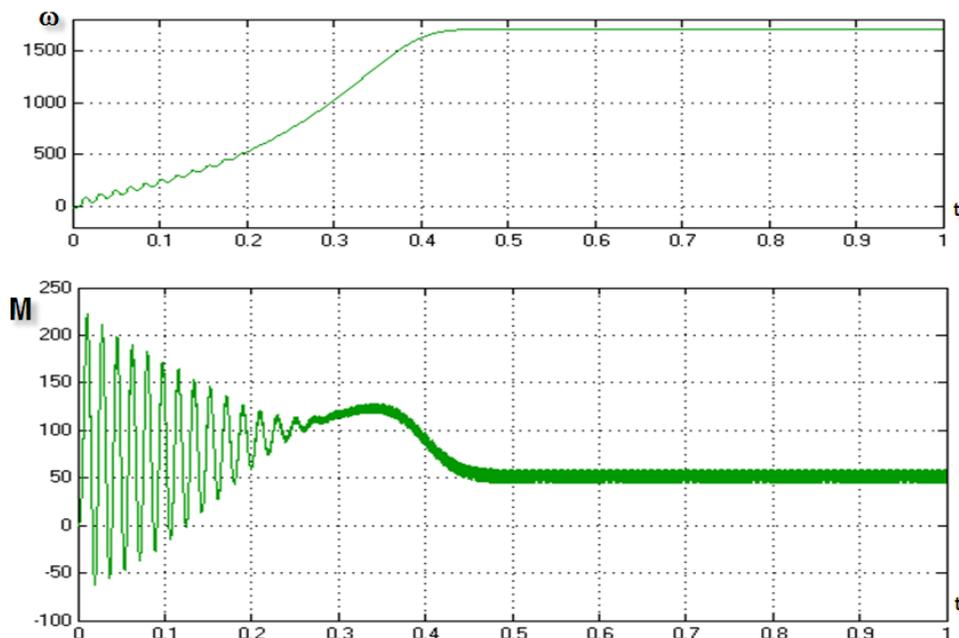


Рис. 4. Электромагнитный момент M и частота вращения ω в функции при динамическом и статическом режиме частотно-регулируемого турбомеханизма

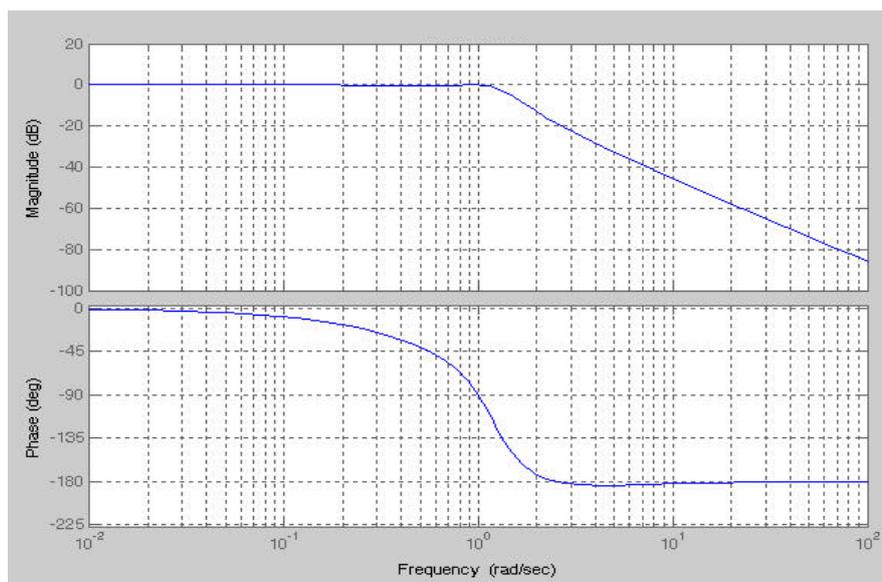


Рис. 5. Логарифмическая амплитудно-фазовая частотная характеристика

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Камалов Т.С. Регулируемый электропривод оросительных насосных станций. Ташкент: Фан, 1987. – 80 с.
2. Ковач К.П., Рац И. Переходные процессы в машинах переменного тока. М.;-Л.: Госэнергоиздат, 1963. - 744 стр.
3. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. М.: Высшая школа, 2001. - 327с.

УДК 681.03

Ф.Б. АБУТАЛИЕВ, Э.Ш. НАЗИРОВА

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ ЗАДАЧ ФИЛЬТРАЦИИ МНОГОФАЗНЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ

Ф.Б. Абуталиев, Э.Ш.Назирова

**Говак мухитларда кўп фазали суюқликларнинг филтрланиш масаласини ечишнинг
хисоблаш ишларини автоматлаштириш**

Мақола кўп фазали суюқликларнинг ностационарли филтрланиш жараёнини тадқиқот қилишнинг ҳисоблаш тажрибаларини ўтказиш учун комплекс дастурий таъминотини яратишга бағишланган. Қаралаётган дастурий восита масалани ечиш жараёнини автоматлаштиради ва тажриба ўтказувчи билан ЭҲМ ўртасида мулоқот режимини таъминлайди.

F.B. Abutaliev, E.Sh. Nazirova

Automation of computing calculations of problems of a filtration of multiphase liquids in the porous environment

Work is devoted to development a complex of software for carrying out of computing experiments on research of non-stationary processes of a filtration of multiphase liquids in the porous environment. We assume the program tool, automates process the decision of problems of a filtration and provides interaction of the experimenter from the COMPUTER in a dialogue mode.

Одним из эффективных средств автоматизации процесса решения краевых задач многофазной фильтрации в пористой среде, позволяющих ускорить проектирование, анализ и прогнозирование разработки нефтегазовых месторождений, является построение автоматизированных систем прикладных программ, ориентированных на решение различных классов задач [1].

Рассматриваемая система служит интерактивным средством анализа данных на ПЭВМ, обеспечивающим взаимодействие проектировщика-специалиста с ПЭВМ в процессе принятия окончательных или промежуточных решений. Система прогнозирования разработки нефтегазовых месторождений (ПРНГМ) включает в себя подсистему информационного обеспечения, подсистему технологических расчетов, подсистему обеспечения сервиса пользователю. Организация вычислительного процесса в системе основывается на модульности программ, простоте пользования, эффективности и диалоговом режиме обработки данных.

Математическая модель задачи в случае двумерной трехфазной нестационарной фильтрации в пористой среде описывается следующей системой дифференциальных уравнений параболического типа в частных производных [2]:

$$\left\{ \begin{aligned}
 & \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda_w \left(\frac{\partial P_w}{\partial x} - \gamma_w \frac{\partial z}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda_w \left(\frac{\partial P_w}{\partial y} - \gamma_w \frac{\partial z}{\partial y} \right) \right] = \frac{\partial}{\partial t} (m \rho_w S_w) + q_w \\
 & \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda_o \left(\frac{\partial P_o}{\partial x} - \gamma_o \frac{\partial z}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda_o \left(\frac{\partial P_o}{\partial y} - \gamma_o \frac{\partial z}{\partial y} \right) \right] = \frac{\partial}{\partial t} [m \rho_o (1 - S_w - S_g)] + q_o \\
 & \frac{\partial}{\partial x} \left[R_s \lambda_o \left(\frac{\partial P_o}{\partial x} - \gamma_o \frac{\partial z}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[R_s \lambda_o \left(\frac{\partial P_o}{\partial y} - \gamma_o \frac{\partial z}{\partial y} \right) \right] + \\
 & + \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda_g \left(\frac{\partial P_g}{\partial x} - \gamma_g \frac{\partial z}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda_g \left(\frac{\partial P_g}{\partial y} - \gamma_g \frac{\partial z}{\partial y} \right) \right] = \\
 & = \frac{\partial}{\partial t} [m R_s \rho_o (1 - S_w - S_g) + m \rho_g S_g] + R_s q_o + q_g \\
 & P_{cow} = P_o - P_w = f_1(S_w, S_g) \\
 & P_{cog} = P_g - P_o = f_2(S_w, S_g) \\
 & S_o + S_g + S_w = 1
 \end{aligned} \right. \quad (1)$$

с начальными и граничными условиями:

$$\left\{ \begin{aligned}
 & P_o(x, y, 0) = P_o^H(x, y), \quad P_g(x, y, 0) = P_g^H(x, y), \quad P_w(x, y, 0) = P_w^H(x, y), \\
 & S_o(x, y, 0) = S_o^H(x, y), \quad S_g(x, y, 0) = S_g^H(x, y), \quad S_w(x, y, 0) = S_w^H(x, y).
 \end{aligned} \right. \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned}
 & \frac{\partial P_o}{\partial n} \Big|_{\Gamma} = 0; \quad \frac{\partial P_g}{\partial n} \Big|_{\Gamma} = 0; \quad \frac{\partial P_w}{\partial n} \Big|_{\Gamma} = 0.
 \end{aligned} \right. \quad (3)$$

Здесь $\lambda_l = \frac{K_l}{\mu_l} K \rho_l$ ($l=0, g, w$) – проводимость l -й фазы;

K_l – относительная проницаемость для l – фазы; K – абсолютная проницаемость; m – пористость пласта; μ_l – вязкость для l – фазы; ρ_l – плотность l – фазы; P_n – характерное значение давления; q_l – объем l – фазы, отбираемый при стандартных условиях в единицу времени из единичного объема пласта; S_n – характерное значение насыщенности; γ_l – удельный вес для l – фазы.

Капиллярные давления между нефтью и газом P_{cog} , нефтью и водой P_{cow} определяются по опытным данным как функция насыщенности воды и газа, т.е. $P_{cog} = P_{cog}(S_w, S_g)$, $P_{cow} = P_{cow}(S_w, S_g)$.

В задаче нефть и вода несжимаемы, т.е. $\rho_o = const$, $\rho_w = const$, а газ сжимаем. Его плотность определяется уравнением состояния, т.е. $\rho_g = P_g / (RTZ)$.

Для получения численной модели применяется метод продольно-поперечных направлений. Перед реализацией численных моделей фильтрационных процессов, происходящих в нефтегазовых пластах, необходимо, прежде всего, разработать их информационные модели, содержащие в себе целый комплекс информационных данных.

Для обеспечения исходными данными и управления вычислительным процессом создается информационный массив $I = \{\text{inf}_{ij}\}$ ($i = \overline{1, N}$; $j = \overline{1, M}$). В общем случае каждому узлу сетки Ω_{h,h_2} ставится в соответствие один элемент этого массива в виде l -значной символьной константы $\text{inf}_{ij} = "r_1 r_2 \dots r_l"$:

$$r_1 = \left\{ \begin{array}{l} 0, \text{ если } (x_i, y_j) \notin G + \Gamma; \\ 1, \text{ если } (x_i, y_j) \in G; \\ 2, \text{ если } (x_i, y_j) \in \Gamma_2 \text{ (граница 2-рода);} \\ 3 \\ 4 \\ \vdots \\ 9 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \\ \text{если } (x_i, y_j) \in \Gamma_1 \text{ (граница 1-рода),} \\ \text{номера групп значений граничных давлений} \end{array}.$$

Здесь разряд r_1 содержит в себе информацию о границе и конфигурации области фильтрации, а r_2 - информацию о скважинах и их дебитах:

$$r_2 = \left\{ \begin{array}{l} 0, \text{ если } (x_i, y_j) \notin S_k \\ 1 \\ 2 \\ \vdots \\ 9 \end{array} \right\} \text{если } (x_i, y_j) \in S_k \text{ и номера групп значений дебитов скважин.}$$

Здесь S_k - контур скважины k .

Другие разряды элементов информационного массива имеют следующий смысл:

- r_3 - информация о проницаемости пласта, принимающая значение от 0 до 9, т.е. номера групп значений проницаемости;
- r_4 - информация о пористости пласта, принимающая значение от 0 до 9, т.е. номера групп значений проницаемости;
- r_i ($i = 5, 8$) - информация о начальных сгруппированных значениях полей давления и насыщенности нефти и газа.

Система ПРНГМ является инструментом для проведения вычислительных экспериментов по исследованию нестационарных процессов фильтрации многофазных жидкостей в пористой среде. Применение данной системы повышает эффективность разработки нефтегазовых месторождений, а также позволяет ускорить проектирование и прогнозирование разработки месторождений.

Система позволяет вести численный расчет прикладных задач многофазной фильтрации для двумерных областей практически произвольной формы. Для различных краевых задач допускаются различные формы областей фильтрации. При этом формируется информационный массив для описания расчетной области фильтрации с помощью информационной базы данных (ИБД). Кроме того, задаются краевые условия первого или второго или смешанного типа.

В ИБД системы входит информация о предметной области фильтрации, которая содержит следующие данные: геологические и гидродинамические

параметры месторождения; конфигурации области фильтрации; о скважинах и их дебитах; о проницаемости и пористости пласта по всей области фильтрации; начальные значения полей давления и насыщенности фаз.

Все модули системы разделим на три группы, входящие в подсистемы: обеспечение сервиса пользователю (ПОС), информационное обеспечение (ППО), технологические расчеты (ПТР).

Подсистема ПОС. Программные модули ПОС обеспечивают пользователю выбор конкретной задачи, управление формированием исходных данных и выдачу результатов в требуемой форме.

Подсистема ППО. Для функционирования системы ПРНГМ требуются значительные объемы исходных данных. К ним относятся параметры пласта, физические характеристики флюидов, а также задаются местоположения и дебиты добывающих скважин, зависящие от времени. Все исходные значения функции координат точки (i,j) , представленные в виде карт, вводятся в информационную БД.

Для обеспечения исходными данными и управления вычислительным процессом перед последним создается информационный массив $I = \{inf_{ij}\}$ ($i = \overline{1, N}$; $j = \overline{1, M}$) при помощи модуля формирования информационного массива.

Подсистема технологических расчетов осуществляет прогнозные расчеты технологических показателей по выбору пользователя. В подсистему входят различные численные алгоритмы решения задач, которые обеспечивают эффективность работы вычислительного процесса.

Для проведения численных исследований вычислительных свойств алгоритмов и программы рассмотрим нефтегазовую залежь круговой формы. Нефтяной пласт, содержащий 30% -ный раствор этого газа, разрабатывается единичной центральной скважиной с постоянным дебитом. Функции растворимости газа в нефти и капиллярное давление имеют вид

$$R_s = 11,3 + 0,75p_o; \quad P_{cog} = 110667; \quad S_g = 2.30772.$$

Исходные параметры пласта следующие: число узлов сетки по абсциссе $n=21$; число узлов сетки по ординате $m=21$; количество скважин (шт) $N_q=1$; шаг по времени (сут) $\tau=4$; конечное время вычисления (сут) $T_{кон}=1080$; протяженность пласта (м) $L_x=10000$; ширина пласта $L_y=10000$; мощность пласта (метр) $H=20$; пористость пласта $m=0.1$; абсолютная проницаемость (Дарси) $K=0.2$; характерное значение давления (атм.) $P^H=300$; вязкость нефти (спз) $\mu_o=3$; вязкость газа (спз) $\mu_g=0.01$; коэффициент сверхсжимаемости жидкости $K_z=1$; плотность нефти (кг/м³) $\rho_o=0.87$; плотность газа (кг/м³) $\rho_g=0.8$; удельный вес нефти (кг) $\gamma_o=0.8$; удельный вес газа (кг) $\gamma_g=0.7$; суммарный дебит скважины $q=500000$ м³/сут; точность итерации по давлению $\varepsilon_p=0.0001$; точность итерации по насыщенности $\varepsilon_s=0.0001$.

Информационный массив, используемый для распознавания формы залежи, на ПЭВМ представляется в следующем виде:

$$\inf_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если } (x_i, y_j) \notin G; \\ 1, & \text{если } (x_i, y_j) \in \Gamma_1; \\ 2, & \text{если } (x_i, y_j) \in \Gamma_2; \\ 3, & \text{если } (x_i, y_j) \in \Gamma_3; \\ 4, & \text{если } (x_i, y_j) \in G \cap (x_i, y_j) \notin S_k; \\ 5, & \text{если } (x_i, y_j) \in G \cap (x_i, y_j) \in S_k. \end{cases} \quad (4)$$

Здесь коды узлов сетки означают: 0 – фиктивный узел сетки; 1,2,3 – граничные узлы; 4 – внутренний узел сетки; 5 – скважины.

Рассматриваемые краевые задачи нелинейные, а полученные результаты – приближенные. Фактически нечем обосновать пригодность полученных результатов, кроме качественных оценок погрешности аппроксимации дифференциальной задачи с конечно-разностной. В таких случаях используют уравнение материального баланса, хотя оно само является среднеинтегральным решением поставленной задачи и обладает определенной погрешностью.

В табл.1 приведены изменения во времени среднего пластового давления, вычисленные по решениям конечно-разностных уравнений и материального баланса. Для наглядности приведены также относительные погрешности этих двух величин. Установлено, что за 720 суток относительные погрешности этих величин не превосходят 1%. Это показывает на их близость, при этом погрешность увеличивается во времени.

Таблица 1

Сравнение средних пластовых давлений по двум методам

Сутки	Давление газа на скважине, атм	Среднее пластовое давление, атм		Относительная погрешность, %
		по ПЭВМ	по мат.балансу	
40	284.82	299.64	299.76	0.0380
120	281.79	298.92	299.28	0.1230
240	279.66	297.75	298.56	0.2776
480	276.33	295.32	297.12	0.6060
720	273.03	292.92	295.68	0.9387

Один из способов анализа практической сходимости решения конечно-разностной задачи к дифференциальной – измельчение шага временной сетки. Если при последовательном уменьшении временного шага результаты в одинаковых точках пространственной сетки не отличаются резко, то можно априори утверждать, что сходимость есть. С этой целью проведены расчеты при различных значениях шага по временной сетке τ . Представленные в табл.2 результаты подтверждают сходимость по времени.

Для анализа сходимости итерационного процесса решения нелинейных алгебраических уравнений сопоставлены результаты, полученные при ε , равном 0.001, 0.0001 и 0.00001. Результаты показали, что с повышением точности итерации значение давления резко не меняется. Со снижением значения $\varepsilon > 0$ изменяется значение давления во всех точках области фильтрации, т.е. при малых точностях результаты будут повышенными. Однако они небольшие, чтобы можно было с достаточной точностью брать в расчетах $\varepsilon = 0.001$.

Таблица 2

Изменение среднего пластового давления и давления в скважине по времени при различных временных шагах

Сутки	$\tau = 2$		$\tau = 4$		$\tau = 8$	
	$P_{скв}$	$P_{ср}$	$P_{скв}$	$P_{ср}$	$P_{скв}$	$P_{ср}$
80	0.9428	0.9976	0.9427	0.9976	0.9427	0.9976
160	0.9365	0.9951	0.9360	0.9949	0.9359	0.9949
240	0.9322	0.9925	0.9315	0.9922	0.9314	0.9921
320	0.9284	0.9899	0.9275	0.9894	0.9274	0.9893
400	0.9247	0.9871	0.9237	0.9866	0.9236	0.9865
480	0.9211	0.9844	0.9199	0.9838	0.9197	0.9837
560	0.9174	0.9818	0.9161	0.9811	0.9159	0.9809
640	0.9138	0.9791	0.9123	0.9783	0.9120	0.9781
720	0.9101	0.9764	0.9085	0.9755	0.9082	0.9752

Рассмотрим задачу, когда нефтегазовой пласт неоднородный. Информационный массив области фильтрации приведен в табл.3. Как установлено, элементы информационного массива $I = \{\inf_{ij}\}$ представляются в виде двухзначной константы, т.е. $\inf_{ij} = "r_1 r_2"$.

Таблица 3

Информационный массив области фильтрации

0	0	0	0	0	0	0	22	21	21	21	21	21	22	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	22	22	42	41	41	41	41	41	42	22	22	0	0	0	0	0
0	0	0	0	22	42	42	42	41	41	41	41	41	42	42	42	22	0	0	0	0
0	0	0	23	42	42	42	42	41	41	41	41	41	42	42	42	42	23	0	0	0
0	0	23	43	42	42	42	42	41	41	41	41	41	42	42	42	42	43	23	0	0
0	23	43	43	42	42	42	42	41	41	41	41	41	42	42	42	42	43	43	23	0
0	23	43	43	42	42	42	42	41	41	41	41	41	42	42	42	42	43	43	23	0
23	43	43	43	42	42	42	42	41	41	41	41	41	42	42	42	42	43	43	43	23
23	43	43	43	42	42	42	42	41	41	41	41	41	42	42	42	42	43	43	43	23
23	43	43	43	42	42	42	42	41	41	41	41	41	42	42	42	42	43	43	43	23
23	43	43	43	42	42	42	42	41	41	41	41	41	42	42	42	42	43	43	43	23
23	43	43	43	42	42	42	42	41	41	41	41	41	42	42	42	42	43	43	43	23
23	43	43	43	42	42	42	42	41	41	41	41	41	42	42	42	42	43	43	43	23
0	23	43	43	42	42	42	42	41	41	41	41	41	42	42	42	42	43	43	23	0
0	23	43	43	42	42	42	42	41	41	41	41	41	42	42	42	42	43	43	23	0
0	0	23	43	42	42	42	42	41	41	41	41	41	42	42	42	42	43	23	0	0
0	0	0	23	42	42	42	42	41	41	41	41	41	42	42	42	42	23	0	0	0
0	0	0	0	22	42	42	42	41	41	41	41	41	42	42	42	22	0	0	0	0
0	0	0	0	0	22	22	42	41	41	41	41	41	42	22	22	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	22	21	21	21	21	21	22	0	0	0	0	0	0	0

Здесь элементы разряда r_1 определяются по формуле (4), а разряд r_2 содержит информацию о зонах пласта:

$$r_2 = \begin{cases} 1, & \text{если } (x_i, y_j) \in G_1; \\ 2, & \text{если } (x_i, y_j) \in G_2; \\ 3, & \text{если } (x_i, y_j) \in G_3. \end{cases}$$

где значения пористости и значения абсолютной проницаемости по зонам имеют вид

$$G_1: (m=0.2, k=0.5); G_2: (m=0.002, k=0.005); G_3: (m=0.1; k=0.4).$$

На основе изложенных тестовых задач проведены вычислительные эксперименты. Результаты вычислительных экспериментов приведены в виде графиков, представленных на рис.1, 2, где показано распределение полей давления при сечениях $y=0.5$ (по изменению переменной x) и $x=0.5$ (по изменению переменной y при различных значениях времени). На рис.1 ломаная кривая 1 – график изменения давления в горизонтальном направлении, когда область фильтрации кусочно-неоднородная по оси x . Непрерывная кривая 2 – график изменения давления в вертикальном направлении, когда по вертикали область фильтрации однородна. Эти графики дают ожидаемую качественную картину, учитывающую неоднородность области фильтрации.

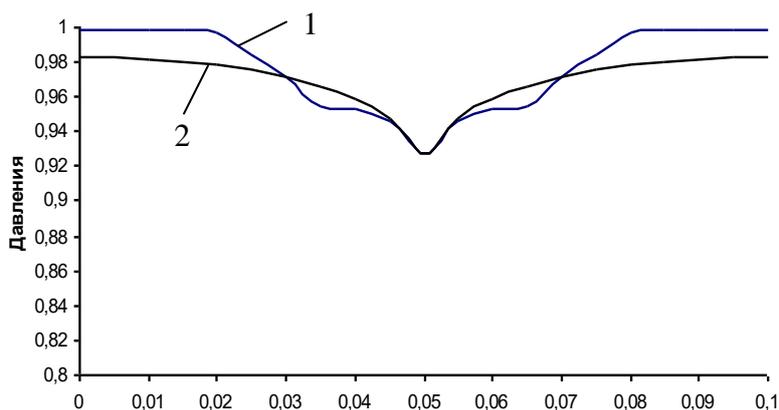


Рис. 1. Профили распределения давления газа за 720 суток разработки при сечении: 1 – $\gamma=0.5$; 2- $x=0.5$

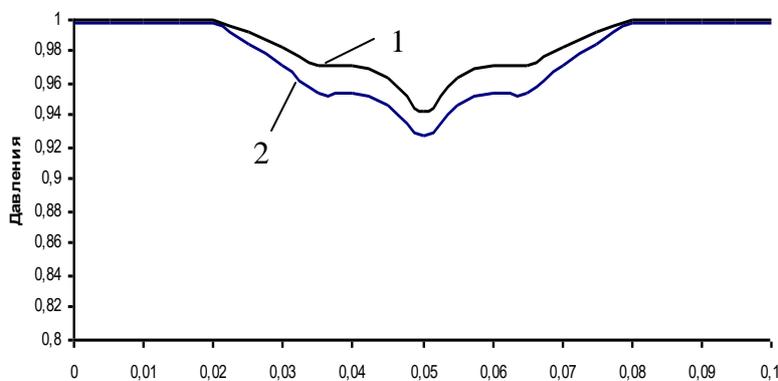


Рис. 2. Профили распределения давления газа при различных временах разработки при сечении $\gamma=0.5$: 1 – через 360 суток, 2 –через 720 суток

На рис.2 представлены графики изменения в горизонтальном направлении при $y = 0.5$ при различном времени разработки, которые показывают, что действительно в плохо проницаемой зоне фильтрации течения почти не происходит.

Приведенные расчеты постановки изложенных выше задач дали ожидаемую картину распределения этих полей давления по времени, что дает основание говорить об адекватности математической модели описания нестационарных фильтрационных процессов, происходящих при разработке нефтегазовых месторождений системой скважин.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ляшко И.И., Сергиенко И.В. и др. Вопросы автоматизации решения задач фильтрации на ЭВМ. Киев: Наукова думка, 1977. - 284с.
2. Азиз Х., Саттари Э. Математическое моделирование пластовых систем. М.: Недра, 1982.

Ташкентский университет
информационных технологий

Дата поступления
22.10.2009

УДК 681.324(03)

Ш.Х. САИДАХМЕДОВ

СЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ ПЕТРИ ПРОТОКОЛА SNMP (SIMPLE NETWORK MANAGEMENT PROTOCOL – ПРОТОКОЛ АДАПТИВНОЙ КОММУТАЦИИ)

Ш.Х. Саидахмедов

SNMP (адаптив коммутация) баённомасининг Петри тўрларидаги андозалари

Адаптив коммутация баённомасининг математика тасвири масалалари Петри тўрлари (ПТ) ва унинг кенгайтирилган элементлари асосида қўрилган. Баённоманинг андозалари унинг ишлаш алгоритми ва ПТ элементлари асосида олти математика қўринишда келтирилган.

Sh.Kh. Saidakhmedov

Network models Petri protocol SNMP (Simple Network Management Protocol)

Methods of formal specification of protocol Simple Network Management with the determination of join are considered on the base of elements of networks Petri (NP) and their expansions. Protocol models underare guided to poles forms of the mathematical presentation in accordance with the block diagram of algorithm of operation of protocol SNMP and NP elements.

Сущность метода адаптивной коммутации состоит в замене при изменении состояния узла коммутации алгоритма коммутации, автоматической корректировке значений параметров ограничений, а также прогнозе состояния

узла коммутации с целью обеспечения эффективной работы алгоритма коммутации и маршрутизации.

Обобщенная схема функционирования алгоритма изменения режима коммутации приведена на рис. 1 [1], помеченной как сети Петри [2]. Наша цель - расширение описания алгоритма согласно [3].

Согласно рис.1, некоторым состояниям алгоритма p_i в модели Петри соответствуют функции алгоритма t_j , которые запускаются при переходе в данное состояние и останавливаются при выходе из него. Эти функции алгоритма необходимы для разработки программного обеспечения системы управления сетевого уровня OSI BRM.

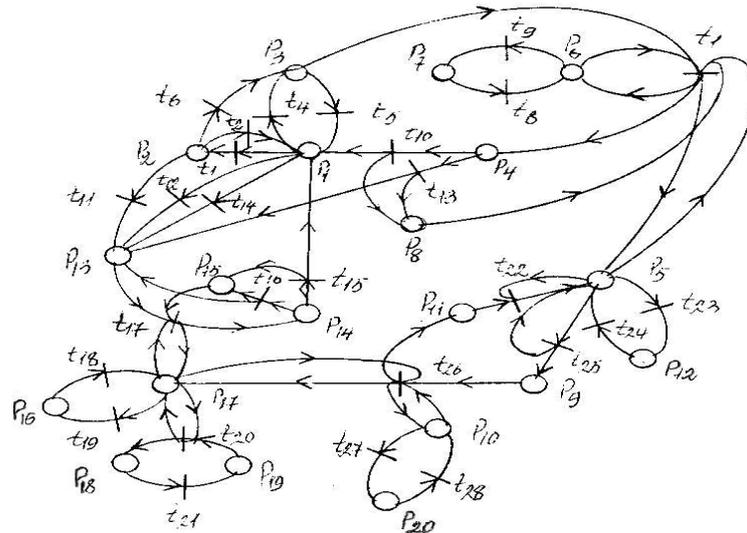


Рис.1. Графовая модель Петри протокола адаптивной коммутации

Матричная модель протокола (функция предшествования V , функция следования F) имеет соответственно вид (табл.1, 2).

Подстановочная модель протокола, эквивалентная графовой и матричной моделям этого же протокола, имеет следующий вид:

- $Q_1: \{(x_1 \geq 1, p_1)\} \rightarrow \{(x_1 - 1, p_1)\} \cup \{(y_2 + 1, p_2)\};$
- $Q_2: \{(x_2 \geq 1, p_2)\} \rightarrow \{(x_2 - 1, p_2)\} \cup \{(y_1 + 1, p_1)\};$
- $Q_4: \{(x_1 \geq 1, p_1)\} \rightarrow \{(x_1 - 1, p_1)\} \cup \{(y_3 + 1, p_3)\};$
- $Q_5: \{(x_3 \geq 1, p_3)\} \rightarrow \{(x_3 - 1, p_3)\} \cup \{(y_1 + 1, p_1)\};$
- $Q_6: \{(x_2 \geq 1, p_2)\} \rightarrow \{(x_2 - 1, p_2)\} \cup \{(y_3 + 1, p_3)\};$
- $Q_7: \{(x_3 \geq 1, p_3)(x_6 \geq 1, p_6)(x_5 \geq 1, p_5)(x_8 \geq 1, p_8)\} \rightarrow \{(x_3 - 1, p_3)(x_6 - 1, p_6)(x_5 - 1, p_5)(x_8 - 1, p_8)\} \cup \{(y_4 + 1, p_4)(y_5 + 1, p_5)(y_6 + 1, p_6)\};$
- $Q_8: \{(x_7 \geq 1, p_7)\} \rightarrow \{(x_7 - 1, p_7)\} \cup \{(y_6 + 1, p_6)\};$
- $Q_9: \{(x_6 \geq 1, p_6)\} \rightarrow \{(x_6 - 1, p_6)\} \cup \{(y_7 + 1, p_7)\};$
- $Q_{10}: \{(x_4 \geq 1, p_4)\} \rightarrow \{(x_4 - 1, p_4)\} \cup \{(y_1 + 1, p_1)(y_8 + 1, p_8)\};$
-
-
-
- $Q_{26}: \{(x_9 \geq 1, p_9)(x_{10} \geq 1, p_{10})(x_{17} \geq 1, p_{17})\} \rightarrow \{(x_9 - 1, p_9)(x_{10} - 1, p_{10})(x_{17} - 1, p_{17})\} \cup \{(y_{10} + 1, p_{10})(y_{11} + 1, p_{11})(y_{17} + 1, p_{17})\};$
- $Q_{27}: \{(x_{10} \geq 1, p_{10})\} \rightarrow \{(x_{10} - 1, p_{10})\} \cup \{(y_{20} + 1, p_{20})\};$
- $Q_{28}: \{(x_{20} \geq 1, p_{20})\} \rightarrow \{(x_{20} - 1, p_{20})\} \cup \{(y_{10} + 1, p_{10})\};$

где Q_i - множество событий; x_i, y_i - число меток во входной и выходной позициях p_i соответственно; $(x_i \geq 1, p_i)$ - наличие не менее одной метки в позиции p_i ; $(x_i -$

I, p_1) – извлечение одной метки из позиции p_1 ; (y_1+I, p_1) - помещение одной метки в позицию p_1 .

Таблица 1

Функция предшествования (B)

	p ₁	p ₂	p ₃	p ₄	p ₅	p ₆	p ₇	p ₈	p ₉	p ₁₀	p ₁₁	p ₁₂	p ₁₃	...	p ₁₈	p ₁₉	p ₂₀
t ₁	1																
t ₂		1															
t ₄	1																
t ₅			1														
t ₆		1															
t ₇			1		1	1		1									
t ₈							1										
t ₉						1											
t ₁₀				1													
t ₁₁		1															
t ₁₂	1								1								
t ₁₃				1				1									
t ₁₄												1					
t ₁₅																	
t ₁₆																	
t ₁₇												1					
t ₁₈																	
t ₁₉																	
t ₂₀																1	
t ₂₁															1		
t ₂₂					1						1						
t ₂₃					1							1					
t ₂₄																	
t ₂₅					1												
t ₂₆										1	1						
t ₂₇											1						
t ₂₈																	1

Примечание: Пустоты в элементах табл. 1 соответствуют нулям.

Аналитическое представление задается в виде формул алгебры СП. Формулами в этой алгебре являются: символические обозначения элементарных СП и результаты применения алгебры СП ее формулам. Сетевые представления формул приведены на рис. 2, где: а) множество элементарных СП для переходов $t_1 - t_{28}$; б) СП - соответствует формулам $A_1 - A_{28}$.

На основе сетевого представления формул $A_1 - A_{28}$ получаем аналитическую модель протокола адаптивной коммутации

$$((((((((((((((((((((((A_1 * A_2) * A_3) * A_4) * A_5) * A_6) * A_7) * A_8) * A_9) * A_{10}) * A_{11}) * A_{12}) * A_{13}) * A_{14}) * A_{15}) * A_{16}) * A_{17}) * A_{18}) * A_{19}) * A_{20}, \dots, A_{28} = A_1 * A_2 * A_4 * A_5, \dots, * A_{20}, \dots, A_{28}, \text{ где } "*" - \text{ операция наложения [4].}$$

Таблица 2

Функция следования (F)

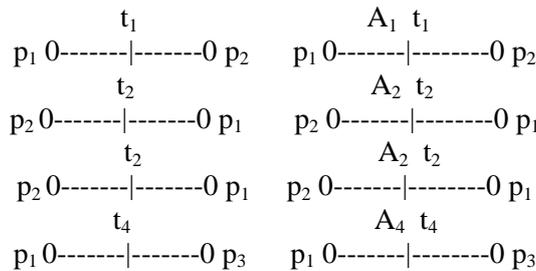
	p ₁	p ₂	p ₃	p ₄	p ₅	p ₆	p ₇	p ₈	p ₉	p ₁₀	p ₁₁	p ₁₂	p ₁₃	...	p ₁₈	p ₁₉	p ₂₀
t ₁		1															
t ₂	1																
t ₄			1														

Продолжение табл.2.

t ₅	1																		
t ₆		1																	
t ₇			1	1	1														
t ₈						1													
t ₉							1												
t ₁₀								1											
t ₁₁										1									
t ₁₂											1								
t ₁₃								1				1							
t ₁₄												1							
t ₁₅																			
t ₁₆						1							1						
t ₁₇														1					
t ₁₈																			
t ₁₉																			
t ₂₀															1				
t ₂₁																	1		
t ₂₂					1						1								
t ₂₃													1						
t ₂₄					1														
t ₂₅					1			1											
t ₂₆									1	1									
t ₂₇																			1
t ₂₈									1										

Примечание: Пустоты в элементах табл. 2 соответствуют нулям

Структурная модель представляется в виде четверки, которая состоит из множества позиций $(P=p_1, p_2, \dots, p_{20})$, множества переходов $T=(t_1, t_2, \dots, t_{28})$, входной $(I: T \rightarrow P^\infty$ - отображение из переходов в комплекты позиций) и выходной $(O: T \rightarrow P^\infty$ - отображение из переходов в комплекты позиций) функций и имеет следующий вид: $I(t_1)=\{p_1\}, I(t_2)=\{p_2\}, I(t_4)=\{p_1\}, I(t_5)=\{p_3\}, I(t_6)=\{p_2\}, I(t_7)=\{p_3, p_5, p_6, p_8\}, I(t_8)=\{p_7\}, I(t_9)=\{p_6\}, I(t_{10})=\{p_4\}, I(t_{11})=\{p_2\}, I(t_{12})=\{p_1\}, I(t_{13})=\{p_4\}, I(t_{14})=\{p_{13}\}, I(t_{15})=\{p_{14}\}, I(t_{16})=\{p_{14}\}, I(t_{17})=\{p_{13}, p_{15}, p_{17}\}, I(t_{18})=\{p_{16}\}, I(t_{19})=\{p_{17}\}, I(t_{20})=\{p_{17}, p_{19}\}, I(t_{21})=\{p_{18}\}, I(t_{22})=\{p_5, p_{11}\}, I(t_{23})=\{p_5\}, I(t_{24})=\{p_{23}\}, I(t_{25})=\{p_5\}, I(t_{26})=\{p_9, p_{10}, p_{17}\}, I(t_{27})=\{p_{10}\}, I(t_{28})=p_{20};$
 $O(t_{10})=\{p_2\}, O(t_2)=\{p_1\}, O(t_4)=\{p_3\}, O(t_5)=\{p_1\}, O(t_6)=\{p_3\}, O(t_7)=\{p_4, p_5, p_6\}, O(t_8)=\{p_6\}, O(t_9)=\{p_7\}, O(t_{10})=\{p_1, p_8\}, O(t_{11})=\{p_{13}\}, O(t_{12})=\{p_{13}\}, O(t_{13})=\{p_8, p_{13}\}, O(t_{14})=\{p_1\}, O(t_{15})=\{p_1, p_{15}\}, O(t_{16})=\{p_{13}, p_{15}\}, O(t_{17})=\{p_{14}, p_{17}\}, O(t_{18})=\{p_{17}\}, O(t_{19})=\{p_{16}\}, O(t_{20})=\{p_{17}, p_{18}\}, O(t_{21})=\{p_{19}\}, O(t_{22})=\{p_5\}, O(t_{23})=\{p_{12}\}, O(t_{24})=\{p_5\}, O(t_{25})=\{p_5, p_9\}, O(t_{26})=\{p_{10}, p_{11}, p_{17}\}, O(t_{27})=\{p_{20}\}, O(t_{28})=\{p_{10}\}.$



Следовательно, модель СП задается уравнениями:

$$1. M^{k+1} = M^k + Q^k,$$

где $Q^k \in \{1, -1, 3, -3, 2, 4, -32, -121, 4094, 4095, 4216, -4095, 8193, 12288, -12288, -131072, 131072, -1024, 2032, -2032, 256, 768, 523776, -523776\}$;

$$2. T = \mu_1 + \mu_2 + \mu_1 + \mu_3 + \mu_2 + \mu_3 \mu_5 \mu_6 \mu_8 + \mu_7 + \mu_6 + \mu_4 + \mu_2 + \mu_1 + \mu_4 + \mu_{13} + \mu_{14} + \mu_{14} + \mu_{13} \mu_{15} \mu_{17} + \mu_{16} + \mu_{17} + \mu_{17} \mu_{19} + \mu_{18} + \mu_5 \mu_{11} + \mu_5 + \mu_{12} + \mu_5 + \mu_9 \mu_{10} \mu_{17} + \mu_{10} + \mu_{20} \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 + \mu_5 + \mu_6 + \mu_7 + \mu_{10} + \mu_{12} + \mu_{13} + \mu_{14} + \mu_{16} + \mu_{17} + \mu_{18} + \mu_{20} + \mu_3 \mu_5 \mu_6 \mu_8 + \mu_{13} \mu_{15} \mu_{17} + \mu_5 \mu_{11} + \mu_9 \mu_{10} \mu_{17}, \text{ где } \mu_i \in \{0, 1\} - \text{ количество маркеров в позиции } p_i.$$

Итак, получены модели протокола адаптивной коммутации в шести формах математического представления с использованием элементов помеченной СП: графовая, матричная, подстановочная, аналитическая, структурная и алгебраическая. Назначение каждой из моделей - в отражении совершенно определенных аспектов моделируемого протокола.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Построение сетей интегрального обслуживания. Л.: Машиностроение, 1990. - 332 с.
2. Технология системного моделирования/ Аврамчук Е.Ф., Вавилов А.А., Емельянов С.А. и др. Под общ. ред. Емельянова С.А. и др. М.: Машиностроение; Берлин: Техник, 1988. - 520 с.
3. Саидахмедов Ш.Х. Требования к моделям протоколов. Модель поведения и структурные модели на основе теории сетей Петри// Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». 1998. №1. С. 6-10.
4. Котов В.Е. Алгебра регулярных сетей Петри// Кибернетика. 1980. №5. С. 10-18.

Институт математики и информационных технологий АН РУз

Дата поступления
20.05.2009

УДК 004.42

Б.Ш.РАДЖАБОВ, Ч.М.ХИДИРОВА

ЎҚУВ ЖАРАЁНИНИ ВИРТУАЛЛАШТИРИШ МАҚСАДИДА ВИРТУАЛ ЎҚУВ ҚЎЛЛАНМАЛАРИ ЯРАТИШНИНГ ДАСТУРИЙ ТАЪМИНОТИ

Б.Ш.Раджабов, Ч.М.Хидирова

Программное обеспечение создания виртуальных учебных пособий в целях виртуализации учебного процесса

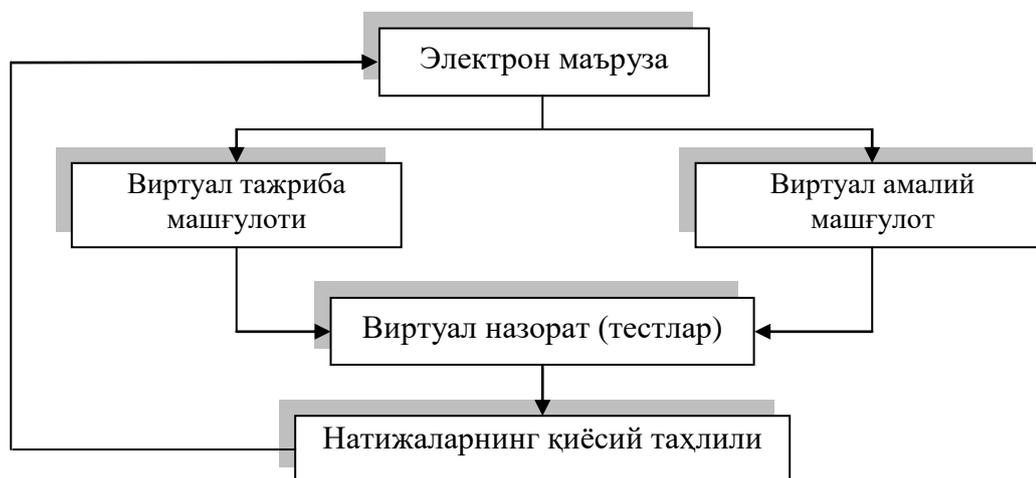
В статье рассматривается задача виртуализации учебного процесса на основе виртуальных учебных пособий в целях улучшения преподавания студентов в вузах для приобретения навыков. Разработаны виртуальные учебные пособия (лекционные, практические, лабораторные занятия, тесты и т.д.) на основе объектного ориентированного программирования (Borland C++, Delphi) и мультимедийных средств.

The software of creation of virtual manuals with a view of virtualization educational process

In article are considered the task a virtualization of educational process on the basis of virtual manuals with a view of improvement of teaching of students in HIGH SCHOOLS for acquisition of skills. Virtual manuals (lecture, practical, laboratory researches, tests etc.) it is developed on the basis of the objective oriented programming (Borland C ++, Delphi) and multimedia resources.

Бугунги кунга келиб таълим тизимида, жумладан, олий таълим тизимида ҳам замонавий ахборот технология имкониятларидан фойдаланиш жадал тус олмоқда. Шу қаторда олий таълим тизимида талабаларга билим бериш самарадорлигини ошириш мақсадида ўқув жараёнини виртуаллаштириш масаласи муҳим аҳамият касб этади.

Биз кўриб чиқаётган масалада ўқув жараёнини виртуаллаштириш, деганда виртуал ўқув қўлланмалари асосида олиб бориладиган ўқув жараёни кўзда тутилган. Виртуал ўқув қўлланмалари таълим самарадорлигини ошириш мақсадида, мультимедия воситалари (анимация, овоз, тасвир), график, схема, жадвал ва ҳоказолардан фойдаланган ҳолда ишлаб чиқилган.



1-расм . Виртуал ўқув жараёни структураси.

Юқоридаги структура асосида яратилган виртуал ўқув жараёнининг дастурий таъминоти дастурлаш тиллари (Borland C++, Delphi), маълумотлар базаси ҳамда Web технологиялардан фойдаланган ҳолда ишлаб чиқилган. Бизнинг мисолимизда ахборот технологиялари йўналишлари учун “Объектга йўналтирилган дастурлаш тиллари” фани бўйича виртуал ўқув қўлланмалари яратилган.



2 - расм. Дастурнинг сарлавҳа банди ва асосий меню қатори (top frame.)

Реал ўқув жараёнидан фарқли ўлароқ, виртуал таълимнинг афзаллиги шундан иборатки, бунда талаба ўқув жараёнида тасаввур қилиш, фикр юритиш, тинглаш, ёзиб олишдан ташқари ҳар бир изоҳланаётган жараён, воқеа ва

ходисалар, қўз билан кўриш мумкин бўлмаган, тасаввур қилиш қийин бўлган ходиса ва жараёнларни виртуаллаштирилган компьютер моделида кузатиб туради. Ҳар бир схема, график, жадвал ва мураккаб сўзлар электрон ҳолатда аниқ кўрсатиб берилади. Талабалар олган билимни виртуал назорат орқали текшириш натижасида вақт тежалди. Бундан ташқари дарсни ўзлаштира олмаган ёки билимини янада мустаҳкамлаш мақсадида талабада мустақил равишда виртуал ўқув қўлланмаларидан фойдаланиш имконияти мавжуд.

Виртуал ўқув жараёни, ўз навбатида, электрон маъруза, шу маъруза асосида тузилган виртуал амалий ва тажриба машғулотлари ҳамда олинган билимни текшириш мақсадида виртуал назорат блокларидан иборат бўлиб, бу жараёнлар бир-бирига боғлиқ ҳолда ишлайди.

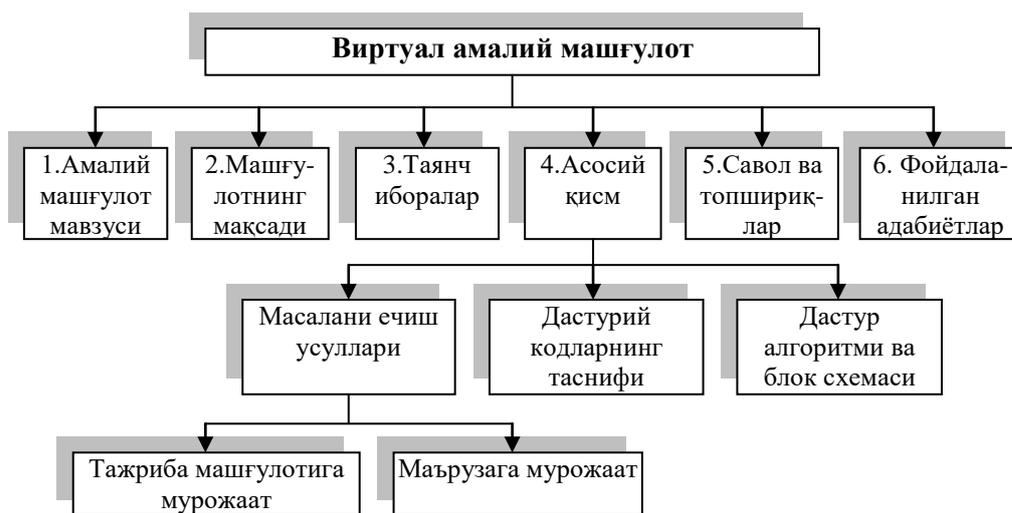
Виртуал ўқув қўлланмалари педагогик дастурий воситалар асосида яратилган бўлиб, давлат таълим стандартларига мос келади.

Электрон маърузада дарс жараёни, асосан анимациялар, тасвирлар, графиклар, жадваллар ва схемалар ёрдамида тушунтириб берилган ҳамда амалий ва тажриба машғулотларига бевосита мурожаат қилиш мумкин. Виртуал маъруза жараёнининг тузилиши қуйидаги схемада ўз аксини топган.



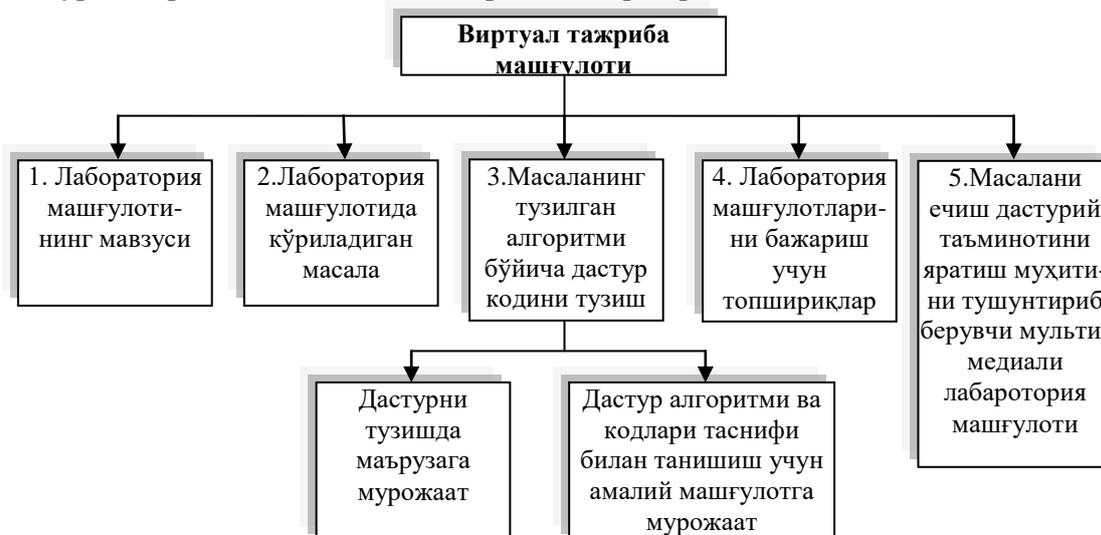
3 - расм. Виртуал маъруза жараёни структураси.

Ушбу маърузага асосан виртуал амалий ва тажриба машғулотлари тузилган бўлиб, амалий машғулотида, асосан, дастур кодларининг таснифи ва дастур ечимининг алгоритмик блок схемалари келтирилган. Амалий машғулотларда ҳам, ўз навбатида, маъруза ва тажриба машғулотига мурожаат қилиш мумкин. Виртуал амалий машғулотининг тузилиши қуйидаги схемада ўз аксини топган.

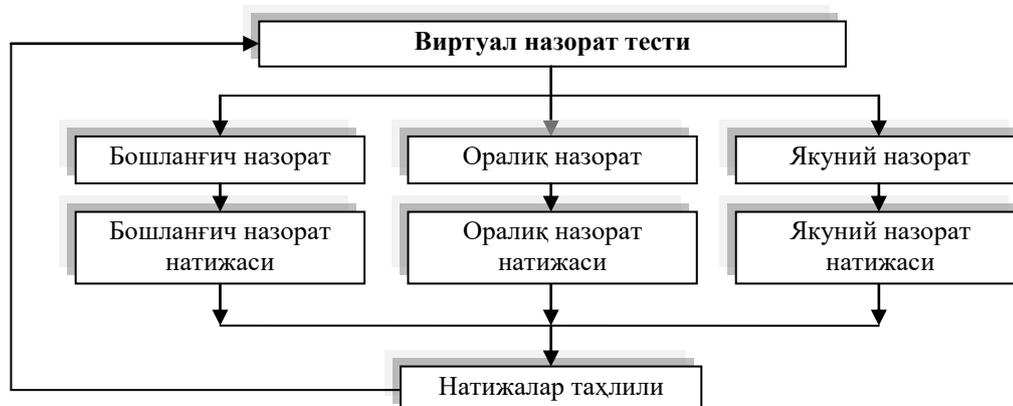


4 - расм. Виртуал амалий машғулотнинг структураси

Виртуал ўқув жараёнининг яна бир асосий қисми бўлган виртуал тажриба машғулотларини яратишда алоҳида меҳнат талаб этилиб, бунда асосан мультимедиа воситалари асосида анимацион ва овозли ўқув қўлланмалар яратилади. Виртуал тажриба машғулотида ечиладиган масала ёки тузиладиган дастур бажарилишининг компьютер моделлари яратилган.



5 - расм. Виртуал лаборатория машғулотининг структураси.



6 - расм. Виртуал ўқув жараёнида талабалар билимини назорат қилиш дастури структураси

Ўқув жараёнининг виртуал назорат блоки махсус дастурлар асосида яратилган тестлардан иборат бўлиб, тест якунида талабалар олган билими таҳлил қилинади.



7 - расм. Виртуал ўқув жараёнида виртуал назорат дастурининг экран формаси

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. Смирнова И.Е. Начало Web-дизайна. Спб.: БХВ - Петербург, 2005. -238с.
2. Арипов М.М., Муҳаммадиев Ж.У. Информатика// Информацион технологиялар. Тошкент, 2006. - 217 б.
3. Роберт И. Современные информационные технологии в образовании: дидактические проблемы; перспективы использования. М.: Школа-Пресс, 1994. -205с.
4. Селевко Г.К. Современные образовательные технологии. М.: Народное образование, 1998. -255 с.

Тошкент ахборот технологиялари
университети Қарши филиали

09.09.2009 й.
қабул қилинган

УДК 519.95

Ш.Ф. МАДРАХИМОВ, А.Х. ХУРРАМОВ

УМУМЛАШГАН КЎРСАТКИЧЛАР ТЕГИШЛИЛИК ФУНКЦИЯСИ ҚИЙМАТЛАРИ СИФАТИДА

Ш.Ф. Мадрахимов, А. Х. Хуррамов

Обобщенные показатели как значения функций принадлежности

Рассматривается задача вычисления агрегированных, обобщённых показателей в разнотипном признаковом пространстве. При решении используется метод построения интервалов доминирования значений количественных показателей по таблицам «объект-свойство».

Generalised parameters as a values membership functions

The problem of calculation of aggregated, generalized parameters in polytypic attribute space is considered. At the decision the method of construction the intervals domination values of quantitative parameters on the tables «object-property» is used.

Мақолада объектларни синфларга ажратиш ва прогноз масалаларини ечишдаги ошкор ўлчам бирлигига эга бўлмаган жамловчи, умумлашган кўрсаткичларни ҳисоблаш масаласи қаралади. Бундай кўрсаткичга қуйидагиларни мисол келтириш мумкин: бемор касаллигининг оғирлик даражаси, кредит беришдаги банк мижозининг қарзни тўлашга қодирлиги, ҳудуднинг экологик ҳолатининг баҳоси ва ҳоказо. Умумлашган кўрсаткичлар турли тоифадаги (сифат ва микдорий ўлчамлардаги) аломатлар фазосида ҳисобланади. Ҳисоблаш жараёнида берилган базасини интеллектуал таҳлил қилиш усулларидадан фойдаланилади.

Умумлашган кўрсаткичлар (баҳоларни) олиш масаласини ечишнинг ўзига хос хусусияти шундаки, мақсад функцияси (оқибатни) қийматини боғлиқ кўрсаткичлар (сабаблар) қийматлари орқали аниқлашдир. Алоҳида муҳим муаммолардан бири сифатида ҳар хил тоифали аломатлар фазосида боғлиқ кўрсаткичларни қайта ишлаш алгоритмлари ва методлари ишлаб чиқиш масаласини кўрсатиш мумкин.

Касалликнинг оғирлик даражасини аниқлаш учун комбинацияли умумлашган кўрсаткични ҳисоблашга уринишлар С.М.Зуев [1] ва Г.И.Марчук [2] ишларида келтирилган. Касалликнинг оғирлик даражасини микдор аломатларининг ўртача қийматлари бўйича регрессия моделларида ҳисоблаш таклиф қилинган. Чизиқли ва чизиқсиз регрессия боғланишлари қаралган.

Одатда, мақсад функциясини (умумлашган кўрсаткични) ҳосил қилишда соҳа бўйича эксперт-тажриба маълумотлари ишлатилади ва улар қуйидаги шаклларда бўлади[3]: экспертларнинг балл баҳолари; тадқиқот объектларидаги таҳлил қилинаётган хоссаларнинг намоён бўлиш даражаларини экспертлар томонидан тартибланиши билан; жуфт таққослашларнинг бул матрицаси кўринишида.

Юқорида келтирилган усулларнинг камчилиги – уларда экспертларнинг субъектив фикрларига таянишдир.

Тадқиқот мақсади. Умумлашган кўрсаткичларни ҳисоблаш орқали тажриба берилганлар базасидан билимларни ажратиб олиш ва уларни билимларни тасвирлаш моделларида ифодалаш тадқиқот мақсади ҳисобланади. Методика сифатида турли тоифадаги, микдорий ва номинал аломатлар фазосида умумлашган кўрсаткичларни ҳисоблаш имконини берувчи устунлик интерваллари усули қўлланилади ва олинган билимларни ноаниқ мантиқ моделида тавсифлаш амалга оширилади.

Масала қўйилиши. Стандарт равишда қўйилган образларни англаш масаласи қаралади. Иккита ўзаро кесишмайдиغان K_1, K_2 синфлар вакиллари n та объектлар $E_0 = \{S_1, \dots, S_m\}$ тўплами берилган деб ҳисобланади. Объектлар n та турли тоифадаги (микдорий ва сифат) аломатлар билан тавсифланган бўлиб, уларнинг ξ таси интервалларда (I тўплам), $n - \xi$ таси номинал (J тўплам) ўлчамларда ўлчанади. Ўнғайлик учун, K_1 синф вакиллари

рўй берган ҳолатлар (ҳолатлар) ва K_2 - рўй бермаган ҳолатлар (но ҳолатлар) деб ҳисоблаймиз.

Икки синфли масала қаралишига сабаблардан бири – ҳар қандай объектнинг умумлашган баҳоси нисбийдир, у қарама-қарши синф объектларига қиёслаш натижасида юзага келади. Иккинчидан, ҳар қандай k ($k > 2$) синфли масалани икки синфли масалалар каскади кўринишида ечиш мумкин.

Ҳар бир миқдорий аломат учун, чегараларида “ҳолат” ёки “ноҳолат” синфи устун бўлган интервалларни танлаш масаласи тадқиқ қилинади. Ихтиёрий мумкин бўлган объектнинг миқдорий аломатининг қиймати устунлик интервалларининг бирортасига ҳам тушмаган ҳолати мазкур тадқиқотда қаралмайди.

Умумлашган кўрсаткичларни ҳисоблашнинг интервал усули. Берилган c аломатнинг ($c \in I$) қийматлари ўсиш бўйича тартибланади:

$$r_{c_1}, r_{c_2}, \dots, r_{c_m} \cdot \quad (1)$$

Айтайлик, $d_1^i(u, v), d_2^i(u, v)$ - мос равишда $[r_{c_u}, r_{c_v}]^i$ интервалдаги K_1, K_2 синфлар вакиллари миқдори бўлсин. r_{c_u}, r_{c_v} қийматларини ва $t \in \{1, 2\}$ синф устунлиги индексларини танлаш

$$\frac{d_t^i(u, v)}{|K_t|} - \frac{d_{3-t}^i(u, v)}{|K_{3-t}|} \rightarrow \max \quad (2)$$

мезони бўйича аниқланади. Келтирилган мезон бўйича (1) кетма-кетлик τ_c та ўзаро кесишмайдиган $[r_{c_u}, r_{c_v}]^i, 1 \leq u, u \leq v \leq m, i = \overline{1, \tau_c}$ интервалларга бўлинади.

Биринчи, $[r_{c_1}, r_{c_v}]^1, v < m$ интервалнинг чап чегараси (1) кетма-кетликнинг биринчи элементи билан устма-уст тушади, иккинчи $[r_{c_p}, r_{c_q}]^2$ интервал $p = v + 1, q \leq m$ қийматидан бошланади ва ҳоказо. (2) мезон бўйича энг кам интерваллар сони τ_c ($r_{c_1} < r_{c_m}$ ҳолати учун) 2 га тенг.

Ҳар бир $[r_{c_u}, r_{c_v}]^i, i = \overline{1, \tau_c}$ интервал учун (2) бўйича оптимал ажратиш натижаларини $\eta_{1i} = \frac{d_1^i(u, v)}{|K_1|}, \eta_{2i} = \frac{d_2^i(u, v)}{|K_2|}$ билан белгилайлик. У ҳолда c – аломатнинг $[r_{c_u}, r_{c_v}]^i$ интервал бўйича K_1 синфга тегишлилик функциясининг қийматини $f_c(i) = \frac{\eta_{1i}}{\eta_{1i} + \eta_{2i}}$ кўринишида аниқлаймиз. Агар аломат номинал бўлса, $f_c(i)$ функциясидаги η_{1i}, η_{2i} қийматлари c - аломат i -градациясининг мос равишда K_1, K_2 синфлардаги миқдорлари.

$S \in E_0 \cap K_d, S = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ объектининг умумлашган баҳоси

$$R(S) = \frac{1}{|K_{3-d}|} \sum_{S_j \in K_{3-d}} \left(\sum_{c \in I} \begin{cases} f_c(i), & b_c \in [r_{c_u}, r_{c_v}]^i \text{ \& \& } x_{jc} \notin [r_{c_u}, r_{c_v}]^i \\ \frac{f_c(i)|b_c - x_{jc}|}{|r_{c_u} - r_{c_v}|}, & b_c, x_{jc} \in [r_{c_u}, r_{c_v}]^i \end{cases} + \sum_{c \in J} \begin{cases} f_c(i), & b_c \neq x_{jc} \\ 0, & b_c = x_{jc} \end{cases} \right) \quad (3)$$

формуласи билан ҳисобланади. Бу ерда $S_j = (x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jn})$ ва τ_c та градацияли $c \in J$ номинал аломат қийматлари $\{1, 2, \dots, \tau_c\}$ тўплагга тегишли деб қаралади.

Ҳисоблаш эксперименти. Ҳисоблаш эксперименти сифатида гипертония касаллиги билан боғлиқ 29 та миқдорий аломат билан тавсифланган 36 та касал (“ҳолат” синфи) ва 111 та деярли соғлом (“ноҳолат” синфи) ҳарбийлар бўйича тиббий берилганлар базаси олинди [3]. Ҳар аломат бўйича “ҳолат” синфига тегишлилик функцияси қийматларини ҳисоблаш масаласи қаралди.

Танлов бўйича ҳар бир миқдорий аломатнинг (2) мезон бўйича аниқланган оптимал интерваллар ва улар учун аломатнинг “ҳолат” синфига тегишлилик функцияси қийматлари 1 - жадвалда келтирилган.

Юқоридаги жадвал асосида $S \in E_0 \cap K_d, S = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ объектининг “ҳолат” синфига тегишли бўлишининг ноаниқ тўпламини куриш мумкин. Масалан, S объектни тавсифловчи тўплаг берилган бўлсин:

$\{Yosh=63; Bo'y=172; Vazn=79; ADS=200; ADD=120; RR=0,84; PQ=0,2; QT=0,42; QRS=0,04; PLP=3,2; KSP=3,2; KDR=4,9; YCC=71; ADSr=146,67; ADPuls=80; UPS=54,76; K1=0,74; K2=0,65; SisPok=0,5; Sistola=0,42; Diastola=0,42; KSO=40,96; KDO=112,81; DS=34,69; YO=71,85; MO=5,1; SI=2,68; FV=0,64; Kerde=-69\}$.

У ҳолда S объектнинг ноаниқ тўплами қуйидагига тенг бўлади:

$\{0,83/63; 0,56/172; 0,82/79; 0,97/200; 0,94/120; 0,41/0,84; 0,73/0,2; 0,48/0,42; 0,66/0,04; 0,13/3,2; 0,3/3,2; 0,22/4,9; 0,43/71; 0,96/146,67; 0,97/80; 0,87/54,76; 0,47/0,74; 0,63/0,65; 0,47/0,5; 0,48/0,42; 0,38/0,42; 0,3/40,96; 0,24/112,81; 0,29/34,69; 0,27/71,85; 0,38/5,1; 0,7/2,68; 0,28/0,64; 0,78/-69\}$.

1-жадвал.

Аломатларнинг интерваллардаги тегишлилик функцияси қийматлари

т/р	Аломат	Интервал	$f_c(i)$	т/р	Аломат	Интервал	$f_c(i)$
1	Yosh	17..38	0,06	17	K1	0,438..0,438	1
		39..80	0,83			0,444..0,481	0
2	Bo'y	152,0..173,0	0,56			0,5..0,56	0,64
		174,0..185,0	0,35			0,565..0,933	0,47
3	Vazn	186,0..194,0	0,9	18	K2	0,5..0,566	0,71
		47,0..47,0	0,76			0,573..0,587	0,2
4	ADS	48,0..73,0	0,1			0,589..0,594	0,86
		74,0..114,0	0,82			0,596..0,643	0,36
		90..135	0,03			0,645..0,731	0,63
5	ADD	140..220	0,97	19	Sispok	0,281..0,357	0,7
		60..85	0,11			0,36..0,6	0,47
6	RR	90..130	0,94	20	Sistola	0,24..0,3	0,76
		0,6..0,7	0,63			0,32..0,32	0,44
		0,72..0,88	0,41			0,34..0,34	0,76
7	PQ	0,9..1,28	0,54	21	Diastola	0,36..0,44	0,48
		0,12..0,12	0,44			0,24..0,24	0
		0,13..0,14	0,74			0,25..0,38	0,64
		0,15..0,16	0,33			0,4..0,52	0,38
8	QT	0,17..0,2	0,73	22	KSO	0,56..0,92	0,54
		0,24..0,3	0,76			27,02..61,95	0,30
		0,32..0,32	0,44			63,91..97,34	0,96
		0,34..0,34	0,76	23	KDO	74,22..74,22	0

1-жадвалнинг давоми

		0,36..0,44	0,48			83,07..87,69	0,67
9	QRS	0,04..0,07	0,66			92,45..147,4	0,24
		0,08..0,12	0,46			147,42..216,0	0,89
10	PLP	2,5..3,2	0,13	24	DS	23,33..32,76	0,66
		3,3..4,3	0,89			33,33..46,0	0,29
11	KSR	2,7..3,8	0,3	25	UO	44,67..45,15	0
		3,9..4,6	0,96			49,77..53,52	0,76
12	KDP	3,9..4,4	0,7			56,29..60,67	0
		4,5..5,4	0,22			61,95..63,81	0,86
		5,5..6,5	0,88			64,44..82,07	0,27
13	YCC	47..47	1	26	MO	82,66..123,55	0,64
		50..56	0,2			3,38..5,95	0,38
		57..67	0,61			5,97..10,18	0,62
		68..83	0,43			1,835..2,167	0
14	ADSr	70..103,3	0,03	27	SI	2,175..2,469	0,67
		103,33..153,33	0,96			2,480..2,656	0,24
						2,678..2,803	0,7
15	ADPuls	20..50	0,1	28	FV	2,811..5,887	0,48
		60..110	0,97			0,459..0,606	0,69
16	UPS	15,85..35,0	0,24	29	Kerde	0,607..0,772	0,28
		35,01..54,76	0,87			-91,5..-13,9	0,78
						-12,676..30,0	0,16

Танлов объектларини “ҳолат” синфига тегишлилигининг умумлашган баҳоси (3) бўйича ҳисобланиб, кўрсаткичлар [0..1] ораликқа акслантирилган ва ўсмайдиган қилиб тартибланган кетма-кетлигининг айрим бўлаклари 2 - жадвалда келтирилган.

2 – жадвал.

Объектларнинг “ҳолат” синфига тегишлилигининг умумлашган баҳоси

т/р	Объект (синф)	R(S)	т/р	Объект (синф)	R(S)
1	138-объект (“ҳолат”)	1,0	36	37-объект (“ноҳолат”)	0,31
2	142-объект (“ҳолат”)	0,91	38	38-объект (“ноҳолат”)	0,3
3	146-объект (“ҳолат”)	0,85	39	61-объект (“ноҳолат”)	0,29
4	135-объект (“ҳолат”)	0,84
5	131-объект (“ҳолат”)	0,83	144	14-объект (“ноҳолат”)	0,007
...	145	18-объект (“ноҳолат”)	0,004
34	118-объект (“ҳолат”)	0,48	146	20-объект (“ноҳолат”)	0,004
35	123-объект (“ҳолат”)	0,36	147	105-объект (“ноҳолат”)	0

Албатта, объектларнинг умумлашган баҳоларига сифатли изоҳ бериш тиббиёт соҳасидаги мутахассислар ваколатида бўлган ҳолда олинган натижаларга кўра куйидаги хулосаларни билимлар шаклида ифодалаш мумкин:

1. Танловнинг 138, 142, 146, 135, 131 – объектларининг “ҳолат” синфига тегишлилик қийматлари деярли 1 га тенг ва шу сабабли улар шу синфининг яққол намуналаридир. Худди шундай 14, 18, 20, 105 – объектлари “ноҳолат” синфининг намуналари бўлиб, уларнинг “ҳолат” синфига тегишлилик қиймати деярли нолга тенг.

2. Танловдаги “ҳолат” синфининг 118,123 - объектлари чегаравий элементлар ҳисобланади. Уларда ўз синфига тегишлилик нисбатан суст намоён бўлган.

3. Чегарадаги “ноҳолат” синфининг 37, 38, 61- объектларида “ҳолат” синфига тегишлилик аломатлари мавжуд.

Аниқланган билимлар интеллектуал ахборот тизимлари учун билимлар базасини яратишда манба бўлиб хизмат қилади.

Фойдаланилган адабиётлар

1. Зуев С.М. Статистическое оценивание параметров математических моделей заболеваний. М.: Наука, 1988. -176 с.
2. Марчук Г.И. Математические модели в иммунологии. Вычислительные методы и эксперименты. М.: Наука, 1991. -304 с.
3. Черныш П.П. Системно-симметричный подход в оценке индивидуальной нормы и эффективности лечения хронической сердечной недостаточности у больных ишемической болезнью сердца: Дис... докт. мед. наук. Ташкент, 2003. С. 156.

Мирзо Улғубек номидаги Ўзбекистон
миллий университети

17.09.2009 й.
қабул қилинган

УДК 004.056.53

В.Х. САЛАХУТДИНОВ, К.Ф. КЕРИМОВ

ТЕХНОЛОГИЯ WEB MINING ОБНАРУЖЕНИЯ ВРЕДНОСНОГО СОДЕРЖИМОГО НА WEB-СТРАНИЦАХ

В.Х. Салахутдинов, К.Ф. Керимов

Web-саҳифа манбаларида вирусларни топиш Web Mining технологияси

Мақолада web-саҳифалардаги зарар қидирувчи омилларни аниқлаш, яъни ахборотларни химоя қилишнинг асосий босқичи масаласини ечиш усули қараб чиқилган. Web саҳифаларда зарарли манбаларни аниқлаш масаласи i web mining усулларига асосланган.

V.Kh. Salakhutdinov, K.F. Kerimov

Web mining technology for detecting viruses from the Web-pages

The method with help of which the problem of main stage of information protection, that is harmful contents from the Web-pages, is proposed in this paper. This problem is solved on the base of Web mining methods.

На сегодняшний день создаются различные форумы, блоги, чаты, хостинговые площадки, где пользователи могут размещать свои ресурсы. Если не принять меры по защите Web-ресурса, появляется возможность преднамеренного нанесения вреда компьютеру пользователя [1].

Вопрос о защите информационной безопасности стоит на первом месте, когда речь идет о местах общения пользователей и размещении пользовательских ресурсов. В литературе описывается достаточное количество методов по борьбе с вредоносным содержанием. Однако эти методы имеют ряд недостатков[2], к числу которых можно отнести следующие:

1) затрата значительного времени на сканирование Web-ресурса, который, как правило, занимает большой объем памяти и расположен на удаленном сервере;

2) большинство программных комплексов сканируют Web-ресурсы, работая на стороне клиента, и пользователю в связи с этим необходимо ждать, пока программа выполнит необходимые операции сканирования;

3) возможны сбои, зависящие от внешних факторов: выключение электропитания, сбой в соединениях с сетью Интернет, сбой в работе компьютера пользователя.

В связи с возникшими проблемами встает задача разработки иных подходов по защите Web-ресурсов пользователей.

Нами предлагается на рассмотрение метод, с помощью которого решается задача основного этапа по защите информации, а именно: обнаружение вредоносных носителей на Web-страницах. Подход к решению данной задачи основан на методах Web mining. Web Mining можно интерпретировать как "добыча данных в Web".

Технология Web Mining охватывает методы, которые способны на основе данных сайта обнаружить новые, ранее неизвестные знания и которые в дальнейшем можно будет использовать на практике. Таким образом, технология Web Mining применяет технологию Data Mining для анализа неструктурированной, неоднородной, распределенной и значительной по объему информации, содержащейся на Web-узлах.

Задачи Web Mining можно подразделить на такие категории, как:

- предварительная обработка данных для Web Mining;
- обнаружение и выявление шаблонов, и открытие знаний с использованием ассоциативных правил, временных последовательностей, классификации и кластеризации;
- анализ полученного знания.

Наша задача связана с поиском проявления определенного вида закономерностей (признаков, определяющих адрес в сети Интернет), которые могут быть сравнимы с шаблонами определенного вида[3]. Такими шаблонами являются адреса в сети Интернет, указывающие на вредоносное содержимое, которое может внедриться при неграмотной фильтрации входных данных. Злоумышленник может внедрить ссылку, либо специальный код, автоматически переводящий браузер пользователя на вредоносное содержимое, которое может навредить компьютеру.

На основе нашего исследования выявлено, что существует база данных адресов, представляющих угрозу, т.е. база ссылок, по которым находится вредоносное содержимое. База находится на сервере компании Google и регулярно обновляется.

Специальная программа «Робот-паук» по заявке пользователя заходит на страницы его Web – ресурса, распознает, начиная с первой страницы, все ссылки и заносит их в базу данных Google. Далее, по созданному авторами алгоритму распознавания ссылок, производится выявление шаблона - ссылки на вредоносное содержимое. Сверка происходит по каждой ссылке Web-ресурса. При определении адреса вредоносного содержимого данная ссылка помечается и по определенному набору признаков относится к одному из классов.

На основе проведенных исследований авторами разработана программа Webscan (получено свидетельство на программный комплекс), которая

используется Web-сервером, для выявления вредоносного содержимого на Web-ресурсах (рис.1).

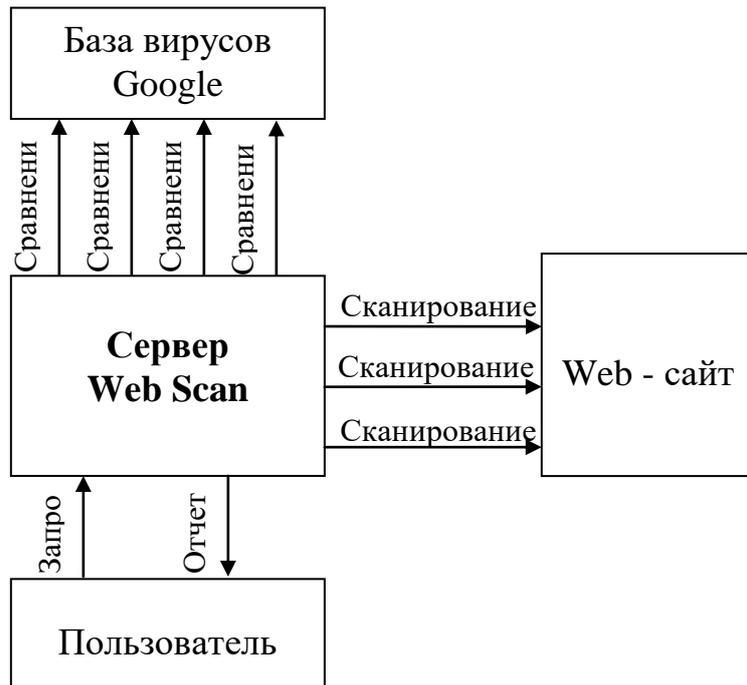


Рис 1. Схема работы программного комплекса Webscan

Программа имеет дружелюбный и удобный интерфейс и может быть использована для комплексной проверки на наличие вредоносного содержимого Web-ресурсов организаций или хостинговых компаний, осуществляющих свою деятельность в сети Интернет.

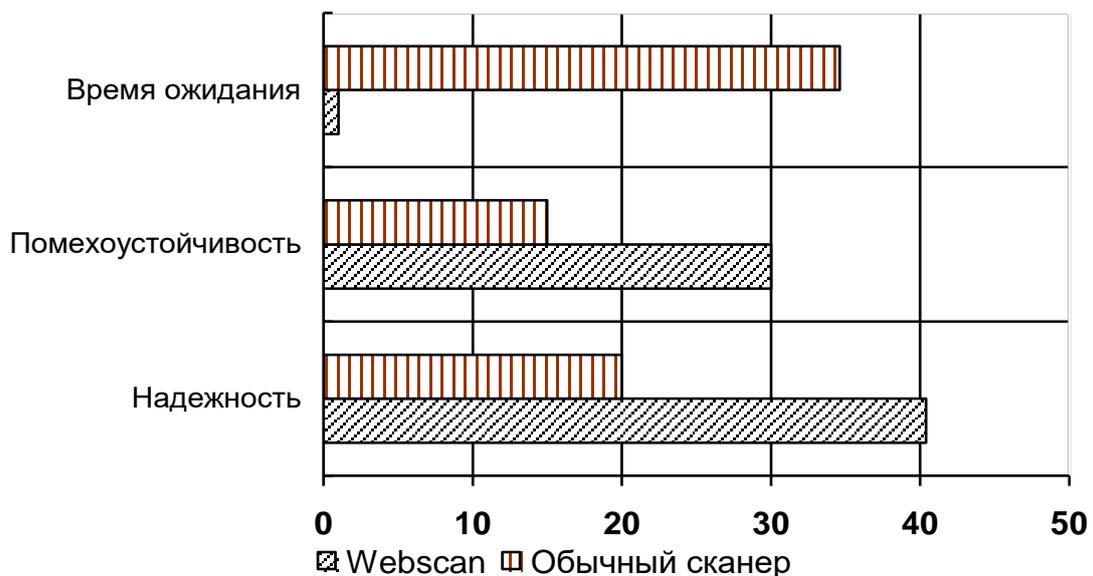


Рис. 2. Диаграмма, иллюстрирующая преимущество методов программного комплекса Webscan перед традиционными методами сканеров безопасности

При обнаружении вирусов пользователю представляется полный отчет по сканированному ресурсу.

Требования к работе системы:
Конфигурация ПК – не ниже Pentium IV с объемом оперативной памяти 512 Мбайт;

операционная система – Windows XP.

Программа разработана в среде объектно-ориентированного языка программирования PHP, PERL. Объем регистрируемой программы - 3.1 МБ.

Таким образом, в результате исследования с использованием технологии Web Mining разработаны методики обнаружения вредоносных носителей на Web-страницах. В связи с этим разработаны не имеющие недостатков алгоритм и программа, с помощью которой реализуются оптимальный метод обнаружения и выявления вредоносного содержимого на Web-страницах. Разработанная программа может быть использована владельцами ресурсов в сети Интернет.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Стюарт Мак-Клар. Хакинг в Web, атака и защита. М.: Вильямс, 2003.
2. Низамутдинов Марсель. Тактика защиты и нападения на Web-приложения. БХВ-Петербург. Спб., 2005.
3. Web Application Security Consortium, «Web Security Threat Classification»
<http://webappsec.org/projects/threat/>

Ташкентский университет
информационных технологий

Дата поступления
30.09.2009

УДК 343.98 (075)

С.А. АГЗАМОВ, Э.П. ЛЕВЧЕНКО

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КРИТЕРИЕВ ОПТИМАЛЬНОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИ ВАЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

С.А.Агзамов, Э.П.Левченко

**Стратегик муҳим объектларни бошқариш тизими хавфсизлигининг ахборот таъминоти
оптималлик мезонлари ва самарадорлиги кўрсаткичларини баҳолаш**

Мақолада стратегик муҳим объектларни бошқариш тизими хавфсизлигининг ахборот таъминоти оптималлик мезонлари ва самарадорлиги кўрсаткичларини баҳолаш масалалари кўрилади.

S.A.Agzamov, E.P.Levchenko

**Efficiency factor Evaluation and criterions оптимальности ensuring information safety of
managerial systems of strategic important objects**

In the article is considered questions of evaluation of efficiency factors and criterions оптимальности ensuring information safety of managerial systems of strategic important objects.

Проблема оценки эффективности функций обеспечения информационной безопасности (ОИБ) является достаточно сложной. Ввиду большой подверженности самого процесса защиты влиянию случайных факторов наиболее подходящие для этих целей различные неформальные методы оценивания.

Сложность выполняемых функций, значительная доля нечетко определенных исходных данных, большое количество механизмов защиты, сложность их взаимных связей и многие другие факторы делают практически неразрешимой проблему оценки эффективности систем управления стратегически важными объектами (СУ СВО) в целом с помощью какого-либо метода моделирования [1].

Для решения этой проблемы применим метод декомпозиции (разделения) общей задачи оценки эффективности СУ СВО на ряд частных взаимосвязанных подзадач. Так, задачу оценки эффективности комплексной системы защиты информации (КСЗИ) СУ СВО разобьем на частные подзадачи [2]:

- оценку эффективности защиты СВО от сбоев и отказов аппаратных и программных средств;
- оценку эффективности защиты СВО от несанкционированного доступа к информации (НСДИ);
- оценку эффективности защиты СВО от побочных электромагнитных излучений и наводок (ПЭМИН) и т.д.

При оценке эффективности защиты от отказов, приводящих к уничтожению информации, используем величину вероятности безотказной работы $P(t)$ системы время t . Этот показатель вычислим по формуле

$$P(t) = 1 - P_{\text{отк}}(t),$$

где $P_{\text{отк}}(t)$ - вероятность отказа системы за время t .

Величину $P_{\text{отк}}(t)$, в свою очередь, определим в соответствии с выражением

$$P_{\text{отк}}(t) = e^{-\lambda t},$$

где λ - интенсивность отказов системы.

Таким образом, частная задача оценки влияния отказов на безопасность информации решается известными формальными методами [3].

В свою очередь частные задачи будут декомпозированы на подзадачи. Главная сложность метода декомпозиции при оценке систем заключается в учете взаимосвязи и взаимного влияния частных задач оценивания и оптимизации. Это влияние учитывается как при решении задачи декомпозиции, так и в процессе получения интегральных оценок. В задаче ОИБ от электромагнитных излучений, например, используется экранирование металлическими экранами, а для повышения надежности функционирования системы - резервирование блоков, в том числе обеспечивающих бесперебойное питание.

При оценке эффективности защиты от несанкционированного доступа к информации в сложных системах, таких как СУ СВО (согласно знаниям экспертов), необходимо использовать макро моделирование. Такое моделирование осуществляется для общей оценки системы. Задача при этом упрощается за счет использования при построении модели только основных характеристик. К макро моделированию, как правило, прибегают для получения предварительных оценок систем.

В качестве макро модели рассмотрим модель КСЗИ СУ СВО, в которой используется k - уровней защиты. Злоумышленнику необходимо преодолеть k - m - уровней защиты, где m - номер наивысшего уровня защиты, который злоумышленник беспрепятственно преодолевает в соответствии со своим официальным статусом. Если злоумышленник не имеет никакого официального

статуса на СВО, то ему, в общем случае, необходимо преодолеть все k - уровни защиты, чтобы получить доступ к информации. Для такого злоумышленника вероятность получения несанкционированного доступа к информации $P_{нсд}$ может быть рассчитана по формуле

$$P_{нсд} = \prod_i^k P_i,$$

где P_i - вероятность преодоления злоумышленником i -го уровня защиты.

На макроуровне необходимо исследовать требуемое число уровней защиты, их эффективность по отношению к предполагаемой модели нарушителя с учетом особенностей и финансовых возможностей построения КСЗИ СВО.

Эффективность систем можно оценить с помощью показателей эффективности (показателей качества). В СВО показателями качества характеризуют степень совершенства какого-либо блока, устройства СУ СВО. В отношении сложных систем безопасности используем термин «показатель эффективности функционирования СУ СВО» [4], который характеризует степень соответствия оцениваемой системы своему назначению.

Показатели эффективности системы КСЗИ СУ СВО представим в виде некоторого множества функций y_k характеристик системы x_i :

$$y_k = f(x_1, x_2, \dots, x_n), k=1, \overline{K}, n=1, \overline{N},$$

где K - мощность множества показателей эффективности системы; N – мощность множества характеристик системы.

Характеристики системы x_1, x_2, \dots, x_n - это первичные данные, отражающие свойства и особенности системы. Используем количественные и качественные характеристики. Количественные характеристики систем имеют числовое выражение. Назовём их параметрами. К количественным характеристикам отнесём разрядность устройства, быстродействие процессора и памяти, длину пароля, длину ключа шифрования и т.п. Качественные характеристики определим как наличие (отсутствие) определенных режимов, защитных механизмов или сравнительную степень свойств систем («хорошо», «удовлетворительно», «лучше», «хуже»). Для того чтобы оценить эффективность КСЗИ СВО или сравнить разные системы ОИБ СВО, предлагаемые для защиты безопасности по их эффективности, зададим некоторое правило предпочтения. Такое правило или соотношение, основанное на использовании показателей эффективности, будет являться критерием эффективности КСЗИ СУ СВО. Для получения критерия эффективности при использовании некоторого множества k -показателей применим ряд подходов:

1. Выберем один главный показатель. Оптимальной будет считаться та система, для которой этот показатель достигает экстремума, при условии, что остальные показатели удовлетворяют системе ограничений, заданных в виде неравенств. В нашем случае оптимальной будет система, удовлетворяющая следующему критерию эффективности:

$$P_{нз} = P_{нз}^{max} \quad \text{при } C \leq C_{доп.}, G \leq G_{доп.},$$

где $P_{нз}$ - вероятность непреодоления злоумышленником системы защиты за определенное время; C и G - соответственно стоимостные и весовые показатели, которые не должны превышать допустимых значений.

2. Используем методы, основанные на ранжировании показателей по важности. При сравнении систем одноименные показатели эффективности сопоставим в порядке убывания их важности по определенным алгоритмам.

Рассмотрим лексикографический метод и метод последовательных уступок.

Лексикографический метод применим, если степень различия показателей по важности велика. Две системы будем сравнивать по наиболее важному показателю. Оптимальной будем считать ту систему, у которой лучше этот показатель. При равенстве самых важных показателей необходимо сравнить показатели, занимающие по рангу вторую позицию. При равенстве и этих показателей сравнение будем производить до получения предпочтения в i -м показателе.

Метод последовательных уступок предполагает оптимизацию системы по наиболее важному показателю Y_1 . Определим допустимую величину изменения показателя Y_1 , которая называется уступкой. Измененную величину показателя: $Y'_1 = Y_1 \pm \Delta_1$ (Δ_1 - величина уступки) зафиксируем. Определим оптимальную величину показателя Y_2 при фиксированном значении Y'_1 . Выберем уступку Δ_2 и процесс повторится до получения Y_{k-1} .

3. Рассмотрим мультипликативные и аддитивные методы получения критериев эффективности, которые основываются на объединении всех или части показателей с помощью операций умножения или сложения в обобщенные показатели (Z_{Π} , Z_c). Показатели, используемые в обобщенных показателях, назовём частными (y_i , y_j).

Если в произведение (сумму) включим часть показателей, то остальные частные показатели включатся в ограничения. Показатели, образующие произведение (сумму), имеют весовые коэффициенты k_i (k_j). В общем виде эти методы можно представить следующим образом:

$$Z_{\Pi} = \text{extr} \prod_i k_i y_i \qquad Z_c = \text{extr} \sum_j k_j y_j.$$

4. Осуществим оценку эффективности систем ОИБ методом Парето. Определим, что при использовании n - показателей эффективности системе соответствует точка в n -мерном пространстве. В n -мерном пространстве строится область парето-оптимальных решений. В этой области располагаются несравнимые решения, для которых улучшение какого-либо показателя невозможно без ухудшения других показателей эффективности.

Итак, обобщая вышеизложенное, можно вывести, что:

- $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ - функции, которые должна выполнять КСЗИ СВО;
- $M = \{m_1, m_2, \dots, m_k\}$ - возможные механизмы защиты;
- $U = \{u_1, u_2, \dots, u_p\}$ - способы управления КСЗИ СВО;
- $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_w\}$ - показатели эффективности КСЗИ СВО.

Показатели эффективности зависят от выполняемых функций, механизмов защиты и способов управления КСЗИ СВО: $Y = \Phi(F, M, U)$.

Критерий эффективности $СУ$ СВО получается с использованием показателей эффективности $K = E(Y)$.

Тогда математическая постановка задачи разработки КСЗИ $СУ$ СВО в общем случае представляется в следующем виде: найти $\text{extr} S(F, M^*, U^*)$, при $M^* \in M$, $U^* \in C$, которым соответствуют $Y^* \in U_d$, где U_d - множество допустимых значений показателей эффективности КСЗИ СВО.

Для выполнения этих условий требуется создать или выбрать такие механизмы ОИБ и способы управления системой защиты, при которых обеспечивается выполнение всего множества требуемых функций и достигается максимум или минимум выбранного критерия, а также выполняются ограничения на некоторые показатели эффективности.

Такая постановка применима для решения не только общей, но и частных задач оценки эффективности КСЗИ СУ СВО.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Ярочкин В.И. Информационная безопасность. М.: Фонд «Мир», 2003.
2. Козлов В.Е. Теория и практика борьбы с компьютерной преступностью. М.: Горячая линия – телеком, 2002.
3. Левченко Э.П. Учебное пособие. Методы защиты информации в автоматизированных системах управления. Ташкент: ТВВПУ, 2004.
4. Галатенко В.А. Основы информационной безопасности. Курс лекций. М.: Интернет- университет, 2003.

Ташкентский университет
информационных технологий

Дата поступления
17.09.2009

УДК 532.501.32

Р.К. БЕРДИЕВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕУСТАНОВИВШЕЙСЯ ФИЛЬТРАЦИИ В ТРЕХСЛОЙНОЙ СРЕДЕ ПРИ НАЛИЧИИ КОМБИНИРОВАННОГО ДРЕНАЖА

Р.К.Бердиев

Қудуқлар тизимида уч қатламли муҳитда нотурғун филтрация жараёнини моделлаштириш

Мақолада уч қатламли муҳитда суюклик харакатини акс эттирувчи параболик типдаги чизикли бўлмаган тенгламалар системасини моделлаштириш жараёни қаралмоқда.

R.K. Berdiev

Modelling of the unsteady filtration in the three-layer environment in the presence of the combined drainage

Process of modelling of system of the nonlinear equations of the parabolic type describing movement of a liquid in the three-layer environment is considered.

Рассматривается неустойчившееся движение грунтовых вод в среде, содержащей анизотропный пласт. Верхний слой его является малопроницаемым безнапорным горизонтом, который прорезан открытым систематическим горизонтальным дренажом до границы со слабопроницаемой прослойкой, имеющей мощность m_2 и коэффициент фильтрации k_2 , которая сообщается через нее с нижележащим напорным горизонтом, подстилаемым водоупором.

Для описания процесса исходим из следующей нелинейной системы дифференциальных уравнений в частных производных параболического типа

$$\left. \begin{aligned} \mu_1 \frac{\partial y}{\partial t} &= \frac{k_1}{2} \frac{\partial^2 y^2}{\partial x^2} - k_2 \frac{y-h}{m_2} + \varepsilon(t) \\ \mu_3 \frac{\partial h}{\partial t} &= T \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_2 \frac{y-h}{m_2} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где $y(x, t)$ и $h(x, t)$ - соответственно уровень грунтовых вод (УГВ) в верхнем безнапорном и напор в нижнем напорном слоях с коэффициентами фильтрации k_1 и k_3 ; m_3 - мощность нижнего слоя; μ_1 и μ_3 - коэффициенты гравитационной и упругой водоотдачи соответствующих слоев; $\varepsilon(t)$ - интенсивность инфильтрационного питания.

В напорном горизонте с фильтрационной проводимостью $T = k_3 m_3$ расположены галереи скважин с междренним расстоянием $2L$ и погонным притоком $q(t)$. Задачи такого типа, но в линеаризованной постановке решены, например, в [1], причем на открытых и закрытых горизонтальных дренажах задавались различные граничные условия, что в общем противоречит физике происходящих явлений, так как эти условия должны находиться в процессе решения задачи.

Решение (1) будем искать в виде

$$\left. \begin{aligned} y(x, t) &= \alpha(t)(L-x)^2 + \beta(t) \\ h(x, t) &= \varphi(t)\alpha(t)(L-x)^2 + \psi(t)\beta(t) \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

При таком способе нахождения решения при наличии систематического дренажа автоматически выполняются условия на междренье $\frac{\partial y}{\partial x}|_{x=L} = \frac{\partial h}{\partial x}|_{x=L} = 0$, а функции $\alpha(t)$, $\beta(t)$, $\varphi(t)$ и $\psi(t)$ в (2) подлежат определению. После подстановки (2) в (1) и приравнивания коэффициентов при степенях $(L-x)^2$ и свободных членов перейдем к следующим обыкновенным дифференциальным уравнениям первого порядка

$$\mu_1 \frac{d\alpha}{dt} = 6k_1 \alpha^2 - \frac{k_2}{m_2} \alpha [1 - \varphi(t)], \quad (3)$$

$$\mu_3 \frac{d(\alpha\varphi)}{dt} = \frac{k_2}{m_2} \alpha [1 - \varphi(t)], \quad (4)$$

$$\mu_1 \frac{d\beta}{dt} = 2k_1 \alpha \beta - \frac{k_2}{m_2} \beta [1 - \psi(t)] + \varepsilon(t), \quad (5)$$

$$\mu_3 \frac{d(\beta\psi)}{dt} = 2T\alpha\varphi + \frac{k_2}{m_2} \beta [1 - \psi(t)]. \quad (6)$$

На основании условия $T \frac{\partial h}{\partial x}|_{x=0} = q(t)$, из второго уравнения системы (2)

находим

$$\alpha(t)\varphi(t) = -\frac{q(t)}{2LT}. \quad (7)$$

Сложим уравнения (3) и (4). Тогда получим

$$[\mu_1 + \mu_3\varphi(t)] \frac{1}{\alpha^2} \cdot \frac{d\alpha}{dt} + \frac{\mu_3}{\alpha} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = 6k_1. \quad (8)$$

Введем новую функцию

$$u(t) = \frac{1}{\alpha(t)}. \quad (9)$$

В результате (8) можно переписать следующим образом:

$$\frac{du}{dt} - \frac{\mu_3 u}{\mu_1 + \mu_3 \varphi(t)} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = -\frac{6k_1}{\mu_1 + \mu_3 \varphi(t)} \quad (10)$$

Возвращаясь теперь к уравнению (3) с учетом (9), получим

$$\frac{du}{dt} - \frac{k_2}{\mu_1 m_2} [1 - \varphi(t)] u = -\frac{6k_1}{\mu_1} \quad (11)$$

Вычитая из (10) уравнение (11), найдем

$$-\frac{\mu_1}{6k_1 \varphi(t)} \left\{ \frac{d\varphi}{dt} - \frac{k_2}{\mu_1 m_2} [1 - \varphi(t)] \left[\frac{\mu_1}{\mu_3} + \varphi(t) \right] \right\} = \frac{1}{u}$$

Используя (9), получим

$$\alpha(t) = -\frac{\mu_1}{6k_1 \varphi(t)} \left\{ \frac{d\varphi}{dt} - \frac{k_2}{\mu_1 m_2} [1 - \varphi(t)] \left[\frac{\mu_1}{\mu_3} + \varphi(t) \right] \right\}.$$

На основе (7) запишем

$$\frac{3k_1 q(t)}{\mu_1 LT} = \frac{d\varphi}{dt} - \frac{k_2}{\mu_1 m_2} [1 - \varphi(t)] \left[\frac{\mu_1}{\mu_3} + \varphi(t) \right]. \quad (12)$$

Решение (12) относительно функции $\varphi(t)$ складывается из общего решения однородного уравнения и его частного решения.

Однородное уравнение имеет вид

$$\frac{d\varphi}{dt} - \frac{k_2}{\mu_1 m_2} [1 - \varphi(t)] \left[\frac{\mu_1}{\mu_3} + \varphi(t) \right] = 0,$$

которое запишем следующим образом:

$$\frac{d\varphi}{\varphi - 1} - \frac{d\varphi}{\varphi + \frac{\mu_1}{\mu_3}} = -\frac{k_2(\mu_1 + \mu_3)}{\mu_1 \mu_3 m_2} dt. \quad (13)$$

Интегрируя (13), получим

$$\frac{\varphi - 1}{\varphi + \frac{\mu_1}{\mu_3}} = \tilde{c}_1 e^{\frac{-k_2(\mu_1 + \mu_3)t}{\mu_1 \mu_3 m_2}}. \quad (14)$$

Применим метод вариации произвольной постоянной, тогда с учетом (12) будем иметь

$$\frac{d\tilde{c}_1}{dt} e^{\frac{-k_2(\mu_1 + \mu_3)t}{\mu_1 \mu_3 m_2}} = \frac{3k_1 q(t)}{\mu_1 LT}.$$

После интегрирования найдем

$$\tilde{c}_1 = \frac{3k_1}{\mu_1 LT} \int e^{\frac{k_2(\mu_1 + \mu_3)t}{\mu_1 m_2}} q(t) dt + c_1 \quad (15)$$

В результате (14) на основании (15) примет вид

$$\frac{\varphi(t) - 1}{\varphi(t) + A_2} = c_1 e^{-A_1 t} + A_3 e^{-A_1 t} \int e^{A_1 t} q(t) dt, \quad (16)$$

где $A_1 = \frac{k_2(\mu_1 + \mu_3)}{\mu_1 \mu_3 m_2}$, $A_2 = \frac{\mu_1}{\mu_3}$, $A_3 = \frac{3k_1}{\mu_1 LT}$.

Выбор дебита $q(t)$, приходящегося на единицу длины галереи, будет определять функцию $\varphi(t)$ из формулы (16). Так, например, если этот дебит задать соотношением

$$q(t) = q_0 e^{-\lambda t}, \quad (17)$$

то после подстановки (17) в (16) и интегрирования получим

$$\frac{\varphi(t) - 1}{\varphi(t) + A_2} = c_1 e^{-A_1 t} + \frac{q_0 A_3}{A_1 - \lambda} e^{-\lambda t},$$

где $q_0 = q(0)$; λ - некоторый заданный положительный параметр. Из этого соотношения находим

$$\varphi(t) = \frac{1 + A_2 (q_0 A_4 e^{-\lambda t} + c_1 e^{-A_1 t})}{1 - q_0 A_4 e^{-\lambda t} - c_1 e^{-A_1 t}}.$$

Из (7) следует

$$\alpha(t) = -\frac{q_0}{2LT} \frac{e^{-\lambda t} (1 - q_0 A_4 e^{-\lambda t} - c_1 e^{-A_1 t})}{1 + A_2 (q_0 A_4 e^{-\lambda t} + c_1 e^{-A_1 t})},$$

где $A_4 = \frac{A_3}{A_1 - \lambda}$.

Рассмотрим теперь уравнения (5) и (6), в которых $\alpha(t)$ и $\varphi(t)$ известны на основании решения уравнений (3) и (4).

Тогда для удовлетворения уравнений (5) и (6) используем следующий вариант.

Зададим снижение УГВ как функцию времени на междренье, откуда можно определить скорость изменения УГВ, которая является важной характеристикой при регулировании водосолевого режима почвогрунтов.

Функцию снижения на междренье выберем в виде

$$\beta(t) = H + (H_{M_0} - H) e^{-\gamma t}, \quad (18)$$

где H_{M_0} - положение УГВ в начальный момент времени; γ - некоторая положительная константа; H - предельное положение УГВ.

Из (18) находим скорость снижения УГВ на междренье

$$\frac{d\beta}{dt} = -\gamma (H_{M_0} - H) e^{-\gamma t}. \quad (19)$$

Перепишем (6) в виде

$$\mu_3 \beta \frac{d\psi}{dt} + \left(\mu_3 \frac{d\beta}{dt} + \frac{k_2}{m_2} \beta \right) \psi(t) = 2T\alpha\varphi + \frac{k_2}{m_2} \beta. \quad (20)$$

Подставим в (20) значения $\beta(t)$, $\frac{d\beta}{dt}$, $\alpha\varphi$ из формул (18), (19), (7).

В результате с учетом (19) будем иметь

$$\frac{d\psi}{dt} + \frac{A_6 (e^{-\gamma t} + A_7)}{\mu_3 (e^{-\gamma t} + A_5)} \psi(t) = \frac{q_0 A_3 e^{-\lambda t}}{HL (e^{-\gamma t} + A_5)} + \frac{k_2}{\mu_3 m_2}, \quad (21)$$

где

$$A_5 = \frac{H}{H_{M_0} - H}; \quad A_6 = \frac{k_2}{m_2} - \gamma \mu_3; \quad A_7 = \frac{k_2}{m_2} \frac{A_5}{A_6}. \quad (22)$$

Решение (21) складывается из общего решения однородного уравнения и частного решения неоднородного уравнения

$$\frac{d\psi}{dt} + \frac{A_6(e^{-\gamma t} + A_7)}{\mu_3(e^{-\gamma t} + A_5)}\psi = 0.$$

Здесь переменные делятся

$$\frac{d\psi}{\psi} = -\frac{A_6(e^{-\gamma t} + A_7)}{\mu_3(e^{-\gamma t} + A_5)}dt.$$

Интегрируя последнее уравнение с учетом (22), получим

$$\psi(t) = \tilde{c}_2 \frac{e^{-\frac{k_2}{\mu_3 m_2} t}}{e^{-\gamma t} + A_5}. \quad (23)$$

Применим теперь метод вариации произвольной постоянной

$$\frac{d\tilde{c}_2}{dt} = -\frac{q_0 A_5}{HL} e^{-\left(\lambda - \frac{k_2}{\mu_3 m_2}\right)t} + \frac{k_2}{\mu_3 m_3} \left[e^{-\left(\gamma - \frac{k_2}{\mu_3 m_2}\right)t} + A_5 e^{\frac{k_2}{\mu_3 m_2} t} \right].$$

Интегрируя, найдем

$$\tilde{c}_2 = -\frac{q_0 A_5}{HL \left(\lambda - \frac{k_2}{\mu_3 m_2} \right)} e^{-\left(\lambda - \frac{k_2}{\mu_3 m_2}\right)t} - \frac{k_2 e^{-\left(\gamma - \frac{k_2}{\mu_3 m_2}\right)t}}{\mu_3 m_3 \left(\gamma - \frac{k_2}{\mu_3 m_2} \right)} + A_5 e^{\frac{k_2}{\mu_3 m_2} t} + c_2. \quad (24)$$

Подставляя (24) в (23), получим решение относительно $\psi(t)$

$$\psi(t) = \frac{1}{e^{-\gamma t} + A_5} \left[A_5 + c_2 e^{-A_8 t} + \frac{q_0 A_5 e^{-\lambda t}}{HL(\lambda - A_8)} - \frac{A_8 e^{-\gamma t}}{\gamma - A_8} \right],$$

где $A_8 = \frac{k_2}{\mu_3 m_2}$

Здесь необходимо определить интенсивность инфильтрации. Ее можно найти из уравнения (5)

$$\varepsilon(t) = \mu_1 \frac{d\beta}{dt} + \left(\frac{k_2}{m_2} - 2k_1 \alpha \right) \beta - \frac{k_2}{m_2} \psi(t). \quad (25)$$

Подставляя $\frac{d\beta}{dt}$, β , α , ψ в (25), получим

$$\varepsilon(t) = (H_{M0} - H) \left\{ \left(e^{-\gamma t} + A_5 \right) \left[\frac{k_2}{m_2} + \frac{k_1 q_0}{LT} \cdot \frac{e^{-\gamma t} (1 - q_0 A_4 e^{-\gamma t} - c_1 e^{-A_1 t})}{1 + A_2 (q_0 A_4 e^{-\gamma t} + c_1 e^{-A_1 t})} \right] - \mu_1 \gamma e^{-\gamma t} \right\} - \frac{k_2}{m_2 (e^{-\gamma t} + A_5)} \left[A_5 + e^{-A_8 t} + \frac{q_0 A_5 e^{-\lambda t}}{HL(\lambda - A_8)} - \frac{A_8 e^{-\gamma t}}{\gamma - A_8} \right].$$

В формулах, определяющих положение УГВ и напора при работе открытого систематического горизонтального дренажа, входят произвольные константы c_1 и c_2 . Их можно определить следующим образом.

Пусть в начальный момент времени на стенке дренажа $x = l$ известно положение УГВ $y = H_0$. Тогда из первого уравнения системы (2) следует

$$\frac{H_{\text{мд}} - H_{\text{д}}}{(L-l)^2} = \frac{q_0}{2LT} \cdot \frac{1 - q_0 A_4 - c_1}{1 + A_2(q_0 A_4 + c_1)}.$$

Отсюда находим

$$c_1 = \frac{1 - q_0 A_4 - (1 + A_2 A_4 q_0) \Omega}{1 + A_2 \Omega},$$

где
$$\Omega = \frac{2LT(H_{\text{мд}} - H_{\text{д}})}{q_0(L-l)^2}.$$

Обозначим напор при $x = 0$ в начальный момент времени через $H_0 = h(0,0)$.

Из (2) получим соотношение

$$H_0 = \varphi(0)\alpha(0)L^2 + H_{\text{мд}}\psi(0),$$

используя которое, находим

$$c_2 = \frac{1 + A_5}{H_{\text{мд}}} \left(H_0 - \frac{q_0 L}{2T} \right) + A_5 \left(\frac{A_8}{A_5(\gamma - A_8)} - \frac{1}{HL(\lambda - A_8)} - 1 \right).$$

Таким образом, получено решение задачи неустановившейся фильтрации к систематическому комбинированному дренажу в трехслойной среде, описываемой нелинейной системой уравнений в частных производных параболического типа.

Положение УГВ на основе полученных результатов определяется формулой

$$y(x,t) = -\frac{q_0}{2LT} \frac{e^{-\lambda t} (1 - q_0 A_4 e^{-\lambda t} - c_1 e^{-A_4 t})}{1 + A_2 (q_0 A_4 e^{-\lambda t} + c_1 e^{-A_4 t})} (L-x)^2 + H + (H_{\text{мд}} - H) e^{-\gamma t}.$$

Здесь входящими параметрами λ и γ можно регулировать скорость снижения УГВ.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Олейник А.Я. Геогидродинамика дренажа. Киев: Наукова думка, 1981. –283с.

Ташкентский институт ирригации и
мелиорации

Дата поступления
11.04.2009

**УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ И СООБЩЕНИЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ
«ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ» В 2009 г.**

	<i>Номер журнала</i>
Абдуллаев И.С. Изменение структуры инвестиций в основной капитал Хорезмской области Республики Узбекистан	4
Абдугафаров А., Аллаяров Ф. Модель обеспечения текущего баланса бюджета.....	6
Абдугафаров А., Мирзаев Х.М. Моделирование способов организации оплаты за ресурсы.....	1
Абидов Б.Р., Севинов Ж.У. Алгоритмы устойчивого оценивания параметров линейных динамических объектов управления.....	6
Абуталиев Ф.Б., Назирова Э.Ш. Автоматизация вычислительных расчетов задач фильтрации многофазных жидкостей в пористой среде.....	6
Агзамов С.А., Левченко Э.П. Анализ и оценка состояния информационной безопасности систем управления стратегически важными объектами.....	5
Агзамов С.А., Левченко Э.П. Оценка показателей эффективности и критериев оптимальности обеспечения информационной безопасности систем управления стратегически важными объектами.....	6
Адылова Ф.Т., Давронов Р., Кузиев Б.Н. Алгоритмические проблемы биоинформатики и подходы к их решению.....	5
Азимов Б.М., Кубаев С.Т. Моделирование и управление испытательными системами хлопкоуборочных машин при различных состояниях их равновесия.....	3
Азимов Б.М., Мамиров У. Минимизация энергозатрат при оптимальном управлении приводными механизмами пневмоочистительной системы технологических машин.....	4
Азимов Б.М., Сулюкова Л.Ф. Математическое моделирование функционирования и оптимальное управление приводными механизмами машиноиспытательного комплекса.....	2
Аллабергенов Б.Р. Лингвистическое моделирование проблемы обеспечения информационной безопасности.....	5
Алимова Н.Б. Математическая модель управляемого генератора тока.....	6
Алимова Н.Б. Управляемый генератор тока.....	5
Алоев Р.Д., Мухамедиева Д.Т., Абдурахмонов Т.Т., Мухамедиева Д.К. Задача оптимизации учебного плана при нечеткой исходной информации....	4
Арипов М.М., Туйчиев Г.Н. Сбалансированная функциональная сеть Фейстеля.....	4
Ахатов А.Р., Жуманов И.И. Оценка потенциальных возможностей методов контроля достоверности информации в системах электронного документооборота.....	2
Ахмаджонов А. Обеспечение защиты информации от потерь и разрушения в компьютерных сетях.....	5
Бабамуратов К.Ш. Экспериментальные исследования законов пластичности в пространствах А.А. Ильюшина.....	2
Баклушин М.Б., Кодиров К.Р. Способ управления напором галерей скважин при нахождении уровня подземных вод со свободной поверхностью	1
Бедиллов Р.М., Жумабаев И.Э., Маматходжаев В.Н., Усманов Р. Т., Эргашев М.И. Частичное восстановление видеоинформации, теряемой вследствие двухстороннего ограничения сигнала ошибки в резких переходах яркости в видеоинформационной системе высокой четкости с кодер-декодером.....	5
Белова Л.Н., Гаюбов Ш.Н., Иванова Е.В., Соколов В.К.. Доведение уровня профессиональной подготовленности персонала в сфере телекоммуникаций до уровня современных стандартов качества.....	4
Бердиев Р.К. Моделирование неустановившейся фильтрации в трехслойной среде при наличии комбинированного дренажа.....	6
Бобаназаров Ш.П. Математическое моделирование задачи о динамической устойчивости вязкоупругой прямоугольной пластины, лежащей на вязкоупругом основании.....	5
Бурас К. Стоимостная оптимизация объединения локальных компьютерных сетей.....	2

Васиков А.Р., Салихов Т.П., Гараев З.Н. О количественной оценке уровня энергетической безопасности страны.....	6
Васиков А.Р., Салихов Т.П., Есбергенова А.С. К вопросу о количественной оценке степени диверсификации видовой структуры энергопотребления.....	5
Васиков А.Р., Салихов Т.П., Одамов У.О. О закономерностях изменения видовой структуры энергопотребления.....	4
Гильдиева А.С., Хидиров Б.Н., Сайдалиева М. Моделирование механизмов управления численностью клеточных сообществ эпидермиса.....	3
Дадажанов Т.К., Нусратов Т.С., Усманов В.А., Эшкабилов С.Л. Вопросы теории системной алгоритмизации В.К. Кабулова.....	1
Далимов Р.Т. Задача оптимального сочетания снижения ставки налогообложения и стимулирования экономического роста.....	2
Джумабаев Х.Р., Халтурсунов Э.Б. Алгоритмическое и программное обеспечение оптимизации сети автозаправочных станций города.....	4
Джуманов О.И. Снижение погрешности данных обучающего подмножества при нейросетевой обработке информации нестационарного процесса.....	3
Джуманов О.И. Алгоритм контроля погрешности выхода нейросетевой системы обработки информации нестационарного процесса по условным моментам	4
Жакбаров О.О., Эргашев Б.Б. Создание пакета прикладных программ для оптимального управления процессом фильтрации при разработке газового месторождения Денгизкуль-Хаузак	3
Жуманов И. И., Ахатов А.Р. Программные методы повышения достоверности информации на уровне сетевых служб многоуровневой модели OSI.....	3
Зайниев Д.Н. Сетевой анализ систем проектирования.....	3
Заргаров Ш.А., Бурас К. Управление передачей данных для взаимодействия знаковых терминалов с пакетными.....	3
Зиядуллаев Д.Ш. Формализация вопросов и критериев управления силами и средствами при криминогенных ситуациях.....	2
Игамбердиев Х.З., Базаров М.Б. Вычислительная процедура для определения интервального вектора параметров адаптивного регулятора.....	1
Игамбердиев Х.З., Зарипов О.О. Регулярные алгоритмы оценивания состояния динамических систем на основе концепций адаптивной фильтрации.....	6
Игнатъев Н.А., Мадрахимов Ш.Ф., Юлдашов Р.У. Искусственные нейронные сети с минимальной конфигурацией и задачи прогнозирования в метеорологии	1
Исаков А.Ж. Обоснование оптимального уровня концентрации предприятий энергетического сервиса в сельских районах.....	2
Исаков А.Ж. Сервис энергетического оборудования в рыночных условиях.....	3
Исламов Б.И., Кадушкин В.Н., Арзуметова М.С., Савинов А.И., Литвинов С.Н., Саматов М.М. Разработка автоматизированной системы мониторинга водно - химического режима на водоподготовительной установке ТАШТЭС.....	5
Ишназаров О.Х. Имитационная модель частотно-регулируемых электроприводов пульсонасосов горнорудной промышленности.....	6
Кабильджанов А.С. Интеллектуально - алгоритмический подход к построению статических моделей объектов управления.....	6
Камалов Т.С., Габриелян А.Г. Повышение эффективности использования моторных топлив и подходы к их нормированию.....	2
Камалов Т.С., Муминов К., Тоиров О.З. Математические модели электромеханических процессов в асинхронном двигателе при переменной частоте управления.....	4
Камалов Т.С., Тоиров О.З. Энергосберегающий электропривод и вопросы выбора преобразователя частоты.....	1
Камалов Т.С., Тоиров О.З., Сайфуллаева Л.И. Регулируемый электропривод конвейерных установок и алгоритм их выбора.....	6
Кубаев С.Т. Исследование курсовой устойчивости движения хлопкоуборочных машин ...	2
Кубаев С.Т. Разработка алгоритма оптимального рулевого управления движением в процессе стендовых испытаний хлопкоуборочных машин.....	4
Мадрахимов Ш.Ф., Хуррамов А. Х. Обобщенные показатели как значения функций принадлежности.....	6
Марасулов А.Ф. Информационно-технологический образовательный процесс среднего	

специального, профессионального образования.....	5
Медетов С.К. Программный инструментарий "Стохастическая оптимизация".....	1
Миралимов М. Х. Пути внедрения элементов компьютерного моделирования для проектирования городских транспортных развязок и пересечений.....	4
Мухамедиева Д.Т. Генетический алгоритм решения задачи оптимального использования торговых агентов.....	2
Мухамедиева Д.Т. Применение рекуррентных нейронных сетей в решении задач оптимального исследования рынка.....	3
Мухамедиева Д.Т., Солиева Б.Т., Примова Х. Оптимизационные модели слабо формализуемых процессов в нечеткой среде.....	5
Набиев Т.О., Хакназаров А.Т. Логистическая система транспортировки газоконденсата и нефтепродуктов.....	3
Назаров А.И. Влияние параметров внешней среды на частоту заболеваемости стенокардией	4
Назиров Ш.А., Альпеев Д.В. Системы оценки, определяющие изображение лица человека в соответствии со стандартами ICAO/ISO.....	1
Назиров Ш.А., Атаджанов Ж.А. Алгоритм хранения библиографических записей в базе данных в корпоративном каталоге.....	5
Назиров Ш.А., Фролов В.Н., Окбоева Н. Решение основных уравнений температурно-стратифицированных течений рекуррентно-операторным методом.....	3
Насиров Т.Х., Васильев В.Г., Шаисматов С.Э. Методы определения потерь в электрических сетях на основе АСКУЭ.....	1
Насыров Т.Х., Гайибов Т.Ш., Самаджонов Э.М. Единый алгоритм оптимизации режимов электрических сетей по напряжениям узлов и коэффициентам трансформации контурных трансформаторов.....	3
Насыров Т.Х., Гайибов Т.Ш., Самаджонов Э.М. Учет ограничений при оптимизации режимов электрических сетей по напряжениям узлов и коэффициентам трансформации контурных трансформаторов.....	4
Насритдинов Г. Рациональный метод решения задачи оптимального потребительского выбора с линейным и нелинейным бюджетным ограничениями.....	1
Нусратов Т.С., Талипова Н.Т. Нормализация рискованных ситуаций на основе алгоритмов вычисления изоморфизма производственных графов	5
Пирниязова П. М. Решение пространственной задачи диффузии рекуррентно-операторным методом.....	2
Равшанов Н., Шарипов Д.К., Абдурахманов Б. Численно-аналитическое решение задачи технологического процесса ионообменного фильтрования суспензии.....	6
Раджабов Б.Ш., Бойназаров И.М. Технология проведения дистанционного тест-контроля на основе WEB- технологий	4
Раджабов Б.Ш., Хидирова Ч.М. Программное обеспечение создания виртуальных учебных пособий в целях виртуализации учебного процесса.....	6
Садуллаев Н.Н. Обобщенный показатель эффективности системы электроснабжения промышленного предприятия.....	2
Садуллаев Н.Н. Оптимизация параметров в системе внутривзаводского электроснабжения.....	3
Саидахмедов Ш.Х. Сетевые модели Петри протокола UDP (User Datagram Protocol - Протокол пользовательских дейтаграмм).....	2
Саидахмедов Ш.Х. Сетевые модели Петри протокола SNMP (Simple network management protocol – Протокол адаптивной коммутации).....	6
Салахутдинов В.Х., Керимов К.Ф. Технология WEB MINING обнаружения вредоносного содержимого на WEB-страницах.....	6
Салихов Ш.И. Исследование и анализ основных характеристик буферных запоминающих устройств при построении автоматизированной системы обработки информации	3
Салихов Ш.И., Норматов И.Х. К анализу модели автоматизированной системы обработки информации со случайными потоками информации	5
Сиддиков Р.У. Задача оптимизации движения производственных роботов в переменных условиях.....	6
Тухтасинов М.Т. Методы определения и сопоставления геометрических признаков на	

профильном изображении лица в задачах идентификации личности.....	2
Улжаев Э. Улучшение точностных характеристик специализированных микропроцессорных устройств контроля работы узлов сельхозмашин.....	3
Усманова Н.Б., Кушакова Н.Г. Способ уменьшения времени задержки пакетов фрактального трафика на основе многокоординатной ассоциативной среды.....	1
Фозилова М.М. Системный анализ производственных систем с рециклом материальных потоков.....	6
Фазылов Ш.Х., Махкамов А.А., Жумаев Т.С. Геометрическое нормирование изображений ушных раковин в разных ракурсах при идентификации личности	5
Фазылов Ш.Х., Мирзаев Н.М., Мурадов Ф. А. Построение линейных разделяющих функций в условиях взаимосвязанности признаков.....	1
Фазылов Ш.Х., Тавбоев С.А., Юсупов Р.М. Теоретические основы моделирования учебного процесса на основе нечетких множеств.....	4
Хакбердиев Д.М., Исмаили А.Х. Системный анализ объектов комплексной подготовки природного газа.....	1
Хамдамов Р.Х., Ялгашев О. Об одном подходе к разработке гибридного алгоритма шифрования рюкзачного типа с параметрической адаптацией.....	5
Хидиров Б.Н., Сайдалиева М., Хидирова М.Б. Уравнения регуляtorики и оптимальное управление живыми системами.....	1
Ходжаев Т.Т., Ганиева Н.А., Ходжаев Ш.Т. Принципы формирования и оценки достоверности моделей структурной идентификации объектов газоснабжения.....	4
Ходжиев С., Аvezов А.Х. Исследование влияния соотношения сторон прямоугольного сопла на параметры диффузионного факела.....	5
Худайберганов К.Т., Абдуллаева М. Модели развития организации в условиях рыночной экономики.....	2
Шарипов У.Б., Худаяров М.Б. Программа расчёта режима и потерь электроэнергии в распределительных сетях при интервальном характере исходной информации.....	1
Б.Б.Эргашев, Б.С.Эргашев, Н.А.Ниязова. Принятие решений при обеспечении эффективного изменения в газо-водяном контакте на месторождении Северный Нишан.....	2
Эрназаров Ш.Н. Алгоритм идентификации спектральной информации лазерно- индуцированной флуоресценции растений.....	1
Якубов М.С., Левченко Э.П. Организационная структура, функционирование, применение и техническая эксплуатация комплексной системы защиты информации стратегически важных объектов.....	1

СОДЕРЖАНИЕ

Информатика и управление

Х.З.Игамбердиев, О.О.Зарипов. Регулярные алгоритмы оценивания состояния динамических систем на основе концепций адаптивной фильтрации.....	3
А.С. Кабильджанов. Интеллектуально - алгоритмический подход к построению статических моделей объектов управления.....	11
А.Абдугафаров, Ф.Аллаяров. Модель обеспечения текущего баланса бюджета.....	16
Р.У.Сиддиков. Задача оптимизации движения производственных роботов в переменных условиях.....	18
Н.Б. Алимова. Математическая модель управляемого генератора тока.....	22
Б.Р.Абидов, Ж.У.Севинов. Алгоритмы устойчивого оценивания параметров линейных динамических объектов управления.....	26
Н. Равшанов, Д.К. Шарипов, Б. Абдурахманов. Численно-аналитическое решение задачи технологического процесса ионообменного фильтрования суспензии.....	30
М.М.Фозилова. Системный анализ производственных систем с рециклом материальных потоков.....	36

Энергетика

Т.С.Камалов, О.З.Тоиров, Л.И. Сайфуллаева. Регулируемый электропривод конвейерных установок и алгоритм их выбора.....	41
А.Р.Васиков, Т.П.Салихов, З.Н.Гараев. О количественной оценке уровня энергетической безопасности страны.....	49
О.Х. Ишназаров. Имитационная модель частотно-регулируемых электроприводов пульпонасосов горнорудной промышленности.....	58

Информационные и телекоммуникационные технологии

Ф.Б.Абуталиев, Э.Ш. Назирова. Автоматизация вычислительных расчетов задач фильтрации многофазных жидкостей в пористой среде	66
Ш.Х. Саидахмедов. Сетевые модели Петри протокола SNMP (Simple network management protocol – Протокол адаптивной коммутации).....	73
Б.Ш.Раджабов, Ч.М. Хидирова. Программное обеспечение создания виртуальных учебных пособий в целях виртуализации учебного процесса.....	78
Ш.Ф. Мадрахимов, А. Х. Хуррамов. Обобщенные показатели как значения функций принадлежности.....	82
В.Х.Салахутдинов, К.Ф.Керимов. Технология WEB MINING обнаружения вредоносного содержимого на WEB-страницах.....	87
С.А.Агзамов, Э.П.Левченко. Оценка показателей эффективности и критериев оптимальности обеспечения информационной безопасности систем управления стратегически важными объектами..	90
Р.К.Бердиев. Моделирование неустановившейся фильтрации в трехслойной среде при наличии комбинированного дренажа.....	94
Указатель статей и сообщений, опубликованных в журнале «Проблемы информатики и энергетики» в 2009 г.....	100

МУНДАРИЖА

Информатика ва бошқарув

Х.З.Игамбердиев, О.О.Зарипов. Адаптив филтрлаш концепциялари асосида динамик системаларнинг ҳолатини мунтазам баҳолаш алгоритмлари.....	3
А.С. Кабильджанов. Бошқарув объектлари статик моделини тузишга интеллектуал-алгоритмик ёндашув.....	11
А.Абдуғафаров, Ф.Аллаяров. Бюджет жорий балансини таъминлаш модели.....	16
Р.Ў.Сиддиқов. Саноат роботининг ўзгарувчан шароитдаги ҳаракатида оптималлаштириш масаласи.....	18
Н.Б. Алимова. Бошқарилувчи ток генераторининг математик модели.....	22
Б.Р.Абидов, Ж.У.Севинов. Чизиқли динамик бошқарув объектларининг параметрларини турғун баҳолаш алгоритмлари.....	26
Н. Равшанов, Д.К. Шарипов, Б. Абдурахманов. Ионли аралашмаларни тозалаш технологик жараёнларини чекли – аналитик ечими.....	30
М.М.Фозилова. Моддий оқимлари рецикли ишлаб чиқариш системаларини тизимли таҳлиллаш.....	36

Энергетика

Т.С.Камалов, О.З. Тоиров Л.И. Сайфуллаева. Конвейерли қурилмаларнинг бошқарилувчи электр юритмалари ва уларни танлаш алгоритми.....	41
А.Р.Васиков, Т.П.Салихов, З.Н.Гараев. Мамлакатнинг энергетик хавфсизлик даражасини сонли баҳолаш ҳақида.....	49
О.Х. Ишназаров. Тоғ – кон саноатида частотавий ростланадиган пульпонасос электроюритмасининг имитацион модели.....	58

Ахборотли ва телекоммуникацияли технологиялар

Ф.Б.Абуталиев, Э.Ш.Назирова. Ғовак муҳитларда кўп фазали суюқликларнинг филтрланиш масаласини ечишнинг ҳисоблаш ишларини автоматлаштириш.....	66
Ш.Х. Саидахмедов. SNMP (адаптив коммутация) баённомасининг Петри тўрларидаги андозалари.....	73
Б.Ш.Раджабов, Ч.М. Хидирова. Ўқув жараёнини виртуаллаштириш мақсадида виртуал ўқув қўлланмалари яратишнинг дастурий таъминоти	78
Ш.Ф.Мадрахимов, А.Ҳ.Хуррамов. Умумлашган кўрсаткичлар тегишлилик функцияси қийматлари сифатида.....	82
В.Х.Салахутдинов, К.Ф.Керимов. Web-саҳифа манбаларда вирусларни топиш Web Mining технологияси.....	87
С.А.Агзамов, Э.П.Левченко. Стратегик муҳим объектларни бошқариш тизимини хавфсизлигини ахборот таъминотининг оптималлик мезонлари ва самарадорлиги кўрсаткичларини баҳолаш..	90
Р.К.Бердиев.Кудуклар тизимида уч қатламли муҳитда турғунмас филтрация жараёнини моделлаштириш.....	94
2009 йилда «Информатика ва энергетика муаммолари» журналида чоп этилган мақола ва ахборотларнинг кўрсаткичи.....	100

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ ДЛЯ ЖУРНАЛА

“ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ”

Статьи, представленные в редакцию, должны отвечать следующим требованиям:

1. Статья должна быть не более 6 страниц машинописного текста, научные сообщения - 3-4 страницы, набранные в текстовом редакторе WinWord 7.2-2000, шрифт «Times New Roman Cyr», разм. 13 пт.

Текст печатается на одной стороне страницы через 2 интервала с полями сверху, снизу и с левой стороны не менее 3 см, с правой – 1 см. Страницы нумеруются единой нумерацией, включая таблицы и литературу.

2. Рукопись должна быть подписана всеми авторами и представлена в укомплектованном виде: иметь направление от учреждения, в котором выполнена работа, акт экспертизы (2 экз.), оформленный в соответствии с существующими требованиями, авторскую справку.

В редакцию журнала сдаются 2 экз. статьи твердой копии и электронный вариант.

3. В тексте на таблицы необходимо давать ссылки. Таблицы и ее графы должны иметь краткие заголовки, написанные полностью, без сокращений.

4. Рисунки должны быть нарисованы (или сканированы) в графическом редакторе Word-сгруппированием.

5. Формулы тщательно выверены.

6. Размерность всех приведенных величин должна соответствовать Международной системе единиц измерений.

7. На первой странице статьи указываются УДК (слева), затем – инициалы и фамилия автора, название статьи.

После списка литературы указываются институт или организация, представившая статью, дата поступления, на отдельной странице – контактный телефон автора или курируемого лица.