

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И.Носова»

**ПРИЛОЖЕНИЕ МАТЕМАТИКИ  
В ЭКОНОМИЧЕСКИХ  
И ТЕХНИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЯХ**

Сборник научных трудов

Под редакцией М.В.Бушмановой

Выпуск 1

Магнитогорск  
2007

УДК 51:330.4:62:378(06)

Редакционная коллегия:

Профессор, кандидат физико-математических наук  
***М.В.Бушманова*** (главный редактор)

Профессор, доктор технических наук  
***В.М.Салганик***

Профессор, доктор экономических наук  
***В.С.Мхитарян***

**Приложение математики в экономических и технических исследованиях:** Сборник науч. тр. / Под ред. Бушмановой М.В. Вып. 1. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. – 195 с.  
ISBN 978-5-89514-899-0

УДК 51:330.4:62:378(06)

ISBN 978-5-89514-899-0

© ГОУ ВПО «МГТУ», 2007

# **ПРИЛОЖЕНИЕ МАТЕМАТИКИ В ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

---

УДК 621.74:669.046

**Б.Н.Парсункин, С.М.Андреев, С.В.Булычева,  
М.В.Усачев, Е.С.Михальченко**  
ГОУ ВПО «МГТУ»

## **ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ ДОВОДКИ СТАЛИ В АГРЕГАТЕ ПЕЧЬ-КОВШ С ЦЕЛЬЮ МИНИМИЗАЦИИ СЕБЕСТОИМОСТИ ПРОЦЕССА**

За последние десятилетия в металлургическом производстве утвердилась новая концепция производства стали. Для повышения общей производительности сталеплавильного производства конвертера и электродуговые печи используются главным образом для расплавления шихты и доведения температуры расплава до определенной температуры. Сталь с заданным составом, качеством и необходимой технологической температурой получают в агрегатах внепечной доводки стали печь-ковш.

Энергетический режим доводки стали в агрегате печь-ковш обеспечивается за счет использования электрической энергии, которая преобразуется в тепловую в электрических дугах, горящих между жидким металлом и графитированными электродами.

Технологическая схема процесса доводки стали в агрегате печь-ковш (АПК) представлена на рис.1.

Сталеразливочные ковши, обслуживающие агрегаты печь-ковш, должны быть снабжены продувочными устройствами для перемешивания металла для интенсификации нагрева металла.

В качестве конкретного примера исследования в данной работе выбран двухпозиционный АПК, изготовленный немецкой фирмой «Фукс-СистемТехник» для ККЦ ОАО «ММК» в 2000 г.

Энергетический режим работы АПК определяется режимами работы печного трансформатора на пяти рабочих ступенях напряжения, представленных в табл. 1.

Изменение энергетической мощности, подводимой к АПК, можно осуществить двумя способами:

- изменением величины напряжения питания, подводимого к электродам за счет переключения ступеней печного трансформатора;
- при выбранной ступени печного трансформатора изменением длины дуги путем перемещения электрода в каждой фазе индивидуально.

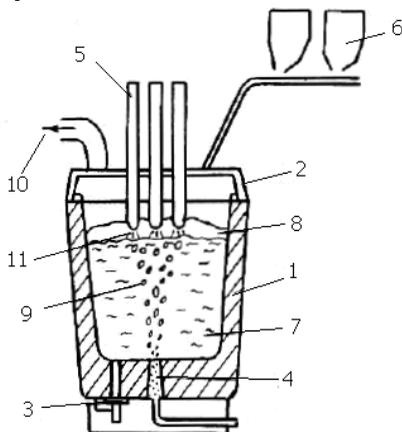


Рис. 1. Технологическая схема обработки металла в АПК:

- 1 – сталеразливочный ковш; 2 – крышка ковша; 3 – шиберный затвор для разливки стали; 4 – пористая пробка для подачи аргона при продувке металла; 5 – электроды; 6 – расходные бункера для раскисляющих, легирующих и шлакообразующих добавок сыпучих материалов; 7 – жидкий металл; 8 – основной восстановительный шлак; 9 – пузыри продувочного газа (аргона); 10 – отходящие технологические газы; 11 – электрические дуги, горящие в слое шлака

Таблица 1

Режим работы печного трансформатора агрегата  
печь-ковш в ККЦ ОАО «ММК»

Ступень	8	10	12	14	16
Напряжение холостого хода, В	398	413	431	449	470
Ток электродов, кА	44	46	49	51	53
Активная мощность, МВт	24	26	29	31	33
Реактивная мощность, МВАг	16	17	18	20	22
Длина дуги, мм	120	130	140	150	160
Мин. необх. толщина шлака, мм	150	160	170	180	195
Скорость нагрева, °С/мин	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0

Для расчета себестоимости процесса доводки стали в АПК необходимо определить основные электрические и технологические параметры, определяющие этот важный экономический показатель эффективности процесса доводки стали в АПК.

Электрические дуги в АПК представляют собой активные нагрузки, включенные по схеме «звезда», где общей точкой является жидкий металл.

При упрощенной схеме замещения сети питания подводимая к электроду (активная) мощность определяется по формуле (1):

$$P_a = I_p \sqrt{U^2 - I_p^2 X^2}, \quad (1)$$

где  $I_p$  – контролируемая величина рабочего тока дуги, А;  $U$  – напряжение питания ступени напряжения, В;  $X$  – индуктивное сопротивление короткой цепи, Ом.

Величина электрической мощности, выделяемой в дуге,  $P_\partial$  определяется соотношением (2):

$$P_\partial = P_a - P_{\text{э.н.}} = P_a - I_p^2 r, \quad (2)$$

где  $P_{\text{эп}}$  – мощность электрических потерь в короткой цепи;  $r$  – активное сопротивление короткой цепи.

Величина полезной мощности, используемой в АПК –  $P_{\text{пол}}$ , определяется соотношением (3):

$$P_{\text{пол}} = P_\partial - P_{\text{м.п.}}, \quad (3)$$

где  $P_{\text{м.п.}}$  – тепловые потери АПК в процессе доводки стали.

На себестоимость технологического процесса доводки стали в АПК оказывают заметное влияние производительность агрегата и затраты электрической энергии. Установлено [1], что максимальная часовая производительность электродуговых технологических агрегатов прямо пропорциональна величине электрической мощности, выделяемой в дуге.

В соответствии с упрощенной методикой расчета [1], стоимость доводки одной тонны стали  $C$  может быть приближенно определена в соответствии с выражением (4):

$$C = \Gamma + \Delta W_{\text{нещ}} \left[ \frac{B}{G_M N} \cdot \frac{1}{P_\partial + P_{\text{м.п.}}} + \frac{B}{1000} \left( 1 + \frac{P_{\text{м.п.}} + P_{\text{э.н.}}}{P_\partial - P_{\text{м.п.}}} \right) \right], \quad (4)$$

где  $\Gamma = A + \frac{B \cdot T_p}{G_M N} + \frac{B}{1000} \omega_{\text{нагр}}$ ;  $N$  – число часов работы печи в ме-

сяц;  $T_p$  – продолжительность цикла работы агрегата печь-ковш при доводке одного ковша стали;  $\omega_{\text{уд}}$  – средний удельный расход электрической энергии на нагрев тонны стали;  $G_M$  – масса металла в

сталеразливочном ковше;  $\Delta W_{печи}$  – часть тепловой энергии, выделяемой в дуге за время процесса, которая остается в ковше.

Величина  $A$  является неизменной составляющей доводки 1 т стали в АПК, которая включает заработную плату технологического персонала, стоимость огнеупоров и других составляющих, величина которых растет пропорционально производительности АПК.

Величина  $B$  в случае, если в цехе имеется только одна АПК, определяется суммой постоянных месячных расходов цеха, не связанных с обработкой стали в АПК. Сюда относятся расходы на эксплуатацию кранов, содержание персонала и подсобных рабочих, расходы по амортизации и ремонту оборудования, расходы на аргон и воду, оплату услуг вспомогательных цехов, общезаводские накладные расходы и т.п.

Величина  $B$  определяется стоимостью 1000 кВт\*ч электроэнергии и электродов, расход которых полагается пропорциональным затраченной на процесс электроэнергии.

Удельный расход электроэнергии на обработку 1 т металла в АПК определяется следующим образом (5):

$$\omega_{y\partial} = \frac{\Delta W_{печи}}{G_m} \cdot \left(1 + \frac{P_{э.п.} + P_{м.п.}}{P_{\partial} - P_{м.п.}}\right). \quad (5)$$

Для 370 т агрегата печь-ковш тепловые потери за время доводки стали при прогревом ковше с жидкой сталью принимаем постоянными и равными 1500 кВт.

Время доводки  $T$ , определяющее производительность АПК в соответствии с [1] определяется ориентировочно по формуле (6):

$$T_p = \frac{\Delta W_{печи}}{P_{\partial} - P_{м.п.}}. \quad (6)$$

Необходимые данные для расчетов коэффициентов  $A$ ,  $B$ ,  $V$ ,  $\Gamma$  взяты из [2], [3], [4] для 370 т агрегата печь-ковш ККЦ ОАО «ММК»:  $A=10.88$  руб.;  $B=147.9$  руб.;  $V=157.24$  руб/1000 кВтм;  $N=422$  ч.;  $T_p=45$  мин;  $P_{м.п.}=1500$  кВтм;  $\omega_{y\partial}=6450$  кВтм/т;  $\Delta W_{печи}=25800$  кВтм\*ч.

Расчетные рабочие статические характеристики энергетического режима, определяющие зависимости: величины подводимой активной мощности  $P_a$ ; мощности, выделяемой в электрической дуге,  $P_{\partial}$ ; мощности электрических потерь –  $P_{э.п.}$ ; коэффициента использования электрической мощности  $\cos \varphi = \sqrt{1 - \left(\frac{I_p \cdot X}{U}\right)^2}$ ; продолжительности времени обработки стали  $T_p$  и себестоимости об-

работки тонны стали в АПК –  $\zeta$  от величины рабочего тока дуги при ступени напряжения печного трансформатора 398 В приведены на рис.2.

Зависимость  $\zeta=f(I_p)$  позволяет оценить влияние величины рабочего тока (длины дуги) на себестоимость выплавляемой стали при постоянной ступени напряжения питания.

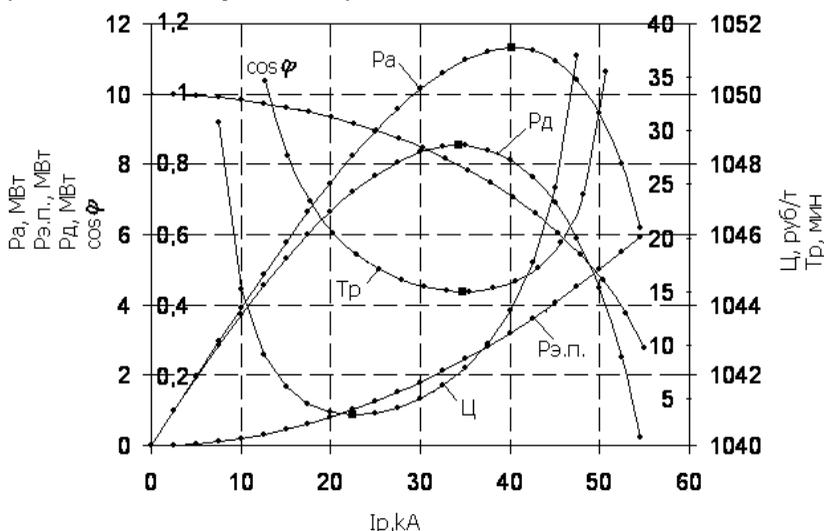


Рис.2. Расчетные статические рабочие характеристики электрических, производственных и экономических показателей от тока дуги при  $U=398$  В,  $r=0.00204$  Ом и  $X=0.007$  Ом

Анализ полученных зависимостей показывает, что минимальное время обработки металла в АПК  $T_{Pmin}$ , определяющее величину максимальной часовой производительности АПК, достигается при максимально возможной мощности, выделяемой в дуге  $P_d_{max}$ . При этом минимум себестоимости доводки стали не совпадает с минимумом времени доводки стали и обеспечивается при меньших токах дуги, т.к. при этом меньше электрические потери и больше значение  $\cos \phi$ .

В реальных производственных условиях обеспечение максимально возможной производительности АПК или минимально возможной продолжительности процесса доводки и нагрева стали является более приоритетной задачей. Поэтому при оптимизации управления энергетическим режимом АПК в качестве критерия и цели управления следует принять определение и поддержание максимально возможного значения электрической мощности, вы-

деляемой в дуге (2)  $P_{\delta \max}$ . Из анализа полученных расчетных зависимостей для различных ступеней печного трансформатора следует, что минимальное значение  $\underline{U}_{\min}$  достигается при более высоких значениях напряжения питания. Причем первоначально при увеличении тока дуги от  $I_p$ , соответствующего минимуму  $\underline{U}_{\min}$  до значения  $I_p$ , соответствующего максимуму мощности, выделяемой в дуге,  $P_{\delta \max}$  (см. рис.2) изменение значения  $\underline{U}=f(I_p)$  незначительно.

Отличительной особенностью изменения электрических контролируемых параметров энергетического режима АПК являются:

- наличие интенсивных высокочастотных помех;
- резкое (скачкообразное) изменение рабочих статических характеристик при переключении ступеней напряжения трансформатора;
- незначительные величины постоянной времени и времени запаздывания, характеризующих динамические свойства оптимизируемого процесса.

Учитывая отмеченные особенности, для оптимизации энергетического режима АПК наиболее целесообразно использовать систему автоматической оптимизации (САО) управления по величине и знаку интегральной оценки отклика (реакции) оптимизируемого параметра процесса  $P_{\delta}(t)$  на пробное тестирующее входное воздействие: изменение величины рабочего тока при перемещении электрода фазы по специальной рабочей траектории.

Суть метода заключается в следующем. После выполнения процедуры зажигания дуги при  $I_p=I_{кз}$  электрод перемещается вверх для уменьшения тока технологического короткого замыкания. При движении электрода вверх непрерывно контролируется расчетное (2) значение мощности, выделяемой в дуге. Движение электрода подчиняется следующему условию (7):

$$I_p(\tau) = I_{кз} + \sigma(\tau) \cdot k_{ум} \cdot \tau \text{ при } \sigma(\tau) \in (-1; 0; +1), \quad (7)$$

где  $\sigma(\tau)$  – знаковая функция, определяющая текущее направление перемещения электрода: при  $\sigma=-1$  электрод движется вверх – величина тока уменьшается; при  $\sigma=0$  электрод остановлен; при  $\sigma=+1$  движение электрода вниз на увеличение рабочего тока (уменьшение длины дуги);  $k_{ум}$  – постоянная скорость перемещения электрода.

После зажигания дуги управление движением электрода осуществляется в соответствии с условием (8):

$$\text{если } dP_a(\tau)/d\tau > 0, \text{ то } \sigma(\tau+1) = \sigma(\tau) = -1; \quad (8)$$

$$\text{если } dP_a(\tau)/d\tau < 0 \text{ и } dP_a(\tau)/d\tau + (dP_a(\tau)/d\tau)_H < 0, \text{ то } \sigma(\tau+1) = 0.$$

Это означает, что направление перемещения электрода вверх допускается до момента начала уменьшения мощности, выделяемой в дуге.

После остановки электрода в области, в которой  $I_{p\text{ оcm}} < I_{p\text{ опт}}$ , где  $I_{p\text{ опт}}$  – величина рабочего тока, при котором обеспечивается достижение  $P_{\partial\text{ max}}$  (максимально возможное значение мощности, выделяемой в дуге), начинается поиск оптимального значения  $I_{p\text{ опт}}$ .

Для этого на вход оптимизируемого энергетического режима АПК подается тестирующее входное возмущающее воздействие  $I_p(\tau)_{\text{тест}}$  в соответствии с условием (9):

$$I_p(\tau)_{\text{тест}} = I_p(\tau)_{\text{оcm}} + A \cdot \Psi_n(\tau), \quad (9)$$

где  $I_p(\tau)_{\text{оcm}}$  – значение величины рабочего тока в момент остановки электрода после ликвидации короткого замыкания по условию (8);  $A$  – амплитуда поискового тестирующего воздействия;  $\psi(\tau) = (+1, -1)$  – знакопеременная ортогональная функция Уолша, определяемая на интервале времени поискового тестирующего воздействия  $0 \leq \tau \leq T_n$  выражением (10):

$$\Psi_n(\tau) = \prod_{k=1}^{n+1} \text{Sign} \sin \frac{2^k \pi \tau}{T_n}, \quad (10)$$

где  $\tau$  – текущее время,  $T_n$  – продолжительность тестирующего входного воздействия;  $n$  – степень аппроксимирующего полинома, которым можно ориентировочно отразить траекторию смещения статической характеристики оптимизируемого процесса на интервале времени  $0 \leq \tau \leq T_n$ .

Через время запаздывания  $\tau_3$  (при его наличии) осуществляется определение интегральной оценки отклика оптимизируемого процесса  $I_H$  на поисковое входное тестирующее воздействие по условию (11):

$$I_H = \beta \cdot \int_{\tau_3}^{T_n + \tau_3} [\Psi_n(\tau) \cdot P_{\partial}(\tau)] d\tau, \quad (11)$$

где  $\beta$  – коэффициент пропорциональности.

Полученное значение интегральной оценки  $I_H$  характеризует величину и знак текущего отклонения величины  $I_p(\tau)$  от оптимального значения  $I_{p\text{ опт}}$ , (12):

$$I_H = K_{\Pi} (I_{p\text{ опт}} - I_p(\tau)) = K_{\Pi} \Delta I_p, \quad (12)$$

где  $k_n$  – коэффициент пропорциональности, определяемый расчётным или экспериментальным методами.

Знак интегральной оценки  $I_{II}$  определяет направление изменения входного управляющего параметра (текущего значения рабочего тока дуги) в соответствии с условием (13):

$$\begin{aligned} &\text{если } I_{II} > 0, \text{ то } I_p(\tau) < I_{p \text{ опт}} \text{ и } \sigma(\tau) = +1; \\ &\text{если } I_{II} < 0, \text{ то } I_p(\tau) > I_{p \text{ опт}} \text{ и } \sigma(\tau) = -1; \\ &\text{если } (I_{II})_H \leq I_{II} \leq (I_{II})_H, \text{ то } I_p(\tau) \approx I_{p \text{ опт}} \text{ и } \sigma(\tau) = 0, \end{aligned} \quad (11)$$

где  $(I_{II})_H$  – заданная зона нечувствительности системы автоматической оптимизации.

Ортогональная функция Уолша  $\psi_n(\tau)$  обладает замечательным свойством, позволяющим исключить негативное влияние смещения рабочей статической характеристики оптимизируемого процесса на определяемую величину интегральной оценки.

Это означает, что при монотонном смещении рабочей статической характеристики по сложной траектории, имеющей вертикальную  $\pm\beta\tau$  и горизонтальную  $\pm\alpha\tau$  составляющие, т.е. когда уравнение статической характеристики оптимизируемого процесса будет иметь вид (12):

$$P_o(\tau) = f\left[(I_p \pm \alpha\tau) \pm \beta\tau\right], \quad (12)$$

при  $n=1$  значение функции  $\psi_1(\tau)$  будет определяться выражением (13):

$$\Psi_1(\tau) = \prod_{k=1}^2 \text{Sign} \sin \frac{2^k \pi \tau}{T_{II}} \quad (13)$$

В этом случае на интервале времени  $0 < \tau \leq T_{II}$  функция  $\psi_1(\tau)$  будет состоять из четырёх ( $2^2$ ) равных отрезков времени  $\Delta\tau = (2,5 \div 4)(T_o + \tau_s)$ . Значит,  $T_{II} \geq 2^2 \Delta\tau = 4\Delta\tau$  и на каждом отрезке времени  $\psi_1(\tau)$  будет принимать соответственно значения  $+1, -1, -1, +1$ .

При постоянной скорости привода перемещения электрода и известной интегральной оценки можно определить время перемещения электрода  $\Delta\tau$  для достижения  $I_{p \text{ опт}}$ , (14):

$$\Delta\tau_p = \frac{I_{II}}{K_{II} \cdot K_{ум} \cdot \sigma(\tau)}. \quad (14)$$

Общее время одного поискового цикла работы САО энергетического режима АПК равно:

$$T_{II} = T_{II} + \tau_n + \Delta\tau_p + \Delta\tau_B, \quad (15)$$

где  $T_{II}$  – время поискового тестирующего входного воздействия;  $\tau_n$  – время паузы для окончания переходного процесса;  $\Delta\tau_p$  – время рабочего движения электрода для достижения  $I_{p \text{ опт}}$ ;  $\Delta\tau_B = (3 \div 5 T_{II})$  – время выдержки для накопления заметных изменений энергетического режима.

Расчетные траектории изменения  $I_p(\tau)$  и  $P_d(\tau)$  в процессе поискового режима работы САО во времени с использованием рассматриваемого метода поиска экстремума представлены на рис.3.

Точками на рис.3 показаны значения рабочего тока дуги (длины дуги) в определенные моменты времени:

- на интервале 0-1 осуществляется движение электрода от технологического короткого замыкания в зону рабочих токов, и в точке 1 электрод останавливается по условию (7);
- на интервале 1-2 реализуется пауза перед началом тестирующего воздействия на время  $\tau_n$ ;
- на интервале времени 2-7 реализуется тестирующее воздействие вида  $\psi_o(\tau)$ , т.е. при отсутствии смещения статической характеристики для  $\psi_o(\tau)=+1;-1$  продолжительностью  $T_n$ ;
- на интервале 7-8 реализуется пауза продолжительностью  $\tau_n$  после тестирующего воздействия;
- на интервале времени 8-9 осуществляется рабочее движение продолжительностью  $\Delta\tau_p$ ;
- на интервале 9-10 реализуется выдержка времени продолжительностью  $\Delta\tau_e$  перед следующим поисковым циклом.

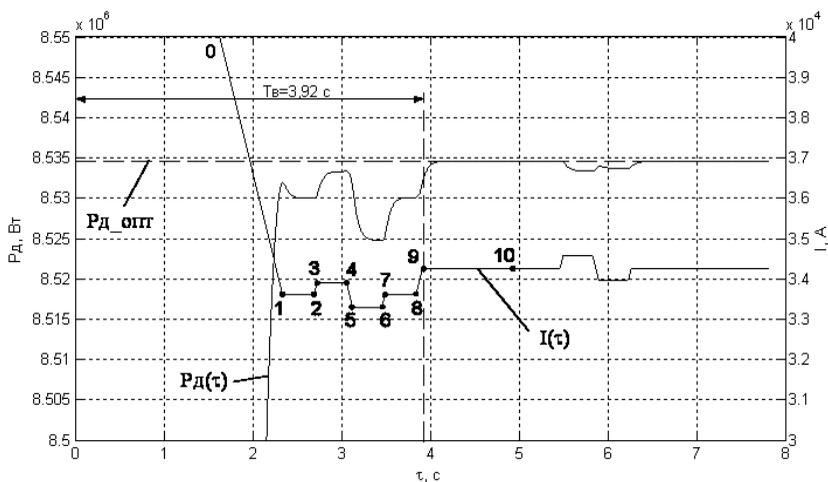


Рис.3. Траектории изменения  $I_p(\tau)$  и  $P_d(\tau)$  во времени при реализации поискового процесса САО для  $k_{им}=9$  кА/с,  $A=300$  А,  $U=398$  В

На рис.3 для ориентации приведено оптимальное значение  $P_{d\text{ опт}} = P_d(\tau)_{\text{ max}}$  по статической рабочей характеристике (см.рис.2).

Использование САО управления энергетическим режимом АПК с использованием метода поиска экстремума по интегральной оценке отклика оптимизируемого процесса на пробное входное тестирующее воздействие обеспечивает выход процесса на оптимальный режим за один рабочий цикл продолжительностью менее 2 с.

Использование САО управления энергетическим режимом в электродуговых технологических агрегатах металлургического производства способствует снижению затрат электроэнергии на 2.5÷3%, повышению производительности и уменьшению расхода электродов.

#### Библиографический список

1. Ефроймович Ю.Е. Оптимальные электрические режимы дуговых сталеплавильных печей. М.: Металлургия, 1956. 98 с.
2. Обработка стали на агрегате печь-ковш: Технологическая инструкция //Магнитогорск, ККЦ ОАО «ММК», 2000
3. Агапитов Е.Б., Корнилов Г.П., Храмшин Т.Р., Ерофеев М.М., Николаев А.А. Управление тепловым и электрическим режимами агрегата печь-ковш //Электрометаллургия, 2006. С.35-41.
4. Сарычев А.Ф., Носов А.Д., Коротких В.Ф. и др. Освоение технологии внепечной обработки стали на установке печь-ковш конвертерного цеха ММК //Совершенствование технологии в ОАО ММК. Выпуск 5. Сборник научных трудов ЦЗЛ ММК. Магнитогорск: Дом печати, 2001. 130 с.

УДК 338.45:669

**М.Г.Поликарпова**  
ГОУ ВПО «МГТУ»

### **МНОГОМЕРНЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В МИРЕ**

По состоянию металлургии вполне можно судить об общем положении дел в промышленности и экономике страны, поскольку

нет такой отрасли, которая не использовала бы, а, следовательно, не закупила металлопродукцию [4].

На данном этапе развития статистической науки отсутствует методика построения единого обобщающего показателя, характеризующего многоаспектную категорию «уровень развития металлургических комплексов (МК)». В одних работах решается вопрос выработки интегрального критериального показателя на базе частных количественных характеристик отдельных элементов состояния развития металлургии отдельных стран, в других работах этот вопрос остается открытым, либо предлагается единственный показатель в качестве количественного критерия развития МК.

Для комплексной оценки потенциального развития МК данные индикаторы были дополнены с помощью привлечения дополнительных информационных источников ((данные аналитического центра Heritage Foundation, журнала Wall Street Journal, данные центра международных исследований деловых циклов (CIBCR) в Колумбийском университете). В результате проведенного анализа располагаемой информации получена система из 15 показателей, которая, на наш взгляд, позволяет учесть характерные особенности развития МК.

На основе синтеза значений показателей потенциального развития МК различных регионов мира<sup>1</sup>, методом расстояний была установлена многомерная оценка рейтинга стран мира [2]. Оценка сходства между объектами сильно зависит от абсолютного значения признака и от степени его вариации в совокупности. В результате, когда проводится классификация по показателям, измеряемым в различных несопоставимых единицах, конечные результаты будут искажены из-за различных абсолютных значений. Для устранения подобного влияния на процедуру рейтингования значения исходных переменных были нормированы.

Расчет расстояния от исследуемого объекта (региона) до точки эталона производился по формуле:

$$\rho_i = \sqrt{\omega_1(1 - x_{i1}^H)^2 + \omega_2(1 - x_{i2}^H)^2 + \dots + \omega_{15}(1 - x_{i15}^H)^2},$$

где  $\rho_i$  - расстояние от точки, обозначающей  $i$ -регион, до точки эталона;

$x_{ij}^H$  - элементы нормированной матрицы;

$\omega_j$  - весовые коэффициенты показателей.

Для нахождения весовых коэффициентов для оценки рейтинга стран мира по уровню потенциального развития МК были

---

<sup>1</sup> Для анализа были взяты 80 стран, являющиеся основными потребителями или производителями 98% мировой металлопродукции (данные 2006 г.)

опрошены структурные подразделения ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», занимающиеся интеграционной деятельностью. В результате построена рейтинговая оценка уровня потенциального развития МК стран мира. В соответствии с положением конкретной страны в рейтинге можно судить об интегральной роли металлургического комплекса в экономике данной страны и о потенциальном уровне развития металлургии, что является неотъемлемой частью анализа при принятии проектных решений в сфере интеграции.

Исследование территориальных различий регионов мира методами кластерного анализа [1] позволило выполнить их типологизацию с точки зрения развития металлургических комплексов. В данной работе в качестве метрики расстояний использовалось манхэттенское расстояние:

$$\rho_E(X_i, X_j) = \sum_{p=1}^k |x_{ip} - x_{jp}|.$$

Для объединения кластеров использовался метод полных связей - Complete linkage, поскольку он наиболее наглядно представляет разделение исследуемой совокупности стран:

$$\rho_{\min}(S_l, S_m) = \max \rho(x_i, x_j), x_i \in S_l, x_j \in S_m,$$

где  $S_i$  –  $i$ -ая группа (класс, кластер) объектов;

$\rho(S_l, S_m)$  - расстояние между группами  $S_l$  и  $S_m$ .

Анализ дендрограммы позволил сделать вывод, что всю совокупность можно разбить на **шесть кластеров** (рис. 1).

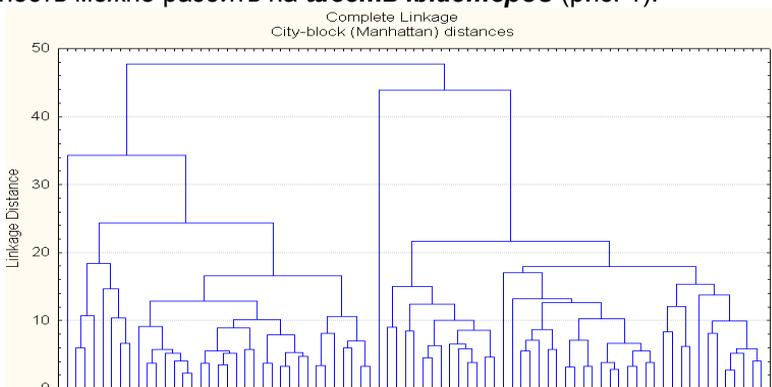


Рис. 1. Дендрограмма разбиения стран мира методом полных связей

Окончательная кластеризация проводилась методом к-средних, которая сводилась к выполнению алгоритма, смысл кото-

рого в последовательном уточнении эталонных точек  $E^{(u)} = \{e_1^{(u)}, e_2^{(u)}, \dots, e_k^{(u)}\}$  ( $u$ —номер итерации,  $u=0, 1, 2, \dots$ ) с соответствующим пересчетом приписываемых им «весов»  $\Omega^{(u)} = \{w_1^{(u)}, w_2^{(u)}, \dots, w_k^{(u)}\}$ . При этом нулевое приближение  $E^{(0)}$  строилось с помощью случайных выбранных первых  $k$  точек исследуемой совокупности [3], т.е.

$$e_i^{(0)} = X_i, \\ w_i^{(0)} = 1, i=1, 2, \dots, k.$$

Пересчет эталонов и весов на  $u$ -ом шаге, т.е. при извлечении очередной точки  $X_{k+u}$  происходил по следующему правилу:

$$e_i^{(v)} = \begin{cases} \frac{\omega_i^{(v-1)} e_i^{(v-1)} + X_{k+v}}{w_i^{(v-1)} + 1}, & \text{если } -p(X_{k+v}, e_i^{(v-1)}) = \min p(X_{k+v}, e_j^{(v-1)}) (j = \overline{1, k}) \\ e_i^{(v-1)}, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

$$\omega_i^{(v)} = \begin{cases} \omega_i^{(v-1)} + 1, & \text{если } -p(X_{k+v}, e_i^{(v-1)}) = \min p(X_{k+v}, e_j^{(v-1)}) \\ \omega_i^{(v-1)}, & \text{в противном случае } (i = \overline{1, k}) \end{cases}$$

Окончательное разбиение  $S$  исследуемой совокупности многомерных наблюдений на  $k$  классов производилось в соответствии с правилом минимального разбиения  $S(E)$  относительно центров тяжести (эталонов)  $E = E^{(n-k)}$ , т.е.

$$S_i(E) = \{X : \rho(X, E_i) < \rho(X, E_j); j = \overline{1, k}, j \neq i\}.$$

После завершения процедур классификации были оценены полученные результаты. Основная роль отводилась содержательному анализу результатов классификации. Для того чтобы дать интерпретацию полученным результатам, использовались статистические характеристики кластеров.

Наибольший интерес с точки зрения инвестора вызывают первый, четвертый и шестой кластер. В первый кластер (**cluster1**) выделены США и Китай, несмотря на их разное политическое устройство. Данный кластер характеризуется высоким уровнем производства, потребления, а также импорта металлопродукции. Рынок стали США является одним из наиболее емких в мире. Количественно ограниченный, но стабильный объем поставки слябов из России позволяет американским производителям планировать свою деятельность на длительную перспективу. Примером может служить деятельность компании Dufenco Farrell Corp. Фактически работа американского предприятия стала возможной исключительно благодаря надежной обеспеченности сырьем из России, что позволило компании осуществить модернизацию и добиться рентабельности производства.

Касаясь КНР, нужно отметить, что в настоящее время ведущим иностранным инвестором в КНР является корейская POSCO. Существующие в настоящее время жесткие ограничения на иностранные инвестиции в металлургию Китая могут быть отменены. Председатель совета директоров Baosteel заявила о возможности смягчения политики страны, касающейся запрета иностранных инвестиций [2].

В четвертый кластер (**cluster4**) были выделены: Канада, Франция, Германия, Италия, Япония, Южная Корея, Россия, Индия, Украина. Анализируя составляющие данного кластера, можно отметить, что вошедшие в него страны являются мировыми лидерами по производству металлопродукции.

В шестой кластер (**cluster6**) были выделены: Беларусь, Португалия, Египет, Турция, Саудовская Аравия, Иран, Сирия, Тунис, Вьетнам, Израиль, Кувейт, Ливан и Пакистан. Согласно WEB-ресурса MEsteel.com большинство данных стран относится к региону Ближнего Востока. Для этих стран характерны низкие значения индексов экономической свободы. Именно страны Ближнего Востока и Азии являются основными потребителями продукции российских металлургических предприятий. На их долю приходится более 52% от общего объема поставок, в том числе на страны Ближнего Востока – 26,7% и страны азиатского региона — 25,4%.

Разработанная методика типологизации стран мира с точки зрения развития металлургических комплексов, позволяет выделить наиболее приемлемые и привлекательные регионы, со сходными характеристиками динамики развития МК и макроэкономических показателей, для осуществления интеграционной деятельности. Таким образом, данный подход позволяет выявить на каких регионах могут сконцентрироваться металлурги в желании создать крупные металлургические группы.

#### Библиографический список

1. Бушманова М.В., Дуброва Т.А., Мочалкина Н.А. Кластерный анализ. Проведение классификации многомерных наблюдений методами кластерного анализа в пакете «Statistika». Магнитогорск: МГТУ, 2002.
2. Бушманова М.В., Поликарпова М.Г. Формирование корпоративной модели оценки странового риска промышленного предприятия (на примере металлургического комплекса) / Финансы и бизнес. 2007. №2.
3. Дубров А.М., Мхитарян В.С., Трошин Л.И. Многомерные статистические методы. М.: Финансы и статистика, 2000.

4. Завязкин В. В зеркале заднего вида: экономика металлургии / Металлоснабжение и сбыт. 2007. №2. С.15-27.  
УДК 338.24.008.01

**М.Г.Поликарпова**  
ГОУ ВПО «МГТУ»

## **УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ РИСКАМИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

При осуществлении своей деятельности промышленное предприятие постоянно сталкивается как с внешними, так и с внутренними рисками [1]. Одним из основных внутренних рисков является производственный риск, и в частности, риск невозможности производства заказов в заданных объемах, вследствие отсутствия необходимого объема материально-технических ресурсов на складах.

Теме эффективного управления запасами посвящено немало учебной, научной и практической литературы. К примеру, на запрос «управление запасами» поисковая система в Интернете выдает несколько сотен различных сайтов. В любой книге по логистике данной теме посвящена как минимум одна глава. Но, к сожалению, почти во всех источниках речь идет об одном и том же – описывается ABC – анализ и расчет экономичного объема заказа (ЭОЗ или формула Вильсона). Однако данные приемы расчета практически не применимы для определения оптимальной величины запаса на крупном, промышленном предприятии.

Актуальность данной темы заключается в том, что эффективное управление в современных условиях рынка - необходимое условие функционирования бизнеса, создания, развития и реализации конкурентных преимуществ предприятия. В настоящее время расчет норматива на плановый год на крупных промышленных предприятиях производится в разрезе номенклатурных подгрупп. При этом формируются следующие виды запасов:

- подготовительный запас - это запас, необходимый для количественной и качественной приёмки, складирования прибывающих материалов;
- текущий запас – это запас, необходимый для обеспечения текущей работы структурных подразделений предприятия;
- Страховой запас – это запас, который формируется на случай отклонения поставок от запланированных.

При этом, как можно видеть, страховой запас необходим для защиты от внешних рисков, в то же время, как было сказано выше, предприятие постоянно подвергается и внутренним рискам.

В условиях отсутствия единства в методических подходах к определению структуры запасов, была уточнена и конкретизирована структура производственных запасов и предложена такая новая категория, как резервные запасы. **Резервный запас** – это запас, необходимый для проведения аварийно-восстановительных работ в производственных подразделениях промышленного предприятия.

Вложения в запасы, и в частности, в резервные, представляет крупный актив, и поэтому важно, чтобы эти запасы управлялись эффективно, так как в противном случае капиталовложения становятся неоправданно большими. Поэтому работа проводилась в двух направлениях:

1) необходимо было сформировать запасы запчастей, достаточные для удовлетворения потребностей производства, и в частности для проведения аварийно-восстановительных работ;

2) необходимо было избежать наличия избыточных запасов, которые приводят к отвлечению основных средств и росту затрат.

В результате на основе экономико-статистического анализа [3] была разработана методика расчета резервных запасов в целях снижения риска простоев производства. Одними из основных критериев для расчета резервного запаса являются:

- важность запасных частей. К важным запасным частям относятся такие, отсутствие которых с момента выхода из строя до доставки аналогичных, приведет к приостановке производственного процесса в структурном подразделении предприятия, либо к невыполнению производственной программы;
- равномерность (регулярность) потребления. К номенклатуре с равномерным потреблением относится номенклатура, используемая в производстве регулярно в течение всего года;
- статистика аварийности по запчастям и др.

При определении нормы данного запаса предлагается использовать теорию надежности, которая позволяет спрогнозировать возникновение отказов в работе агрегатов [2]. Отказ работы деталей оборудования, как правило, имеет внезапный характер, поэтому для определения вероятности отказа можно применить экспоненциальный закон распределения:

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - e^{-\lambda t},$$

где  $\lambda$  – интенсивность отказов (вероятность отказов за единицу времени на интервале  $[0;t]$ ).

Исходя из теории надежности, для экспоненциального распределения вероятность отказа в каждую последующую единицу времени остается неизменной, сколько бы ни проработала без поломок номенклатурная позиция. Тогда интенсивность отказов определяется по формуле:

$$\lambda(t) = \lambda = \frac{1}{T},$$

где  $T$  – среднее время безотказной работы.

Таким образом, данная методика позволит снизить риск простоя производства, риск невозможности производства заказов в заданных объемах, повысить эффективность обеспечения структурных подразделений материально-техническими ресурсами.

#### Библиографический список

1. Лобанова А.А., Чугунов А.В. Энциклопедия финансового риск – менеджмента. М.: Альпина Паблишер, 2005.
2. Радионов А.Р., Радионов Р.А. Управление сбытовыми запасами и оборотными средствами предприятия (практика нормирования): Учебное пособие. М.: Издательство «Дело и сервис», 1999.
3. Экономико-статистический анализ. Учебное пособие для вузов / С.Д.Ильенкова, Н.Д.Ильенкова, С.А.Орехов // Под ред. проф. С.Д.Ильенковой. М.:ЮНИТИДАНА, 2002.

УДК 658.15:519.23

**Т.А.Иванова**

ГОУ ВПО «МГТУ»

### **ОЦЕНКА УРОВНЯ СОЦИАЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ УРАЛЬСКОГО ФО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКО-МНОЖЕСТВЕННЫХ ОПИСАНИЙ**

Для решения задачи об оценке уровня социального положения нами предлагается использовать методы многокритериального

ранжирования основанные на аппарате теории нечетких множеств. Применение этих методов позволяет, помимо количественной информации показателей, использовать качественную информацию, выражающую предпочтительность значений показателей.

**Общий алгоритм решения задачи оценки уровня социального положения.**

Определяется множество ранжируемых объектов  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ , где  $n$  - количество ранжируемых объектов.

Формируется система показателей характеризующих социальное положение:  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ , где  $m$  - количество показателей в системе.

Кроме того, для каждого из выбранных показателей  $c_j$  оценивается его значимость с точки зрения влияния на уровень социального положения и формируется система коэффициентов относительной значимости (весомости):  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}$ . Чем больше значение  $w_j$ , тем более значимым является  $j$ -ый показатель в системе  $C$ .

В отношении каждого показателя  $c_j$  должны быть сформулированы требования к множеству предельно допустимых и желаемых значений. Эти требования отражаются в построении функций принадлежности, характеризующих степень принадлежности значений показателей  $c_j$  множеству желаемых значений:  $\mu(C_{a_i})$ ,  $i = \overline{1, n}$ .

Зная уравнения функций принадлежности множества значений показателей  $c_j$  множеству желаемых значений показателей, мы определяем точечные оценки этих функций, подставляя конкретные значения показателей, характеризующих исследуемые объекты, в соответствующие уравнения функций:

$$\forall a_i \in A: \mu(C_{a_i}) = \{\mu_{c_1}(a_i)/c_1(a_i), \mu_{c_2}(a_i)/c_2(a_i), \dots, \mu_{c_m}(a_i)/c_m(a_i)\},$$

где  $\mu_{c_m}(a_i) \in [0; 1]$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, m}$ .

На основании полученного множества точечных оценок функций принадлежности и множества коэффициентов относительной значимости показателей, производится оценка уровня социального положения методами многокритериального ранжирования, с использованием нескольких методов отличающихся друг от друга способом свертки и построения нечетких отношений: мето-

дом максиминной свертки, методом установления нечетких отношений предпочтения, методом аддитивной свертки.

Результатом использования методов многокритериального ранжирования является система оценок  $\mu_I$ , значения которых лежат в пределах от 0 до 1 и характеризуют степень удовлетворительности социального положения субъекта РФ. Чем ближе значение  $\mu_I$  к единице, тем большей степени регион отвечает требованиям, предъявляемым к уровню социального положения регионов.

**Решение задачи.** Предлагаемая методика была рассмотрена для оценки уровня социального положения областей Уральского федерального округа:  $a_1$  - Курганская область,  $a_2$  - Свердловская область,  $a_3$  - Тюменская область,  $a_4$  - Челябинская область.

Уровень социального положения оценивался по семи критериям:  $c_1$  - ожидаемая продолжительность жизни мужчин, (лет);  $c_2$  - ожидаемая продолжительность жизни женщин, (лет);  $c_3$  - коэффициент рождаемости;  $c_4$  - численность населения с доходами ниже прожиточного минимума, в % от общей численности населения;  $c_5$  - соотношение средней заработной платы к прожиточному минимуму;  $c_6$  - естественный прирост населения, (чел.);  $c_7$  - расходы на здравоохранение к ВРП.

На основе информации изложенной в учебной и научно-исследовательской литературе по социальной статистике [4, 5] были найдены оценки интервалов допустимых и желаемых значений рассматриваемых показателей и сформированы функции принадлежности к множеству желаемых значений показателей. Функции принадлежности были аппроксимированы кусочно-заданными функциями и нижним пределами насыщения. На основании сформированных функций принадлежности по семи критериям, были рассчитаны точные оценки функции принадлежности, представленные следующими нечеткими множествами:

$$\mu(C_{a_1}) = \{0,16/57,26; 0,54/71,45; 0,03/10,25; 0,0/40,00; 0,51/1,81; 0/-7,8; 0,0027/0,027\},$$

$$\mu(C_{a_2}) = \{0,18/57,56; 0,51/71,09; 0,04/10,38; 0,34/20,50; 1/2,60; 0/-6,87; 0,0019/0,019\},$$

$$\mu(C_{a_3}) = \{0,38/60,29; 0,62/72,48; 0,29/12,87; 0,64/15,71; 1/4,19; 0,16/2,98; 0,0002/0,002\},$$

$$\mu(C_{a_4}) = \{0,25/58,35; 0,55/71,58; 0,04/10,43; 0,0/30,20; 1/2,38; 0/-6,12; 0,0013/0,013\}$$

**Ранжирование областей на основе пересечения нечетких множеств.** Правило ранжирования альтернатив с учетом

различной важности показателей определяется путем пересечения нечетких множеств:

$$I = C_1^{\beta_1} \cap C_2^{\beta_2} \cap \dots \cap C_7^{\beta_7},$$

$$\mu_i(a_i) = \min_{j=1, \dots, m} (\mu_{C_j}(a_i))^{\beta_j}, \quad i = \overline{1, n},$$

где  $\beta_j$  – весовой коэффициент  $j$ -го показателя, определяется на основании вычисленных значений первого собственного вектора матрицы парных сравнений  $\alpha_j$ :  $\beta_j = m \cdot \alpha_j$ .

$$\mu_1(a) = \{ \min \{0,16^{1,911}; 0,54^{1,911}; 0,03^{0,567}; 0,0000^{0,567}; 0,51^{0,567}; 0^{0,567}; 0,0027^{0,567}\}$$

$$\quad \min \{0,18^{1,911}; 0,51^{1,911}; 0,04^{0,567}; 0,34^{0,567}; 1^{0,567}; 0^{0,567}; 0,0019^{0,567}\}$$

$$\quad \min \{0,38^{1,911}; 0,62^{1,911}; 0,29^{0,567}; 0,64^{0,567}; 1^{0,567}; 0,16^{0,567}; 0,0002^{0,567}\}$$

$$\quad \min \{0,25^{1,911}; 0,55^{1,911}; 0,04^{0,567}; 0,0000^{0,567}; 1^{0,567}; 0^{0,567}; 0,0013^{0,567}\} \}$$

$$\mu_2(a) = \{0; 0; 0,008; 0\}.$$

Результаты ранжирования областей по уровню социального развития следующие: среди рассматриваемых областей наиболее высоким уровнем социального развития обладает Тюменская область, единственная из областей имеющая отличное от нуля значение функции принадлежности, далее располагаются Курганская, Свердловская, Челябинская, алгоритм не позволил выделить различия по уровню социального положения.

**Ранжирование областей методом нечеткого отношения предпочтения.** Рассмотрим метод ранжирования, предполагающий построение множества недоминируемых альтернатив на основе нечеткого отношения предпочтения.

1) На основании функций принадлежности всех объектов по семи критериям составляются матрицы нечетких отношений предпочтений  $R_1, R_2, \dots, R_7$  в соответствии с правилами:

$$\mu_{R_j}(a, b) = \begin{cases} \mu_{C_j}(a) - \mu_{C_j}(b), & \text{если } \mu_{C_j}(a) \geq \mu_{C_j}(b); \\ 0, & \text{если } \mu_{C_j}(a) < \mu_{C_j}(b). \end{cases}$$

$\mu_{R_1} =$	<table style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"><math>c_1</math></td> <td style="padding: 5px;"><math>a_1</math></td> <td style="padding: 5px;"><math>a_2</math></td> <td style="padding: 5px;"><math>a_3</math></td> <td style="padding: 5px;"><math>a_4</math></td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"><math>a_1</math></td> <td style="padding: 5px;">1</td> <td style="padding: 5px;">0</td> <td style="padding: 5px;">0</td> <td style="padding: 5px;">0</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"><math>a_2</math></td> <td style="padding: 5px;">0,02</td> <td style="padding: 5px;">1</td> <td style="padding: 5px;">0</td> <td style="padding: 5px;">0</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"><math>a_3</math></td> <td style="padding: 5px;">0,12</td> <td style="padding: 5px;">0,2</td> <td style="padding: 5px;">1</td> <td style="padding: 5px;">0,13</td> </tr> </table>	$c_1$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_1$	1	0	0	0	$a_2$	0,02	1	0	0	$a_3$	0,12	0,2	1	0,13	$\mu_{R_2} =$	<table style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"><math>c_2</math></td> <td style="padding: 5px;"><math>a_1</math></td> <td style="padding: 5px;"><math>a_2</math></td> <td style="padding: 5px;"><math>a_3</math></td> <td style="padding: 5px;"><math>a_4</math></td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"><math>a_1</math></td> <td style="padding: 5px;">1</td> <td style="padding: 5px;">0,03</td> <td style="padding: 5px;">0</td> <td style="padding: 5px;">0</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"><math>a_2</math></td> <td style="padding: 5px;">0</td> <td style="padding: 5px;">1</td> <td style="padding: 5px;">0</td> <td style="padding: 5px;">0</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"><math>a_3</math></td> <td style="padding: 5px;">0,08</td> <td style="padding: 5px;">0,11</td> <td style="padding: 5px;">1</td> <td style="padding: 5px;">0,07</td> </tr> </table>	$c_2$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_1$	1	0,03	0	0	$a_2$	0	1	0	0	$a_3$	0,08	0,11	1	0,07
$c_1$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$																																							
$a_1$	1	0	0	0																																							
$a_2$	0,02	1	0	0																																							
$a_3$	0,12	0,2	1	0,13																																							
$c_2$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$																																							
$a_1$	1	0,03	0	0																																							
$a_2$	0	1	0	0																																							
$a_3$	0,08	0,11	1	0,07																																							

$$\mu_{R_3} = \begin{array}{c|cccc} a_4 & 0,09 & 0,06 & 0 & 1 \\ \hline c_3 & a_1 & a_2 & a_3 & a_4 \\ \hline a_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_2 & 0,01 & 1 & 0 & 0 \\ a_3 & 0,26 & 0,25 & 1 & 0,25 \\ a_4 & 0,01 & 0 & 0 & 1 \end{array}$$

$$\mu_{R_4} = \begin{array}{c|cccc} a_4 & 0,01 & 0,04 & 0,00 & 1 \\ \hline c_4 & a_1 & a_2 & a_3 & a_4 \\ \hline a_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_2 & 0,34 & 1 & 0 & 0,34 \\ a_3 & 0,64 & 0,3 & 1 & 0,64 \\ a_4 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}$$

$$\mu_{R_5} = \begin{array}{c|cccc} c_5 & a_1 & a_2 & a_3 & a_4 \\ \hline a_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_2 & 0,49 & 1 & 0 & 0 \\ a_3 & 0,49 & 0 & 1 & 0 \\ a_4 & 0,49 & 0 & 0 & 1 \end{array}$$

$$\mu_{R_6} = \begin{array}{c|cccc} c_6 & a_1 & a_2 & a_3 & a_4 \\ \hline a_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_2 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ a_3 & 0,16 & 0,16 & 1 & 0,16 \\ a_4 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}$$

$$\mu_{R_7} = \begin{array}{c|cccc} c_7 & a_1 & a_2 & a_3 & a_4 \\ \hline a_1 & 1 & 0,001 & 0,002 & 0,001 \\ a_2 & 0 & 1 & 0,002 & 0,001 \\ a_3 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ a_4 & 0 & 0 & 0,001 & 1 \end{array}$$

2) Строится нечеткое отношение  $Q_1$ , которое является пересечением исходных отношений предпочтений в соответствии с правилом:

$$Q_1 = R_1 \cap R_2 \cap \dots \cap R_7,$$

$$\mu_{Q_1}(a, b) = \min \{ \mu_{R_1}(a, b), \dots, \mu_{R_7}(a, b) \}.$$

$$\mu_{Q_1}(a_i, a_j) = \begin{array}{c|cccc} & a_1 & a_2 & a_3 & a_4 \\ \hline a_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_2 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ a_3 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{array}$$

$$a_4 \quad \left\| \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad \right\|$$

Находим подмножество недоминируемых альтернатив на множестве  $\{A, \mu_{Q_1}\}$ :

$$\mu_{Q_1}^{HD}(a_i) = 1 - \sup_{a_j \in A} (\mu_{Q_1}(a_j, a_i) - \mu_{Q_1}(a_i, a_j)).$$

по всем  $i, j$  ( $i \neq j$ ):

$$\mu_{Q_1}^{HD}(a) = \|1 \quad 1 \quad 1 \quad 1\|.$$

3) Строим отношение  $Q_2$ :

$$\mu_{Q_2}(a_j, a_i) = \sum_{k=1}^8 w_k \cdot \mu_{R_k}(a_j, a_i),$$

где  $w_k$  - коэффициенты важности критериев, с учетом примерной равнозначности критериев примем  $w_k = 1/7, k = \overline{1,7}$ .

Определяем нечеткое отношение  $Q_2$

$$\mu_{Q_2}(a_i, a_j) = \begin{array}{c} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{array} \left\| \begin{array}{cccc} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 \\ 1 & 0,0044 & 0,000 & 0,0002 \\ 0,123 & 1 & 0,000 & 0,0486 \\ 0,24 & 0,146 & 1 & 0,178 \\ 0,086 & 0,066 & 0,0001 & 1 \end{array} \right\|$$

Находим подмножество недоминируемых альтернатив на множестве  $\{A, \mu_{Q_2}\}$ :

$$\mu_{Q_2}^{HD}(a_i) = 1 - \sup_{a_j \in A} (\mu_{Q_2}(a_j, a_i) - \mu_{Q_2}(a_i, a_j)).$$

по всем  $i, j$  ( $i \neq j$ ):

$$\mu_{Q_2}^{HD}(a_1) = 1 - \sup(0,1186; 0,24; 0,086) = 0,76;$$

$$\mu_{Q_2}^{HD}(a_2) = 1 - \sup(-0,1186; 0,146; 0,0174) = 0,854;$$

$$\mu_{Q_2}^{HD}(a_3) = 1 - \sup(-0,24; -0,146; -0,1779) = 1;$$

$$\mu_{Q_2}^{HD}(a_4) = 1 - \sup(-0,086; -0,0174; 0,1779) = 0,822;$$

$$\mu_{Q_2}^{HD}(a) = \|[0,76 \ 0,854 \ 1 \ 0,822]\|.$$

4) Находим результирующее множество недоминируемых альтернатив, как пересечение множеств  $\mu_{Q_1}^{HD}$  и  $\mu_{Q_2}^{HD}$ :

$$\mu_I(a) = \mu_{Q_1}^{HD} \cap \mu_{Q_2}^{HD} = \{(1 \ 1 \ 1 \ 1) \cap (0,76 \ 0,854 \ 1 \ 0,822)\}$$

$$\mu_I(a) = (0,76 \ 0,854 \ 1 \ 0,822)$$

Таким образом, области в порядке ухудшении уровня социального положения расположились следующим образом: Тюменская область, Свердловская область, Челябинская область, Курганская область.

**Ранжирование областей методом аддитивной свертки.** Для этого метода для оценки важности показателей используется лингвистическая переменная

$$W = \{\text{НЕ ОЧЕНЬ ВАЖНЫЙ}; \text{ВАЖНЫЙ}; \text{ОЧЕНЬ ВАЖНЫЙ}\}$$

Значения термов множества заданы нечеткими числами, которые имеют функции принадлежности треугольного вида:

$$\text{НЕ ОЧЕНЬ ВАЖНЫЙ (НОВ)} - \mu_{НОВ} = \{0/0,1; 1/0,4; 0/0,7\};$$

$$\text{ВАЖНЫЙ (В)} - \mu_V = \{0/0,4; 1/0,7; 0/1\};$$

$$\text{ОЧЕНЬ ВАЖНЫЙ (ОВ)} - \mu_{ОВ} = \{0/0,7; 1/1\}.$$

Для оценки областей по критериям используются лингвистические значения:

$$\text{ОЧЕНЬ НИЗКИЙ (ОН)} - \mu_{ОН} = \{1/0; 0/0,3\}.$$

$$\text{НИЗКИЙ (Н)} - \mu_H = \{0/0,1; 1/0,3; 0/0,5\};$$

$$\text{СРЕДНИЙ (С)} - \mu_C = \{0/0,3; 1/0,5; 0/0,7\};$$

$$\text{ВЫСОКИЙ (В)} - \mu_B = \{0/0,5; 1/0,75; 0/1\};$$

$$\text{ОЧЕНЬ ВЫСОКИЙ (ОВ)} - \mu_{ОВ} = \{0/0,75; 1/1; 0/1,25\}.$$

Оценки субъектов по рассматриваемым показателям с использованием лингвистических оценок определенных на основе количественных значений показателей  $R_{ij}$  и оценки важности показателей  $W_j$  представлены в табл. 3:

Таблица 3

Оценка удовлетворительности субъектов РФ Уральского ФО относительно показателей и оценка важности показателей

	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	Важность показателя
$c_1$	ОН	Н	Н	Н	ОЧЕНЬ ВАЖНЫЙ
$c_2$	С	С	В	С	ОЧЕНЬ ВАЖНЫЙ
$c_3$	ОН	ОН	Н	ОН	ВАЖНЫЙ
$c_4$	ОН	Н	В	ОН	ВАЖНЫЙ
$c_5$	С	ОВ	ОВ	ОВ	ВАЖНЫЙ
$c_6$	ОН	ОН	Н	ОН	ВАЖНЫЙ
$c_7$	ОН	ОН	ОН	ОН	ВАЖНЫЙ

Взвешенные оценки объектов  $R_i$ , для случая, когда значения показателей и относительные оценки их важности являются нечеткими числами с функциями принадлежности треугольного вида, также являются нечеткими числами с функциями принадлежности треугольного вида. Значения  $R_i$  и значения функции принадлежности определяются в соответствии со следующими правилами:

$$R_i = \sum_{j=1}^m w_j * R_{ij},$$

где  $R_{ij}$  - лингвистическая оценка показателя  $c_j$  для объекта  $a_i$   
 $*$  - бинарная операция, результат которой нечеткое число с функцией принадлежности треугольного вида, а границы и вершины числа находятся следующим образом: левая граница  $w_j^I * R_{ij}^I$ , правая граница  $w_j^{II} * R_{ij}^{II}$ , вершина  $w_j^* * R_{ij}^*$ .

Взвешенные оценки для нашей задачи имеют следующие функции принадлежности (рис. 1):

$$\mu_{R_1} = \{0/0,33; 1/1,85; 0/3,2\};$$

$$\mu_{R_2} = \{0/0,62; 1/2,71; 0/4,21\};$$

$$\mu_{R_3} = \{0/1; 1/3,695; 0/5,5\};$$

$$\mu_{R_4} = \{0/0,58; 1/2,5; 0/4,01\}.$$

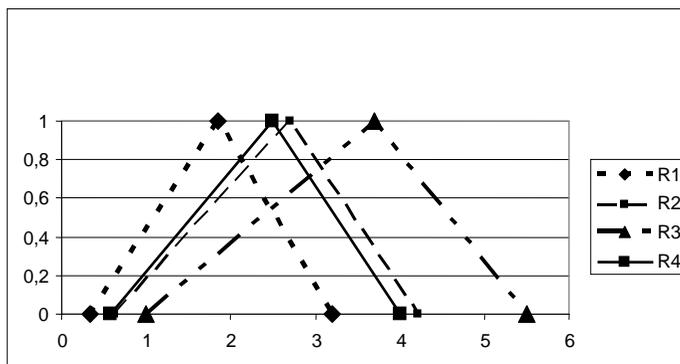


Рис. 1. Значения функции принадлежности взвешенных оценок

После того, как взвешенные оценки  $R_i$  получены, необходимо сравнить варианты на их основе. Для этого вводится нечеткое множество  $I$ , значение соответствующей функции принадлежности интерпретируется как характеристика степени того, насколько вариант  $a_i$  является лучшим. Значение  $\mu_I(a_i)$  вычисляется по правилу:

$$\mu_I(a_i) = \sup_{r_1, r_2, \dots, r_n; r_k \geq r_i} \min_{i=1, \dots, n} \mu_{R_i}(r_i),$$

т.е. приоритет каждой альтернативы вычисляется путем выбора минимума среди точек пересечения правой границы соответствующего нечеткого числа  $R_i$  с границами нечетких чисел, расположенных правее на числовой оси. При этом предполагается, что правая граница области определения нечетких чисел соответствует самым предпочтительным оценкам, а левая – наимудшим.

Решая системы линейных уравнений, выбранных в соответствии с изложенным правилом, границ нечетких чисел  $R_i$ , получены оценки предпочтительности исследуемых объектов

$$\mu_I(a) = (0,54; 0,75; 1; 0,71).$$

Таким образом, области в порядке ухудшения уровня социального положения расположились следующим образом: Тюмен-

ская область, Свердловская область, Челябинская область, Курганская область.

На рис. 2 приведены результаты решения задачи ранжирования по уровню социального положения областей Уральского ФО, полученные различными методами.

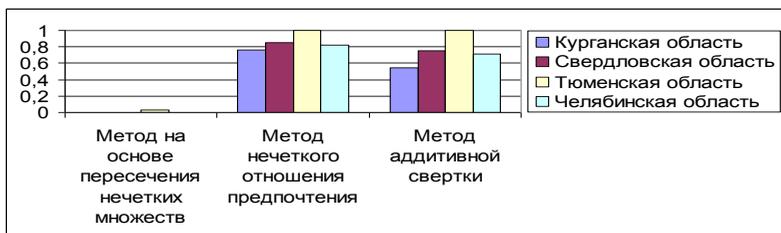


Рис. 2. Результаты ранжирования, полученных различными методами

Как видно из сравнения, метод на основе пересечения нечетких множеств, на рассматриваемых данных, дает неудовлетворительные результаты: не выделено различий в уровне социального положения Курганской, Свердловской и Челябинской областей. Ранги полученные, исследуемыми областями, с использованием методов нечеткого отношения предпочтения и аддитивной свертки совпали, однако значения функций принадлежности характеризующие степень принадлежности области к благополучным по уровню социального положения субъектам РФ отличаются. Эти различия объясняются, с одной стороны, разными способами представления информации, а с другой стороны – различием подходов к принятию решения.

#### Библиографический список

1. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике: Учебник. М.: Финансы и статистика, 2000.
2. Ярушкина Н.Г. Основы теории нетких и гибридных систем: Учеб. пособие. М.: Финансы и статистика, 2004.
3. Российский статистический ежегодник. 2004: Стат. сб. / Росстат. М., 2004.
4. Социальная статистика: Учебник/ Под. ред. И.И. Елисейевой. М.: Финансы и статистика, 2001.
5. Зубаревич Н.В. Социальное развитие регионов России: проблемы и тенденции переходного периода. М.: Едиториал УРСС, 2003.

**М.В.Бушманова, Б.В.Машинсон**  
ГОУ ВПО «МГТУ»

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ГРУПП БАНКОВ – ГЛАВНЫХ УЧАСТНИКОВ РОССИЙСКОГО РЫНКА ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО КРЕДИТОВАНИЯ**

Широко известно: банковские и финансовые институты занимают одно из центральных мест в рыночной экономике. Поэтому любые кризисы, связанные с ними могут очень болезненно отразиться на её функционировании. И кризис банковской ликвидности летом 2005 года, вызванный отзывом лицензий у нескольких банков и последующим массовым снятием денег с депозитов, очень хорошо показал это. Стоит лишь нескольким банкам подорвать доверие к себе, и большая часть вкладчиков начинает снимать деньги с депозитов, причём этот эффект цепной реакцией распространяется и на «здоровые» банки.

Сегодня наблюдается быстрый рост большинства показателей деятельности банков (рост активов, объема выданных кредитов населению, рост прибыли и т.д.) Так по данным Банка России, за прошлый год объем банковских кредитов нефинансовому сектору вырос на 47% и составил более 8 трлн. рублей. Суммарным итогом кредитной активности российских банков стало то, что в прошлом году по отношению банковских кредитов к ВВП Россия приблизилась к уровню некоторых развивающихся стран. В 2006-м этот показатель у нас составил 30,2% (в 2005-м 25,2%, а в 2000-м и вовсе 10,5%) это чуть ниже, чем в 2003 году продемонстрировали Словакия (31,7%) и Чехия (32,5%). По данным ЦБ совокупные активы российских банков в начале 2007 года превысили 50% ВВП. Таким образом, за последние шесть лет активы выросли с 32,9 до 52,8% ВВП. [1]

Особенно быстро растёт потребительское кредитование, в этой связи остро встаёт вопрос надёжности банков-кредиторов. Может быть, стоит пристальней присмотреться к основным игрокам на рынке потребительского кредитования? Целью этой статьи является попытка сделать первый шаг в этом направлении и попытаться классифицировать крупных игроков рассматриваемого рынка, разбить их на более-менее однородные группы, что поможет в дальнейшем анализе.

На сегодняшний день существует множество методик кластеризации и классификации банков, разработанные Банком России, различными экспертными и рейтинговыми агентствами (например, «Эксперт РА», «РБК.Рейтинг», «Национальное рейтинговое агентство»). Как правило, рейтинговые агентства анализируют основные показатели деятельности банков, такие как собственный капитал, прибыль, размер активов, размеры кредитных портфелей, строят свои индексы деловой активности, разделяют банки на группы надёжности. Однако они редко анализируют относительные показатели банков в их совокупности, кроме того, относительно редко прибегают к использованию серьёзного математического аппарата (кластерному анализу на основе подсчета расстояний между объектами, использующему различные метрики).

В исследование были включены 30 крупнейших по объемам выданных потребительских кредитов по итогам 2006 года банков. (За исключением Сбербанка – крайне сильно выделяющегося из общей совокупности).

Для разбиения совокупности банков на группы воспользуемся инструментами кластерного анализа. Исходные данные по банкам – лидерам потребительского кредитования приведены в приложении 1 [2], где используются следующие переменные (все значения приведены на 01.01.2007):

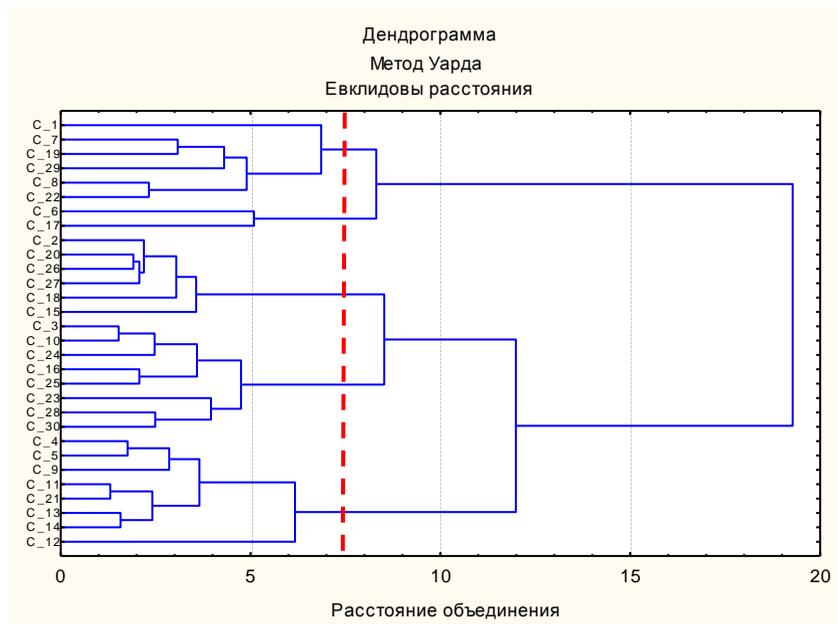
1. А - Работающие активы, млн. руб.
2. А.ВЛ - Доля высоколиквидных активов в активах, %
3. А.КФ - Доля кредитов физ. лицам в активах, %
4. А.КО - Доля кредитов организациям в активах, %
5. П.МБК – Доля в пассивах средств, привлеченных на рынке межбанковского кредита (МБК), %
6. П.СФ - Доля средств физ. лиц в пассивах, %
7. П.СО - Доля средств организаций в пассивах, %
8. П.ЦБ - Доля пассивов, приходящихся на выпущенные ценные бумаги, %
9. СК.Р - Рентабельность собственного капитала (СК), %
10. СК.Д - Достаточность СК, %
11. ПК – Доля просроченных кредитов в кредитном портфеле, %

Предварительно была проведена стандартизация исходных данных.

Для целей классификации воспользуемся известным агломеративным методом – методом Уарда (Ward's method). Он приводит к образованию кластеров приблизительно равных размеров с минимальной внутриклассовой вариацией.

Анализ дендрограммы (рис. 1), показывает, что можно выделить 5 основных кластеров.

Воспользуемся этим и применим метод k-средних для разбиения всей совокупности банков на 5 групп.



**Рисунок 1 – Дендрограмма**

В первый кластер, состоящий из 8 банков, вошли крупнейшие банки из выборки: УралСиб, Банк Москвы, Россельхозбанк, Райффайзенбанк Австрия, Газпромбанк, Альфа-банк, МДМ-Банк и Ак Барс. Средний размер активов – 300 млрд. руб. Это большие универсальные банки, имеющие, как правило, и развитый корпоративный бизнес (в том числе и в кредитовании малого бизнеса) и хорошую традиционную «розницу» (автокредиты, ипотека) [3]. Основу их активов составляют кредиты организациям: 53% активов, розничный бизнес – это 10 % активов. Не следует воспринимать данный показатель как незначительный, в абсолютном выражении это в среднем 26 млрд. руб. Пассивы основываются на средствах организаций (33%), собственном капитале (18%), МБК (21%), средства частных лиц составляют в среднем 15%.

Данная группа обладают средним уровнем рентабельности СК - 18%, высоким уровнем достаточности СК (19%) и очень низ-

кой долей просроченных кредитов (0,9%). Все это следствие их достаточно ровной, консервативной кредитной политики; эти банки редко идут на большой риск. Это очень надежная группа, её можно назвать крупными корпоративными банками.

Второй кластер состоит из 2 организаций: ХоумКредитФинанс банка и Русфинансбанка. Это средние по размерам банки, почти всю основу бизнеса которых составляет «банковский ритейл (розница)» (86% активов, 23 млрд. руб. на банк - это почти столько же сколько и в первой группе, несмотря на то, что данные банки в 10 раз меньше по размерам). Банки группы практически не обладают высоколиквидными активами (2%), что ставит их в очень уязвимое положение. Откуда они берут средства? Прежде всего, это СК (30%), МБК (25%), средства организаций (22%). Банки вынуждены поддерживать высокий показатель достаточности капитала 33% ввиду большой рискованности своего бизнеса. Процент просроченных кредитов у ХКФБ 17% является по банковским меркам абсолютно недопустимым, это свидетельствует о недостаточной эффективности процедур скоринга (оценки заемщиков) и общей неразборчивости банка в отборе заемщиков [4]. Очень низка рентабельность СК (11%) в кластере. Банкам данной группы было бы разумно скорректировать свои процедуры кредитования.

Третья группа состоит из 9 банков: ВТБ 24, Росбанка, Импэксбанка, Инвестсбербанка, Ханты-мансийского банка, Юниаструмбанка, Запсибкомбанка, Собинбанка и банка Возрождение. Это достаточно крупные банки (в среднем 65 млрд. активов), активно развивающие как корпоративное, так и розничное направление (36 и 29% соответственно). Розничные кредиты составляют в среднем 18 млрд. руб. Так же они отличаются большой долей высоколиквидных активов (9%). Но, пожалуй, главной их особенностью является то, что основу их пассивов, прежде всего, составляют вложения частных лиц (39%), средства организаций (27%). То есть их можно назвать в некотором смысле сберегательными банками. Рентабельность СК в данном кластере на том же уровне что и в первом – 17%, его достаточность – 17%. Процент просроченных кредитов – 2,5% в пределах нормы.

Четвертый кластер состоит из 7 банков: Росбанк, Ситибанк, НБ «Траст», ММБ, Транскредитбанк, Промсвязьбанк, МБРР. Средний размер активов – 138 млрд. руб. Банки обладают большими высоколиквидными активами (11%), основу их бизнеса составляет кредитование организаций (40%), розничное направле-

ние не является для них главным, но играет важную роль в их бизнесе (20%). Ещё одной важной чертой группы является крайне высокая доля средств организаций в пассивах (52%). Эти банки обладают высокой рентабельностью СК (24%) и его низкой достаточностью (14%), доля просроченных кредитов 1,4%. Таким образом, это достаточно надежные универсальные банки, осуществляющие эффективную и продуманную стратегию вложений.

Последняя группа состоит всего из 4х банков: Русский стандарт, Москоммерцбанк, КМБ-банк и Дельтакредит. Казалось бы, среди них нет ничего общего: Русский стандарт обладает активами 210 млрд. руб., а остальные от 11 до 28 млрд. руб. Но обратим внимание на структуру активов: низкая доля высоколиквидных активов (2,5%), доминирующее направление бизнеса всех банков – розница: кредиты частным лицам составляют 68%, но не забыты и корпоративные клиенты (16%). Рассмотрим пассивы и опять увидим много общего: высокая доля МБК (38%), очень низкие вложения частных лиц (4%), значительная доля ценных бумаг (16%). На одинаковом уровне находится и достаточность СК (15%). В то же время из группы сильно выделяется Русский стандарт. Это происходит за счет высокой рентабельности СК (77% против 20% у других) и такой же высокой доле просроченных кредитов (9% против 0,8%). Однако можно сказать, что, судя по этим показателям, его высокорисковая стратегия оправдывает себя. Данную группу можно назвать розничными банками.

Таким образом, на основе кластерного анализа удалось выделить 5 основных групп крупнейших по розничным кредитам банков: группа крупнейших корпоративных банков, использующих консервативные стратегии; группа малоэффективных розничных банков, чьи стратегии требуют срочной коррекции; группа сберегательных банков; группа крупных универсальных банков, чьи стратегии отличаются хорошим соотношением риск-доходность и группа розничных банков, строящих свой бизнес преимущественно на потребительском кредитовании, но имеющих в своём портфеле и кредиты организациям.

#### Библиографический список

1. Журналы «Эксперт» № 11, 14 за 2007 год
2. [www.finansmag.ru](http://www.finansmag.ru)
3. [www.rbk.ru](http://www.rbk.ru)
4. [www.expert.ru](http://www.expert.ru)

## Крупнейшие банки потребительского кредитования (по состоянию на 01.01.2007)

Обозначение	Банк	А	Структура активов			Структура пассивов				Кредиты частным лицам, млн руб.	СК.Р	СК.Д	ПК
			А.ВЛ	А.КФ	А.КО	П.МБК	П.СФ	П.СО	П.ЦБ				
C1	Русский стандарт	210451	2	76	8	30	5	29	10	160592	77,48	13,80	8,9
C2	Росбанк	276194	12	29	26	7	23	51	6	80087	22,31	16,20	2,2
C3	ВТБ 24	141162	7	34	32	25	43	19	1	47483	7,89	18,80	0,7
C4	Уралсиб	281379	7	15	43	18	21	29	4	40837	15,68	19,50	2,3
C5	Банк Москвы	354954	10	10	56	11	24	31	2	34965	23,72	14,20	0,6
C6	ХКФБ	38190	3	80	4	22	6	21	20	30656	17,23	26,20	18
C7	Россельхозбанк	235831	3	13	53	37	4	26	21	29962	11,41	16,60	0,7
C8	Урса банк	96581	5	31	33	18	25	35	10	29842	34,58	14,40	3,1
C9	Райффайзенбанк австрия	218817	4	13	53	38	23	28	0	27837	30,31	19,20	0,3
C10	Импэксбанк	58936	9	40	30	14	42	20	5	23355	11,94	21,10	3
C11	ММБ	235403	7	10	53	25	9	54	2	22608	25,83	14,60	0,2
C12	Газпромбанк	718936	5	3	40	14	9	39	21	22173	21,83	22,40	0,5
C13	Альфа-банк	361391	5	6	67	19	13	38	4	21379	15,87	17,50	0,6
C14	МДМ-банк	200787	4	10	57	21	5	45	7	19835	20,15	16,20	1,2
C15	Транскредитбанк	70816	11	24	49	10	16	55	7	17309	48,00	12,00	0,4
C16	Инвестсбербанк	44323	11	37	23	5	52	25	4	16461	19,43	12,50	6,1
C17	Русфинансбанк	17451	2	93	0	28	7	24	14	16310	4,75	39,70	2,7
C18	Ситибанк	122015	17	13	26	21	21	46	0	15704	15,58	18,40	1,2
C19	Москоммерцбанк	28319	3	54	28	45	3	11	27	15196	22,15	15,00	0,8
C20	НБ «Траст»	41786	11	36	25	1	26	58	2	15051	17,58	13,80	4,2
C21	Промсвязьбанк	164763	10	8	60	18	13	51	6	13809	25,47	14,30	0,4
C22	КМБ-банк	23360	3	56	30	22	8	41	14	13060	19,33	18,90	1,6
C23	Ак Барс	99415	8	12	59	11	19	31	9	11960	6,34	32,30	1,1
C24	Ханты-Мансийский банк	60489	9	20	23	5	22	24	6	11878	13,33	23,30	1
C25	Юниаструм-банк	29095	12	37	36	5	53	17	12	10852	6,25	16,50	3,3
C26	Запсибкомбанк	36149	11	30	28	1	32	36	4	10840	19,96	14,80	2,4
C27	МБРР	55163	9	18	44	12	20	52	5	10115	14,24	13,00	1,4
C28	Собинбанк	49205	12	20	55	4	31	33	15	9800	19,27	18,60	1,4
C29	Дельтакредит	11259	2	86	0	54	1	23	12	9684	19,73	12,10	0,1
C30	Возрождение	70948	8	13	62	0	50	33	5	9549	24,48	12,50	1,7

**М.В.Бушманова, А.С.Пережогин**  
ГОУ ВПО «МГТУ»

## **КЛАССИФИКАЦИИ КРУПНЕЙШИХ БАНКОВ РОССИИ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ КЛИЕНТОВ**

На протяжении всего 2006 года экономика России продолжала насыщаться кредитами банков, которые в свою очередь не собираются сокращать темпы финансирования реального сектора. Но при этом возникает вопрос - хватит ли у них возможностей.

Стартовавший в начале 2000-х годов кредитный бум продолжается. По данным Банка России, за прошлый год объем банковских кредитов нефинансовому сектору вырос на 47% и составил более 8 трлн. рублей. Более высокая динамика этого показателя была только в 2000-м (67%) и 2001-м (56%), при этом стоит заметить, что тогда рост отсчитывался от ничтожно малой базы: ссудная задолженность нефинансового сектора составляла на начало 2000 года чуть более 500 млрд. рублей.

Третий год подряд доля кредитов нефинансовому сектору составляет более половины всех активов банков, хотя еще в начале 2000 года была менее трети (31,9%). В 2006-м этот показатель приблизился к 60%, что считается приличной цифрой даже в развитых государствах.

Активность российских банков в течение последних лет привела к тому, что в прошлом году отношение банковских кредитов к ВВП в России приблизилось к уровню некоторых развивающихся стран. В 2006-м этот показатель у нас составил 30,2% (в 2005-м — 25,2%, а в 2000-м и вовсе 10,5%).

Большой практический интерес представляет классификация российских банков на группы по уровню их привлекательности. Для выявления этих групп проведем классификацию 30-ти крупнейших по величине активов банков России. В качестве описывающих характеристик возьмем такие важные для банка показатели как:

X1 – активы (тыс.руб.);

X2 – собственный капитал (тыс.руб., без учета субординированного кредита);

X3 – балансовая прибыль (тыс.руб.).

Анализировались значения признаков на 01.01.2007 г.

Для классификации был использован метод k-средних кластерного анализа. Наилучшее разбиение получилось на основе содержательных экономических критериев и соотношения внутригрупповой и межгрупповой дисперсии. В результате было получено разбиение 30 включенных в выборку банков на 3 кластера (табл. 1).

Таблица 1

Состав кластеров

Номер кластера	Наименование банков
1	Сбербанк России
2	Газпромбанк, Внешторгбанк, Альфа-банк, Банк Москвы
3	Уралсиб, Росбанк, Международный Московский банк, Россельхозбанк, Райффайзенбанк Австрия, Русский стандарт, МДМ-банк, Промсвязьбанк, ВТБ 24, Промышленно-строительный банк, Петрокоммерц, Ситибанк, Урса-банк, Номос-банк, Ак барс, Международный промышленный банк, Банк "Зенит", Возрождение, Транскредитбанк, Абсолют-банк, Глобэкс, Импэксбанк, Ханты-Мансийский банк, Бинбанк, Банк "Санкт-Петербург"

Сравнение средних значений показателей по каждой группе (рис.1) позволяет сделать следующие выводы.

Сбербанк России стоит особняком и занимает бесспорное первое место среди банков России по базовым показателям. Вторая группа банков также отличается высокими значениями активов и капитала. Банки этой группы не первый год занимают лидирующие позиции в рейтингах крупнейших банков страны и, по всей видимости, на 2007 год им отведена роль локомотивов в развитии банковского сектора России. В третью группу вошли оставшиеся банки из топ 30. Это банки с уже сложившейся финансовой историей, солидные и устойчивые организации, но по тем или иным причинам не дотягивающие до уровня банков, включенных во вторую группу.

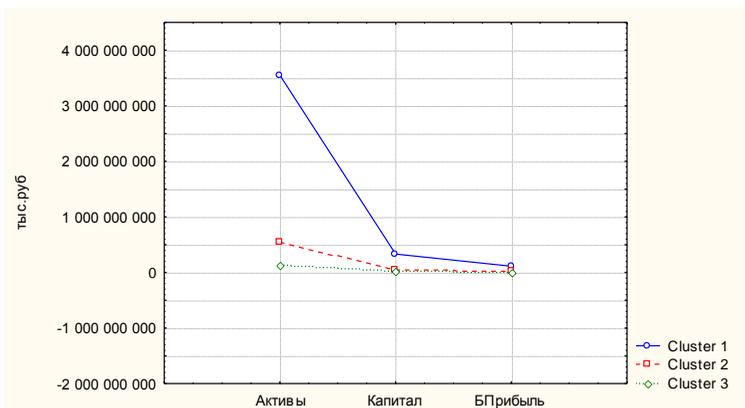


Рис. 1. Средние значения кластеров

Метод группировки, примененный в данном исследовании, может быть полезен для классификации на первый взгляд однородных объектов, обладающих определенным набором характеристик. Вместе с тем, сгруппированные в кластеры объекты, легче поддаются анализу и более удобны для восприятия.

УДК 336.763.2

**Г.Г.Мельникова, А.А.Галин**  
ГОУ ВПО «МГТУ»

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОИМОСТИ ОАО «ММК» ПО МЕТОДУ ДИСКОНТИРОВАННОГО ДЕНЕЖНОГО ПОТОКА**

Определение стоимости дает представление потенциальному инвестору о возможной прибыли (убытке) при вложении своих средств в активы эмитента.

В оценке предприятия с широким ассортиментом продукции (услуг) и сложной структурой затрат и доходов, коим и является ОАО «ММК», данный метод обладает наибольшей эффективностью. Источником информации является официальная финансовая отчетность компании[2].

Денежный поток (табл. 1) = EBIT (прибыль до уплаты процентов, налогов) + балансовые начисления (амортизация, износ) –

налог на прибыль – прирост собственного СОК (собственный оборотный капитал) + снижение СОК – капитальные вложения + изъятия вложений.

Таблица 1

Базовый период, млн. долл. США

	2004	2005	2006
Выручка	4 829	5 380	6 424
Себестоимость	2 712	3 274	3 619
Операционные расходы	451	629	839
ЕВИТ (Прибыль до уплаты процентов, налогов)	1 666	1 477	1 966
Амортизация	169	173	188
ЕВИТДА (Прибыль до уплаты процентов, налогов, вычета амортизации основных средств и НМА)	1 835	1 650	2 154
Номинальная ставка налога	0,24	0,24	0,24
Фактическая ставка налога	0,26	0,27	0,25
Прочие затраты	444	463	300
Налог на прибыль	433	399	492
СОК (Собственный оборотный капитал)	2 051	2 511	2 377
Изменение СОК	0	460	-134
Капиталовложения	395	562	697
Денежный поток	1 007	229	1 100

Согласно методу дисконтированных денежных потоков стоимость предприятия основывается на будущих, а не на прошлых денежных потоках. Поэтому задачей оценки является разработка прогноза денежного потока на какой-то будущий временной период, начиная с текущего года (2007 года). Прогнозный период – 5 лет (табл. 2).

Расчет фактора текущей стоимости (дисконтный множитель) осуществляется по формуле:

$$F = \frac{1}{(1 + R)^n}, \text{ где}$$

$F$  – фактор текущей стоимости;  $R$  – ставка дисконта;  $n$  – число периодов.

Ставка дисконта рассчитывается кумулятивно: сумма безрисковой ставки дохода ( $R_f$ ) и суммарного риска.

Ставку дисконтирования примем равной 13 %. Так как по заявлению министра финансов РФ, Кудрина А.Л., инфляция к 2008

году будет менее 8 %, то примем  $R_f = 8 \%$ , а суммарный риск возьмем равным 5 %, по умолчанию. Риски внутри отрасли минимальны из-за дефицита на рынке черной металлургии, возможного вступления России в ВТО и снижения политических рисков внутри страны.

Таблица 2

Прогнозный период, млн. долл. США

	2007	2008	2009	2010	2011
Выручка	7 388	8 496	9 770	11 236	12 921
Себестоимость	4 162	4 786	5 504	6 330	7 279
Операционные расходы	887	1 019	1 172	1 348	1 551
ЕВИТ (Прибыль до уплаты процентов, налогов)	2 339	2 690	3 094	3 558	4 091
Амортизация	216	249	273	301	331
ЕВИТДА (Прибыль до уплаты процентов, налогов, вычета амортизации основных средств и НМА)	2 555	2 939	3 367	3 859	4 422
Номинальная ставка налога	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Фактическая ставка налога	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Прочие затраты	315	331	347	365	383
Налог на прибыль	486	566	659	766	890
СОК	2 734	3 144	3 615	4 157	4 781
Изменение СОК	357	410	472	542	624
Капиталовложения	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
Денежный поток	713	962	1 236	1 550	1 909
Ставка дисконтирования	0,130	0,130	0,130	0,130	0,130
Дисконтный множитель	0,885	0,783	0,693	0,613	0,543
Дисконтированный денежный поток	631	754	857	951	1 036
Стоимость основного бизнеса	0	754	1 611	2 561	3 597

Далее определенный таким образом фактор текущей стоимости умножается на величину денежного потока в прогнозном периоде за соответствующий период. Текущие величины стоимости денежных потоков складываются, в результате чего получается чистая текущая величина денежного потока за весь прогнозный период (или сумма ДДП).

После чего при помощи модели Гордона определяется годовой доход в постпрогнозный период и методом дисконтирования определяется дисконтированная продленная стоимость.

Модель Гордона выглядит следующим образом:

$$V = \frac{G}{R - g}, \text{ где}$$

$V$  – суммарная величина денежного потока в постпрогнозный период;  $G$  – денежный поток в последний прогнозный год;  $R$  – ставка дисконта;  $g$  – ожидаемые темпы роста денежного потока в постпрогножном периоде.

Конечная стоимость ( $V$ ) по формуле Гордона определяется на момент окончания прогнозного периода.

$$V = \frac{2073}{0,13 - 0,05} = 25000 \text{ (млн. долл. США)}$$

Полученную таким образом стоимость бизнеса в постпрогнозный период приводят к текущим стоимостным показателям по той же ставке дисконта, что применяется для дисконтирования денежных потоков прогнозного периода.

$$\frac{V}{(1 + 0,13)^6} = 12834 \text{ (млн. долл. США)}$$

Полученная величина от дисконтирования стоимости компании в постпрогножном периоде прибавляется к чистому денежному потоку, определенному за прогнозный период. Результатом является рыночная стоимость 100% собственного капитала оцениваемого предприятия (или стоимость акционерного капитала), которая в нашем случае равна 16, 43 млрд. долл. США.

Рыночная цена всех акций ОАО «ММК» равна 11,072 млрд. долл. США[3], а по методу ДДП стоимость бизнеса получилась равной 16,43 млрд. долл. США.

В данном случае мы рекомендуем потенциальному инвестору приобрести акции, так как они неоцененны на рынке.

#### Библиографический список

1. Щербаков В.А., Щербакова Н.А. Оценка стоимости предприятия (бизнеса). М.: Омега-Л, 2006.
2. <http://www.mmk.ru/>.
3. <http://www.quote.ru/>.

**Г.Г.Мельникова, М.Р.Хуснутдинов**  
ГОУ ВПО «МГТУ»

## **СКОРИНГОВАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ КРЕДИТОСПОСОБНОСТИ ЗАЕМЩИКА В ИПОТЕЧНОМ КРЕДИТОВАНИИ**

Объем российского рынка ипотечного кредитования неуклонно растет и за прошедший год приблизился к цифре в 13,5 млрд. долл. против 3,8 млрд. долл. в 2005 году. Количество выданных кредитов в 2006 году увеличилось в 2,3 раза по сравнению с предыдущим годом. Получили большое распространение новые ипотечные продукты (кредиты с нулевым первоначальным взносом, кредиты с плавающей ставкой, кредиты на комнаты), делающие ипотеку доступнее для широких слоев населения.

Развитие ипотечного кредитования породило и обратную проблему – риск невозврата кредитов. Поэтому для многих банков сейчас все более актуальной проблемой становится поиск оптимальных технологий, которые могут быстро и эффективно оценить кредитоспособность потенциального заемщика. Одна из них – скоринг.

Скоринг представляет собой математическую или статистическую модель, с помощью которой на основе кредитной истории "прошлых" клиентов банк пытается определить, насколько велика вероятность того, что конкретный потенциальный заемщик вернет кредит в срок.

Методы классификации весьма разнообразны и включают:

- регрессионные методы;
- различные варианты линейного программирования;
- дерево классификации;
- нейронные сети;
- генетический алгоритм;
- метод ближайших соседей.

Традиционными и наиболее распространенными являются регрессионные методы. Например, во множественной линейной регрессии предполагается, что зависимая переменная является линейной функцией независимых переменных, т.е.:

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n.$$

Можно ли ее использовать для задачи оценки вероятности исхода события? Да, можно, вычислив стандартные коэффициенты регрессии. Например, если рассматривается исход по займу, задается переменная  $y$  со значениями 1 и 0, где 1 означает, что соответствующий заемщик расплатился по кредиту, а 0, что имел место дефолт. Однако здесь возникает проблема: множественная регрессия не "знает", что переменная отклика бинарна по своей природе. Это неизбежно приведет к модели с предсказываемыми значениями большими 1 и меньшими 0. Но такие значения вообще недопустимы для первоначальной задачи. Таким образом, множественная регрессия просто игнорирует ограничения на диапазон значений для  $y$ .

Для решения этой проблемы задача регрессии может быть сформулирована иначе: вместо предсказания бинарной переменной мы предсказываем непрерывную переменную со значениями на отрезке  $[0, 1]$  при любых значениях независимых переменных. Это достигается применением следующего регрессионного уравнения (логит-преобразование):

$$P = \frac{1}{1 + e^{-y}},$$

где  $P$  – вероятность того, что произойдет интересное событие;  $e$  – основание натуральных логарифмов 2,71...;  $y$  – стандартное уравнение регрессии.

Для построения модели используем выборку, содержащую данные о 500 заемщиках. По результатам погашений кредита все заемщики разделены на два класса: благонадежный и неблагонадежный (зависимая переменная). Независимыми переменными являются данные о заемщиках. Поскольку ипотечный кредит выдается на длительный срок и дефолт может случиться через 5-10 лет после выдачи займа, то в данное время еще нет достаточного количества случаев невозврата кредита. Поэтому благонадежными будут считаться заемщики, которые исправно совершают ежемесячные платежи по кредиту, а неблагонадежными – заемщики, имеющие просрочки платежей, а также те физические лица, которым ранее было отказано в займе по решению кредитного комитета банка. В состав выборки вошли 304 благонадежных и 196 неблагонадежных заемщиков. Рассчитанные коэффициенты логистической регрессии приведены в табл. 1.

Для представления результатов бинарной классификации наиболее часто используется ROC-кривая (Receiver Operator Characteristic). Поскольку классов два, один из них называется классом с положительными исходами, второй – с отрицательными

исходами. ROC-кривая показывает зависимость количества верно классифицированных положительных примеров от количества неверно классифицированных отрицательных примеров. При этом предполагается, что у классификатора имеется некоторый параметр, варьируя который, мы будем получать то или иное разбиение на два

Таблица 1

Коэффициенты независимых переменных  
в логистической регрессии

Независимая переменная	Коэффициент
Константа	9,9579
Пол	0,4988
Возраст	0,0688
Место регистрации	-0,0059
Семейное положение	0,0013
Количество детей	-0,3847
Образование	0,5090
Стаж в последней организации	-0,0001
Совокупный ежемесячный доход	-0,0002
Кол-во заемщиков	0,2165
Залог (количество комнат)	-0,8210
Сумма кредита	0,00001
Срок кредита	-0,0087
К/З, %	-0,0280
П/Д, %	-0,1696

класса. Этот параметр часто называют порогом или точкой отсечения. В зависимости от него будут получаться различные величины ошибок I и II рода.

В нашем случае порогом отсечения служит вероятность возврата кредита, она изменяется от 0 до 1 – это и есть расчетное значение уравнения регрессии.

Для понимания сути ошибок I и II рода рассмотрим четырехпольную таблицу сопряженности, которая строится на основе результатов классификации моделью и фактической (объективной) принадлежностью примеров к классам.

Таблица 2

Таблица сопряженности

Модель	Фактически	
	Положительно	Отрицательно
Положительно	TP	FP
Отрицательно	FN	TN

- TP (*True Positives*) – верно классифицированные положительные примеры (так называемые истинно положительные случаи);
- TN (*True Negatives*) – верно классифицированные отрицательные примеры (истинно отрицательные случаи);
- FN (*False Negatives*) – положительные примеры, классифицированные как отрицательные (ошибка I рода). Это так называемый "ложный пропуск" – когда интересующее нас событие ошибочно не обнаруживается (ложно отрицательные примеры);
- FP (*False Positives*) – отрицательные примеры, классифицированные как положительные (ошибка II рода). Это ложное обнаружение, т.к. при отсутствии события ошибочно выносится решение о его присутствии (ложно положительные случаи).

При анализе оперируют не абсолютными показателями, а относительными – долями, выраженными в процентах:

Чувствительность – это доля истинно положительных случаев:

$$Se = \frac{TP}{TP + FN} \cdot 100\% .$$

Специфичность – доля истинно отрицательных случаев:

$$Sp = \frac{TN}{TN + FP} \cdot 100\% .$$

При построении ROC-кривой по оси абсцисс откладывается  $100 - Sp$ , а по оси ординат –  $Se$ . В результате получим следующую кривую (рис. 1).

ROC-кривая



Рис. 1. ROC-кривая

При визуальной оценке ROC-кривых расположение их относительно друг друга указывает на их сравнительную эффективность. Кривая, расположенная выше и левее, свидетельствует о большей предсказательной способности модели. Своеобразным методом сравнения ROC-кривых является оценка площади под кривыми. Теоретически она изменяется от 0 до 1. Чем больше площадь области под кривой, тем точнее модель. В нашем случае площадь равна 0,886 и качество модели оценивается как очень хорошее. Качество модели повышается при увеличении размера выборки. Рекомендуется, чтобы выборка состояла из нескольких тысяч случаев.

Таблица 3

Фрагмент массива точек "Чувствительность-Специфичность".

Порог	Se, %	Sp, %	Se+Sp	Se-Sp
...	...	...	...	...
0,57	87,17	78,57	165,74	8,60
0,58	85,86	79,08	164,94	6,77
0,59	85,86	79,59	165,45	6,26
0,60	85,20	81,12	166,32	4,07
0,61	84,21	81,63	165,84	2,58
0,62	83,22	82,14	165,37	1,08
0,63	82,24	83,16	165,40	0,93
0,64	80,59	84,18	164,78	3,59
0,65	79,93	85,20	165,14	5,27
0,66	77,63	85,20	162,84	7,57
0,67	77,63	85,71	163,35	8,08
...	...	...	...	...
0,87	39,47	95,41	134,88	55,93
0,88	37,17	96,94	134,11	59,77
0,89	34,54	97,96	132,50	63,42
...	...	...	...	...

На основании полученных результатов (табл.3) видно, что максимум чувствительности и специфичности достигается в точке 0,60. В ней чувствительность равна 85,2%. Это означает, что 85,2% благонадежных заемщиков будут выявлены классификатором. Специфичность равна 81,12%, следовательно, 18,88% недобросовестных заемщиков получают одобрение в выдаче кредита (кредитный риск).

Баланс между чувствительностью и специфичностью достигается в точке 0,63.

В ипотечном кредитовании банки придерживаются стратегии строгого отбора заемщиков, так как суммы кредита достаточно велики. Хотя ипотечный кредит всегда предполагает наличие залога, банкам гораздо выгоднее, если заемщик будет исправно платить по кредиту, так как продажа залога сопровождается судебным процессом, и в этом случае теряются проценты по займу.

Например, значению порога 0,88 соответствует высокая специфичность (96,94%), т.е. чуть более 3% неблагонадежных заемщиков получают кредит, что вполне приемлемо для банка. Но тогда лишь 37,17% благонадежных заемщиков будет выдан кредит. Эта цифра не так велика, но даже такая скоринговая модель позволяет значительно сократить срок рассмотрения заявки. Если модель классифицирует заемщика как благонадежного, то ему выдается кредит без проведения андеррайтинга (процедуры экспертной оценки вероятности погашения кредита). Если же модель относит заемщика к классу неблагонадежных, то в этом случае необходимо провести андеррайтинг, и окончательное решение должен вынести кредитный комитет.

Таким образом, автоматизированная оценка кредитоспособности заемщика позволяет банку снизить затраты, сократить средний срок, необходимый для принятия решения о выдаче ипотечного кредита, дает конкурентные преимущества. Поскольку спрос на рынке ипотечного кредитования неуклонно растет, скоринговая система оценки заемщиков экономически выгодна и эффективна.

#### Библиографический список

1. [www.basegroup.ru](http://www.basegroup.ru).
2. [www.kredit-risk.com](http://www.kredit-risk.com).

УДК 336.763.2:519.23

**А.Ю.Землянских, Н.А.Реент**  
ГОУ ВПО «МГТУ»

### **ОЦЕНКА СПРАВЕДЛИВОЙ СТОИМОСТИ АКЦИЙ МЕТОДАМИ ФУНДАМЕНТАЛЬНОГО АНАЛИЗА**

Оценить справедливую стоимость акций компаний можно при помощи методов фундаментального анализа. В настоящее время наибольшей популярностью среди российских аналитиков пользу-

ется модель сравнительных коэффициентов и модель стоимости компании по будущим денежным потокам (СКБДП).

Оценим обыкновенные акции пяти межрегиональных телекоммуникационных компаний при помощи этих моделей. После чего сделаем обобщающие результаты, присвоив модели сравнительного анализа вес 0,3, а модели (СКБДП) вес 0,7.

**1. Метод сравнительных коэффициентов.** Для сравнительного анализа берутся компании одной отрасли. Считается, что у компаний одной отрасли должны быть одинаковые условия.

В качестве финансовой базы ценового мультипликатора должен выступать показатель финансовых результатов либо за последний отчетный период, либо за последние 12 месяцев, либо средняя величина за несколько лет, предшествующих дате оценки. В оценочной практике используются следующие мультипликаторы: капитализация/прибыль (P/E), капитализация/выручка от реализации (P/S), капитализация/стоимость чистых активов (P/Bv), стоимость бизнеса/доналоговая прибыль (EV/ EBITDA).

При расчете берется несколько коэффициентов, так как разные мультипликаторы могут давать разные выводы. Большое число используемых мультипликаторов поможет оценщику выявить область наиболее обоснованной величины.

Рассчитав все коэффициенты можно приступить к вычислению справедливой стоимости компании. Для этого надо сложить все мультипликаторы, а также вычислить среднее значение общего мультипликатора по всем компаниям. Компании с общим мультипликатором ниже среднего имеют наибольший потенциал роста, а компании с общим мультипликатором выше среднего наименьший потенциал роста. Вычисляем потенциал роста из расчета среднего мультипликатора, оцениваем справедливую стоимость и выставляем рекомендацию:  $>+15\%$  - покупать, от  $+15\%$  до  $-15\%$  - держать,  $<-15\%$  - продавать. Расчеты по методу сравнительных коэффициентов представлены в табл. 1, 2.

**2. Метод стоимости компании по будущим денежным потокам.** Для расчета стоимости компании по будущим денежным потокам, используется структура и последовательность действий, которые использует Уоррен Баффет. Анализ проводится в два этапа.

На первом этапе определяем будущие результаты компаний за следующие 5 лет. В качестве исходного материала рассчитывается прибыль предприятия за предыдущий финансовый год или средняя прибыль предприятия за предыдущие годы. Чистая прибыль равна прибыли предприятия за отчетный период, к которой прибавляем амортизационные отчисления, и вычитаются капитальные затраты (1) .

$$\times \dot{I} = \dot{I} \delta + \dot{A} i - \dot{E} c, \quad (1)$$

где ЧП – чистая прибыль компании;  
 Пр – прибыль компании за отчетный период;  
 Ам – амортизация основных средств;  
 КЗ – капитальные затраты.

Таблица 1  
 Расчетные значения мультипликаторов

Компания	Цена ао. на 01.03.07 ММВБ, руб	P/S	P/E	EV/EDITDA	P/Bv
Дальсвязь	102,00р.	0,9	12,7	6,1	1,7
Волгателеком	144,00р.	1,7	13,5	6,3	2,1
Сибирьтелеком	3,02р.	1,3	15,0	7,3	1,9
СЗТ	40,05р.	1,8	26,0	8,7	2,1
Уралсвязь-информ	1,74р.	1,8	20,5	8	2,5
Среднее	48,47р.	1,5	17,5	7,28	2,06

Таблица 2  
 Результаты сравнительного анализа

Компания	Общий мультипликатор	Справедливая стоимость, руб.	Потенциал роста, %	Рекомендация
Дальсвязь	21,426	127,03	25	покупать
Волгателеком	23,6	168,31	17	покупать
Сибирьтелеком	25,543	3,32	10	держать
СЗТ	38,578	25,69	-36	продавать
Уралсвязьинформ	32,824	1,47	-16	продавать
Среднее	28,394			

Определив отправную точку, находим финансовые результаты последующих 5 лет, предполагая, что прирост прибыли (g) будет равен среднему приросту ЧП за предыдущие годы (2).

$$\times \dot{I}_{i+1} = \times \dot{I}_i \times (1 + g), \quad (2)$$

где ЧП<sub>i</sub> – прибыль предыдущего i-го года;  
 ЧП<sub>i+1</sub> – прибыль следующего за i-м годом;  
 g – средний прирост чистой прибыли .

Полученные результаты в разные годы переведем в настоящее время с помощью коэффициента дисконтирования (3).

$$\frac{1}{(1+r)^t}, \quad (3)$$

где  $r$  – ставка альтернативного вложения денежных средств (для расчета принимаем банковский процент равный 9% или 0,09);  
 $t$  – год, в котором получен доход.

Общая формула будущих результатов выглядит следующим образом (4).

$$\times \dot{I} = \sum_{i=0}^5 \frac{\times \ddot{I}_i \times (1+g)}{(1+r)^{i+1}}. \quad (4)$$

На втором этапе определяем остаточную (ликвидационную) стоимость компаний через 5 лет. Здесь исходным материалом для расчета будет являться рассчитанная прибыль 5-го года, определяем доход компании на 6-й год, принимая процент роста прибыли 5%, т.е.  $g_6=0,05$  (5).

$$\times \dot{I}_6 = \times \dot{I}_5 \times (1+0,05). \quad (5)$$

Определим процент превращения в капитал  $k$ . Уоррен Баффет определяет данный коэффициент, как разницу между ставкой альтернативного вложения и процентом прироста в 6-ом году (6).

$$k = (r - g_6) \times 100, \quad (6)$$

где  $k$  – процент превращения в капитал;  
 $r$  – ставка альтернативного вложения (0,09);  
 $g_6$  – коэффициент прироста прибыли 6-го года (0,05).

В результате стоимость компании в конце 5-го года составит – прибыль 6-го года деленная на процент превращения в капитал и умноженная на 100% (7).

$$\tilde{N}\hat{E}_5 = \frac{\times \dot{I}_6}{k} \times 100\%, \quad (7)$$

где  $CK_5$  – стоимость компании в 5-ом году;  
 $ЧП_6$  – чистая прибыль 6-го года;  
 $k$  – процент превращения в капитал.

Переведем стоимость компании в настоящее время, для этого, как и в случае с финансовыми результатами воспользуемся коэффициентом дисконтирования (8).

$$CK = \frac{C\hat{E}_5}{(1+r)^t}, \quad (8)$$

где  $CK$  – стоимость компании в текущем году.  
 Суммировав, результаты первого и второго этапа получим

стоимость компании из расчета будущих денежных потоков. Общая формула для расчета выглядит следующим образом (9):

$$\tilde{N}\hat{E}\hat{A}\hat{A}\hat{I}\hat{I} = \sum_{i=0}^5 \frac{\times\tilde{I}_i \times (1+g)}{(1+r)^{i+1}} + \frac{\tilde{N}\hat{E}_5}{(1+r)^5}, \quad (9)$$

где СКБДП – стоимость компании по будущим денежным потокам.

Получив, стоимость компании по будущим денежным потокам находим справедливую стоимость акции по формуле (10).

$$P = \frac{\tilde{N}\hat{E}\hat{A}\hat{A}\hat{I}\hat{I}}{\hat{E}\hat{I}\hat{E}\hat{E} - \hat{a}\hat{n}\hat{o}\hat{d}\hat{a}\hat{t} \quad \hat{a}\hat{e}\hat{o}\hat{e}\hat{e}}. \quad (10)$$

После нахождения справедливой стоимости оцениваем потенциал роста/падения при сравнении расчетной цены с рыночной ценой акции и выставляем рекомендации, как и предыдущий модели.

Проведем расчеты справедливой стоимости обыкновенных акций пяти межрегиональных телекоммуникационных компаний по модели СКБДП. При этом ставку альтернативного вложения определим в 9% годовых. За темп прироста ЧП компании возьмем средний темп роста за прошедшие три года. За базовую ЧП возьмем прибыль 2006 года, темп прироста ЧП в постпрогнозный период  $g=5\%$  годовых. Данные о чистой прибыли компаний приведены в табл. 3.

Таблица 3

Чистая прибыль компаний

Компания	Чистая прибыль млн. руб		
	2004	2005	2006 2к
Дальсвязь	756,1	613	810,6
Волгателеком	2 479	2 562,1	2 997,6
Сибирьтелеком	2 027,6	1 625,8	2 517,0
СЗТ	705,3	1 411,6	1 418,6
Уралсвязьинформ	2 253,4	2 327,3	2 855,2

Средний прирост чистой прибыли за три года представлен ниже в табл. 4.

После того как вычислили средний прирост чистой прибыли, рассчитываем чистую прибыль в прогнозный и постпрогнозный период по формуле (2). Результаты расчета представлены в табл. 5.

Таблица 4

## Средний прирост чистой прибыли компаний

Компания	Прирост чистая прибыли, %			Средний прирост, %
	2004	2005	2006 2к	
год				
Дальсвязь	-	-23,34%	24,38%	0,52
Сибирьтелеком	-	-24,71%	35,41%	5,35
СЗТ	-	50,04%	0,49%	25,26
Волгателеком	-	3,24%	14,53%	8,89
Уралсвязьинформ	-	3,18%	18,49%	10,83

Таблица 5

## Чистая прибыль компаний в прогнозный период

Компания	Чистая прибыль компаний, млн. руб.								
	Базовый период			Прогнозный период					Постпрогнозный
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
Дальсвязь	756	613	811	815	819	823	827	832	873
Волгателеком	2 479	2 562	2 998	3013	3029	3044	3060	3076	3230
Сибирьтелеком	2 028	1 626	2 517	2530	2543	2557	2570	2583	2712
СЗТ	705	1 412	1 419	1426	1433	1441	1448,	1456	1528
Уралсвязьинформ	2 253	2 327	2 855	2870	2885	2900	2915	2930	3076

Далее рассчитываем кумулятивный дисконтированный денежный поток и ликвидационную стоимость при помощи формул (3) - (8). Рассчитанный кумулятивный денежный поток и ликвидационная стоимость компании представлен ниже в табл. 6.

Суммируем ликвидационную стоимость и кумулятивный дисконтированный денежный поток, и получаем СКБДП по формуле (9). Затем, зная СКБДП, находим справедливую стоимость обыкновенной акции по формуле (10) и вычисляем потенциал роста/падения. Из расчета 15% роста / падения выставляем окончательные рекомендации. Расчет справедливой стоимости и потенциала роста/падения представлен в табл. 7.

Таблица 6

## Денежный поток и ликвидационная стоимость компании

Компания	Кумулятивный дисконтированный денежный поток, млн. руб.					Ликвидационная стоимость, млн. руб.
	Прогнозный период					Постпрогнозный
Даль-связь	747,51	1436,84	2072,52	2658,72	3199,30	14190,18
Волгате-леком	2764,29	5313,44	7664,18	9831,96	11831,02	52475,32
Сибирь-телеком	2321,38	4462,08	6436,16	8256,60	9935,36	44067,29
СЗТ	1308,19	2514,56	3627,04	4652,93	5598,97	24833,70
Урал-связьин-форм	2632,98	5061,02	7300,10	9364,90	11268,99	49982,50

Таблица 7

### Расчет справедливой стоимости

Компа-ния	СКБДП, млн. руб.	Количество ао. шт.	Справед-ливая стоимость, руб.	Потенциал ро-ста/падения, %	Рекомендация
Дальсвязь	17389,48	95581421	137,19	34,50	<b>покупать</b>
Волгате-леком	64306,34	245 969 590	196,08	35,66	<b>покупать</b>
СЗТ	30432,67	881045433	26,90	-32,84	<b>продавать</b>
Сибирьте-ком	54002,65	12011401829	3,39	12,32	<b>держать</b>
Уралввя-зьинформ	61251,49	32298782020	1,53	-11,78	<b>держать</b>

Проведем обобщение результатов полученных по сравнительному анализу и модели СКБДП. При этом присвоим модели СКБДП вес равный 0,7, а результатам сравнительного анализа вес равный 0,3. Справедливая стоимость в результате обобщения двух моделей представлена в табл. 8.

Таблица 8

### Расчет общего результата

Компания	Цена ак. на 01.03.07 ММВБ, руб.	Потенциал роста по DCF, %	Потенциал роста по сравнительному анализу, %	Обобщенный потенциал роста, %	Справедливая стоимость на 01.03.07, руб.	Рекомендация
Дальсвязь	102	34,50	28,00	32,55	135,20	покупать
Волгателеком	144	35,66	17,00	30,06	187,29	покупать
Сибирьтелеком	3,02	12,32	10,00	11,62	3,37	держать
СЗТ	40,05	-32,84	-36,00	-33,79	26,52	продавать
Уралсвязьинформ	1,737	-11,78	-16,00	-13,05	1,51	держать

В результате, проведенного фундаментального анализ выявлено, что обыкновенные акции компаний «Дальсвязь» и «Волгателеком» недооценены рынком. Стоимость обыкновенных акции компаний «Сибирьтелеком» и «Уралсвязьинформ» объективно оценена рынком, а компании «СЗТ» значительно переоценена.

### Библиографический список

1. Салин В.Н., Добашина И.В. Биржевая статистика. М.: Финансы и статистика, 2003.
2. Уильям Ф. Шарп, Гордон Дж. Александер, Джеффри В. Бейли. Инвестиции / Университетский учебник. М.: Инфра-М, 2001.

**Я.В.Матяш, Т.А.Иванова**  
ГОУ ВПО «МГТУ»

## **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ АНАЛИЗА ФИНАНСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ И ПЛАТЕЖЕСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ**

С переходом российской экономики к рыночным отношениям у большинства предприятий возникла проблема оценки платежеспособности и финансово-экономической устойчивости как своей, так и предполагаемых партнеров по бизнесу. Способность предприятия погашать свои обязательства в срок и сохранять права владения предприятием в долгосрочной перспективе интересуют как внешних агентов (инвесторов, кредиторов, акционеров, потребителей, производителей), так и руководителей предприятия, работников административно-управленческих и производственных подразделений.

В данном исследовании оценивалась финансовая устойчивость и платежеспособность реального предприятия, занимающегося строительно-монтажной деятельностью. Анализ проводился на основе данных бухгалтерской отчетности (Бухгалтерский баланс и Отчет о прибылях и убытках) за период с III-го квартала 2004 года по III-й квартал 2006 года включительно. С целью сравнения предприятия с организациями его же отрасли, имеющими сходную с ним структуру баланса, использовалась пространственная выборка из 25 вспомогательных предприятий строительной отрасли.

Одним из наиболее распространенных инструментов оценки финансовой устойчивости и платежеспособности предприятия в финансово-аналитической практике является коэффициентный анализ. Однако, при анализе финансовых показателей организации перед экономистом сразу возникает проблема выбора из большого числа предлагаемых коэффициентов наиболее информативных и не дублирующих друг друга.

Для решения этой проблемы использовался следующий подход: было взято 23 коэффициента, которые предлагаются в различных источниках для оценки финансовой устойчивости и платежеспособности предприятия. Далее был проведен корреляционный анализ коэффициентов по 25 вспомогательным предприятиям [1], который показал, что многие из них достаточно сильно взаимо-

связаны, кроме того, между некоторыми даже наблюдается функциональная связь. Поэтому по экономическим и статистическим соображениям из всей совокупности коэффициентов было отобрано только 7, которые содержат максимальное количество информации и при этом не взаимосвязаны: коэффициент финансового левериджа, коэффициент обеспеченности, коэффициент мобильности, коэффициент реальной стоимости имущества, коэффициент структуры привлеченного капитала, коэффициент общей ликвидности, величина отношения запасов к текущим активам.

Итак, отобранные коэффициенты можно использовать для анализа финансовой устойчивости и платежеспособности нашего предприятия. Однако возникает вопрос: какие именно значения показателей необходимо использовать? Одна из проблем традиционной оценки финансового состояния предприятия – это осуществление расчета показателей на основе моментных данных бухгалтерской отчетности. Даже высокое значение коэффициента на определенный момент времени не гарантирует, что несколько дней назад показатели предприятия были на том же уровне. Чтобы учесть это некоторые авторы предлагают рассчитывать среднегодовые значения по ежеквартальным или ежемесячным показателям, тем самым усредняя состояние предприятия за год. Но так как организация за год может претерпевать изменения, более рациональным будет анализ финансовых показателей в динамике, т.е. анализ их тенденций.

Динамика показателей оцениваемого предприятия отслеживалась по временным рядам, представленным ежеквартальной отчетностью. Естественно, наличие ежемесячной информации о финансовых результатах предприятия позволило бы более точно оценить трендовую составляющую, но, к сожалению, такими данными мы не располагаем.

По данному предприятию все показатели достаточно хорошо описываются полиномиальным трендом второго порядка. Остатки всех полученных уравнений некоррелированы и нормально распределены, что говорит об адекватности моделей. На рис. 1 приведен пример тренда коэффициента общей ликвидности.

На основе найденных трендов были получены исправленные значения коэффициентов на текущую дату (конец 9-го квартала), а также прогнозные значения (на конец 10-го квартала). Именно эти значения были взяты для дальнейшего анализа.

Заключительный этап – оценка по полученным значениям коэффициентов текущей платежеспособности и финансовой устойчивости организации, а также прогноз его состояния на следующий квартал. Широко распространенный метод, на основании

которого делаются выводы о состоянии организации – сравнение значений коэффициентов с нормативами. В этой связи стоит отметить следующее: сравнение всех коэффициентов с их нормативными значениями часто приводит к разным результатам – значения одних показателей соответствуют высокой работоспособности предприятия, а значения других - нет. Стоит отметить также, что не по всем коэффициентам имеются нормативы, что еще более усложняет процесс их анализа. Вообще говоря, для каждой отрасли должны существовать свои критические значения, исходя из специфики деятельности. Поэтому в работе состояние исследуемого предприятия сравнивалось с 25 строительными предприятиями.

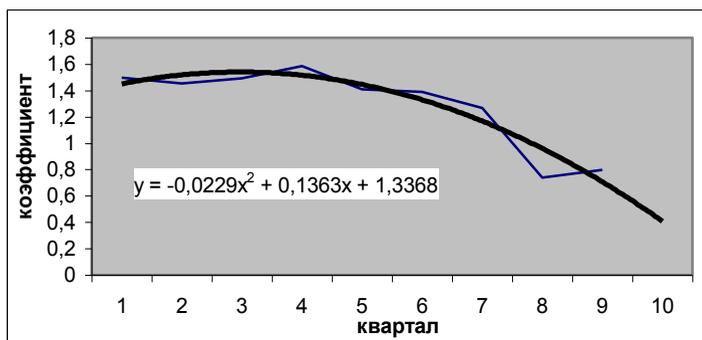


Рис. 1. Тенденция коэффициента общей ликвидности

Одним из вариантов сравнительной оценки является применение процедур кластерного и дискриминантного анализов, которые базируются на объединении однородных объектов в группы (мерой близости объектов друг к другу обычно выступает расстояние, например, Евклидово) и отнесении исследуемого объекта к той или иной группе при помощи классификационных функций [1]. Однако такой подход не учитывает различной значимости критериев. Совершенно очевидно, что нельзя ставить в один ряд такие показатели, как коэффициент финансового левериджа и коэффициент реальной стоимости имущества предприятия. Первый из них ясно показывает зависимость предприятия от привлеченных средств, а второй – только возможный потенциал фирмы, который может быть и не реализован. Это же касается и других коэффициентов. Кроме того, дискриминантный анализ предполагает знание априорной информации о состоянии предприятий.

В данном исследовании для сравнения предприятий использовались методы, основанные на теории нечетких множеств, кото-

рые не требуют априорного представления о состоянии организаций и позволяют учесть различную значимость критериев.

Таким образом, каждому показателю был присвоен вес. Вектор весовых коэффициентов был определен как собственный вектор матрицы парных сравнений показателей [2]. Получены следующие веса: коэффициент финансового левириджа – 0,374, коэффициент обеспеченности – 0,165, мобильности – 0,068, реальной стоимости имущества – 0,029, структуры привлеченного капитала – 0,082, общей ликвидности – 0,238, величина отношения запасов к текущим активам – 0,044.

Далее каждому коэффициенту было присвоено нечеткое множество или число, выраженное с помощью функции принадлежности  $\mu$ . Эта функция изменяется от 0 до 1 и тем больше, чем лучше и предпочтительнее значение коэффициента. Ранжирование 25 предприятий проводилось посредством трех методов: многокритериальный выбор альтернатив на основе пересечения нечетких множеств (максиминная свертка), на основе нечеткого отношения и на основе аддитивной свертки [2]. Результаты ранжирования представлены на рис. 2, 3, 4 соответственно.

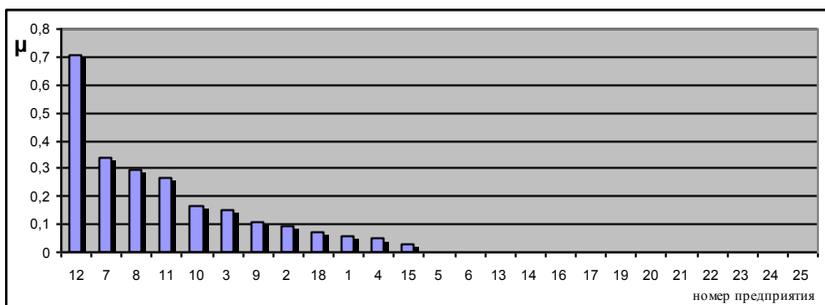


Рис. 2. Многокритериальный выбор альтернатив на основе пересечения множеств

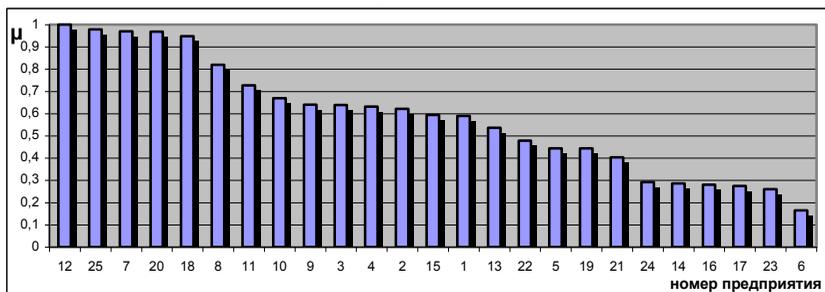


Рис. 3. Многокритериальный выбор альтернатив на основе отношения предпочтений

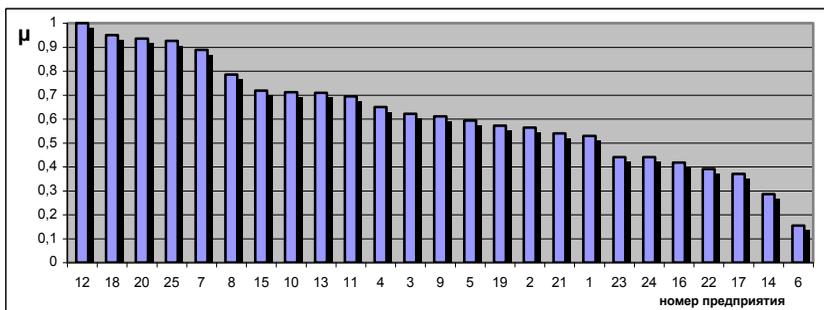


Рис. 4. Многокритериальный выбор альтернатив на основе аддитивной свертки

Результаты, полученные разными методами, сходны, но отличия все-таки имеются. Несовпадение объясняется различием подходов к принятию решений. Максимальная свертка является реализацией пессимистического подхода, игнорирующего хорошие стороны альтернатив, при таком подходе лучшей считается альтернатива, имеющая минимальные недостатки по всем критериям. В связи с этим половину предприятий нельзя ранжировать (см. рис.2), так как у каждого имеется показатель, равный нулю. В основу метода отношения предпочтений заложен рационально-взвешенный подход, основанный на попарных сравнениях объектов и нормированных весовых коэффициентах. Аддитивная свертка предполагает оптимистический подход, когда низкие оценки по критериям имеют одинаковый статус по сравнению с высокими.

В ходе сравнительного анализа результатов методов было решено разбить все предприятия на 3 группы (при этом результаты максимальной свертки не учитывались из-за того, что по этому методу большую часть предприятий не удалось ранжировать):

- Предприятия с абсолютной финансовой устойчивостью и платежеспособностью – организации, имеющие высокие значения функции принадлежности (7, 12, 18, 20, 25);
- Предприятия с нормальной финансовой устойчивостью и платежеспособностью – организации с более низкими функциями принадлежности (1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 19, 21, 22);
- Предприятия с неустойчивым финансовым состоянием и низкой степенью платежеспособности обладают самыми низкими функциями принадлежности (6, 14, 16, 17, 23, 24);

И текущие и прогнозные значения коэффициентов оцениваемого строительного-монтажного предприятия соответствуют неустойчивому состоянию с низкой платежеспособностью. При этом, стоит отметить, что в квартале, на который делается прогноз, предприятие имеет более низкий ранг, чем в текущем квартале. Т.е. возможно дальнейшее ухудшение состояния предприятия. Таким образом, руководству стоит задуматься о принятии серьезных мер, направленных на противостояние банкротству.

Подводя итог, можно выделить основные этапы проведения анализа устойчивости предприятия с использованием статистических методов:

1. Корреляционный анализ всей совокупности коэффициентов по выборке вспомогательных предприятий с целью отбора минимального количества показателей, обладающих максимальным количеством информации.
2. Отыскание значений коэффициентов для периода, на который делается прогноз, и исправленных значений коэффициентов для текущего периода при помощи выделения тенденций в динамике значений коэффициентов.
3. Ранжирование вспомогательных предприятий с использованием теории нечетких множеств, разбиение их на группы и отношение оцениваемого предприятия к одной из групп с целью определения его финансовой устойчивости и платежеспособности в текущем и прогнозном периоде.

#### Библиографический список

1. А.М. Дубров, В.С. Мхитарян, Л.И. Трошин. Многомерные статистические методы. Москва, 2000 г.
2. А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. Москва, 2001 г.
3. Г.В. Савицкая. Анализ хозяйственной деятельности предприятия. Москва, 2006 г.
4. Н.П. Любушин. Анализ финансового состояния организации. Москва, 2006 г.
5. В.А. Чернов. Экономический анализ: торговля, общественное питание, туристический бизнес. Москва, 2003 г.

**Е.В.Данилова, Т.А.Иванова**  
ГОУ ВПО «МГТУ»

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РЫНОЧНОЙ СТОИМОСТИ ЖИЛЬЯ НА ОСНОВЕ МАССОВОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ**

Вопрос оценки недвижимости является всегда актуальным, поскольку недвижимое имущество играет особую роль в экономической и социально - культурной жизни любого общества, выступая в качестве важнейшего экономического ресурса и играя роль той пространственной среды, в которой осуществляется любая человеческая деятельность.

В настоящее время все чаще возникает необходимость определения стоимости объектов недвижимости при купле и продаже имущества, получении кредита под залог имущества, определении базы налогообложения, страховании имущества, выделении доли участков предприятий, реорганизации, ликвидации, а также использовании прав наследования и судебного приговора. Сегодня рынок недвижимости начинает обретать цивилизованные формы, начинает формироваться его необходимая инфраструктура. Поэтому, все большее значение приобретает правильное определение цены конкретного объекта недвижимости.

Оценка недвижимости – операция по определению стоимости объекта – является одной из важнейших функций маркетинга и системы управления недвижимостью в целом. Чем ближе фактическое значение стоимости объекта к истинному, тем меньше вероятность ошибки при принятии решения в области управления недвижимостью.

Как и в других механизмах ценообразования, цена каждой сделки по купле-продаже недвижимости определяется набором многообразных факторов. Они могут быть подразделены на:

- *объективные (микрoэкономические) и субъективные факторы.* При определенной условности такого деления оно группирует факторы, зависящие и независящие от отдельно взятого участника конкретной сделки;

- макроэкономические факторы, связанные с общей конъюнктурой рынка: исходный уровень обеспеченности, потребности в объектах недвижимости в регионе; объемы и структура нового строительства и реконструкции; факторы миграции; правовые и

экономические условия сделок (налоги, пошлины и т.п.); уровень и динамика инфляции; курс доллара и его динамика; развитие системы ипотеки;

- в отдельную группу можно выделить факторы, связанные с феноменами массового сознания: инфляционные ожидания, рекламные мифы и т.п. Они особенно проявляются на квартирном рынке.

При массовой оценке рыночной стоимости квартир можно и нужно ориентироваться на типовой (средний) характер сделки, учитывать его при оценке рыночной стоимости квартир. Из трех групп факторов *при определении рыночной стоимости массовым методом оценки рассматриваются только объективные факторы*. Что касается субъективных факторов, то следует учитывать, что они связаны с поведением конкретного покупателя, продавца или посредника при заключении сделки, в части не определяемой непосредственно ее экономическими условиями (темперамент, осведомленность, честность, терпеливость, доверчивость, личные симпатии и антипатии и т.п.). Анализ этих факторов, относящихся к области психологии, а не экономики, выходит за рамки оценки. В процессе оценки предполагается, все они соответствуют среднему (типичному) для рынка уровню.

Объективные факторы в основном являются экономическими, определяющими, в конечном счете, средний уровень цен конкретных сделок. А цена каждой конкретной сделки формируется под влиянием и иных факторов и составляет своего рода случайную величину, которая колеблется вокруг этого среднего уровня [1].

В определении термина «рыночная стоимость» не подразумеваются какие бы то ни было конкретный продавец или конкретный покупатель оцениваемого имущества. Речь идет о гипотетической сделке между типичным продавцом и типичным покупателем — воображаемыми репрезентативными участниками рынка, чьи взгляды и суждения характерны для большинства реальных участников рынка, на котором совершается эта сделка.

Рыночная стоимость по определению зависит не от фактической цены сделки, состоявшейся на дату оценки, а является расчетной ценой, которая предположительно будет достигнута в сделке на дату оценки в условиях рынка, соответствующего определению рыночной стоимости. Рыночная стоимость — это цена, на которой на определенный момент времени предположительно сойдутся покупатель и продавец при соблюдении условий определения рыночной стоимости, при допущении, что у каждого из них было достаточно времени для исследования других рыночных возможностей и альтернативных вариантов.

Рыночные методы оценки, как правило, базируются на рассмотрении сопоставимых объектов собственности. Процесс оценки требует проведения адекватного исследования, компетентного анализа и выработки обоснованных суждений. При этом все данные должны подвергаться всестороннему изучению, учитывая всю относящуюся к делу информацию, существующие на рынке тенденции, данные о сопоставимых сделках и многое другое. В тех случаях, когда рыночные данные ограничены или практически отсутствуют вовсе (как, например, для некоторых специализированных объектов недвижимости), оценщик должен адекватно отразить эту ситуацию и указать, повлиял ли недостаток информации на оценку стоимости, и если да, то в какой степени. Все оценки в какой-то мере зависят от индивидуального мнения оценщика. Но в его отчете должно быть раскрыто, базировался ли оценщик в расчете рыночной стоимости на рыночных данных или же его оценка из-за особенностей конкретной собственности и недостатка сопоставимой рыночной информации больше базировалась на субъективном мнении самого оценщика.

Начиная примерно с 1910 г., в литературе обозначилось три основных подхода к оценке рыночной стоимости недвижимости:

- сравнения продаж – использует цены продажи в качестве индикаторов стоимости аналогичных объектов недвижимости. Цена продажи представляет собой цену, при которой устанавливается равновесие между спросом и предложением. Оценка производится исходя из цен объектов-аналогов, скорректированных на различия их характеристик с объектом оценки;

- затратный – предполагает, что стоимость существующего сооружения равна затратам на строительство аналогичного объекта, который может служить заменой существующему объекту. У инвестора есть выбор между покупкой существующих сооружений и строительством новых, которые будут приносить такой же доход (или в равной степени удовлетворять его другие потребности, т.е. иметь ту же полезность). При оценке стоимости существующего сооружения вычисляются затраты на строительство его функционального эквивалента, а затем делается поправка на износ объекта оценки;

- доходный (капитализации дохода) – использует информацию о доходах и расходах при эксплуатации объекта, чтобы отразить спрос и предложение рынка. Покупатель хочет купить, потому что он предвидит будущий доход. Однако капитал можно использовать, не только вкладывая его в недвижимость, и это влияет как на спрос, так и на предложение объектов доходной недвижимости.

Рекомендации западных и отечественных авторов и практический опыт риэлторов указывают: для небольшой жилой недвижимости (квартир) целесообразно проводить оценки по упрощенной процедуре (массовый метод оценки), которая может базироваться только на методе сравнения рыночных продаж [2].

Подход к оценке стоимости с точки зрения сопоставления продаж основывается на прямом сравнении оцениваемого объекта с другими объектами недвижимости, которые были проданы или включены в реестр на продажу. Покупатели, часто основывают свои заключения о стоимости главным образом на объектах недвижимости, предлагаемых, на продажу. Оценщики также используют эту информацию наряду со сведениями о проданных или сданных в аренду объектах. Этот подход основан на принципе замещения, который гласит: при наличии нескольких товаров или услуг схожей пригодности, тот из них, который имеет самую низкую цену, пользуется наибольшим спросом и имеет самое широкое распространение. Применительно к жилью это означает: если на рынке оно может быть заменено (что обычно и происходит), то его стоимость обычно устанавливается на уровне затрат на приобретения жилья равной степени привлекательности, при допущении, что не понадобится много времени на осуществление замены.

Цены индивидуальных продаж часто отличаются от рыночной нормы цен из-за мотивации участников сделки, условий их осведомленности и/или условий сделки. Однако в подавляющем большинстве случаев цены индивидуальных сделок имеют тенденцию отражать направление развития рынка. Когда имеется информация по достаточному количеству сопоставимых продаж и предложений на продажу для данного рынка, то легко определить ценовые тенденции, служащие лучшим индикатором рыночной стоимости недвижимости. *Подход с точки зрения сопоставимых продаж в целом наиболее предпочтительный метод оценки рыночной стоимости жилой недвижимости.* Оценки, базирующиеся на применении подходов по затратам и доходу, имеют большую вероятность быть подверженными значительной ошибке. В качестве альтернативы традиционным методам внесения поправок по указанным выше подходам в цены аналогов существуют новые методы (метод массовой оценки), использующее для сравнения большее число продаж. Они не зависят от поправок, основанных на ограниченной рыночной информации, а связаны со статистической обработкой данных по многим сопоставимым продажам.

А поскольку для этого класса объектов их достаточно много, метод поправок целесообразно заменять более новым методом, основанным на результатах регрессионного анализа больших мас-

сивов статистической информации. В результате такого анализа определяется характер математической зависимости для цены продажи квартиры на рынке от ее характеристик (параметров): общей и жилой площади, расположения, количества комнат, этажа, типа дома, наличия телефона и т.д.

Таким образом, строится модель и определяется некоторая зависимость (функция) цены от параметров квартиры, приближенно описывающая рыночную ситуацию. Будучи один раз сформулированной, эта зависимость может многократно применяться для различных квартир. Подставив в эту зависимость определенный набор значений параметров конкретной квартиры и выполнив соответствующие вычисления, на выходе мы получаем конкретное значение оценки этой квартиры. Определение формы этой зависимости весьма трудоемко, но ее использование для оценки конкретной квартиры очень просто, доступно практически каждому и занимает очень мало времени, особенно если это делается на компьютере. В этом, собственно говоря, и выражается суть массовой оценки недвижимости.

Модель процесса ценообразования можно рассмотреть на примере вторичного рынка квартир в Магнитогорске. На нем продавцами выступают частные лица, а не государство. Цель моделирования — определить, как рыночная стоимость квартиры зависит от ее основных характеристик (параметров), и выявить характер (формулу) этой зависимости.

Информация о реальных ценах сделок почти недоступна. Цены спроса также мало пригодны для анализа, поскольку в заявке на покупку квартиры ее цена и параметры указываются многовариантно (например: в Ленинском районе или на Левом берегу). Зато по ценам предложения в рекламных публикациях (газеты «Из рук в руки», «Недвижимость» и др.) имеется большое количество однозначной информации о продаваемых квартирах. Именно эта информация, о тысячах реальных заявок на продажу квартир ежемесячно, пригодна для моделирования многопараметрической зависимости цены предложения продавца от характеристик квартиры. Но нас интересует другая зависимость — для цены сделки. Для перехода от цены предложения к цене сделки, учитывается, что цена предложения больше цены сделки в среднем на два процента, что установлено на основе экспертных оценок риэлтеров.

Таким образом, в качестве зависимой переменной в нашей модели, исходя из спецификации задачи, нами выбрана ожидаемая средняя цена реализации квартиры при сделке ее купли-продажи на вторичном рынке магнитогорских квартир, измеренная в рублях.

А независимыми переменными являются: момент времени и параметры (характеристики) квартиры, оказывающие существенное влияние, на ее рыночную стоимость и доступные для наблюдения и анализа, а именно:

- момент времени –  $x_1$
- количество комнат –  $x_2$ ;
- общая площадь –  $x_3$  (кв. м);
- жилая площадь –  $x_4$  (кв. м);
- площадь кухни –  $x_5$  (кв. м);
- этаж, на котором находится квартира –  $x_6$  (бинарная переменная, принимающая значение 1 – если этаж первый или последний, 0 – в противном случае).
- наличие лифта –  $x_7$  (бинарная переменная, принимающая значение 1 – если в доме есть лифт, 0 – в противном случае);

Если пять первых показателей являются количественными и легко поддаются измерению, то другие показатели предлагается представить в виде «фиктивных» переменных, которые количественным образом описывают качественный признак.

Для учета влияния принадлежности квартиры к тому или иному району города были использованы фиктивные переменные:  $d_1$  – квартира находится в Ленинском районе;  $d_2$  – в Правобережном районе;  $d_3$  – в Орджоникидзевском районе (от ул.Завенягина до ул.Труда);  $d_4$  – в Орджоникидзевском районе (за ул.Труда). Одна из фиктивных переменных  $d_1$  –  $d_4$  принимает значение 1, когда квартира находится в районе, соответствующем данной переменной, остальные три фиктивные переменные тогда будут равны 0. Если значения всех фиктивных переменных равны нулю, то квартира находится на Левом берегу.

Для применения массового метода оценки используем данные об одно-, двух- и трехкомнатных квартирах в г. Магнитогорске за период «октябрь 2005 – апрель 2007». Проследим, как менялись средние цены на квартиры в городе за указанный период (рис. 1).

Согласно рис. 1 цены на квартиры значительно подорожали осенью 2006 года, что по мнению большинства экспертов вызвано повышением привлекательности для населения ипотечных кредитов. Увеличение объемов выдачи ипотечных кредитов повлекло повышение платежеспособного спроса на жилую недвижимость и, как следствие, при практически неизменном уровне предложения, рост цен на квартиры. Для учета скачка в уровне цен нами предлагается включить в модель фактор времени. Он может быть введен несколькими способами: во-первых, в линейной модели выступать в качестве количественного признака, во-вторых, в линейной мо-

дели в виде бинарной переменной, в-третьих, в нелинейной модели входить в состав множителя, и т.п.

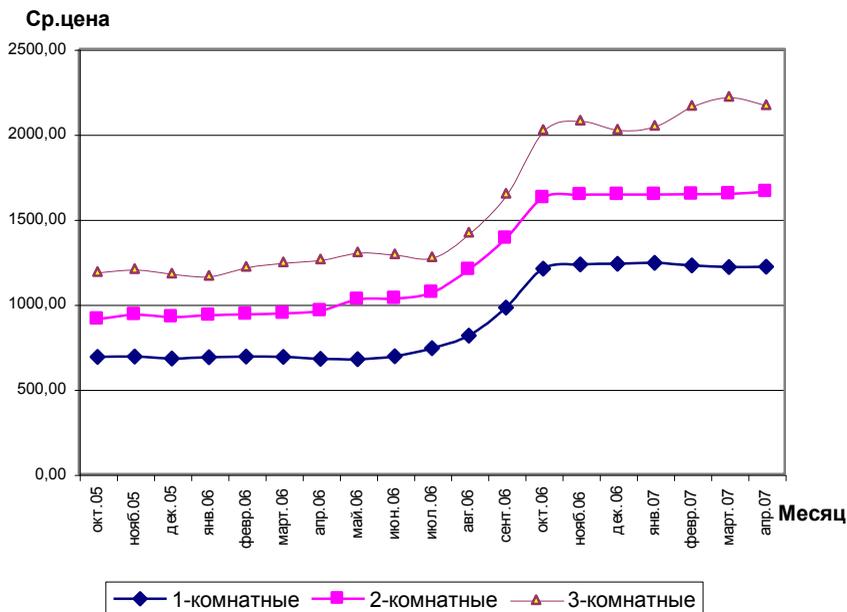


Рис. 1. Средние цены на рынке жилой недвижимости в городе Магнитогорске за период с сентября 2005 г. по апрель 2007 г.

Построив модели по каждому из трех указанных вариантов, и оценив их адекватность и точность, была выбрана линейная модель, в которой фактор времени учитывается как бинарная переменная, т.е. переменная  $x_7$  принимает значение «0», если наблюдение относится к периоду «октябрь 2005 г. – август 2006 г.» (до резкого повышения цен), и значение «1» в противном случае.

Для исследования влияния параметров квартиры на её рыночную стоимость, и построения уравнения рыночной стоимости жилья используем корреляционно-регрессионный анализ. Первоначально в модель были включены все переменные, но так как была выявлена мультиколлинеарность между независимыми переменными – *общая площадь* ( $x_3$ ), *жилая площадь* ( $x_4$ ) (чем больше общая площадь в квартире, тем больше и жилая площадь, и число комнат), то переменная  $x_4$  была исключена из модели.

Итоговое уравнение зависимости цены квартиры от ее характеристик приняло вид:

$$\hat{y} = -530,96 + 610,43 * x_1 + 53,73 * x_2 + 16,78 * x_3 + 23,91 * x_5 - 51,92 * x_6 + 426,76 * d_1 + (-26,44) (103,36) (5,61) (30,02) (10,46) (-10,32) (29,83) + 380,73 * d_2 + 406,77 * d_3 + 392,17 * d_4 (27,99) (31,23) (28,22)$$

Уравнение значимо по критерию Фишера при  $\alpha=0,05$ , т.к.  $F_{\text{набл}}=2517,08 > F_{\text{кр}}=2,93$ .

Значимы и коэффициенты регрессии уравнения по критерию Стьюдента  $|t_{\text{набл}}| > t_{\text{кр}}(0,05;4969)=1,96$  (наблюдаемые значения  $t$  – критерия указаны в скобках под оценками коэффициентов регрессии).

Полученный исправленный множественный коэффициент детерминации свидетельствует о том, что почти 82% вариации цены объясняется вошедшими в модель переменными. Остальная часть вариации обусловлена действием неучтенных факторов, таких как наличие балкона, городского телефона, расстояния до остановки, тип постройки дома и пр.

Итак, на основе модели можно сделать следующие выводы:

1) расположение на крайнем этаже (первый или последний) уменьшает стоимость квартиры в среднем на 51,92 тыс. руб;

2) По сравнению с Левым берегом цены на квартиры в среднем выше:

- в Ленинском районе на 426,76 тыс.руб.
- в Орджоникидзевском районе (до ул.Труда)—406,77 тыс.руб.
- в Орджоникидзевском районе (за ул.Труда)— 392,17 тыс.руб.
- в Правобережном районе – 380,73 тыс.руб;

3) в среднем цены на квартиры за период «сентябрь 2006 г. – апрель 2007» повысились на 610,43 тыс. руб.

Таким образом, нами был рассмотрен пример использования массового подхода при оценке квартир на вторичном рынке жилья в городе Магнитогорске.

Массовая оценка рыночной стоимости недвижимости с помощью современных компьютерных технологий может и должна получить значительное развитие по мере становления рынков недвижимости в России. При отсутствии достаточного количества квалифицированных оценщиков она может оперативно и достаточно дешево обеспечить субъектов рынка объективной информацией о рыночных ценах объектов.

#### Библиографический список

1. Горемыкин В.А. Недвижимость: экономика, управление, налогообложение, учет: учеб. М.: КНОРУС, 2006. 672 с.

2. Грязнова А.Г., Федотова М.А., Артеменков И.Л. и др. Оценка недвижимости: Учеб. М.: Финансы и статистика, 2003. 496 с.
3. Новиков Б.Д. Рынок и оценка недвижимости в России. М.: Экзамен, 2000. 512 с.

УДК 378.147:51:330.1

**М.А.Зарецкая, Т.В.Морозова**  
ГОУ ВПО «МГТУ»

## **ДВА АСПЕКТА ПРИКЛАДНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ В ТИПОВОМ РАСЧЕТЕ**

Сфера применения математики в настоящее время неуклонно растет. Возможно, умение использовать математику в своей профессиональной деятельности скоро станет критерием общекультурной оценки человека. В этих условиях заметно возрастает внимание к прикладным аспектам математики.

В связи с этим следует отметить, что с точки зрения современного восприятия математические курсы для экономических и инженерно – технических специальностей должны стоять на «трех китах».

1. Разумный уровень строгости. Этот уровень позволит избежать малопродуктивных для экономистов и инженеров дедуктивных упражнений, тем более, что в основе экономической и инженерной деятельности лежит не дедуктивный, а дискурсивный способ мышления. Кроме того, само понятие математической строгости нуждается в уточнении. На этот счет существует много разных мнений, однако часто их авторы сходятся в том, что строгость по сути зависит «от условностей, диктуемых господствующим вкусом, которому и дано на определенный хронологический период утверждать меру требовательности в определении математической строгости» [1].

С другой стороны, мы должны научить студентов отличать математические выкладки от бессодержательных спекуляций и просто грубых ошибок, вред от которых многократно тиражируется в связи с повсеместным применением современных компьютеров.

2. Органическая связь геометрических и аналитических подходов к определениям и методам. Геометрическая интуиция часто позволяет избежать сложных аналитических выкладок (вспомним

знаменитые «французские» теоремы Ферма, Роля, Лагранжа, достаточные условия монотонности, выпуклости и т.п.). Со времен Декарта мы знаем, что любой геометрический результат может быть представлен в алгебраическом виде и наоборот.

Выделение в качестве самостоятельной идеи связи анализа и геометрии важно не только с математической точки зрения. Это связано с двумя, в чем-то противоположными, типами мыслительной деятельности человека: логическим или аналитическим и картинным или синтетическим, которые можно условно назвать алгебраическим и геометрическим. При этом у разных людей более развито то или иное мышление. Поэтому тесное увязывание анализа и геометрии способствует прочному усвоению знаний как теми, так и другими.

3. Прикладная направленность, которая в широком смысле этого слова естественно вбирает и первые два пункта, совершенно очевидна, ведь мы учим не будущих математиков, а тех, кто должен применять математику в самых разных областях человеческой деятельности.

Прикладную направленность понимают по-разному. Одни считают, что прикладная направленность состоит в ориентации как самого содержания математики, так и методов обучения на применение ее в профессиональной деятельности, быту, экономических и технических науках, то есть для решения задач, возникающих вне математики. Другие считают, что применение какого-либо математического аппарата для достижения своих целей, в том числе, решения других математических задач, также имеет прикладное значение. В любом случае и те, и другие под прикладной направленностью понимают не только изучение математических идей, но и демонстрацию их применения в той или иной конкретной области.

Эту демонстрацию удобно осуществить в типовом расчете. При этом важную роль играют «сюжетные» задачи [2]. Дело в том, что мы учим студентов младших курсов, программа у нас насыщенная, времени на изучение экономических или технических задач у нас нет, а основная масса студентов о своей будущей специальности имеет очень приблизительное представление и еще не владеет ее профессиональными терминами. Роль сюжетной задачи двоякая: познакомить с каким-либо специальным понятием, подчеркнуть его математическую сторону и проверить усвоение математических методов на этой задаче, внешней по отношению к математическому курсу. Естественно, что такая задача будет достаточно примитивной, модельной, еще далекой от реальных задач (например, модель Леонтьева для двух отраслей). Это и есть первый аспект прикладной направленности, о которой мы говорим: применение понятия в профессиональной сфере.

Итак, для начала рассматриваем модельную задачу, решаем «вручную» ту же модель Леонтьева с матрицами второго или третьего порядка. При этом мы поставим ряд важных вопросов как для экономического понимания задачи, так и для проведения математических выкладок.

Пример. Дана матрица  $A$  коэффициентов прямых затрат по отраслям производства, вектор  $\vec{y}$  конечной продукции, вектор  $\vec{v}$  норм прибавочной стоимости, вектор  $\Delta\vec{y}$  возможного процентного изменения конечной продукции, вектор  $\Delta\vec{v}$  возможного процентного изменения норм прибавочной стоимости. Необходимо проверить продуктивность модели и определить ее запас продуктивности, выявить нерентабельные отрасли, определить валовый выпуск по отраслям, спрогнозировать цены на продукцию каждой отрасли и определить возможные процентные изменения валового выпуска и цен [3]:

$$A = \begin{pmatrix} 0,3 & 0,25 \\ 0,15 & 0,12 \end{pmatrix}.$$

Эта задача решается «вручную», она и должна решаться «вручную», студент должен показать, что он понял экономическое содержание вопросов и умеет использовать надлежащий математический аппарат.

Однако ограничившись задачей такого рода, мы немного лукавим. Ведь в реальных задачах размерность гораздо больше и «вручную» мы с ними не справимся. Значит, следует привести подобную задачу большей размерности и предложить ее решить с использованием какого-либо программного продукта, например, Mathcad:

$$A := \begin{pmatrix} 0.3 & 0.1 & 0.8 & 0.6 & 0.1 \\ 0.1 & 0.05 & 0.4 & 0.1 & 0.27 \\ 0.12 & 0.05 & 0.12 & 0.44 & 0.1 \\ 0.03 & 0.05 & 0.32 & 0.01 & 0.01 \\ 0.01 & 0.01 & 0.37 & 0.2 & 0.03 \end{pmatrix} \quad Y := \begin{pmatrix} -11 \\ 44 \\ 12 \\ -21 \\ 70 \end{pmatrix} \quad V := \begin{pmatrix} -5 \\ 30 \\ 8 \\ 12 \\ 32 \end{pmatrix}$$

ORIGIN:= 1

u := eigenvals(A)

$$u = \begin{pmatrix} 0.812 \\ -0.347 \\ 0.108 \\ -0.032 + 0.102i \\ -0.032 - 0.102i \end{pmatrix}$$

pr := if(max(ω) < 1, "yes" , "no" )      pr = "yes"

$$s := \frac{1}{\max(\omega)}$$

s = 1.108

Адекватному выбору программного продукта студент должен быть обучен в курсах информатики и информационных технологий. Ведь не интересуемся же мы сейчас, каким калькулятором пользуется студент при умножении 2573 на 13894. А это уже второй важный аспект прикладной направленности – знать и применять современные программные продукты. Сюда же следует отнести и использование численных методов (например, ручной метод Эйлера для пяти узлов и расчет на компьютере).

#### Библиографический список

1. Блехман И.И., Мышкис А.Д., Пановко Я.Г. Механика и прикладная математика. М.: Наука, 1983.
2. Зарецкая М.А., Морозова Т.В. Сюжетные задачи и их роль в типовом расчете // Математика. Приложение математики в экономических и педагогических исследованиях: Сборник науч. тр./Под ред. М.В. Бушмановой. Магнитогорск: МГТУ, 2006. С.248-252.
3. Черняк А.А., Новиков В.А., Мельников О.И., Кузнецов А.В. Математика для экономистов на базе Mathcad. СПб.: БХВ – Петербург, 2003.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ БАУМОЛЯ В УПРАВЛЕНИИ  
ДЕНЕЖНЫМИ СРЕДСТВАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ**

В экономике предприятия одним из основных направлений является управление денежными средствами. Эффективное управление денежными средствами весьма сложная задача. Это возможно не только при учете множества факторов, действующих как внутри предприятия, так и оказывающих воздействие из внешней среды, но и при выборе оптимальной схемы управления. При существующем множестве математических моделей, реализующих всевозможные схемы управления денежными средствами предприятия, одной из наиболее эффективных является модель Баумоля [1].

Согласно модели Баумоля, оптимальный остаток денежных средств на расчетном счете ( $Q_{OIT}$ ) определяется по формуле [2]:

$$Q_{OIT} = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot c}{r}}, \quad (1)$$

где  $D$  - прогнозируемая потребность в денежных средствах в периоде (год, квартал, месяц);  $c$  - единовременные расходы по конвертации денежных средств в ценные бумаги;  $r$  - приемлемый для предприятия процентный доход по краткосрочным финансовым вложениям, например, в государственные ценные бумаги.

Предполагается, что предприятие начинает работать, имея максимальный и целесообразный для него уровень денежных средств, и затем постоянно расходует их в течение некоторого периода времени. Все поступающие средства от реализации товаров и услуг предприятие вкладывает в краткосрочные ценные бумаги.

Как только запас денежных средств истощается, т.е. становится равным нулю или достигает некоторого заданного уровня безопасности, предприятие продает часть ценных бумаг и тем самым пополняет запас денежных средств до первоначальной величины.

На предприятии, работающем с использованием модели Баумоля, средний запас денежных средств равен  $Q_{\text{ОПТ}}/2$ .

Общее количество сделок по конвертации ценных бумаг  $m$  равно

$$m = D / Q_{\text{ОПТ}}. \quad (2)$$

Общие расходы  $Z_{\text{д}}$  по реализации такой политики управления денежными средствами составляет

$$Z_{\text{д}} = c \cdot m + r \cdot \frac{Q}{2}. \quad (3)$$

Здесь первое слагаемое представляет собой прямые расходы, второе – упущенную выгоду от хранения денежных средств на расчетном счете вместо того, чтобы инвестировать их в ценные бумаги.

Известно, что обеспеченность денежными средствами предприятия является важным фактором для его успешной деятельности и развития. Политика предприятия по управлению денежными средствами и их эквивалентами должна быть направлена на создание рациональной схемы управления денежными средствами: своевременного предупреждения ситуаций, когда средства на расчетном счете истощаются, предприятию необходимо продавать часть своих ликвидных ценных бумаг; когда же средства на расчетном счете накапливаются, необходимо инвестирование их в ценные бумаги. Использование модели Баумоля является эффективным при расчете оптимального остатка денежных средств на расчетном счете. Кроме того, представленная схема управления денежными средствами эффективна при определении общего количества сделок по трансформации ценных бумаг в денежные средства.

#### Библиографический список

1. Ковалев В.В. Введение в финансовый менеджмент. М.: Финансы и статистика, 1999. 768 с.
2. Рожков И.М., Ларионова И.А., Пятецкая А.В. Экономика предприятия с расширенным использованием финансовых моделей. М.: МИСИС, 2004. 320 с.

**Н.А.Горячева, Е.А.Пузанкова**  
ГОУ ВПО «МГТУ»

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАТРАТ ЭНЕРГОЦЕХА НА СЕБЕСТОИМОСТЬ ПРОДУКЦИИ ОАО «ММК-МЕТИЗ»**

Деятельность любого хозяйствующего субъекта, занятого в той или иной сфере деятельности, связана с определенными издержками (затратами).

Проблема снижения затрат на производство и реализацию продукции - одна из актуальных для предприятий в условиях рыночных отношений. Любой хозяйствующий субъект заинтересован в увеличении объемов продаж своей продукции, освоении новых видов продукции, снижении издержек производства, модернизации и реконструкции оборудования, улучшении условий труда.

Энергоцех ОАО «ММК-МЕТИЗ» обеспечивает бесперебойную производственно-техническую деятельность хозяйствующего субъекта. Основными видами продукции, вырабатываемой энергоцехом, являются: пар, химически очищенная вода, защитный газ, сжатый воздух.

Производство каждого вида продукции энергоцеха обусловлено определенными затратами. Основные статьи затрат это: амортизация; заработная плата; материалы; энергозатраты и прочее.

Планирования затрат хозяйствующего субъекта осуществляется нормативным методом, т.е. по каждому виду производимой продукции составляется предварительный норматив калькулирования. По заданному плану объема производства и используя определенные нормы потребления ресурсов, формируется обобщенный документ – смета затрат на производство, где отражается полная себестоимость продукции, планируемой к выпуску в предстоящем периоде.

Для повышения эффективности управления себестоимостью продукции необходимо применение экономико-математического инструментария, который позволяет прогнозировать степень влияния затрат на себестоимость. Эконометрические модели – наиболее подходящий математический аппарат для решения задачи прогнозирования. Для построения эконометрических моделей необходимы достоверные статистические данные о динамике се-

бестоимости хозяйствующего субъекта и статьям затрат энергоцеха.

Входные данные для построения эконометрических моделей прогнозирования влияния затрат на себестоимость продукции взяты из основной отчетной документации энергоцеха: сметы затрат на производство, отчеты по материалам, ежеквартальная бухгалтерская отчетность хозяйствующего субъекта.

Для анализа факторов влияния на динамику себестоимости продукции были взяты данные о затратах на производство продукции энергоцеха за 2004 – 2006 годы.

Параметры эконометрических моделей оцениваются с помощью методов математической статистики. Основными инструментами оценки параметров являются метод наименьших квадратов и корреляционно-регрессионный анализ.

Для решения задачи влияния затрат энергоцеха на себестоимость продукции ОАО «ММК-МЕТИЗ» были построены линейная, полиномиальная, показательная модели множественной регрессии.

Используя показатели качества модели, выбрана модель наиболее точно аппроксимирующая данные: линейная модель:

Таблица 1

Показатели линейной модели

<i>Коэффициент корреляции</i>	<i>0,925884841</i>
<i>Коэффициент детерминации</i>	<i>0,802609648</i>
<i>Ошибка аппроксимации в %</i>	<i>16,26152503</i>

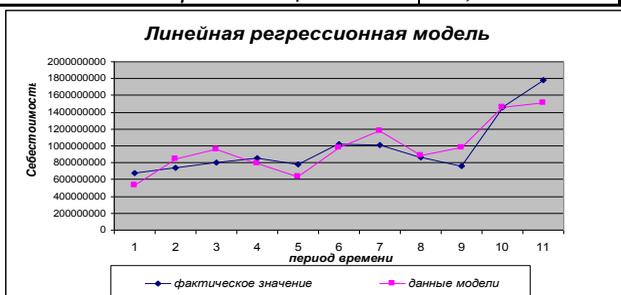


Рис.1. Линейная регрессионная модель

$$y = -24,4784 \cdot x_1 + 131,419 \cdot x_2 + 376,45589 \cdot x_3 - 59,79077 \cdot x_4 + 13945987,5$$

После того, как уравнение регрессии найдено, проводится оценка значимости как уравнения в целом, так и отдельных его параметров.

Оценка значимости уравнения регрессии дается с помощью *F* - критерия Фишера. Если расчетное значение этого критерия больше табличного значения критерия Фишера, при заданном уровне значимости, то модель признается значимой.

Таблица 2

Оценка значимости уравнения регрессии

<i>F</i> фактическое	<i>F</i> табличное
9,487575377	4,35
Уровень значимости	0,05

При проверке качества регрессионной модели целесообразно оценить значимость коэффициентов регрессии. Эта значимость проводится по *t* – статистике Стьюдента.

	<i>t</i> - статистика
$x_1$	2,3278327
$x_2$	2,5096742
$x_3$	3,3297633
$x_4$	2,3505207

Наибольшая зависимость определяемого фактора *y* (себестоимость продукции) наблюдается по факторам  $x_2$  (защитный газ) и  $x_3$  (пар), а наименьшая по факторам  $x_1$  (химочищенная вода) и  $x_4$  (сжатый воздух).

Таким образом, работникам планово-экономического отдела целесообразно разработать комплекс мероприятий по снижению затрат на себестоимость пара и защитного газа для уменьшения себестоимости продукции ОАО «ММК-МЕТИЗ» в целом.

Используя тренд-сезонную модель, были спрогнозированы затраты на производство защитного газа и химочищенной воды в 2007 году.

Входные данные для построения модели были взяты из основной отчетной документации энергоцеха. Использовались данные о затратах энергоцеха на производство продукции за 3 года, помесечно.

Среднеквадратическую ошибку модели *E* определяем по формуле:

$$E = \frac{\sum O^2}{\sum (T + S)^2},$$

где *T* – трендовое значение затрат на производство, *S* – сезонная компонента, *O* – отклонение модели от фактических значений.

$$E=0,040188017 \text{ или } 4\%.$$

Модель прогнозирования затрат на производство защитного газа:

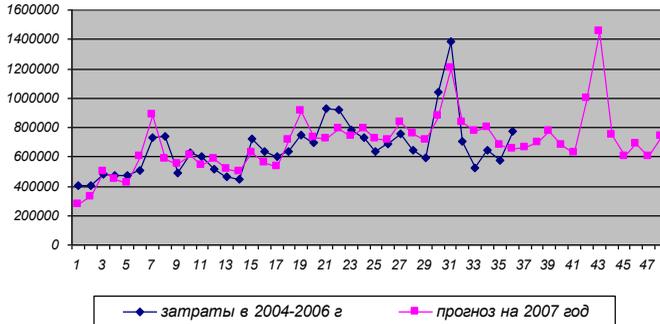


Рис.2. Прогноз затрат на производство защитного газа

Модель прогнозирования затрат на производство химочищенной воды:

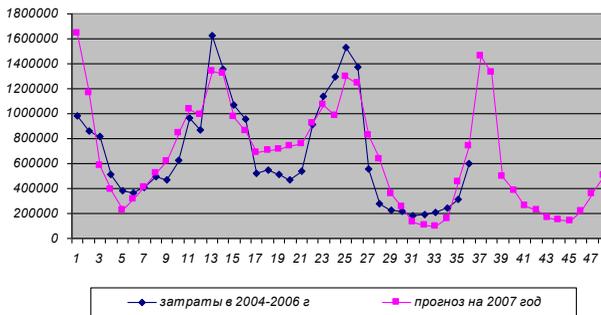


Рис.3. Прогноз затрат на производство химочищенной воды

Среднеквадратическая ошибка модели:

$$E=0,080617143 \text{ или } 8\%.$$

После проведения исследования, были разработаны мероприятия по снижению затрат себестоимости защитного газа:

- 1) Замена насосов на агрегате защитного газа позволит снизить затраты по моноэтаноламину.
- 2) Внедрение установки разгонки моноэтаноламина.

Библиографический список

1. Эконометрика: Учебник / И.И. Елисеева, С.В. Курышева и др.; под ред. И.И. Елисеевой. 2-е изд., перераб. и доп. М. Финансы и статистика, 2005. 576 с.
2. Экономико-математические методы и прикладные модели: Учеб. пособие для вузов / Под ред. В.В. Федосеева. М.: ЮНИТИ, 2002. 391 с.

УДК 621.783.223:65.011.56

**Г.В. Данилов, Е.С. Войнова, И.Г. Рыжова**  
ГОУ ВПО «МГТУ»

### **ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМА ВЫБОРКИ НА РЕЗУЛЬТАТ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ЗАТРАТ МЕТОДОМ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА**

Практически все задачи управленческого учета решаются на основе дифференциации затрат на постоянные и переменные. Одним из приложений дифференциации затрат является операционный анализ.

В настоящий момент используются три метода дифференциации затрат: аналитический метод, метод экспертных оценок и регрессионный анализ. Суть аналитического метода заключается в том, что статьи калькуляции относятся к постоянным, переменным или смешанным затратам. Смешанные затраты, т.е. затраты, которые чисто учетными средствами нельзя отнести ни к постоянным ни к переменным, при аналитическом методе делят исходя из опыта прошлых лет на постоянные и переменные.

Некоторые авторы учебников предлагают относить к переменным затратам только две статьи: материальные затраты и основную заработную плату производственных рабочих, все остальные предлагается относить к постоянным затратам. В то же время, достоверно отнести к чисто переменным можно только затраты, отражающие расход материалов и образующие физическую основу продукта. Что касается основной заработной платы производственных рабочих, то она содержит значительную изменяющуюся от периода к периоду долю постоянных затрат.

Таким образом, аналитический метод приводит к тому, что значительная доля переменных затрат учитывается в составе по-

стоянных затрат и наоборот, значительная доля постоянных затрат учитывается в составе переменных затрат.

Возникает вопрос: к чему приводит неточная дифференциация затрат? Рассмотрим этот вопрос на примере, представленном на рис. 1.

На рис. 1 точка В соответствует реальному делению затрат, точка А характеризует включение в состав постоянных затрат доли переменных, точка С – включение в состав переменных затрат большей доли постоянных затрат. Все это в рамках анализа безубыточности приводит к искажению конечного результата – величине точки нулевой прибыли (ТНП).

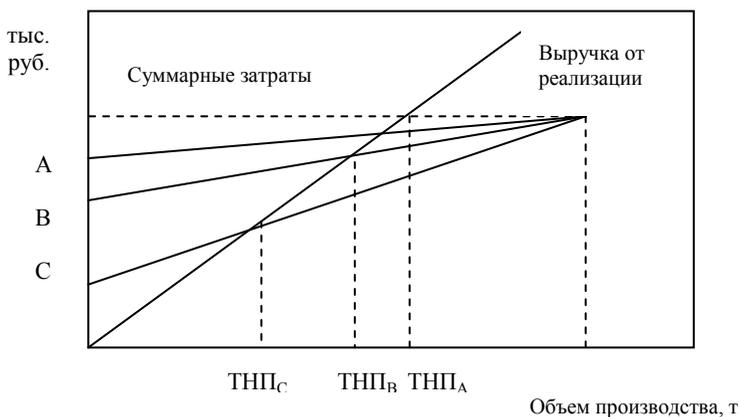


Рис. 1. Влияние результатов дифференциации затрат на правильность определения ТНП

В определенном смысле вариант А предпочтительнее варианта С. В варианте А происходит занижение показателя запаса финансовой прочности. Наоборот, в варианте С происходит завышение показателя запаса финансовой прочности, что может быть причиной принятия необоснованных решений.

Таким образом, смешанные затраты – это затраты, которые чисто учетными средствами нельзя отнести ни к постоянным ни к переменным. Наличие смешанных затрат делает неизбежным использование статистических методов для дифференциации затрат: регрессионный метод, метод статистических испытаний, имитационное моделирование.

В своей работе мы исследовали возможности применения регрессионного анализа для дифференциации затрат.

В рамках существующего бухгалтерского учета возможности регрессионного анализа очень ограничены. Дело в том, что современный бухгалтерский учет не ориентирован на решение задачи дифференциации затрат на постоянные и переменные: некорректное распределение затрат по периодам; отсутствие документального оформления фактов возникновения экстраординарных затрат, порождающее необходимость корректировки исходных данных.

Перечислим факторы, ограничивающие возможность применения регрессионного анализа для дифференциации затрат и способы их устранения:

Факторы, ограничивающие  
применение регрессионного анализа в производстве

№	Факторы	Способы устранения
1	Статистическая неоднородность исходных данных	Совершенствование учета затрат. Разработка методов корректировки данных (приведение их в сопоставимый вид)
2	Сильная зависимость затрат от фактора времени	
3	Случайная ошибка, обусловленная субъективными факторами	
4	Случайная ошибка, обусловленная объективными факторами	Увеличение объема выборки

Одной из трудностей регрессионного анализа является большая величина случайной ошибки, добавляемой к величине затрат реальными условиями производства и реализации продукции. В данной работе была исследована зависимость необходимого объема выборки от величины случайной ошибки модели регрессии. Исследования проводились в предположении, что исходные данные скорректированы и имеют требуемое качество для регрессионного анализа. А именно устранены «выбросы», тенденции и периодические составляющие системного характера: сезонные, суточные и т.д.

В статистике и эконометрике существует рекомендация, что на один оцениваемый параметр требуется не менее семи точек [1]. При дифференциации затрат на постоянные и переменные на практике необходимо знать точное количество точек для данного производства. Таким образом, возникает задача определения достаточного количества точек выборки на один оцениваемый параметр для конкретных условий предприятия.

Для решения этой задачи в работе применялся метод статистических испытаний. В основе этого метода лежит генерация ис-

ходных данных в соответствии с принятой моделью регрессионного анализа.

$$Y = a + b \cdot x + \xi$$

На основе реальных данных по нескольким цехам завода по производству метизов был определен порядок показателей постоянных и переменных затрат и величины случайной ошибки, которые затем были использованы при построении регрессионных моделей.

К сгенерированным данным применяется регрессионный анализ, и определяются оценки параметров уравнения регрессии «а» и «b» при различных значениях случайной ошибки. В связи с тем, что определяемые параметры нам заранее известны, появляется возможность сравнить фактические и расчетные значения параметров и на основе этого сделать выводы о качестве полученных результатов и о достаточности объема выборки для данных условий производства.

Результаты статистических испытаний оформлены в виде графиков зависимости критериев статистической существенности модели и ее параметров в зависимости от объема выборки.

Статистическая значимость уравнения регрессии оценивается с помощью критериев Фишера и Стьюдента.

На рис. 2 и 3 представлена зависимость критериев Фишера и Стьюдента от объема выборки при величине случайной ошибки равной 1 % . Как видно по графикам при семи точках критерий Фишера и критерий Стьюдента для параметра «а» очень близки к критическому уровню. Что касается критерия Стьюдента для параметра «b», то при объеме выборки равном 7, он не является статистически значимым. По мере увеличения точек от 7 до 22 значение оценочных показателей существенно улучшается, что свидетельствует о повышении надежности уравнения регрессии и, следовательно, повышении точности дифференциации затрат.

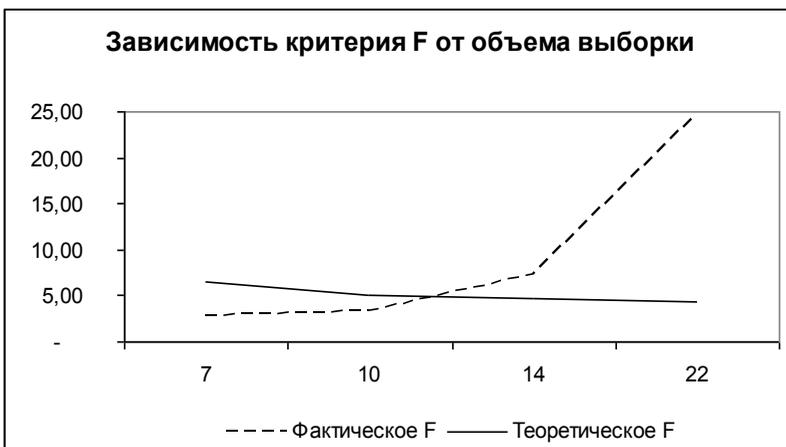


Рис. 2. Зависимость критерия F от объема выборки при величине случайной ошибки равной 1 %



Рис. 3. Зависимость критерия Стьюдента от объема выборки при величине случайной ошибки равной 1 %

На рис. 4 и 5 представлена зависимость тех же самых оценочных показателей, но при случайной ошибке равной 4 % (что более приближено к реальности). Теперь 7 точек уже недостаточно, модель регрессии становится значимой только при наличии 14 –16 точек. А коэффициент «а», характеризующий величину постоянных затрат, становится значимым при объеме выборке свы-

ше 22 точек. По мере увеличения объема выборки значимость уравнения регрессии также повышается.

Кроме критериев существенности большое значение имеют границы доверительных интервалов параметров уравнения регрессии. С этой целью были построены графики.

Пунктиром на графике обозначены границы доверительно интервала оцениваемого параметра. Жирная линия обозначает математическое ожидание параметра. Фактическое значение исследуемого параметра может находиться в любой точке доверительного интервала. Из графика видно, что при объеме выборки равном от 7 до 10 точкам доверительный интервал сильно размыт и сужается до приемлемых размеров только в интервале 14–18 точек. Дальнейшее увеличение объема выборки не дает увеличение точности оцениваемого параметра. Аналогичные графики строятся для других параметров уравнения регрессии.

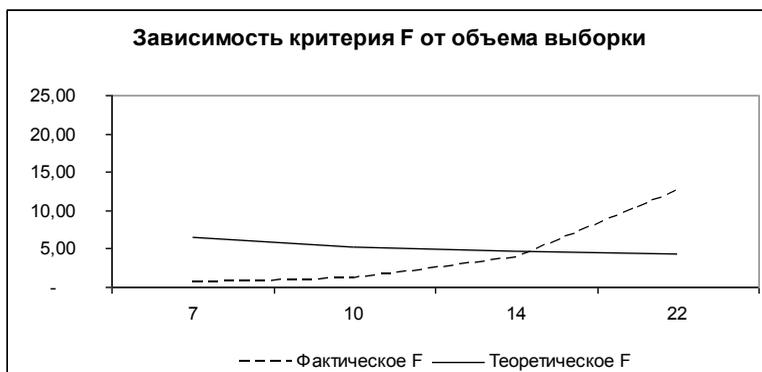


Рис. 4. Зависимость критерия F от объема выборки при величине случайной ошибки равной 4 %

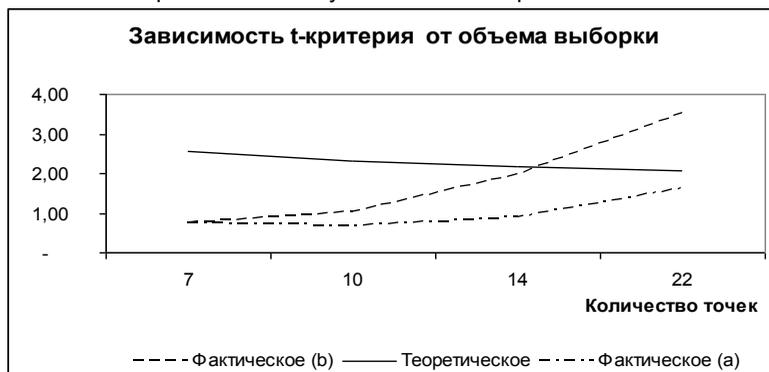


Рис. 5. Зависимость критерия Стьюдента от объема выборки при величине случайной ошибки равной 4 %

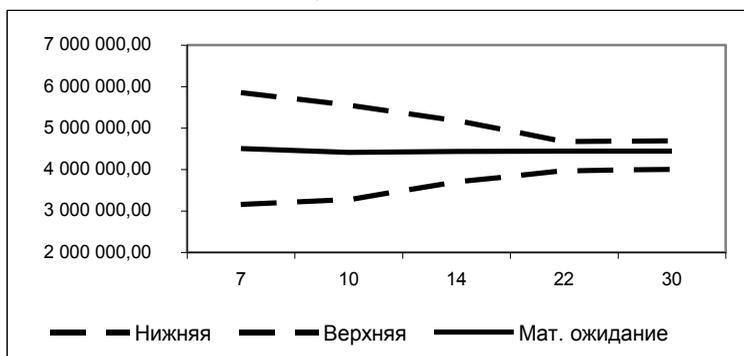


Рис. 6. Границы доверительного интервала для параметра при различных значениях выборки

Предложенная методика может применяться в условиях реального предприятия для определения возможности применения регрессионного анализа в задачи дифференциации затрат на постоянные и переменные. Эта методика позволяет также сформулировать требования к объему исходных данных, для получения качественных результатов. Качественные результаты должны быть статистически значимыми и иметь узкие доверительные границы параметров уравнения регрессии.

#### Библиографический список

1. Кремер Н.Ш., Путко Б.А. Эконометрика: Учебник // М.: Юнити, 2003. С. 311.
2. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник. М.: Юнити, 2002. С. 543.
3. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул: Учебник. М.: Высшая школа, 1988. С. 239.

УДК 330.131.7:669.1.013.5

**Д.В.Иванова**  
ГОУ ВПО «МГТУ»

## УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ РИСКОМ НА ОАО «ММК»

*"Кто уклоняется от риска - тот уклоняется от успеха".  
Заповедь американских менеджеров.*

В последнее время в литературе, посвященной вопросам экономики и производственного менеджмента, все больше внимания уделяется анализу проблем рисков в предпринимательской деятельности, а также оценке рисков при принятии управленческих решений. Однако несмотря на всю актуальность данной темы, описание ее часто ограничивается лишь экономической сферой деятельности предприятия, в частности, областью управления ценными бумагами и анализом инвестиционных рисков. Ничуть не умаляя значения экономической составляющей деятельности любого предприятия, посмотрим на проблему рисков со стороны производства.

К тому же, как показывает опыт, анализ производственных рисков приводит к пониманию необходимости проведения организационных преобразований, изменения стратегии развития предприятия, поиска и принятия важных управленческих решений, к кадровым перестановкам, а потому является одним из методов диагностики проблем организации. Именно поэтому руководители многих развивающихся фирм считают целесообразным время от времени приглашать специалистов для проведения «организационного аудита». Существенным фактором целесообразности проведения ряда работ по организационному развитию является также «внешний» взгляд на производственные риски, оценка проблемных зон независимыми экспертами, которые, будучи не связанными корпоративными интересами и иллюзией благополучия, могут и должны дать объективную картину «здоровья» предприятия.

Несомненным является тот факт, что реализация предпринимательских способностей в любой области бизнеса проходит в ситуации неопределенности функционирования внешней среды, а реалии не всегда соответствуют даже самым, казалось бы, точным прогнозам. Эта неопределенность практически не зависит от предприятия и поэтому объективно порождает риски для его деятельности. К таким факторам можно отнести проблемы внешней среды, а также факторы, которые можно условно назвать «отечественными»:

- необязательность поставщиков сырья и комплектующих изделий;
- качество конструкторско-технологической документации;

- устаревшее оборудование, работающее «на честном слове»;
- зависимость от часто выходящих из строя инженерных сетей и коммуникаций, не принадлежащих предприятию и др.

Объективная основа рисков усиливается так называемыми субъективными причинами, которые зависят от личностных и деловых особенностей руководителя и управленческой команды. Так, просчеты в подборе и расстановке кадров, недостатки планирования и организации производства, отсутствие регламентов взаимодействия между подразделениями и многое другое может привести предприятие к функционированию «на грани». Деятельность любого предприятия априори проходит в ситуации, когда постоянно сохраняется вероятность потерь, причины которых: а) во внешней среде (внешние риски), б) определяются личностными качествами предпринимателя и действиями работников (внутренние риски), в) частично обусловлены теми и другими причинами (смешанные риски).

В таких условиях ставить целью полное и безоговорочное устранение рисков некорректно; во-первых, сделать это невозможно, а во-вторых, вероятность риска является одним из факторов развития организации. Реальная и достижимая цель заключается в уменьшении времени на обнаружение возможных рисков (их прогноз), а также в развитии мобильности и гибкости реагирования на них, что является залогом стабильной деятельности предприятия и его развития в целом.

Построение классификации рисков предприятия — достаточно сложная задача. В литературе понятие производственного риска используется наряду с понятиями транспортного, снабженческого, сбытового, управленческого и других рисков в качестве различных подвидов экономических рисков предприятия по областям его формирования, то есть по центрам образования затрат. При таком взгляде, когда акцент делается исключительно на экономической деятельности предприятия — расчете возможного материального ущерба от возникновения того или иного риска, упускается из виду системный подход к организации. При таком подходе производство — это не только набор функций, технологий и движение денежных средств, это определенная система взаимоотношений между людьми, что в совокупности наделяет организацию вполне определенными свойствами поведения живого организма. Поэтому, например, если снизить затраты в транспортном отделе, они «неожиданно» могут увеличиться в снабжении.

Именно для того, чтобы отделить понятие «риск как центр образования затрат» от понятия «риск как препятствие организа-

ции в реализации своих целей», мы используем термин «производственный риск», под которым понимаем возможность возникновения в производственном процессе (бизнес-процессе) неблагоприятного сочетания ситуаций и факторов, препятствующих управляемости и развитию организации. Под производственным процессом, как известно, понимается весь комплекс частных задач разработки, обеспечения, изготовления, хранения, сбыта продукции, а также финансирования, внедрения инновационных процессов, обучения персонала и управления.

Необходимо отметить, что совершенно разные организации, не взаимодействующие друг с другом, занимающие различные сферы бизнеса и производящие разнообразную продукцию (начиная с машиностроения и заканчивая продуктами питания), имеют весьма схожие, можно даже сказать — типичные «организационные заболевания». Они как будто подвержены одним и тем же факторам риска, не имея пока к ним устойчивого иммунитета. С точки зрения системного подхода данное наблюдение подводит к идее о наличии в российской экономике и в отечественном производственном менеджменте «слабых мест», своеобразных ошибочных убеждений, которые, формируясь на уровне национального менталитета, проявляются на конкретном предприятии в виде сложившегося подхода к бизнесу. Первым и основным является отношение собственников к производственным мощностям, основным фондам предприятия и к тому, как ими управлять. Инвестиции в обновление оборудования (а значит, и в долгосрочное планирование развития производства) часто явно недостаточны, что приводит к росту производственных рисков за счет отказов устаревшего оборудования, снижению качества по «техническим» причинам.

Анализ производственных рисков выполняет в основном две функции: диагностическую (выявление и описание факторов риска и их причин) и оценочную (оценка вероятности возникновения, тяжести рисков по определенным критериям, сравнение их между собой или с допустимыми значениями).

Производственный риск оценивается по шкалам «вероятность возникновения» и «тяжесть» для производственного процесса. В качестве дополнительных критериев оценки можно использовать также средние временные потери за смену (в целях более глубокого анализа простоев) и единицы измерения ущерба (для большей убедительности).

Вероятность возникновения риска обычно представляется в процентах (от 1 до 100%) или в долях единицы (от 0,01 до 1). Это позволяет определить наиболее возможные риски и, соответственно, усилить контроль за производственным процессом на этом участке.

Тяжесть (или опасность) для производства определяется как существенность последствий наступления риска и оценивается по 10-балльной шкале, где 10 баллов — полная остановка производства.

Следовательно, одной из приоритетных задач для предприятия является минимизация технико-производственных рисков. А для того, чтобы вовремя распознать возможное наступление риска и минимизировать или предотвратить вероятные последствия его воздействия на бизнес, необходимо знать "врага" в лицо и уметь им управлять.

В свете всего вышесказанного ОАО «ММК» считает одной из своих важнейших задач выявление, оценку и предотвращение производственного риска.

На ОАО «ММК» процесс первоначального выявления и оценки производственных рисков на данный момент проводится методом экспертных оценок (путем интервьюирования руководителей). В дальнейшем в целях более детализированного изучения производственного риска предполагается производить его оценку при помощи анкетирования. Форма анкеты представлена на рис. 1.

Цех, подразделение \_\_\_\_\_

Руководитель, специалист (зам. начальник цеха, механик, технолог, энергетик, нач. участка)

68

Зона возникновения производственных рисков	Основные узлы оборудования (станов, агрегатов)	Опасные единицы (выделять по необходимости)	Риски	Вероятность рисков	Причины возможной реализации рисков	Последствия		Тяжесть	Остановка производственного процесса	Максимальный и минимальный ущерб в денежном выражении	Необходимость страхования (высокая, средняя, отсутствует)	Возможность устранения собственными силами
						Выход из строя оборудования	Другие					
Маслоподвалы												
Система гидравлики												
Металлоконструкции												
Газовое хозяйство												
Система пожаротушения												

Рис. 1. Анкета выявления производственных рисков отдельных подразделений ОАО «ММК»

В данной анкете предполагаются к заполнению только реактивные факторы риска. В качестве базового набора зон возникновения производственных рисков рассматриваются маслоподвалы, система гидравлики, металлоконструкции, газовое хозяйство, система пожаротушения, а так же другие потенциальные зоны возникновения производственного риска.

В данной экспертной таблице указывается цех (подразделение), Ф.И.О. и должность заполняющего анкету (ответственного за заполнение от подразделения). Заполнению подлежат следующие поля: зона возникновения производственных рисков (участки, станы, агрегаты), основные узлы оборудования (станов, агрегатов), опасные единицы (выделяются по необходимости), риски данного оборудования (т.е. события, влекущие за собой ущерб оборудованию, технологическим процессам, помещениям), вероятность наступления рисков (количество случаев в квартал), причины возможной реализации рисков, последствия (выход из строя оборудования, включая технологическое, а так же другие возможные последствия), тяжесть реализации данного риска (катастрофическая, тяжелая, средняя, незначительная), остановка производственного процесса (да/нет), максимальный и минимальный ущерб в денежном выражении (под минимальным ущербом здесь понимается стоимость восстановления поврежденного оборудования, под максимальным стоимость восстановления поврежденного оборудования, упущенная выгода, а так же косвенные убытки, вызванные реализацией данного риска - потеря контрагента, штрафы и пени и т.д.), необходимость страхования с точки зрения представителя цеха (высокая, средняя, отсутствует), а также возможность устранения собственными силами (полностью или частично).

В соответствии с предполагаемой методикой оценки производственного риска данная анкета будет ежеквартально рассылаться во все производственные подразделения ОАО «ММК». После заполнения ответственным от подразделения анкета должна быть возвращена в отдел управления рисками ОАО «ММК» не позднее последнего дня первого месяца квартала следующего за отчетным. После чего работники ОУР в течение двух месяцев обрабатывают анкеты. Результат обработки представит собой аналитическую базу реактивных факторов с возможностью выбора групп аварий (инцидентов) по таким характеристикам как дата, цех, максимальный и минимальный ущерб (в руб.), участок, узел оборудования, вероятность происшествия, причины, последствия, тяжесть, остановка производственного процесса и т.д.

В предыдущие периоды уже предпринимались попытки сбора подобной информации, на основании чего была сформирована

база данных с января 1997 г. и до марта 2006 г. включительно. В результате был построен рейтинг цехов ОАО «ММК» по аварийности.

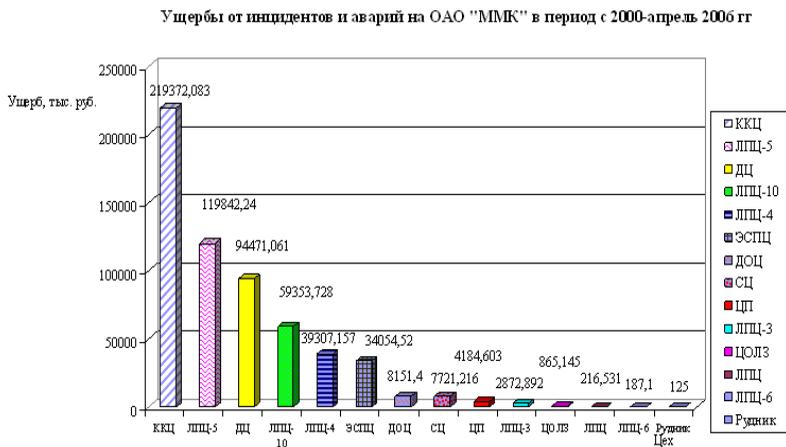


Рис. 2. Ущерб от инцидентов и аварий ОАО «ММК»

На рисунке 2 представлен рейтинг цехов по аварийности в разрезе понесенного ущерба в тыс. руб., а на рисунке 3 в разрезе количества аварий.

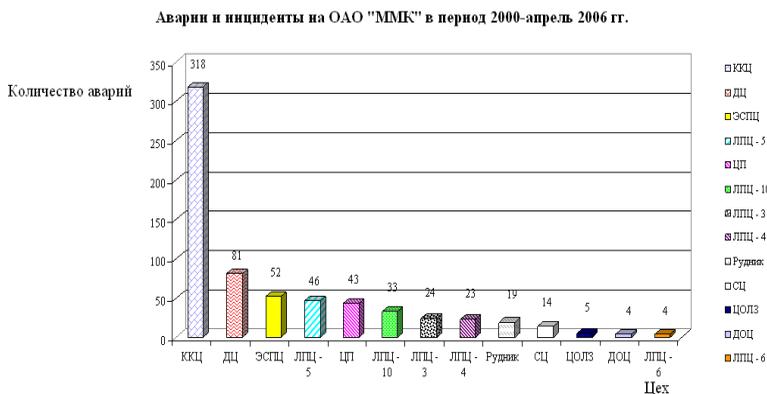


Рис. 3. Количество аварий и инцидентов ОАО «ММК»

Так же был проведен анализ каждого цеха во временном разрезе, в частности ККЦ, как наиболее аварийного (рис. 4).



выносить на рассмотрение топ-менеджмента ОАО «ММК». Кроме того планируется оценивать не только реактивные факторы, но также активные (на базе экспертных оценок специалистов) с целью заблаговременного выявления, внесения в план стратегического развития и, как следствие, предупреждения потенциальных опасностей. Причем процедуру экспертных оценок из режима интервьюирования перевести в режим заполнения специалистами вышеупомянутой анкеты с указанием активных факторов.

В настоящее время на ОАО «ММК» производится внедрение комплексной системы управления рисками, частью которой и является производственный риск.

#### Библиографический список

1. Энциклопедия финансового риск-менеджмента, под ред. А.А. Лобанова и А.В. Чугунова. М: Альпина Паблишер, 2003. С.444.
2. Стандарт предприятия ОАО «ММК» СТП КСУР 2-01-2006 «Комплексная система управления рисками. Порядок организации и функционирования. Общие положения», разработчик Захаров И.И.
3. <http://www.riskofficer.ru/>
4. Информационно-аналитический сервер ОАО «ММК» (<http://antei.mmk.chel.su/>)
5. <http://www.top-manager.ru/>

УДК 658.153:368.182.3

**Д.В.Иванова**

ГОУ ВПО «МГТУ»

### **ПРИМЕР УПРАВЛЕНИЯ ВАЛЮТНЫМ РИСКОМ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ С ПОМОЩЬЮ ВТОРИЧНЫХ ФИНАНСОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ**

Современное производственное предприятие в своей повседневной деятельности сталкивается со всевозможными рисками, которые грозят ему потерей финансовых, производственных, временных ресурсов. Например, это могут быть негативные последствия, связанные с колебанием процентных ставок по банковским

кредитам, изменения курсов валют, цен на акции и сырье. Кроме того, всегда существует вероятность того, что контрагенты предприятия не смогут выполнить свои обязательства по срокам и условиям поставок, или по выплате займов, кредитов, по приобретению продукции. Ухудшение рыночной конъюнктуры или недостаток ликвидных средств для осуществления своей деятельности в полном объеме может привести к значительному снижению эффективности работы организации.

Предприятие, стремящееся не оказаться банкротом и стать лидером в своей отрасли должно научиться выявлять риски, связанные с его деятельностью, грамотно и объективно их оценивать, разрабатывать и внедрять методики по управлению риском. Более того, качественная система риск-менеджмента на предприятии способна не только повысить эффективность и безопасность работы, но и существенно увеличить рыночную оценку компании, что особенно актуально в свете возможного выхода на IPO. И такая система управления рисками уже значительное время успешно работает в ОАО «ММК».

Важнейшим из рисков, с которыми сталкивается система риск-менеджмента, является валютный риск, так как более 50% продукции ОАО «ММК» идёт на экспорт, кроме того, импортное оборудование (например, для строящегося стана «5000») также оплачивается валютой. Данный риск связан с возможным изменением курсов валют и для управления им применяются различные методики.

Рассмотрим подробнее проект стана «5000» (т.к все данные являются коммерческой тайной ОАО «ММК», то большинство параметров данного проекта приведено в изменённой форме, однако соответствует порядку затрат).

Данный проект призван реализовать главное стратегическое направление ОАО «ММК» - обеспечить в долгосрочной перспективе конкурентоспособность компании, в том числе за счет создания высокотехнологического комплекса по производству толстолистового горячекатаного листового проката, который включает в себя толстолистовой прокатный стан «5000».

Срок реализации проекта – с 2006 по 2009 год включительно, большая часть поставляемого оборудования оплачивается в евро. Общий график оплаты приведён в табл. 1.

---

\* [www.mmk.ru](http://www.mmk.ru)

Таблица 1

График основных затрат на проект, млн. евро.

Год	2006	2007	2008	2009	Итого
Толстолистовой стан «5000»	30	4,5	102	102	238,5
2 нагревательные печи, линия термоотделки, вальцешлифовальная машина	0	11,3	16,6	16,6	44,5
Дополнительное оборудование и системы	0	18,7	28	28	74,7
Строительно-монтажные работы	0	7,5	62	62	131,5
Всего	30	42	208,6	208,6	<b>489,2</b>
в том числе заёмных средств	0	0	184	184	368

Планируется следующая схема финансирования проекта:

1. Получение кредита (двумя траншами) на приобретение импортного оборудования из расчёта оплаты 75% стоимости по ставке 6 % годовых в инвалюте и привлечение собственных средств компании на оплату остающихся 25% в виде авансового платежа.

2. Погашение кредита в течение 4 лет.

Схема погашения кредита представлена в табл. 2.

Таблица 2

Схема погашения кредитов, млн. евро

Год	2009	2010	2011	2012	Всего
Погашение первого транша	73,05	73,05	73,05		219,15
Погашение второго транша	0	73,05	73,05	73,05	219,15
Всего	73,05	146,1	146,1	73,05	<b>438,3</b>

В связи с тем, что достаточно сложно предсказать, как в ближайшие несколько лет изменится курс евро/рубль, у предприятия возникает значительный валютный риск. Например, если курс евро вырастет на 10%, то по самым приблизительным расчетам убыток предприятия составит примерно 43,8 млн. евро, что является достаточно крупной суммой.

У предприятия есть следующий выбор:

1. Купить евро заранее. В этом случае нет необходимости брать кредит, но потребуются значительное отвлечение оборотных средств.

2. Ничего не покупать до момента оплаты, надеясь, что курс не изменится, либо изменится в благоприятную сторону. С точки зрения уменьшения риска - не самый разумный вариант.

3. Применить стратегию хеджирования.

Хеджирование (hedging) – страхование от риска потерь, вызванных неблагоприятным движением цен, путем покупки или продажи контрактов на фьючерсном рынке. В этом случае на фьючерсном рынке открывается позиция, противоположная позиции на рынке наличного товара.

Стоит помнить, что хеджирование нужно не для получения прибыли, а для избежания риска основной деятельности компании.

Хеджирование можно провести путем заключения сделок на торговом счете без реальной поставки средств. Для этого предприятие переводит в 2008 году 4,4 млн. евро в рублёвом эквиваленте на свой торговый счет на фьючерсном рынке (гарантийный депозит – максимальный рычаг на рынке «форекс» 1:100), вносит еще 22 млн. евро сверху (вариационная маржа) и открывает несколько длинных позиций (с разными сроками поставки) по евро/рубль (покупает евро за рубли) на общую сумму 440 млн. евро. Сумма в 22 млн. евро на торговом счете позволяет "выдержать" неблагоприятное движение курса порядка 500 пунктов ( $440 * 0.05 = 22$ ). Движение в 500 пунктов выбирается на основании экспертной оценки рыночных специалистов. Каждый год выплат предприятие покупает евро на спот-рынке (рынке с поставкой менее 1 месяца) и закрывает соответствующую длинную позицию на фьючерсном рынке. Если евро подорожает, то убыток на спот-рынке будет компенсирован прибылью на фьючерсном рынке и наоборот. Следовательно, денежный поток остаётся стабильным и прогнозируемым.

Таким образом, предприятие полностью страхует себя от валютного риска по данному проекту, не отвлекая значительные средства и затрачивая на стабилизацию денежного потока всего лишь порядка 1% от суммы сделки, то есть 4,5 млн. евро (расходы на ведение счета, разница курсов покупки и продажи, прочие расходы по сопровождению).

Сегодняшний динамичный рынок диктует производственным предприятиям свои условия. Ежедневно на них воздействует множество факторов риска, которые потенциально могут принести организации значительные убытки. Для того, чтобы оставаться лидером в своей отрасли и избежать связанных с валютным риском потерь, предприятие должно внедрять систему риск-менеджмента, подбирая оптимальные для своего бизнеса финансовые инструменты.

#### Библиографический список

1. [http://www.financial.kiev.ua/theory/Rysk\\_menedzhmen/](http://www.financial.kiev.ua/theory/Rysk_menedzhmen/)
2. [http://www.cfin.ru/finmarket/currency\\_risk.shtml](http://www.cfin.ru/finmarket/currency_risk.shtml)

3. <http://www.florin.com/valore/currencyrisk.html>
4. <http://www.kf-forex.ru/services/derivativy>
5. [http://www.forexite.com/forex\\_commercial\\_hedging.html](http://www.forexite.com/forex_commercial_hedging.html)
6. <http://www.fibo-forex.ru>

УДК 336.713

**Б.В.Машинсон**  
ГОУ ВПО «МГТУ»

## **АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ МЕТОДИК ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОММЕРЧЕСКИХ БАНКОВ**

Надежная банковская и финансовая система являются одним из важных условий развития эффективного рыночного механизма, необходимой предпосылкой роста и стабильности экономики в целом. Финансовая система мобилизует и распределяет сбережения общества, позволяет повысить эффективность осуществления хозяйственных операций.

Так как банковские и финансовые институты занимают одно из центральных мест в рыночной экономике, то любые кризисы, связанные с ними, могут очень болезненно отразиться на её функционировании. И кризис банковской ликвидности летом 2005 года, вызванный отзывом лицензий у нескольких банков и последующим массовым снятием денег с депозитов, очень хорошо показал это [1]. Стоит лишь нескольким банкам подорвать доверие к себе, и большая часть вкладчиков начинает снимать деньги с депозитов, причём этот эффект цепной реакцией распространяется и на «здоровые» банки.

Сегодня наблюдается быстрый рост большинства показателей деятельности банков (рост активов, объема выданных кредитов населению, рост прибыли и т.д.) Так по данным Банка России, за прошлый год объем банковских кредитов нефинансовому сектору вырос на 47% и составил более 8 трлн. рублей. Суммарным итогом кредитной активности российских банков стало то, что в прошлом году по отношению банковских кредитов к ВВП Россия приблизилась к уровню некоторых развивающихся стран. В 2006-м этот показатель у нас составил 30,2% (в 2005-м 25,2%, а в 2000-м и вовсе 10,5%) это чуть ниже, чем в 2003 году продемонстрирова-

ли Словакия (31,7%) и Чехия (32,5%). По данным ЦБ совокупные активы российских банков в начале 2007 года превысили 50% ВВП. Таким образом, за последние шесть лет активы выросли с 32,9 до 52,8% ВВП. [2, 3]

Следовательно, возникает вопрос о качестве роста банковской системы, эффективности использования банками потенциальных возможностей, о том, является ли этот рост исключительно экстенсивным или можно говорить об интенсивном росте банковского сектора.

Кроме того, многие банки активно наращивают потенциально рискованное потребительское (беззалоговое) кредитование, начинают выходить на IPO, в связи с чем, особенно остро встает вопрос их надёжности, эффективности их деятельности. Какие же методики её оценки существуют на сегодняшний день, и какой смысл они вкладывают в понятие эффективности?

Существуют различные способы оценки эффективности деятельности банков и их отделений. Часто оценка функционирования финансовой организации основывается на информации о полученной прибыли и не учитываются такие нефинансовые показатели как эффективность и качество предоставляемых услуг.

Наиболее распространенным методом анализа банков является **количественный анализ финансовых показателей**, таких как число операций определенного вида, число счетов, число открытых счетов за определенный период, полученные доходы, произведенные расходы и т.п.

Для расчетов количественных параметров эффективности банковской системы используют ряд технических показателей:

1) Показатели операционной эффективности:

- отношение величины расходов к величине доходов за соответствующий период;
- отношение величины расходов к среднегодовой величине активов;
- ежегодная динамика величины расходов;
- отношение комиссионного дохода к среднегодовой величине активов;
- отношение процентного дохода к среднегодовой величине активов.

2) Показатели рентабельности:

- рентабельность чистой прибыли;
- рентабельность собственного капитала (ROE);
- рентабельность активов (ROA);
- общая рентабельность.

Соответственно если у одного банка рентабельность активов больше, чем у другого, то принято говорить о большей эффективности первого банка с точки зрения рентабельности активов.

Кроме отдельных показателей эффективности, часто вводят агрегированный показатель, получаемый как сумма произведений отдельных показателей на весовые коэффициенты, определяемые, как правило, экспертным путём:

$$\text{Эфф}_{\text{агрег}} = \sum_i \text{Вес}_i \times \text{Показатель}_i .$$

Преимуществом данной методики является:

1. Относительная простота расчетов;
2. Возможность получения количественных показателей надежности и эффективности;
3. Возможность оценить банк удалённо, на основании его финансовой отчётности;
4. Данный метод хорошо поддается автоматизации, что помогает быстро анализировать целые группы банков;
5. Достаточно «прозрачная» интерпретация результатов;
6. Значительный исторический опыт применению данной методики.
7. Существование предельных значений некоторых показателей, позволяющих практически однозначно судить о ненадёжности банка. (Данные значения можно найти в регулирующих нормативах ЦБ.)

Однако эти методы, применяемые в настоящее время в надзорной практике очень формальны, очень «объективны», основываются лишь на обработке банковской отчетности. Но так ли это хорошо, как может показаться на первый взгляд? Бесконечное копание в банковских балансах, уточнения с точностью до копейки суммарных показателей может оттеснить на второй план реальные причины происходящих явлений, реальные причины ухудшения состояния банков. Ещё одним недостатком является использование только количественной информации, качественная, как правило, игнорируется. Кроме того, отсутствие единого агрегированного показателя, усложняет сравнение различных банков.

Избавиться от перечисленных выше недостатков удалось за счет привлечения неформальных методов анализа банков, в частности **методов экспертной оценки**, имеющих широкое применение в мировой практике (примером может служить рейтинговая система **CAMEL**). Проверяющие банка, являясь экспертами в своем деле, способны выявить и оценить многие существенные факторы, оказывающие влияния на анализируемые аспекты работы банка, в том числе и неформальные факторы.

Разумеется, такие факторы трудно назвать экономическими, но зато они оказывают значимое влияние на общий экономический результат. Поэтому их учет может вывести на качественно новый уровень надзорную практику.

Использование экспертных методов многих отпугивает определенной неоднозначностью в получаемых выводах, но от этого никуда не денешься, так как итоговые решения в любом случае принимают люди, единственно, этот процесс можно упорядочить, формализовать и обеспечить более высокое качество (точность) выводов.

Применение экспертного подхода в анализе банков позволяет решить три важные проблемы банковского анализа.

Во-первых, учесть многие существенные индивидуальные особенности банка и адекватно отразить их в общих выводах.

Во-вторых, учесть не только количественные, но и качественную информацию о состоянии банка, которая зачастую наиболее существенна. Так, судьбу банка в конечном итоге определяют люди, а людям свойственно мыслить не цифрами, а невербальными образами. Это необходимо учитывать в анализе.

В-третьих, человек, долго работая в предметной области и хорошо разбираясь в ее нюансах, накапливает богатый опыт и ценные знания, которые вместе с тем зачастую не удается использовать в рамках стандартных методик, по крайней мере, в формализованном виде. Экспертные процедуры позволяют снять и эту проблему.

В соответствии с концепцией сведения сложной задачи оценки общего благополучия банка к большому количеству простых задач удачно выглядит известная экспертная рейтинговая система CAMEL. Данная методика, начиная с 1978 года, является официальной методикой присвоения рейтингов для трех главных учреждений США по банковскому надзору:

1. Федеральной Резервной системы;
2. Контролера денежного обращения;
3. Федеральной корпорации по страхованию депозитов.

В настоящее время эта методика также используется мировым рейтинговым агентством Thomson Financial BankWatch. [4]

Методика CAMEL имеет иерархическую структуру, предполагающую разделение общей надежности банка на пять основных компонент:

1. Capital adequacy (достаточность капитала);
2. Asset quality (качество активов);
3. Management (качество управления);
4. Earnings (доходность);

## 5. Liquidity (ликвидность).

Каждая из перечисленных пяти основных компонент расщепляется в свою очередь на более “мелкие” составляющие.

«С» – capital adequacy, это показатель достаточности капитала, определяющий размер собственного капитала банка, необходимый для гарантии вкладчиков, и соответствие реального размера капитала необходимому.

«А» – asset quality, показатель качества активов, определяющий степень «возвратности» активов и внебалансовых статей, а также финансовое воздействие проблемных займов.

«М» – management, показатель качества управления (менеджмента), при помощи которого оценивается система банковского менеджмента на основе эффективности работы, устоявшейся политики, глубины и соблюдения законов и инструкций.

«Е» – earnings, показатель доходности или прибыльности, с позиций ее достаточности для будущего роста банка.

«L» – liquidity, показатель ликвидности, определяющий достаточно ли ликвиден банк, чтобы выполнять обычные и совершенно неожиданные обязательства.

Некоторые из показателей CAMEL могут быть определены заочно, на основе документов, поступающих в Центральный Банк, другие же требуют надзорной проверки на месте для выяснения полной картины.

Важный компонент рейтинговой системы CAMEL – это менеджмент. Однако его оценивают в последнюю очередь, по итогам всего остального.

Безусловно, менеджмент оценивается субъективно и поэтому относительные показатели не могут быть использованы, как это делается с другими компонентами системы CAMEL. Оценка менеджмента начинается с оценки «совершенства» банка. Банки с хорошим менеджментом должны иметь достаточный капитал, хорошее качество активов, достаточную прибыль и удовлетворительную ликвидность. Поэтому, супервизоры, использующие систему CAMEL, не оценивают менеджмент до тех пор, пока не получат данные по остальным показателям.

Одинаково важно оценивать менеджмент на основе стратегии службы рационализации управления и управляющих органов, взятых вместе. Стратегия создает специфические рамки для ключевых характеристик банковской деятельности, таких как предоставление займов, инвалюты и ликвидности, определяющих действия менеджеров. Служба рационализации управления и управляющие органы позволяют обеспечить реализацию проводимой политики и придерживаться нужной стратегии.

Менеджмент также должен оцениваться в зависимости от выполнения банком законов и регулятивных правил, включая своевременное и аккуратное предоставление отчетов в ЦБ.

После оценки всех компонентов, можно оценить общий рейтинг банка, называемый сводным рейтингом (Composite Rating).

Каждый показатель получает номер от «1» (хороший) до «5» (неудовлетворительно):

- 1 = Strong (Сильный)
- 2 = Satisfactory (Удовлетворительный)
- 3 = Fair (Посредственный)
- 4 = Marginal (Критический)
- 5 = Unsatisfactory (Неудовлетворительный)

Пять показателей складываются и делятся на 5 для получения сводной оценки.

Сводная оценка дает банковскому супервизору ясное представление о том, является ли банк в целом «хорошим», «удовлетворительным», «достаточным», «критическим» или «неудовлетворительным».

Самым важным является то, что сводная оценка является важным показателем степени необходимого вмешательства, которое должно быть предпринято по отношению к банку со стороны контролирующих органов.

Если сводный рейтинг принадлежит отрезку [1;1,4], то это означает, что банк:

- 1. Полностью здоров во всех отношениях.
- 2. Устойчив по отношению к внешним экономическим и финансовым потрясениям.
- 3. Нет необходимости во вмешательстве органов надзора.

Если сводный рейтинг  $\in [1.5-2.4]$ , это означает:

- 1. Банк практически полностью здоров.
- 2. Стабилен и может успешно преодолевать колебания в деловом мире.
- 3. Вмешательство органов банковского надзора ограничено и осуществляется лишь в том объеме, который необходим для исправления выявленных недостатков.

Если **сводный рейтинг**  $\in [2.5-3.4]$ , это означает:

- 1. Наличие финансовых, операционных или технических слабостей, варьирующих от допустимых уровней до неудовлетворительных.
- 2. Уязвим при неблагоприятных изменениях экономической ситуации.
- 3. Может легко разориться, если принимаемые меры по преодолению слабостей оказываются неэффективными.
- 4. Дополнительное вмешательство органов банковского надзора с целью устранения недостатков.

Если сводный рейтинг  $\in [3.5-4.4]$ , это означает:

1. Серьезные финансовые проблемы.
2. Сохранение нездоровой ситуации при отсутствии должного внимания к финансовым проблемам.
3. Без проведения корректирующих мер сложившаяся ситуация может привести к подрыву жизнеспособности в будущем.
4. Большая вероятность разорения
5. Необходимы тщательный надзор и контроль, а также конкретный план преодоления выявленных недостатков.

Если сводный рейтинг  $\in [4.5-5]$ , это означает:

1. Огромная вероятность разорения в ближайшее время.
2. Выявленные недостатки настолько опасны, что требуется срочная поддержка со стороны акционеров или из других финансовых источников.
3. Без проведения корректирующих мероприятий вероятнее всего будет ликвидирован, объединен с другими или приобретен.

Рейтинговая система CAMEL представляет собой стандартизированный метод оценки банков, но ее эффективность зависит от умения и объективности супервизоров, осуществляющих проверку и оценку банков на регулярной основе.

При всей перспективности такого представления банковского анализа, рейтинговая система CAMEL имеет ярко выраженные недостатки методического плана.

Во-первых, четко не формализовано, как эксперт, имея представление о значениях “мелких” составляющих, должен представлять балльные оценки основных компонент.

Во-вторых, представляется некорректным способ получения итогового показателя надежности банка, предполагающий простое суммирование балльных оценок компонент надежности. Балльные оценки имеют нечисловую (квазичисловую) природу, поэтому нельзя с ними работать как с обычными числами. Предпочтительней использовать более совершенные методы, в том числе учитывающие различную степень влияния компонент методики на общую оценку банка.

Вместе с тем общая концепция CAMEL удачно ложится в рамки теории анализа иерархий, где перечисленные проблемы корректно устраняются. Тем самым, существует научно обоснованный путь необходимого совершенствования известной методики. После проведения соответствующей работы, можно создать на основе рейтинговой системы CAMEL новый экспертный экспресс-метод анализа банка, позволяющий:

- получать общую числовую оценку надежности банка;
- получать числовые оценки компонент надежности банка;

- проводить сопоставление и классификацию банков по степени надежности или схожести аспектов их работы.

Такая методика может быть в частности широко востребована при проведении различного рода инспекторских проверок кредитных организаций.

Совершенствование методики CAMEL может позволить получить не только новую действенную методику, но и выяснить на основе экспертных знаний реальные степени влияния отдельных аспектов работы банков на общий показатель надежности.

И последняя, третья группа методов оценки: получившие свое развитие в последние 50 лет, **методы сравнительного анализа** для оценки эффективности деятельности фирм позволяют определить качество функционирования организации относительно исследуемой выборки. Среди наиболее успешно применяемых методов следует выделить методы поиска эффективного фронта двух типов:

- 1) Метод стохастического фронта (эконометрический метод)
- 2) Методы оболочечного анализа данных (метод математического программирования)

Метод стохастического фронта основывается на предположении, что эмпирические данные не могут лежать выше оптимальной производственной функции или же, что эквивалентно, ниже функции издержек. Модели нахождения стохастического фронта оценивают параметрическую функцию (например, функцию издержек) на основе статистических данных, а остатки отражают меру неэффективности организации.

В рамках современных методов граничного оболочечного анализа экономическая эффективность состоит из двух компонент - технической эффективности, которая отражает возможности фирмы в достижении максимального выпуска (output) из доступного набора ресурсов (input), и эффективности размещения ресурсов, которая в свою очередь отражает возможность фирмы использовать ресурсы в оптимальной пропорции при их заданных ценах. Эти две меры совместно дают общую экономическую эффективность фирмы.

Эти способы определения эффективности предполагают знание производственной функции полностью эффективной фирмы, но на практике такое случается крайне редко. Для ее нахождения предлагают использовать либо непараметрический метод кусочно-линейной выпуклой изокванты, которая сконструирована так, что ни одна из наблюдаемых точек не может лежать левее и ниже (подход, ориентированный на ресурсы), либо нахождение пара-

метрической производственной функции, например, вида Кобба-Дугласа, которая удовлетворяла бы данным, с теми же условиями. На сегодняшний день предложено несколько методов математического программирования, которые позволяют решить задачу отыскания кусочно-линейного эффективного фронта. Оболочечный анализ данных (DEA - Data Envelopment Analysis) является одним из эффективных способов визуализации и анализа данных о деятельности организации, который позволяет на основе эмпирических данных (входов и выходов) построить эффективную производственную функцию и определить положение относительно нее отдельных организаций.

Обычно в качестве входных параметров используют источники средств банка, такие как:

- 1) средства юридических лиц (депозитные и расчетные счета),
- 2) средства физических лиц (депозитные и расчетные счета),
- 3) полученные межбанковские кредиты,
- 4) объем собственного капитала банка.

А в качестве выходов используют такие показатели, как

- 1) объем работающих активов,
- 2) фактически полученная прибыль.

В ходе оболочечного анализа определяется:

- эффективный фронт (выпуклая оболочка, состоящая из наилучшим образом функционирующих организаций);
- мера эффективности (отражает расстояние от фронта, для точек находящихся на фронте эффективность равна 1 и меньше 1 для остальных точек);
- однородная группа (подмножество точек, ближайших к данной);
- эффективная цель для организации, которая является проекцией точки на фронт.

Итак, на сегодняшний день существуют несколько методик оценки эффективности банковской деятельности. Основными являются: количественный анализ, экспертные методы оценки, а также методы сравнительного анализа

Привлекательность количественного анализа состоит в его простоте и несложности необходимых для его реализации вычислений. Каждый показатель дает одно измерение деятельности организации, но вы не получаете полного представления о картине в целом. В результате менеджер имеет набор разнородной независимой информации, которую надо интерпретировать для получения общей оценки деятельности организации или ее отделений.

Экспертные методы оценки позволяют учесть многие существенные индивидуальные особенности банков, адекватно отразить их в общих выводах, использовать не только количественную, но и качественную информацию о состоянии банка, которая зачастую наиболее существенна.

Разумеется, экспертные процедуры не призваны заменить обычные бухгалтерские методы, напротив, для получения качественных результатов необходимо их комплексное использование. Экспертные процедуры в силу своей природы не могут иметь слишком широкомасштабного применения, поскольку обычно ограничен круг экспертов, способных участвовать в работе. Хороших специалистов зачастую мало. Это, пожалуй, является единственным существенным ограничением при использовании методов экспертного оценивания

Оболочечный анализ данных (DEA) является набором методов анализа эффективности функционирования, который имеет ряд преимуществ в сравнении со ставшими уже традиционными методами анализа, такими как анализ показателей функционирования и методами регрессионного анализа.

Оболочечный анализ позволяет получить легко интерпретируемую визуализацию данных и определить направление для поиска улучшений в функционировании банка. Этот способ оценки функционирования может быть полезен менеджерам банка для планирования и контроля деятельности в сравнении с непосредственными конкурентами или банковским сектором в целом.

Вместе с тем, достаточно сложный математический аппарат может отпугнуть потенциальных пользователей данной методики, что опять поднимают проблему достаточной квалифицированности банковских кадров.

Комплексное использование всех перечисленных методик позволяет с большой степенью точности определить состояние банка, оценить его эффективность, выявить слабые места, требующие пристального внимания со стороны руководства.

#### Библиографический список

1. Журнал «Эксперт» № 37 за 2005 год.
2. Журнал «Эксперт» № 11 за 2007 год.
3. Журнал «Эксперт» № 14 за 2007 год.
4. Иванов В.В. Анализ надежности банка. Практическое пособие. М.: Русская Деловая Литература, 1996.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Финансовое состояние предприятия является важнейшей характеристикой его хозяйственной деятельности. Оно определяет конкурентоспособность, потенциал в деловом сотрудничестве, оценивает, в какой степени гарантированы экономические интересы самого предприятия и его партнеров по финансовым и другим отношениям [2]. Рассмотрим прогноз финансового состояния предприятия хлебокондитерской промышленности с точки зрения внешних пользователей финансовой информации, основным источником которой служит бухгалтерская отчетность. При построении прогнозных форм отчетности в укрупненной номенклатуре статей используется комбинированный подход, сочетающий в себе как динамический анализ отдельных финансовых показателей, так и прогнозирование на основе пропорциональных зависимостей [1].

Составление прогнозной отчетности начинается с определения ожидаемой величины выручки предприятия. Здесь следует заметить, что в динамике данного показателя имеет место сезонная составляющая (за счет высоких объемов реализации кондитерской продукции в «праздничные» месяцы: февраль, март и декабрь, и низких показателей продаж в летний период). Данный факт подтверждается проведенным исследованием колебаний методом спектрального анализа [3]. Спектральная плоскость на рис. 1 демонстрирует острый выброс на частоте 0,08, что соответствует 12-ти месячной периодичности.

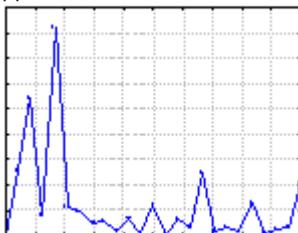


Рис. 1. Спектральная плоскость

Таким образом, для прогнозирования величины выручки предприятия предварительно рассматривается тренд-сезонная модель, адаптивная модель Тейла-Вейджа, а также сезонная модель Бокса-Дженкинса. После проведения оценки адекватности выявлена зависимость значений уровней ряда остатков между собой для первых двух моделей, а сезонная модель авторегрессии  $ARIMA(1,1,1)(1,0,0)$  соответствует реальному процессу.

График динамики фактических и прогнозных показателей выручки изображен на рис. 2. Значения приведены в табл. 1. Принимая динамику показателя рентабельности (отношение прибыли к выручке) равной предыдущему году, получаем прогнозные значения чистой прибыли предприятия.

Чистая прибыль – основной элемент, за счет которого изменяется сумма собственного капитала. Уставный, добавочный и резервный капиталы обычно меняются редко, поэтому в прогнозный баланс их можно включить той же суммой, что и в последнем отчетном балансе. Итак, величина собственного капитала в будущем периоде определяется, как его величина в последнем отчетном периоде, увеличенная на величину прогнозируемой прибыли (детерминированный факторный метод).

Таблица 1  
Фактические и прогнозные значения величины выручки



Рис. 2. Динамика величины выручки

Следующим этапом необходимо найти прогнозную величину внеоборотных активов. Анализ адекватности и точности тестируемых моделей прогнозирования для данного показателя показал, что адаптивная гибридная модель в большей степени соответ-

ствуется фактическим значениям: модель адекватна и её точность достигает 95% (рис. 3).

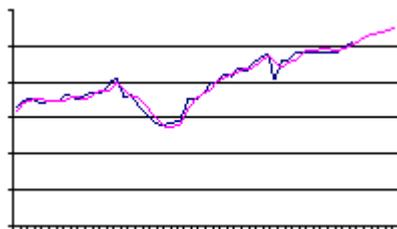


Рис. 3. Динамика роста величины внеоборотных активов

Потребность в собственном оборотном капитале ( $\Pi_{\text{СОК}}$ ) определяем как разность между величинами собственного капитала и внеоборотных активов. Этот показатель необходим для определения прогнозной величины кредиторской задолженности предприятия. Выполнив некоторые математические преобразования формул экономических взаимосвязей, получаем зависимость 1:

$$KЗ_{n+1} = \Pi_{\text{СОК}} * T_{KЗ} / (T_{ТА} - T_{KЗ}) \quad (1)$$

где  $T_{ТА}$  и  $T_{KЗ}$  – сроки оборота соответственно текущих активов и кредиторской задолженности.

Можно положить значение  $T_{KЗ}$  в прогнозном периоде равным его значению в последнем отчетном периоде, т.к. предполагаем, что характер расчетов с поставщиками не изменится. Анализируя фактические данные  $T_{ТА}$ , можно убедиться, что аналогично выручке динамика данного показателя носит сезонный характер. Для прогнозирования используем сезонную модель Бокса Дженкинса  $ARIMA(1,1,1)(1,1,0)$ . Зная величину выручки предприятия и сроки оборачиваемости текущих активов, не составляет труда определить прогнозную величину текущих активов детерминированным методом с помощью формулы 2:

$$ТА(n+1) = 2 * B * T_{ТА} / D - ТА(n) \quad (2)$$

где  $B$  – выручка предприятия, а  $D$  – длительность отчетного периода [1].

Теперь имеется достаточно информации для построения прогнозной отчетности. Определяем величину валюты баланса как сумму величин текущих и внеоборотных активов. Зная размер собственного капитала, можем скорректировать кредиторскую задолженность и определить, нужно ли брать кредит для дальнейшей деятельности. Если сумма  $KЗ_{n+1}$  и величины собственного капитала превышает валюту баланса, то величина кредиторской задолженности уменьшается и принимается равной разности между

валютой баланса и величиной собственного капитала. Если же собственных источников недостаточно для удовлетворения потребности в финансировании, то погашение обязательств перед кредиторами возможно лишь при условии привлечения дополнительных финансовых ресурсов – кредитов банка [1].

На основании полученной таблицы, содержащей динамику прогнозных показателей отчетности, можно сделать вывод, что исследуемое предприятие не имеет потребности во внешнем финансировании.

Таблица 2

Аналитическая форма прогнозной отчетности предприятия

	янв. 2007	февр. 2007	март 2007	апр. 2007	май 2007	июнь 2007
<i>Внеоборотные активы</i>	51,9	52,6	53,2	53,9	54,5	55,2
<i>Оборотные активы</i>	66,9	75,8	67,5	71,4	66,8	64,9
<b>АКТИВ</b>	<b>118,8</b>	<b>128,4</b>	<b>120,7</b>	<b>125,3</b>	<b>121,3</b>	<b>120,1</b>
<i>Капитал и резервы</i>	103,3	106,6	110,0	111,7	113,5	115,5
<i>Долгосрочные обязательства</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Краткосрочные обязательства</i>	15,7	22,2	11,3	14,4	8,7	26,7
Кредиты и займы	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Кредиторская задолженность	15,7	22,2	11,3	14,4	8,7	26,7
<b>ПАССИВ</b>	<b>118,8</b>	<b>128,4</b>	<b>120,7</b>	<b>125,3</b>	<b>121,3</b>	<b>120,1</b>

Библиографический список

1. Георгий Земитан. Методы прогнозирования финансового состояния организации. <http://www.iteam.ru/publication/finances/>.
2. Киселев М.В. «Анализ и прогнозирование финансово-хозяйственной деятельности предприятия. М.: «АиН», 2001.
3. Бушманова М.В., Иванова Т.А., Мельникова Г.Г., Рент Н.А., Трофимова В.Ш. Анализ временных рядов и прогнозирование: Учеб. пособие. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006.

# ПРИЛОЖЕНИЕ МАТЕМАТИКИ В ТЕХНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

---

УДК 669.046.4.001

**Б.Н.Парсункин, С.М.Андреев, Д.В.Нужин**  
ГОУ ВПО «МГТУ»

## **СПОСОБ РАСЧЕТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК ПО ЗОНАМ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ ТОПЛИВА НА НАГРЕВ**

Нагрев металла перед прокаткой является в настоящее время необходимой стадией при производстве металлопроката в металлургической промышленности.

Основными технологическими агрегатами, производящие нагрев слабовых заготовок перед прокаткой на широкополосных станах являются методические печи, которые также являются одним из крупнейших потребителей природного топлива в технологическом цикле получения готовой продукции.

Мировой опыт эксплуатации методических печей показывает, что реализация оптимальных, минимизирующих расход топлива режимов нагрева, позволяет сократить удельных расход топлива на 8-10% без существенных затрат на реконструкцию.

Теоретические исследования по оптимальному управлению нагревом слабовых заготовок показывает, что общей стратегией распределения тепловых нагрузок для реализации топливосберегающих режимов нагрева является интенсификация нагрева на конечном интервале заданного времени при условии наличия резерва времени на нагрев [1]. Например, на рис.1 показана расчетная траектория нагрева заготовки, за заданное время, рассчитанная с использованием принципа максимума Понтрягина [2].

Такая стратегия объясняется тем, что для минимизации расхода топлива на нагрев требуется минимизировать время, в течение которого температуру нагреваемой заготовки необходимо поддерживать на высоком энергетическом уровне.

Для методических печей проходного типа энергосберегающий режим нагрева означает интенсификацию нагрева в последних по ходу металла зонах.

Дискретное разбиение длины методической печи на отдельно управляемые зоны, а также индивидуальные особенности работы каждой зоны требуют пересчета полученной оптимальной траектории, т.е. для каждой из зоны необходимо выбрать такую тепловую нагрузку, при которой распределение температуры нагреваемого металла было бы очень близким к теоретически рассчитанной траектории.

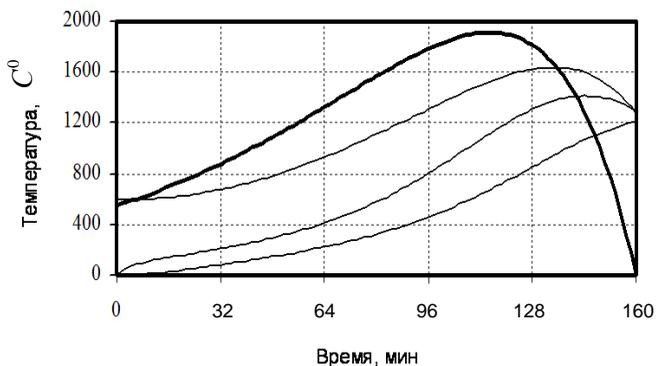


Рис.1. Расчетная траектория изменения управляющего воздействия  $U(\tau)$ , изменение параметров  $t_{FC}(\tau)$ ,  $t_{ПОВ}(\tau)$ ,  $t_{Ц}(\tau)$  в процессе оптимального управления нагревом при минимальном расходе топлива при  $T=160$  мин

В настоящее время наличие современных ЭВМ позволяет с достаточной скоростью производить перебор возможных вариантов распределения тепловых нагрузок по зонам с учетом заданного конечного теплового состояния нагреваемого металла, технологических и конструктивных ограничений с выбором наилучшего с точки зрения расхода топлива варианта.

Для существенного сокращения объема вычислительных итераций, варьирование величин тепловых нагрузок следует производить, начиная с последней зоны проходной печи. В этом случае первое найденное распределение, удовлетворяющее критерию достижения нагреваемой заготовки заданного теплового состояния, также будет удовлетворять и минимуму расхода топлива. Это следует из общего теоретического решения задачи оптимального управления – интенсификации нагрева в последних по ходу металла зонах.

В качестве критерия окончания поиска может быть принят критерий достижения нагреваемой заготовки заданного теплового состояния. Наиболее эффективно использовать комплексный критерий:

- Конечная среднемассовая температура нагреваемой заготовки равна заданной  $t_{\text{ср.м.}} = t_{\text{ср.м.}}^3$ .
- Конечный перепад температур по сечению заготовки не должен превышать максимального значения  $\Delta t \leq \Delta t_3^{\text{max}}$

Алгоритм варьирования тепловых нагрузок по зонам методической печи может быть представлен следующими шагами:

- 1) Принимаем начальное значение распределение тепловых нагрузок по длине печи равное минимально возможному, исходя из ограничения.
- 2) Производится расчет траектории нагрева заготовки при прохождении ее по всем зонам печи. Расчет осуществляется путем численного решения уравнения теплопроводности для бесконечной пластины. [3]
- 3) Рассчитываем величину критерия: конечную среднемассовую температуру заготовки:

$$t_{\text{ср.м.}} = \frac{1}{S} \int_0^S t(x) dx$$

где  $S$  – толщина заготовки, м;  $x$  – текущая координата по толщине, м;  $t(x)$  – температура по сечению, °C;

Определяем перепад температуры по сечению,

$\Delta t^k = t_{\text{пов}}^k - t_{\text{ц}}^k$ ; максимальный перепад температур по

сечению заготовки  $\Delta t_{\text{пов}}^{\text{max}}$

- 4) Проверяем выполнение условий:

$$t_{\text{ср.м.}} = t_{\text{ср.м.}}^3 \quad \Delta t^{\text{max}} \leq \Delta t_3^{\text{max}}$$

Если оба условия выполняются, то это означает, что распределение тепловых нагрузок по зонам закончено и является оптимальным, переход на шаг 6 в противном случае переходим на наш 5.

- 5) Производим увеличение тепловой нагрузки по зонам методической печи. В общем случае увеличение тепловой нагрузки в текущем шаге должно производиться в одной зоне с максимально возможным номером (нумерация зон по ходу движения металла). Если значение тепловой нагрузки в этой зоне достигло предельного максимального значения, то увеличение тепловой нагрузки производится в предыдущей зоне, с одновременным сбросом значения в текущей до минимального возможного. Увеличение тепловой нагрузки производит-

ся на величину  $\Delta V$ . После этого производится расчет траектории нагрева – переход на шаг 2.

- 6) Выбранное распределение тепловых нагрузок обеспечивает выполнение критерия достижения нагреваемой заготовкой заданного теплового состояния. Так как варьирования тепловых нагрузок производилась с учетом общей стратегии оптимального управления, то полученный результат также является оптимальным.

Блок схема алгоритма программ для реализации на ЭВМ представлена на рис.2.

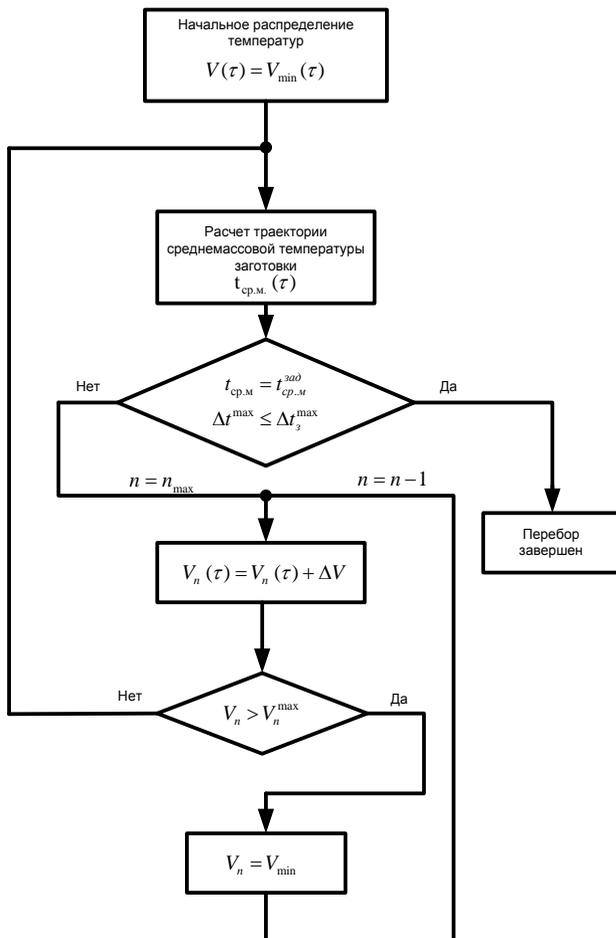


Рис.2. Алгоритм варьирования тепловых нагрузок зон

На рис.3 представлен вариант расчета траектории оптимального управления с минимизацией затрат топлива на нагрев, рассчитанный по предложенному алгоритму.

Для расчета было условно принято, что проходная методическая печь состоит из шести управляемых зон. Заготовка проходит каждую зону за равные промежутки времени.

В качестве управляющего воздействия  $V(\tau)$ , была использована характеристическая температура, связанная с расходом топлива по формуле:

$$U(\tau) = k \cdot V(\tau)$$

где  $V(\tau)$  - расход газа, м/с,

$k$  – условный коэффициент, связывающий расход газа с управляющим воздействием,  $^{\circ}C \cdot ч / м^3$

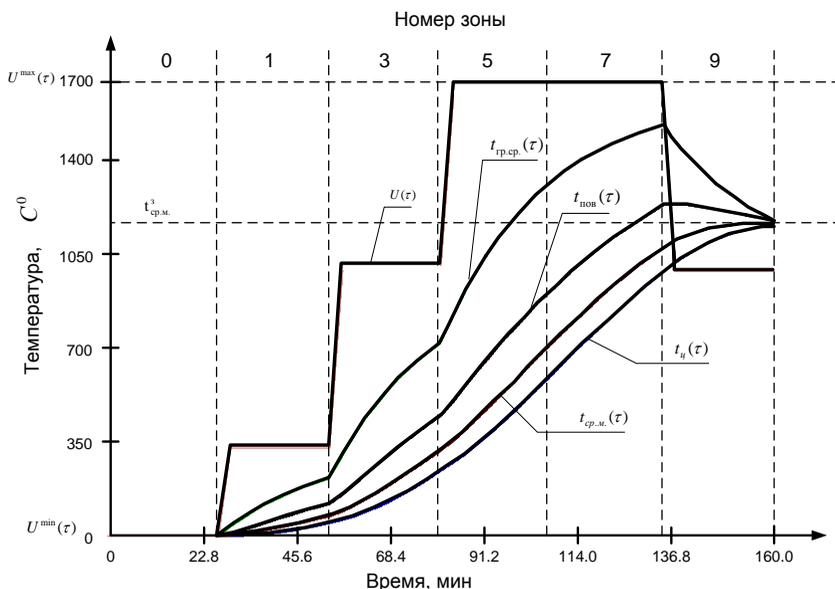


Рис.3. Расчет траектории оптимального, с минимизацией затрат топлива, нагрева заготовки, полученный методом варьирования

Ограничение на управляющее воздействие приняты:

$$U(\tau) = 0^{\circ}C, U(\tau)_{\max} = 1700^{\circ}C$$

Результаты расчета по предложенному алгоритму полностью согласуются с общей стратегией оптимального управления - интенсификации нагрева в последних по ходу зонах.

Предложенный алгоритм может быть легко адаптирован для конструктивных печей. Кроме того, при расчете тепловых нагрузок по зонам также можно учесть индивидуальные особенности каждой зоны и влияние зон друг на друга.

#### Библиографический список

1. Андреев С.М. Решение задач оптимального нагрева металла с минимизацией затрат топлива на нагрев // Автоматизация технологических и производственных процессов в металлургии: Межвуз. сб. науч. тр. Магнитогорск, МГТУ, 2001. С. 54-60.
2. В.Г. Болтянский Математические методы оптимального управления. М.: Наука, 1966. 307 с.
3. В.А. Артюнов, В.В. Бухмиров, С.А. Крупенников Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей. М.: Металлургия, 1990. 238 с.

УДК 669.046

**Б.Н.Парсункин**

ГОУ ВПО «МГТУ»

**Р.М.Хадиев**

ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РАСПЛАВЕ КРИСТАЛЛИЗАТОРА СЛЯБОВОЙ МНЛЗ**

При разработке математической модели течения металла в кристаллизаторе под действием втекающей струи расплава был принят ряд допущений:

- жидкая сталь является ньютоновской жидкостью и при этом абсолютно несжимаема и неразрывна;
- движение симметрично относительно двух плоскостей, проходящих через ось стакана и параллельных стенкам кристаллизатора;
- течение жидкости стационарное;
- жидкость изотермическая, и ее свойства постоянны, фазовые переходы отсутствуют;

- уровень жидкого металла в кристаллизаторе постоянный.

Хотя движение и симметрично относительно двух плоскостей расчет будем производить в трехмерной области без учета симметрии (см. рис.1). Связано это с удобством написания граничных условий на неподвижных твердых границах кристаллизатора.

Плотность стали зависит от температуры, состава и газонасыщенности расплава. По данным Явойского В.И. [1], плотность в интервале температур 1550 -1600 °С составляет 7000-7200 кг/м<sup>3</sup>, а выше 1600°С – 6800 - 7000 кг/м<sup>3</sup>.

Вязкость стали изменяется от 0,005 до 0,01 Па с [1, 2]. Она также зависит от температуры, состава и газонасыщенности расплава. С уменьшением содержания углерода в расплаве происходит уменьшение динамической вязкости с 0,008 Па с при содержании углерода 0,5 – 4 % до 0,006 Па с при содержании углерода менее 0,8%.

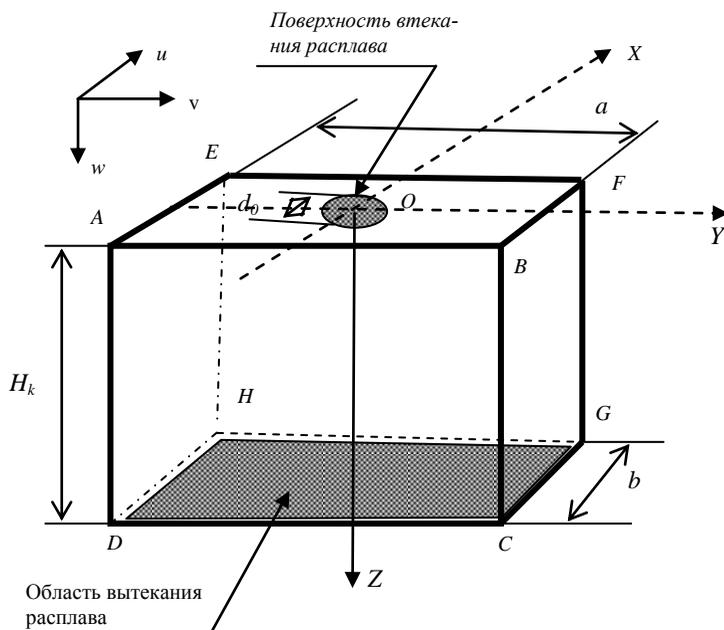


Рис. 1. Расчетная область и выбранная система координат

Температура стали в проковше приблизительно равна  $1565 \pm 30^{\circ}\text{C}$ , поэтому плотность и вязкость втекающей в кристаллизатор стали будем считать равной  $\rho = 7000 \text{ кг/м}^3$  и  $\mu = 0,006 \text{ Па с}$  соответственно.

Движение ньютоновской капельной несжимаемой жидкости подчиняется уравнениям Навье-Стокса и неразрывности [3]:

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial \tau} + (\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 \vec{V}, \quad (1)$$

$$\nabla \vec{V} = 0, \quad (2)$$

где  $\vec{V}$  - вектор скорости жидкости;  $\vec{F}$  - объемные силы;  $p$  - давление жидкости.

Будем рассматривать изотермическое стационарное течение, тогда  $\rho$ ,  $\mu$  - постоянные величины. В декартовой системе координат уравнения (1) - (2) примут вид:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = F_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right), \quad (3)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = F_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\mu}{\rho} \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right), \quad (4)$$

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = F_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\mu}{\rho} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad (6)$$

где  $u$ ,  $v$ ,  $w$  - проекции скорости на оси  $x$ ,  $y$ ,  $z$  соответственно.

Уравнения (3) - (6) представляют собой замкнутую систему с четырьмя неизвестными функциями  $u$ ,  $v$ ,  $w$ ,  $p$ . Величины  $\rho$ ,  $\mu$ , а также проекции массовых сил  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  должны быть заданы.

Единственной массовой силой, действующей в потоке жидкости, является сила тяжести. Она оказывает влияние на движение жидкости только при наличии в потоке свободных поверхностей или неоднородном распределении плотности. При напорном течении (при отсутствии свободных поверхностей) и однородном распределении плотности ( $\rho = \text{const}$ ) сила тяжести, уравновешивается силой гидростатического давления. В этом случае, сила тяжести влияет на поле давления, а поле скоростей от него не зависит. С учетом вышесказанного и выбора системы координат уравнения (3) - (6) можно записать:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right), \quad (7)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\mu}{\rho} \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right), \quad (8)$$

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\mu}{\rho} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (9)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad (10)$$

Для решения этих уравнений их необходимо дополнить условиями однозначности.

Граничные условия

Уравнение (7) - (10) дополним граничными условиями, отражающими значения скорости и давления на границах расчетной области.

На свободной поверхности жидкости:

(AEFB)  $z=0$ ,  $x = -\frac{b}{2} \dots \frac{b}{2}$ ,  $y = -\frac{a}{2} \dots \frac{a}{2}$  (не включая область втекания расплава)

$$w = 0; \quad \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial v}{\partial z} = 0 \quad (11)$$

На четырех твердых стенках кристаллизатора  $z=0 \dots H_k$ ,

поверхность (ABCD) соответствует  $x = -\frac{b}{2}$ ,  $y = -\frac{a}{2} \dots \frac{a}{2}$ ;

$$(EFGH) \square x = \frac{b}{2}, y = -\frac{a}{2} \dots \frac{a}{2};$$

$$(DAEH) \square y = -\frac{a}{2}, x = -\frac{b}{2} \dots \frac{b}{2};$$

$$(CBFG): \square y = \frac{a}{2}, x = -\frac{b}{2} \dots \frac{b}{2}$$

имеем следующее условие

$$u=v=w=0 \quad (12)$$

На выходе из кристаллизатора в сечении (DHGC)

$$z=H_k, \quad x = -\frac{b}{2} \dots \frac{b}{2}, \quad y = -\frac{a}{2} \dots \frac{a}{2} \text{ следующее условие}$$

$$u=v=0, \quad w=v. \quad (13)$$

В области втекания расплава  
при  $z=0$ ,

$$x = -\frac{d_0}{2} \dots \frac{d_0}{2}, \quad y = -\sqrt{\left(\frac{d_0}{2}\right)^2 - x^2} \dots \sqrt{\left(\frac{d_0}{2}\right)^2 - x^2},$$

используя скорость из выражения

$$W_0 = \frac{V}{f_c} = \frac{4abv}{60\pi d_0^2} = \frac{abv}{15\pi d_0^2} \text{ м/с} \quad (14),$$

получим

$$u=v=0, \quad w= W_0. \quad (15)$$

Очень удобно использовать функцию тока  $\psi$ , направление касательной в каждой ее точке совпадает с направлением движения жидкости. Функция тока подбирается таким образом, чтобы удовлетворять уравнению неразрывности (10) и чтобы вдоль линии тока величина сохраняла постоянное значение.

#### Библиографический список

1. Явойский В.И., Дорофеев Г.А., Повх И.Л. Теория продувки сталеплавильной ванны. М.: Металлургия, 1974. 496 с.
2. Сурин В.А., Назаров Ю.Н. Массо- и теплообмен, гидрогазодинамика металлургической ванны. М.: Металлургия, 1993. 208 с.
3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1987. 840 с.

О.С.Андросенко, Л.Д.Девятченко, Е.П.Маяченко  
ГОУ ВПО «МГТУ»

## ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ МАРКОВСКИХ ЦЕПЕЙ С НЕПРЕРЫВНЫМ ВРЕМЕНЕМ НА ЭВМ

На практике большинство задач по марковским процессам описываются с помощью марковских цепей с дискретным или непрерывным временем. Процессы с дискретными состояниями и дискретным временем рассматривались в работе [2]. Значительный интерес у исследователей проявляется к системам с дискретными состояниями и непрерывным временем [4, 6].

Марковский случайный процесс с дискретными состояниями и непрерывным временем иногда называют «непрерывной цепью Маркова». Для такого процесса вероятность перехода из состояния  $e_i$  в  $e_j$  для любого момента времени равна нулю. Вместо вероятности перехода  $p_{ij}$  в этом случае рассматривают *плотность вероятности перехода*  $\lambda_{ij}$ , которая определяется как предел отношения вероятности перехода из состояния  $e_i$  в состояние  $e_j$  за малый промежуток времени  $\Delta t$ , примыкающий к моменту  $t$ , к длине этого промежутка, когда она стремится к нулю. Плотность вероятности перехода может быть как постоянной ( $\lambda_{ij} = const$ ), так и зависящей от времени ( $\lambda_{ij} = \lambda_{ij}(t)$ ). В первом случае Марковский случайный процесс с дискретными состояниями и непрерывным временем называется *однородным*, в противном случае марковский процесс – *неоднородный*.

При рассмотрении случайных процессов с дискретными состояниями и непрерывным временем переходы системы из состояния в состояние удобно представлять как происходящие под влиянием некоторых потоков событий. При этом плотности вероятностей переходов рассматриваются как интенсивности  $\lambda_{ij}$  простейших потоков событий, под влиянием которых происходит переход системы из состояния  $e_i$  в состояние  $e_j$ .

*Потоком событий* принято называть последовательность однородных событий, появляющихся одно за другим в случайный момент времени (поток автомашин, проходящих через таможенный пост; поток вызовов на станции скорой помощи; поток клиентов, снимающих денежные средства со счета в банке). На практике обычно рассматривают простейшие потоки событий, которые характеризуются свойствами стационарности, ординарности и отсутствия последствия [3]. Простейший поток есть частный случай пуассоновского потока, для которого выполняются свойства ординарности и без последствия.

Будем рассматривать случайный процесс  $X(t)$  с постоянной интенсивностью, представляющий собой число появившихся до момента  $t$  событий в простейшем потоке, вероятности состояний которого для времени  $t$  определяются формулой Пуассона:

$$P_n(t) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^n}{n!}, n = 0, 1, 2, \dots,$$

где  $n$  – число состояний системы,  $\lambda$  – интенсивность потока (среднее число событий, приходящихся на единицу времени).

В случае, когда система имеет конечное число состояний, вероятности состояний  $p_1(t), p_2(t), \dots, p_n(t)$  в момент времени  $t$  находятся из системы дифференциальных уравнений (уравнений Колмогорова), имеющих вид

$$\frac{dp_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} p_j(t) - p_i(t) \sum_{i=1}^n \lambda_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

где произведение  $\lambda_{ij} p_i(t)$  – *поток вероятности* [4] перехода из состояния  $e_i$  в состояние  $e_j$ .

Чтобы решить данную систему дифференциальных уравнений нужно задать начальное распределение вероятностей  $p_1(0), p_2(0), \dots, p_n(0)$ , сумма которых равна единице

$$\sum_{i=1}^n p_i(0) = 1.$$

Уравнения Колмогорова дают возможность найти все вероятности состояний как функции времени. Отсюда возможно решение следующих задач:

- Определение вероятностей состояний системы в любой момент времени  $t$ ;

- Нахождение предельных (финальных) вероятностей при  $t \rightarrow \infty$  для эргодического процесса [2];
- Оценка эффективности работы системы, исходя из прибыли и затрат пребывания системы в своих состояниях достаточно продолжительное время.

Рассмотрим составление и решение системы дифференциальных уравнений Колмогорова в среде Windows средствами MathCAD [5] на типичном примере стохастической системы, моделирующей Марковский процесс с непрерывным временем. К таким системам можно отнести производственный агрегат, техническое устройство, социально-экономическую систему, бюджетно-финансовую систему и другие.

Опишем работу какого-либо производственного агрегата (ПА). При работе данной системы необходимо рассматривать определенное число ее состояний и переходы из состояния в состояние, которые происходят с определенной вероятностью, а в случае Марковской цепи с непрерывным временем с определенной интенсивностью. Пусть нормально работающая система ПА (состояние  $e_0$ ) подвергается простейшему потоку отказов с интенсивностью  $\lambda_{01}$ , переходя в новое состояние  $e_1$ , в котором она некоторое время может работать с необнаруженным отказом. Как только отказ обнаруживается (интенсивность обнаружения  $\lambda_{12}$ ), производится осмотр ПА (состояние  $e_2$ ). В результате осмотра, ПА либо направляется в ремонт (состояние  $e_3$ ) с интенсивностью  $\lambda_{23}$ , либо списывается и заменяется новым (состояние  $e_4$ ) с интенсивностью  $\lambda_{24}$ . Из состояния  $e_3$  с интенсивностью  $\lambda_{30}$  и из состояния  $e_4$  с интенсивностью  $\lambda_{40}$  ПА переходит в рабочее состояние  $e_0$ .

Исходя из условий данной задачи, найдем распределение вероятностей состояний для любого момента времени и финальные вероятности состояний.

Марковский процесс с дискретными состояниями удобно иллюстрировать с помощью размеченного графа состояний, на котором против каждой стрелки, ведущей из состояния  $e_i$  в состояние  $e_j$  в случае непрерывного времени проставляются интенсивности  $\lambda_{ij}$ . Граф состояний для сформулированной задачи приведен на рис.1.

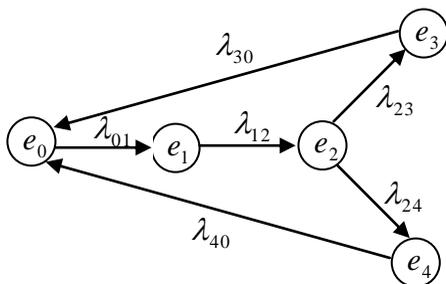


Рис. 1. Размеченный граф состояний системы.

Пользуясь размеченным графом состояний системы, составим систему дифференциальных уравнений Колмогорова:

$$\begin{cases} \frac{dp_0}{dt} = \lambda_{40} p_4 + \lambda_{30} p_3 - \lambda_{01} p_0 \\ \frac{dp_1}{dt} = \lambda_{01} p_0 - \lambda_{12} p_1 \\ \frac{dp_2}{dt} = \lambda_{12} p_1 - \lambda_{23} p_2 - \lambda_{24} p_2 \\ \frac{dp_3}{dt} = \lambda_{23} p_2 - \lambda_{30} p_3 \\ \frac{dp_4}{dt} = \lambda_{24} p_2 - \lambda_{40} p_4 \end{cases}$$

и нормировочное условие  $p_0 + p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 1$ .

Для определенности придадим параметрам, приведенным в системе дифференциальных уравнений, следующие значения:

$$\lambda_{01} = 0,5, \lambda_{12} = 2, \lambda_{23} = 1,5, \lambda_{24} = 1,5, \lambda_{30} = 0,8, \lambda_{40} = 2.$$

Зададим также начальные условия, т.е. распределение вероятностей состояний в начальный момент времени:

$$p_0(0) = 1, p_1(0) = p_2(0) = p_3(0) = p_4(0) = 0.$$

В результате получим систему линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dp_0}{dt} = 2 p_4 + 0,8 p_3 - 0,5 p_0 \\ \frac{dp_1}{dt} = 0,5 p_0 - 2 p_1 \\ \frac{dp_2}{dt} = 2 p_1 - 3 p_2 \\ \frac{dp_3}{dt} = 1,5 p_2 - 0,8 p_3 \\ \frac{dp_4}{dt} = 1,5 p_2 - 2 p_4 \end{array} \right.$$

Данную систему линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами можно решить аналитически (методом исключения неизвестных, методом Эйлера или с помощью преобразований Лапласа), но при большой размерности данной системы [1, 2], предпочтительнее получить ее численное решение на ЭВМ.

Для получения численного решения системы используем программу MathCAD, которая имеет необходимые функции для решения дифференциальных уравнений различными методами.

Воспользуемся общепринятой процедурой решения на основе метода Рунге-Кутты. В качестве функции, позволяющей получить решение, выберем функцию **rkfixed**( $p_0, t_0, t_1, M, D$ ), где

$p_0$  - начальные условия,

$t_0, t_1$  - начальная и конечная точки расчета соответственно,

$M$  - число шагов,

$D = D(t, p)$  - матричная форма правых частей системы дифференциальных уравнений.

Листинг с введенными параметрами и полученным результатом решения в системе MathCAD [5] представлен на рис.2.

$$p := \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad D(t,p) := \begin{pmatrix} -0.5p_0 + 0.8p_3 + 2p_4 \\ 0.5p_0 - 2p_1 \\ 2p_1 - 3p_2 \\ 1.5p_2 - 0.8p_3 \\ 1.5p_2 - 2p_4 \end{pmatrix}$$

$$Z := \text{rkfixed}(p, 0, 5, 15, D)$$

	0	1	2	3	4	5
0	0	1	0	0	0	0
1	0.333	0.849	0.111	0.033	4.398·10 <sup>-3</sup>	3.472·10 <sup>-3</sup>
2	0.667	0.73	0.151	0.071	0.026	0.021
3	1	0.648	0.161	0.093	0.057	0.042
4	1.333	0.597	0.157	0.101	0.087	0.057
5	1.667	0.568	0.151	0.102	0.111	0.067
6	2	0.553	0.146	0.1	0.13	0.071
7	2.333	0.546	0.142	0.097	0.143	0.072
8	2.667	0.543	0.139	0.095	0.151	0.072
9	3	0.542	0.137	0.093	0.157	0.071
10	3.333	0.541	0.136	0.092	0.161	0.07
11	3.667	0.541	0.136	0.091	0.163	0.069
12	4	0.54	0.135	0.091	0.165	0.069
13	4.333	0.54	0.135	0.09	0.166	0.068
14	4.667	0.54	0.135	0.09	0.167	0.068
15	5	0.54	0.135	0.09	0.167	0.068

Рис. 2. Решение системы дифференциальных уравнений

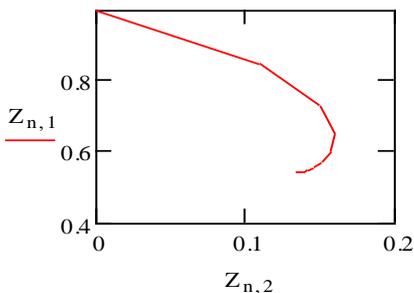


Рис. 3. Проекция фазовой траектории для  $p_1(t)$  и  $p_2(t)$

Решение получено в виде таблицы, из которой следует, что спустя период времени  $t = 4$  наступает стабилизация случайного процесса, описанного Марковской цепью с непрерывным временем. Следовательно, можно говорить об устойчивости решения, что подтверждается фазовым портретом (рис. 3), взятым для одной из десяти возможных проекций полученных решений.

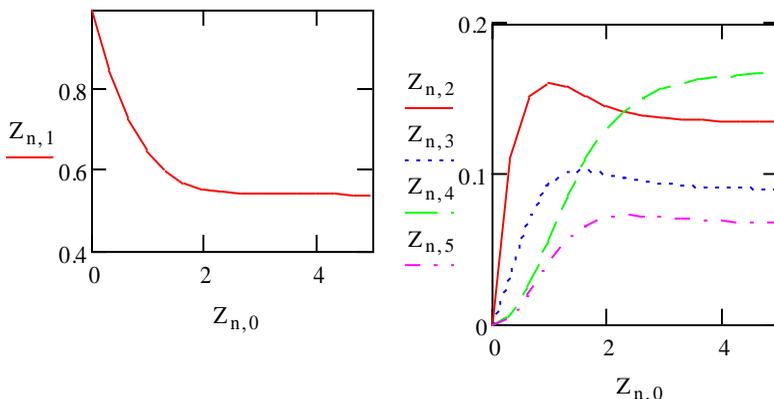


Рис. 4. Графики вероятностей состояний как функции времени

Дополнительно для иллюстрации численного решения как функции времени приведем соответствующие графики (рис. 4).

Для проверки решения системы дифференциальных уравнений на устойчивость целесообразно воспользоваться функцией отыскания собственных чисел  $\text{eigenvals}(A)$ , имеющейся в системе MathCAD. Результаты вычисления вектора собственных чисел матрицы  $A$  приведены ниже:

$$A := \begin{pmatrix} -0.5 & 0 & 0 & 0.8 & 2 \\ 0.5 & -2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & -3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.5 & -0.8 & 0 \\ 0 & 0 & 1.5 & 0 & -2 \end{pmatrix} \quad \text{eigenvals}(A) = \begin{pmatrix} -3.523 \\ 0 \\ -1.848 + 1.123i \\ -1.848 - 1.123i \\ -1.08 \end{pmatrix}$$

Принимая во внимание теорему об устойчивости решений системы линейных однородных дифференциальных уравнений первого порядка с постоянными коэффициентами, заметим, что корни характеристического уравнения матрицы  $A$  не имеют положительных действительных частей, следовательно, полученное решение устойчиво.

Проблема устойчивости для данного класса задач является актуальной, так как предполагается нахождение финальных веро-

ятностей для стохастических систем, описываемых с помощью дифференциальных уравнений Колмогорова.

Для вычисления финальных вероятностей положим левые части в системе дифференциальных уравнений Колмогорова равными нулю, получим однородную систему линейных алгебраических уравнений. Принимая во внимание нормировочное условие для вероятностей, и отбрасывая одно из уравнений системы, получим неоднородную систему линейных уравнений. Для решения системы средствами MathCAD воспользуемся функцией  $Isolve(A, b)$ . Результаты вычисления финальных вероятностей

$$Isolve(A, b) = \begin{pmatrix} 0.539 \\ 0.135 \\ 0.09 \\ 0.169 \\ 0.067 \end{pmatrix}$$

приведены ниже.

Таким образом, при  $t \rightarrow \infty$  в анализируемой системе устанавливается предельный стационарный режим, в ходе которого система случайным образом меняет свои состояния, но их вероятности уже не зависят от времени. При этом финальные вероятности можно истолковать как среднее время пребывания системы в данном состоянии. Данная система в среднем 54% времени будет работать нормально, 13,5% времени работать с необнаруженным отказом, 9% времени будет затрачено на диагностику, 17% времени на ремонт и около 7% тратится на замену новым оборудованием.

Знание финальных вероятностей можно использовать для оценки эффективности работы системы. Для этого достаточно задать вектор стоимостей пребывания системы в каждом из состояний [2], которые можно интерпретировать как доход или расход в единицу времени. Тогда в предельном, стационарном режиме средний доход в единицу времени  $G$  будет вычисляться как скалярное произведение вектора финальных вероятностей  $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$  на вектор стоимостей  $C = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ , т.е.

$$G = \sum_{i=1}^n p_i \cdot c_i, \text{ где } n \text{ — число состояний системы.}$$

Естественным продолжением анализа Марковских процессов является постановка и решение задачи оптимизации работы данной системы.

## Библиографический список

1. Абчук В.А. Справочник по исследованию операций. М.: Воениздат, 1979. 368 с.
2. Андросенко О.С., Девятченко Л.Д., Маяченко Е.П. Постановка задач Марковских процессов в формате программы WinQSB // Математика. Приложение математики в экономических, технических и педагогических исследованиях: Сб. науч. тр./ Под ред. М.В. Бушмановой. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. С.3-13.
3. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. 2-е изд., стер. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. 208 с.
4. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятностей. М.: Радио и связь, 1983. 416 с., ил.
5. Кирьянов Д.В. MathCAD 13. Серия в подлиннике. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 608 с.: ил.
6. Таха Хемди А. Введение в исследование операций, 7-е изд.: Пер. с англ. М.: изд. дом «Вильямс», 2005. 912 с., ил.

УДК 658.286.2

**А.С.Новиков**  
ГОУ ВПО «МГТУ»

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

В настоящее время одним из основных видов транспорта промышленных предприятий является железнодорожный. От надежности транспортного обслуживания производственных подразделений во многом зависит равномерность протекания технологических процессов, время простоя оборудования и технических средств, ритмичность отгрузки готовой продукции, и, в конечном итоге, эффективность функционирования всего предприятия.

Современные условия взаимодействия промышленного железнодорожного транспорта (ПЖТ) и производственных подразделений характеризуются значительной неравномерностью в их ра-

боте, вызванной, прежде всего, различной продолжительностью циклов технологических агрегатов, и неспособностью гибкого изменения технологии работы транспортных и производственных подсистем. Функционирование ПЖТ промышленных предприятий в условиях неравномерности вагонопотоков приводит к увеличению суммарного оборота вагонов, снижению уровня загрузки транспортных устройств, появлению резервов транспортных мощностей и главное – к снижению надежности транспортного обслуживания и росту производственных затрат на выпуск готовой продукции.

Производительность цехов промышленного предприятия отчасти зависит от своевременного транспортного обслуживания, размера подач на грузовые фронты. В свою очередь работа транспорта находится в зависимости от производственных подсистем, задающих ритм его работы. Поэтому необходимо рассматривать промышленное предприятие как единую производственно-транспортную систему (ПТС), главной целью функционирования которой является производство определенного количества, качества и сортамента продукции с минимальными суммарными затратами.

Анализ практики транспортного обслуживания ПТС промышленных предприятий показывает, что в изменяющейся эксплуатационной обстановке организация транспортных процессов по жестким графикам становится неэффективной. В то же время, за счет оптимизации транспортного обслуживания цехов предприятия имеется возможность увеличить качество перевозочного процесса, снизить себестоимость выпускаемой продукции. Оптимизировать транспортное обслуживание производственных подразделений можно путем перераспределения рабочего парка железнодорожного подвижного состава по участкам работы и определения оптимальной (с точки зрения обеспечения надежности работы транспорта и минимального количества задействованных на перевозках локомотивов и вагонов) очередности подач-уборок на грузовые фронты.

Однако широкое применение подобной практики затруднено, поскольку существующая методическая основа недостаточно проработана и не позволяет, при определении и оценке эффективности транспортного обслуживания производственных подразделений, учесть в комплексе все вышерассмотренные факторы, влияющие на функционирование как ПЖТ промышленного предприятия, так и его ПТС в целом.

Исходя из этих предпосылок, для оптимизации транспортно-обслуживания производственных подразделений необходимо сформулировать задачу, в результате решения которой определяется очередность подач-уборок на грузовые фронты, составляет-

ся расписание обслуживания цехов предприятия, так, чтобы выполнялись требования потребителей (производственных подразделений) к подаче вагонов и локомотивов по времени и количеству при минимуме производственных потерь и транспортных затрат.

Содержательная постановка задачи трактуется следующим образом. Пусть имеется некоторая система организации транспортного обслуживания производственных подразделений промышленных предприятий  $S$ , которая с течением времени может менять свое состояние (переходить из какого-то начального состояния  $S_0$  в какое-то конечное  $S_{\text{КОН}}$ ). В начальном состоянии системы  $S_0$  (в начале периода  $I_{\text{ПЛАН}}$  - интервала планирования - промежутка времени, в течение которого осуществляется оперативное планирование перевозочного процесса) имеется рабочий парк вагонов и локомотивов  $N_{\text{ПАРК}}$  и расписание подач-уборок групп вагонов в производственные подразделения, при применении которого суммарные производственно-транспортные затраты (далее затраты) составляют  $W$ .

Пусть планируется транспортное обслуживание  $n$  производственных подразделений промышленного предприятия  $ПП_1, ПП_2, \dots, ПП_n$  на некоторый период времени ( $I_{\text{ПЛАН}}$ ), состоящий из  $m$  этапов. В задаче будем рассматривать  $m=4$  этапа, согласно разработанной автором системе приоритетов транспортного обслуживания производственных подразделений промышленного предприятия (далее системы приоритетов). На каждом ( $i$ -м) шаге имеется управление  $U_i$ , посредством которого система переводится из состояния  $S_{i-1}$ , достигнутого в результате ( $i-1$ )-го этапа, в новое состояние  $S_i$ , которое зависит от  $S_{i-1}$  и выбранного нами управления  $U_i$ . Эту зависимость запишем так:

$$S_i = S_i(S_{i-1}, U_i), \tag{1}$$

рассматривая  $S_i$  как функцию двух аргументов  $S_{i-1}$  и  $U_i$ .

Под влиянием управления  $U_1, U_2, \dots, U_m$  система переходит из начального состояния  $S_0$  в конечное  $S_{\text{КОН}}$ . Управление на каждом шаге оптимизации транспортного обслуживания цехов предприятия предполагает назначение приоритетов в соответствии с конкретным этапом системы приоритетов. В результате всего процесса за 4 этапа суммарные затраты  $W$  определяются по формуле

$$W = \sum_{i=1}^m w_i(S_{i-1}, U_i) = \sum_{i=1}^4 w_i(S_{i-1}, U_i), \tag{2}$$

где  $w_i(S_{i-1}, U_i)$  - затраты на  $i$ -м шаге;  
 $W_m = W_4$  - затраты за последний шаг;  
 $W_{m-1,m} = W_{3,4}$  - затраты за два последних шага;  
 $W_{m-2,m-1,m} = W_{2,3,4}$  - затраты за второй шаг;  
 $W_{m-3,m-2,m-1,m} = W_{1,2,3,4}$  - затраты за первый шаг.  
Очевидно

$$\left. \begin{aligned} W_4 &= w_4, \\ W_3 &= w_3 + w_4, \\ W_2 &= w_2 + w_3 + w_4, \\ W_1 &= w_1 + w_2 + w_3 + w_4. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Таким образом, оптимизация транспортного обслуживания производственных подразделений сводится к решению следующей задачи методом динамического программирования /1, 2, 3/. Определить оптимальную очередность подач-уборок групп вагонов в производственные подразделения, составить расписание обслуживания цехов предприятия и минимизировать целевую функцию к конечному состоянию системы  $S_{\text{КОН}}$  (к окончанию  $I_{\text{ПЛАН}}$ )

$$W = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{K_m} (C_{\text{ПР}_j}^{\text{ОСН}}, C_{\text{ПР}_j}^{\text{ДОП}}, C_{\text{ТР}_j}^{\text{ОСН}}, C_{\text{ТР}_j}^{\text{ДОП}}) \rightarrow \min, \quad (4)$$

где  $K_m$  - группа производственных подразделений предприятия, рассматриваемая на  $m$ -м этапе планирования транспортного обслуживания, шт.;

$C_{\text{ПР}_j}^{\text{ОСН}}$  - основные производственные затраты  $j$ -го производственного подразделения на технологические операции (зависят от применяемой технологии производства), руб.;

$$C_{\text{ПР}_j}^{\text{ДОП}} = \left( T_{\text{ОТПР}}^j - T_{\text{ЗАЯВКИ}}^j - \frac{q_{\text{НАЛС}}^j}{\text{ИНТП}_j} \right) \cdot Z_{\text{АГР}}^j - \text{дополнительные}$$

производственные затраты, связанные с нарушением технологии работы  $j$ -го цеха, сбоями в транспортном обслуживании, простоем технологических агрегатов и т.п., руб.;

$T_{\text{ОТПР}}^j$  - время отправления группы вагонов в адрес  $j$ -го производственного подразделения при практикуемой технологии транспортного обслуживания, ч:мин.;

$T_{ЗАЯВКИ}^j$  - время подачи заявки на перевозку  $j$ -го цеха, ч:мин.;

$Q_{НАЛС}^j$  - наличный запас сырья в  $j$ -м производственном подразделении, т.;

$ИНТП_j$  - интенсивность потребления наличного сырья  $j$ -м цехом, т/ч.;

$З_{АГР}^j$  - потери от простоя технологических агрегатов в  $j$ -м производственным подразделением, руб.;

$C_{ТРj}^{ОСН} = (З_{ВЧ}^j + З_{ВЧ(СУЦ)}^{ОЖИДj}) \cdot C_{ВЧ}$  - основные (эксплуатационные) транспортные затраты на обслуживание  $j$ -го цеха, руб.;

$З_{ВЧ}^j = m^j \cdot t_{\Phi}^j$  - затраты вагоно-часов на обслуживание  $j$ -го производственного подразделения, ваг-ч.;

$m^j$  - количество вагонов в составе поезда (подачи), сформированного в адрес  $j$ -го цеха, ваг.;

$t_{\Phi}^j = \theta^j \cdot K_{ОБ}^j$  - время на совершение поездом (подачей) оборотов  $K_{ОБ}^j$  в течение  $I_{ПЛАН}$  в адрес  $j$ -го производственного подразделения, ч.;

$K_{ОБ}^j = \frac{I_{ПЛАН}}{\theta^j}$  - количество полных оборотов состава, обслуживающего  $j$ -е производственное подразделение, ед. (в расчетах округляется до меньшего целого числа);

$\theta^j$  - время оборота поезда (подачи), сформированного в адрес  $j$ -го производственного подразделения, ч.;

$З_{ВЧ(СУЦ)}^{ОЖИДj} = \theta^j \cdot \sum_{g=1}^{n-j} m_g$  - затраты вагоно-часов на простой в

ожидании подачи-уборки вагонов в  $j$ -е производственное подразделение при практикуемой технологии транспортного обслуживания предприятия (графиковые показатели), ваг-ч.;

$m_g$  - количество вагонов в подаче, сформированной в адрес  $g$ -го грузового фронта, ожидающих подачи-уборки состава в  $j$ -е производственное подразделение, ваг.;

$C_{ВЧ}$  - стоимость вагоно-часа, руб.;

$C_{ТРj}^{ДОП} = \Delta Z_{Вч}^{ОЖИДj} \cdot C_{Вч} = (Z_{Вч(СУЩj)}^{ОЖИДj} - Z_{Вч(МОДj)}^{ОЖИДj}) \cdot C_{Вч}$  - дополнительные транспортные затраты j-го производственного подразделения, обусловленные нарушением технологии работы основного производства, простоем в ожидании подачи-уборки вагонов и локомотивов, руб.;

$$Z_{Вч(МОДj)}^{ОЖИДj} = \theta^j \cdot \sum_{g=1}^{K_m-j} m_g$$

- затраты вагоно-часов на простой в

ожидании подачи-уборки вагонов в j-е производственное подразделение при применении рассматриваемой модели, ваг-ч. Причем, если  $\Delta Z_{Вч}^{ОЖИДj} \geq 0$ , то основные транспортные расходы будут снижены на величину дополнительных транспортных затрат, в противном случае – увеличены на  $C_{ТРj}^{ДОП}$ .

Процесс оптимизации управления методом динамического программирования начинается с последнего 4 шага. Пусть после 3-го шага система находится в состоянии  $S_3$ .

Предположим, что состояние  $S_3$  нам известно, и найдем при этом условное оптимальное управление на 4-м шаге; обозначим его  $U_4^*(S_3)$ . Это – то управление, которое, будучи примененным на 4-м шаге, переводит систему в конечное состояние  $S_4$ , причем затраты на этом последнем шаге  $W_4$  достигают своего минимального значения:

$$W_4^*(S_3) = \min_{U_4} \{W_4(S_3, U_4)\} \quad 5)$$

$W_4(S_3, U_4)$  означает затраты вообще (условно оптимальные) на последнем шаге; они зависят как от результата предыдущего шага  $S_3$ , так и от примененного на данном шаге управления  $U_4$ . Запись  $\min_{U_4}$  означает, что из всех затрат  $W_4(S_3, U_4)$  при разных управлениях  $U_4$  выбираются те затраты  $W_4^*(S_3)$ , которые имеют минимальное значение. Заметим, что в качестве управления  $U_4$  мы должны брать только то, которое переводит систему из заданного состояния  $S_3$  в состояние  $S_4$ .

Находя условное минимальное значение затрат  $W_4^*(S_3)$ , мы тем самым находим и условное оптимальное управление  $U_4^*(S_3)$ . Тот факт, что условные минимальные затраты  $W_4^*(S_3)$

достигаются при условном оптимальном управлении  $U_4^*(S_3)$ , мы запишем в виде

$$W_4^*(S_3) \sim U_4^*(S_3) \quad (6)$$

и в дальнейшем будем пользоваться такой записью для указания соответствия между условными минимальными затратами и условным оптимальным управлением на каждом шаге.

Условное оптимальное управление на 4-м шаге основывается на выполнении последнего этапа системы приоритетов. Итак, для реализации  $U_4$  необходимо из  $n$  производственных подразделений (группа  $K_1$ ) выделить  $l$ -й цех, на транспортное обслуживание которого необходимо затратить минимальное количество вагоно-часов. Первоочередное формирование в его адрес состава поезда (подачи) позволит осуществить перевозочный процесс с минимальными затратами. Другими словами:

$$\text{ПП}_{\text{ВЧ}}^l = \min(Z_{\text{ВЧ}}^1; Z_{\text{ВЧ}}^{K_1}), \quad (7)$$

где  $\text{ПП}_{\text{ВЧ}}^l$  - производственное подразделение, затраты вагоно-часов на обслуживание которого наименьшие.

Очередность обслуживания цехов  $K_1$  выстраивается в порядке возрастания затрат вагоно-часов:

$$\text{ПП}_{\text{ВЧ}}^{l+1} = \max(\text{ПП}_{\text{ВЧ}}^1; \text{ПП}_{\text{ВЧ}}^{(K_1-1)}), \dots, \text{ПП}_{\text{ВЧ}}^{K_1}. \quad (8)$$

На производственные подразделения  $K_1$  налагается следующее ограничение по наличию необходимого парка железнодорожного подвижного состава:

$$\begin{cases} N_{\text{ПОТР}}^{\beta(K_1)} \leq N_{\text{ТЕК}}^{\beta(K_1)}, \\ N_{\text{ПОТР}}^{\beta(K_1)} \leq N_{\text{ПАРК}}, \end{cases} \quad (9)$$

где  $N_{\text{ПОТР}}^{\beta(K_1)}$  - потребное количество железнодорожного подвижного состава для транспортного обслуживания  $K_1$ , ед.;

$N_{\text{ТЕК}}^{\beta(K_1)}$  - количество железнодорожного подвижного состава в текущий момент времени не задействованное на перевозках (для транспортного обслуживания  $K_1$ ), ед.;

$N_{\text{ПАРК}}$  - рабочий парк железнодорожного подвижного состава промышленного предприятия, ед.;

$\beta$  - характеристика железнодорожного подвижного состава (тип и грузоподъемность вагона, характеристики локомотива).

Таким образом, оптимизация последнего шага при любом результате предпоследнего произведена, и найдено соответствующее условное оптимальное управление.

Перейдем к оптимизации предпоследнего (3-го) шага. Сделаем снова предположение, что в результате 2-го шага система пришла в состояние  $S_2$ . Применим на 3-м шаге управление  $U_3$ , соответствующее предпоследнему этапу системы приоритетов.

Итак, среди цехов  $K_2$  необходимо в первую очередь обслуживать цехи с максимальным значением интенсивности потребления наличного сырья и отгрузки готовой продукции, что можно определить по формулам:

$$\text{ПП}_{\text{ИНТП}}^J = \max(\text{ПП}_{\text{ИНТП}}^1; \text{ПП}_{\text{ИНТП}}^{K_2}), \quad (10)$$

$$\text{ПП}_{\text{ИНТО}}^R = \max(\text{ПП}_{\text{ИНТО}}^1; \text{ПП}_{\text{ИНТО}}^{K_2}), \quad (11)$$

где  $\text{ПП}_{\text{ИНТП}}^J$  - производственное подразделение, с максимальным значением интенсивности потребления наличного сырья;

$\text{ПП}_{\text{ИНТО}}^R$  - цех, с максимальным значением интенсивности отгрузки готовой продукции;

$\text{ИНТО}$  - интенсивность отгрузки готовой продукции, т/ч.

Очередность обслуживания цехов  $K_2$  выстраивается в порядке убывания интенсивности потребления наличного сырья и готовой продукции, т.е.

$$\text{ПП}_{\text{ИНТП}}^{J+1} = \max(\text{ПП}_{\text{ИНТП}}^1; \text{ПП}_{\text{ИНТП}}^{(K_2-1)}, \dots, \text{ПП}_{\text{ИНТП}}^{K_2}), \quad (12)$$

$$\text{ПП}_{\text{ИНТО}}^{R+1} = \max(\text{ПП}_{\text{ИНТО}}^1; \text{ПП}_{\text{ИНТО}}^{(K_2-1)}, \dots, \text{ПП}_{\text{ИНТО}}^{RK_2}). \quad (13)$$

При этом необходимо, чтобы в течение  $I_{\text{ПЛАН}}$  выполнялись условия:

$$q_{\text{НАЛс}}^j \geq q_{\text{СТРАХс}}^j, \quad (14)$$

$$q_{\text{НАЛгп}}^j \leq q_{\text{СКЛгп}}^j, \quad (15)$$

$$\begin{cases} N_{\text{ПОТР}}^{\beta(K_2)} \leq N_{\text{ТЕК}}^{\beta(K_2)}, \\ N_{\text{ПОТР}}^{\beta(K_2)} \leq N_{\text{ПАРК}}, \end{cases} \quad (16)$$

где  $q_{\text{СТРАХс}}^j$  - страховой запас сырья  $j$ -го цеха, т;

$Q_{\text{НАЛгп}}^j$  - наличный запас готовой продукции на складах  $j$ -го производственного подразделения, т;

$Q_{\text{СКЛгп}}^j$  - максимальный складской запас готовой продукции  $j$ -го цеха, т;

$N_{\text{ПОТР}}^{\beta(K_2)}$  - потребное количество железнодорожного подвижного состава для транспортного обслуживания цехов  $K_2$ , ед.;

$N_{\text{ТЕК}}^{\beta(K_2)} = N_{\text{ТЕК}}^{\beta(K_1)} - N_{\text{ПОТР}}^{\beta(K_1)}$  - количество железнодорожного подвижного состава, в текущий момент времени не задействованное на перевозках (для транспортного обслуживания цехов  $K_2$ ), ед.

В результате этого управления мы на 3-м шаге получим затраты, зависящие как от состояния системы, так и от примененного управления:

$$w_3 = w_3(S_2, U_3), \quad (17)$$

а система перейдет в новое состояние  $S_3$ , тоже зависящее от предыдущего состояния и от управления:

$$S_3 = S_3(S_2, U_3). \quad (18)$$

Но для любого результата 3-го шага следующий, 4-й шаг уже оптимизирован, и минимальные затраты на нем равны

$$W_4^*(S_3) = W_4^*(S_3(S_2, U_3)). \quad (19)$$

Другими словами, выигрыш  $W_4^*$  есть функция состояния  $S_3$ , которое в свою очередь зависит от предыдущего состояния  $S_2$  и примененного управления  $U_3$ . Так как для обозначения функциональной зависимости принято пользоваться круглыми скобками, то в формулах типа (19) мы ставим круглые скобки внутри круглых.

Введем в рассмотрение суммарное снижение (минимизацию) затрат на двух последних шагах при любом управлении на 3-м шаге и оптимальном управлении 4-м шаге. Обозначим его  $W_{3,4}^+$ ; знак «+» будет нам напоминать, что это суммарное снижение затрат при неполностью оптимизированном управлении, в отличие от знака «\*», которым мы обозначили минимизацию затрат при полностью оптимизированном управлении. Затраты  $W_{3,4}^+$ , очевид-

но, зависят от предыдущего состояния системы  $S_2$  и примененного на 3-м шаге управления  $U_3$ . Учитывая формулы (17) и (19), получим следующее выражение для  $W_{3,4}^+$ :

$$W_{3,4}^+(S_2, U_3) = w_3(S_2, U_3) + W_4^*(S_3(S_2, U_3)). \quad (20)$$

Нужно выбрать такое оптимальное условное управление на 3-м шаге  $U_3^*(S_2)$ , при котором величина (20) достигла бы минимума:

$$W_{3,4}^*(S_2) = \min_{U_3} \{W_{3,4}^+(S_2, U_3)\}. \quad (21)$$

Так же, как и на предыдущем этапе оптимизации, в качестве состояний  $S_2$  после двух последних шагов нужно брать не все возможные состояния системы, а только те, из которых можно перейти в  $S_{\text{КОН}}$  за два шага.

Таким образом, найдено минимальное условное значение затрат на двух последних шагах и соответствующее ему оптимальное условное управление на 3-м шаге:

$$W_{3,4}^*(S_2) \sim U_3^*(S_2).$$

Продолжая точно таким же образом, можно найти условные минимальные значения затрат на двух последних шагах процесса и соответствующие им оптимальные условные управления.

Рассмотрим оптимизацию 2-го шага. Предположим, что в результате 1-го шага система пришла в состояние  $S_1$ . В качестве управления на 2-м шаге  $U_2$ , рассмотрим второй этап системы приоритетов. Итак, транспортное обслуживание оставшегося количества производственных подразделений  $K_3$  удастся осуществить с наименьшими потерями при первоочередном обслуживании цеха, у которого отклонение времени подачи заявки на перевозку от момента времени начала интервала планирования минимальное. Это можно выразить следующим образом:

$$\alpha^j = T_{\text{ЗАЯВКИ}}^j - T_{\text{НАЧ}}^{\text{ПЛАН}}, \quad (22)$$

где  $\alpha^j$  - отклонение времени подачи заявки  $j$ -го цеха от времени начала интервала планирования, ч:мин;

$T_{\text{НАЧ}}^{\text{ПЛАН}}$  - время начала интервала планирования, ч:мин.

При этом должны выполняться условия:

$$\alpha^j \geq 0, \quad (23)$$

$$T_{\text{ЗАЯВКИ}}^j \in I_{\text{ПЛАН}}, \quad (24)$$

$$\text{ПП}_{\text{ЗАЯВКИ}}^f = \min(\alpha^1; \alpha^{K_3}), \quad (25)$$

где  $\text{ПП}_{\text{ЗАЯВКИ}}^f$  - производственное подразделение, у которого отклонение времени подачи заявки на перевозку от времени начала интервала планирования минимально.

Транспортное обслуживание цехов  $K_3$  необходимо осуществлять в порядке возрастания  $\alpha^j$  до окончания  $I_{\text{ПЛАН}}$ , т.е. при выполнении условий:

$$T_{\text{ТЕК}} \leq T_{\text{НАЧ}}^{\text{ПЛАН}} + I_{\text{ПЛАН}}, \quad (26)$$

$$\begin{cases} N_{\text{ПОТР}}^{\beta(K_3)} \leq N_{\text{ТЕК}}^{\beta(K_3)}, \\ N_{\text{ПОТР}}^{\beta(K_3)} \leq N_{\text{ПАРК}}, \end{cases} \quad (27)$$

где  $T_{\text{ТЕК}}$  - текущее время, ч:мин.;

$N_{\text{ПОТР}}^{\beta(K_3)}$  - потребное количество подвижного железнодорожно-го состава для транспортного обслуживания цехов  $K_3$ , ед.;

$N_{\text{ТЕК}}^{\beta(K_3)} = N_{\text{ТЕК}}^{\beta(K_2)} - N_{\text{ПОТР}}^{\beta(K_2)}$  - количество подвижного железнодорожного состава, в текущий момент времени не задействованное на перевозках (для транспортного обслуживания цехов  $K_3$ ), ед.

В случае не выполнения условий (23), (24), (26) и (27), приоритет, учитывающий минимальное отклонение времени подачи заявки цехом на перевозку от времени начала интервала планирования, не учитывается. Далее очередность транспортного обслуживания производственных подразделений выстраивается в порядке соответствия последующим приоритетам.

Таким образом, в результате управления  $U_2$  мы на 2-м шаге получим затраты, зависящие как от состояния системы, так и от примененного управления:

$$w_2 = w_2(S_1, U_2), \quad (28)$$

а система перейдет в новое состояние  $S_2$ , зависящее от предыдущего состояния и от управления:

$$S_2 = S_2(S_1, U_2). \quad (29)$$

Для любого результата 2-го шага следующий, 3-й шаг уже оптимизирован, и минимальные затраты на нем равны

$$W_3^*(S_2) = W_3^*(S_2(S_1, U_2)). \quad (30)$$

Аналогично предыдущему шагу суммарное снижение (минимизация) затрат на трех последних шагах при любом управлении на 2-м шаге и оптимальном управлении на 3-м и 4-м шагах  $W_{2,3,4}^+$  будут выглядеть следующим образом:

$$W_{2,3,4}^+(S_1, U_2) = w_2(S_1, U_2) + W_3^*(S_2(S_1, U_2)) + W_4^*(S_3(S_2, U_3)). \quad (31)$$

Выберем такое оптимальное условное управление на 2-м шаге  $U_2^*(S_1)$ , при котором величина (31) достигла бы минимума:

$$W_{2,3,4}^*(S_1) = \min_{U_2} \{W_{2,3,4}^+(S_1, U_2)\}. \quad (32)$$

В качестве состояний  $S_1$  после двух последних шагов нужно брать только те, из которых можно перейти в  $S_{\text{кон}}$  за три шага.

Итак, найдено минимальное условное значение затрат на трех последних шагах и соответствующее ему оптимальное условное управление на 2-м шаге:

$$W_{2,3,4}^*(S_1) \sim U_2^*(S_1). \quad (33)$$

Рассмотрим оптимизацию 1-го шага. Предположим, что система находится в каком-то начальном состоянии  $S_0$ . В качестве управления на 1-м шаге  $U_1$ , рассмотрим первый этап системы приоритетов. Для минимизации производственно-транспортных затрат необходимо выделить цехи, в которых технологические агрегаты не функционируют (вследствие отсутствия сырья), либо находятся на грани останова, что можно выразить следующим образом:

$$0 \leq q_{\text{НАЛС}}^j < q_{\text{СТРАХС}}^j. \quad (34)$$

Под страховым запасом сырья  $q_{\text{СТРАХС}}^j$  понимается его минимальное количество, необходимое для бесперебойного функционирования технологических агрегатов в течение определенного

времени. В группе производственных подразделений, удовлетворяющих условию (34),  $K_4$  в первую очередь нужно обслужить цех с максимальным значением потерь, возникающих в случае простоя технологических агрегатов (35):

$$\text{ПП}_{\text{загр}}^S = \max(\text{ПП}_{\text{загр}}^1; \text{ПП}_{\text{загр}}^{K_4}), \quad (35)$$

где  $\text{ПП}_{\text{загр}}^S$  - производственное подразделение, с максимальным значением потерь из-за простоя технологических агрегатов.

Очередность обслуживания цехов  $K_4$  выстраивается в порядке убывания рассматриваемых затрат, т.е.

$$\text{ПП}_{\text{загр}}^{S+1} = \max(\text{ПП}_{\text{загр}}^1; \text{ПП}_{\text{загр}}^{(K_4-1)}), \dots, \text{ПП}_{\text{загр}}^{SK_4}. \quad (36)$$

При соблюдении условий:

$$\begin{cases} N_{\text{ПОТР}}^{\beta(K_4)} \leq N_{\text{ТЕК}}^{\beta(K_4)}, \\ N_{\text{ПОТР}}^{\beta(K_4)} \leq N_{\text{ПАРК}}, \end{cases} \quad (37)$$

где  $N_{\text{ПОТР}}^{\beta(K_4)}$  - потребное количество железнодорожного подвижного состава для транспортного обслуживания цехов  $K_4$ , ед.;

$N_{\text{ТЕК}}^{\beta(K_4)} = N_{\text{ТЕК}}^{\beta(K_3)} - N_{\text{ПОТР}}^{\beta(K_3)}$  - количество железнодорожного подвижного состава, в текущий момент времени не задействованное на перевозках (для транспортного обслуживания цехов  $K_4$ ), ед.

В результате управления  $U_1$  мы на первом шаге получим затраты:

$$w_1 = w_1(S_0, U_1), \quad (38)$$

а система перейдет в новое состояние  $S_1$ :

$$S_1 = S_1(S_0, U_1). \quad (39)$$

Для любого результата первого шага следующий, второй шаг уже оптимизирован, и минимальные затраты на нем равны

$$W_2^*(S_1) = W_2^*(S_1(S_0, U_1)). \quad (40)$$

Аналогично предыдущему шагу суммарное снижение затрат на трех последних шагах при любом управлении на первом шаге и оптимальном управлении на 2-м, 3-м и 4-м шагах  $W_{1,2,3,4}^+$  составит:

$$W_{1,2,3,4}^+(S_0, U_1) = w_1(S_0, U_1) + W_2^*(S_1(S_0, U_1)) + W_3^*(S_2(S_1, U_2)) + W_4^*(S_3(S_2, U_3)). \quad (41)$$

Выберем такое оптимальное условное управление на 1-м шаге  $U_1^*(S_0)$ , при котором величина (41) достигла бы минимума:

$$W_{1,2,3,4}^*(S_0) = \min_{U_1} \{W_{1,2,3,4}^+(S_0, U_1)\}. \quad (42)$$

Итак, найдено минимальное условное значение затрат на четырех шагах и соответствующее ему оптимальное условное управление на первом шаге:

$$W_{1,2,3,4}^*(S_0) \sim U_1^*(S_0). \quad (43)$$

В результате последовательного прохождения этапов от конца к началу найдены минимальные значения затрат на всех 4-х шагах

$$W^* = W_{1,2,\dots,4}^* \sim S_0. \quad (44)$$

Таким образом, мы нашли условное оптимальное управление.

Чтобы найти оптимальное управление в окончательной инстанции, необходимо снова пройти всю последовательность шагов – на этот раз от начала к концу.

В качестве начального состояния системы берется  $S_0$ . На первом шаге применяется оптимальное управление  $U_1^*$  (43)

$$U_1^* = U_1^*(S_0^*), \quad (45)$$

после чего система переходит в новое состояние

$$S_1^* = S_1(S_0^*, U_1^*). \quad (46)$$

Теперь нужно выбрать оптимальное управление на втором шаге. Мы уже оптимизировали его для любого результата первого шага, т.е. знаем  $U_2^*(S_1)$  (33); подставляя в него  $S_1^*$ , получим

$$U_2^* = U_2^*(S_1^*), \quad (47)$$

и так далее, пока не дойдем до оптимального управления на последнем шаге

$$U_4^* = U_4^*(S_3^*) \quad (48)$$

и конечного состояния системы

$$S_4^* = S_{\text{кон}}^* = S_4^*(S_3^*, U_4^*). \quad (49)$$

В результате всей этой процедуры находится решение задачи: минимальное значение затрат  $W$  и оптимальное управление  $U^*$ , состоящее из оптимальных управлений на отдельных шагах (вектор оптимального управления)

$$U^* = (U_1^*, U_2^*, U_3^*, U_4^*). \quad (50)$$

Применение разработанной математической модели транспортного обслуживания производственных подразделений на конкретном промышленном предприятии позволит: снизить потери цехов, связанные с простоем технологических агрегатов; производственные и транспортные затраты; увеличить пропускную и провозную способность; выявить неявные резервы парка железнодорожного подвижного состава.

#### Библиографический список

1. Калихман И.Л., Войтенко М.А. Динамическое программирование в примерах и задачах: Учеб. пособие. М.: Высш. школа, 1979. 125 с.
2. Вентцель Е.С. Элементы динамического программирования. М., 1964. 176 с.
3. Арис Р. Дискретное динамическое программирование. М., 1969. 172 с.

**Г.М.Коринченко, У.В.Михайлова, К.А.Кислицин**  
ГОУ ВПО «МГТУ»

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РАЗРЕЖЕННЫХ МАТРИЦ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Повышение качества продукции до уровня мировых стандартов требует широкого использования достижений фундаментальных наук при проектировании конструктивных элементов, технологических агрегатов, деталей машин, их теоретических расчетов не только в научно-исследовательских работах, но также в повседневной практике заводских инженеров.

Если рассмотреть историю развития численных методов расчета напряженно-деформированного состояния металла, то четко прослеживается постепенное совершенствование этих методов. Целью этого совершенствования является точность расчетов любой задачи в любых условиях. Для достижения этой цели в первую очередь надо обеспечить решение задачи без использования любых упрощающих допущений, таких как гипотеза плоских сечений, относительная сжимаемость деформируемого материала, равномерное распределение температуры по поперечному и продольному сечениям полосы и т.д. При моделировании процессов обработки металла давлением с применением метода конечных элементов большинство упрощающих допущений использовать нет необходимости, что позволяет добиться поставленной цели.

При использовании метода конечных элементов получаем систему линейных уравнений большой размерности с разреженной матрицей коэффициентов. Разреженной называют матрицу, имеющую малый процент ненулевых элементов. При этом относительно местоположения нулей никаких предположений не выдвигается: они могут быть расположены совершенно случайным образом.

Использование итерационных методов для решения СЛАУ с разреженной матрицей не слишком эффективны, так как для обеспечения их сходимости необходимо выполнение условий сходимости, кроме того, если задача решения СЛАУ некорректна, то итерационные методы не дают однозначного ответа. Точные методы

лишены этих недостатков, однако их использование дает большую вычислительную погрешность и при больших размерностях требует больших затрат памяти. Для повышения эффективности расчетов существуют специальные методы преобразования разреженной матрицы коэффициентов, включающие в себя способы оптимального упорядочивания строк и столбцов разреженной матрицы.

В программах анализа в САПР для решения СЛАУ чаще всего применяют метод Гаусса или его разновидности. Метод Гаусса — метод последовательного исключения неизвестных из системы уравнений. При исключении неизвестной  $x_k$ , из системы уравнений

$$Ax = b, \quad (1)$$

все коэффициенты  $a_{ij}$  при  $i > k$  и  $j > k$  пересчитывают по формуле

$$a_{ij} := a_{ij} - \frac{a_{ik} a_{kj}}{a_{kk}}. \quad (2)$$

Исключение  $n - 1$  неизвестных, где  $n$  — порядок системы (1), называют прямым ходом, в процессе которого матрица коэффициентов приобретает треугольный вид. При обратном ходе последовательно вычисляют неизвестные, начиная с  $x_n$ .

В общем случае число арифметических операций для решения (1) по Гауссу пропорционально  $n^3$ . Это приводит к значительным затратам машинного времени. Можно заметно повысить вычислительную эффективность анализа, если использовать свойство высокой разреженности матрицы  $A$  в модели (1).

Эффективность обработки разреженных матриц велика потому, что не требуются, во-первых, пересчет по формуле (2), если хотя бы один из элементов  $a_{ik}$  или  $a_{kj}$  оказывается нулевым, во-вторых, затраты памяти для хранения нулевых элементов. Хотя алгоритмы обработки разреженных матриц более сложны, но в результате удается получить затраты машинного времени, близкие к линейным, например, затраты оказываются пропорциональными  $n^{1,2}$ .

При использовании методов разреженных матриц нужно учитывать зависимость вычислительной эффективности от того, как представлена матрица коэффициентов  $A$ , точнее, от того, в каком порядке записаны ее строки и столбцы.

Для пояснения этой зависимости рассмотрим два варианта представления одной и той же СЛАУ. В первом случае система уравнений имеет вид табл. 1.

При прямом ходе в соответствии с формулой (2) все элементы матрицы, которые первоначально были нулевыми, становятся ненулевыми, а матрица оказывается полностью насыщенной. Элементы, становящиеся ненулевыми в процессе гауссовых исключений, называют вторичными ненулями. Вторичные нули в табл. 1 отмечены знаком «.». Во втором случае меняются места-ми первое и пятое уравнения. Матрицы коэффициентов имеют вид табл. 1 и 2, где ненулевые элементы представлены знаком «+». Теперь вторичные нули не появляются, матрица остается разреженной, высокая вычислительная эффективность сохраняется.

+	+	+	+	+
+	+	.	.	.
+		+	.	.
+	.	.	+	.
+	.	.	.	+

Таблица 1

+				+
	+			+
		+		+
			+	+
+	+	+	+	+

Таблица 2

Таким образом, методы разреженных матриц должны включать в себя способы оптимального упорядочения строк и столбцов матриц. Используют несколько критериев оптимальности упорядочения. Простейшим из них является критерий расположения строк в порядке увеличения числа первичных нулей, более сложные критерии учитывают не только первичные нули, но и появляющиеся вторичные нули.

Для реализации метода разреженных матриц был разработан программный продукт на языке Delphi. Входные данные программы помещаются в отдельный файл, содержащий ненулевые значения матрицы коэффициентов в упакованном виде. Сам принцип считывания исходных данных имеет следующий вид: вначале указывается порядок матрицы, каждая последующая строка имеет форму вида  $\alpha_1 a_1 \alpha_2 a_2 \dots$ , где первое, третье числа – это номера столбцов, где расположены данные ненулевые элементы, а второе, четвертое числа – это данные ненулевые элементы. Этот вид представления данных позволяет хранить и обрабатывать в оперативной памяти компьютера матрицы больших размерностей. При этом выигрыш в затратах памяти довольно значителен.

Использование этого программного продукта позволяет получить решение системы линейных уравнений с разреженной матрицей коэффициентов, оценить погрешность и сделать вывод о корректности решения.

#### Библиографический список

1. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования . М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002.
2. Тьюарсон Р. Разреженные матрицы. М.: Изд-во «Мир», 1977.

УДК 622'156:519.711.3

**Н.Л.Медяник, О.В.Мунтяну, А.М.Строкань**  
ГОУ ВПО «МГТУ»

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ШЛАМА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА\***

Математическое моделирование технологических процессов – один из наиболее эффективных методов их исследования. Правильно построенная модель способна давать исследователю новую информацию о моделируемом процессе. Причем, в случае сложных технологических систем, которые часто встречаются в практике работы обогатительных процессов, такая информация может быть получена только таким способом [1].

Одной из возможностей улучшения технологических свойств сырья, снижения материальных затрат является использование отходов. Среди отходов промышленных предприятий особое место занимают шламы – осадки, образуемые при многоступенчатой обработке сточных вод горно-обогатительных комбинатов, предприятий металлургии и металлообработки и т.д. Шламовые отходы – высокодисперсные пастообразные минеральные составы с высокой адсорбционной способностью, пластичностью, использование которых в строительных материалах может дать великолепные результаты по улучшению структурно-реологических свойств це-

---

\* Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 04-05-96060 и РНП 2.1.2.6594.

ментных композиций на различных этапах технологической обработки. К основным структурно-реологическим свойствам относятся: показатель пластичности, время истечения суспензии из воронки, отношение объема осадка к объему исходной суспензии, плотность суспензии, показатель упругости, порог структурообразования, пластическая прочность, которые зависят от химико-минералогического состава шлама. Поэтому большое значение имеет оптимизация состава цементно-шламовых композиций. В настоящее время отсутствует математическая связь между составом и структурно-реологическими свойствами шламов горно-обогатительных комбинатов.

Впервые была предпринята попытка выявления данной функциональной зависимости и создания программы расчета основных структурно-реологических свойств шламов.

Чтобы задать химический состав шлама были выбраны пять наиболее применяемых оксидов:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}+\text{MgO}$ ,  $\text{RO}$  ( $\text{CuO}+\text{ZnO}$ ). По преобладанию в составе определенного оксида, исследуемые шламы разделены на следующие группы: алюмо-кальциевые, гидроксидные, известково-карбонатные, карбонатные.

Зависимость между составом шлама и его реологическими свойствами описывается следующими линейными уравнениями:

Алюмо-кальциевый:

$$Y_1 = 540 - 3x_1 + 3x_2 + 1.6x_3 - 0.4x_4 + 1.2x_5$$

Гидроксидный:

$$Y_2 = 351.76 - 3x_1 + 3x_2 + 1.6x_3 - 0.4x_4 + 1.2x_5$$

Известково-карбонатный:

$$Y_3 = 228.76 - 3x_1 + 3x_2 + 1.6x_3 - 0.4x_4 + 1.2x_5$$

Карбонатный:

$$Y_4 = 221.64 - 3x_1 + 3x_2 + 1.6x_3 - 0.4x_4 + 1.2x_5$$

где  $x_1$  – процентное содержание  $\text{SiO}_2$  в шламе,  $x_2$  –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $x_3$  –  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $x_4$  –  $\text{CaO}+\text{MgO}$ ,  $x_5$  –  $\text{RO}$ ,  $Y$  – показатель пластичности шлама.

Для каждого шлама потребовалось отдельное решение (уравнение), потому что они относятся к разным группам. Для получения результата было необходимо решить уравнение с шестью неизвестными, исходя из пяти данных оксидов. Экспертным путем для каждого шлама было получено шесть квазиэкспериментальных точек. Таким образом, был связан химический состав шлама с показателем пластичности. Затем проведена аппроксимация и выведены формулы зависимости остальных свойств через показатель пластичности с помощью метода наименьших квадратов и получены следующие зависимости:

Время истечения суспензии из воронки:

$$t = -A^3 8.08 \cdot 10^{-8} + A^2 7.083 \cdot 10^{-5} + A 3.67 \cdot 10^{-3} + 6.556$$

Отношение объема осадка к объему исходной суспензии:  
 $V_o/V_c = (A 0.065503 + 44.46135) \cdot 10^{-2}$

Плотность суспензии:

$$\rho = (-A^3 6.52 \cdot 10^{-7} + A^2 8.22 \cdot 10^{-4} - A \cdot 0.395 + 1143.506) \cdot 10^{-3}$$

Показатель упругости:

$$N = (-A 0.97181 + 2318.225) \cdot 10^{-3}$$

Порог структурообразования:

$$G = -A 0.06885 + 63.19326$$

Полученные результаты дали возможность разработать программу, которая может рассчитывать характеристики шлама в зависимости от заданного состава [2]. Создание подобных программ в дальнейшем позволит перейти к тонким техническим технологиям в области строительства, сократит время и снизит затраты на проведение дорогостоящих опытов и экспериментов.

#### Библиографический список

1. Технологическая оценка минерального сырья. Методы исследования: Справочник / Под ред. П.Е. Остапенко. М.: Недра, 1990. С. 130.
2. Коренькова С.Ф., Якушин И.В. Аппроксимация экспериментальных зависимостей в условиях недостатка информации, 2005.

УДК 621.333.1.001.57

**Е.Я.Омельченко**

Магнитогорский филиал НТЦ «Приводная техника»

**Б.Я.Омельченко**

ГОУ ВПО «МГТУ»

### **РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ**

Уточненная математическая модель позволяет рассчитывать переходные процессы всех электромагнитомеханических параметров трехфазного асинхронного электродвигателя с фазным

ротором (АД) с учетом намагничивания, вихревых токов, и конструкции распределенных обмоток статора и ротора [1]. Для расчета электромагнитного момента и наведенных ЭДС в обмотках необходимо выполнить интерполяцию кривой индукции по зубцам статора и ротора, рассчитать значения индукции в пазах, где укладываются распределенные обмотки, и рассчитать потокосцепления катушек методами численного интегрирования, проверить точность расчета полученных формул. Распределение индукции по зубцам и пазам представляется гармонической нелинейной функцией, изменяющейся по амплитуде, времени и частоте. Точность численного интегрирования индукции зубцов должна быть не менее 4-5 значащих цифр (погрешность не более 0,01%), так как для расчета ЭДС потокосцепление катушек в дальнейшем должны быть продифференцировано по времени.

Параметры трехфазных обмоток АД [2] приведены в таблице 1,

где:  $y$  – число пазов на фазу;

$r$  – полюсное расстояние;

$q$  – число пазов на полюс и фазу;

$\Delta\alpha$  – зубцовое деление, град;

$N$  – число точек интерполяции.

Значения  $q$  изменяются от 1 до 4, при этом число пазов на фазу  $Y$  для трехфазной обмотки изменяется от 3 до 12. Поэтому интерполяцию гармонической кривой необходимо выполнять с количеством точек  $N$  от 5 до 14, так как обмотки располагаются в пазах, а исходная информация по индукции имеется только для зубцов.

Таблица 1

Параметры трехфазных обмоток асинхронных двигателей

№	Тип обмотки	$y$	$r$	$q$	$\Delta\alpha$	$N$
1	Однослойная сосредоточенная	3	3	1	60	5
2	Однослойно-двухслойная	4	4,5	1,5	40	6
3	Однослойная укороченная	5	6	2	30	7
4	Однослойная	6	6	2	30	8
5	Однослойно-двухслойная	7	7,5	2,5	24	9
6	Двухслойная укороченная	7	9	3	20	9
7	Двухслойная	9	9	3	20	11
8	Однослойно-двухслойная	9	10,5	3,5	17,14	11
9	Двухслойная укороченная	11	12	4	15	13

10	Двухслойная	12	12	4	15	14
----	-------------	----	----	---	----	----

Известные формулы численного интегрирования непрерывных последовательностей чисел с равноотстоящими отрезками (табл. 2) определяют интеграл с целым числом отрезков до 6 и не решен вопрос при сдвиге интервалов интегрирования на половину шага.

Численное интегрирование на основе N-точечных полиномиальных интерполяционных формул (табл. 3) решает проблему половинных отрезков, но достаточно сложное при выводе.

Таблица 2

## Формулы численного интегрирования [3]

№ п/п	Метод	Число разбиений	Расчетная формула: $I_i = (\sum y_i k_i) \Delta x$	Погрешность: $I(x) - I_i$
1	Трапеций (I1)	2	$\Delta x(y_1 + 2y_2 + y_3)/2$	$-\Delta x^3 y_m''' / 12$
		3	$\Delta x(y_1 + 2y_2 + 2y_3 + y_4)/2$	
2	Симпсона (парабол) (I2)	2	$\Delta x(y_1 + 4y_2 + y_3)/3$	$-\Delta x^5 y_m^{(4)} / 90$
		4	$\Delta x(y_1 + 4y_2 + 2y_3 + 4y_4 + y_5)/3$	
3	Уэддл (IY)	6	$\Delta x(y_1 + 5y_2 + y_3 + 6y_4 + y_5 + 5y_6 + y_7)3/10$	$-\Delta x^7 y^{(6)} / 140$
4	Грегори (IG)	5	$\Delta x(9y_1 + 28y_2 + 23y_3 + 23y_4 + 28y_5 + 9y_6)/24$	$+\Delta x^6 y^{(5)} / 180$

15

Таблица 3

## Коэффициенты интегралов полиномиальных интерполяционных формул

N	Тип	$K_0$	$K_1/2$	$K_2/3$	$K_3/4$	$K_4/5$
3	I2	$Y_2$	$-\frac{Y_1 - Y_3}{4\Delta X}$	$\frac{Y_1 - 2Y_2 + Y_3}{6\Delta X^2}$		
4	I3	$Y_2$	$-\frac{2Y_1 + 3Y_2 - 6Y_3 + Y_4}{12\Delta X}$	$\frac{Y_1 - 2Y_2 + Y_3}{6\Delta X^2}$	$-\frac{Y_1 - 3Y_2 + 3Y_3 - Y_4}{24\Delta X^3}$	
5	I4	$Y_3$	$\frac{Y_1 - 8Y_2 + 8Y_4 - Y_5}{24\Delta X}$	$\frac{Y_1 - 16Y_2 + 30Y_3 - 16Y_4 + Y_5}{72\Delta X^2}$	$-\frac{Y_1 - 2Y_2 + Y_4 - Y_5}{48\Delta X^3}$	$\frac{Y_1 - 4Y_2 + 6Y_3 - 4Y_4 + Y_5}{120\Delta X^4}$



$$\begin{aligned}
 X &:= \begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 4 & 8 \end{pmatrix} & Y(Y1, Y2, Y3, Y4) &:= \begin{pmatrix} Y1 \\ Y2 \\ Y3 \\ Y4 \end{pmatrix} & N &:= 4 \\
 K(Y1, Y2, Y3, Y4) &:= X^{-1} \cdot Y(Y1, Y2, Y3, Y4) \rightarrow \begin{pmatrix} Y2 \\ \frac{-1}{3} \cdot Y1 - \frac{1}{2} \cdot Y2 + Y3 - \frac{1}{6} \cdot Y4 \\ \frac{1}{2} \cdot Y1 - Y2 + \frac{1}{2} \cdot Y3 \\ \frac{-1}{6} \cdot Y1 + \frac{1}{2} \cdot Y2 - \frac{1}{2} \cdot Y3 + \frac{1}{6} \cdot Y4 \end{pmatrix} \\
 F(X, Y1, Y2, Y3, Y4) &:= K(Y1, Y2, Y3, Y4)_0 + K(Y1, Y2, Y3, Y4)_1 \cdot X + K(Y1, Y2, Y3, Y4)_2 \cdot X^2 + K(Y1, Y2, Y3, Y4)_3 \cdot X^3 \\
 B &:= \int_{-1}^2 F(X, Y1, Y2, Y3, Y4) dX \rightarrow \frac{9}{8} \cdot Y2 + \frac{9}{8} \cdot Y3 + \frac{3}{8} \cdot Y4 + \frac{3}{8} \cdot Y1 \\
 B2 &:= \int_{-0.5}^{1.5} F(X, Y1, Y2, Y3, Y4) dX \rightarrow .95833333333333333333333333333333 \cdot Y2 + .95833333333333333333333333333333 \cdot Y3 + 4.1666666666666666666666666666669 \cdot 10^{-3} \cdot Y1 + 4.1666666666666666666666666666666 \cdot 10^{-3} \cdot Y4 \\
 B1 &:= \int_{-1.5}^{2.5} F(X, Y1, Y2, Y3, Y4) dX \rightarrow .91666666666666666666666666666670 \cdot Y2 + .9166666666666666666666666666667 \cdot Y3 + 1.0833333333333333333333333333333 \cdot Y1 + 1.0833333333333333333333333333334 \cdot Y4
 \end{aligned}$$

Рис. 1. Фрагмент программы Mat CAD 2000 для расчета интегралов при N=4

Интеграл (3) после приведения подобных членов принимает вид

$$I_n = \int_{X_0}^{X_m} Y(X) dX = \Delta X * (C_1 * Y_1 + C_2 * Y_2 + \dots + C_N * Y_N), \quad (4)$$

где  $C_i$  – весовые коэффициенты, зависящие от порядка системы уравнений  $N$  и пределов интегрирования.

**Таким образом, для конкретной обмотки с известным  $N$  значения  $C_i$  принимают конкретные величины.**

Расчет уравнений (1)-(4) выполняется с помощью программного пакета Mat CAD 2000. Пример расчета для  $N=4$  и  $\Delta X = 1$  (кубическая интерполяция) приведен на рис. 1. В табл. 4 сведены значения весовых коэффициентов  $C_i$  для  $N$  от 5 до 9. Тип интеграла расшифровывается следующим образом: I4(3) – интеграл интерполяционной формулы 4-го порядка с пределами интегрирования от  $-1.5 \Delta X$  до  $1.5 \Delta X$ .

Программа Mat CAD позволяет решать систему уравнений (2) только до десятого порядка, поэтому для  $N > 10$  расчет весовых коэффициентов нужно выполнять, разбив интервал интегрирования на 2-3 подинтервала, к каждому из которых можно выбрать весовые коэффициенты из табл. 4. Так, для обмотки № 9 (таблица 1,  $Y=11$ ,  $N=13$ ) интеграл I12(11) разбивается последовательно на три интеграла I4(-3.5), I4(4) и I4(3.5).

### 3. Точность интегрирования

Точность конкретного метода интегрирования оценивается по относительной погрешности вычисления по отношению к точному значению интеграла. В качестве исходной функции взята синусоидальная зависимость  $Y(X) = \sin(X)$ , для которой точное значение интеграла

$$I_T(X) = \int_{X_0}^{X_m} \sin(X) dX = -\cos(X) \Big|_{X_0}^{X_m} = \cos(X_0) - \cos(X_m).$$

Относительная погрешность

$$dl(\%) = 100 * (I_T - I_P) / I_T,$$

где  $I_P = \Delta X * \sum_1^N (C_i * Y_i)$  – расчетное значение интеграла.

В табл. 5 сведены результаты расчетов погрешности интегрирования при  $X_0=0$ . В строке «точность» указано точное количество десятичных значащих цифр, рассчитываемых данным интегралом.

Таблица 4

## Весовые коэффициенты интегралов

Тип	N	dA	X <sub>0</sub>	X <sub>м</sub>	C <sub>i</sub>									Сумма C <sub>i</sub>
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	
I4(4)	5	60	-2	2	0.311111	1.422222	0.533333	1.422222	0.311111					4
I4(3)	5	60	-1.5	1.5	0.032812	0.99375	0.946875	0.99375	0.032812					3
I4(-3.5)	5	60	-1.5	2	0.017014	1.080382	0.740142	1.335590	0.326910					3.5
I4(3.5)	5	60	-2	1.5	0.326910	1.335590	0.740142	1.080382	0.017014					3.5
I5(4)	6	40	-1.5	2.5	0.035764	0.976042	0.988194	0.988194	0.976042	0.035764				4
I5(5)	6	40	-2	3	0.329861	1.302083	0.868056	0.868056	1.302083	0.329861				5
I6(5)	7	30	-2.5	2.5	0.028806	1.020740	0.866118	1.168671	0.866118	1.020740	0.028806			5
I6(6)	7	30	-3	3	0.292857	1.542857	0.192857	1.942857	0.192857	1.542857	0.292857			6
I7(7)	8	30	-3	4	0.304225	1.449016	0.5359375	1.210822	1.210822	0.535938	1.449016	0.304224		7
I7(6)	8	30	-2.5	3.5	0.030999	1.002818	0.930552	1.035631	1.035630	0.930552	1.002818	0.030999		6
I8(8)	9	24	-4	4	0.279083	1.661517	-0.261869	2.961834	-1.281129	2.961834	-0.261870	1.661517	0.279083	8
I8(7)	9	24	-3.5	3.5	0.025897	1.045828	0.769769	1.385787	0.545437	1.385787	0.769769	1.045828	0.025897	7

Таблица 5

## Расчет погрешности численного интегрирования

Тип	I4(3)	I5(4)	I6(5)	I7(6)	I8(7)	I12(11)
dA, град	60	40	30	30	24	15
Xm, град	180	160	150	180	168	165
Точный It	2	1.939693	1.866025	2	1.9781476	1.965926
Расчетный Ip	1.997857	1.939385	1.866029	2.000009	1.9781475	1.965941
(It-Ip)/It, %	<b>0.10717</b>	<b>0.01586</b>	<b>-0.00019</b>	<b>-0.00043</b>	<b>0.000004</b>	<b>-0.00076</b>
Точность	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>5</b>

Малую точность в 3 значащих цифры имеет интеграл I4(3) для трехфазной сосредоточенной обмотки с  $q=1$  из-за малого количества точек интерполяции и большого зубцового деления. Для  $N>4$  точность интегрирования превышает 4 значащих цифры. Сложный интеграл I12(11) обеспечивает точность 5 значащих цифр, потому что уменьшилась величина зубцового деления и увеличилось количество точек интерполяции, хотя он состоит из интегралов типа I4.

**ВЫВОДЫ**

1. На основе программного пакета Mat CAD 2000 разработана методика расчета весовых коэффициентов численного интегрирования до 10 точек интерполяции включительно.
2. Для более сложных случаев предложена разбивка исходного интервала интегрирования на 2-3 подинтервала.
3. Разработанная методика и рассчитанные весовые коэффициенты позволяют выполнять численное интегрирование с точностью более 4 значащих цифр.

## Библиографический список

1. Омельченко Е.Я. Математическая модель трехфазного асинхронного электродвигателя с фазным ротором. Электроприводы переменного тока: Труды международной 14 научно-технической конференции. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2007. С 185-188.
2. Крановое электрооборудование: Справочник / Под ред. А.А. Рабиновича. - М.: Энергия, 1979. 240 с.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров, 2-е изд. М: Изд. «Наука», 1970, 720 с.

**А.А.Варламов**

ОАО Проектный институт  
«Магнитогорскгражданпроект»

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ БЕТОНА ПРИ СЖАТИИ**

При определении НДС железобетонных конструкций с помощью метода полного снятия нагрузки измеряются упругие деформации бетона, которые в свою очередь зависят не только от состава бетона и условий его твердения, но и характера действующих в нем напряжений, а так же от имеющихся в нем дефектов.

В тоже время испытания бетона показывают на изменение величины начального модуля упругости бетона по мере изменения структуры бетона во время нагружения. Причиной изменения начального модуля упругости называют, в том числе, увеличение числа и длины продольных трещин, изменение соотношений модулей составляющих бетона.

Для оценки влияния продольных трещин на изменение деформаций бетона провели моделирование поведения бетонной призмы с соотношением сторон один к четырем. Выбрана модель бетона в виде матрицы, равномерно заполненной шаровидным наполнителем одного диаметра. Применение такой модели обосновано в предыдущих работах [1, 2].

Дополнительное рассмотрение модели бетона представлено на рис.1. На рисунке показаны два варианта модели, оба варианта модели проявляют анизотропность свойств, что в реальных бетонах практически не наблюдается. Для снятия этого противоречия использовали модель в которой наполнитель с окружающим его прилегающим слоем матрицы «размазан» по объему выделенной элементарной ячейки. Сдвиг наполнителя по ячейке с возможным выходом за ее пределы показан на рис.1,в. Функцию распределения наполнителя по объему принимали по нормальному закону распределения. Модель изучали методом конечных элементов.

Для учета трещин в конечно-элементной модели конструкции использовали методы:

- аппроксимации железобетона с трещинами эквивалентным по жесткости сплошным анизотропным телом;
- моделирования железобетона с трещинами путем расшивки сетки КЭ по траектории трещин с заменой арматуры упругими связями между узлами;

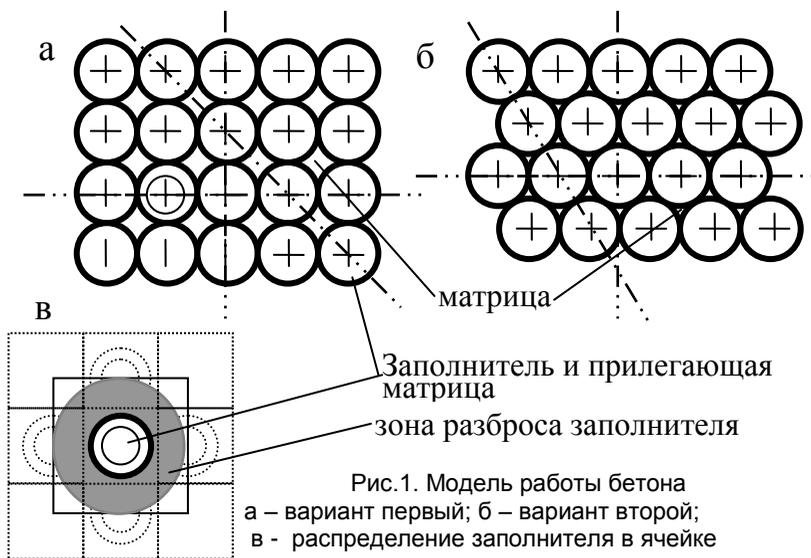


Рис.1. Модель работы бетона  
 а – вариант первый; б – вариант второй;  
 в - распределение заполнителя в ячейке

Для выбора наиболее адекватной расчетной схемы рассматривались несколько схем:

- в первой схеме рассматривалась четверть призмы, где была возможность распространения одной вертикальной магистральной трещины;

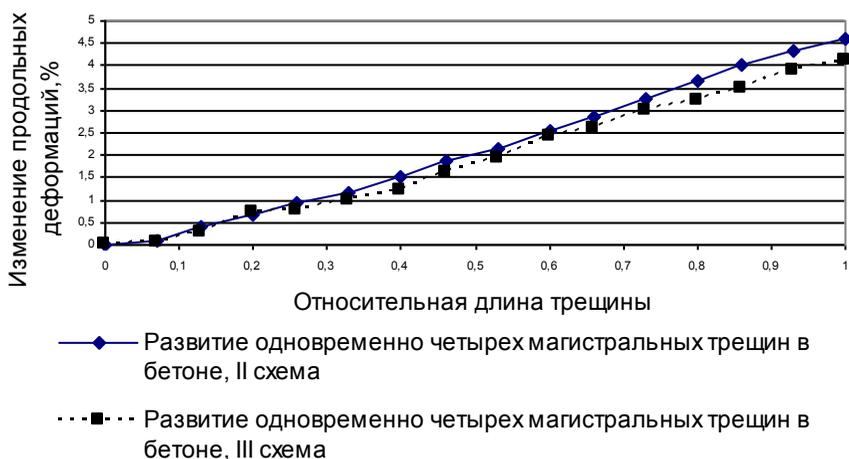
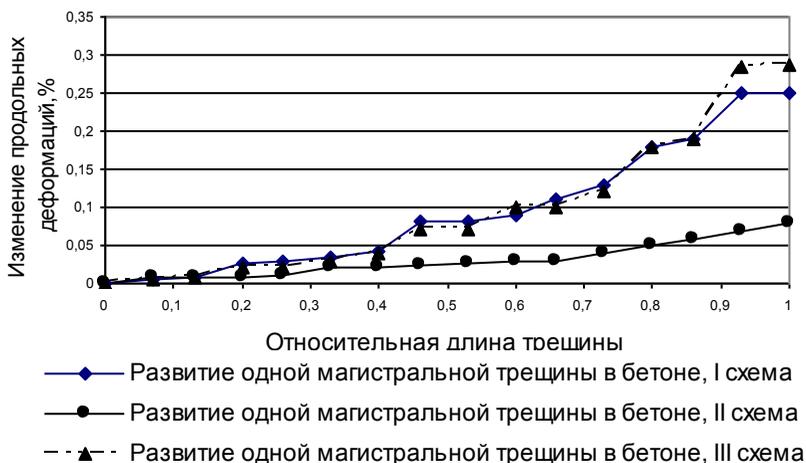
- во второй схеме рассматривалась половина призмы, где была возможность распространения, как нескольких вертикальных, так и наклонных трещин. При этом по второй схеме появлялась возможность моделирование не только крупного заполнителя, как в первой схеме, но и наличие первоначальных пор, трещин различных мелких дефектов которые изначально присутствуют в бетоне. Размер наиболее мелкого моделируемого дефекта составлял 0,05 мм.

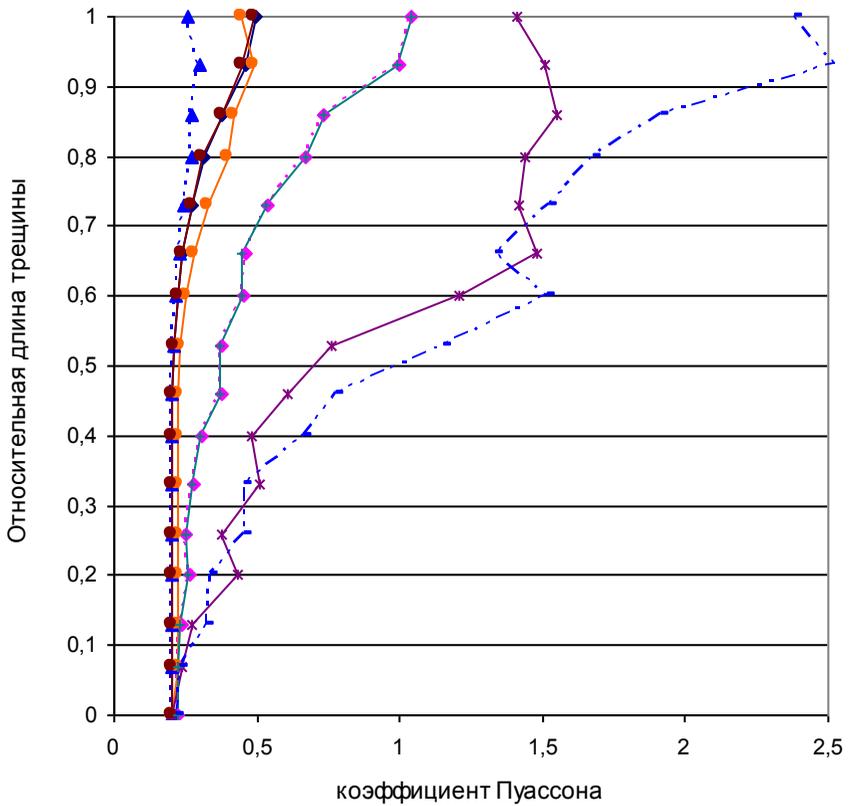
- в третьей схеме рассматривалась четверть призмы с возможностью распространения только нескольких вертикальных трещин. Критерием выбора расчетной схемы наиболее точно позволяющей моделировать бетон служил коэффициент Пуассона.

При моделировании по мере роста трещины вычислялось изменение внешних продольных и поперечных деформаций. Рост одной трещины моделировался убиранием внешних связей, а нескольких путем изменения модуля упругости конечных элементов. По результатам моделирования были построены графики измене-

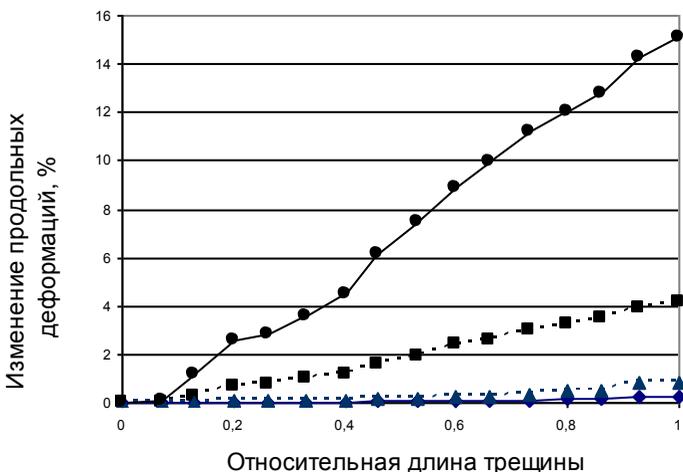
ния продольных деформаций и коэффициента Пуассона в зависимости от относительной длины трещины. За относительную длину трещины принималось отношение текущей длины трещины к общей длине образца.

Результаты исследований представлены на графиках.





- ◆— Однородная I схема при развитии 1 магистральной трещины
- - -◆- - - Неоднородная I схема при развитии 1 магистральной трещины
- - -▲- - - Однородная II схема при развитии 1 магистральной трещины
- Неоднородная II схема при развитии 1 магистральной трещины
- \* - Неоднородная II схема при развитии 4 магистральных трещин
- Однородная III схема при развитии 1 магистральной трещины
- + - Неоднородная III схема при развитии 1 магистральной трещины



- ◆— Развитие одной магистральной трещины в бетоне до изменения упругости, III схема
- - -■- - Развитие четырех магистральных трещин в бетоне до изменения упругости, III схема
- - -▲- - Развитие одной магистральной трещины в бетоне после изменения упругости, III схема
- Развитие четырех магистральных трещин в бетоне после изменения упругости, III схема

Из анализа полученных данных были сделаны следующие выводы:

1. При росте одной трещины изменение относительных продольных деформаций, как в однородном, так и в неоднородном материале составило не более 0,3 %.

2. При уменьшении модуля упругости растворной части в 2 раза изменение продольных деформаций составило 1%.

3. Наиболее точно изменение коэффициента Пуассона моделировалось по I и III схеме и полученные данные близки к данным натурных испытаний.

4. При моделировании роста сразу нескольких трещин изменение продольных деформаций составило 4,6 %, после уменьшения модуля упругости – 15 %. Но при этом наблюдалось одновременно раскрытие ширины крайней магистральной трещины и «закрытие» остальных трещин. Это показывает о невозможности распространения сразу нескольких магистральных трещинах, что подтверждается натурными испытаниями. К тому же коэффициент Пуассона при развитии нескольких трещин достигал значения 2,4

что невозможно в реальном бетоне. Развитие зигзагообразной трещины по II схеме в неоднородном материале не позволило смоделировать поведение бетона.

5. Наиболее адекватной и простой расчетной схемой можно назвать I схему с помощью, которой можно качественно описывать поведение бетона.

#### Библиографический список

1. Варламов А.А., Девятченко Л.Д., Круциляк Ю.М. Выбор факторов при моделировании работы бетона. // Предотвращение аварий зданий и сооружений: Межвузовский сборник научных трудов. Магнитогорск, 2001. С. 119 – 130.
2. Варламов А.А., Гаврилов В.Б. Энергетическая модель бетона. // Материалы 62-й научно-технической конференции МГТУ по итогам научно-исследовательских работ за 2002 – 2003 гг.: Сб. докл. Т.2 / Под ред. Г.С. Гуна. Магнитогорск: МГТУ. 2003. С. 9-12.

УДК 621.778.1.01 – 192

**Б.И.Воронин, О.Б.Калугина**

ГОУ ВПО «МГТУ»

**Б.Р.Картак**

ГОУ ВПО «УрГТУ»

#### **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ПО ПАРАМЕТРАМ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ**

Для прогнозирования производительности разрабатываемых процессов волочения проволоки выработаем критерии надежности существующего процесса. Из теории надежности таким критерием может служить коэффициент готовности  $K_r$  – комплексный показатель надежности, характеризующий вероятность того, что технологическая система в данный момент времени находится в работоспособном состоянии. Стационарное значение коэффициента готовности определяется по уравнению [1]:

$$K_r = \frac{t}{(t + t_B)}, \quad (1)$$

где  $t$  – наработка на отказ,  $t_b$  – среднее время восстановления процесса.

Учитывая (1) производительность однониточного волочения можно выразить:

$$q(U) = q_H(U) \times K_r(U), \quad (2)$$

где  $q(U)$  и  $q_H(U)$  – фактическая и номинальная производительность, зависящие от скорости волочения  $U$ .

Номинальная производительность машин многократного волочения проволоки определяется скоростью волочения и весом погонного метра  $\rho$ , длительностью остановок для устранения технологических отказов (замена приемной шпули, заготовки и т.п.):

$$q_H(U) = \frac{\rho \times U}{1 + A}, \quad (3)$$

где  $U$  – скорость волочения,  $A$  – конструктивный параметр процесса, характеризующий долю времени технологических простоев, приходящуюся на время намотки одной шпули (мотка) проволоки:

$$A = \frac{\sum t_{mn}}{n \times t_{un}} = \frac{\sum t_{mn}}{n} \times \frac{\rho \times U}{Q} = \frac{\sum t_{mn}}{n} \times \frac{\rho \times U_o}{Q} \times \frac{U}{U_o} = A_o \times \bar{U}, \quad (4)$$

где  $\sum t_{mn}$  – суммарное время технологических потерь за время  $T$  (например за смену);  $t_{un}$  – время намотки одной шпули;  $n$  – количество шпуль, изготовленных за время  $T$ ;  $Q$  – вес проволоки на шпуле (емкость шпули);  $A_o$  – базовый конструктивный параметр. В формуле (4) принято допущение  $\sum t_{mn}/n = \text{const}$ .

Таким образом, относительная номинальная производительность равна:

$$\bar{q}_H(U) = \frac{\bar{q}_H(U)}{\bar{q}_H(U_o)} = \frac{(1 + A_o) \times \bar{U}}{1 + A_o \bar{U}}, \quad (5)$$

При  $U \rightarrow \infty$  имеем  $\bar{q}_H(U) \rightarrow (1 + \frac{1}{A_o})$

Если организовать безостановочный процесс волочения, то:

$$A_o = 0 \text{ и } \bar{q}_H(U) \rightarrow \infty$$

Относительная фактическая производительность на скорости, отличной от базовой, учитывая (4) и (5), определяется:

$$\bar{q}(U) = \frac{q(U)}{q(U_o)} = \frac{(1 + A_o) \bar{U}}{1 + A_o \bar{U}} \times \frac{K_r(U)}{K_r(U_o)} \quad (6)$$

Производительность труда наиболее трудно поддается формализации, т.к. связана с человеческим фактором. Однако на

стадии совершенствования процессов и проектирования новых машин представляется полезным и эффективным рассматривать производительность труда в качестве аналога времени, необходимого для восстановления процесса одним рабочим. Обозначим  $r$  – производительность труда,  $z$  – число одновременно обслуживаемых машин одним рабочим (норма обслуживания), тогда:

$$r(U) = q(U) \times z(U) \quad (7)$$

Обозначим  $\Sigma t_B(U)$  – суммарное время восстановления отказов на одной машине. Тогда, исходя из условия постоянства расходуемой рабочим активной энергии [2], составим баланс времени восстановления отказов:

$$z(U) \times \Sigma t_B(U) = z(U_o) \times \Sigma t_B(U_o) \quad (8)$$

Суммарное время восстановления отказов  $\Sigma t_B(U)$  складывается из времени, затрачиваемого на восстановление отказов  $t_B$  (устранения обрывности, замены волок и т.п.) и времени технологических потерь (замены шпуль, заготовки)  $t_{ТП}$ :

$$\Sigma t_B(U) = t_B + t_{ТП} \quad (9)$$

Из (1) и (4) имеем:

$$t_B = (K_r(U)^{-1} - 1)t \quad \text{и} \quad t_{ТП} = A_o t \quad (10) \text{ Учитывая}$$

(8) и (10), относительная норма обслуживания равна:

$$\bar{z}(U) = \frac{z(U)}{z(U_o)} = \frac{K_r(U_o)^{-1} - 1 + A_o}{K_r(U)^{-1} - 1 + A_o \bar{U}} \quad (11)$$

Исходя из изложенного, относительная производительность труда выражается:

$$\bar{r}(U) = \frac{r(U)}{r(U_o)} = \frac{q(U) \times z(U)}{q(U_o) \times z(U_o)} = \bar{q}(U) \times \bar{z}(U) \quad (12)$$

Таким образом, зная влияния технологических факторов на производительность известного процесса волочения проволоки, можно прогнозировать параметры производительности разрабатываемых процессов по предлагаемой методике.

#### Библиографический список

- ГОСТ 27.204-83. Надежность в технике. Технологические системы. Технические требования к методам оценки надежности по параметрам производительности.
- Адамович И.В. Управляемость машин. М.: Машиностроение. 1977. 280 с.

**И.М.Ячиков, В.Н.Манагаров**  
ГОУ ВПО «МГТУ»

## **ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ВАННЕ ДППТ ПРИ АСИММЕТРИЧНОМ РАСПОЛОЖЕНИИ ПОДОВОГО АНОДА**

При прохождении электрических токов через ванну дуговой печи постоянного тока (ДППТ) возникают электровихревые течения (ЭВТ), которые оказывают существенное влияние на перемешивание расплава, на протекание в нем теплообменных процессов и, в конечном итоге,  $\square$  на качество выплавляемых металлов и сплавов.

Физической основой ЭВТ являются объемные электромагнитные силы, обусловленные взаимодействием электрического тока, подводимого к расплаву от стороннего источника ЭДС, с его собственным магнитным полем. Возникает необходимость исследования электрических и магнитных полей в ванне ДППТ, нахождение их особенностей и пространственно-временных закономерностей.

В работе [1] приведена математическая модель, позволяющая находить напряженности электрических и магнитных полей порождаемых током, протекающим в ванне для любых заданных технологических условий и известной конфигурации ванны и подовых электродов.

Была рассмотрена печь с одним подовым электродом ось которого параллельна оси ванны (рис. 1, поз. а). Применительно к пятитонной сталеплавильной ДППТ стандартной конфигурации были взяты следующие исходные данные:  $R_g = 1245 \text{ мм}$ ,  $H = 340 \text{ мм}$  – радиус и высота ванны соответственно;  $\psi = 33^\circ$  – угол ее откоса;  $R_a = 150 \text{ мм}$  – радиус подового электрода (анода);  $X_a = 400 \text{ мм}$  – расстояние от оси ванны до центра анода;  $I = 4 \text{ кА}$  – ток, протекающий через анод;  $\sigma = 6 \cdot 10^5 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}^{-1}$  – проводимость жидкой стали.

Для приведенных значений параметров посредством компьютерного моделирования анализировались напряженности электрического и магнитного полей для точек с координатами

$$z = H_e / 2 = 170 \text{ мм}, r = R_e / 4 \approx 300 \text{ мм}, 0 \leq \varphi < 2\pi.$$

Из рис. 1 (поз. б, в) видно, что все составляющие вектора  $\vec{E}$  образуют поля, симметричные относительно плоскости AA, проходящей через оси анода и ванны.

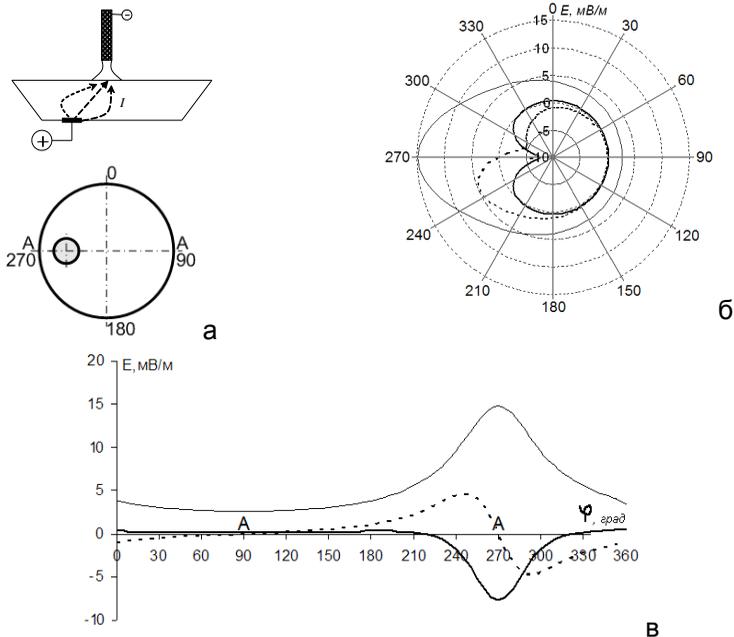


Рис. 1. Характер поведения \_\_\_\_\_ радиальной, \_\_\_\_\_ осевой, ----- азимутальной составляющих напряженностей электрического (б, в) поля при наличии одного асимметрично расположенного подового электрода (а) при  $\varphi_1 = 270^0$

При проведении расчетов распределения напряженности магнитного поля было установлено, что при наличии плоскости симметрии для электрического поля, магнитное поле асимметрично, а в плоскости симметрии имеется только азимутальная компонента, хотя в остальных точках пространства наблюдается трехмерное поле.

В данной статье проводится математическое обоснование отмеченной закономерности поведения напряженности магнитного поля в плоскости симметрии.

Для определения напряженности магнитного поля в произвольной точке пространства воспользуемся уравнением Био-

Савара-Лапласа в дифференциальной форме:

$$d\vec{H} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{dV}{|\vec{R}|^3} [\vec{j} \times \vec{R}], \quad (1)$$

где  $dV$  – элемент объема;  $\vec{R}$  – радиус-вектор, направленный от элемента проводника в рассматриваемую точку.

Вектор плотности тока  $\vec{j}$  имеет осевую  $\vec{j}_z$  и радиальную  $\vec{j}_r$ , и азимутальную  $\vec{j}_\varphi$  компоненты. Рассмотрим влияние каждой из них на вектор напряженности магнитного поля  $\vec{H}$  для точек расположенных на плоскости симметрии  $AA'$ .

*Роль осевой компоненты плотности тока.* Возьмем произвольную точку  $A$  и определим в ней значение напряженности  $\vec{H}_A$ . Для этого через ось  $Oz$  и точку  $A$  проведем плоскость  $OzA$  (рис. 2). Рассмотрим точку  $C$ , через которую протекает ток  $\vec{j}_z$ . Вектор  $\vec{R} = \vec{CA}$  можно записать в виде  $\vec{R} = \vec{r}_1 + \vec{r}_2$ , где  $\vec{r}_1$  параллелен оси  $Oz$ , а вектор  $\vec{r}_2$  лежит в плоскости  $rOA$ , перпендикулярной плоскости  $OzA$ .

Для напряженности магнитного поля  $d\vec{H}_c$  в точке  $A$ , вызванного протекающим через точку  $C$  током, из (1) имеем

$$d\vec{H}_c = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{dV}{|\vec{R}|^3} [\vec{j}_z \times \vec{R}] = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{dV}{|\vec{R}|^3} [\vec{j}_z \times (\vec{r}_1 + \vec{r}_2)] = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{dV}{|\vec{R}|^3} \{[\vec{j}_z \times \vec{r}_1] + [\vec{j}_z \times \vec{r}_2]\},$$

откуда ввиду параллельности  $\vec{j}_z$  и  $\vec{r}_1$  получаем

$$d\vec{H}_c = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{dV}{|\vec{R}|^3} [\vec{j}_z \times \vec{r}_2]. \quad (2)$$

Возьмем теперь точку  $C'$ , симметричную точке  $C$  относительно плоскости  $OzA$ , и найдем напряженность магнитного поля  $d\vec{H}_{C'}$  в точке  $A$ , вызванную током, протекающим через точку  $C'$ .

Аналогично предыдущим выкладкам можно записать

$$d\vec{H}_{C'} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{dV}{|\vec{R}'|^3} [\vec{j}'_z \times \vec{R}'] = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{dV}{|\vec{R}'|^3} [\vec{j}'_z \times \vec{r}'_2].$$

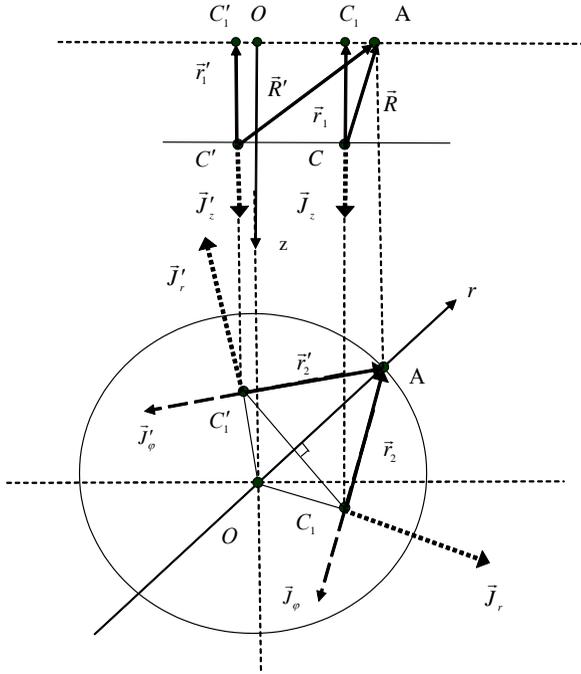


Рис. 2. Схема действия пространственных компонент тока на магнитное поле в плоскости AA

Поэтому суммарная напряженность магнитного поля в точке A, обусловленная токами, протекающими через точки C и C' (с учетом того, что  $\vec{J}_z = \vec{J}'_z$  и  $|\vec{R}| = |\vec{R}'|$ ) будет равна

$$d\vec{H}_C + d\vec{H}_{C'} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{dV}{|\vec{R}|^3} \{ [\vec{j}_z \times \vec{r}_2] + [\vec{j}_z \times \vec{r}'_2] \} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{dV}{|\vec{R}|^3} [\vec{j}_z \times (\vec{r}_2 + \vec{r}'_2)].$$

Вектор  $\vec{r}_3 = \vec{r}_2 + \vec{r}'_2$  направлен вдоль прямой OA (ось r). Поэтому предыдущее равенство можно записать как:

$$d\vec{H}_C + d\vec{H}_{C'} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{dV}{|\vec{R}|^3} [\vec{j}_z \times \vec{r}_3]. \quad (3)$$

Результирующий вектор напряженности магнитного поля перпендикулярен осям Oz и Or. Этот вектор в согласии с [2] будем

называть азимутальной составляющей вектора  $\vec{H}$  и обозначать через  $\vec{H}_\varphi$ .

*Роль радиальной компоненты тока.* Рассмотрим произвольную точку  $C$ , через которую течет ток  $\vec{j}_r$  (см. рис. 2). Все остальные векторы расположены так же, как и при анализе роли осевой компоненты тока.

Для напряженности  $d\vec{H}_C$  в точке  $A$ , вызываемой радиальным током, протекающим через точку  $C$ , из (1) имеем

$$d\vec{H}_C = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{dV}{|\vec{R}|^3} [\vec{j}_r \times (\vec{r}_1 + \vec{r}_2)]. \quad (4)$$

Напряженность поля в точке  $A$ , порождаемая радиальным током, протекающим через точку  $C'$ , определяется аналогично выражению (4):

$$d\vec{H}_{C'} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{dV}{|\vec{R}'|^3} [\vec{j}'_r \times (\vec{r}'_1 + \vec{r}'_2)].$$

Таким образом, суммарная напряженность поля в точке  $A$ , обусловленная токами, протекающим через точки  $C$  и  $C'$ , определяется выражением

$$d\vec{H}_C + d\vec{H}_{C'} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{dV}{|\vec{R}|^3} \{ [\vec{j}_r \times (\vec{r}_1 + \vec{r}_2)] + [\vec{j}'_r \times (\vec{r}'_1 + \vec{r}'_2)] \}.$$

Опираясь на симметрию точек  $C$  и  $C'$  относительно плоскости  $OzA$ , имеем  $\vec{r}_1 = \vec{r}'_1$ ,  $|\vec{j}_r| = |\vec{j}'_r|$ ,  $|\vec{r}_2| = |\vec{r}'_2|$ ,  $|\vec{R}| = |\vec{R}'|$  и потому

$$d\vec{H}_C + d\vec{H}_{C'} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{dV}{|\vec{R}|^3} \{ [(\vec{j}_r + \vec{j}'_r) \times \vec{r}_1] + [\vec{j}_r \times \vec{r}_2] + [\vec{j}'_r \times \vec{r}'_2] \}.$$

Векторы  $[\vec{j}_r \times \vec{r}_2]$  и  $[\vec{j}'_r \times \vec{r}'_2]$  имеют взаимно противоположные направления и равные модули. Следовательно, их сумма равна нулю и потому вектор  $\vec{j}_3 = \vec{j}_r + \vec{j}'_r$  направлен вдоль прямой  $OA$  (ось  $r$ ). В связи с этим предыдущее равенство дает только азимутальную компоненту поля:

$$d\vec{H}_C + d\vec{H}_{C'} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{dV}{|\vec{R}|^3} [\vec{r}_1 \times \vec{j}_3]. \quad (5)$$

Роль азимутальной компоненты тока. Рассмотрим произвольную точку С, через которую течет ток  $\vec{j}_\varphi$  (см. рис. 2). Все остальные векторы расположены так же, как и при анализе роли осевой и радиальной компоненты тока.

Для напряженности  $d\vec{H}_C$  в точке А, вызываемой азимутальным током, протекающим через точку С, из (1) имеем

$$d\vec{H}_C = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{dV}{|\vec{R}|^3} [\vec{j}_\varphi \times (\vec{r}_1 + \vec{r}_2)]. \quad (6)$$

Напряженность поля в точке А, порождаемая радиальным током, протекающим через точку С', определяется аналогично выражению (6):

$$d\vec{H}_{C'} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{dV}{|\vec{R}'|^3} [\vec{j}'_\varphi \times (\vec{r}'_1 + \vec{r}'_2)].$$

Таким образом, суммарная напряженность поля в точке А, обусловленная токами, протекающим через точки С и С', определяется выражением

$$d\vec{H}_C + d\vec{H}_{C'} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{dV}{|\vec{R}|^3} \{[\vec{j}_\varphi \times (\vec{r}_1 + \vec{r}_2)] + [\vec{j}'_\varphi \times (\vec{r}'_1 + \vec{r}'_2)]\}.$$

Опираясь на симметрию точек С и С' относительно плоскости OzA, имеем  $\vec{r}_1 = \vec{r}'_1$ ,  $|\vec{j}_\varphi| = |\vec{j}'_\varphi|$ ,  $|\vec{r}_2| = |\vec{r}'_2|$ ,  $|\vec{R}| = |\vec{R}'|$  и потому

$$d\vec{H}_C + d\vec{H}_{C'} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{dV}{|\vec{R}|^3} \{[(\vec{j}_\varphi + \vec{j}'_\varphi) \times \vec{r}_1] + [\vec{j}_\varphi \times \vec{r}_2] + [\vec{j}'_\varphi \times \vec{r}'_2]\}.$$

Векторы  $[\vec{j}_\varphi \times \vec{r}_2]$  и  $[\vec{j}'_\varphi \times \vec{r}'_2]$  равны нулю, а вектор  $\vec{j}_3 = \vec{j}_\varphi + \vec{j}'_\varphi$  направлен вдоль прямой ОА (ось r). В связи с этим предыдущее равенство дает только азимутальную компоненту поля:

$$d\vec{H}_C + d\vec{H}_{C'} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{dV}{|\vec{R}|^3} [\vec{j}_3 \times \vec{r}_1]. \quad (7)$$

Для нахождения величины напряженности результирующего поля в точке  $A$  воспользуемся принципом суперпозиции: вектор напряженности магнитного поля, создаваемого несколькими источниками  $\vec{H}$  равен сумме векторов магнитной напряженности полей, создаваемых каждым источником в отдельности:  $\vec{H}_A = \sum_i d\vec{H}_i$ . Эту сумму разобьем на пары слагаемых, в которых первыми являются  $d\vec{H}_C$ , создаваемые током в объеме  $dV$  в точке  $C$ , и вторыми  $d\vec{H}_{C'}$ , создаваемыми током в объеме  $dV$  в точке  $C'$ . Отсюда следует, что напряженность суммарного поля в любой точке плоскости  $AA$  будет иметь только одну азимутальную компоненту  $\vec{H}_\varphi$ ,  $\vec{H}_z = \vec{H}_r = 0$ .

#### Библиографический список

1. Ячиков И.М., Манагаров В.Н., Портнова И.В. Моделирование электромагнитных сил в ванне дуговой печи постоянного тока с двумя подовыми электродами: В сб. Математика. Приложение математики в экономических, технических и педагогических исследованиях. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. С. 219-227.
2. Гельфгат Ю.М., Лиелаусис О.А., Щербинин Э.В. Жидкий металл под действием электромагнитных сил. Рига: Зинатне, 1975. 248 с.

УДК 669.187.2

**И.М.Ячиков, Г.А.Миронова**

ГОУ ВПО «МГТУ»

**С.Н.Петин**

Московский энергетический институт (Технический университет)

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ РАСПЛАВА В РЕАКТОРЕ С КИПЯЩИМ СЛОЕМ**

Продукт термического разложения природного газа (сажеводородная смесь – СВС) находит широкое применение в нагревательных и восстановительных процессах черной металлургии [1].

Одним из эффективных способов пиролиза природного газа является его получение с использованием промежуточного некарбидообразующего жидкого теплоносителя (в качестве которого чаще всего используется медь [2]) в реакторе с кипящим слоем.

Широкое применение этого способа ограничено тем, что протекающие в нем тепловые процессы изучены недостаточно, поэтому трудно судить о степени завершенности процесса термического разложения.

В данной статье определяются тепловые параметры расплава при термическом разложении природного газа в реакторе, работающем в режиме кипящего слоя.

Реактор представляет собой вертикальную реакционную шахту (рис. 1). Снизу в нее непрерывно поступает жидкий расплав меди с температурой  $t_{ж0}$  и расходом  $G_{ж}$ , который заполняет ее нижнюю часть до высоты  $H_0$ . Через решетку спутно подается природный газ с температурой  $t_{Г0} < t_{ж0}$  и расходом  $G_{Г}$ . В процессе его нагрева от расплава происходит термическое разложение природного газа на углерод и водород. На выходе реактора ( $z = H$ ) осуществляется отвод жидкометаллического расплава и продуктов пиролиза.

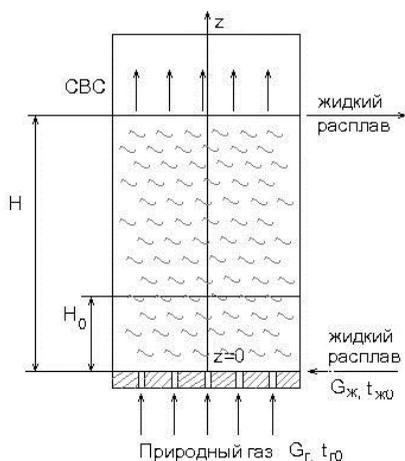


Рис. 1. Схема реакционной шахты

Условия протекания процессов в реакторе определяются теплофизическими свойствами расплава и газа. Для получения зависимостей этих свойств от температуры и давления была проведена статистическая обработка данных, рассчитанных с использованием программного комплекса «АСТ-РА» [3]. Для каждого из свойств газа по табличным значениям были построены регрессионные зависимости от температуры  $t_{Г}$  и давления  $p_{Г}$ :

$$\mu_{Г}(p_{Г}, t_{Г}) = -5,194 \cdot 10^{-12} \cdot t_{Г}^2 + 2,97 \cdot 10^{-10} \cdot p_{Г} \cdot t_{Г} + 1,985 \cdot 10^{-8} \cdot t_{Г} + 1,264 \cdot 10^{-5}, \text{Па} \cdot \text{с},$$

$$v_{\Gamma}(p_{\Gamma}, t_{\Gamma}) = \frac{\mu_{\Gamma}(p_{\Gamma}, t_{\Gamma})}{\rho_{\Gamma}(p_{\Gamma}, t_{\Gamma})}, \text{ м}^2/\text{с},$$

$$\rho_{\Gamma}(p_{\Gamma}, t_{\Gamma}) = -0,00325 \cdot p_{\Gamma}^3 + 2,488 \cdot 10^{-6} \cdot p_{\Gamma} \cdot t_{\Gamma}^2 - 1,699 \cdot 10^{-11} \cdot t_{\Gamma}^3 + 0,0329 \cdot p_{\Gamma}^2 - 0,00726 \cdot p_{\Gamma} \cdot t_{\Gamma} + 5,645 \cdot p_{\Gamma} + 0,02455, \text{ кг/м}^3,$$

$$c_{p_{\Gamma}}(p_{\Gamma}, t_{\Gamma}) = (-1,335 \cdot 10^{-6} \cdot t_{\Gamma}^2 - 5,925 \cdot 10^{-6} \cdot t_{\Gamma} \cdot p_{\Gamma} + 4,454 \cdot 10^{-3} \cdot t_{\Gamma} + 2,088) \cdot 1000, \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°C)},$$

$$\lambda_{\Gamma}(p_{\Gamma}, t_{\Gamma}) = -3,698 \cdot 10^{-10} \cdot t_{\Gamma}^2 - 6,752 \cdot 10^{-6} \cdot p_{\Gamma} \cdot t_{\Gamma} + 5,269 \cdot 10^{-4} \cdot t_{\Gamma} - 0,033, \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)},$$

$$D(p_{\Gamma}, t_{\Gamma}) = -3,3 \cdot 10^{-7} \cdot p_{\Gamma}^2 - 3,06 \cdot 10^{-7} \cdot t_{\Gamma}^2 - 0,043 \cdot p_{\Gamma} + 0,0013 \cdot t_{\Gamma} - 0,182,$$

где  $\mu_{\Gamma}$ ,  $v_{\Gamma}$ ,  $\rho_{\Gamma}$ ,  $c_{p_{\Gamma}}$ ,  $\lambda_{\Gamma}$  – коэффициенты динамической, кинематической вязкости, плотность, удельная теплоемкость и теплопроводность газа соответственно,  $D$  – массовая доля водорода в смеси.

Значимость коэффициентов уравнений была проверена по критерию Стьюдента при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ , надежность каждого из уравнений доказана по критерию Фишера.

Плотность  $\rho_{\text{жс}}$  и коэффициент поверхностного натяжения  $\sigma_{\text{жс}}$  расплава жидкой меди взяты из справочников [5, 6]:

$$\rho_{\text{жс}} = 8849 \text{ кг/м}^3, \sigma_{\text{жс}}(T_{\text{жс}}) = (1350 - 0,24(T_{\text{жс}} - 1083)) \cdot 10^{-3}, \text{ Н/м},$$

где  $T_{\text{жс}} = t_{\text{жс}} + 273$ ,  $t_{\text{жс}}$  – температура жидкометаллического расплава.

Для остальных свойств меди были построены регрессионных зависимости:

$$\mu_{\text{жс}}(T_{\text{жс}}) = 3,6 \cdot 10^{-8} (T_{\text{жс}})^2 - 1,25 \cdot 10^{-6} (T_{\text{жс}}) + 0,0135, \text{ Па} \cdot \text{с},$$

$$v_{\text{жс}}(T_{\text{жс}}) = \frac{\mu_{\text{жс}}(T_{\text{жс}})}{\rho_{\text{жс}}}, \text{ м}^2/\text{с},$$

$$c_{p_{\text{жс}}}(T_{\text{жс}}) = 359,81 \cdot e^{0,0002 T_{\text{жс}}}, \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°C)},$$

$$\lambda_{\text{жс}}(T_{\text{жс}}) = -0,0002 \cdot (T_{\text{жс}})^2 + 0,218 \cdot (T_{\text{жс}}) + 323,9, \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)},$$

где  $\mu_{\text{жс}}$ ,  $v_{\text{жс}}$ ,  $c_{p_{\text{жс}}}$ ,  $\lambda_{\text{жс}}$  – коэффициенты динамической, кинематической вязкости, удельная теплоемкость и теплопроводность меди соответственно.

Проверка значимости коэффициентов полученных зависимостей осуществлялась аналогично, как для свойств природного газа.

Важным параметром для режима кипящего слоя является газосодержание  $m$ , значение которого находится в пределах  $(0,5-0,6) < m \leq 0,9$ . Отношение объема, занятого газом, к общему объему газожидкостной системы рассчитывалось следующим образом:

$$m = \frac{\frac{G_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma}}}{\frac{G_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma}} + \frac{G_{жс}}{\rho_{жс}}} = 1 - \frac{H_0}{H}. \quad (1)$$

По заданным значениям газосодержания и расхода газа  $G_{\Gamma}$ , на основании формулы (1) можно рассчитать расход жидкости  $G_{жс}$ .

Рассмотрим изменение температур и скоростей газовой и жидкой фазы по высоте реактора. Из уравнений теплового баланса и законов сохранения импульса была получена система дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dt_{жс}}{dz} = \frac{6 \cdot \alpha_F \cdot (t_{жс} - t_{\Gamma})}{c_{pжс} \cdot d_{экв} \cdot \rho_{жс} \cdot w_{жс}}, \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dt_{\Gamma}}{dz} = k \cdot \frac{6 \cdot \alpha_F \cdot (t_{жс} - t_{\Gamma})}{c_{p\Gamma} \cdot d_{экв} \cdot \rho_{\Gamma} \cdot w_{\Gamma}}, \end{array} \right. \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dw_{\Gamma}}{dz} = \frac{w_{\Gamma 0} \cdot \rho_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma 0} \cdot (t_{\Gamma} + 273)} \cdot \frac{dt_{\Gamma}}{dz} - k \cdot \frac{dw_{жс}}{dz}, \end{array} \right. \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dw_{жс}}{dz} = \frac{3 \cdot \rho_{\Gamma} \cdot C_d (w_{\Gamma} - w_{жс}) |w_{\Gamma} - w_{жс}|}{4 \cdot w_{жс} \cdot d_{экв} \cdot \rho_{жс}} - \frac{g}{w_{жс}}, \end{array} \right. \quad (5)$$

где  $w_{\Gamma}$  – скорость газа,  $w_{жс}$  – скорость жидкой частицы,  $\alpha_F$  – коэффициент суммарной теплоотдачи от жидкой частицы к газу,  $d_{экв}$  – эквивалентный диаметр жидкой частицы,  $C_d$  – коэффициент ее аэродинамического сопротивления,  $k = \frac{G_{жс}}{G_{\Gamma}}$  – степень дисперсности,  $g$  – ускорение свободного падения.

Систему (2) – (5) необходимо дополнить начальными условиями (при  $z = 0$ ):  $t_{жс} = t_{жс 0}$ ,  $t_{\Gamma} = t_{\Gamma 0}$ ,  $w_{жс} = w_{жс 0}$ ,  $w_{\Gamma} = w_{\Gamma 0}$ .

В режиме кипящего слоя расплава принято считать, что газ является сплошной средой, а жидкость дискретной с эквивалентным диаметром  $d_{\text{экв}}$ . Его значение зависит от сил поверхностного натяжения, свойств газа и газосодержания. Расчет  $d_{\text{экв}}$  выполняется согласно методике, приведенной в работе [4].

Теплообмен между газом и жидкой частицей определяется конвекцией и излучением:

$$\alpha_F = \alpha_{\kappa} + \varepsilon_{\text{м}} \cdot C_0 \frac{\left(\frac{\bar{t}_{\text{жс}} + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{\bar{t}_{\Gamma} + 273}{100}\right)^4}{\bar{t}_{\text{жс}} - \bar{t}_{\Gamma}},$$

где  $\bar{t}_{\text{жс}} = \frac{t_{\text{жс}0} - t_{\text{жс-вых}}}{2}$ ,  $\bar{t}_{\Gamma} = \frac{t_{\Gamma\text{-вых}} - t_{\Gamma0}}{2}$  - средние температуры

жидкости и газа за время пребывания в шахте;  $\varepsilon_{\text{м}}$  - приведенный коэффициент степени черноты;  $C_0$  - постоянная Стефана-Больцмана;

$\alpha_{\kappa} = Nu \frac{\lambda_{\Gamma}}{d_{\text{экв}}}$  - коэффициент конвективной теплоотдачи;  $Nu$  - число Нуссельта, рассчитывается по критериальному уравнению

$$\begin{cases} Nu = 2 + 0,16 Re^{\frac{2}{3}} \text{ при } Re < 35, \\ Nu = 0,62 Re^{0,5} \text{ при } Re \geq 35, \end{cases}$$

$$Re = \frac{(w_{\Gamma} - w_{\text{жс}}) \cdot d_{\text{экв}}}{\nu_{\Gamma}} - \text{число Рейнольдса.}$$

Коэффициент аэродинамического сопротивления жидкой частицы определяется в зависимости от  $Re$ :

$$C_d = \begin{cases} Re \leq 1; C_d = \frac{24 \cdot (1 + \frac{3}{16} Re)}{Re}, \\ Re > 1; C_d = \frac{27 \cdot (1 + \frac{Re^{\frac{2}{3}}}{6})}{Re}. \end{cases}$$

Давление газа меняется по высоте реактора и зависит его скорости и плотности:

$$p_{\Gamma} = (m\rho_{\Gamma} + (1-m)\rho_{жс}) \cdot g(H - z) + \frac{\rho_{\Gamma} \cdot w_{\Gamma}^2}{2}$$

На основании созданной математической модели разработана компьютерная программа «Кипящий слой», которая по заданным значениям начальных температур, скоростей теплоносителей, газосодержания системы позволяет определить тепловое состояние газожидкостной системы, а также долю разложившегося метана по высоте реактора.

Полагая, что природный газ поступает в реактор с начальной температурой  $t_{\Gamma} = 25^{\circ}\text{C}$ , а медь –  $t_{жс} = 1400^{\circ}\text{C}$ , и выбрав газосодержание  $m = 0,65$  и начальные скорости теплоносителей  $w_{\Gamma 0} = w_{жс 0} = 8,2$  м/с, были получены результаты, показанные на рис. 2.

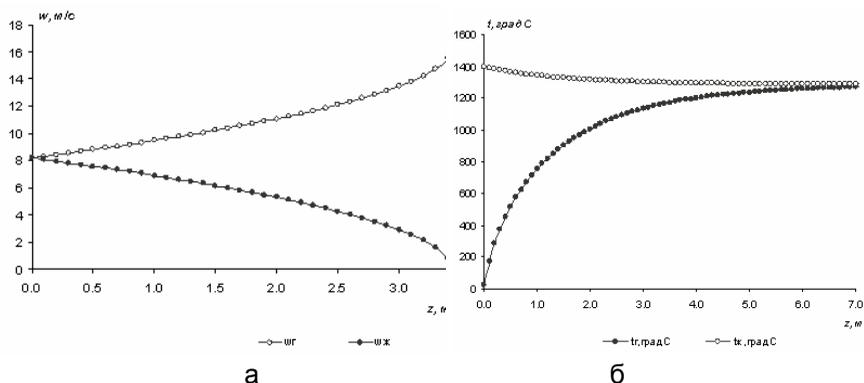


Рис. 2. Изменение скоростей (а) и температуры (б) газа и жидкометаллического расплава по высоте кипящего слоя

Зная изменение температуры и давления газа определяется доля разложившегося метана по высоте шахты (рис. 3).

Таким образом, создана математическая и компьютерная модель теплового состояния расплава меди в вертикальном реакторе при пиролизе природного газа в кипящем слое. Модель позволяет определить изменение температуры и скорости реагентов по высоте шахты, оценить степень завершенности процесса пиролиза природного газа и габариты реактора.

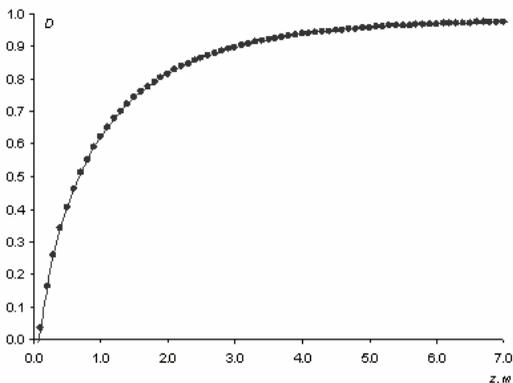


Рис. 3. Доля разложившегося метана по высоте шахты

#### Библиографический список

1. Ключников А.Д. Интенсивное энергосбережение как база разработки концептуальной модели теплотехнологического комплекса черной металлургии // Изв. ВУЗ. Черная металлургия. 1999. №2. С. 61 - 63.
2. Лавров Н.В., Евланов С.Ф. Получение восстановительного газа с высоким содержанием водорода пиролизом природного метана в расплавах. // Цветные металлы. 1972. №3. С. 12 - 14.
3. Синярев Г. Б., Ватолин Н. А., Трусов Б. Г., Моисеев Г. К. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов // М.: Наука. 1982. 263 с.
4. Ключников А.Д., Кузьмин В.Н., Попов С.К. Теплообмен и тепловые режимы в промышленных печах // М.: Энергоатомиздат. 1990. 176 с.
5. Зиновьев В. Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах // Справ издание. М.: Металлургия. 1989. 384 с.
6. Андронов В.Н., Чекин Б.В., Нестеренко С.В. Жидкие металлы и шлаки. // Справочник. М.: Металлургия. 1977. 128 с.

**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕНИ ВСТРЯХИВАНИЯ  
МОДЕЛЬНОГО РАСТВОРА С ЦЕОЛИТОМ  
НА ОСТАТОЧНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ЦИНКА**

В настоящее время очень остро стоит вопрос по очистке сточных вод на горно-металлургических предприятиях. Это связано с тем, что в сточных водах содержится достаточно большое количество тяжелых металлов. За высокую концентрацию тяжелых металлов в сточных водах предприятия платят большие налоги за загрязнение окружающей среды. В связи с этим, были проведены опыты по изучению влияния времени встряхивания модельной воды с цеолитом на остаточное содержание цинка в воде.

Методика проведения опытов заключалась в следующем: в приготовленные растворы с начальной концентрацией цинка 180 мг/л добавляли сорбент (в качестве сорбента использовали цеолиты) и подвергали встряхиванию в течение 10-100 минут. Важным в данных исследованиях являлся анализ зависимостей между временем встряхивания и остаточным содержанием цинка в модельном растворе. Для оценки тесноты и направления связи между изучаемыми величинами использовали корреляционный анализ. Мерой тесноты связей являются коэффициенты парной корреляции. Коэффициенты парной корреляции рассчитывали с помощью надстройки «Пакет анализа» Microsoft Excel. Качественную оценку тесноты связи изучаемых величин определили по шкале Чеддока.

На основании полученных результатов был рассчитан коэффициент парной корреляции между временем встряхивания с цеолитами и остаточным содержанием цинка в модельном растворе.

$$K_{\text{корреляции}} = - 0,74$$

Связь между временем встряхивания и остаточным содержанием цинка в растворе, являлась высокой и обратной, т.е. с увеличением времени встряхивания модельного раствора с цеолитом извлечение цинка увеличивается.

Регрессионный анализ, проведенный с помощью надстройки «Пакет анализа» Microsoft Excel позволил получить уравнение одиночной регрессии:

$$Y=96,82 - 0,37X,$$

где  $X$  – время встряхивания, мин;

$Y$  - остаточное содержание цинка в модельном растворе после сорбции на цеолите, мг/л.

Регрессионный анализ показал, что с увеличением времени встряхивания раствора с цеолитом извлечение цинка из модельной воды увеличивается, а соответственно и уменьшается его остаточное содержание в воде.

#### Библиографический список

1. Макарова Н.В., Трофимец В.Я. Статистика в Excel // М. Финансы и статистика, 2006. С.368.

УДК 621.771.25.001.57

**А.Б.Моллер, А.С.Лимарев, К.А.Ищенко**  
ГОУ ВПО «МГТУ»

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА ЗАГОТОВКИ НА СОРТОВЫХ СТАНАХ**

Для повышения конкурентоспособности сортового проката необходимо повышать качество продукции. Одним из основных требований потребительского рынка России и зарубежных стран остается высокая точность размеров профилей.

Для решения технологических задач анализа и управления формоизменением в процессе сортовой прокатки был разработан структурно-матричный подход более 20 лет назад [1]. Основные положения данного подхода следующие:

Каждой технологической операции и результату воздействия технологической операции ставят в соответствие матрицу сложной структуры, состоящую из отдельных блоков. Результаты воздействия отождествляются с этапом процесса, а сама технологическая операция с технологическим изменением.

Система матричных уравнений - это наиболее общая формула описания процесса прокатки. Такая форма представления процесса удобна для обработки данных и моделирования программными средствами, что дает возможность исследований технологических особенностей данного процесса с помощью ЭВМ.

Связи между технологическими параметрами на каждом этапе процесса получения сортовых профилей записываются в матрице технологического изменения (1) в виде блоков. Причем в таких блоках могут содержаться как числовые коэффициенты, полученные эмпирическим путем (например, связь между количеством прокатанных в калибре тонн профиля и компонентами матрицы, характеризующей профиль износа контура калибра), так и целые математические модели, устанавливающие связь между отдельными параметрами (например, между температурно-скоростными условиями деформации, прочностными свойствами стали и уширением в калибре).

$$\begin{bmatrix} [C'_1] \\ [C'_2] \\ \vdots \\ [\tilde{N}'_m] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [\dot{E}_1] & \zeta_{12} & \cdots & \zeta_{1m} \\ \zeta_{21} & [\dot{E}_2] & \cdots & \zeta_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \zeta_{m1} & \zeta_{m2} & \cdots & [\dot{E}_m] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [C_1] \\ [C_2] \\ \vdots \\ [\tilde{N}_m] \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $[C_m]$  – матрица, описывающая начальное состояние одного из свойств объекта;

$[C'_m]$  – матрица, описывающая конечное состояние одного из свойств объекта;

$[I_m]$  – матрица изменения состояния;

$\zeta$  – зависимости между различными матрицами изменения (например, связь между формоизменением и температурой).

Это является важным достоинством структурно-матричных моделей, поскольку позволяет увязать в рамках единого комплексного подхода возможности других эффективных моделей.

Рассмотрим практическое применение данной математической модели на примере решения следующей технологической задачи: для начала процесса прокатки требуется установить определенный температурный режим, так как температура является фактором, наиболее сильно действующим на прочность металла. При повышении температуры увеличивается амплитуда тепловых колебаний атомов, все прочностные характеристики, в том числе сопротивление деформации, понижаются [2].

Также температура имеет большое влияние на пластичность металла. С повышением температуры пластичность увеличивается, благодаря диффузионным процессам межзеренной термической пластичности происходит залечивание нарушений границ зерен.

Понижение сопротивления деформации и увеличение пластичности с повышением температуры не монотонно; это зависит от химического состава (примесей и легирующих добавок), неоднородности сплава [2].

При повышении температуры увеличивается скорость химических реакций, что приводит к появлению окалины. Таким образом, при уменьшении температуры в окалину уходит меньше металла.

В итоге, подбор температуры позволяет придать требуемые свойства, структуру и геометрию, что влияет на качество производимой продукции, следовательно, на ее стоимость.

В целях экономии энергопотребления определим минимально допустимую температуру нагрева заготовки, при которой в технологическом процессе не будет возникать внеплановых остановок прокатного стана. Так как при понижении температуры нагрева будет увеличиваться нагрузка на клетки, что при неправильных расчетах может привести к поломке оборудования.

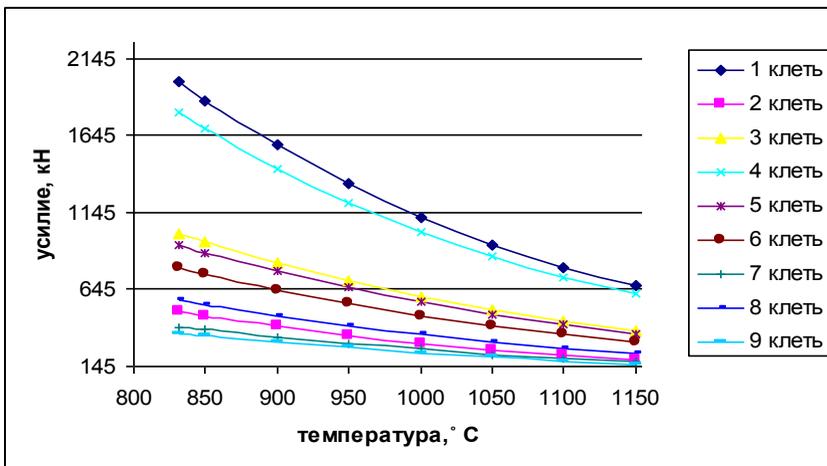
Для выполнения поставленной задачи были произведены расчеты усилия прокатки (одного из важных параметров данного технологического процесса) для различных температур нагрева заготовок и марок сталей для двухниточной прокатки черновой группы клетей.

Двухниточная прокатка выгодна с точки зрения производительности (но в чистовой группе всегда используют однониточный, для соблюдения геометрии профиля).

Черновую группу рассматриваем, потому что именно в этой части сортового стана могут возникнуть трудности при прокатке заготовки с пониженной температурой нагрева, за счет большой площади поперечного сечения калибра и заготовки возникает повышенная нагрузка на клетки. Дальше с уменьшением размеров профиля скорость прокатки будет возрастать, и как правило на современных скоростных станах, температура проката тоже растет, за счет интенсивного деформационного разогрева.

Итак, первое, что необходимо сделать – оцифровку калибра каждой клетки [1]. Полученные длины векторов, заносим в программу, производим вычисления. Из расчетных данных формируем таблицу, после чего сопоставляем расчетные усилия с предельно допустимыми значениями, указанными в характеристике оборудования стана, которые не должны превышать в 1-6 клетях 2000 кН и 7-9 клетях 1700 кН.

Ниже приводится график (см. рисунок) зависимости усилия прокатки от температуры нагрева заготовки из стали марки 08кп для круга 5,5 стана 150 ОАО «Северсталь».



Усилие прокатки в клетях черновой группы  
стана 150 ОАО «Северсталь»

Таким образом определена минимально допустимая температура нагрева заготовки из стали марки 08кп равная  $831^{\circ}\text{C}$ , это согласуется с известными данными о не большой величине абразивного износа валков, который существенно увеличивается, если температура раската ниже  $800^{\circ}\text{C}$ . По приблизительным расчетам температура конца проката, с учетом технологических особенностей стана 150, будет находиться в диапазоне  $850-900^{\circ}\text{C}$ , что обеспечивает требуемые структуру и свойства производимой продукции.

#### Библиографический список

1. Тулупов О.Н. Структурно-матричные модели для повышения эффективности процессов сортовой прокатки МГТУ, Магнитогорск, 2002. 224 с.
2. Громов Н.П. Теория обработки металлов давлением. М.: Металлургия, 1978. 360 с.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ  
УГЛА РАБОЧЕГО КОНУСА ВОЛОКИ ГРАФИЧЕСКИМ  
И ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДАМИ**

Применение волок с оптимальной величиной рабочего конуса обеспечивает при прочих равных условиях деформации минимальные осевые напряжения и затраты энергии на пластическое формоизменение заготовки, стабильность и надёжность процесса волочения [1].

Величина осевого напряжения на выходе волокни определяется по формуле:

$$\sigma_{z\Sigma} = \sigma_{z1} + \sigma_{z2} + \sigma_{zq} + \sigma_{cd}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{z1}$ ,  $\sigma_{z2}$  - прирост осевого напряжения соответственно в рабочем конусе и калибрующем пояске волокни;  $\sigma_{zq}$  - прирост от действия напряжения противонапряжения;  $\sigma_{cd}$  - напряжение, вызванное дополнительными сдвигами металла на входе и выходе из рабочего конуса.

Ранее [2, 3] были приведены уравнения для расчёта составляющих полного напряжения волочения (1).

Множество величин угла  $\alpha$  наклона образующей рабочего канала волокни к оси волочения, при которых наблюдаются минимальные значения полного напряжения в зависимости от вытяжки или коэффициента трения образует зону оптимальных углов.

Покажем способ определения зоны оптимальных углов на основе построения контурных графиков зависимости полного осевого напряжения от величин угла  $\alpha$ , коэффициента трения или вытяжки за проход волочения.

Расчёт полного напряжения волочения выполним при следующих исходных данных: диаметр проволоки после обжатия 2 мм; длина калибрующего пояска 1 мм; вытяжка 1,25 ( $q = 20\%$ ).

Упрочнение металла в рабочем конусе учли следующей зависимостью:

$$\sigma_{si} = \sigma_{s0} \cdot \mu^k, \quad (4)$$

где  $\mu$  - вытяжка;  $\sigma_{s0} = 1000$  МПа – исходный предел текучести металла;  $k = 0,25$  - коэффициент упрочнения.

Такое значение коэффициента упрочнения имеет заготовка из углеродистой стали после патентирования.

Пусть величина угла  $\alpha$  наклона образующей рабочего конуса к оси волочения изменяется в диапазоне от 1 до 11-ти градусов.

Значение коэффициента трения будем варьировать от 0,001 до 0,25.

При построении графиков интервал варьирования величины угла  $\alpha$  разбивался на 40 частей, а коэффициента трения на 100. Поэтому сороковому делению интервала угла соответствует 11 град, а сотовому делению интервала коэффициента трения - его значение 0,25.

На рис. 1 показаны контурные графики зависимости полного напряжения волочения от величины коэффициента трения и угла  $\alpha$ .

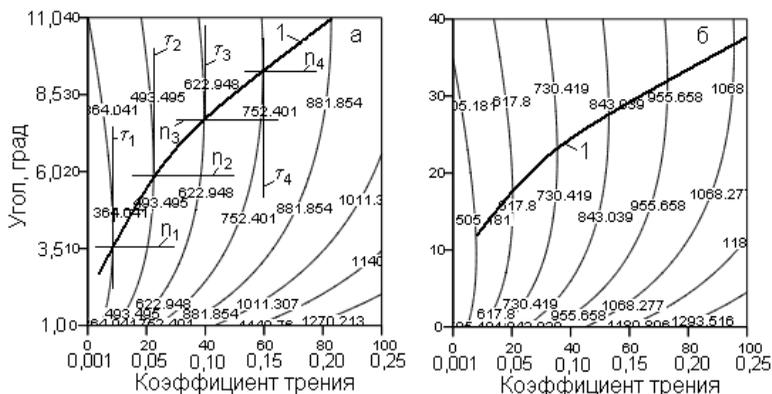


Рис. 1. Зависимость полного напряжения волочения от величины коэффициента трения и угла  $\alpha$  при отсутствии противонапряжения (а) и при напряжении противонапряжения 250 МПа (б):  
1 – линия центра зоны оптимальных углов

К линиям 1 – 4 равного уровня осевого напряжения проведены параллельно оси ординат касательные  $\tau$  (рис. 1 а). В точках касания линий  $\tau$  с линиями равного значения напряжения проведены также прямые  $\nu$ , нормальные к касательным.

Координаты точек пересечения прямых  $n$  с линиями равного уровня напряжения определяют значения угла и коэффициента трения, при которых обеспечивается минимальное значение напряжения. Через эти точки проведена кривая линия 1, определяющая центр зоны оптимальных углов в зависимости от величины коэффициента трения.

Точка пересечения нормали  $n$  с осью ординат указывает величину оптимального угла  $\alpha$  при коэффициенте трения, определяемого точкой пересечения касательной  $\tau$  с осью абсцисс.

Аналогичным способом построена линия 1 центра зоны оптимальных углов при действии напряжения противонапряжения 250 МПа при том же значении вытяжки 1,25 (рис. 1 б).

На рис. 2 построены зависимости от величины коэффициента трения по данным оптимальных значений угла  $\alpha$ , определённых при поиске минимального значения полного напряжения волочения (1).

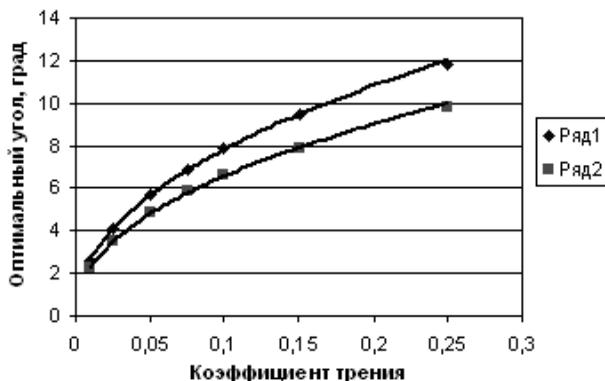


Рис. 2. Величина оптимальных углов волочения: ряд 1 – волочение без противонапряжения; ряд 2 - напряжение противонапряжения 250 МПа

Сравнение зависимостей рис. 1 и рис. 2 показывает близость значений оптимальных углов  $\alpha$ , определённых двумя способами.

Способ определения на основе построения контурных графиков несёт дополнительную информацию о величине осевого напряжения волочения, требует меньшего времени для построения графиков. Но при этом значения оптимальных углов  $\alpha$  определяются с недостаточно высокой точностью.

Графики, построенные на основе данных минимизации уравнения (1), показывают точное расположение области оптимальных углов  $\alpha$  (рис. 2).

На рис. 3 даны зависимости полного напряжения волочения от вытяжки и угла  $\alpha$  при коэффициенте трения 0,05 при волочении без противонапряжения и с напряжением противонапряжения 250 МПа.

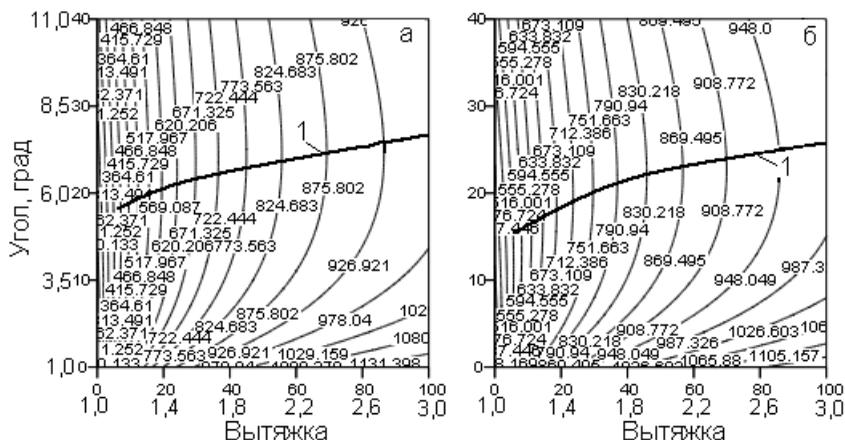


Рис. 3. Зависимость полного напряжения волочения от величины вытяжки и угла  $\alpha$  при отсутствии противонапряжения (а) и при напряжении противонапряжения 250 МПа (б):

1 – линия центра зоны оптимальных углов

Графики рис. 1 – рис. 3 позволяют сделать вывод, что с увеличением величины коэффициента трения и вытяжки возрастает значение оптимальных углов рабочего конуса. Противонапряжение снижает величину оптимального угла и повышает полное напряжение волочения.

#### Библиографический список

1. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. М.: Metallurgy, 1971. 447 с.
2. Гурьянов Г. Н. Напряжения в рабочем конусе и калибрующем пояске волоки. // Обработка сплошных и слоистых материалов: Межвуз. Сб. науч. тр. / Под ред. Г.С. Гуна. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. Вып. 33. С. 3-7
3. Гурьянов Г. Н. К учёту сил трения в калибрующем пояске волоки // Сталь. 2007. № 1. С. 62-64.

### УЧЁТ ФОРМЫ КРИВОЙ УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ РАСЧЁТЕ ОСЕВОГО НАПРЯЖЕНИЯ ВОЛОЧЕНИЯ

При расчёте напряжений волочения на основе аналитических зависимостей наиболее часто используется средняя величина предела текучести металла в рабочей зоне, равная среднему арифметическому между соответствующими значениями предела текучести на входе и выходе очага пластической деформации:

$$\sigma_s^a = (\sigma_{s0} + \sigma_{sk}) / 2. \quad (1)$$

Известны и другие методы расчёта средней величины предела текучести в очаге деформации. Например, в работе [1] приводится средняя геометрическая величина:

$$\sigma_s^g = \sqrt{\sigma_{s0} \cdot \sigma_{sk}}. \quad (2)$$

Авторами работы [1] отмечается, «что в деформационной зоне сопротивления деформации не одинаковы по каждому поперечному сечению зоны. Действительные средние значения, по – видимому, превышают рассчитываемые по формулам (1), (2), но величину этого превышения пока установить не удалось». Очевидным является, что в зависимости от выбора методики подсчёта среднего предела текучести будет зависеть величина энергосиловых параметров процесса волочения.

На рис. 1 приведены различные кривые упрочнения обрабатываемого металла при одинаковых значениях начального и конечного пределов текучести. Если подсчитывать средний предел текучести в очаге деформации по формулам (1) и (2), то его значения будут одинаковыми при кривых упрочнения 1 – 3.

Из деформационной теории пластичности следует, что площадь под «единой» кривой в координатах: интенсивность деформации сдвига  $\Gamma$  – интенсивность касательных напряжений  $T$  представляет работу деформации формы [2]:

$$A_\phi = \int T \cdot d\Gamma,$$

где  $T = g(\Gamma)$ ;  $g(\Gamma)$  - модуль пластичности, убывающая функция  $\Gamma$ .

При одной величине деформации сдвига  $\Gamma_k$  площадь под кривой 2 больше (рис. 2). Следовательно, работа деформации и усилие волочения должны быть больше при достижении значения  $\Gamma_k$  по кривой упрочнения 2.

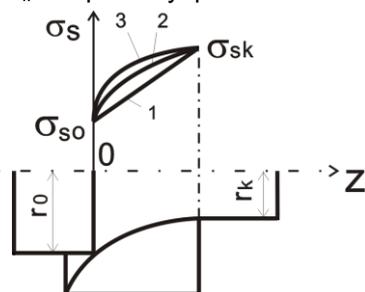


Рис. 1 Схема волочения и изменение предела текучести вдоль очага деформации:

1, 2, 3 – кривые упрочнения обрабатываемого металла

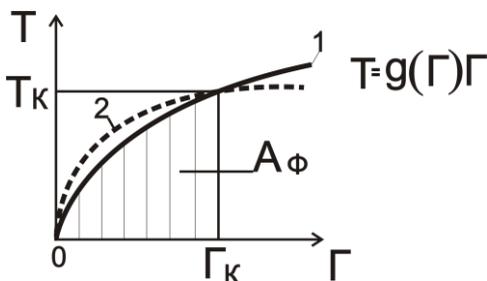


Рис. 2 «Единые» кривые упрочнения 1, 2 и работа деформации при кривой текучести 1, равная площади заштрихованной фигуры вертикальными линиями

Для наглядности представления влияния формы кривой упрочнения на средние показатели предела текучести в очаге деформации и на последующее определение величины осевого напряжения принята следующая зависимость текущего предела текучести металла  $\sigma_{sk}$  от вытяжки:

$$\sigma_{sk} = 1000 \cdot ((\mu - 1)^k + 1), \text{ МПа} \quad (3)$$

где 1000 – начальный предел текучести, МПа; k – коэффициент (параметр) упрочнения;  $\mu = (r_0 / r_k)^2$  – вытяжка (см. рис. 1).

Форма кривой упрочнения (3) определяется величиной коэффициента упрочнения. Значения k приняты равными: 0,15; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0.

Зависимости предела текучести от вытяжки и степени деформации показаны на рис. 3. При вытяжке 2 (степени деформации 0,69) предел текучести для всех кривых упрочнения равен 2000 МПа. Линии изменения предела текучести при коэффициенте упрочнения 0,15; 0,25; 0,50 выпуклые, что отражает реальную кар-

тину изменения прочностных свойств металлов с ростом пластической деформации. При  $k > 1$  линии вогнутые в координатах (а) и (б) рис. 3 ( $\sigma_{sk} - \mu$  и  $\sigma_{sk} - \ln \mu$ ). При  $k = 1$  линии кривых упрочнения линейные в координатах: текущий предел текучести – вытяжка.

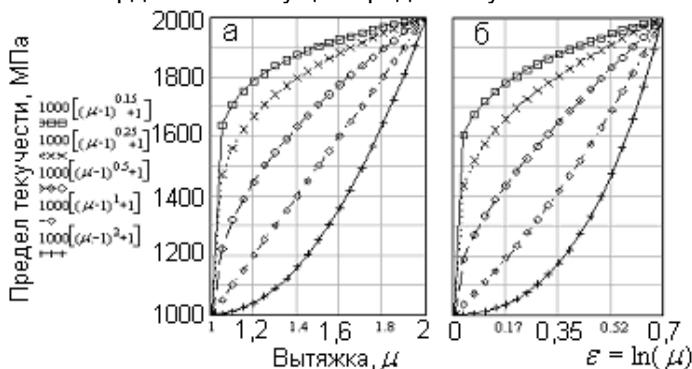


Рис. 3. Зависимость конечного предела текучести от вытяжки и степени деформации

Определим осевое напряжение волочения при различных коэффициентах упрочнения по известным аналитическим зависимостям:

$$\sigma_{z1} = \sigma_s \cdot (1 + tg \alpha / f) \cdot \left(1 - (1/\mu)^{f/tg \alpha}\right); \quad (4)$$

$$\sigma_{z2} = \sigma_s \cdot \ln \mu \cdot (1 + f \cdot ctg \alpha), \quad (5)$$

где  $\alpha$  - полуугол рабочего конуса волоки;  $f$  - коэффициент трения.

Уравнение (4) получено Кербером и Эйхингером. Аналогичное уравнение получено И. Л. Перлиным (упрощённая формула Перлина).

Формула (5) предложена Зибелем и Заксом.

Величину среднего предела текучести в очаге деформации рассчитывали по формуле (1). Исходный предел текучести приняли равным  $\sigma_{s0} = 1000$  МПа. Угол рабочего конуса  $2\alpha = 12^\circ$ , коэффициент трения 0,25.

Как показывают графики рис. 4, осевое напряжение при вытяжке 2, вычисленное по двум формулам, не зависит от формы кривой упрочнения, то есть от значения коэффициента упрочнения. При величине вытяжки до 2 (степени деформации до 0,69) осевое напряжение больше при меньших значениях коэффициента упрочнения. При вытяжке более 2 зависимость напряжения от  $k$  становится противоположной.

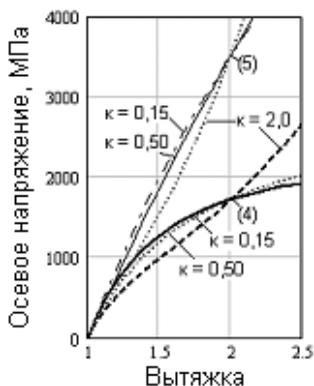


Рис. 4. Зависимость осевого напряжения от вытяжки и величины коэффициента упрочнения при расчёте по формулам (4) и (5) и использовании среднеарифметического предела текучести и кривой упрочнения (3)

Примем за среднюю величину предела текучести в рабочей зоне волокна среднее интегральное значение предела:

$$\sigma_s^{ин} = \frac{1}{\mu^* - 1} \int_1^{\mu^*} \sigma_s(\sigma_{s0}, k, \mu) \cdot d\mu, \quad (6)$$

где  $\mu^*$  - значение вытяжки, при которой определяется предел текучести;  $\sigma_s(\sigma_{s0}, k, \mu)$  - кривая упрочнения.

Так как для реального металла кривая упрочнения является выпуклой – интенсивность упрочнения снижается с ростом вытяжки, то расчёт предела текучести выполнили при следующих значениях коэффициента упрочнения: 0,15; 0,25; 0,50.

На рис. 5 построены зависимости средних арифметического (1) и интегрального (6) значений предела текучести от вытяжки.

При заданной кривой упрочнения (3) средние значения  $\sigma_s^a$  и  $\sigma_s^{ин}$  предела текучести отличаются существенно.

На рис. 6 показано влияние величины  $\mu$  и  $k$  на осевое напряжение  $\sigma_z$ , вычисленное при средних значениях  $\sigma_s^a$  и  $\sigma_s^{ин}$  по формулам (4), (5). Величина коэффициента упрочнения равна 0,15 (рис. 6 а), 0,25 (рис. 6 б) и 0,50 (рис. 6 в)

Из рис. 6 видно, что линии зависимостей пределов текучести  $\sigma_s^c$  и  $\sigma_s^{ин}$  расходятся с увеличением вытяжки и с уменьшением величины коэффициента упрочнения. Вследствие этого усиливается различие значений  $\sigma_z$ , вычисленных при разном способе определения среднего значения предела текучести в очаге деформации.

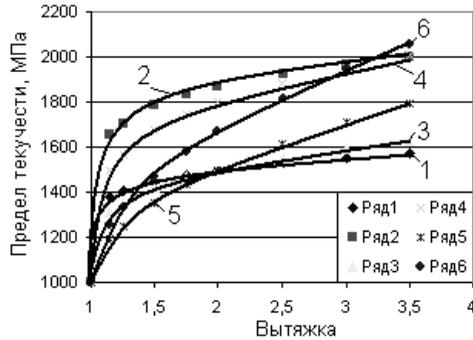


Рис. 5. Зависимости средних арифметического и интегрального значений предела текучести от вытяжки и величины коэффициента упрочнения:

1, 2 –  $k = 0,15$ ; 3, 4 –  $k = 0,25$ ; 5, 6 –  $k = 0,50$ ; 1, 3, 5 –  $\sigma_s^a$ ; 2, 4, 6 –  $\sigma_s^{ин}$

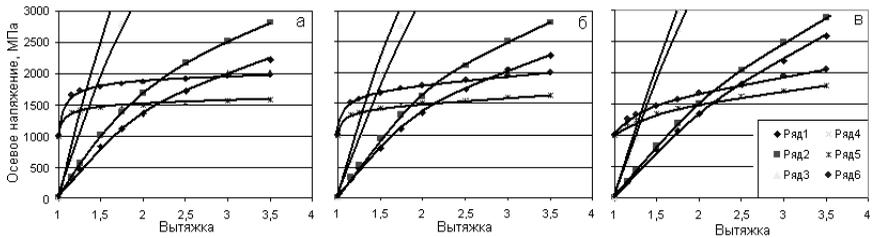


Рис. 6. Зависимости осевого напряжения и среднего предела текучести  $\sigma_s^c$  и  $\sigma_s^{ин}$  от вытяжки и величины коэффициента упрочнения: а -  $k = 0,15$ ;

б -  $k = 0,25$ ; в -  $k = 0,50$ ; ряды 1, 2 – напряжение вычислено по формуле (4); ряды 3, 4 – напряжение вычислено по формуле (5); ряд 5 –  $\sigma_s^c$ ;

ряд 6 –  $\sigma_s^{ин}$ ; ряды 1, 3 – расчёт при  $\sigma_s^c$ ; ряды 2, 4 – расчёт при  $\sigma_s^{ин}$

Осевое напряжение больше при использовании в качестве средней величины предела текучести его среднее интегральное значение и формулы Зибеля (5).

Значение среднего предела текучести в очаге деформации, принятая как средняя геометрическая величина  $\sigma_s^2$  (2), меньше средней арифметической  $\sigma_s^c$  (1) и средней интегральной  $\sigma_s^{ин}$  (6) величин. Например, при вытяжке  $\mu = 2$  и  $k = 0,15$  имеем следующие средние величины:  $\sigma_s^c = 1500$  МПа;  $\sigma_s^2 = 1414$  МПа;  $\sigma_s^{ин} =$

1870 МПа. При той же вытяжке и  $k = 0,25$  предел текучести  $\sigma_s^{un} = 1800$  МПа, и  $\sigma_s^{un} = 1667$  МПа при  $k = 0,50$ . Поэтому расчётные величины осевого напряжения  $\sigma_{z1}$  (4) и  $\sigma_{z2}$  (5) при  $\sigma_s = \sigma_s^c$  меньше, чем при  $\sigma_s = \sigma_s^c$  или  $\sigma_s = \sigma_s^{un}$ .

Итак, показана возможность учёта зависимости величины осевого напряжения волочения от формы кривой упрочнения металла при использовании средней интегральной величины предела текучести. При выпуклой форме линий упрочнения металла расчётные значения осевого напряжения выше при средних интегральных величинах предела текучести, чем при его средних арифметических или геометрических значениях.

#### Библиографический список

1. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. М.: Metallurgy, 1971. 447 с.
2. Качанов Л.М. Основы теории пластичности. М.: Наука, 1969. 420 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПРИЛОЖЕНИЕ МАТЕМАТИКИ В ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

<b>Б.Н.Парсункин, С.М.Андреев, С.В.Булычева, М.В.Усачев, Е.С.Михальченко</b> Оптимизация управления энергетическим режимом доводки стали в агрегате печь-ковш с целью минимизации себестоимости процесса .....	3
<b>М.Г.Поликарпова</b> Многомерный статистический анализ развития металлургических комплексов в мире .....	12
<b>М.Г.Поликарпова</b> Управление производственными рисками промышленного предприятия .....	17
<b>Т.А.Иванова</b> Оценка уровня социального положения областей Уральского ФО с использованием нечетко-множественных описаний .....	19
<b>М.В.Бушманова, Б.В.Машинсон</b> Определение основных групп банков – главных участников рос- сийского рынка потребительского кредитования.....	29
<b>М.В.Бушманова, А.С.Пережогин</b> Классификации крупнейших банков России с целью определения уровня привлекательности для потенциальных клиентов.....	34
<b>Г.Г.Мельникова, А.А.Галин</b> Определение стоимости ОАО «ММК» по методу дисконтированного денежного потока .....	37
<b>Г.Г.Мельникова, М.Р.Хуснутдинов</b> Скоринговая система оценки кредитоспособности заемщика в ипотечном кредитовании.....	41
<b>А.Ю.Землянских, Н.А.Реент</b> Оценка справедливой стоимости акций методами фундаментального анализа .....	46
<b>Я.В.Матяш, Т.А.Иванова</b> Усовершенствование методики анализа финансовой устойчивости и платежеспособности предприятия .....	54
<b>Е.В.Данилова, Т.А.Иванова</b>	

Моделирование рыночной стоимости жилья на основе массового метода оценки.....	60
<b>М.А.Зарецкая, Т.В.Морозова</b>	
Два аспекта прикладной направленности в типовом расчете.....	68
<b>О.А.Никитина, Т.М.Слободяник</b>	
Использование модели Баумоля в управлении денежными средствами предприятия.....	72
<b>Н.А. Горячева, Е.А.Пузанкова</b>	
Прогнозирование влияния затрат энергоцеха на себестоимость продукции ОАО «ММК-МЕТИЗ» .....	74
<b>Г.В.Данилов, Е.С.Войнова, И.Г.Рыжова</b>	
Влияние объема выборки на результат дифференциации затрат методом регрессионного анализа .....	78
<b>Д.В.Иванова</b>	
Управление производственным риском на ОАО «ММК» .....	84
<b>Д.В.Иванова</b>	
Пример управления валютным риском на промышленном предприятии с помощью вторичных финансовых инструментов .....	92
<b>Б.В.Машинсон</b>	
Анализ основных методик оценки эффективности деятельности коммерческих банков .....	96
<b>Е.А.Рыжих</b>	
Прогнозирование финансового состояния предприятия .....	106

## ПРИЛОЖЕНИЕ МАТЕМАТИКИ В ТЕХНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

<b>Б.Н.Парсункин, С.М.Андреев, Д.В.Нужин</b>	
Способ расчета распределения тепловых нагрузок по зонам методической печи с целью снижения удельных затрат топлива на нагрев.....	110
<b>Б.Н.Парсункин, Р.М.Хадиев</b>	
Математическое моделирование гидродинамических процессов в расплаве кристаллизатора слябовой МНЛЗ.....	115
<b>О.С.Андросенко, Л.Д.Девятченко, Е.П.Маяченко</b>	
Постановка и решение задач марковских цепей с непрерывным временем на ЭВМ.....	120

**А.С.Новиков**

Математическое моделирование транспортного обслуживания  
производственных подразделений промышленных предприятий 128

**Г.М.Коринченко, У.В.Михайлова, К.А.Кислицин**

Применение метода разреженных матриц для анализа проектных  
решений конструктивных элементов в машиностроении ..... 142

**Н.Л.Медяник, О.В.Мунтяну, А.М.Строкань**

Математическое моделирование свойств шлама  
в зависимости от его химического состава ..... 146

**Е.Я.Омельченко, Б.Я.Омельченко**

Расчет коэффициентов математической модели  
трехфазного асинхронного электродвигателя ..... 148

**А.А.Варламов**

Моделирование работы бетона при сжатии..... 156

**Б.И.Воронин, О.Б.Калугина, Б.Р.Картак**

Прогнозирование процесса волочения проволоки  
по параметрам производительности ..... 161

**И.М.Ячиков, В.Н.Манагаров**

Особенности распределения магнитного поля в ванне ДППТ  
при асимметричном расположении подового анода ..... 164

**И.М.Ячиков, Г.А.Миронова, С.Н.Петин**

Математическое моделирование теплового состояния расплава  
в реакторе с кипящим слоем ..... 170

**Н.Л.Чалкова, И.В.Шадрунова, Н.Н.Орехова**

Изучение влияния времени встряхивания модельного раствора  
с цеолитом на остаточное содержание цинка..... 177

**А.Б.Моллер, А.С.Лимарев, К.А.Ищенко**

Определение минимально допустимой  
температуры нагрева заготовки на сортовых станах..... 178

**Г.Н.Гурьянов, В.Н.Яременко**

Определение области оптимальных значений угла рабочего  
конуса волокна графическим и численным методами ..... 182

**Г.Н.Гурьянов**

Учёт формы кривой упрочнения металла  
при расчёте осевого напряжения волочения ..... 186  
Именной указатель ..... 192

Св.темплан 2007, поз.139 Заявки на книгу присылать по адресу:  
455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38,  
ГОУ ВПО «МГТУ»,  
кафедра ММЭ  
Тел.: (3519) 29-85-83; факс: 29-84-26

ISBN 978-5-89514-899-0

**ПРИЛОЖЕНИЕ МАТЕМАТИКИ  
В ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЯХ**

Сборник научных трудов

Под редакцией М.В.Бушмановой

Выпуск 1

Издается полностью в авторской редакции  
Компьютерная верстка Е.А.Назаровой  
Подписано в печать 28.09.07. Формат 60x84 1/16. Бумага тип.№ 1.  
Плоская печать. Усл.печ.л.12,25. Уч.-изд.л.12,86. Тираж 100 экз.  
Заказ 574.



Издательский центр ГОУ ВПО «МГТУ»  
455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38  
Полиграфический участок ГОУ ВПО «МГТУ»