



Федеральное агентство по образованию
Министерство образования и науки
Российской Федерации
Тамбовский государственный технический
университет

СБОРНИК СТАТЕЙ МАГИСТРАНТОВ

Выпуск 5

Тамбов
2006

УДК 04
ББК Я43
Н 72

Ответственный за выпуск –
к.х.н., доц., зав. отделом магистратуры и бакалавриата
Корчагина О. А.

Сборник статей магистрантов. Выпуск V. – Тамбов: ТОГУП
«Тамбовполиграфиздат», 2006. – 156 с.

УДК 04
ББК Я43

ISBN 5-94359-014-5

В сборник включены научные статьи студентов-магистрантов Тамбовского государственного технического университета.

Предназначен для преподавателей, аспирантов и студентов с целью использования в научной работе и учебной деятельности.

ISBN 5-94359-014-5

© Тамбовский государственный технический университет, 2006

Направление 150400

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Магистерская программа 150400.02

Теория механизмов и машин

Руководитель программы д.т.н., проф. Ванин В. А.

Попова И. В.

УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ЛОПАСТИ РОТОРНОЙ ЛОПАСТНОЙ МАШИНЫ ПОСРЕДСТВОМ САМОСИНХРОНИЗАЦИИ

Работа выполнена под руководством д.т.н., проф. Воробьева Ю.В.

*ТГТУ, Кафедра «Технология машиностроения,
металлорежущие станки и инструменты»*

Природителями удара являются сила и перемещение, а характер последствия их действия зависит целиком от условия формирования удара, определяемого жесткостью тел. Если удар неизбежен или необходим, для предотвращения его распространения или снижения действующих сил необходимо ввести в конструкцию элементы, искусственно регулирующие жесткость стыка. В большинстве случаев достаточно учитывать относительную скорость тел к моменту их соприкосновения и характер процесса перехода кинетической энергии в потенциальную энергию де-

формации. Рассматриваемая далее задача относится к движению пластины в шарнирных элементах роторной машины (рис.1).

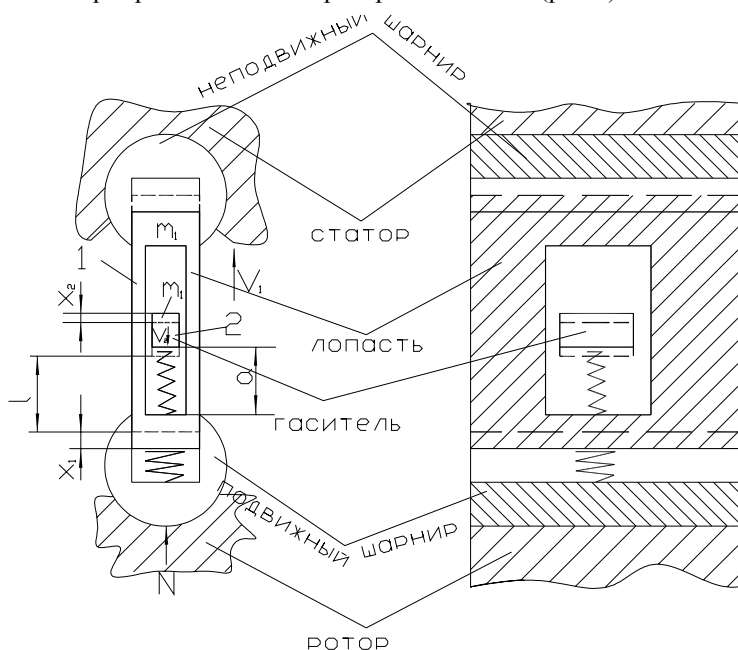


Рис.1

Между двумя шарнирами (подвижным и неподвижным) находится пластина (лопасть) 1, с расположенным внутри гасителем 2. С одной стороны в системе гаситель-пластина и пластина-подвижный шарнир имеется промежуточный упругий элемент (пружина).

Целью задачи является подбор массы гасителя 2 и жесткости пружины гасителя, минимизирующих амплитуду вынужденных колебаний пластины и анализ графиков движения пластины 1 и гасителя 2.

Для нахождения жесткости пружины гасителя и его массы необходимо решить систему уравнений:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + f_1 \dot{x}_1 + c_1 x_1 + c_2 (x_1 - x_2) = F_0 \sin \omega t \\ m_2 \ddot{x}_2 + f_2 \dot{x}_2 + c_2 (x_2 - x_1) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

где \$c_1, c_2\$ - жесткости; \$f_1, f_2\$ - коэффициенты трения; \$x_1, x_2\$ - абсолютные коэффициенты, отсчитываемые от статического положения равновесия; \$F_0 \sin \omega t\$ - периодическая сила, действующая на пластину ротора.

Решение имеет вид (вынужденные колебания):

$$\begin{cases} x_1 = A_1 \sin \omega t + B_1 \cos \omega t \\ x_2 = A_2 \sin \omega t + B_2 \cos \omega t \end{cases} \quad (2)$$

Перепишем систему (1) в виде

$$\begin{cases} (c_1 + c_2 - m_1 \omega^2)A_1 - \omega f_1 B_1 - c_2 A_2 + 0 \cdot B_2 = F_0 \\ f_1 \omega A_1 + (c_1 + c_2 - m_1 \omega^2)B_1 + 0 \cdot A_2 - c_2 B_2 = 0 \\ -c_2 A_1 + 0 \cdot B_1 + (c_2 - m_2 \omega^2)A_2 - f_2 \omega B_2 = 0 \\ 0 \cdot A_1 - c_2 B_1 + f_2 \omega A_2 + (c_2 - m_2 \omega^2)B_2 = 0 \end{cases}$$

вычислим главный определитель системы Δ и два вспомогательных определителя для неизвестных A_1 и B_1 , то есть Δ_1 и Δ_2 :

$$\begin{aligned} \Delta &= \left[(c_1 + c_2 - m_1 \omega^2)(c_2 - m_2 \omega^2) - c_2^2 \right]^2 + \omega^2 \left[(c_1 + c_2 - m_1 \omega^2) f_2^2 + \right. \\ &\quad \left. (c_2 - m_2 \omega^2)^2 f_1^2 + 2 f_1 f_2 c_2^2 + \omega^2 f_1^2 f_2^2 \right]; \\ \Delta_1 &= F_0 \left[(c_1 + c_2 - m_1 \omega^2)(c_2 - m_2 \omega^2)^2 - c_2^2 (c_2 - m_2 \omega^2) + \right. \\ &\quad \left. + \omega^2 f_2 (c_1 + c_2 - m_1 \omega^2) \right]; \\ \Delta_2 &= -F_0 \omega \left[f_1 (c_2 - m_2 \omega^2)^2 + f_2 c_2^2 + f_1 f_2^2 \omega^2 \right]. \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{Из (3) следует: } A_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta}; B_1 = \frac{\Delta_2}{\Delta} \Rightarrow x_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} \sin \omega t + \frac{\Delta_2}{\Delta} \cos \omega t \quad (4)$$

Амплитуда колебаний для первой массы m_1 равна

$$A = \frac{\sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2}}{\Delta}. \quad (5)$$

Дальнейшее решение задачи состоит в следующем: при заданных параметрах задачи $c_1, f_1, f_2, m_1, m_2, \omega, F_0$ найти такое c_2 , чтобы

$A \rightarrow \min$. Это значение находится из условия $\frac{dA}{dc_2} = 0$ с последующим

анализом знака производной при переходе через эту точку. Рассмотрим случай, когда $f_1 = 0; f_2 = 0$. В этом случае получаем: $c_2 = m_2 \omega^2$.

На рис. 2 видно, что период колебаний гасителя отстает от периода колебаний лопасти на 180° .

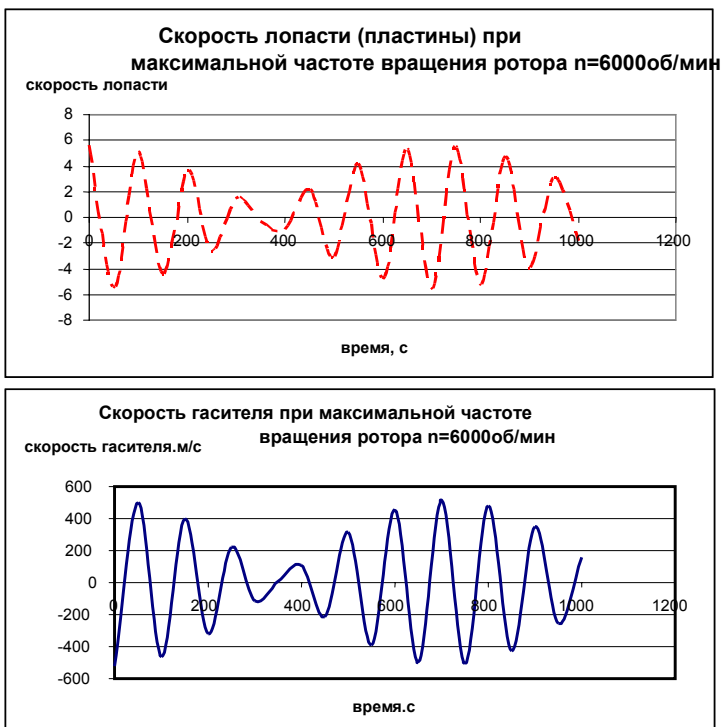


Рис.2

Для нахождения отклонения лопасти от положения статического равновесия обратимся к рис.1. Перед ударом тело массой m_1 и скоростью V_1 приближается к телу массой m_2 (гасителю), который под действием силы инерции движется навстречу телу 1 (лопасти) со скоростью V_2 .

Отсчет перемещения тел 1 и 2 производится от положения, соответствующего началу движения. После начала движения длина пружины изменится на величину l :

$$l = a + x_1 - x_2 .$$

Откуда изменение длины (сжатие) пружины:

$$\alpha = a - l = x_2 - x_1 , (6)$$

где x_1, x_2 - перемещения центров тяжести тел, соответственно; l - длина упругого элемента после начала движения.

Сила сопротивления сжатию пружины в общем виде:

$$N = f(\alpha) \quad (7)$$

В рассматриваемом случае сила сопротивления пропорциональна сжатию:

$$f(\alpha) = c\alpha,$$

где c - жесткость пружины.

Сила сжатия пружины действует на оба тела, сообщая им ускорения. Вследствие этого скорость тел изменится, и после удара будет иметь значения, для тела 1:

$$V_1 = x_1' = \frac{dx_1}{dt};$$

для тела 2:

$$V_2 = x_2' = \frac{dx_2}{dt}.$$

Обозначим, соответственно, ускорения тел:

$$w_1 = \frac{dV_1}{dt} = \frac{d^2x_1}{dt^2}; \quad w_2 = \frac{dV_2}{dt} = \frac{d^2x_2}{dt^2}.$$

За положительное направление сил, скоростей, ускорений примем направление первоначальных перемещений тела 2. Тогда дифференциальные уравнения движения тел во время удара примут вид

$$m_1 \frac{d^2x_1}{dt^2} = N; \quad m_2 \frac{d^2x_2}{dt^2} = -N.$$

Принимая для простоты, что тело 1 до удара было неподвижно ($V_1 = 0$), а упругий элемент до удара не имел начального сжатия ($\alpha_0 = 0$), и учитывая уравнения (1) и (2), получим систему дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \frac{m_1 d^2x_1}{dt^2} = N \\ \frac{m_2 d^2x_2}{dt^2} = -N \\ N = f(\alpha) \\ x_1 - x_2 = \alpha \end{cases}.$$

При начальных условиях: $t = 0; \quad x_1 = 0; \quad x_2 = 0; \quad V_2 = \frac{dx_1}{dt};$

$$V_1 = \frac{dx_2}{dt} = 0; \quad \alpha = 0; \quad N = 0.$$

В результате решения системы получаем

$$t = \int_0^{\alpha} \frac{d\alpha}{V_2^2 - 2 \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} \int_0^{\alpha} f(\alpha) d\alpha}. \quad (8)$$

Скорость V_2 получаем путем дифференцирования первого уравнения системы (2), а затем подставляем в (8) для нахождения времени удара гасителя и лопасти (пластины). Перемещение тел во время удара:

$$X_1 = X_2 = m_1 V_2 t / (m_1 + m_2).$$

При подстановке численных параметров, был получен следующий результат: лопасть (пластина) и гаситель отклоняются на ≈ 1 мм в противофазе равновесия, что соответствует "минимально" возможному отклонению тел от положения статического равновесия (для лопасти (пластины) - $0,1 \div 6$ мм, а для гасителя от $0,1 \div 3$ мм).

$$m_1 = 0,071862 \hat{e} \hat{a}; \quad m_2 = 0,002489 \hat{e} \hat{a}; \quad \tilde{n}_1 = 526 \hat{I} / \hat{i}; \quad \tilde{n}_2 = 954 \hat{I} / \hat{i}; \\ F_0 = 4396 \hat{I}; \quad f_1 = f_2 = 0.001.$$

Тепляков М. М., Ильина С. А.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В КОЖУХОТРУБНОМ АППАРАТЕ ДЛЯ ПЕРВИЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА

*Работа выполнена под руководством к.т.н., доц. Ковергина А. Д.
и к.т.н., ст. преп. Галкина П. А.*

*ГГТУ, Кафедра «Технология машиностроения,
металлорежущие станки и инструменты»*

Молоко теряет свои ценные питательные свойства в течение первых двух-трёх часов после доения. Наиболее полное сохранение этих свойств обеспечивается охлаждением до двух градусов по шкале Цельсия [1]. На животноводческих фермах в молочных линиях для охлаждения применяются пластинчатые аппараты. Однако пластинчатые аппараты [2] имеют целый ряд недостатков, которые связаны с наличием в конструкции большого количества прокладок. Отмечаются частые отказы в работе из-за нарушения герметичности. Отсюда значительные затраты на разборку и сборку аппарата.

Кожухотрубные аппараты лишены указанных недостатков. Эксплуатационные затраты на чистку значительно уменьшаются. Расчётные теплогидравлические показатели аппарата должны обеспечивать его надёжную работу в течении 1...2 часов после доения молока. Однако процесс связан, в первую очередь, с точностью определения теплофизических свойств теплоносителей. Точность критериальных уравнений, которые лежат в основе всех теплогидравлических расчётов, находится в пределах разброса экспериментальных данных. На процессы теплообмена также существенное влияние оказывают пограничные слои отложений на стенках молокопровода.

На этапе проектирования необходимо иметь количественные соотношения между параметрами охладителя молока по всему объёму аппарата. Такие соотношения можно получить используя методы математической теории теплообменников [3]. Воспользуемся (рис. 1) цилиндрической системой координат (θ, r, z) и предположим, что рабочая среда изотропна и непрерывна по направлениям координат. Тогда можно составить уравнения энергии для определения температурных полей в теплоносителях и металле. Так, для молока получим

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon_1 \cdot \rho_1 \cdot c_1 \cdot T_1) + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta}(\varepsilon_1 \cdot \rho_1 \cdot v_1 \cdot r \cdot c_1 \cdot T_1) + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r}(\varepsilon_1 \cdot \rho_1 \cdot u_1 \cdot r \cdot c_1 \cdot T_1) =$$

$$= \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\varepsilon_1 \cdot \Lambda_1 \cdot \frac{\partial T_1}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\varepsilon_1 \cdot \Lambda_1 \cdot r \cdot \frac{\partial T_1}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon_1 \cdot \Lambda_1 \cdot \frac{\partial T_1}{\partial z} \right) + q_{m \rightarrow 1} \quad (1)$$

где c_1 - удельная теплоёмкость молока при постоянном движении; Λ_1 - эффективная теплопроводность молока, учитывая турбулентный перенос теплоты; $q_{m \rightarrow 1}$ - интенсивность передачи теплоты (на единицу объёма пространства теплообменника) от металла к молоку; v_1 , u_1 - скорости молока в направлении θ и r соответственно; ρ_1 , T_1 , ε_1 - плотность, температура и доля объёмного пространства молока соответственно; t - время.

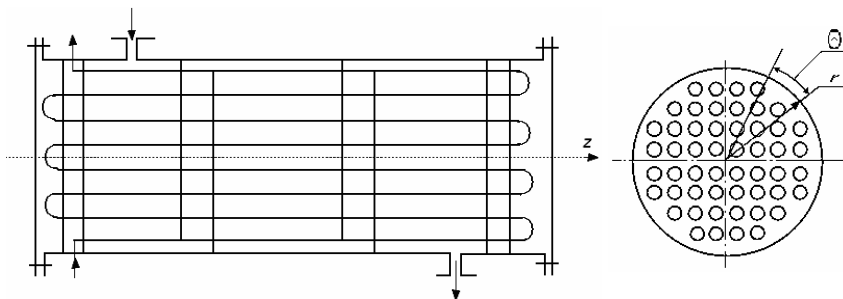


Рис. 1. Схема типовой конструкции кожухотрубного аппарата

При составлении уравнения (1) были опущены из-за малой значимости следующие члены: ε_1 , $\partial \rho / \partial t$, характеризующие влияние изменений давления на температуру; учитывающие кинетическую энергию движения и влияния вязкой диссипации энергии, химические превращения в молоке, фазовые переходы.

Уравнение энергии для хладоносителя, текущего в межтрубном пространстве, записываем по аналогии с (1), используя индекс 2.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} (\varepsilon_2 \cdot \rho_2 \cdot c_2 \cdot T_2) + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} (\varepsilon_2 \cdot \rho_2 \cdot v_2 \cdot r \cdot c_2 \cdot T_2) + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (\varepsilon_2 \cdot \rho_2 \cdot u_2 \cdot r \cdot c_2 \cdot T_2) = \\ & = \frac{\partial}{\partial z} (\varepsilon_2 \cdot \rho_2 \cdot \omega_2 \cdot c_2 \cdot T_2) + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\varepsilon_2 \cdot \Lambda_2 \cdot \frac{\partial T_2}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(\varepsilon_2 \cdot \Lambda_2 \cdot r \cdot \frac{\partial T_2}{\partial r} \right) + \\ & + \frac{\partial}{\partial t} \left(\varepsilon_2 \cdot \Lambda_2 \cdot \frac{\partial T_2}{\partial z} \right) + q_{m \rightarrow 2} \end{aligned} \quad (2)$$

где $q_{m \rightarrow 2}$ - интенсивность теплоотдачи на единицу объёма охладителя от металлической стенки к хладоносителю.

Уравнение энергии для металла в пучке труб упрощается, т.к. трубы

неподвижны, и имеет следующий вид при использовании индекса m .

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon_m \cdot \rho_m \cdot c_m \cdot T_m) &= \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\varepsilon_m \cdot \Lambda_m \cdot \frac{\partial T_m}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(\varepsilon_m \cdot \Lambda_m \cdot r \cdot \frac{\partial T_m}{\partial r} \right) + \\ &+ \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon_m \cdot \Lambda_m \cdot \frac{\partial T_m}{\partial z} \right) - q_{m \rightarrow 1} - q_{m \rightarrow 2}, \end{aligned} \quad (3)$$

здесь Λ_m – эффективная теплопроводность металла.

Пренебрегая величинами теплопроводности в металле и теплоносителях получим из (1), (2) и (3) следующие уравнения

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon_m \cdot \rho_m \cdot c_m \cdot T_m) = -q_{m \rightarrow 1} - q_{m \rightarrow 2} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon_1 \cdot \rho_1 \cdot c_1 \cdot T_1) &+ \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} (\varepsilon_1 \cdot \rho_1 \cdot \nu_1 \cdot r \cdot c_1 \cdot T_1) + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (\varepsilon_1 \cdot \rho_1 \cdot u_1 \cdot r \cdot c_1 \cdot T_1) + \\ &+ \frac{\partial}{\partial z} (\varepsilon_1 \cdot \rho_1 \cdot \omega_1 \cdot T_1) = q_{m \rightarrow 1} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon_2 \cdot \rho_2 \cdot c_2 \cdot T_2) &+ \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} (\varepsilon_2 \cdot \rho_2 \cdot \nu_2 \cdot r \cdot c_2 \cdot T_2) + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (\varepsilon_2 \cdot \rho_2 \cdot u_2 \cdot r \cdot c_2 \cdot T_2) + \\ &+ \frac{\partial}{\partial z} (\varepsilon_2 \cdot \rho_2 \cdot \omega_2 \cdot T_2) = q_{m \rightarrow 2} \end{aligned} \quad (6)$$

В уравнениях (5) и (6) возможны поправки, связанные с перемешиванием молока и хладоносителя. Например, если известно, что хладоноситель полностью перемешан в направлении координаты z , то следует брать повышение значения Λ_2 в членах с $\partial/\partial\theta$ и $\partial/\partial r$ и принимать $\Lambda_2=0$ в члене с $\partial/\partial z$.

Уравнения (1)...(6) применимы для расчёта охладителя молока, который имеет перекрестное течение теплоносителей. Для этого достаточно использовать двумерное описание, а именно, изменениями параметров по координате θ пренебрежём и примем, что молоко течёт только по направлению координаты r , а хладоноситель – в направлении z . При этом перемешивание происходит в направлениях, перпендикулярных направлению течения. Тогда уравнения для температур теплоносителей T_1 и T_2 принимают вид

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (\varepsilon_1 \cdot \rho_1 \cdot v_1 \cdot r \cdot c_1 \cdot T_1) = \frac{\partial}{\partial z} (\varepsilon_1 \cdot \Lambda_1 \cdot \frac{\partial T_1}{\partial z}) + \frac{T_2 - T_1}{1/U_1 + 1/U_2} \quad (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} (\varepsilon_2 \cdot \rho_2 \cdot \omega_2 \cdot c_2 \cdot T_2) = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (\varepsilon_2 \cdot \Lambda_2 \cdot \frac{\partial T_2}{\partial r}) + \frac{T_1 - T_2}{1/U_1 + 1/U_2} \quad (8)$$

Величины $\varepsilon_1 \cdot \rho_1 \cdot v_1 \cdot c_1$, $\varepsilon_2 \cdot \rho_2 \cdot \omega_2 \cdot c_2$ и $1/U_1 + 1/U_2$ можно рассматривать как постоянные. Тогда уравнения (7) и (8) упрощаются, их решение осуществляется численными методами.

Точность решения этих уравнений зависит от граничных условий. Обычно задают величины скоростей и температур на входе. Все компоненты скоростей на границах со стенкой принимаются равными нулю. Градиенты температуры по нормали к поверхности кожуха на самой поверхности считаются в виде произведения некоторой постоянной на разность температур между кожухом и окружающей средой.

Необходимо отметить, что уравнения получены для однофазных сред, одна из которых перемешивается при теплообмене [3]. Их решение осуществляется численными методами, которые частично используются при создании реальных конструкций аппаратов. При проектировании предлагаемого теплообменника эти решения должны учитывать следующие особенности:

1. Усреднение теплофизических показателей производится не только для продольного, но и для поперечно-перекрестного течения потока в трубах змеевика;

2. Определение граничных условий зависит от:

- расстояний между сегментными перегородками, отличающимися от нормативных;
- отложений молока на внутренних поверхностях трубопровода при изменившихся условиях их мойки и очистки;
- распределенных и добавившихся сосредоточенных сопротивлений для потока молока в трубопроводе;
- возросшего влияния потока перетечек в межтрубном пространстве аппарата.

Работа по включению вышеназванных факторов в расчетные зависимости, несомненно, должна выполняться на основе экспериментальных исследований. Ряд экспериментов проведен на кафедре ТММ и ДМ с использованием опытного образца теплообменника. Их результаты обрабатываются и готовятся к внедрению в практику расчетов теплообменных аппаратов для молока и молочных продуктов.

Список литературы

1. Кук Г.А. Процессы и аппараты молочной промышленности. М.: Пищевая промышленность, 1973.
2. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы). Под общ. Ред. П.Л. Кириллова. М.: Энергоиздат, 1984.
3. Справочник по теплообменникам: В 2-х т. Пер с англ. под ред. Б.С. Петрухова, В.К. Шикова. М.: Энергоиздат, 1987.

Ступников О. А.

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ РОТОРНОГО АППАРАТА

*Работа выполнена под руководством к.т.н., доц. Ковергина А. Д.
и к.т.н., ст. преп. Галкина П. А.*

*ТГТУ, Кафедра «Технология машиностроения,
металлорежущие станки и инструменты»*

В настоящее время существует несколько методик расчета роторных аппаратов. Одни из них основаны на закономерностях течения среды в каналах ротора и статора, описываемых с помощью уравнения типа Рикатти [1,2]. Другие методики используют для этого уравнение Бернулли для нестационарного течения среды [3-5]. При этом рассматривается течение среды одновременно в канале ротора и в канале статора, считая канал ротора неподвижным. На самом деле, очевидно, что закономерности движения различны во вращающихся и неподвижных каналах аппарата.

В методика расчета, предложенная в [6] позволяет спроектировать роторный аппарат, осуществляющий наиболее эффективное воздействие на обрабатываемую среду при проведении процессов в системах «жидкость-жидкость», «твердое-жидкость» и «жидкость-газ» в процессах химической технологии.

При этом аппарат работает в условиях возникновения автоколебательного режима и максимально развитой акустической кавитации. Следует отметить, что впервые при расчете, на основании теоретических и экспериментальных исследований, учитываются особенности течения жидкости в модуляторе роторного аппарата, описываемых новой математической моделью, и влияние начального содержания свободного газа в обрабатываемой среде [7].

В предложенной инженерной методике расчета роторного аппарата использован зонный подход для построения моделей течения. Рассматриваются две зоны имеющие размеры одного порядка – каналы ротора и статора. Необходимым условием такого подхода является определение условий сшивки решения задачи для этих зон. В этом случае это условие определяется на основании уравнения неразрывности таким образом, что параметры течения среды на выходе из канала ротора равны параметрам среды на входе в канал статора [8].

Методика расчета основана на комплексе теоретических и экспериментальных исследований гидромеханических, акустических и кавитационных особенностей режимов работы роторного аппарата.

После изучения возможностей производителя в обеспечении точности изготовления деталей, наличии комплектующих – электродвигателей переменного тока и питающих центробежных насосов дополнительно задают следующие параметры, необходимые для расчета режимных и конструктивных размеров роторного аппарата, которые корректируются в процессе расчета:

- частоту вращения ротора принимают равной частоте вращения электродвигателя, обычно её выбирают из стандартного ряда $\sim 100, 150, 300 \text{ с}^{-1}$, при этом следует учитывать, что потребляемая мощность пропорциональна $\sim \omega^{2,5}$, но с увеличением угловой скорости вращения возрастает эффективность работы роторного аппарата. Обычно предварительно принимают $\omega = 150 \text{ с}^{-1}$;

- величину зазора между ротором и статором $\delta \approx 10^{-4}$ м, для обрабатываемых сред имеющих вязкость одного порядка с водой, и увеличиваем до $\sim 2 \cdot 10^{-4}$ м для жидкостей с большей вязкостью;

- форму поперечного сечения каналов принимаем прямоугольной [3];

- толщину стенки ротора из условий прочности и удобства технологии изготовления каналов фрезерованием при составном роторе. Причем для радиальных каналов $l_p = h_p$, для наклонных каналов $l_p = h_p / \cos \gamma$. Таким образом можно увеличивать длину канала в роторе при постоянной его толщине.

В начале расчета:

- принимаем направление каналов радиальным;

- определяем ряд насосов имеющих производительность равную или близкую к заданной. Определяем давление, создаваемое насосами $P_{нас}$;

- при необходимости назначаем угол наклона каналов в статоре в интервале $0 \dots 90^\circ$.

- определяем начальное содержание свободного газа в обрабатываемой среде. Если оно неизвестно, то задаем α_0 по справочным данным.

- задаем ширину канала в роторе и статоре, считая $a_p = a_c = a$:

- а) для процесса эмульгирования $a = 2 \dots 3 \cdot 10^{-3}$ м;

- б) для процесса растворения $a \geq d_{\max}$.

С целью получения расчетных и конструктивных параметров роторного аппарата, на основании закономерностей полученных в работах [7-10] предложена методика оптимизационного расчета.

В качестве критерия оптимизации выбран $\frac{l}{a} \rightarrow \min$ и из равенства величин наибольшего импульса «отрицательного» давления

$$P_m = \frac{2\rho l_p^2 \omega^2 R_p^2}{ShZa^2} \left| \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} \right|.$$

И величины наибольшего импульса «отрицательного» давления по зависимости связывающей практический критерий кавитации – коэффициент кавитации Стайлса и теоретическое число акустической кавитации:

$$P_m = \frac{P_p}{\chi_a(1 + K_c)}.$$

Существуют следующие методы оптимизации:

1. Методы поиска экстремума функции $f(x)$ (одномерной оптимизации)
2. Градиентные методы поиска экстремумом функции нескольких переменных.
3. Безградиентные методы поиска экстремума функций многих переменных.
4. Безусловная оптимизация при наличии “оврагов” целевой функции.

При данной оптимизации был выбран градиентный метод поиска экстремума функции многих переменных на основании координатного спуска.

В основу градиентных методов положены вычисление и анализ производных целевой функции. Поскольку в практических задачах найти значения производных аналитически как правило не удается, их вычисляют приближенно:

$$\frac{\partial f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_i} \approx \frac{f(x_1, x_2, \dots, x_i + \delta x_i, \dots, x_n) - f(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)}{\delta x_i}.$$

Выбор величин приращений по координатам $\delta x_i, i = 1, 2, \dots, n$ зависит от возможностей используемой ЭВМ и необходимой точности вычислений.

$$x_i^{(k+1)} = x_i^{(k)} - h \cdot \frac{\frac{\partial f(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_n^{(k)})}{\partial x_i}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial f(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_n^{(k)})}{\partial x_j} \right)^2}}, \quad i=1, 2, \dots, n;$$

$$k=0, 1, 2, \dots, \quad (1)$$

Модификацией метода градиента, является метод координатного спуска с постоянным шагом, позволяющая сократить общий объем вычислений при некотором увеличении числа членов минимизирующей последовательности за счет меньшего количества вычислений частных производных целевой функции. При использовании этого метода аргументы целевой функции изменяются в соответствии с выражением (1), но значения ее частных производных и длины градиента не пересчитываются до тех пор, пока не сложится ситуация $f(x_1^{(k+1)}, x_2^{(k+1)}, \dots, x_n^{(k+1)}) \geq f(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_n^{(k)})$. Дробление шага поиска производится, когда во вновь выбранном направлении (после пересчета значений частных производных) не удается сделать ни одного результативного шага, останов поиска - при выполнении неравенства $h < \epsilon$.

Основные этапы поиска $\min f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ методом наискорейшего спуска:

- 1) выбор начального приближения $(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)})$;
- 2) определение значений частных производных $f'(x_1, x_2, \dots, x_n)$ в этой точке;
- 3) изменение значений $x_i, i=1, 2, \dots, n$ в соответствии с выражением (1) без пересчета частных производных до начала возрастания целевой функции;

- 4) если ситуация $f(x_1^{(k+1)}, x_2^{(k+1)}, \dots, x_n^{(k+1)}) \geq f(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_n^{(k)})$ возникает при

$k > 0$, то начальным приближением становится предыдущая точка: $x_i^{(0)} = x_i^{(k)}, i=1, 2, \dots, n$ и вновь выполняются п.п. 2), 3);

- 5) если $f(x_1^{(k+1)}, x_2^{(k+1)}, \dots, x_n^{(k+1)}) \geq f(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_n^{(k)})$ уже при $k=0$, то осуществляется дробление шага $h=h/p$ ($p > 1$); при $h \geq \epsilon$ (заданная точность) выполняется п. 3), иначе поиск заканчивается: $x_i^* = x_i^{(k)}, i=1, 2, \dots, n$.

В качестве начальных данных были использованы:

- объемная производительность Q [$\text{м}^3/\text{с}$];
- плотность обрабатываемой среды ρ [$\text{кг}/\text{м}^3$];

Разработана программа на языке C++Builder 6.0. На рис. 1 представлена блок-схема программы.

Программа позволяет получить основные конструктивные и режимные характеристики:

a - ширина канала ротора и статора, м;

b_p, b_c - расстояние между каналами ротора и статора, м;

l_p, l_c - длина каналов ротора, статора, м;

h_p - толщина стенки ротора, м;

P_p - давление создаваемое в полости ротора, Па;

P_m - импульс «отрицательного» давления, Па;

Z - количество каналов в роторе и статоре;

ΔP - перепад давления между ротором и статором, Па;

δ - радиальный зазор;

γ - угол наклона канала ротора, рад;

ω - угловая частота вращения ротора, с^{-1} ;

В качестве примера на рис. 2 приведён интерфейс программы.

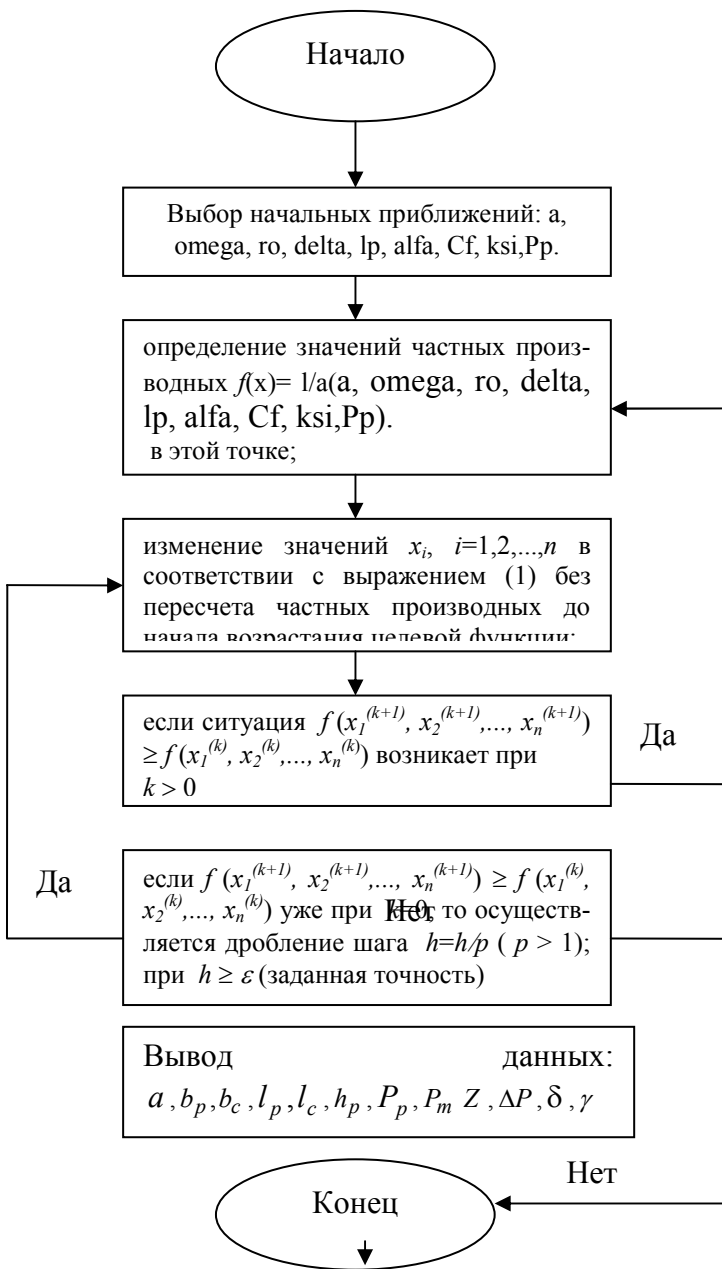


Рис. 1. Блок схема расчета

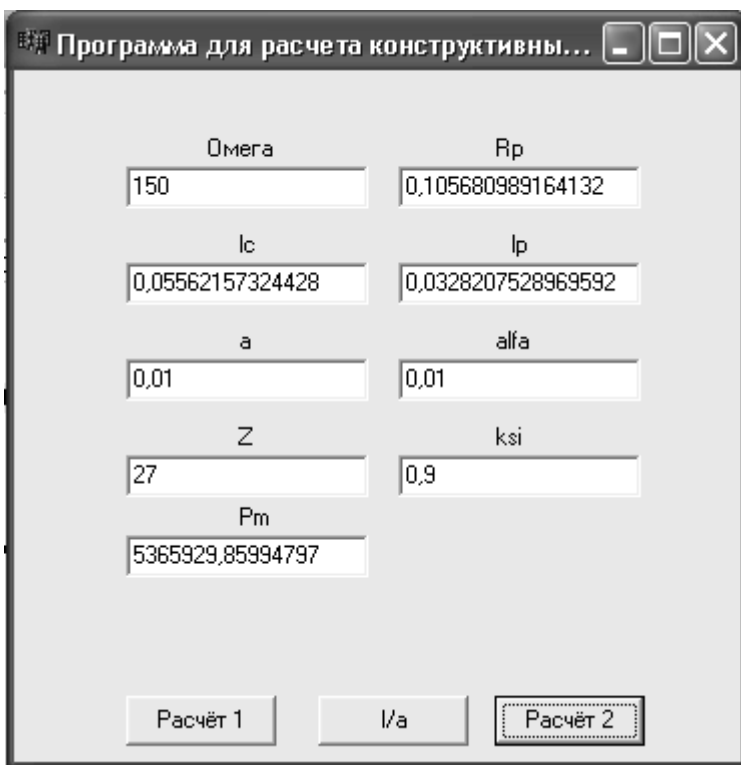


Рис.2. Интерфейс программы с одним из результатов расчета

Список литературы

1. Юдаев В.Ф. Методическая разработка к курсовому и дипломному проектированию. Роторные аппараты с модуляцией потока /В.Ф. Юдаев.- М.: МИХМ, 1979. – 32с.
2. Серова М.А. Методика расчета роторного аппарата с модуляцией потока./М.А. Серова, В.Ф. Юдаев //Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2003, №1. – С.3-7.
3. Балабышко А.М. Роторные аппараты с модуляцией потока и их применение в промышленности /А.М. Балабышко, В.Ф. Юдаев. – М.:Наука, 1992. – 176с.
4. Балабышко А.М. Гидромеханическое диспергирование /А.М. Балабышко, А.И. Зинмин, В.П. Ружицкий. – М.:Наука,1998. – 331с.
5. Промтов М.А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика /М.А. Промтов. – М.:Машиностроение-1, 2001. – 260с.
6. Червяков В. М. «ОБОБЩЕННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА РОТОРНОГО АППАРАТА С УЧЕТОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ИМПУЛЬСНОЙ КАВИТАЦИИ.» / Червяков В.М, Воробьев Ю.В, Юдаев Ю.Ф.// Вестник ТГТУ . – 2005, Т № . – с. ...
7. Червяков В.М. Кавитационные явления в газожидкостной среде /В.М. Червяков, В.Ф. Юдаев // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2004, №4. – С.73-77.

8. Червяков В.М. Нестационарное течение идеальной несжимаемой среды в каналах роторного аппарата /В.М. Червяков, Ю.В. Воробьев //ТОХТ. – 2005, Т.39, №1. – С.1-7.

9. Юдаев В.Ф. Исследование гидродинамического аппарата сиренного типа и его использование для интенсификации технологических процессов в гетерогенных системах: Автореф. дис. на ... канд. техн. наук: 05.17.08./В.Ф. Юдаев. – М., 1970. – 24с.

10. Червяков В.М. Растворение твердого в жидкости и диспергирование жидкостей в длинноканальном роторном аппарате с модуляцией потока: Дис ... канд. техн. наук: 05.17.08. Защищена 25.11.1982; Утв. 5.09.1983, М., 1982. – 169с.

Пугачев Д. В., Иванов С. А., Крутов А. Ю

СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ АБС – СОПОЛИМЕРА ДЛЯ ТВЕРДОФАЗНОЙ ЭКСТРУЗИИ С ПОЗИЦИЙ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ*

Работа выполнена под руководством д.т.н., проф. Баронина Г. С.

*ГГТУ, Кафедра «Технология машиностроения,
металлорежущие станки и инструменты»*

Твердофазные технологии переработки полимеров и композитов в изделия, основанные на развитии пластической деформации материала в условиях высокого гидростатического давления, являются технологиями будущего, т.к. относятся к энергосберегающим технологиям [1].

В связи с проблемой создания полимерных материалов, отвечающих требованиям процесса обработки термопластов в твердой фазе, вопросы структуры исходного материала детально изучаются у нас и за рубежом и являются актуальными в силу их теоретического и прикладного значения.

Настоящая работа посвящена изучению особенностей структуры и молекулярно-релаксационных характеристик сополимера акрилонитрила, бутадиена и стирола (АБС - сополимер), ГОСТ-12851-87 методами термомеханической спектроскопии (ТМС) [2].

На рис. 1 показаны ТМК АБС – сополимера при испытании образца параллельно направлению жидкофазной экструзии полимера. При анализе полученных ТМК установлено, что исходный АБС в процессе переработки через стадию расплава лишь незначительно (не более 10%) изменяет свою степень изотропности. При жидкофазном характере переработки полимера лишь на 10% меняется суммарная степень кристалличности в зависимости от направления испытания образца. Из ТМК установлены температурные интервалы трех основных состояний полимера – стеклообразного, высокоэластического и вязкотекучего, а также наличие кристаллической фазы двух или трех модификаций.

Определены температуры релаксационного перехода T_c , структурных и фазовых переходов $T_{пл}$ и $T'_{пл}$, необходимых для выбора оптимальной температуры переработки полимера в твердой фазе [1].

Анализ термомеханического поведения АБС – сополимера в области температур $T_c - T_T$ дает основание однозначно утверждать, что высокотемпературный блок полимера имеет псевдосетчатое строение, в котором основную объемную долю полимера составляют межузельные цепи $\phi_a = 0,58 - 0,69$. Каркасными узлами в структуре блока являются наиболее

прочные с точки зрения межцепного взаимодействия полистирольные кластеры или кристаллические структуры различного строения и модификации. На рис.2 показана схематическая модель структуры АБС – сополимера, разработанная на основе изучения термомеханического поведения и данных о ММР полимера

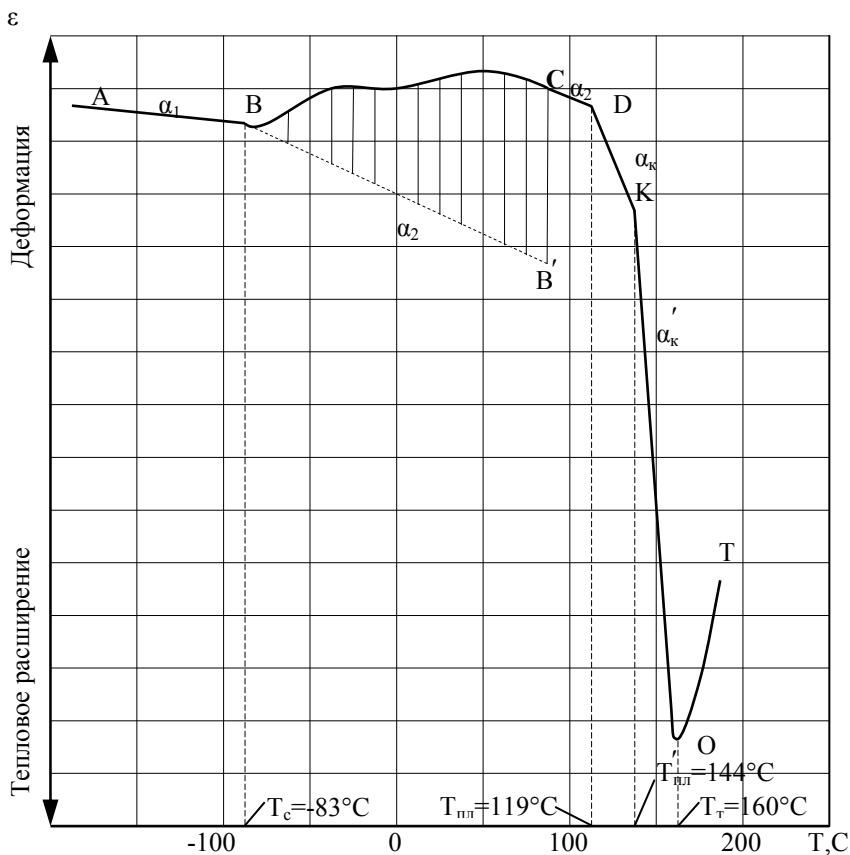


Рис. 1. Термомеханическая кривая исходного образца АБС-сополимера.
 Направление испытания || направлению жидкофазной экструзии ($T_{эк} = 190\pm 210^\circ\text{C}$)

Разработанная структурная модель полимера использовалась при создании композиционных материалов на основе АБС, отвечающих требованиям технологического процесса обработки их давлением в твердой фазе методами пластического деформирования.

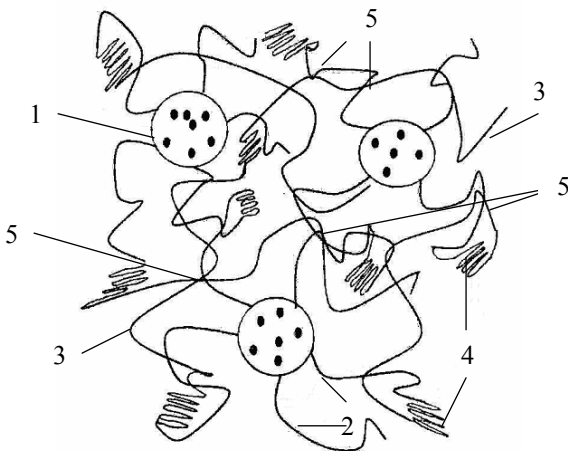


Рис. 2. Схематическая модель структуры АВС – сополимера:

- 1 – полибутадиен с включением САН
- 2 – цепи привитого САН
- 3 – проходные цепи САН
- 4 – кристаллиты ПС и САН
- 5 – физические узлы ПС и САН

Список литературы

1. Баронин, Г.С. Переработка полимеров в твердой фазе. Физико – химические основы / Г. С. Баронин, М.Л. Кербер, Е.В. Минкин, Ю.М. Радько. – М: Машиностроение – 1, 2002. – 320 с.
2. Ольхов Ю.А. Алляров С.Р. Термомеханическая спектроскопия – новая комплексная диагностика молекулярно – топологического строения политетрафторэтилена. Черноголовка, 2002. Изд. ИПХФ РАН. 51 с.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по образованию РФ в рамках целевой отраслевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» в 2006 – 2007 г.г.
Код проекта: 2.2.1.1.5355.

Приводы и системы управления технологическими машинами и оборудованием

Руководитель программы д.т.н., проф. Ванин В. А.

Шапкин С. А., Зубчанинов Д. А.

ЗУБОРЕЗНЫЙ СТАНОК С ВНУТРЕННИМИ ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ СВЯЗЯМИ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С КРИВОЛИНЕЙНЫМ ЗУБОМ

Работа выполнена под руководством д.т.н., проф. Ванина В. А.

*ТГТУ, Кафедра «Технология машиностроения,
металлорежущие станки и инструменты»*

Зубострогальный станок модели 5284 предназначен для нарезания крупных конических колес диаметром до 1500 мм и модулем до 25 мм. Станок работает строганием одним резцом методом обкатки с непрерывным делением. Принцип работы станка иллюстрирует рис. 1.

Кривошипно-шатунный механизм, смонтированный в люльке станка, сообщает резцу возвратно-поступательное движение по траектории a_0b_0 , направление которой устанавливается в зависимости от заданного угла спирали β в средней точке зуба. Заготовка связана кинематической цепью с валом кривошипа и вращается с ним согласованно и непрерывно так, что одному обороту вала кривошипа соответствует поворот заготовки на один зуб. Вследствие этого резец при каждом рабочем ходе попадает в соседнюю впадину, обходит в процессе нарезания все впадины последовательно, снимая в каждой из них по стружке. Во время обратного хода резец отводится от заготовки.

Получающуюся на начальном конусе заготовки линию зуба можно установить, рассматривая взаимодействие резца с разверткой этого конуса на плоскость, перпендикулярную к оси вращения люльки. Одному двойному ходу резца соответствует поворот развертки на $\frac{1}{z_c}$ оборота

($z_c = \frac{z}{\sin \varphi}$). В результате сочетания неравномерного движения резца

вдоль прямолинейной траектории с равномерным вращением развертки на ней будет очерчена линия a_1b_1 , которая может быть линией зуба производящего колеса; она относится к синусоидальным кривым и имеет переменную кривизну с точкой перегиба в середине.

Чистовое нарезание колес на станке осуществляется резцами прямолинейного профиля методом обкатки. Для этого люльке станка сообщается медленное вращение – круговая подача, а заготовке – дополнительное вращение через дифференциал станка, согласованное с вращением люльки как движение обкатки.

Недостатком зубострогального станка модели 5284 является значительная протяженность цепи обката, составленной из механических звеньев, сложность конструкции, значительная металлоемкость.

Применение в цепи обката гидравлических связей на основе гидравлического шагового привода поможет: повысить точность цепи за счет сокращения ее протяженности, значительно упростить конструкцию станка и снизить его металлоемкость.

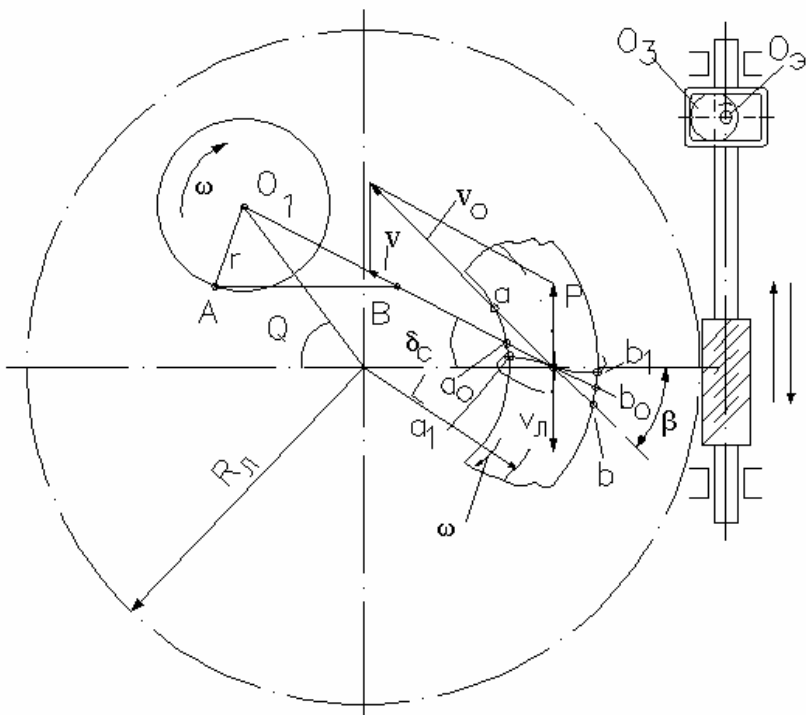


Рис. 1. Схема обработки конического зубчатого колеса на станке 5284

На рисунке 2 показана схема гидравлической связи в цепи обката зуборезного станка для нарезания конических зубчатых колес со спиральным зубом.

Гидравлическая цепь обката включает в себя инструмент 12, размещенный на люльке 6 станка и совершающий возвратно-поступательное движение от электродвигателя Д через звено настройки i ; заготовку 7, связанные между собой в определенной кинематической зависимости.

Люлька представляет собой конструктивно плоское производящее колесо, получает вращение от гидравлического шагового двигателя 9, кинематически связанного с ней посредством червячной передачи 5 и управляемого генератором гидравлических импульсов 11, золотниковая втулка с рабочими щелями которого получает вращение от гидродвигателя 8.

Вращение заготовки 7 осуществляется от шагового гидродвигателя 10, управляемого генератором гидравлических импульсов 3, золотниковая втулка с рабочими щелями которого получает вращение от зубчатого колеса 4.

Юркевич А. В.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ СТАНКОВ СО СТУПЕНЧАТЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ СКОРОСТИ

Работа выполнена под руководством к.т.н., доц. Фидарова В. Х.

*ГГТУ, Кафедра «Технология машиностроения,
металлорежущие станки и инструменты»*

Электромеханические приводы в современных металлорежущих станках остаются основным видом привода главного движения и привода подач. Их усовершенствование в основном осуществляется введением в механическую передачу элементов электро- и гидроавтоматики и сервоприводов, а также бесступенчатых фрикционных вариаторов.

В конструкциях металлорежущих станков широкое применение нашли системы однорукояточного, селективного и преселективного управлений. Так, селективным однорукояточным управлением, позволяющим быстро установить любую из 18 ступеней скорости шпинделя, оснащен главный привод гаммы консольно-фрезерных станков. Система однорукояточного управления механическим приводом движений суппорта в четырех направлениях (с переключением быстрого подвода на рабочую подачу и обратно) введена в приводы подач токарно-винторезных станков. Однорукояточное управление механическими приводами (с коробками передач, имеющими передвижные блоки зубчатых колес) повышает производительность станков и облегчает условия труда, но не решает задачу автоматизации управления переключением скоростей. Эта задача решается при использовании в станках компактных конструкций бесступенчатых фрикционных передач и многодисковых электромагнитных муфт.

Автоматизация изменения скорости вращения шпинделя и скорости подачи переключением электромагнитных муфт введена в механическом приводе токарно-револьверных станков малых и средних размеров (скорость изменяется с помощью командоаппарата при повороте револьверной головки). Такая система привода облегчает управление и улучшает производные процессы.

Ранее выпускаемые муфты (в частности харьковским заводом «Электростанок») передающие момент от 1 до 100 кгм перестали удовлетворять требованиям промышленности. В результате чего разработаны новые конструкции нормализованных многодисковых электромагнитных и гидравлических муфт. Они выполнены 20 габаритов и могут передавать моменты от 0,25 до 1600 кгм. Их конструкции имеют значительное ко-

личество модификаций: с магнитопроводящими и с вынесенными дисками, с контактным и бесконтактным токопроводом. Разработаны быстродействующие многодисковые муфты с вынесенными дисками для следящих приводов. В муфтах новых конструкций использованы высококачественные магнитные и фрикционные материалы, новые типы пластмасс и обмоточного провода, что создает основу надежности и долговечности этих устройств.

Создание таких муфт дало предпосылки для разработки унифицированных систем регулируемых механических приводов для применения их в станках различных групп с различной универсальностью и степенью автоматизации. Возможность такой унификации явилась следствием принципа дистанционного управления, допускающего размещение узлов привода в станке без жестких конструктивных связей между собой и с общей системой управления. Механический привод легко связывается с гидравлическим, что дает перевод металлорежущего оборудования на автоматизированное управление.

В основу конструкции унифицированных коробок передач с дистанционным управлением положена кинематическая схема, обеспечивающая различные модификации коробок с количеством ступеней скорости от 4 до 18 и соответственно с диапазоном регулирования от 2,5 до 50. Унифицированный ряд, состоящий из коробок передач семи габаритов, рассчитан на передачу мощностей от 1,5 до 55 кВт, преимущественно в главном приводе. Для переключения передач используются электромагнитные муфты с магнитопроводящими дисками и бесконтактным токопроводом или гидравлические многодисковые муфты.

На основе конструкций указанных коробок передач созданы типовые системы механического регулируемого главного привода для токарно-винторезных, револьверных, карусельных и других станков. Примером применения унифицированной 12-ступенчатой коробки передач служит токарно-винторезный станок мод.1А616. В схеме разделенного главного привода этого станка при переборе 1:8 коробка обеспечивает общий диапазон регулирования 200. Движениями шпинделя управляют с помощью клавишного пульта, размещенного на суппорте. Нажатием соответствующих клавиш осуществляется пуск, остановка и реверс главного двигателя, включаются и переключаются (на ходу и под нагрузкой) любая из 12 ступеней скорости, выключается вращение шпинделя (с одновременным быстрым торможением) и осуществляется толчковое движение шпинделя.

В итоге, в развитии электромеханического привода можно отметить следующие основные тенденции: 1) его агрегатизация; 2) сокращение количества органов ручного управления (рукояток и маховичков) и разработка механизмов однорукояточного управления с селективным и пре-

селективным действием; 3) введение в механический привод электро- и гидросервоприводов, механизующих и автоматизирующих процессы управления, а также вариаторов и электромагнитных муфт; 4) управление электромеханическим приводом с помощью ЭВМ.

Информационные системы технологических машин

Руководитель программы д.т.н., проф. Малыгин Е. Н.

Краснянский М. Н., Чаукин Ю. В.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ И ТРЕНИНГА ПЕРСОНАЛА ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Работа выполнена под руководством к.т.н., доц. Краснянского М. Н.

*ТГТУ, Кафедра «Автоматизированное проектирование
технологического оборудования»*

Появление и широкое распространение компьютерной техники привело к значительному изменению подходов к обучению и проверке знаний технического персонала промышленных предприятий, а также появлению новых возможностей, связанных с применением различных программных средств, предназначенных для тестирования работников предприятий, тренажеров, целых обучающих комплексов. Их использование значительно уменьшает затраты и улучшает качество обучения персонала, предоставляет возможность получения практических навыков работы в нестандартных и аварийных ситуациях.

Данные обучающие средства могут широко использоваться на предприятиях химической промышленности для обучения сотрудников основам работы с химико-технологическим оборудованием.

В настоящее время на кафедре «Автоматизированное проектирование технологического оборудования» Тамбовского государственного технического университета ведется разработка автоматизированной системы проверки знаний и тренинга персонала химических предприятий. Данная система разрабатывается на базе среды программирования *LabVIEW* компании *National Instruments*, США.

В создаваемую систему входят следующие компоненты:

1. Тренажер для отработки действий обслуживающего персонала при работе на химико-технологической системе при выпуске продукции.

2. Тренажер для отработки действий обслуживающего персонала при локализации аварийных ситуаций.

3. Описания химико-технологических процессов, используемых на производстве.

4. Модуль для тестирования знаний обучающегося.

5. Справочная система по работе с тренажером и модулем тестирования.

Среда *LabVIEW* предоставляет широкие возможности для создания интерактивного интерфейса пользователя, имитируя пульт управления технологическим оборудованием, и позволяет наглядно представить его функционирование (с использованием графических схем технологических процессов, анимации и т.п.). Создаваемая система имеет открытую архитектуру, что позволяет легко добавлять новые элементы и технологические процессы, расширяя ее функциональные возможности. В системе предусматривается возможность получения данных и управления технологическим оборудованием, что позволяет создавать «виртуальные лаборатории» для удаленного управления технологическим оборудованием.

Создаваемая система способна повысить качество обучения персонала и квалификацию работников, проверить их знания и навыки без использования реального технологического оборудования. Данная система также может применяться для обучения студентов в учебных заведениях, выпускающих специалистов для химической промышленности и смежных отраслей.

В работе представлен вариант тренажера, имитирующий управление технологической схемой для производства пигмента бордо (Рис.1). Разработана передняя панель тренажера, на которой расположены органы управления технологическим процессом. Ход процесса отображается на передней панели индикаторами, показывающими уровень жидкости в аппаратах, состояние запорной арматуры на трубопроводах, наличие сырья и промежуточных продуктов в трубопроводах, а также режим работы перемешивающих устройств (включено/выключено).

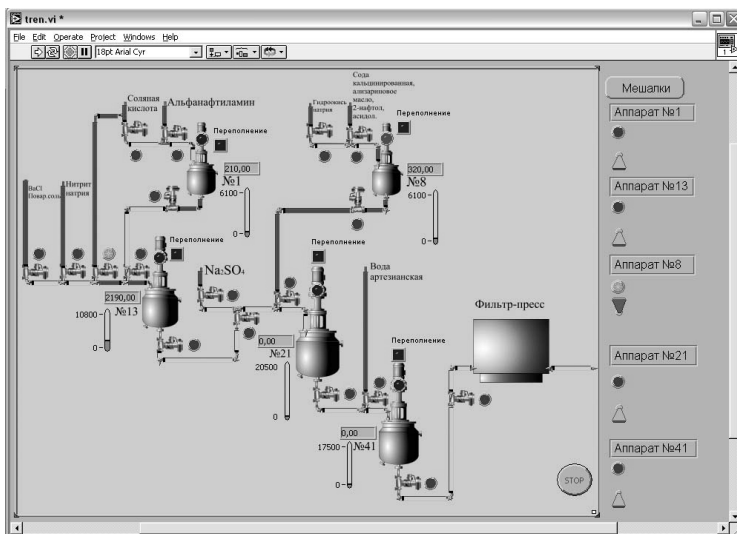


Рис. 1. Передняя панель тренажера

Важной особенностью разрабатываемого тренажера является возможность проведения обучения и тестирования персонала дистанционно через *Internet* с помощью обычного Интернет-браузера (*Internet Explorer*, *Netscape Navigator*, *Opera* и др.), без установки дополнительного программного обеспечения. Такая возможность является важным преимуществом среды *LabVIEW*. Для описанного ранее прототипа тренажера возможность работы через *Internet* уже реализована в полном объеме. http://www.gaps.tstu.ru/win-1251/lab/magistr/trenazher/win-1251/ktt_ogl.htm

Результатом работы должна стать комплексная система, объединяющая в себе возможности тестирования работников для выявления уровня знаний технологических процессов, модулей тестирования в штанных и нештатных ситуациях, повышающих навыки персонала, а также подробной справочной системы как по работе с приложением, так и по используемым в тренажере технологическим процессам.

КАЛЕНДАРНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ВЫПУСКА ПРОДУКТОВ НА МНОГОАССОРТИМЕНТНОЙ ГИБКОЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Работа выполнена под руководством к. т. н., доц. Немтинова В. А.

ТГТУ, Кафедра «Автоматизированное проектирование
технологического оборудования»

Для малотоннажных производств химической и смежных отраслей промышленности (органических промежуточных продуктов и красителей, лакокрасочных материалов, химических реактивов и особо чистых веществ, пестицидов, товаров бытовой химии и др.) характерен широкий обновляющийся ассортимент продукции. [1] Химико-технологические системы (ХТС) таких производств организованы преимущественно по периодическому способу. Календарное планирование выпуска продуктов на действующей гибкой химико-технологической системе (ГХТС) способно уменьшить эксплуатационные затраты и время выпуска продукции.

Рассмотрим постановку задачи календарного планирования. Допустим необходимо выпустить n продуктов за время T_{lim} на действующей ГХТС. P_i - i -тый продукт ($i = \overline{1, n}$). Календарное планирование выпуска продуктов будет заключаться в нахождении последовательности выпуска n продуктов за заданное время T_{lim} , при которой обобщенный критерий

$$F(v) = \sum_{i=1}^3 (\rho_i \omega_i(v)) \rightarrow \min$$

(где $v \in V$ - множество допустимых последовательностей выпуска продуктов) был бы минимален и выполнялись следующие условия:

- 1) Количество персонала необходимого для выпуска продуктов не должно превышать имеющееся кол-во персонала в цехе: $N_j \leq N_j^{\text{lim}}$, $j = \overline{1, m}$ - вид профессии, где N_j - максимальное кол-во персонала необходимого при выпуске продуктов, N_j^{lim} - имеющееся кол-во персонала в цехе;
- 2) Кол-во сырья к моменту выпуска продукта не должно быть меньше имеющегося количества на складе: $S_i \geq S_i^{\text{skl}}$, $i = \overline{1, p}$ - вид сырья;
- 3) Максимальная энергетическая нагрузка на цех при выпуске продуктов не должна превышать допустимую нагрузку: $\max(E_1, E_2, \dots, E_l) \leq E^{\text{lim}}$;

- 4) Время выпуска всех продуктов должно быть не больше планового времени: $T \leq T_{\text{lim}}$.

Допущения:

- 1) расходы на подготовку исходного сырья для каждого продукта не зависят от времени выпуска продуктов;
- 2) Технологические маршруты фиксированы.

Критерий $F(v)$ включает три критерия, каждый из которых стремиться к минимуму: F_1 - критерий времени выпуска всех продуктов (ч), F_2 - критерий переналадок (ч), F_3 - критерий нагрузки на оборудование (коэффициент использования оборудования).

$$F(v) = \sum_{i=1}^3 (\rho_i \omega_i(v))$$

Здесь ρ_1, ρ_2, ρ_3 - весовые коэффициенты, $\omega_i(v)$ - монотонные функции, преобразующие каждый критерий к безразмерному виду [2]

$$\omega_i(v) = \frac{F_i(v) - F_i^0}{F_i^{\text{max}} - F_i^0}.$$

Общее время, затрачиваемое на производство продуктов, можно сократить выпуская их группами, объединяя в группу те продукты, для производства которых не используется одно и то же оборудование. Если в следующем месяце будут выпускаться такие же продукты как и в текущем, то перенося выпуск продукта с наибольшим временем перестраивания на конец месяца, а в начале следующего начав выпускать его же, получим экономию во времени.

Пусть аппаратный состав R химико-технологической системы представлен пятью типами аппаратов $R = \{R_1, R_2, \dots, R_5\}$, на которых в общей сложности производится пять продуктов $P = \{P_1, P_2, \dots, P_5\}$, причем согласно технологическим регламентам, аппараты системы заняты под производство продуктов выпускаемого ассортимента следующим образом:

$$P_1: \{R_2, R_3\}; P_2: \{R_1, R_4\}; P_3: \{R_3, R_5\}; P_4: \{R_5\}; P_5: \{R_1, R_2, R_3\};$$

Первый этап решения задачи заключается в классификации продуктов по признаку совпадения технологического оборудования, т.е. в проверке условия:

$$\{R\}_k \cap \{R\}_l; \quad k = \overline{1, n}; \quad l = \overline{1, n}.$$

Это можно осуществлять перебирая продукты либо лексикографически [1], либо случайным образом, используя генератор случайных чисел.

После перебора всех продуктов получаем следующие допустимые бинарные комбинации продуктов: $P_1P_2, P_1P_4, P_2P_3, P_2P_4, P_4P_5$, остальные комбинации недопустимы. Далее следует попытаться уменьшить число групп продуктов, объединив, если это возможно, продукты по три, четы-

ре и т.д. В результате классификации продуктов по признаку используемого оборудования были получены 3 группы: 1 группа- $\{P_2, P_3\}$, 2 группа- $\{P_1, P_2, P_4\}$, 3 группа- $\{P_4, P_5\}$.

Второй этап решения задачи заключается в оптимизации сетевой модели выпуска продукции в ГХТС, т.е. в минимизации обобщенного критерия при ограничениях на трудовые, энергетические, материальные, временные ресурсы. Сначала проверим, выполняются ли ограничения для каждого $v \in V$. Если ограничения не выполняются, то необходимо разбить данную комбинацию на комбинации (например комбинацию P_1, P_2, P_4 разбить на P_1P_2 и P_2P_4), являющиеся подмножеством данной, и проверить выполняемость ограничений. Данное действие продолжаем до тех пор, пока не будут выполняться все ограничения.

Допустим, в нашем примере все ограничения выполняются, тогда нам необходимо определить последовательность выпуска продуктов. Последовательность выпуска продуктов будем определять методом перебора всех последовательностей из V . Выберем случайным образом последовательность выпуска продуктов, например $P_1P_2P_4, P_2P_3$ и P_4P_5 . Рассчитываем три критерия, а затем обобщающий для них. Далее выбираем другую последовательность и повторяем те же действия что и для первой. После перебора всех возможных вариантов выбираем тот вариант, при котором обобщенный критерий $F(v)$ будет минимален на множестве допустимых последовательностей выпуска продуктов V .

Определяем критерий времени F_1 . Общее время выпуска всех продуктов будет определяться:

$$T = \sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n t_{ik}^p, \text{ где } t_{ik}^p - \text{ время, необходимое на перестраивание}$$

ГХТС при смене выпуска продукта i на продукт k .

Время перестраивания зависит от кол-ва изменяемых связей и времени промывки системы: $t_{ik}^p = n \cdot t_i^p + t_{cl}$, где t_i^p - время переналадки одной связи, n - количество связей, t_{cl} - время чистки оборудования.

Определяем критерий переналадок F_2 . В соответствии с этим критерием требуется выбрать такую последовательность выпуска продуктов, при которой число переналадок и чисток оборудования было бы минимальным, а следовательно, снижалось время и затраты в стоимостном выражении на переходы с одного продукта на другой при выпуске требуемого ассортимента:

$$T_{per} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n nper_{ik} \times t_{ik}^{cls} \rightarrow \min$$

Где $nper_{ik}$ - число переходов с продукта i на продукт k , t_{ik}^{cls} - время чистки и переналадки оборудования при переходе с i на k , ч.

Определяем критерий нагрузки на оборудование F_3 . Следует иметь в виду, что интенсивная эксплуатация оборудования приводит к его быстрому износу, что отражается на эффективности работы предприятия. С другой стороны, излишние простои оборудования отражаются негативно на производственных затратах и времени выпуска, а следовательно, на прибыли. Тогда F_3 :

$K_e = f(t^{prost}, c^{rem}) \rightarrow \min$, где K_e - коэффициент использования оборудования, t^{prost} - простои оборудования с учетом чистки и переналадки, ч; c^{rem} - затраты на ремонт оборудования, руб.

В рассматриваемом примере оптимальный вариант выпуска продуктов будет при следующей последовательности групп продуктов: $P_1P_2P_4$, P_4P_5 и P_2P_3 .

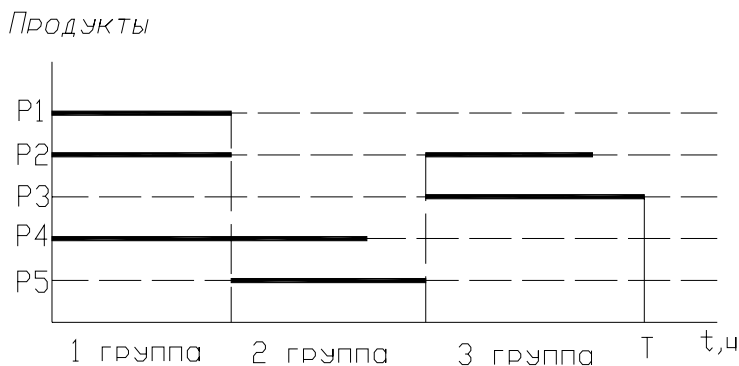


Рис. 1. Временной график выпуска продукции на ГХТС

Список литературы

1. Кафаров В.В., Макаров В.В. Гибкие автоматизированные производственные системы химической промышленности М.:Химия, 1990. -320 с.
2. Михалевич В.С., Волкович В.Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. М.: Наука, 1982.

Мокрозуб В. Г., Чуксин А. П.

ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОСТРОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС

Работа выполнена под руководством к. т. н., доц., Мокрозуба В. Г.

*ТГТУ, Кафедра «Автоматизированное проектирование
технологического оборудования»*

Технология обработки цилиндрических зубчатых колёс зависит от большого числа факторов, основными из которых являются следующие.

1) Форма цилиндрического колеса, влияющая на выбор оборудования и построение технологического процесса обработки заготовки (до обработки зубьев), а также на выбор технологических баз.

2) Форма и расположение зубчатого венца влияют на выбор метода обработки зубьев и установление баз на этих операциях. Вследствие значительного объёма обработки зубьев в общей трудоёмкости обработки колеса форма зубчатого венца является одним из основных показателей технологичности детали.

3) Количество зубчатых венцов на колесе влияет на характер операций обработки заготовок, а также на построение и число операций обработки зубьев. Взаимное расположение отдельных венцов определяет варианты обработки зубьев и типы используемого инструмента.

4) Форма зубьев колеса (прямые или косые) не влияет на построение технологии обработки детали, а только определяет выбор станка для обработки зубьев, а иногда и тип инструмента.

5) Материал колеса и характер его термической обработки при отсутствии отделки зубьев после термической обработки определяет достижимую точность зубчатого венца.

6) Точность зубчатого венца, с учётом материала и характера термической обработки колеса, является основным показателем технологичности детали. Изготовление колёс, точность которых может быть обеспечена только зубошлифованием, целесообразно лишь при невозможности другого конструктивного решения передачи.

7) Габаритные размеры зубчатых колёс влияют на выбор размеров оборудования, на выбор типа станков для обработки зубьев и инструментов, на достижимую точность обработки венца и на способы установки колёс на станках, особенно при обработке зубьев.

8) Вид производства влияет на выбор типа оборудования и на содержание отдельных операций и оснащение, что определяет построение технологии обработки колеса, особенно на этапе изготовления заготовки. Тип исходной заготовки (поковка, штамповка,

Тип исходной заготовки (поковка, штамповка, пруток, отливка), зависящий от вида производства и размеров колеса, влияет на построение и трудоёмкость первых операций изготовления заготовки.

Технологии изготовления цилиндрических зубчатых колёс, применяемые на заводах, отличаются друг от друга. Большое количество факторов может быть этому причиной, например, состав оборудования, зуборезных инструментов имеющихся на заводе.

На данный момент существует множество различных информационных автоматизированных систем расчёта и проектирования зубчатых колёс, например, пакет КОМПАС-ГРАФИК, T-FLEX и др. Но не существует интеллектуальной информационной системы способной позволять пользователям (инженерам) использовать для проектирования зубчатых колёс ту технологию, которая используется на данном заводе.

Цель работы:

- 1) разработать информационную систему автоматизированного выбора технологии изготовления цилиндрических зубчатых колёс;
- 2) разработать информационно-логические модели отдельных деталей (долбяков, червячных фрез и т.д.)
- 3) разработать информационно-логическую модель выбора технологии изготовления цилиндрических зубчатых колёс;
- 4) разработать библиотеку параметрических 3D моделей зуборезных инструментов;

На рис. 1 представлена структура разрабатываемой системы.

Управляющая программа – предназначена для определения последовательности вызова отдельных модулей системы и управления их взаимодействием.

Модуль выбора технологий изготовления зубчатых колёс на основании разработанной информационно-логической модели построения технологий обработки колёс подберёт оптимальную технологию для изготовления заданного колеса. Данный модуль является экспертной системой.

Информационно-логическая модель (ИЛМ) построения технологий обработки колёс включает в себя следующие составляющие:

- реестр элементов;
- реестр признаков отдельных элементов;
- набор правил, связывающий значения признаков одних элементов, со значениями признаков других элементов;

- набор условий позволяющих выбрать оптимальную технологию изготовления.

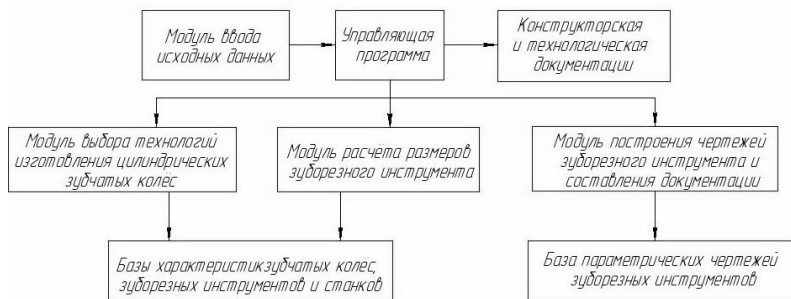


Рис. 1. Структура информационной системы

Рассмотрим некоторые компоненты ИЛИМ.

$E = \{e_j\}$ - множество элементов зубчатых передач и зуборезных инструментов (реестр элементов).

e_0 - ведущее цилиндрическое колесо, e_1 - ведомое цилиндрическое колесо, e_2 - червячная фреза, e_3 - долбяк, e_4 - модульная фреза, e_5 - гребёнка, e_6 - многорезцовая головка, e_7 - дисковая фреза, e_8 - зубострогальный резец, e_9 - пальцевая фреза и т.д.

$P = \{p_i\}$ - множество признаков элементов зубчатых передач и зуборезных инструментов (реестр признаков отдельных элементов).

Признаки ведущего цилиндрического колеса:

e_0 . p_0 - тип колеса, e_0 . p_1 - форма зубчатого венца, e_0 . p_2 - материал, e_0 . p_3 - точность изготовления, e_0 . p_4 - масштабность выпуска, e_0 . p_5 - форма зуба, e_0 . p_6 - тип зацепления, e_0 . p_7 - характер зацепления, e_0 . p_8 - характер термической обработки, e_0 . p_9 - передаточное отношение,

e_0 . p_{10} - число зубьев, e_0 . p_{11} - модуль нормальный, e_0 . p_{12} - делительный диаметр, e_0 . p_{13} - основной диаметр, e_0 . p_{14} - диаметр вершин зубьев, e_0 . p_{15} - диаметр впадин зубьев, e_0 . p_{16} - модуль торцевой, e_0 . p_{17} - делительное межосевое расстояние, e_0 . p_{18} - межосевое расстояние,

e_0 . p_{19} - коэффициент смещения, e_0 . p_{20} - начальный диаметр, e_0 . p_{21} - угол профиля зуба в точке на окружности вершин, e_0 . p_{22} - делительный угол наклона, e_0 . p_{23} - угол профиля в нормальном сечении, e_0 . p_{24} - высо-

та зуба, $e_0. p_{25}$ – коэффициент высоты головки, $e_0. p_{26}$ – шаг зацепления в нормальном сечении.

Признаки долбяка:

$e_3. p_0$ – тип долбяка, $e_3. p_1$ – форма зуба, $e_3. p_2$ – материал, $e_3. p_3$ – класс точности, $e_3. p_4$ – модуль,

$e_3. p_5$ – номинальный угол наклона линии зубьев, $e_3. p_6$ – делительный диаметр, $e_3. p_7$ – основной диаметр, $e_3. p_8$ – диаметр вершин зубьев, $e_3. p_9$ – диаметр впадин зубьев, $e_3. p_{10}$ – число зубьев,

$e_3. p_{11}$ – номинальная нормальная толщина зуба, $e_3. p_{12}$ – высота долбяка, $e_3. p_{13}$ – длина зубьев,

$e_3. p_{14}$ – минимальный радиус кривизны профиля зубьев, $e_3. p_{15}$ – толщина зуба на делительной окружности и т.д.

Выбор типа долбяка для нарезания зубьев цилиндрического колеса:

Правило 1.

Если ($e_0. p_5 =$ прямозубое) и ($e_0. p_6 =$ внутреннее или внешнее), то ($g_2. p_0 =$ дисковый) и ($g_2. p_1 =$ прямозубый).

Правило 2.

Если ($e_0. p_5 =$ косозубое) и ($e_0. p_6 =$ внутреннее или внешнее), то ($g_2. p_0 =$ дисковый) и ($g_2. p_1 =$ косозубый).

Правило 3.

Если ($e_0. p_5 =$ прямозубое) и ($e_0. p_6 =$ внутреннее), то ($g_2. p_0 =$ хвостовой) и ($g_2. p_1 =$ прямозубый).

Правило 4.

Если ($e_0. p_5 =$ косозубое) и ($e_0. p_6 =$ внутреннее), то ($g_2. p_0 =$ хвостовой) и ($g_2. p_1 =$ косозубый).

Таким образом составляются правила для выбора оптимальной технологии изготовления колеса.

Рухов А. В.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДСОРБЦИИ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ГАЗОВ

Работа выполнена под руководством д.т.н. Туголукова Е. Н.

*ТГТУ, Кафедра «Автоматизированное проектирование
Технологического оборудования»*

Поглотительная способность адсорбентов может быть использована для хранения различных веществ в адсорбированном виде. На этом же принципе могут быть основаны дозирующие микроконцентраций различных газов, наиболее эффективные при крутой изотерме десорбции, например, в области капиллярно-конденсационного гистерезиса, способные «хранить и отдавать» значительное количество компонента с практически постоянной концентрацией в газовой фазе.

В настоящее время очень актуальна задача создания адсорбентов - аккумуляторов водорода или природного газа, способных при давлении 4–8 МПа удерживать эти газы в количествах, эквивалентных их содержанию в баллонах при давлении 15–20 МПа и десорбировать при атмосферном давлении. Это позволит заменить тяжелые стальные баллоны высокого давления на гораздо более легкие из высокопрочных армированных полимеров или композитов, и тем самым решить проблему перевода автотранспорта на экологически более чистое топливо – водорода или природного газа.

Рухов А. В.

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА СОБСТВЕННЫХ ЧИСЕЛ ЗАДАЧ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ДИФФУЗИИ

Работа выполнена под руководством д.т.н. Туголукова Е. Н.

*ТГТУ, Кафедра «Автоматизированное проектирование
технологического оборудования»*

В инженерной практике все чаще возникает необходимость использования решений дифференциальных уравнений в частных производных. При этом применение аналитических подходов является предпочтительным. Одним из универсальных аналитических методов является метод конечных интегральных преобразований, подробно рассмотренный в [1,2].

Применение аналитических решений задач в частных производных предполагает нахождение ряда собственных чисел. В общем случае требуется вычисление N последовательных положительных корней трансцендентного характеристического уравнения $f(x) = 0$. Использование ошибочных или полученных со значительными погрешностями значений собственных чисел приводит к недостоверным результатам расчетов в целом. Кроме того, во многих прикладных задачах рассчитывать массивы собственных чисел приходится многократно (иногда – десятки и сотни тысяч раз в ходе одного технологического расчета).

В связи с этим, алгоритм расчета собственных чисел должен удовлетворять следующим требованиям:

- нахождение N последовательных положительных корней характеристического уравнения с заданной степенью точности ε без пропуска корней и без нахождения решений, не являющихся корнями;
- высокая надежность работы для характеристических уравнений различной сложности;
- высокое быстродействие.

Данным требованиям отвечает разработанный численный метод расчета собственных чисел задач в частных производных.

Алгоритм предполагает предварительное преобразование характеристической функции к непрерывному виду.

В основу метода положена следующая концепция: по числовой оси с определенным шагом от отправной точки x_0 (минимальная положительная величина выполняющая условие: на интервале $(0, x_0)$ нет корней уравнения, как правило, $x_0 = \varepsilon$) с определенным шагом осуществляется движение в сторону положительного увеличения значения аргумента, пока на очередном шаге не будет найден изолированный корень; после

этого осуществляется уточнение решения до заданной точности. Используя в качестве следующей отправной точки правую границу первоначального интервала уточнения (интервал внутри которого существует решение уравнения и выполняется условие: длина интервала больше значения точности), процесс повторяется до тех пор, пока не будут вычислены все N последовательных положительных корней уравнения.

Общую задачу условно можно разбить на три подзадачи:

- 1) задача расчета значения шага;
- 2) задача определения интервала уточнения;
- 3) задача уточнения корня.

Рассмотрим теперь поподробнее каждую из подзадач.

Для расчета шага применяется алгоритм с переменным шагом. Суть

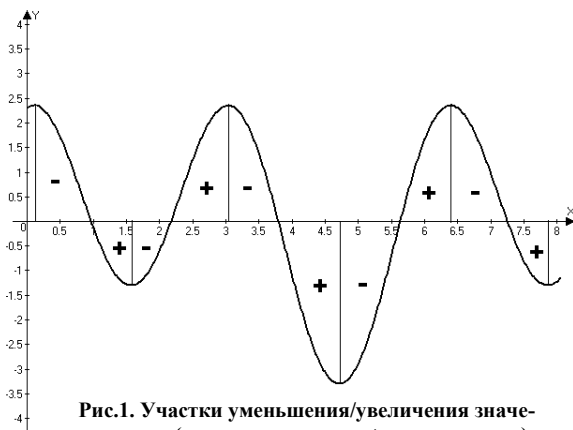


Рис.1. Участки уменьшения/увеличения значения шага («-» - уменьшение, «+» - увеличение)

алгоритма заключается в следующем: первоначально шаг имеет минимальное значение (ε), впоследствии он определяется как доля отношения значения значения предыдущего корня к его порядковому номеру, при удалении от найденного корня величина шагакратно увеличивается, а при приближении к вероятному корню – уменьшается (Рис.1). Для этого на каждом шаге вычисляются знаки функции и ее первой производной, и проверяются условия:

$$(f > 0) \cdot (f' > 0) + (f < 0) \cdot (f' < 0) - \text{увеличение шага;}$$

$$(f > 0) \cdot (f' < 0) + (f < 0) \cdot (f' > 0) - \text{уменьшение шага.}$$

Производная может быть найдена предварительно аналитически или использоваться ее конечноразностный аналог.

Такой подход позволяет, во-первых, увеличить скорость машинного счета, а, во-вторых, исключает возможность пропуска четного количества корней уравнения.

Для определения интервала уточнения применяется следующая теорема [3].

«Если непрерывная функция $f(x)$ принимает значение разных знаков на концах отрезка $[\alpha, \beta]$, т.е. $f(\alpha) \cdot f(\beta) < 0$, то внутри этого отрезка содержится по меньшей мере один корень уравнения $f(x) = 0$ т.е. найдется хотя бы одно число $\xi \in [\alpha, \beta]$ такое, что $f(\xi) = 0$.»

Уточнение корня уравнения осуществляется методом дихотомии [4] вследствие его высокой надежности.

Блок-схема алгоритма представлена на рис. 2.

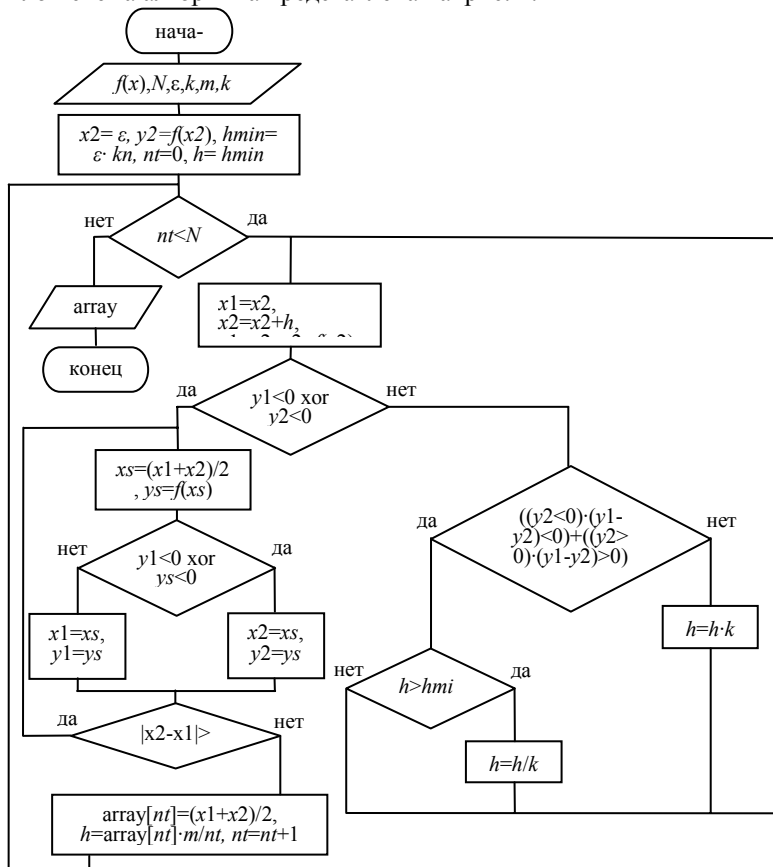


Рис. 2. Блок-схема алгоритма расчета собственных чисел

С целью увеличения скорости машинного счета при определении интервала уточнения, где имеется изолированный корень уравнения, относительно "медленная" операция умножения была заменена на две более "быстрые" логические операции, что позволило получить прирост скорости счета порядка 3,7%.

Условия и результаты испытаний представлены в табл. 1-3.

Т а б л и ц а 1

Постоянные условия

Коэффициенты			Точность, ϵ	Компилятор
k	m	kn		
3	0,1	50	10^{-6}	Borland Pascal v.7.0

Т а б л и ц а 2

Общий вид и коэффициенты характеристического уравнения

Общий вид характеристического уравнения						
$A \cdot \sin(B \cdot x + C) + D \cdot x \cdot \cos(E \cdot x + F) = 0$						
№ _{тп}	A	B	C	D	E	F
1	21,5	0,73	-0,01	-37,08	1,33	2
2	0,31	10,03	-20,04	-0,95	0,4	8,95
3	1,03	$2 \cdot 10^{-6}$	0	$8,8 \cdot 10^{-3}$	0,91	0

Т а б л и ц а 3

Результаты испытаний

№ _{тп}	Тип ЦП	Тактовая частота ЦП, МГц	Кэф. Уравнения, №	Кол-во корней	Время расчета, сек
1	AMD Am386SX	20.0	1	1000	66,13
				10000	734,74
			2	1000	74,53
				10000	726,22
			3	1000	62,39
				10000	636,32
2	Сугіх М II	333	1	1000	1,04
				10000	11,15
			2	1000	1,32
				10000	11,04
			3	1000	0,87
				10000	8,67
3	Intel Celeron-S	1000	1	1000	0,22
				10000	2,69
			2	1000	0,27
				10000	2,64
			3	1000	0,16
				10000	2,09

Список литературы

1. Туголуков Е. Н. Математическое моделирование технологического оборудования многоассортиментных химических производств: Монография. М.: Машиностроение, 2004. 100 с.
2. Филатова Е. Ю. Применение метода конечных интегральных преобразований для решения задач теплопроводности: Сборник статей магистрантов, Часть 1, Тамбов, 2005. - 144 с.
3. Толстов Г. П. Курс математического анализа: / Г. П. Толстов. Т. 1 – М.: Гостехиздат, 1954. – 494 с.
4. Демидович Б. П. Основы вычислительной математики: / Б. П. Демидович, И. А. Марон. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960. – 659 с.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОЖУХОТРУБЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Работа выполнена под руководством к.т.н., доц. Мокрозуба В. Г.

ГГТУ, Кафедра «Автоматизированное проектирование технологического оборудования»

Проектирование теплообменника это трудоемкий процесс, занимающий много времени. С другой стороны, этот процесс не сложный и однообразный: теплообменник состоит из небольшого числа элементов, характеристики которых заранее известны или легко определяются. Поэтому возникает задача упростить труд конструктора, переложив часть работы на компьютер. Для этого необходимо разработать систему автоматизированного проектирования кожухотрубчатых теплообменников.

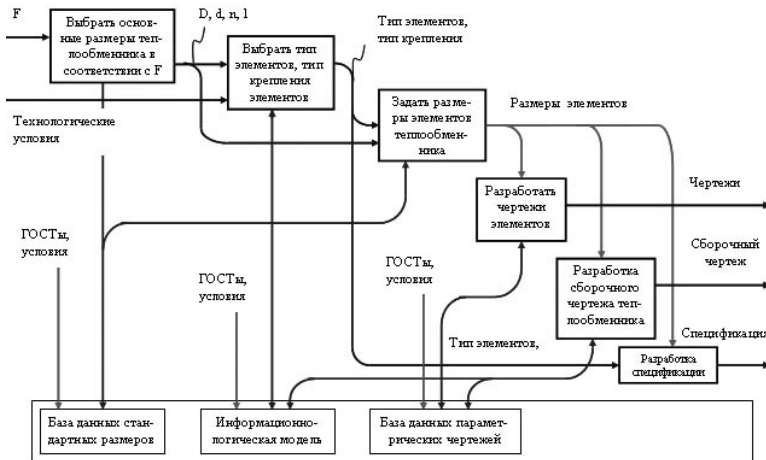


Рис. 1. Функциональная модель информационной системы проектирования кожухотрубчатых теплообменников

На рис.1 представлена функциональная модель этой системы. Она выполнена по методологии IDEF0. Эта модель отображает структуру и функции системы, а также потоки информации и материальных объектов, связывающих эти функции.

Как видно из рисунка структура системы представляет собой ряд взаимосвязанных блоков (функций). На каждом этапе происходит преобразование данных. Рассмотрим подробнее каждый из этапов.

На первом этапе происходит выбор основных размеров теплообменника D, d, n, l по заданной поверхности теплообмена F . Здесь D – диаметр кожуха, d – диаметр трубок, n – число трубок, l – длина трубок. Эти размеры характеризуют поверхность теплообмена, которая определяется ранее проведенным технологическим расчетом.

На втором этапе определяется тип элементов аппарата и тип их соединения. Исходными данными здесь являются определенные на первом этапе основные размеры теплообменника и условия проведения процесса, заданные как исходные данные к задаче проектирования.

На третьем этапе, зная основные размеры теплообменника и тип элементов, рассчитываются основные размеры всех элементов.

На четвертом, пятом и шестом этапах разрабатывается конструкторская документация, необходимая для изготовления теплообменника. Это сборочный чертеж, детализировка и спецификация. Чертежи строятся на основе ранее созданных параметрических моделей. Управляющими воздействиями здесь являются размеры элементов, полученные на третьем этапе, а также тип элементов из второго этапа.

Итак, результатом работы системы является конструкторская документация, которая разрабатывается путем поэтапного преобразования исходных данных (поверхность теплообмена и условия проведения процесса). Для работы системы необходима база данных стандартных размеров элементов теплообменника, база параметрических чертежей и информационно-логическая модель теплообменника, содержащая реестр элементов, реестр признаков отдельных элементов, набор правил, определяющих значения признаков одних элементов, в зависимости от значений признаков других элементов, набор условий позволяющих выбирать тип элементов и тип их соединения, набор условий, позволяющих позиционировать детали в пространстве. Рассмотрим все составляющие информационно-логической модели более подробно.

Реестр элементов представляет собой перечень всех элементов из которых состоит теплообменник:

- e_1 – кожух
- e_2 – днище
- e_3 – трубная решетка
- e_4 – труба
- e_5 – перегородка
- e_6 – компенсатор
- e_7 – устройства ввода\вывода
- e_8 – фланцы

- e_9 – отбойник
- e_{10} – опоры
- e_{11} – устройства для строповки
- e_{12} – прокладка фланцевого соединения
- e_{13} – стяжка
- e_{14} – болт
- e_{15} – гайка

Реестр признаков элементов включает в себя все характеристики, которыми обладает тот или иной элемент теплообменника (размеры, тип, материал и д.р.) Например, признаками компенсатора являются:

- e_{6,p_1} – тип компенсатора
- e_{6,p_2} – диаметр в месте сопряжения с кожухом
- e_{6,p_3} – диаметр компенсатора (линзы)
- e_{6,p_4} – толщина стенки компенсатора
- e_{6,p_5} – ширина компенсатора
- e_{6,p_6} – ширина линзы
- e_{6,p_7} – расстояние до компенсатора
- e_{6,p_8} – материал компенсатора

Набор правил определения признаков элементов в большинстве случаев реализуется в виде табличных зависимостей. Например, если $e_{1,p_1} = 630$ мм, то $e_{1,p_6} = 200$ мм, где e_{1,p_1} – диаметр кожуха; e_{1,p_6} – диаметр отверстий в кожухе.

Правила определения типа элементов рассмотрим на примере фланцев:

Правило 1:

Если $p \leq 2,5$ МПа \wedge (-40 °С $\leq t \leq 300$ °С) – то тип фланцев – плоские приварные

Правило 2:

Если $p \geq 2,5$ МПа $\vee t < -40$ °С $\vee t > 300$ °С – то тип фланцев – приварные встык.

Правило 3:

если $p \leq 2,5$ МПа $\wedge t \leq 540$ °С, то уплотнительная поверхность – плоская;

Правило 4:

если $p \leq 0,6$ МПа \wedge (агрессивная \vee токсичная \vee взрывопожароопасная среда) $\wedge t \leq 540$ °С), то уплотнительная поверхность – выступ-впадина;

Правило 5:

если ($1,0$ МПа $\leq p \leq 20$ МПа) $\wedge t \leq 540$ °С \wedge (агрессивная \vee токсичная \vee взрывопожароопасная среда), то уплотнительная поверхность – шип-паз;

Правила позиционирования элементов в пространстве рассмотрим на примере модели позиционирования штуцера, дна и фланца (рис.2). Для этого введем следующие обозначения:

Os – ось; Gr – грань; Kг – кромка;

⊙ – соосность; \in – принадлежность; = – равенство

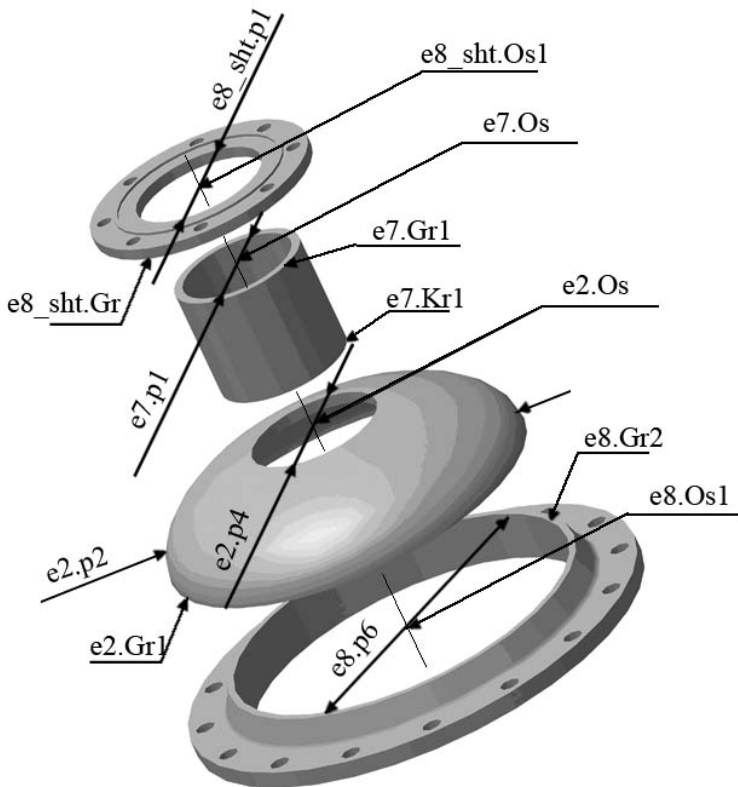


Рис. 2. Модель позиционирования штуцера, дна и фланца

Для правильного позиционирования элементов необходимо выполнить следующие условия:

$$e2.Os \odot e7.Os \odot e8.Os1 \odot e8_sht.Os1$$

$$e7.Kr1 \in e2.Kr1; e2.Gr1 \in e8.Gr2; e7.Gr1 \in e8_sht.Gr1$$

$$e7.p1 = e8_sht.p1; e2.p4 = e7.p1 + 2 * e7.p4; e2.p2 = e8.p6$$

Храпова А. В., Немтинов В. А.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Работа выполнена под руководством к.т.н., доц. Немтинова В. А.

*ТГТУ, Кафедра «Автоматизированное проектирование
технологического оборудования»*

Система оборотного водоснабжения представляет собой совокупность двух частей основную и вспомогательную. Основная часть это оборудование, предназначенное для производства целевого продукта. Вспомогательная часть это оборудование, которое обеспечивает воду необходимыми свойствами, подачу воды к основной схеме. Необходимыми элементами этой части являются: оборудование по очистки воды, оборудование по охлаждению (нагреву) воды, оборудование по смене, добавлению (в случае необходимости) и перекачке воды.

В общем виде задача автоматизированного проектирования замкнутых систем оборотного водоснабжения предусматривает: подбор типа, количества и геометрических размеров оборудования для каждой стадии выбранной схемы вспомогательной части замкнутой системы оборотного водоснабжения по найденным данным.

Исходными данными для расчетов являются: производительность основной схемы или отдельной ее ветви, напор в схеме или отдельной ее ветви, начальная и конечная температура целевого продукта и оборотной воды, поверхность теплообмена, характеристики аппарата, характеристики продукта и оборотной воды (вязкость, плотность, коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость) и др.

В формализованном виде задача заключается в поиске минимума целевой функции

$$I_{opt} = \min_{w \in W} F_w, \quad (1)$$

при выполнении ограничений:

$$t_{out} \leq t^{\lim}; c_{out} \leq c^{\lim} \quad (2)$$

и уравнений связи представляющие следующие математические модели:

- модель формирования вариантов структурных схем вспомогательной части системы оборотного водоснабжения

$$M_1(t_{in}, t_{out}, t^{\lim}, c_{in}, c_{out}, c^{\lim}, K) = 0, \quad (3)$$

- модель формирования вариантов аппаратурного оформления структурной схемы вспомогательной части системы обратного водоснабжения

$$M_2(t_{in}, t_{out}, t^{\lim}, c_{in}, c_{out}, c^{\lim}, k_{opt}, R) = 0. \quad (4)$$

Задача (1)-(4) относится к классу комбинаторных. При такой постановке ее решение невозможно получить в связи с высокой размерностью пространства переменных системы, сложностью построения математических моделей синтеза системы обратного водоснабжения и т.д. поэтому задачу синтеза системы обратного водоснабжения заменим последовательным рассмотрением двух подзадач меньшей размерности:

- формирование вариантов структур технологических схем вспомогательной части системы обратного водоснабжения и выбора оптимального из них (задача №1);

- расчет аппаратурного оформления для выбранных технологических схем(задача №2).

Задача №1 решается, как правило, редко вследствие сложности накладываемых на систему условий. Чтобы среди множества вариантов процесса выбрать оптимальный, необходимо четко определить критерии оценки, которые объединены в три группы: затраты, надежность и безопасность.

В настоящей работе предлагается следующая постановка задачи формирования варианта структуры технологической схемы: нужно подобрать структуру технологической схемы так, чтобы выполнялось условие

$$t_{in} \leq t^{\lim} ; c_{out} \leq c^{\lim} \quad (5)$$

справедливо следующее положение:

$$k_{opt} = \arg \min_{t \in T} Q_1(k). \quad (6)$$

В данной работе критерий оптимальности Q_1 представляет собой сумму взвешенных относительных потерь критериев: приведенных затрат на реализацию вспомогательной части, надежности функционирования системы, технологичности и безопасности процесса.

Интегральный критерий Q_1 равен

$$Q_1(k) = \sum_{i=1}^4 (\rho_i \omega_i(k)). \quad (7)$$

Здесь $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$ - весовые коэффициенты.

$$\rho = \{\rho_i\} = \left\{ \rho_i : \rho_i > 0, i=1, \dots, 4, \sum_{i=1}^4 \rho_i = 1 \right\}, \quad (8)$$

где $\rho_i \omega_i(k)$ - взвешенные потери по i -му критерию, $\omega_i(k) = \omega_i(F_i(k))$ ($i=1, \dots, 4, k \in K$)- монотонные функции, преобразующие каждую функцию цели $F_i(k)$ к безразмерному виду; $F_1(k)$ - экономиче-

ский критерий, включающий в себя укрупненные приведенные затраты на реализацию системы; $F_2(k)$ - критерий надежности функционирования системы; $F_3(k)$, $F_4(k)$ - соответственно критерий технологичности и критерий безопасности. Причем для функции $F_1(k)$ цели находим минимум, а для функций $F_2(k)$, $F_3(k)$, $F_4(k)$ - максимум.

Функции $\omega_i(k)$ ($k \in K$) имеют вид

$$\omega_1(k) = \frac{F_1(k) - F_1^0}{F_1^{\max} - F_1^0}, \quad \omega_i(k) = \frac{F_i(k) - F_i^0}{F_i^0 - F_i^{\min}}, \quad i = 2, \dots, 4. \quad (9)$$

Необходимо найти такой компромиссный вариант ($k \in K$), который не будет являться оптимальным ни для одной функции цели $F_1(k)$, $F_2(k)$, $F_3(k)$, $F_4(k)$, но окажется приемлемым для интегрального критерия $Q_I(k)$. Для вычисления которого используется информация об известных методах подготовки воды, хранящаяся в базе знаний.

Компромиссное решение в классическом варианте предполагает равенство минимально возможных взвешенных потерь $\rho_i \omega_i(k) = k_0^{\min}$, $i = 1, \dots, 4$. Поскольку в данной работе при поиске оптимального решения используется метод полного перебора, то достижение равенства взвешенных потерь $\rho_i \omega_i(k)$ является необязательным.

Следующим этапом решения задачи синтеза системы является выбор типового оборудования и его количества.

Данная задача формулируется следующим образом: для каждой стадии вспомогательной части системы оборотного водоснабжения необходимо найти такой тип, геометрические размеры и количество каждого типа оборудования, что при выполнении условий:

$$t_{out} \leq t^{\lim}; c_{out} \leq c^{\lim} \quad (10)$$

и уравнений связи, представляющих модели расчета технологического оборудования

$$M(G, t_{in}, t_{out}, t^{\lim}, \rho_{vod}, \mu_{vod}, c_{vod}) = 0 \quad (11)$$

справедливо следующее положение:

$$r_{opt} = \arg \min_{r \in R} F_2(r) \quad (12)$$

$$F_2(r) = \sum_{i=1}^M n_i (S_i^K + S_i^E) \quad (13)$$

Поскольку число типоразмеров стандартных аппаратов каждого типа невелико, при расчете необходимого числа аппаратов на каждой стадии целесообразно использовать метод полного перебора.

ОБОЗНАЧЕНИЯ:

$W = K \times R$ – множество вариантов синтеза системы оборотного водоснабжения,

K - множество вариантов схем системы оборотного водоснабжения,

R - множество вариантов аппаратурного оформления вспомогательной части системы оборотного водоснабжения,

t_{in} , t_{out} и t^{lim} - температуры на входе, выходе и минимальная температура на входе в систему производства основного продукта,

c_{in} , c_{out} и c^{lim} - концентрации на входе, выходе и минимальная концентрация на входе в систему производства основного продукта,

k_{opt} - оптимальный вариант технологической схемы вспомогательной части системы оборотного водоснабжения,

F_w - приведенные затраты на строительство и эксплуатацию w -го варианта системы водоснабжения,

S_i^K - капитальные затраты (стоимость одной единицы оборудования),

S_i^E - эксплуатационные затраты (энергопотребление одной единицы оборудования),

n_i - количество выбранного оборудования,

ρ_{vod} , μ_{vod} , c_{vod} - плотность, вязкость и теплоемкость воды.

Список литературы

1. Михалевич В.С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем/ Михалевич В.С., Волкович В.Л. М.: Наука, 1982
2. Айзерман М.А. Выбор вариантов. Основы теории. / Айзерман М.А., Алескеров Ф.Т. М.: Наука, 1990

Ломонова Н. А., Мокрозуб В. Г.

МЕТОДЫ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СОЗДАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ВАЛЫ И ОСИ

Работа выполнена под руководством к.т.н., доц. Мокрозуба В. Г.

*ТГТУ, Кафедра «Автоматизированное проектирование
технологического оборудования»*

Характерным признаком современного производства является частая сменяемость изделий. Однако требования к производительности и качеству изделий несколько не снизились, а, наоборот, значительно возросли. Это ведет к постоянному увеличению объемов и росту сложности проектных и конструкторских работ, связанных как с созданием самого изделия, так и с технической подготовкой его производства (ТПП), которая и является в настоящее время наиболее трудоемкой частью проектирования. ТПП заключается в разработке по имеющимся в техническом задании исходным данным конструкторской и технологической документации и выдаче заданий производственным подразделениям. Подготовка производства ведется исходя из имеющихся заказов и с использованием ресурсов, которыми располагает предприятие. ТПП проводят конструкторский (ОГК), технологический (ОГТ) и производственно-диспетчерский (ПДО) отделы.

Информационная система для автоматизации ТПП включает в себя следующие основные модули, которые реализуют (Рис.1):

1. Конструкторскую подготовку производства, т.е разработку конструкции изделия и создание чертежей отдельных деталей, чертежей общей сборки, оформление соответствующих спецификаций и др. видов конструкторской документации;
2. Технологическую подготовку производства;
3. Планирование ресурсов предприятия, заключающееся в разработке календарного плана выпуска, планирования потребности в ресурсах и разработке заданий производственным подразделениям.

Технологическая подготовка производства включает в себя следующие модули: анализ исходных данных, выбор вида заготовки, определение размеров заготовки, проектирование маршрутной технологии, оценка экономической эффективности разработанного процесса и оформление технологической документации.

Цель настоящей работы - проектирование маршрутно-операционной технологии. Это модуль А24. Он включает в себя 6 блоков: выбор техно-

логических баз, установление последовательности обработки поверхностей детали и подбор типа оборудования, определение размеров и расчет припусков на обработку, расчет режимов обработки на выбранных станках, определение нормы времени и квалификации работы



Рис. 1. Дерево узлов процесса ТПИ

Создание маршрутно-операционной технологии ведется с использованием типовых технологических процессов, что позволяет внести единообразие в технологию изготовления деталей данного класса, сократить число вариантов обработки до минимума с учетом вида производства и т.д. Типизация технологических процессов базируется на классификации деталей. Детали могут быть разбиты на следующие классы: цилиндрические детали вращения (валы и втулки), фасонные кулачки, стойки, мелкие крепежные детали, плоские детали вращения (диски), угольники, рычаги и т.д. В настоящей работе рассматриваются валы т.к. это один из наиболее распространенных классов деталей.

Задача проектирования технологических процессов (ТП) валов заключается в том, чтобы найти такие последовательности (маршруты) обработки деталей, при которых себестоимость изготовления этих деталей была бы минимальна и, выполнялись следующие ограничения:

1. Начальное состояние определяется набором параметров, характеризующих свойства заготовки: форма и размеры заготовки, марка материала, состояние поверхностного слоя

2. Конечное состояние соответствует характеристикам готовой детали по рабочему чертежу: конструкция детали, размеры, точность и шероховатость поверхностей, технические требования, оговаривающие расположение поверхностей и т.д.
3. Технические решения по содержанию ТП принимают в условиях той производственной среды, которая существует на предприятии. Ее определяют объемы выпуска и сроки выпуска изделий, совокупность имеющихся методов получения заготовок, набор типоразмеров и моделей технологического оборудования, набор существующей оснастки.

Основой для автоматизированного создания маршрутно-операционной технологии служит информационно-логическая модель (ИЛМ), которая по заданным параметрам позволяет построить последовательность проведения операций механической обработки (Рис.2). Заданные параметры – шероховатость поверхности, точность размера, точность формы и расположения поверхности поучаем с рабочего чертежа после анализа исходных данных.

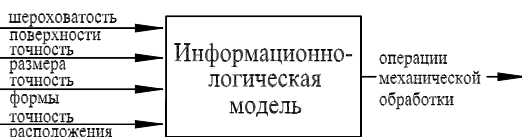


Рис. 2. ИЛМ проектирования маршрута обработки деталей

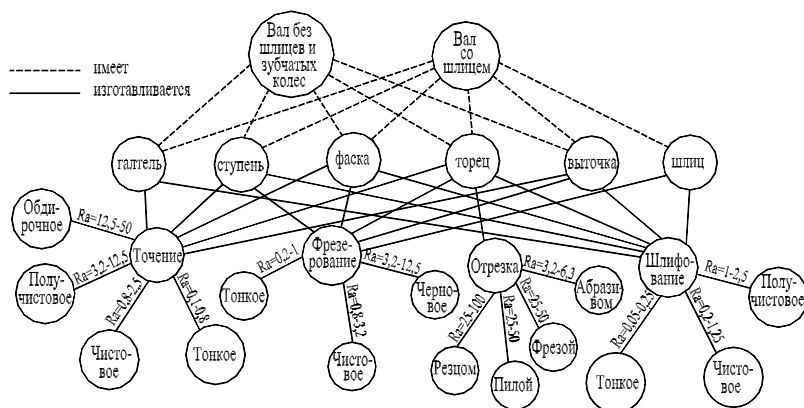


Рис. 3. Фрагмент семантической сети

ИЛМ строится с использованием методов искусственного интеллекта, одним из которых является представление знаний в виде семантической сети (Рис.3). Семантической сетью называют направленный граф, в

котором вершины соответствуют объектам, а дуги, их соединяющие, отражают имеющиеся между ними отношения.

На основе анализа семантической сети строятся реестр элементов и реестр видов обработки. Операции, необходимые для механической обработки конкретных элементов определяются с помощью правил, например:

1. Если элемент = резьба внутренняя и (шероховатость $\geq 3,2$ и $\leq 12,5$) или (степень точности резьбы = 7), то операция обработки = нарезание резьбы метчиком, т.е. если $e_i = e_{13} \cap (a \geq 3,2 \cap a \leq 12,5) \cup c = 7$, то $o_i = o_{76}$
2. Если элемент = шлиц и (шероховатость поверхности $\geq 0,80$ и $\leq 1,6$), то операция обработки = накатывание шлицев, т.е. если $e_i = e_{17} \cap (a \geq 0,80 \cap a \leq 1,6)$, то $o_i = o_{61}$
3. Если элемент = торец и (шероховатость ≥ 25 и ≤ 50) или (кавалитет ≥ 14 и ≤ 17), то операция обработки = (отрезка фрезой и зацентровка), т.е. если $e_i = e_{15} \cap (a \geq 25 \cap a \leq 50) \cup (k \geq 14 \cap k \leq 17)$, то $o_i = (o_3 \cap o_{54})$;

Реестр элементов деталей

e_{13} – резьба внутренняя

e_{15} – торец

e_{17} – шлиц

Реестр параметров элементов

k - квалитет

a – шероховатость поверхности, мкм

c – степень точности резьбы

Реестр видов обработки

o_3 – отрезка фрезой

o_{54} – зацентровка

o_{61} – накатывание шлицев

o_{76} – нарезание резьбы метчиком

Филадельфийский О. М., Голощанов П. С., Зюзина О. В., Голикова И. В.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ КОПТИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ КОПЧЕНОГО КОЛБАСНОГО СЫРА

Работа выполнена под руководством к.т.н., доц. Зюзина О. В.

*ТГТУ, Кафедра «Технологическое оборудование
и пищевые технологии»*

Плавленые сыры составляют в настоящее время около 40 % выпускаемой отечественными сыродельными предприятиями готовой продукции. Среди многообразного ассортимента переработанных сыров три четверти выработки приходится на долю колбасного плавленого сыра [1].

Актуальной задачей производства плавленого сыра является обеспечение стабильного качества продукта, увеличение сроков хранения, которые в значительной мере зависят от завершающей стадии производства – копчения. В процессе обработки дымом колбасный сыр претерпевает ряд весьма важных биотехнологических изменений, приобретая стойкость к окислительной и бактериальной порче в результате насыщения продукта органическими компонентами, образующимися при неполном сгорании древесины. Для получения качественного технологического дыма применяют опилки из несмолистых пород дерева, таких как дуб, бук, ольха, береза, тополь и др. Наилучшими ароматическими свойствами обладает дым, получаемый при сжигании плодово-ягодных пород древесины [2].

На практике часто из-за дефицита опилок рекомендуемых пород, используют доступные отходы деревоперерабатывающих производств, вследствие чего возникают технологические проблемы, связанные с повышенным смолообразованием на внутренних поверхностях элементов коптильной установки. Другой проблемой производства копченого колбасного сыра является необходимость сведения до минимума содержания в дыме канцерогенных соединений и смолы для получения продукта высокого качества [3].

Копчение осуществляется в коптильной установке (рис. 1). В ней слой опилок располагается на поддерживающей решетке 2 в дымогенераторе 1. Тяга создается вентилятором 7, благодаря которому продукты горения по дымоходу 4 перемещаются в коптильную камеру 6. Для снижения содержания смолистых соединений в дыме, направляемом в коптильную камеру, используется фильтр 3, с насадкой в форме колец.

Образующиеся в процессе пиролиза компоненты дыма, находясь в капельно-жидком состоянии в виде смол, осаждаются в фильтре на эле-

менты насадки. Часть смолистых веществ собирается в сборнике 5. Но, несмотря на это часть смолы осаждается на внутреннюю поверхность дымохода 4, что приводит к отклонениям от заданных режимов работы и нежелательным (периодическим) технологическим паузам для регенерации фильтра и очистки дымоходов. Некоторое количество смолы осаждается на оболочке батонов сыра, вызывая тем самым снижение качества.

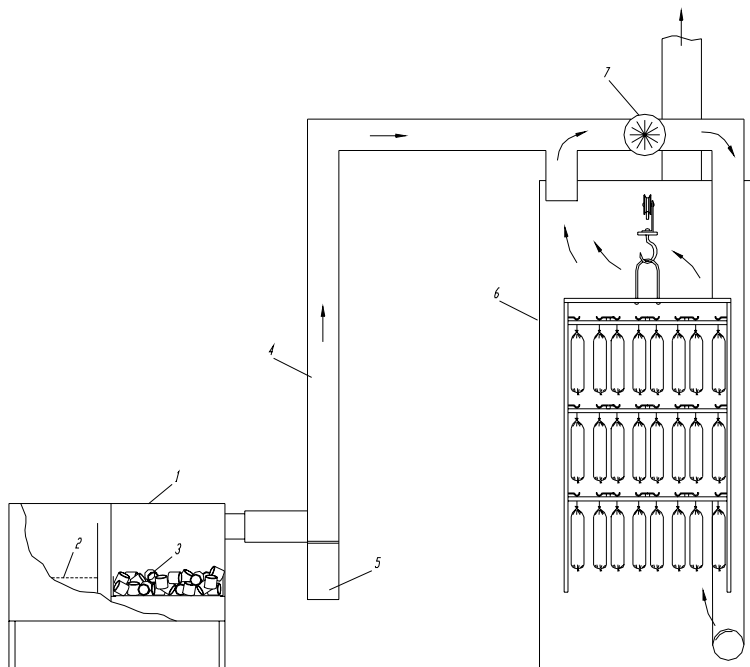


Рис. 1. Схема коптильной установки

1 – дымогенератор, 2 – решетка, 3 – фильтр, 4 – дымоход,
5 – смолосборник, 6 – камера копчения, 7 - вентилятор

В условиях производства очистка дымоходов и элементов насадки
 Ответ: слоя сажи и смолы осуществляется термообработкой горелками различной конструкции. Эта операция на практике весьма трудоемка, длительна и пожароопасна.

Был произведен поиск рациональных и доступных способов удаления таких видов загрязнения. Внимание привлекло техническое решение по разложению "нагара" органическими растворителями.

Проведенные предварительные экспериментальные исследования с использованием реагентов разной химической природы показали разный характер их воздействия на образцы нагара. Качественные результаты данного эксперимента приведены в таблице.

Т а б л и ц а 1

Интенсивность воздействия различных растворителей на образцы нагара

Органический растворитель	Органическая слота	Аммиачный створ	Этанол	ПАВ
Интенсивность воздействия	++	+	+++	-

* "+++" – активное; "++" – среднее; "+" – слабое; "-" – отсутствие

Результаты разведывательного эксперимента показали, что наиболее активное растворение происходит в этиловом спирте, в органической кислоте разложения протекает с гораздо меньшей интенсивностью. В аммиачном растворе реакция очень медленная, а воздействие ПАВ на смолистые вещества практически отсутствует.

Дальнейшие эксперименты проводились с этиловым спиртом, как веществом с наиболее выраженным воздействием и совместимым с условиями пищевого производства.

С целью отработки технологических режимов разрушения "нагара" была изучена кинетика процесса. Равные порции "нагара" помещались в одинаковые объемы раствора этанола, и через определенные промежутки времени измерялась масса оставшейся пробы. Результаты эксперимента приведены на рисунке 2.

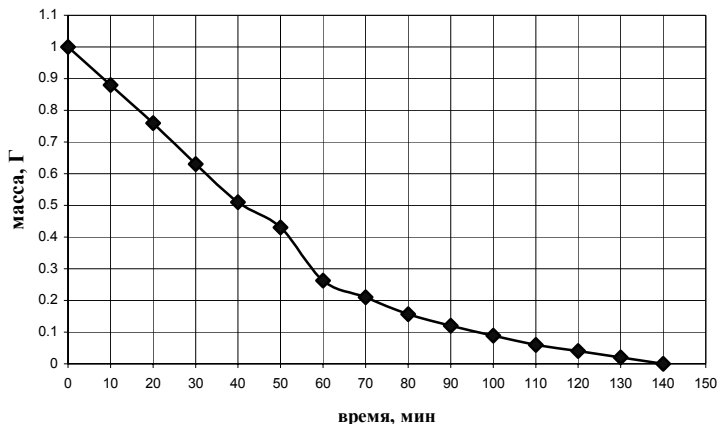


Рис. 2. Кинетика разрушения "нагара" в этаноле

Анализ результатов однофакторного эксперимента позволил установить зависимость скорости разрушения "нагара" в концентрированном растворе этанола от времени. Установлено, что полное разрушение образца наблюдается через 140 минут.

Данный способ позволяет достаточно эффективно регенерировать элементы насадки дымогенератора и очистить дымоходы от отложений при минимальных трудозатратах, не нарушая требований санитарии.п

Список литературы

1. Захарова Н. П., Перфильев Г. Д., Соколова Н. Ю., Сафонова Л. И. Инновационные технологии плавяных сыров. Сыроделие и маслоделие. 5. 2004. с. 31-32.
2. Мезенова О. Я., Ким И. Н., Бредихин С. А. Производство копченых пищевых продуктов. - М.: Колос. 2001. – 208 с.
3. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 1'2003

Машины и агрегаты пищевой промышленности

Руководитель программы д.т.н., проф. Дворецкий С. И.

Павленко П. М.

АНАЛИЗ СПОСОБОВ СТАБИЛИЗАЦИИ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНФЕТ СО СБИВНЫМИ КОРПУСАМИ

Работа выполнена под руководством к.т.н., доц. Муратовой Е. И.

*ТГТУ, Кафедра «Технологическое оборудование
и пищевые технологии»*

Срок годности пищевого продукта может быть определен как время сохранения и устойчивости суммарных показателей качества, включающих: органолептические показатели (внешний вид, консистенция, цвет, запах, вкус); питательную ценность (содержание белков, углеводов, жиров, витаминов, минеральных веществ); микробиологические характеристики (общее количество микроорганизмов и содержание отдельных групп); биологическая безопасность (отсутствие токсинов и других вредных веществ).

Актуальной проблемой в обеспечении качества конфет со сбивными корпусами является появление кристаллов сахаров в пенообразной массе и, как следствие, ухудшение органолептических свойств, а иногда и полная потеря требуемых потребительских характеристик до окончания срока годности. Процесс засахаривания еще недостаточно изучен, не выявлены факторы, влияющие на динамику кристаллизации, и механизмы его предотвращения.

В лаборатории ОАО «Кондитерская фирма ТАКФ» был проведен ряд экспериментов по изготовлению образцов конфетных масс типа «Птичье молоко» по различным рецептурам и изучение изменения их показателей в процессе хранения с целью выявления факторов, влияющих на стабильность потребительских характеристик конфет. В ходе экспериментов проверялись все основные показатели, указанные в типо-

вых технологических инструкциях, а также физико-химические показатели согласно ГОСТ 4570-93.

Известно, что на образование кристаллов сахара влияет ряд факторов: наличие центров кристаллизации, высыхание изделия, условия хранения готовой продукции. Необходимым условием кристаллизации является наличие достаточного количества центров кристаллизации, иначе даже сильно пересыщенный раствор не будет кристаллизоваться [1].

На начальном этапе исследований проводились эксперименты по исключению внесения центров кристаллизации с рецептурными ингредиентами: сгущенным молоком, патокой, сахаром. Для этого был ужесточен контроль входящего сырья, и проводилась его обязательная лабораторная проверка в соответствии с ГОСТами и ТУ. Однако полностью избежать внесения дополнительных центров кристаллизации при получении сбивных масс невозможно в связи с использованием в качестве компонентов сырья практически на всех кондитерских предприятиях возвратных отходов.

Вопрос возможности использования возвратных отходов при производстве конфет типа «Птичье молоко» стоял всегда достаточно остро. Использование возвратных отходов практически не влияет на плотность и органолептические показатели готового изделия, но они провоцируют возникновение кристаллов сахаров и их рост. Возникала необходимость создания специальных сортов кондитерских изделий для срабатывания возвратных отходов сбивных конфет, но данные изделия, как правило, не пользовались таким спросом как «Птичье молоко».

В проведенных нами экспериментах возвратные отходы добавлялись практически во все изготавливаемые образцы в определенном количестве по отношению к выходу готового продукта. Использовались как глазированные, так и не глазированные возвратные отходы; варьировалась последовательность их введения: в готовую сбивную массу одновременно с другими ингредиентами или в сироп одновременно с патокой.

Центры кристаллизации, если их нет в жидкой среде, могут самопроизвольно возникать в ней при некоторых условиях благодаря наличию в жидкости гетерофазных флуктуаций — локализации молекул сахаров, имеющих такое же расположение, как в кристалле или на посторонних примесях.

Уменьшение влажности изделий, их высыхание также ускоряет кристаллизацию, так как при этом увеличивается концентрация сахара и, следовательно, степень перенасыщения. Изделия с большим содержанием других, кроме сахара, компонентов засахариваются медленнее, задерживается кристаллизация и в изделиях, отличающихся высокой вязкостью или наличием антикристаллизаторов. К последним относятся обыч-

но вещества аморфной структуры с высоким молекулярным весом и повышенной вязкостью растворов [2].

В роли антикристаллизатора обычно применяется патока, которая обладает свойством давать вместе с сахаром насыщенные растворы, содержащие большее количество сухих веществ, чем чисто сахарные насыщенные растворы. Патока обладает высокой вязкостью, что обуславливается наличием в её составе декстринов (высокомолекулярных продуктов гидролиза крахмала). Поэтому введение патоки в кондитерские полуфабрикаты увеличивает их вязкость. Увеличение вязкости растворов уменьшает скорость засахаривания вследствие снижения скорости диффузии молекул к центрам кристаллизации [2].

Патока выпускается трёх видов: карамельная низкосахаренная (КН); карамельная, которая по качеству может быть двух сортов - высшего (КВ) и первого (К1); и глюкоза высокосахаренная (ГВ). Эти виды патоки различаются степенью гидролиза, которая характеризуется долей редуцирующих веществ в сухих веществах патоки и условно выражается в глюкозе. Такое условное выражение доли редуцирующих веществ необходимо применять в связи с неодинаковой редуцирующей способностью глюкозы и мальтозы, одновременно содержащихся в патоке. Редуцирующая способность мальтозы значительно ниже, чем условно выраженное в глюкозе. В сухих веществах низкосахаренной патоки содержится 30-34% редуцирующих веществ, карамельной - 34-44% и глюкозной высокосахаренной - 44-70%.

В технологии кондитерского производства большое значение имеет способность патоки как компонента сахаро-паточного сиропа гидролизовать (инвертировать) сахарозу, что сопровождается увеличением содержания редуцирующих веществ сиропа. Это свойство патоки называют инвертирующей способностью. Инвертирующая способность её зависит от pH.

Как следствие из выше сказанного – следующий этап проводимого эксперимента – изменение традиционных соотношений рецептурных компонентов (вариация отношения сахар/патока). Целью исследования являлось определение оптимального количества антикристаллизатора. Было выявлено, что низкое содержание патоки в рецептуре не позволяет обеспечить высокое содержание редуцирующих веществ (РВ) и не предотвращает процесс кристаллизации сахаров в сбивных массах.

Принятие решения о наращивании РВ в готовой массе с целью предотвращения кристаллизации вызвало необходимость проведения дополнительных экспериментальных исследований. В ходе этого этапа исследования было выявлено, что повышение содержания РВ, замедляя процесс кристаллизации, приводит к другим нежелательным последствиям –

явлению синерезиса (выделения сиропной фазы в процессе хранения). При этом происходит изменение структурно-механических характеристик сбивной массы (масса «течет»). Намечено направление решения этой проблемы: использование нетрадиционных видов сырья, которые помогут добиться высоких РВ, исключая проблему синерезиса. На сегодняшний день в качестве нетрадиционного сырья используются пищевые волокна растительного происхождения способные удерживать жидкую фазу [3]. В качестве пищевых волокон можно использовать целлюлозы, гемицеллюлозы, пектины, камеди, гумми-вещества, альгинаты и др. Применение пищевых волокон позволяет не только стабилизировать структурно-механические характеристики сбивных масс, но и повысить биологическую ценность конфет и увеличить сроки хранения [4]. Однако для использования их в производстве конфет типа «Птичье молоко» необходимо установить оптимальное соотношение пищевых волокон с другими компонентами и последовательность их введения в рецептурную смесь.

Следующий этап исследования по выявлению способов стабилизации потребительских характеристик сбивных конфет в процессе хранения – определение временной последовательности внесения рецептурных ингредиентов и изменения температурных режимов при изготовлении сбивных масс, то есть уточнение технологического регламента.

На основании проведенных экспериментов нами было выявлено оптимальное соотношение рецептурных ингредиентов, а также способ срабатывания возвратных отходов. При изготовлении каждого образца фиксировались все необходимые технологические параметры. Образцы упаковывались в предназначенную для данного вида конфет упаковку, что исключало преждевременное их высыхание. Технохимический контроль потребительских характеристик конфет проводился в момент изготовления готового изделия, на пятые и десятые сутки хранения, через каждый месяц хранения до окончания срока годности (3 месяца).

Планируется дальнейшее исследование факторов, влияющих на кинетику кристаллизации сахаров в процессе хранения конфет со сбивными корпусами, и выявление способов предотвращения засахаривания посредством определения оптимального рецептурного состава и технологических режимов получения сахаро-паточно-агаровых сиропов и сбивных масс.

Список литературы

1. Справочник технолога кондитерского производства. В 2-х томах. Т.1. Технологии и рецептуры./ Т.К. Апет, З.Н. Пашук. - СПб.: ГИОРД,2004.-560с.: ил.
2. Лурье И.С., Шаров А.И. Технохимический контроль сырья в кондитерском производстве. М: Колос, 2001. – 352 с.
3. Н.И. Дунченко, В.А. Агарков. Влияние пищевых волокон на структурно-механические свойства творожных десертов. // Изв. вузов. Пищевая технология, 2001. №1, с.29-32.
4. Е.Н.Артемова. Формирование пенных структур пищевых продуктов, содержащих белки и пектины. // Изв. вузов. Пищевая технология, 2001. №4, с.20-23.

Современные принципы аппаратурного оформления тепломассообменных процессов

Руководитель программы д.т.н., проф. Коновалов В. И.

Максименкова Т. А., Гурова А. С.

ОСУШИТЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ВЛАГИ В ЗАМКНУТЫХ ОБЪЕМАХ

Работа выполнена под руководством к.т.н. доц. Пахомова А. Н.

ТГТУ, Кафедра «Химическая инженерия»

При наличии людей в замкнутых объемах относительно быстро изменяется состав воздуха за счет дыхания и потоотделения, что приводит к появлению недопустимых условий для жизни.

Поэтому для обеспечения этих комфортных условий необходимо использовать различные способы удаления влаги [1].

Различают физико-химические и физические методы осушки воздуха. Физико-химические методы основаны на различных сорбционных, диффузионных и хемосорбционных процессах. Физические – на использовании охлаждения воздуха до температуры, при которой происходит конденсация водяных паров с образованием жидкой фазы или вымораживание с образованием твердой фазы.

Осушка воздуха путем его охлаждения является классическим способом, используемым в установках кондиционирования воздуха [2]. Этот способ состоит в том, что воздух охлаждается до температуры ниже точки росы, что приводит к конденсации содержащейся в воздухе влаги.

Осушка с помощью холодильных машин может производиться независимо от внешних атмосферных условий. Недостатком способа, является высокая стоимость холодильных машин, а также значительное потребление ими электроэнергии и значительные габариты.

Существует целый ряд материалов, способных поглощать влагу из воздуха. Одни из них, имеющие пористое строение, удерживают пары воды или газы за счет сорбции.

Для осушки воздуха в помещениях чаще используется явление адсорбции. Адсорбирующие вещества могут удерживать лишь ограниченное количество водяного пара, однако их можно легко регенерировать путем нагревания.

Осушка в статических условиях достаточно широко распространена в промышленной практике. Для ее осуществления достаточно располагать двойным комплектом адсорбентов и периодически их заменять.

Эффективность работы адсорбента в этом случае определяется в основном равновесной адсорбционной емкостью (изотермой сорбции) и зависит от скорости конвективного движения.

В большинстве случаев предпочтение следует отдавать способу динамической адсорбции.

При работе сорбентов в динамических условиях к расчетной массе сорбента необходимо добавлять массу компрессора, обеспечивающего продувку воздуха через слой, а также массу адсорбера, в котором располагается адсорбент.

По сравнению с холодильными машинами адсорбционная осушка может обеспечивать более полное удаление влаги. Наиболее целесообразно использовать осушку в динамических условиях. Наиболее распространенными адсорбентами являются: силикагель, активная окись алюминия, цеолиты.

Одним из наиболее распространенных в промышленной практике минеральных адсорбентов является силикагель [3], который обладает хорошо развитой пористостью. По внешнему виду силикагель представляет собой твердые зерна: прозрачные или матовые, бесцветные или светло-коричневые.

Силикагель по своей химической природе является гидратированным аморфным кремнеземом ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$).

Недостатком силикагеля является его низкая водостойкость, т.е. способность разрушаться под действием воды.

Другим типом неорганических адсорбентов, широко применяемых в технике для осушки различных сред и для других целей, является активная окись алюминия [3].

Достоинства окиси алюминия (термодинамическая стабильность, относительная легкость получения, а также доступность сырья и др.) обеспечивают возможность широкого применения ее наряду с такими адсорбентами, как силикагели и цеолиты.

Активная окись алюминия устойчива при воздействии воды, т.е. является водостойкой.

Тип промышленных адсорбентов - цеолитов может быть разделен на две категории: природные цеолиты и синтетические цеолиты [3].

Цеолиты отличаются от других адсорбентов главным образом своей способностью избирательно адсорбировать молекулы малых размеров, что дает возможность проводить разделение компонентов по размерам молекул. Кроме того, они имеют сравнительно высокую адсорбционную емкость при низких концентрациях адсорбируемого компонента и отличаются чрезвычайно высоким сродством к ненасыщенным и полярным соединениям.

В таблице 1 приведена зависимость равновесной адсорбционной емкости некоторых адсорбентов от относительной влажности газа (изотермы адсорбции).

Таблица 1

Зависимость равновесной адсорбционной емкости некоторых адсорбентов от относительной влажности газа

Наименование сорбента	Сорбционная емкость, % при относительной влажности				
	20	40	60	80	100
	%	%	%	%	%
Активная окись алюминия	8	14	23	32	40
Мелкопористый силикагель	14	25	35	40	42
Цеолит	22	23	23	23	23
Крупнопористый силикагель	1,5	2,5	5,0	29	80

Из таблицы 1 видно, что полная емкость цеолита реализуется при очень малой относительной влажности. Мелкопористый силикагель и активная окись алюминия – имеют преимущества при средних и высоких относительных влажностях, а крупнопористый силикагель при высокой относительной влажности [4].

В подавляющем большинстве случаев осушку газов производят в динамических условиях. В этих условиях адсорбция примеси из газа происходит при прохождении смеси в промежутках между зёрнами адсорбента, сам газ практически не адсорбируется.

В динамических условиях реализация полной сорбционной емкости составляет не более 80-90% от статической сорбционной емкости. [5].

Использование зернистых сорбентов в статических условиях затруднено кинетическими факторами, т.е. сорбент не реализует свою сорбционную емкость из-за медленного процесса сорбции

В динамических условиях реализация сорбционной емкости мала.

Оба эти фактора приводят к тому, что необходимо разрабатывать способ использования сорбентов в тонкодисперсном состоянии, когда диаметр зерна не будет влиять на кинетику сорбции, что и является задачей дальнейшей работы.

Список литературы

- 1 Воронин, Г.И. Жизнеобеспечение экипажей космических кораблей / Г.И. Воронин. - М.: Машиностроение, 1967. - 211с.
- 2 Рубинэ, М. Кондиционирование воздуха в подземных сооружениях / М. Рубинэ. - М.: Гос. изд-во лит-ры по строит. архитектуре и строит. материалам, 1963. - 215с.
- 3 Коуль, Артур Л. Очистка газа / Артур Л Коуль, Фред С. Ризенфельд. - Недра, 1967. - 394с.
- 4 Кельцев, Н.В. Основы адсорбционной техники / Н.В. Кельцев. - М.: Химия, 1967. - 511с.
- 5 Ахметова, Т.И. Оценка пригодности осушителей, используемых в лабораторной практике / Т.И. Ахметова, Э.И. Галлямова // Заводская лаборатория.- 2005.- Т.71, №10.- С. 19-21.

Потапова Н. О., Гурова А. С., Шредер В. Е.

СИЛИКАГЕЛИ, ХИМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫЕ АМИНОСОЕДИНЕНИЯМИ

Работа выполнена под руководством к.т.н. доц. Колиух А. Н.

ГТУ, Кафедра «Химическая инженерия»

В последние десятилетия происходит становление нового направления на стыке неорганической, органической и элементоорганической химий, катализа и химии сорбционных явлений. Это направление можно определить как химию соединений, гетерогенизированных на минеральных носителях.

Система «вещество на носителе» зачастую представляет собой новый материал с рядом свойств, которыми не обладали ни носитель, ни сорбированное соединение. Фиксация активного компонента на поверхности носителя может осуществляться за счет физических или химических взаимодействий. Последнее предпочтительнее, так как оно позволяет добиться существенно большей устойчивости получаемых материалов к различным воздействиям внешней среды и, следовательно, большей стабильности действия. В качестве носителей для закрепления различных соединений используют как органополимерные, так и минеральные подложки.

Особое место среди минеральных носителей занимает кремнезем [1]. Причинами этого являются его детальная изученность, «мягкость» его гидроксильного покрова и возможность варьирования в широких пределах величины удельной поверхности, пористости, объема пор. Самой важной разновидностью аморфного кремнезема является силикагель, выпускаемый промышленностью в наиболее крупном масштабе.

Силикагель - высушенный гель кремневой кислоты пористого строения с сильно развитой внутренней поверхностью [2].

По внешнему виду силикагель представляет собой твердые зерна: прозрачные или матовые, бесцветные или светло-коричневые. Выпускается силикагель в виде шариков или кусочков неправильной формы.

Процесс приготовления стекловидного силикагеля состоит из следующих операций [1]:

1. получение силиказоля и желатинизация его в силикагидрогель;
2. созревание и синерезис гидрогеля;
3. отмывка гидрогеля;
4. сушка и прокаливание получившегося ксерогеля.

Наличие на поверхности силикагеля силанольных групп SiOH (4,6—4,8 OH-групп на 1 нм² [1]) обуславливает возможность его химического модифицирования.

Методы модифицирования твердых веществ делятся на две группы: «иммобилизация» и «сборка на поверхности»[1]. Первый из них заключается в получении целевого продукта путем ковалентного закрепления на поверхности носителя заранее синтезированного модификатора. Основным достоинством этого метода являются простота и возможность создания на поверхности значительной концентрации нанесенного вещества. Главное ограничение состоит в том, что во многих случаях синтез требуемых модификаторов сложен, а иногда и вообще невозможен.

Метод сборки на поверхности заключается в том, что относительно простые химические соединения, привитые тем или иным способом к поверхности, подвергают дальнейшим последовательным превращениям. Этот метод позволяет получить широкий набор химически модифицированных кремнеземов, однако вследствие неполноты протекания большинства реакций количество привитых групп заданного типа обычно ниже, чем при иммобилизации.

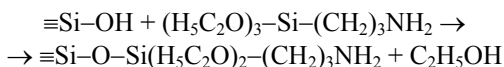
Химическое модифицирование может обеспечить получение на основе силикагеля поглотителя углекислого газа, если для модифицирования использовать аminosоединения.

Повышенный интерес к аминосиликагелям определяется не только их технологическими преимуществами перед поглощающими растворами, но и тем обстоятельством, что они, в отличие от цеолитов, способны сорбировать углекислый газ не только из сухой, но и из влажной атмосферы [3]. Более того, эффективность поглощения CO₂ возрастает с увеличением влажности газовой среды. В связи с этим для выяснения механизма адсорбционного взаимодействия CO₂ с аминогруппами полиаминов представлялось целесообразным синтезировать аминосодержащий сорбент с развитой поверхностью и определенной пористостью, не меняющейся во влажной атмосфере.

Одним из наиболее распространенных модификаторов является γ-аминопропилтриэтоксисилан (H₅C₂O)₃-Si-(CH₂)₃NH₂. Модифицирование будет обеспечено за счет спиртовых групп, а поглощение CO₂ — за счет аминогрупп.

γ-аминопропилтриэтоксисилан — жидкость от бесцветного до светло желтого цвета, растворяющаяся в органических растворителях, спирте.

Прививка γ-аминопропилтриэтоксисилана протекает в соответствии со схемой [4]:



Продукт реакции — аминированный кремнезем — широко используется как сорбент, наполнитель, носитель для иммобилизации ферментов и катализаторов, а также как полупродукт для дальнейшего модифицирования.

Несмотря на многочисленные работы, посвященные химическому модифицированию, до настоящего времени твердо не установлены оптимальные условия проведения прививки. Речь, прежде всего, идет о той минимальной температуре и времени реакции, которых достаточно для получения полнейшего покрытия кремнезема. Это связано со сложностью точного контроля завершения реакции, поэтому обычно для достижения полной конверсии используют избыточно жесткие условия.

В дальнейшем работа будет посвящена выяснению влияния условий прививки на сорбционные свойства аминосиликагелей.

Список литературы

- 1 Модифицированные кремнеземы в сорбции, катализе и хроматографии. / Под ред. Г. В. Лисичкина.— М.: Химия, 1986. —248 с.
- 2 Неймарк, И. Е. Силикагель, его получение, свойства и применение / И. Е. Неймарк, Р. Ю. Шейнфайн. — Киев, Наукова думка, 1973.— 200 с.
- 3 Бурушкина, Т. Н. Адсорбционные свойства аминосиликагелей / Т. Н. Бурушкина, В. В. Стрелко, Л. А. Шурупова, Б. Л. Аветисянц // Сб. Адсорбция и адсорбенты. — 1972. ;№1. — С. 94—98.
- 4 Неймарк, И. Е. Синтетические минеральные адсорбенты и носители катализаторов / И. Е. Неймарк. — Киев, Наукова думка, 1982.— 216 с.

Политова О. С., Верченнова О. В., Шубина В. Н.

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ОКСИДОВ И ГИДРОКСИДОВ ЩЕЛОЧНЫХ И ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ДИНАМИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ РЕГЕНЕРИРУЕМОГО ПОГЛОТИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ГИДРОКСИДА ЦИРКОНИЯ

Работа выполнена под руководством д.т.н. Гатаповой Н. Ц.

ТГТУ, Кафедра «Химическая инженерия»

Регенерируемые поглотители используются в цикловых процессах, когда стадии сорбции и регенерации чередуются друг за другом. Способ регенерации определяется областью техники: для кабин космических кораблей наиболее рационально использовать вакуумную регенерацию или термовакуумную, для отсеков подводных лодок паровую регенерацию, для овощехранилищ отдувку атмосферным воздухом. Исходным сырьем для приготовления поглотителя является основной карбонат циркония. Изготовление регенерируемого поглотителя двуокиси углерода в настоящее время осуществляется путем осаждения гидроксида циркония из оксихлоридных или оксинитратных растворов щелочами и состоит из следующих стадий:

- 1) осаждение гидрогеля путем приливания к раствору щелочи растворов солей (осадок должен формироваться в щелочной среде).
- 2) отмывка осадка дистиллированной водой на вакуум-филт্রে с несколькими репульсациями.
- 3) приготовление растворов солей циркония и щелочей.
- 4) сушка порошка.
- 5) формование гранул.
- 6) закатка гранул
- 7) сушка гранул.

В работе в качестве добавок, связывающих карбонатный ион, выбраны оксиды и гидроксиды щелочных и щелочно-земельных металлов.

В этом случае изготовление регенерируемого поглотителя двуокиси углерода предлагается следующим способом:

- 1) порошок ОКЦ смешивался с порошками оксидов и гидроксидов щелочных и щелочно-земельных металлов.
- 2) осуществлялось формование гранул с добавлением связующего - 5 – 7% раствора поливинилового спирта.
- 3) сушка гранул осуществлялась на воздухе в течение суток.

Преимуществом данного способа является отсутствие стадии осаждения и отмывки осадка. Полученные гранулы поглотителя испытываются на динамическую активность на установке, изображенной на рис.1.

Воздушный поток поступает из компрессора 20, необходимый расход устанавливается вентилем сброса 19 и контролируется реометром 16. Необходимая влажность устанавливается путем пропускания воздуха через увлажнитель с постоянной заданной влажностью воздуха 18. Влажность замеряется психрометром 17. Двуокись углерода из баллона 1 через редуктор 2 и реометр 3, контролирующий расход, поступает в смеситель 4.

Газовоздушная смесь с заданной влажностью воздуха и концентрацией двуокиси углерода подается в динамическую трубку, снаряженную сорбентом двуокиси углерода.

При проведении сорбции к штуцеру А подсоединяется холодильник 8 для удаления излишней влаги. Выходная концентрация двуокиси углерода замеряется газоанализатором 6, общий расход газовоздушной смеси замеряется с помощью газовых часов 7.

По истечении сорбции проводят регенерацию сорбента.

При паровой регенерации холодильник 8 подсоединяется к штуцеру В динамической трубки, а штуцер А заглушается. Для начала сорбции струбина 14 перемещается в положение 14 а, при этом пар из парогенератора 15 поступает в динамическую трубку 12, происходит вытеснительная десорбция двуокиси углерода. Количество выделившейся двуокиси углерода замеряется газовыми часами 7.

При вакуумной регенерации вход и выход динамической трубки перекрывается струбинами 13 и 14, а к штуцеру А подсоединяется вакуумный насос 10. Окончание сорбции определяется по вакуумному манометру.

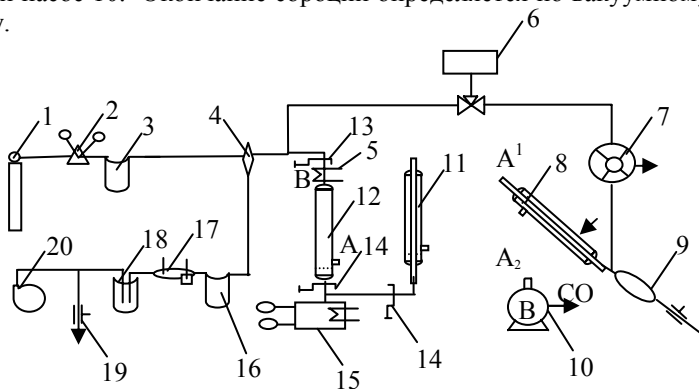


Рис.1 Схема динамической установки

Испытания проводятся в следующей последовательности.

Включается компрессор 20, нагревательный элемент 5 и парогенератор 15. При этом штуцер В разомкнут, трубочина 14 зажата, штуцер А соединен с холодильником 8. После установления необходимых параметров газовой смеси штуцер В замыкают, этот момент считается началом сорбции. Фиксируется время, входная и выходная концентрации двуокиси углерода, влажность и температура газовой смеси, показания газового счетчика. По истечении сорбции, штуцер В размыкают и подсоединяют холодильник 8. Штуцер А заглушают. Для начала паровой десорбции трубочину 14 перемещают в положение 14а. Этот момент считается началом десорбции. Фиксируется время, температура за слоем сорбента и количество выделившейся двуокиси углерода. При вакуумной регенерации трубочины 13 и 14 заглушают, к штуцеру А подсоединяют вакуумный насос. Этот момент считается началом десорбции. По результатам испытаний рассчитывается активность поглотителя (табл. 1). Фиксируется время и показания вакуумного манометра.

Таблица 1

Результаты испытаний поглотителя с различными добавками

Добавка	Соотношение добавка/ОКЦ	Плотность добавки г/см ³	Активность поглотителя в циклах, л/л				Примечание
			1	2	3	4	
MgO	1/2	1,02	1,22	2,9	-	-	
Mg(OH) ₂	1/1,04	1,0	4,54	4,9	4,2	5,2	по способу [1]
Mg(OH) ₂	1/1	0,66	1,98	3,0	3,0	3,1	обратный порядок смешения
Ba(OH) ₂	1/1	0,92	6,2	4,8	5,5	5,1	
LiOH	1/1	0,66	2,38	2,78	-	-	
Ca(OH) ₂	1/1	0,87	3,0	3,02	-	-	
	1/0,67	0,85	4,43	4,0	3,0	-	
	1/0,62	0,68	2,84	1,97	-	-	

Из анализа результатов испытаний видно, что наиболее активными являются адсорбенты с добавлением Mg(OH)₂ (по способу [1]) и Ba(OH)₂.

Список литературы

- 1 Структура и свойства адсорбентов и катализаторов / Под ред. Б.Г. Линсена. – М.: Мир, 1973.- 656 с.
- 2 Добрускин, В.Х. Сорбционные свойства поглотителя на основе гидроксида циркония / В.Х. Добрускин, А.А. Кораблева // Коллоидный журнал.- 1976.- Т. XXXVIII, вып. 1.- С. 569 – 572.

Машины и аппараты химических производств

Руководитель программы д.т.н., проф. Промтов М. А.

Иванов С. А., Крутов А. Ю., Кобзев Д. Е.

Работа выполнена под руководством д. т. н. проф. Баронина Г. С.

*ТГТУ, Кафедра «Теория машин, механизмов
и детали машин»*

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ДО И ПОСЛЕ ТВЕРДОФАЗНОЙ ЭКСТРУЗИИ *

Все технологические процессы получения изделий из полимеров в твердой фазе сопровождаются значительным повышением прочности материала и нагрузочной способности готовых изделий, которые определяются структурой и свойствами исходного полимерного материала, а также технологическими параметрами переработки в твердой фазе. В настоящей работе рассматриваются важные вопросы установления взаимосвязи между показателями материала, прошедшего обработку давлением в режиме твердофазной экструзии (ТФЭ), физико-химическими показателями исходного полимера и параметрами ТФЭ – процесса.

Объектами исследования являются сополимер акрилонитрила, стирола и бутадиена (АБС - сополимер), ГОСТ-12851-87 и полиэтилен высокой плотности (ПЭВП), ГОСТ-16338-85. В качестве модифицирующих добавок применяли следующие материалы:

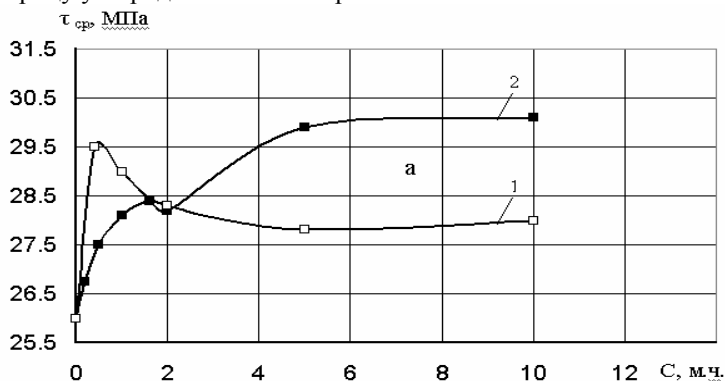
1. Углеродные наноматериалы «Таунит» - наномасштабные нитевидные образования поликристаллического графита в виде сыпучего порошка. Производитель УНМ «Таунит» - ООО «НаноТехЦентр» (Тамбов).

2. Карбид титана (TiC) с размером частиц около 20 мкм. и борид титана (TiB₂) с размером 60 мкм. TiC и TiB₂ – продукты самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС – технология) Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН (ИС-МАН РАН, г. Черноголовка).

Результаты экспериментальных исследований прочностных свойств в условиях среза и ударной вязкости исходных композитов на основе АБС и ПЭВП представлены на рис.1-2. Обсуждение полученных экспериментальных данных проводится на основе структурных исследований с использованием термомеханической спектроскопии [1], на основе представлений о локальной (β -релаксационный процесс), сегментальной (α -релаксационный процесс) молекулярной подвижности и диссипативных свойств, а также с позиций физической мезомеханики полимерного композита [2].

При обсуждении концентрационных зависимостей ударной вязкости композитов АБС + TiB_2 и АБС + TiC следует подчеркнуть, что, во-первых, данный показатель является более структурно – чувствительным, чем характеристика прочности в условиях среза. На это указывают сложные экспериментальные зависимости ударной вязкости композита от содержания модификатора. Во-вторых, ударная вязкость исходного ударопрочного сополимера (АБС) определяется состоянием и объёмом неупорядоченных зон, заполненных эластичным материалом (полибутадиеновыми блоками) и проходными цепями САН, и малейшее заполнение этих зон хрупким модификатором TiB_2 или TiC резко снижает ударную вязкость исходного материала.

Качественно иные закономерности установлены при оценке прочностных свойств и ударной вязкости исходных полимерных композиций ПЭВП + УНМ-2 в области малых добавок модификатора. Из рис.2. следует симбатный характер повышения $\tau_{ср}$ и a при введении в полимерную матрицу углеродного наноматериала УНМ-2.



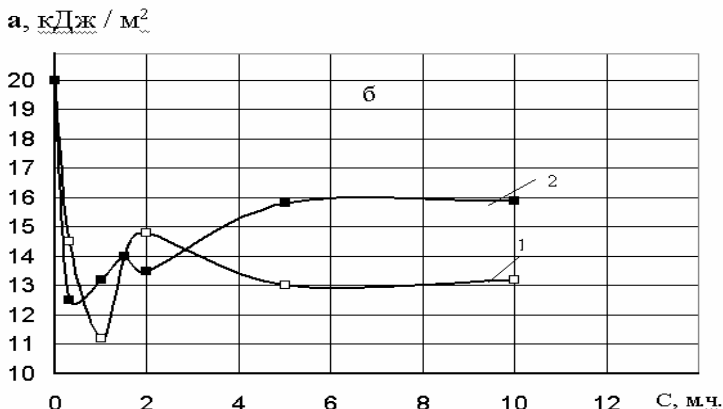


Рис.1. Концентрационные зависимости разрушающего напряжения среза $\tau_{ср}$ (а) и ударной вязкости а (б) для композиций АБС+TiB₂ (1) и АБС+TiC(2). Модификаторы: 1(□) – борид титана; 2(■) – карбид титана, полученные СВС-технологией

При оценке физико-механических показателей в условиях напряжений среза полимерных композитов, прошедших ТФЭ по сравнению с исходным полимером (рис.3) показано резкое повышение прочностных характеристик материала в направлении, перпендикулярном ориентации в режиме ТФЭ, которое связано с трансформацией структуры исходного АБС в результате твердофазной обработки полимера методом пластического деформирования. Из рис.3. следует, что наибольшее повышение прочности в условиях среза наблюдается после обработки АБС и ПЭВП при повышенной температуре вблизи $T_{пл}$, по сравнению с ТФЭ при комнатной температуре. Последний факт свидетельствует о том, что процессы трансформации структуры и ориентационной кристаллизации полимера при ТФЭ протекают наиболее эффективно и на большую глубину при повышенных температурах (вблизи $T_{пл}$).

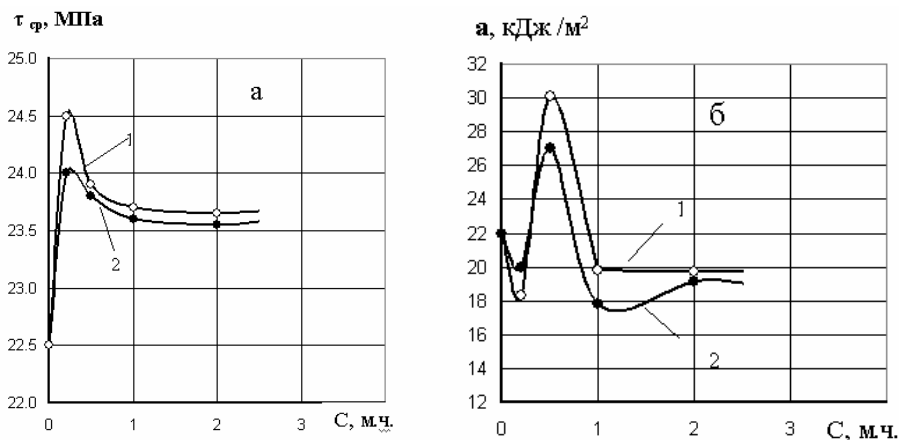


Рис.2. Концентрационные зависимости разрушающего напряжения среза τ_{cp} (а) и ударной вязкости а (б) для полимерных систем ПЭВП + УНМ – 1 (1) и ПЭВП + УНМ – 2 (2).

Модификаторы: 1 (○) – углеродный наноматериал (УНМ) до отмывки от катализатора; 2 (●) – УНМ после отмывки от катализатора

Отмеченные закономерности должны учитываться при выборе технологических режимов ТФЭ и в других процессах обработки полимерных композитов давлением в твёрдой фазе.

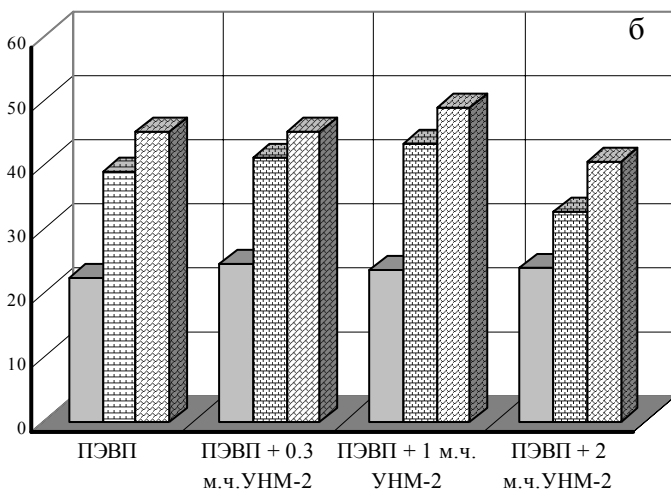
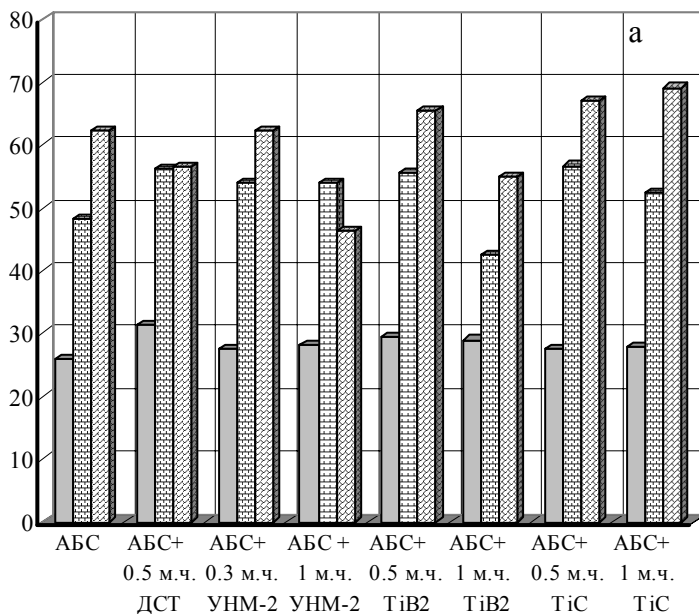


Рис. 3. Диаграммы изменения разрушающего напряжения при срезе исходных (■) и экструдированных при 22°C (▨) и при 86°C (▩) материалов на основе АБС (а) и ПЭВП (б). Температура испытания – 298 К

Список литературы

1. Ольхов Ю.А. Аллаяров С.Р. Термомеханическая спектроскопия – новая комплексная диагностика молекулярно – топологического строения политетрафторэтилена. Черноголовка, 2002. Изд. ИПХФ РАН. 51 с.
2. Баронин, Г.С. Переработка полимеров в твердой фазе. Физико – химические основы / Г. С. Баронин, М.Л. Кербер, Е.В. Минкин, Ю.М. Радько. – М: Машиностроение – 1, 2002. – 320 с.
3. Смирнов Ю.Н. Структурно – кинетические особенности формирования высокопрочных эпоксидных связующих и композиционных материалов на их основе. Дисс. в виде научного доклада на соиск. уч. степ. д.х.н. Черноголовка. 2005. Изд. ИПХФ РАН. 58с.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по образованию РФ в рамках целевой отраслевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» в 2006 – 2007 г.г.
Код проекта: 2.2.1.1.5355.

Крутов А. Ю., Иванов С. А.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОСТОЙКОСТИ
И ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОЛИМЕРАХ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ***

Работа выполнена под руководством д. т. н. проф. Баронина Г. С.

*ТГТУ, Кафедра «Теория машин, механизмов
и детали машин»*

Твердофазная технология – это новый и перспективный технологический метод переработки широкого класса материалов, в том числе – полимеров. Использование этой технологии позволяет решить общую фундаментальную задачу по созданию новых композиционных материалов и изделий с улучшенными физико-механическими свойствами и широким классом применения в промышленности.

Для определения внутренних ориентационных напряжений в экструдатах и величины теплостойкости $T_{тп}$, полученных твердофазной экструзией АБС – композиций, использовали метод построения диаграмм изометрического нагрева (ДИН). Исследования проводили на специально разработанной экспериментальной установке [1], принципиальная схема которой изображена на рис.1.

Определение $T_{тп}$ и внутренних ориентационных напряжений в экструдатах важно, т.к. эти параметры являются наиболее важными эксплуатационными показателями.

При нагреве ориентированный в режиме твердофазной экструзии образец (1) стремится сократить свою длину вследствие усадки. Упругий чувствительный элемент (4), соединенный с образцом, препятствует этому. Возникающие усилия воспринимаются тензодатчиками, наклеенными на упругий элемент. Для регистрации сигнала используется аналогово – цифровой преобразователь (АЦП) марки Е – 270. АЦП позволяет преобразовать входной аналоговый сигнал, поступающий с тензодатчиков и термопары, в цифровой (8 бит разрядность), для дальнейшей обработки его на ПЭВМ. Использование АЦП в данной установке позволяет достигать наибольшей точности регистрации экспериментальных данных. При этом снижается время обработки полученной информации. Обработка цифрового сигнала производится на ПЭВМ с помощью программы PowerGraph 2.1. В этой программе строятся зависимости уровня внутренних остаточных напряжений и температуры испытания от времени, которые сохраняются в графическом формате, либо в текстовом. Полученные

зависимости используются для построения диаграмм изометрического нагрева (ДИН), рис 2-3.

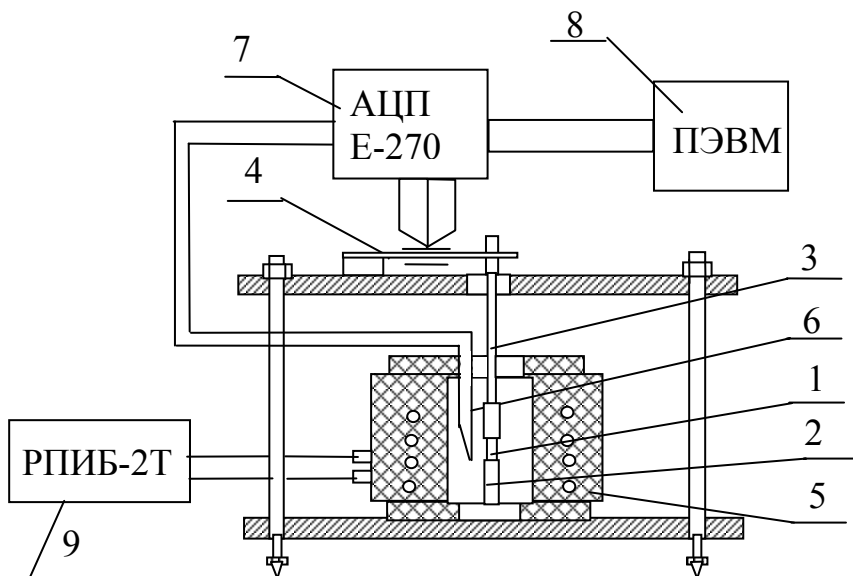


Рис. 1. Установка для определения внутренних ориентационных напряжений в полимерах:

1-образец; 2-зажим; 3-тяга; 4-упругий элемент с тензодатчиками; 5-нагреватель; 6-термопара; 7-АЦП Е - 270; 8-ПЭВМ; 9-датчик температуры

Установка снабжена термокамерой (5) для нагрева образца со скоростью подъема температуры 1,5 – 2,0 С/мин при помощи датчика температурного режима (9) РПИБ – 2Т. Перед экспериментом упругий элемент тарируется грузами известного веса.

Результаты исследований усадочных явлений, уровня внутренних остаточных напряжений в образцах и теплостойкости АБС – композитов после ТФЭ полностью подтверждаются структурными исследованиями полимера [2]. Показано, что введение малых добавок углеродного наноматериала УНМ-2 в АБС – сополимер приводит к формированию структуры с повышенной теплостойкостью и низким уровнем внутренних напряжений в материале в сравнении с исходным АБС. Как показали исследования физико- механических характеристик АБС-композитов, уровень прочностных показателей этих материалов в условиях среза остается достаточно высоким.

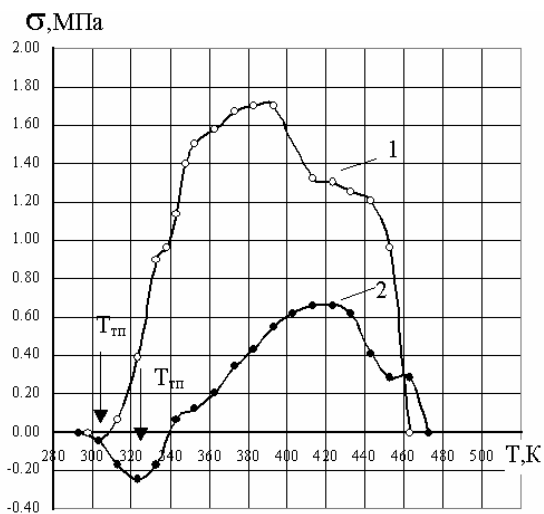


Рис 2. Диаграммы изометрического нагрева образцов из АБС сополимера, экструдированных при $\lambda = 2,07$ и температурах 295 (1) и 359 К (2) .

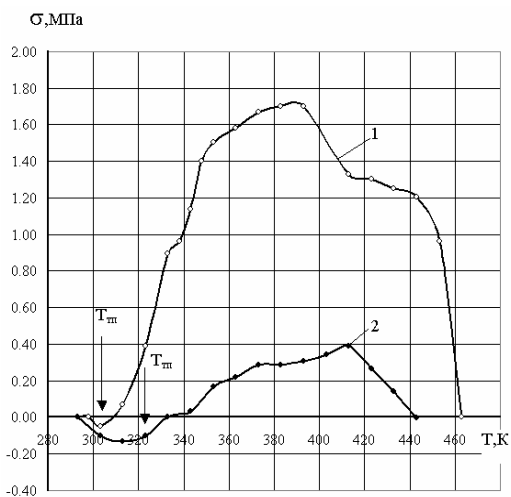


Рис. 3. Диаграммы изометрического нагрева образцов из АБС (1) и полимерной системы АБС + 0,3 м.ч. УНМ №2(2), экструдированных при $\lambda_{экс}=2,07$ и температуре $T_{экс}=295$ К.

Список литературы

4. Радько Ю.М., Минкин Ю.В., Кербер М.Л., Акутин М.С. Установка для определения остаточных напряжений в ориентированных термопластах. Заводская лаборатория. 1980. №7. С. 669 – 670.

5. Переработка полимеров в твердой фазе : Учебное пособие / Г.С. Баронин, М.Л. Кербер, Е.В. Минкин, П.С. Беляев. Изд – во Тамб. гос. техн. ун – та, 2005. 88 с.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по образованию РФ в рамках целевой отраслевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» в 2006 – 2007 г.г.

Код проекта: 2.2.1.1.5355.

Красненков П. Г., Ковалев С. В.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ МАТЕРИАЛОВ С ВЫСОКИМ ВНУТРИДИФфуЗИОННЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

Работа выполнена под руководством к.т.н. Пестрецова С. И.

*ТГТУ, Кафедра «Машины и аппараты
химических производств»*

Цель работы: математическое описание процесса сушки материалов с высоким внутридиффузионным сопротивлением и определение основных кинетических закономерностей.

В работе [1] было предложено на основе уравнения массопроводности математическое описание процесса сушки материалов с высоким внутридиффузионным сопротивлением применительно к сушильному аппарату с движущимся плотным поперечно-продуваемым кольцевым слоем.

При составлении математического описания и расчета процесса тепло и массообмена в аппарате принимались допущения:

1) Аналогом процесса сушки дисперсного материала в движущемся слое служит периодический процесс сушки в неподвижном слое. При этом время сушки в неподвижном слое соответствует времени пребывания движущегося слоя в аппарате;

2) Частицы высушиваемого материала имеют каноническую форму;

3) Неподвижный слой представляется как совокупность элементарных слоев толщиной, кратной эквивалентному диаметру частицы;

4) Фильтрация сушильного агента через неподвижный элементарный слой соответствует режиму идеального вытеснения;

5) В элементарном слое соблюдается равенство температур материала и сушильного агента.

В соответствии с принятыми допущениями математическое описание процесса сушки материала с высоким внутридиффузионным сопротивлением в элементарном слое включает:

– уравнения материального и теплового балансов

$$G_i \cdot \left(\bar{u}_i^{-j-1} - \bar{u}_i^{-j} \right) = L \cdot (x_{i-1} - x_i) \cdot \tau_j, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m} \quad (1)$$

$$Lc_{c.a.} \cdot (t_{i-1} - t_i) \cdot \tau_j = G_i \cdot r_u \cdot \left(\bar{u}_i^{-j-1} - \bar{u}_i^{-j} \right) \quad (2)$$

– нелинейное уравнение диффузии влаги в частице материала

$$u_{ij} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} [r \cdot D_e(u_i, T) \cdot u_{ir}], \quad 0 \leq r \leq R_{\text{экр}}, \tau > 0 \quad (3)$$

с начальным

$$u_i(r, 0) = u \quad (4)$$

и граничными условиями

$$\begin{aligned} u_{ir}(0, \tau) &= 0 \\ u_i(R_{\text{экр}}, \tau) &= u_p \end{aligned} \quad (5)$$

где G количество материала в i -ом слое, кг; \bar{u}_i^{j-1} , \bar{u}_i^j средние значения влагосодержания материала в моменты времени τ_{j-1} и τ_j , соответственно, кг/кг; x_i^{j-1} , x_i^j влагосодержание сушильного агента материала в моменты времени τ_{j-1} и τ_j , соответственно, кг/кг.

Габариты сушильного аппарата с движущимся плотным поперечно-продуваемым кольцевым слоем рассчитываются по уравнениям:

– внутренний диаметр аппарата, м

$$D_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{(4 \cdot L)}{\pi \cdot v_{\phi} \cdot \rho_{\text{с.а.}}}}, \quad D_{\text{вн}} = 0.031 \quad (6)$$

– наружный диаметр аппарата, м

$$D_a = D_{\text{вн}} + 2S, \quad D_a = 0.5 \quad (7)$$

где S определяется из решения задачи оптимизации процесса и аппарата сушки;

– высота аппарата, м

$$H_a = V \cdot \tau_{\text{суш}}, \quad H_a = 1.5 \quad (8)$$

Гидравлическое сопротивление аппарата ΔP_a , Па:

$$\Delta P_a = 2 \cdot \Delta P_{\text{см}} + \Delta P_{\text{ст}}, \quad \Delta P_a = 655858 \quad (9)$$

где сопротивление перфорированных стенок [2], Па:

$$\Delta P_{\text{см}} = \frac{0.503 \cdot V_0^2 \cdot \rho_{\text{с.а.}} \cdot (1 - \phi^2)}{C_c^2}, \quad \Delta P_{\text{см}} = 298174 \quad (10)$$

– сопротивление слоя дисперсного материала [3], Па:

$$\Delta P_{\text{ст}} = 9.81 \cdot A \cdot S \cdot V_{\phi}^n, \quad \Delta P_{\text{ст}} = 59510 \quad (11)$$

Мощность, затрачиваемая на продувку слоя материала [2], кВт

$$N_B = \frac{V_L \cdot \Delta P_a}{1000}, \quad N_B = 41.295 \quad (12)$$

Для электрокалорифера определяются [2]:

– расход тепла на нагрев сушильного агента, кДж

$$Q_{\kappa} = Lc_{c.a.}(t_n - t_{\kappa}), Q_{\kappa} = 21.958 \quad (13)$$

Ввиду незначительности сопротивления калорифера данной величины можно пренебречь.

– мощность электрокалорифера, кВт

$$N_{\kappa} = \frac{Q_{\kappa}}{\eta}, N_{\kappa} = 23.114 \quad (14)$$

где η - кпд электрокалорифера.

В выражениях (10) – (12): ϕ доля живого сечения (степень перфорации) стенки; $V_0 = \frac{V\phi}{\phi}$ скорость потока в отверстиях стенки, м/с; C_c^2 коэффициент сопротивления стенки, зависящий от соотношения диаметра отверстий перфорации к толщине стенки; A и n эмпирические коэффициенты; V_L объемный расход сушильного агента, м³/с.

Алгоритм решения уравнений (1) – (5) включает следующие шаги.

Шаг 1. Рассчитывается шаг τ_i по формуле $\tau_j = \frac{S}{v_{c.a.}}$ (на первом шаге $j=1$), задается номер i слоя (для первого слоя $i=1$) и значения $t_i^V = t_{i-1}$, $x_i^V = x_{i-1}$ (для первой итерации $v=1$). Определяется значение $u_p(t_i^V, x_i^V)$ и решается нелинейная краевая задача диффузии (3) – (5) конечно-разностным методом с использованием разностной схемы неявного типа и четырехточечного шаблона [4 – 6]. Рассчитывается \bar{u}_i^j по формуле:

$$\bar{u}_i^j = \frac{2}{R_{\text{экв}}^3} \cdot \int_0^{R_{\text{экв}}} r \cdot u_i(r, \tau_j) \cdot dr$$

Шаг 2. Из уравнений (1), (2) определяются значения t_i , x_i и осуществляется проверка выполнения условий сходимости итераций:

$$\left| \frac{x_i - x_i^V}{x_i^V} \right| \leq \delta_1, \left| \frac{t_i - t_i^V}{t_i^V} \right| \leq \delta_2$$

Если условия не выполняются, то производится уточнение задаваемых значений температуры и влагосодержания в i -ом слое:

$$t_i^{v+1} = \frac{(t_i + t_i^V)}{2}, x_i^{v+1} = \frac{(x_i + x_i^V)}{2}$$

и осуществляется переход к шагу 1, в противном случае - к шагу 3.

Шаг 3. Принимаются $t_i^v = t_i$, $x_i^v = x_i$, $v = 1$, номер слоя $\langle i \rangle := i + 1$ и проверяется условие $i > 1$. Если условие не выполняется, то следует переход к шагу 1, в противном случае - на следующий шаг 4.

Шаг 4. Проверяется условие

$$\frac{|\bar{u}_N - \bar{u}_{зад}|}{\Delta u_{дон}} \leq \delta_3,$$

если условие не выполняется, то задается новый шаг по времени $\langle j \rangle := j + 1$ и следует переход к шагу 1. В противном случае расчет закончен.

Затем по формулам (6) – (14) производится расчет габаритов сушильного аппарата с движущимся плотным поперечно-продуваемым кольцевым слоем, гидравлического сопротивления сушильного аппарата, мощности, затрачиваемой на продувку слоя материала в сушильной камере и мощности электрокалорифера.

Список литературы

1. Сельскохозяйственные машины / А. Б. Лурье, Ф. Г. Гусинцев, Е. И. Давидсон. // Ленинград: Колос. – 1983. – 383 с.
2. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. // Ленинград: Химия. – 1987. – 576 с.
3. Сушильные установки сельскохозяйственного назначения / В. С. Мальтри. // М.: Машиностроение. – 1979. – 526 с.
4. Математические методы в химической технике / Л. М. Батунер, М. Е. Позин. // Л.: Химия. – 1968. – 824 с.
5. Методы вычислений / И. С. Березин, Н. П. Жидков. // М.: Физматгиз. – 1962. – Т.2, – 640 с.
6. Численные методы анализа. Приближение функций, дифференциальные и интегральные уравнения / Б. П. Демидович, И. А. Марон, Э. З. Шувалова. // М.: Наука. – 1967. – 368 с.

Направление 270100

СТРОИТЕЛЬСТВО

Магистерская программа 270100.01

Теория и проектирование зданий и сооружений

Руководитель программы д.т.н., проф. Леденев В. В.

Антонов В. М., Медведев В. М.

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ПЕСЧАНЫХ ОСНОВАНИЙ, АРМИРОВАННЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Работа выполнена под руководством к. т. н., доц. Антонова В. М.

*ТГТУ, Кафедра «Конструкции зданий
и сооружений»*

Среди различных специальных инженерных мероприятий, позволяющих повысить несущую способность и снизить деформации основания, заслуживает внимания, как менее материалоемкий и более экономичный, метод армирования грунта. Наиболее перспективным становится этот метод в условиях послойного создания искусственного основания. [1]

В качестве армирующих элементов в основном используют отдельные или сваренные в сетку арматурные стержни, стальные пластины, которые покрывают цинком, эпоксидными или каменноугольными смолами. В последнее время для повышения несущей способности ос-

нования используют геотекстиль – тканый полимерный материал, обладающий значительной коррозионной способностью и долговечностью. При выборе материала засыпки предпочтение отдают несвязным грунтам; связные (глину, суглинки) - используют реже вследствие их подверженности микробиологическому воздействию, набуханию, образованию усадочных и морозобойных трещин, реологическим воздействиям. [2]

В работе изучалось поведение грунта армированного сеткой, состоящей из полосок геотекстиля при постоянной влажности и плотности песчаного основания и переменной глубине заложения сетки и размеров ячейки (рис. 1)

Исследования со стальным незаглубленным штампом диаметром $D = 150$ мм проводились в металлическом лотке размерами $1,8 \times 1 \times 0,85$ (h) м, заполненном грунтом и оснащенном рычажной системой.

Грунт - песок мелкий однородный, увлажненный до оптимальной влажности $\omega = 9-10\%$ и плотностью $\rho = 1,74-1,76$ г/см³, послойно уплотняли трамбовкой. Для армирования применяли сетку размерами в плане

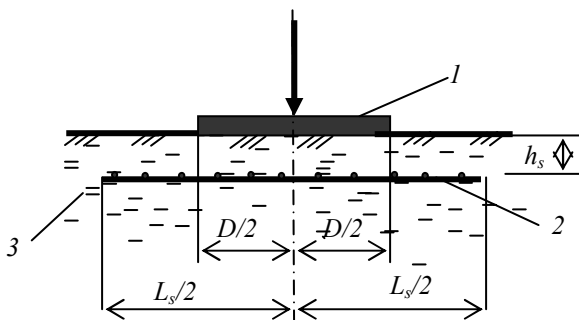


Рис. 1. Схема установки модели фундамента и арматурной сетки:

1 - штамп, 2 – сетка из геотекстиля, 3 - песчаное основание

300×170 мм (ячейка 20×20 мм и 40×40 мм, сетка располагается в арматурном каркасе, диаметр стержней каркаса 5 мм); геометрический

центр сетки совмещали с осью нагрузки, глубину заложения сетки принимали $h_s = 0,1D, 0,2D, 0,3D$ и $0,4D$. Сетка состоит из геотекстильных полосок шириной 17 мм и толщиной 0,5 мм (рис. 2). Вертикальную нагрузку прикладывали центрально.

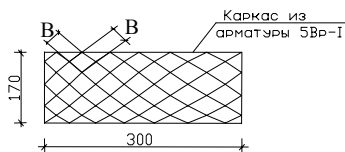


Рис. 2. Схема сетки: В – размер ячейки

По результатам экспериментов были построены зависимости осадка – нагрузка при переменном шаге полос геотекстиля (рис. 3) и разной глубине заложения армирующего элемента (рис. 4).

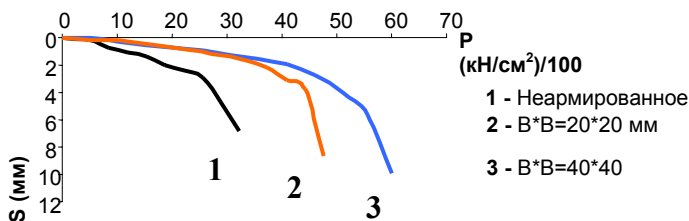


Рис. 3. Зависимость осадка – нагрузка при разной В: $h_s=45$ мм; $\rho=1,736$ г/см³; $\omega=9,42\%$.

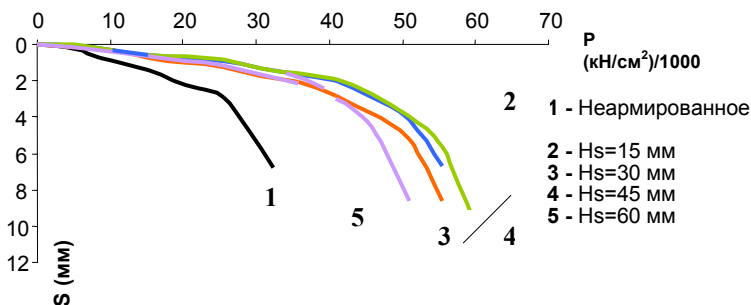


Рис. 4. Зависимость осадка – нагрузка при разной h_s : размер ячеек $B*B=20*20$ мм, $\rho=1,733$ г/см³; $\omega=9,57\%$

Анализ результатов экспериментов позволил сделать следующие выводы:

- несущая способность армированного песчаного основания увеличивается в 1,47-1,86 раза по сравнению с неармированным и зависит от размеров ячейки сетки В,
- наиболее эффективна глубина заложения сетки в зоне развития максимальных значений касательных (сдвиговых) напряжений.

Список литературы

1. Джоунс К. Д. Сооружения из армированного грунта. //Пер. с англ. В. С. Забавина под ред. д. т. н. В. Г. Меньшикова. – М.: Стройиздат, 1989. – 280 с.
2. Антонов В.М. Влияние армирования на несущую способность и деформативность песчаного основания. – Автореф. дисс. ... к.т.н. – Волгоград: ВолгГАСА, 1998. – 20 с.

Кузнецов И. Н., Елагин В. Н., Вахонин А. В.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЕКТНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ, ОСНОВАННЫХ НА МКЭ, ДЛЯ АНАЛИЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Работа выполнена под руководством к.т.н., доц. Евдокимцева О. В.

*ТГТУ, Кафедра «Конструкции зданий
и сооружений»*

В настоящее время при проектировании строительных конструкций значительная часть расчетов выполняется на персональных компьютерах (ПК) с помощью специальных проектно-вычислительных комплексов (ПВК), в которых отражаются и используются самые современные достижения по расчету и проектированию сооружений. Алгоритмы численных расчетов в этих программах в основном строятся на методе конечных элементов (МКЭ), реализуемом в форме метода перемещений.

Коллективом магистрантов проводятся исследования НДС стальной П-образной рамы на песчаном основании. Рассматривается рама с шарнирным сопряжением ригеля с колонной и жестким сопряжением колонн с фундаментами.

В лабораторных условиях моделируется реальная работа исследуемой конструкции. Модель рамы выполнена в соответствии с критериями геометрического подобия. Нагрузка в виде вертикальной, осевой сосредоточенной силы передается на ригель гидравлическим домкратом.

Задачей исследований является изучение влияния на НДС конструкции перемещений фундаментов, вызванные деформациями грунтового основания, а так же податливости узла сопряжения ригеля с колонной.

После получения экспериментальных данных необходимо разрешать задачу по сравнению полученных данных с расчетными значениями и предварительно ожидаемыми результатами. В этот период, авторами считается необходимым, проводить контрольные вычисления на ПК с помощью ПВК методом КЭ. Данные вычисления моделируют работу экспериментальной установки. Алгоритмы выполнения расчетов на различных ПВК методом КЭ в подавляющем большинстве схожи и имеют следующий порядок:

- 1) создание расчетной схемы стержневой системы для МКЭ;
 - 1.1) графическое представление расчетной схемы в общей

системе координат для всей стержневой системы с нумерацией узлов и элементов и местных систем координат для каждого элемента отдельно;

- 1.2) назначение типа элементов;
- 1.3) назначение жесткости элементов;
- 1.4) назначение опорных связей;
- 1.5) назначение шарниров в узлах элементов;
- 2) загрузка расчетной схемы МКЭ;
 - 2.1) задание узловой нагрузки;
 - 2.2) задание нагрузки на элемент;
- 3) выполнение линейного расчета и представление его результатов;
 - 3.1) выполнение линейного расчета, в котором реализуется алгоритм решения задачи МКЭ по определению перемещений узлов (в общей для стержневой конструкции системе координат) и усилий в намеченных для расчета сечениях элементов (в местной системе координат);
 - 3.2) представление полученных результатов расчета стержневой системы в виде эпюр усилий в ее элементах и картины перемещений узлов.

В [3] сообщалось о результатах проведения различных экспериментов с П-образной рамой, перечисленные эксперименты были смоделированы в ПК SCAD на модели плоской рамы (рис.1), состоящей из 22 конечных элементов с 6 типами жесткостей (для ригеля, колонны, фундамента, жестких вставок и податливости опор). Стоит отметить, что все геометрические размеры модели и реальной экспериментальной установки идентичны, то же касается и материала элементов и геометрических размеров поперечных сечений. Модель рамы загружалась в ПК SCAD при различном решении сопряжения узлов ригеля и колонны – жестком и шарнирном, а также проводились расчеты без учета и с учетом податливости опор. Данные отличия расчетных схем одной и той же модели достигается путем введения различных конечных элементов и наложения связей в узлах, например, введение шарниров, связей конечной жесткости, ограничение перемещений узлов и т.д.

В результате численных экспериментов в ПК SCAD с моделью рамы были получены перемещения в узлах и силовые факторы (N , Q , M). Полученные данные оказались близки к опытным и в целом достоверно отражают работу рамы.

Архитектурно-строительное материаловедение

Руководитель программы д.т.н., проф. Ярцев В. П.

Ермаков С. В., Веретенников Ю. Н., Киселёва О. А.

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЙ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИТОВ

Работа выполнена под руководством к.х.н., доц. Киселевой О. А.

*ТГТУ, Кафедра «Конструкции зданий
и сооружений»*

Ранее было установлено, что наличие концентраторов напряжений оказывает значительное влияние на прочность фанеры [1]. В процессе эксплуатации материал находится под действием длительных нагрузок, поэтому возникла необходимость в изучении влияния концентратора напряжений на долговечность материала.

Испытания проводили при поперечном изгибе в режиме заданных постоянных температур и напряжений. Долговечность τ (время от момента приложения нагрузки до момента разрушения) фиксировали с помощью секундомера или потенциометра. Температуру в процессе испытания поддерживали ЛАТРОм и потенциометром постоянной с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$. Для экспериментов использовали образцы фанеры размерами $10 \times 6,5 \times 12$ с отверстиями по центру пластин диаметром 3 мм. Полученные данные представлены на рисунке 1-2.

Для фанеры характерен сложный механизм разрушения (рисунок 1) (зависимость представляет собой семейство веерообразных прямых образующих два «прямых» пучка) и описываются уравнением (1). Так в интервале напряжений 60-80 МПа происходит послойное ее разрушение, а в интервале напряжений 80-100 фанера работает как монолитный материал.

$$\tau = \tau_m \exp \left[\frac{U_0 - \gamma \sigma}{R} (T^{-1} - T_m^{-1}) \right] \quad (1)$$

где τ_m , U_0 , γ и T_m – физические константы материала: τ_m – минимальная долговечность (период колебания кинетических единиц – ато-

мов, групп атомов, сегментов), с; U_0 – максимальная энергия активации разрушения, кДж/моль; γ – структурно-механическая константа, кДж/(моль×МПа); T_m – предельная температура существования твёрдого тела (температура разложения), К; R – универсальная газовая постоянная, кДж/(моль×К); τ – время до разрушения (долговечность), с; σ – напряжение, МПа; T – температура, К.

Следует отметить, что фанера марки ФСФ по-разному работает в интервалах температур до и после 40 °С, что, по-видимому, связано с изменением состояния смолы, которая при повышенных температурах доотверждается. Кроме того, для фанеры этой марки характерны большие величины энергии активации, что вызвано явлением кратности [2] – одновременно происходит разрушение не одной, а нескольких связей.

При введении концентратора напряжений сложный механизм разрушения фанеры сохраняется. Однако, происходит изменение вида зависимости: в области малых напряжений <50 МПа она принимает вид «обратного пучка», описываемого уравнением (2), а в области больших напряжений >50 МПа – «прямого» (уравнение (1)). Такое поведение композитов, по-видимому, связано с изменением их структуры в результате ориентации вокруг дефекта.

$$\tau = \tau_m^* \exp \frac{U_0^* - \gamma^* \sigma}{RT} \left(\frac{T_m^*}{T} - 1 \right) \quad (2)$$

где τ_m^* , U_0^* , γ^* , T_m^* – эмпирические константы.

Величины физических и эмпирических констант, входящие в уравнения (1)-(2) представлены в таблице 1

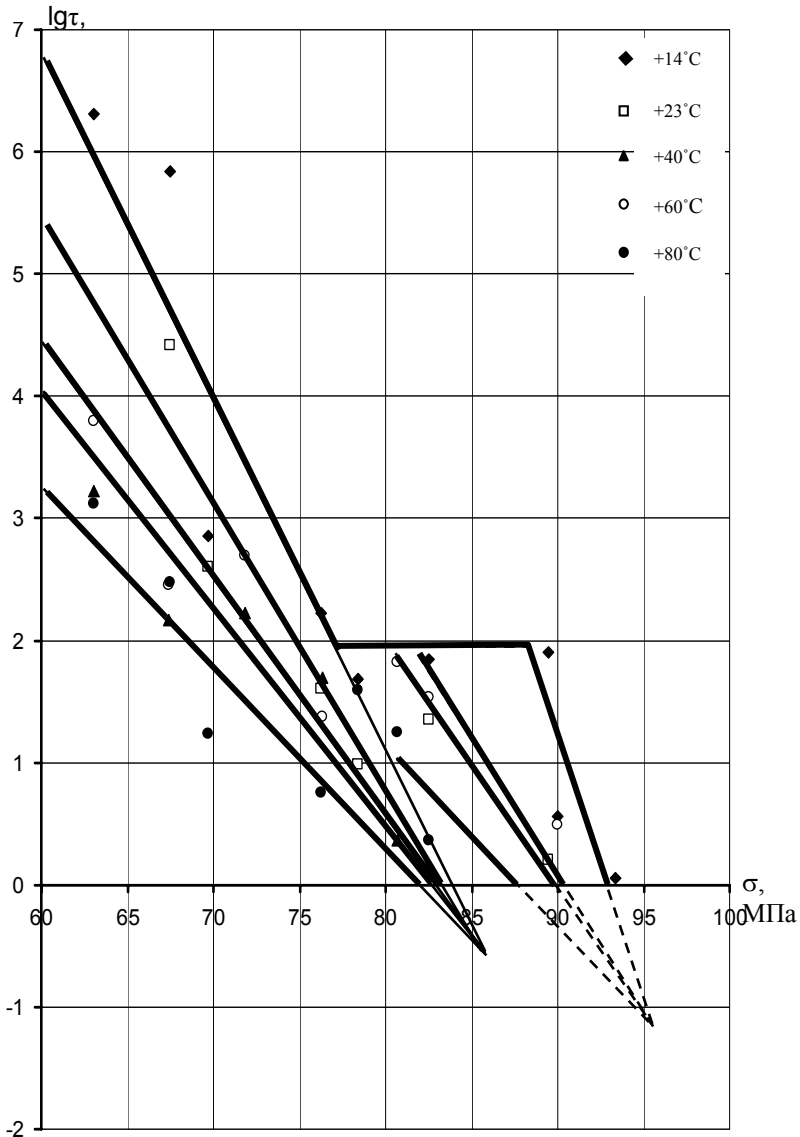


Рис. 2. Зависимость долговечности от напряжения при поперечном изгибе для фанеры (ФСФ) без концентратора напряжения.

————— - интервал напряжений 60 - 80 МПа

Таблица 1

**Значения физических констант при поперечном изгибе
для фанеры марки ФСФ**

Наличие концентратора напряжений	Интервал температур, °С	Интервал напряжений, МПа	Физические константы			
			τ_m , с	T_m , К	U_0 , кДж/моль	γ , кДж/(МПа×моль)
без	14-40	60-80	$10^{-0.88}$	369	633	7
		80-100	10^{-1}	303	3518	45
	40-80	60-80	$10^{-0.4}$	431	486	5.6
		80-100	$10^{-1.1}$	400	790	8
с концентратором	17-40	<50	$10^{6.3}$	225	-214	-5,94
		>50	10^1	339	107	1,74

Из таблицы видно, что при введение концентратора напряжений происходит изменение всех констант. Причем наиболее сильно оно проявляется для энергии активации и структурно-чувствительной константы. В области малых напряжений величины эмпирических констант (τ_m , U_0 и T_m) фанеры близки аналогичным константам древесностружечных плит (таблица 2) [3].

Таблица 2

**Влияние концентратора напряжений на значения констант ДСП
(при поперечном изгибе)**

Плотность ДСП, кг/м ³	Константы			
	τ_m^* , с	U_0^* , кДж/моль	γ^* , кДж/(моль×МПа)	T_m^* , К
850	10^6	-208	-36	247
800	10^8	-152	-33	235

Полученные данные позволяют прогнозировать по уравнениям (1) – (2) долговечность фанеры в широком диапазоне условий эксплуатации: напряжении, температуре и времени нагружения.

Список литературы

1. Киселёва О.А., Ярцев В.П., Ермаков С.В. Влияние концентраторов напряжений на прочностные свойства древесины и древесных композитов // Сборник материалов: VI Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии» (30 июня – 2 июля 2005г.). – Тула, 2005. – с. 26-27.
2. Сузюмов А.В., Киселева О.А., Ярцев В.П. Закономерности разрушения и деформирования фанеры // Сборник статей магистрантов по материалам научной конференции. Выпуск 1. Часть 2. – Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2005. – С. 91-94.
3. Киселёва О.А. Прогнозирование работоспособности древесностружечных и древесноволокнистых композитов в строительных изделиях.// Дис... канд. техн. наук. – Воронеж, 2003. – 205 с.

Веретенников Ю. Н., Ермаков С. В., Корчагина О. А.

МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БЕТОНЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЦОКОЛЬНЫХ И ТРОТУАРНЫХ ПЛИТОК И КАМНЕЙ

Работа выполнена под руководством к.х.н., доц. Корчагиной О. А.

*ТГТУ, Кафедра «Конструкции зданий
и сооружений»*

Мелкозернистый бетон применяют при изготовлении тонкостенных, в том числе армоцементных конструкций, а также в тех случаях, когда отсутствует крупный заполнитель.

Свойства мелкозернистого бетона характеризуются такими же факторами, как и обычного бетона. Однако отсутствие крупного заполнителя влечет за собой увеличение водопотребности бетонной смеси, а для получения равнопрочного бетона и равно-подвижной смеси возрастает расход цемента на 20...40%. Мелкозернистый бетон отличается большим содержанием цементного камня, поэтому его усадка и ползучесть несколько выше, чем у обычных бетонов. Для сокращения расхода цемента необходимо применять высококачественные пески, пластифицирующие добавки, суперпластификаторы, производить хорошее уплотнение смеси. Мелкозернистый бетон обладает повышенной прочностью на изгиб, хорошей водонепроницаемостью и морозостойкостью.

Прочность при сжатии мелкозернистого цементно-песчаного бетона, как и обычного, определяется главным образом активностью цемента и водоцементным отношением:

$$R_6 = AR_{ц}(\frac{Ц}{В} + 0,8)$$

где А - коэффициент, равный 0,8 для высококачественных материалов, 0,75 - для материалов среднего качества и 0,65 - для цемента низких марок и мелкого песка; $R_{ц}$ - активность цемента; R_6 - прочность при сжатии образцов - половинок балочек размером 4x4x16 см.

Меньшая крупность и повышенная удельная поверхность заполнителя (песка) увеличивают водопотребность бетонной смеси, способствуют вовлечению в бетонную смесь воздуха при вибрировании. Водопотребность цементно-песчаной смеси определяется не только требуемой подвижностью, как у обычного бетона, но и ее составом (например, для получения бетонной смеси с осадкой конуса 2 см при применении песка средней крупности расход воды, при составе бетона 1:3 равен 260 л/м³, а при составе бетона 1:2 — 300 л/м³).

Качество песка оказывает заметное влияние на прочность мелкозернистого бетона. Если в обычном бетоне замена крупного песка

мелким понижает прочность всего на 5...10%, то в мелкозернистом бетоне прочность может уменьшиться на 25...30%, а максимальная прочность песчаного бетона составов 1:2...1:3, которую можно достигнуть при определенной интенсивности уплотнения, иногда снижается в 2...3 раза.

При развитии технологии строительного производства возросли требования к качеству как товарного бетона или раствора, так и к элементам зданий и сооружений. Это распространяется на все виды строительной деятельности: от возведения здания до производства сухих строительных смесей. Высокое качество бетонных и растворных смесей можно добиться путём применения строительных добавок.

В настоящее время наиболее часто применяются такие добавки как «ПластиЛ-У», «С-3», «Реламикс», «ПФМ-НЛК», которые согласно ГОСТ 24211-91 «Добавки в бетон» относятся к группе добавок ускоряющих твердение бетона и обеспечивающих улучшение целого ряда характеристик:

- увеличение прочности бетона на сжатие;
- увеличение водонепроницаемости;
- достижение морозостойкости бетона свыше 300 циклов;
- понижение воды затворения;
- значительное улучшение формовочных свойств удобоукладываемости, подвижности, нерасслаиваемости, жизнеспособности;
- не вызывают коррозии арматуры железобетонных изделий;

Добавки вводятся в смесь бетона или раствора в процентном отношении от массы цемента, либо непосредственно в смесь перед подачей воды, либо совместно с водой затворения.

Применение добавок является простым, эффективным способом увеличить важные характеристики бетонов и цементных растворов без увеличения стоимости, а также оборачиваемости форм и снижение сроков строительства.

Уплотнение бетонной смеси при вибрировании происходит в результате передачи ей часто повторяющихся вынужденных колебаний (толчков), в совокупности выражающихся встряхиванием.

В каждый момент встряхивания частицы бетонной смеси находятся как бы в подвешенном состоянии, при этом нарушается их связь с другими частицами. При последующих толчках частицы под действием собственной массы падают и занимают при этом более выгодное положение, при котором на них в меньшей степени могут воздействовать толчки. Это отвечает условиям наиболее плотной их упаковки, что в конечном итоге приводит к получению плотной бетонной смеси.

Вторая причина уплотнения бетонной смеси при вибрировании - способность переходить во временно текущее состояние под действием приложенных к ней внешних сил, которое называется тиксотропностью. Будучи во временно жидком состоянии, бетонная смесь при вибрировании начинает растекаться, приобретая конфигурацию формы, и под действием собственной массы уплотняться. Это определяет высокие технические свойства

Высокую степень уплотнения бетонной смеси получают при использовании оборудования незначительной мощности.

Способность бетонных смесей переходить во временно текучее состояние под действием вибрации зависит от подвижности смеси и скорости перемещения её частиц одна относительно другой. Подвижные смеси легко переходят в текучее состояние, при этом требуется небольшая скорость перемещения частиц. С повышением жёсткости (уменьшением подвижности) смесь всё более утрачивает это свойство, и для приведения её в текучее состояние необходимо увеличить скорость колебаний, в связи с чем возрастают затраты энергии.

Скорость колебаний при вибрировании $v = An$ кол./мин., где "A"- амплитуда, "n"- частота колебаний.

При постоянной частоте колебаний вибромеханизма для большинства виброплощадок она равна 3000 кол./мин; изменение скорости колебаний может быть достигнуто изменением амплитуды. Практика показала, что подвижные бетонные смеси эффективно уплотняются при амплитуде колебаний 0,3-0,35 мм, а жёсткие смеси - при 0,5-0,7 мм. (Для виброуплотнения литевой плитки необходимо использовать стационарные электромеханические вибраторы).

На качество работы оказывает влияние не только параметры работы вибромеханизма (A, n), но так же продолжительность вибрирования. Для каждой бетонной смеси в зависимости от её подвижности существует оптимальная продолжительность виброуплотнения, до которой смесь уплотняется эффективно, а сверх которой затраты энергии возрастают в значительно большей степени, чем происходит уплотнение смеси; дальнейшее её уплотнение вообще не даёт прироста прочности. Чрезмерно продолжительное вибрирование может привести к расслаиванию смеси, разделению её на отдельные компоненты, что, в конечном итоге, обуславливает неравномерную плотность изделия по сечению и снижение прочности в отдельных его частях.

Список литературы

1. Наназашвили И.Х., Бунькин И.Ф., Наназашвили В.И. Строительные материалы и изделия/ ООО «Аделан», 2005г., 480 с.;
2. ГОСТ 26633-91 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые»;
3. ГОСТ 24211-91 «Добавки в бетон»;
4. ГОСТ 28013-89 «Растворы строительные»;
5. ГОСТ 7473-94 «Смеси бетонные».

Направление 210200

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Магистерская программа 210200.05

Информационные технологии проектирования электронных средств

Руководитель программы д.т.н., проф. Муромцев Ю. Л.

Нистратов М. И.

ДЕГРАДАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЛАЖНОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Работа выполнена под руководством д.т.н., проф. Чернышовой Т. И.

*ГТУ, Кафедра «Конструирование радиоэлектронных
и микропроцессорных систем»*

Изменение во времени метрологических характеристик (МХ) измерительных средств (ИС) является одной из важнейших проблем при прогнозировании технического состояния и является следствием старения комплектующих элементов. Воздействие окружающей среды оказывает влияние на скорость старения и на уход параметров комплектующих от номинальных. Широкий диапазон таких воздействий на ИС в процессе эксплуатации вызывает потребность глубокого изучения реакций на эти воздействия уже на этапе проектирования.

Математическая модель изменения метрологической характеристики (МХ) ИС во времени выражает зависимость метрологической характеристики ИС от значений входного сигнала, параметров комплектующих элементов и внешних влияющих факторов [1]:

$$S(t) = F(x, \bar{\xi}(t), \bar{\varphi}), \quad (1)$$

где S - метрологическая характеристика; x - входной параметр; $\bar{\xi}$ - вектор параметров комплектующих; $\bar{\varphi}$ - вектор параметров влияющих факторов; t - время.

Как показывает анализ выражения (1), изменение метрологических характеристик ИС во времени обусловлено прежде всего старением электронных компонентов, входящих в состав данного ИС. Дрейф параметров элементной базы обусловлен воздействием различных факторов окружающей среды и старением элементов. Основными влияющими факторами на временное изменение параметров элементов являются влажность F и температура T . В рамках данной статьи описывается влияние влажности на временной дрейф элементной базы ИС и соответственное изменение во времени метрологических характеристик данного ИС.

Изменения параметров элементов под действием факторов окружающей среды, в частности влажности, можно разделить на два класса: обратимые и необратимые.

Для описания обратимых изменений параметров элементов вводится понятие коэффициента влажности. Например, влажностный коэффициент емкости β_c определяется как относительное изменение емкости при изменении относительной влажности на 1%:

$$\beta_c = \frac{2 \cdot (C_2 - C_1)}{(C_2 + C_1) \cdot (F_2 - F_1)}, \quad (2)$$

где C_1 - емкость при относительной влажности F_1 , C_2 - емкость при относительной влажности F_2 .

Компания *EPCOS*, являющаяся одним из крупнейших поставщиков конденсаторов на российском рынке, приводит параметры коэффициентов влажности для некоторых диэлектриков [2].

Коэффициенты влажности для различных диэлектриков

Диэлектрик		Полипропилен	Терефталат полиэтилена	Нафталат полиэтилена
Коэффициент влажности β_c	$10^{-6} / \%$ относительной влажности	40...100	500...700	700...900

Для описания необратимых процессов (старения), происходящих в элементной базе ИС, следует воспользоваться такими справочными данными, как срок сохраняемости при нормальных условиях τ и максимальное значение относительного изменения номинала при нормальных условиях за это время ξ_ξ [3]. Скорость старения ν при нормальных условиях определяется как отношение этих двух величин:

$$\nu = \frac{\xi_\xi}{\tau}. \quad (3)$$

Таким образом, изменение во времени параметров элементов (старение) происходит соответственно следующему выражению:

$$\xi_i(t) = \xi_i^0 (1 + \nu t), \quad (4)$$

где ξ_i - значение элемента в данный момент времени t ; ξ_i^0 - начальное значение элемента.

Влияние повышенной температуры и влажности на скорость протекающих процессов коррозии и других типов химической деградации описывается уравнением Аррениуса [2, 4]:

$$A = \left(\frac{F_1}{F_2} \right)^n \exp \left(\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \right), \quad (5)$$

где A - коэффициент ускорения; E_a - энергия активации; k - постоянная Больцмана ($8.6171 \cdot 10^{-5}$ эВ); F_1 , T_1 - нормальные условия; F_2 , T_2 - условия эксплуатации; n - параметр, зависящий от типа протекающей реакции.

Данная модель используется для компонентов, которые подвергаются различным видам деградации материалов под действием повышенной температуры и влажности. Она широко используется в элек-

тронной промышленности. В технической информации производителей электронных изделий можно найти некоторые параметры данного уравнения.

Например, фирма *PHILIPS* в своей технической документации приводит значения энергии активации для некоторых видов реакций [5]. В таблице 2 приведены эти значения.

Т а б л и ц а 2

Энергия активации некоторых видов реакций

Вид деградации	Энергия активации (эВ)
Диффузия и дефект набухания	0.3-0.4
Электролитическая коррозия	0.8-1

С учетом коэффициента ускорения выражение старения элемента (4) выглядит следующим образом:

$$\xi_i(t) = \xi_i^0 (1 + \nu At). \quad (6)$$

Окончательно, с учетом коэффициента влажности уравнение (6) примет вид:

$$\xi_i(t) = \xi_i^0 (1 + \nu At)(1 + \beta(F_2 - F_1)). \quad (7)$$

Полученные таким образом значения параметров элементов в дальнейшем используются в процедуре статистического моделирования изменения во времени МХ проектируемого ИС.

Список литературы

1. Мищенко С.В., Цветков Э.И., Чернышова Т.И. Метрологическая надежность измерительных средств – М.: Машиностроение, 2001. - 218 с.
2. «General Technical Information», <delivery.cms-epcos.com/.../General_technical_information.pdf>
3. Резисторы: Справочник / Ю.Н. Андреев, А.И. Антонян, Д.М. Морозов и др.; под ред. И.И. Четверткова. – М.: Энергоиздат, 1981. – 352с.
4. Henry Livingston «Guidelines for using plastic encapsulated microcircuits and semiconductors in military, aerospace and other rugged applications», <smalab.ri.uah.edu/dmsms2k/papers/livingston.pdf>
5. «Philips semiconductors reliability», <www.semiconductors.philips.com/acrobat/other/profile/qrh_interactief.pdf>

Баранов А. М., Осипов Е. В.

СИНТЕЗ ФИЛЬТРА КАЛМАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MATLAB

Работа выполнена под руководством к.т.н., доц. Артемовой С. В.

*ГТУ, Кафедра «Конструирование радиоэлектронных
и микропроцессорных систем»*

В настоящее время актуальна задача оптимального управления энергоёмкими объектами. Существует множество подходов к решению задач такого рода - это применение различных систем оптимального управления (СОУ) с использованием простых, линейно-квадратичных или энергосберегающих регуляторов.

Однако, при применении различных СОУ, возникает проблема, связанная с появлением шумов измерения на выходе объекта управления, что приводит к значительному снижению эффективности системы. Решить указанную проблему позволяет применение различных фильтров. Наиболее широкое применение получил фильтр Калмана.

Для дискретного случая в общем виде предполагается заданной следующая модель объекта управления:

$$\begin{cases} x(n+1) = Ax(n) + BU + Gw \\ y_v(n) = Cx(n) + DU + Hw + v \end{cases}, \quad (1)$$

Первое уравнение системы – уравнение состояния, второе – уравнение наблюдений, где x – фазовая переменная, y – измеренное ее значение.

Известны входное воздействие U и возмущения на входе w и измерения v , которые являются «белым шумом» со следующими характеристиками:

$$\begin{aligned} M\{w\} &= M\{v\} = 0, \\ M\{w(t)w^T(\tau)\} &= Q_n \delta(t - \tau), \\ M\{v(t)v^T(\tau)\} &= R_n \delta(t - \tau), \\ M\{v(t)w^T(\tau)\} &= N_n \delta(t - \tau). \end{aligned}$$

Синтез наблюдателя для оценивания вектора переменных состояния объекта проводится исходя из минимизации установившейся ошибки оценивания:

$$P = \lim_{t \rightarrow \infty} M\left\{\left(x - \bar{x}\right)\left(x - \bar{x}\right)^T\right\}.$$

Оптимальным решением является фильтр Калмана описываемый уравнениями:

$$\begin{cases} x(n+1) = Ax(n) + BU(n) + L(y_v(n) - Cx(n) - DU(n)) \\ \begin{bmatrix} x(n) \\ y(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C(I - MC) \\ I - MC \end{bmatrix} x(n) + \begin{bmatrix} (I - CM)D & CM \\ -MD & M \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U(n) \\ y_v(n) \end{bmatrix} \end{cases} \quad (2)$$

где матрица коэффициентов обратной связи L определяется на основе решения уравнения Рикатти [1].

На рисунке 1 показана структурная схема СОУ с использованием фильтра Калмана.

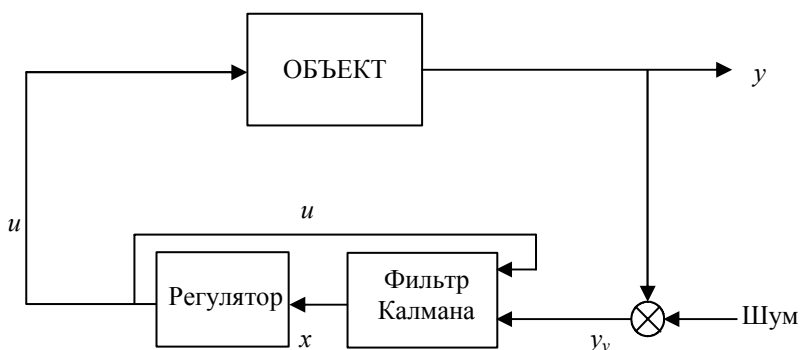


Рис.1. Структурная схема СОУ с применением фильтра Калмана

В данной статье рассматривается применение фильтра Калмана с целью обеспечения устойчивости СОУ к воздействию помех. В качестве объекта управления рассматривается технологическая установка термообработки магнитопроводов ТОМ-1.

Объект управления принадлежит классу электрических печей сопротивления, в которых электрическая энергия превращается в тепло в твердых или жидких телах при протекании через них тока.

Погрешности измерительных приборов – основные источники помех, влияющие на точность управления.

Рассмотрим процесс синтеза фильтра Калмана с использованием *MatLab*. В результате идентификации экспериментальных данных получена модель объекта в дискретном виде – двойной интегратор:

$$\begin{cases} x_1(n+1) = x_2(n) \\ x_2(n+1) = bU(n) \end{cases}$$

Шаг дискретизации $\Delta t = 0,1с$.

Параметры модели следующие:

$$a = 1,$$

$$b = 0.2,$$

$$\bar{A} = \begin{pmatrix} 1 & 0.1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \bar{B} = \begin{pmatrix} 0.003 \\ 0.06 \end{pmatrix}.$$

Значения весовых коэффициентов:

$$Q = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 7 \end{pmatrix}, R = 1, N = 0.$$

Этапы синтеза фильтра Калмана на основе исходных данных следующие:

1. Задаем исходные данные (модель ДИ-звено):

$$a = [0 \ 0.1; 0 \ 1],$$

$$b = [0.003; 0.06],$$

$$c = [1 \ 0],$$

$$q = [1 \ 1; 1 \ 7],$$

$$r = 1.$$

2. Рассчитываем матрицу коэффициентов обратной связи:

$$[k, s, e] = dlqr(a, b, q, r)$$

В результате расчета получаем:

$$k = (0,9081 \quad 2,9665), \quad s = \begin{pmatrix} 22,6657 & 17,2191 \\ 17,2191 & 57,2531 \end{pmatrix},$$

$$e = \begin{pmatrix} 0,9618 \\ 0,8575 \end{pmatrix}.$$

3. Задаем исходные данные для расчета фильтра Калмана:

$$qn=7 \text{ – ошибка измерения,}$$

$$rn=1 \text{ – возмущение,}$$

$$nn=0,$$

$$sys=ss(a, b, c, 0, 0.1).$$

Синтезируем переменную *Kest* при помощи функции *Kalman*:

$$[kest, L, P, M, Z] = kalman(sys, qn, rn, nn);$$

$Kest$ – ss -модель фильтра Калмана,
 L и P – матрицы приведенного вида,
 M – обновленная матрица обратной связи,
 Z – ковариационная матрица оценивания ошибок в установившемся режиме.

В результате получаем:

$$a = \begin{pmatrix} 0,8223 & 0,1 \\ -0,1452 & 1 \end{pmatrix}, b = \begin{pmatrix} 0,1777 \\ 0,1452 \end{pmatrix},$$

$$c = \begin{pmatrix} 0,8368 & 0 \\ 0,8368 & 0 \\ -0,1452 & 1 \end{pmatrix}, d = \begin{pmatrix} 0,1632 \\ 0,1632 \\ 0,1452 \end{pmatrix},$$

$$L = \begin{pmatrix} 0,1777 \\ 0,1452 \end{pmatrix}, P = \begin{pmatrix} 0,1950 & 0,1735 \\ 0,1735 & 0,2957 \end{pmatrix},$$

$$M = \begin{pmatrix} 0,1632 \\ 0,1452 \end{pmatrix}, Z = \begin{pmatrix} 0,1632 & 0,1452 \\ 0,1452 & 0,2705 \end{pmatrix}.$$

Окончательный вид фильтра можно получить, подставив данные коэффициенты в выражение (2).

В результате проведенной работы был синтезирован фильтр Калмана для заданного объекта управления, что позволило существенно повысить точность управления.

Список литературы

1. Дьяконов В., Круглов В. *MATLAB*. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002г. – 448 с.

Магистерская программа 210200.08

Элементы и устройства электронно-вычислительных средств

Руководитель программы д.т.н., проф. Брусенцов Ю. А.

Милованов А. В., Шелохвостов В. П.

ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК НАНОРАЗМЕРНОЙ ТОЛЩИНЫ

Работа выполнена под руководством к.т.н., доц. Шелохвостова В. П.

ГГТУ, Кафедра «Материалы и технология»

Получением тонких пленок, в том числе и нанометровых размеров, давно и плодотворно занимается субмикронная технология [1], поскольку тонкая пленка чаще всего является основой для получения двумерной структуры с помощью литографических методов. Это совершенно естественно, поскольку в микроэлектронике получение сплошной однородной пленки не может являться самоцелью - необходимо получать на поверхности какую-либо структуру, соответствующую определенному элементу электронной техники. Необходимо оговорить, какие пленки следует причислять к наноструктурным и наноразмерным. Если с субмикронными пленками все ясно (это все пленки с размерами менее микрона), то диапазон нанометровых размеров охватывает значительную совокупность пленок с различными свойствами. Возможно, что целесообразно причислять к наноразмерным пленкам плоскостные структуры, у которых доля поверхностных атомов или молекул преобладает над долей атомов или молекул, принадлежащих объему.

Получение наноразмерных и наноструктурных пленок связано с еще более жесткими требованиями к чистоте и структурному совершенству материалов, чем в случае субмикронных структур. Те недостатки, с которыми можно мириться в объемных образцах или тонких пленках совершенно нетерпимы в наноразмерной пленке толщиной в несколько атомных слоев, поскольку примеси, инородные включения или структурные несовершенства изменяют ее физические и эксплуатационные свойства.

Однако для получения наноразмерных и наноструктурных пленок особую важность имеет даже не столько решение проблем чистоты или структурного совершенства материалов, сколько возможность создания наноразмерного изображения на поверхности наноразмерной пленки. Для микроэлектроники структурирование состояло в создании изображения на поверхности пленки и последующем переносе рисунка на структуру пленки (удаление материала). Для нанотехнологии единственным путем структурирования является создание пленок, состоящих из прецизионно локализованных групп атомов и, в идеале, из отдельных строго и упорядоченно локализованных атомов.

В настоящее время единственным методом, с помощью которого удалось добиться подобного результата является применение туннельно-зондовых технологий. Прежде всего это туннельно-зондовый массоперенос. Процесс осуществляется в сканирующем туннельном микроскопе (или аналогичном устройстве) и заключается в создании в туннельном промежутке между иглой-зондом и подложкой условий для эмиссии отдельных атомов с поверхности зонда. Возможно также реализовать осаждение атомов или молекул из объема окружающей среды под воздействием туннельного тока. Конкурентных методов у туннельно-зондовых для создания наноразмерных структур пока не имеется и в ближайшее десятилетие не предвидится.

Туннельно-зондовые методы являются методами индивидуальной обработки, нанотехнологическим аналогом электронной литографии с помощью остросточкованного пучка электронов.

Рассмотрим простой пример. Имеется операционное поле размеров 1 см^2 . Если учесть, что объем атома примерно 10^{-24} см^3 , то он занимает площадь порядка 10^{-16} см^2 . Если время непрерывной работы туннельно-зондовой системы принять за 100 часов, то тогда для заполнения заданной площади необходимо в одну секунду обеспечить высаживание на поверхность подложки 1016 атомов в строго индивидуальном порядке. Для локализации одного атома необходимо отпозиционировать зонд-иглу или зонд-нанотрубку и произвести эмиссию атома с поверхности зонда строго определенным импульсом напряжения и туннельного тока.

За 100 часов работы подобной установки (или любой другой, обеспечивающей принцип индивидуальной атомной сборки) на операционном поле в 1 мм^2 необходимо высадить 108 ат/сек, а на поле в 1 мкм^2 102 ат/сек.

Таким образом, применение индивидуальных методов создания структуры (топологии, рисунка) в нанотехнологии бесперспективно с точки зрения практической применимости. Необходимо разработать групповые методы структурирования наноразмерных пленок, которые позволяли бы за один цикл обработки создавать регулярную упорядо-

ченную структуру одновременно на всей площади обрабатываемого образца.

Наиболее привлекательным с практической и технологической точек зрения является создание на поверхности подложки максимально свободного от примесей и структурных несовершенств и неоднородностей переходного тонкопленочного слоя и выращивание на его поверхности наноразмерной и наноструктурированной пленки. Поскольку на поверхности подложки при этом не имеется (в идеале) примесей и структурных несовершенств, а миграция атомов по поверхности в поисках нерегулярностей структуры продолжает иметь место, то необходим некий физический агент, который реализовал бы на поверхности подложки в создаваемой пленке требуемую неоднородность какого-либо параметра.

Естественно, что эта неоднородность должна иметь строго упорядоченную структуру и соответствовать тому локальному распределению атомов на поверхности, которое является необходимым. Подобный процесс будет полностью соответствовать принципам реализации группового метода обработки, поскольку позволит на всей поверхности пленки за один цикл получить требуемую регулярную структуру, состоящую из локальных упорядоченных групп различных атомов. Необходимо заметить, что если структурные несовершенства (дислокации, вакансии, дефекты) являются значительными и протяженными нарушениями структуры поверхности, то примеси, как центры локализации процесса зародышеобразования, являются всего лишь незначительными нарушениями волновой регулярности структуры твердого тела, выходящей на поверхность.

Список литературы

1. Боков Ю.С., Борисов Б.С., Ракитин В.В., Самсонов Н.С. От субмикронной к нанотехнологии – М.: Электронная промышленность, 1994.
2. Смирнов В.М. Химия наноструктур. Синтез, строение, свойства: Учеб. пособие. - СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 1996. - 108 с.
3. Нисельсон Л.А. Физико-химические основы получения высокочистых веществ – М.: Высокочистые вещества. 1991.
4. Неволин В.К. Локальная электродинамическая модификация поверхности подложек – М.: Электронная промышленность. - 1993.

Королёв В. А.

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТОНКИХ ПЛЁНОК СУЛЬФИДА СВИНЦА

Работа выполнена под руководством к. т. н., доц. Попова В.Ф.

ТГТУ, Кафедра «Материалы и технология»

В качестве чувствительных элементов полупроводниковых фотосопротивлений широко применяются бинарные сульфидные соединения на основе Pb, Cd и других. Одним из перспективных для использования в инфракрасной области является сульфид свинца. Относительно невысокая стоимость и простая методика синтеза позволяют использовать его для этих целей. В работе приведены результаты исследований по разработке методики синтеза сульфида свинца и получению полупроводниковых тонких плёнок.

Синтез PbS осуществлялся спеканием смеси порошкообразных свинца и серы в контейнере с жидким затвором в виде расплава свинца (рис. 1).

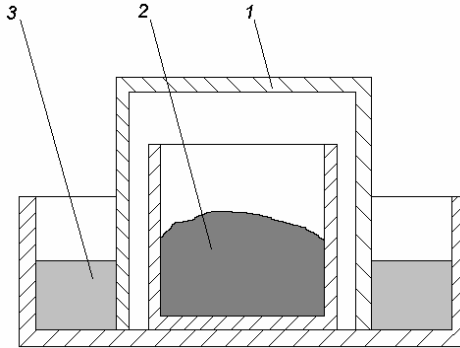


Рис. 1. Схема синтеза сульфида

**1 - комплект контейнеров; 2 - порошкообразная смесь свинца и серы;
3 - расплав свинца**

Для создания атмосферы, избыточной по сере, соотношение металла и серы было выбрано 1:2 в атомных процентах. Синтез проводился при температуре 400 °С с выдержкой 5 ч.

Процесс получения тонких плёнок осуществлялся путём испарения синтезированного материала взрывным методом при температуре испа-

рителя 900°C. Перед осаждением материала на подложку проводился отжиг навески при 400 °С в вакууме, что позволило удалить непрореагировавшие при синтезе компоненты сплава. Как показали результаты эксперимента, скорость роста плёнки в вакууме в данном случае составляет 0,1 мкм/мин.

По температурной зависимости была рассчитана энергия активации тонких плёнок, которая составила при комнатной температуре 0,3 эВ. В литературе приводятся сведения, что значение ширины запрещённой зоны для сульфида свинца в монокристаллическом состоянии составляет 0,4 эВ [1]. Данное расхождение можно объяснить следующим образом. В полупроводниковых соединениях с поликристаллической структурой энергия активации будет несколько меньше, поскольку она определяется энергией активации примесных уровней, образованных донорными и акцепторными «примесями» (рис. 2).

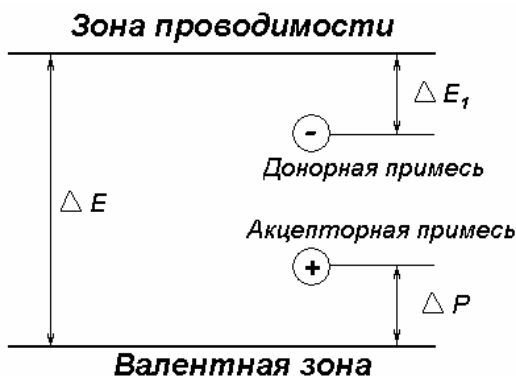


Рис. 2. Схема распределения примесных уровней

В данном случае под примесями следует понимать точечные дефекты (катионные и анионные вакансии). Катионные вакансии являются акцепторами, а анионные - донорами. Известно, что в поликристаллическом состоянии PbS , в зависимости от степени нестехиометричности «примесей» энергия активации может изменяться в интервале 0,26...0,38 эВ [2].

Результаты проведённых исследований позволяют сделать вывод о возможности использования синтезированного материала в качестве тонкоплёночных чувствительных элементов инфракрасных преобразователей неселективного действия.

Список литературы

1. Самсонов, Г.В. Сульфиды / Г.В. Самсонов, С.В. Дроздова. – М.: Metallurgy, 1972. - 304 с.
2. Горелик, С.С. Материаловедение полупроводников и диэлектриков / С.С. Горелик, М.Я. Дашевский. - М.: Metallurgy, 1988. 574 с.

Кудрявцев С. И., Кузьмин А. Ю., Поляков Е. В.

О НОВЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ В ТЕХНОЛОГИИ УЗКОЗОННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Работа выполнена под руководством к.т.н., доц. Тягиной Л. Н.

ТГТУ, Кафедра «Материалы и технология»

При регистрации инфракрасного (ИК) излучения используют полупроводники с малой энергией активации, которая соизмерима с энергией волны инфракрасного спектра. Сущность данного метода в том, что полупроводник в значительной степени более чувствителен к излучению с энергией фотона соответствующей энергии активации самого полупроводника. Как правило, такие полупроводники создают на основе соединений элементов с полупроводниковыми свойствами, на базе которых можно получать непрерывные ряды соединений с различной концентрацией легирующего компонента, от которой зависит энергия активации чувствительного элемента. Это позволяет получать полупроводники, предназначенные для работы в узком и заданном диапазоне излучения.

В рамках проводимого исследования разработан узкозонный полупроводниковый материал $Cd_{1-x}Sn_xS$ и обоснована возможность его использования в селективной фотометрии [1,2].

Большинство практических приложений ИК-фотоприемников сопряжено с использованием для преобразования информационных сигналов сложных электрических схем. В связи с этим дальнейшим шагом в развитии и усовершенствовании ИК-фотоприемников является создание такой технологии, в процессе которой электрические схемы усиления, коммутации и обработки сигналов и ИК-фоточувствительная пленка были бы совмещены на единой подложке, например, кремнии. Сначала на кремнии при помощи фотолитографии формируются все необходимые электрические схемы, а затем в предусмотренном месте сверху наносится фоточувствительная пленка. Наличие такой технологии открывает принципиально новые возможности для использования ИК-фотоприемников в различных областях науки и техники и отвечает всем необходимым практическим требованиям современного уровня. Потому следующим этапом наших исследований является возможность получения фоточувствительных пленок сплава $Cd_{1-x}Sn_xS$ на кремниевых подложках с уже имеющимися на них схемами коммутации и обработки информационных сигналов. Из анализа существующих способов получения фоточувствительных пленок, проведенного ранее [3], выявлено,

что наибольшими преимуществами для решения поставленной задачи обладает способ взрывного вакуумного испарения. Обнаружено, что оптимальные по своей фоточувствительности пленки сплава $Cd_{1-x}Sn_xS$ имеют плохую адгезию к кремнию. Поэтому целесообразно проводить напыление в два этапа: вначале наносить подслоу сульфида кадмия, имеющего хорошую адгезию к кремнию, а на него - фоточувствительный слой $Cd_{1-x}Sn_xS$, имеющий хорошую адгезию к подслоу. В результате готовый образец имеет структуру, показанную на рис. 1.

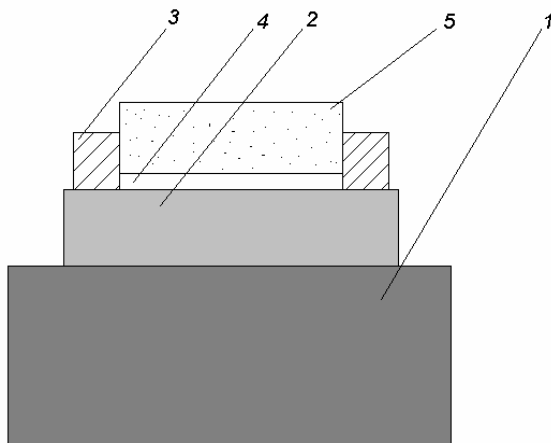


Рис. 1. Схема структуры образца
1 - подложка, Si; 2 - оксид кремния, SiO₂; 3 - контакты; 4 - подслоу CdS;
фоточувствительный слой $Cd_{1-x}Sn_xS$

С технической точки зрения исследования в рассматриваемой области являются перспективным направлением современной электроники, поскольку открывают новые возможности повышения чувствительности, технологичности, лёгкой совместимости с внешними электрическими цепями коммутации и обработки сигнала. Кроме того, рассматриваемый метод позволяет совмещать преобразователи различных параметров веществ в едином устройстве как комплексном аналитическом преобразователе для приборов неразрушающего контроля.

Список литературы

1. Поляков, Е.В. О механизме проводимости халькогенидов / Е.В. Поляков, Ю.А. Брусенцов, А.М. Минаев // Труды ТГТУ : сб. науч. ст. молодых ученых и аспирантов. – Тамбов, 2003. – Вып. 13. – С. 242–245.
2. Поляков, Е.В. Узкозонный детектор ИК-излучения на основе сплава $Cd_{1-x}Sn_xS$ / Е.В. Поляков, Ю.А. Брусенцов, А.М. Минаев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2003. – Т. 9, № 1. – С. 85–89.
3. Поляков, Е.В. Использование сплава $Cd_xSn_{1-x}S$ в детекторах электромагнитного излучения инфракрасного и видимого спектров / Е.В. Поляков, Ю.А. Брусенцов, А.М. Минаев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2001. – Т. 7, № 1. – С. 101–103.
4. Получение полупроводниковых тонких пленок сульфида олова методом вакуумного испарения / Е.В. Поляков [и др.] // Труды ТГТУ : сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. – Тамбов, 2001. – Вып. 9. – С. 156–158.

РЕАЛИЗАЦИЯ САПР В ТЕХНОЛОГИИ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ

Работа выполнена под руководством к.т.н., доц. Попова В. Ф.

Кафедра «Материалы и технология»

Проектирование магнитных головок (МГ) для аппаратуры магнитной записи и головок, используемых в накопителях информации, является высокотехнологичным дорогостоящим этапом производства, связанным с длительным подбором состава: формированием компонентов с необходимыми свойствами и их сплавов, которые удовлетворяли бы требованиям прочности и износостойкое, размещением температурных и магнитных полей, а также другим критериям, применяемым к конструкциям МГ.

С позиции системного подхода проектирование МГ является синтезом сложной системы, компонентами которой служат математическая, структурно-функциональная, конструктивная и другие модели. Возможности проектирования МГ ограничиваются отсутствием методов и алгоритмов, формализующих процесс создания устройств с заданными свойствами. Известные в литературе методы синтеза посвящены исследованию алгоритмов, ориентированных на проектирование замкнутых систем.

Данные проблемы можно решить с помощью создания системы автоматизированного проектирования МГ для устройств магнитной записи информации. Возможно, это потому, что почти все этапы проектирования МГ возможно описать с помощью математических моделей процессов проектирования и производства МГ, которые являются основой построения САПР. После создания математических моделей возможно использование оптимизационных алгоритмов для определения оптимальных параметров, влияющих на получение необходимых свойств компонентов МГ. Такими параметрами могут быть: форма полюсных наконечников; ширина рабочего зазора; состав материалов, из которых изготовлены МГ; магнитные и тепловые поля; трение о поверхность МГ. Например, в тонкопленочной МГ (ТМГ) форма полюсных наконечников играет такую же важную роль, как и ширина рабочих зазоров. Этот фактор с учетом сложных физических процессов, происходящих в ТМГ, требует разработки САПР для согласования всех переменных параметров с такими техническими характеристиками, как: скорость носителя информации, плотность записи, скорость передачи информации, зазор между носителем и головкой, материал и толщина носителя, ток записи, требуемая

ля, ток записи, требуемая величина воспроизводимого сигнала, параметры схем записи и воспроизведения.

Правильность выбора алгоритмов является одним из факторов, определяющим экономическую эффективность использования САПР. Такая постановка вопроса требует проведения работ, направленных на дальнейшее совершенствование математического (МО), информационного (ИО), технического (ТО), лингвистического (ЛО), методического (МТО), организационного (ОО) и программного (ПО) обеспечения САПР.

Для достижения целей создания эффективных САПР необходимо осуществлять:

- автоматизацию процесса поиска, обработки и выдачи информации;
- совершенствование проектирования на основе применения математических методов и средств вычислительной техники;
- использование методов оптимизационного и многовариантного проектирования;
- создание единых банков данных, содержащих систематизированные сведения справочного характера;
- повышение качества оформления проектной документации и доли творческого труда конструкторов за счет автоматизации нетворческих работ;
- унификацию и стандартизацию методов проектирования;
- взаимодействие с САПР различного уровня и функционального назначения.

На рис. 1 представлена основная часть САПР для проектирования МГ, в которую входят её МО и ПО. Также в основную часть САПР МГ входит часть ТО, связанная с реализацией автоматизированных измерительных комплексов для контроля свойств магнитных сплавов и динамическое взаимодействие МГ с лентой.

Таким образом, основная часть разрабатываемой САПР для проектирования МГ состоит из следующих подсистем:

- Подсистемы моделирования синтеза материалов для изготовления МГ. Вначале разрабатываются математические модели зависимости свойств материалов от их составов, которые необходимы для получения компонентов МГ с заданными свойствами.

Следующим шагом разрабатываются алгоритмы, позволяющие сформировать подобные математические модели автоматически.

Далее разрабатываются программные модули, которые позволяют синтезировать материалы с необходимыми свойствами.

- Определение оптимальных характеристик, обуславливающих эффективность МГ. В этой части САПР МГ проводится анализ характери-

стик МГ, после чего разрабатываются оптимизационные алгоритмы, использующие полученные в первом пункте алгоритмы синтеза матмоделей. Данные алгоритмы основываются на поиске таких значений параметров, определяющих характеристики МГ, которые бы определяли наиболее эффективную работу МГ.

- Подсистемы формирования геометрии МГ. Здесь формируется математическая модель зависимости эффективности МГ от ее геометрических параметров. Далее разрабатывается программный модуль определения оптимальных геометрических параметров МГ.

- Разработка модулей контроля параметров и функционирования МГ. В данный пункт входят две части, которые относятся к ТО разрабатываемой САПР МГ:

- 1) Автоматизированные измерительные комплексы для контроля свойств магнитных сплавов.

Данная часть относится к аппаратной поддержке разрабатываемой САПР. Автоматизированные комплексы позволяют определить, насколько подходит синтезированный сплав требуемым свойствам, предъявляемым к материалам для производства МГ.

- 2) Динамическое взаимодействие МГ с лентой.

Здесь разрабатываются матмодели взаимодействия МГ с носителем информации, а также алгоритмы для нахождения оптимального их взаимодействия.

Таким образом, можно сделать вывод, что данные подсистемы являются основной частью САПР МГ, остальная же ее часть является техническим воплощением разработанных идей, алгоритмов и математических моделей.

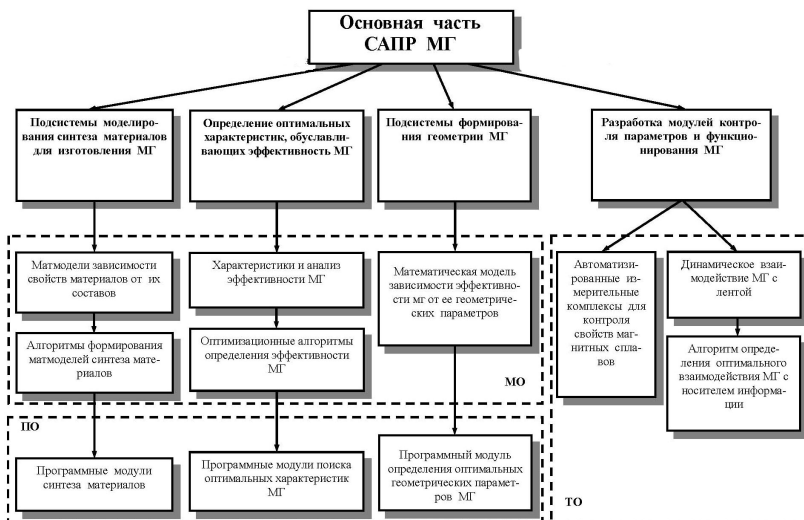


Рис. 1. Основная часть архитектуры САПР для разработки МГ

ТЕХНОЛОГИЯ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ

Работа выполнена под руководством к.т.н., доц. Попова В. Ф.

Кафедра «Материалы и технология»

Магнитная запись (МЗ) есть способ записи информации путем изменения магнитного состояния носителя и создания в нем распределения намагниченности, соответствующего записываемому сигналу. МЗ изобретена и впервые осуществлена датским инженером Вальдемаром Поульсенем (1869 - 1942 гг.) в 1898г. Магнитный носитель содержит материал, способный намагничиваться под действием внешнего магнитного поля и сохранять приобретенную намагниченность практически неограниченно долгое время. К таким материалам относятся металлы - железо, кобальт и никель, а также некоторые оксиды металлов и ферриты, например гамма-модификация оксиде железа $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ диоксид хрома Cr_2O_3 , феррит бария $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$. Свойство магнитных материалов намагничиваться и сохранять намагниченность характеризуется качественно одинаковой для них зависимостью намагниченности M от напряженности намагничивающего поля H , показанной на рис.1. При увеличении напряженности поля, воздействующего на размагниченный материал, намагниченность материала растет по кривой 0 - 1' и при выключении поля не исчезает, а снижается по кривой 1' - 2', приобретая некоторое остаточное значение M_r .

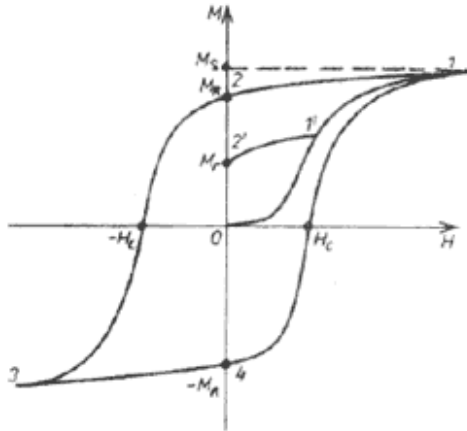


Рис.1. Зависимость намагниченности M магнитного материала от напряженности намагничивающего поля H

Намагниченность материала может расти только до определенного значения, называемого намагниченностью насыщения, которому соответствует максимальная остаточная намагниченность M_R . При циклическом изменении напряженности поля от насыщения в положительном направлении до насыщения в отрицательном направлении намагниченность материала изменяется по кривой 1-2-3-4-1, называемой предельной петлей намагниченности. На петле, наряду с точками M_R и $-M_R$, есть также характерные точки H_c и $-H_c$, представляющие коэрцитивную силу материала, т.е. значение напряженности поля, при котором намагниченность равна 0. Чем больше коэрцитивная сила, тем выше способность материала противостоять размагничивающим полям. Если, например, материал намагничен до максимального значения остаточной намагниченности, то, как это видно из рис. 1, чем больше H_c , тем большее по абсолютной величине поле надо приложить, чтобы его размагнитить.

В процессе магнитной записи (рис. 2) носитель транспортируется с постоянной скоростью относительно магнитной головки записи, которая представляет собой кольцевой электромагнит с зазором шириной 0,1-10 мкм.

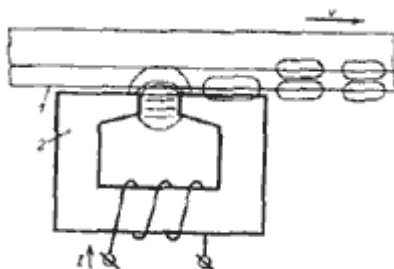


Рис.2. Процесс магнитной записи: 1 - носитель; 2 - магнитная головка записи; I - ток записи; v - относительная скорость движения носителя

При включении тока в обмотку головки в области зазора возникает магнитное поле рассеяния; оно выходит за пределы зазора и намагничивает движущийся через него носитель. Зависимость остаточной намагниченности носителя M_r от напряженности поля записи H нелинейна, как это следует из рис.1. Однако, если в головку записи, наряду с током записываемого сигнала подавать дополнительный высокочастотный ток, ее можно сделать практически линейной до значений

$$H = \pm(0,3-0,4)H_S$$

Где H_S - напряженность поля, при которой происходит магнитное насыщение носителя. Линеаризировать зависимость $M(H)$ необходимо при аналоговой записи звука. При цифровой записи звука, а также при аналоговой и цифровой магнитной видеозаписи эту зависимость не линеаризируют.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) процесса записи - зависимость остаточного магнитного потока носителя от частоты - равномерная со спадом на высоких частотах. Спад обусловлен так называемым размагничиванием в процессе записи (частичное размагничивание сигналов с малой длиной волны записи происходит из-за быстрого изменения направления тока записи: намагниченные участки носителя не успевают полностью выйти из области поля рассеяния головки), а также действием вихревых токов в сердечнике головки, вызывающих потери энергии сигнала, возрастающие с ростом частоты.

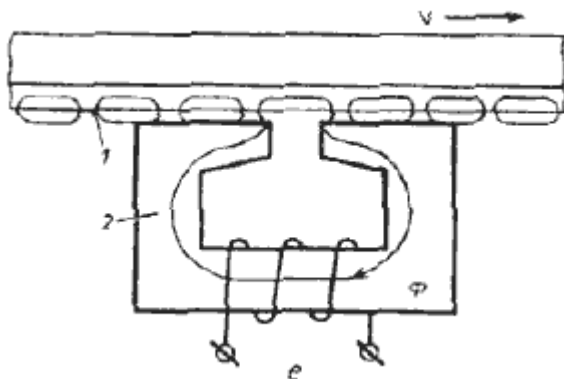


Рис. 3. Процесс воспроизведения: 1 - носитель; 2 - магнитная головка воспроизведения; Φ и e - магнитный поток и ЭДС головки воспроизведения; v - относительная скорость

В процессе воспроизведения магнитной записи (рис.3) на воспроизводящую магнитную головку, имеющую аналогичное устройство с головкой записи, воздействует магнитный поток Φ , выходящий из намагниченных участков движущегося носителя. Сердечник головки воспроизведения, как и головки записи, изготовлен из материала с высокой магнитной проницаемостью. Поэтому, когда головка находится в контакте с носителем, выходящий из него магнитный поток замыкается через сердечник, пронизывая находящуюся на нем обмотку. При движении носителя магнитный поток в сердечнике изменяется во времени так же, как и остаточный магнитный поток вдоль носителя. При этом в обмотке наводится ЭДС индукции, которая и представляет собой вы-

ходной сигнал головки. АЧХ процесса воспроизведения - зависимость выходного сигнала головки от частоты - неравномерная с подъемом в области средних частот и спадом в области высоких частот. Подъем обусловлен явлением электромагнитной индукции, на котором основано действие большинства магнитных головок воспроизведения; спад - влиянием потерь в зазоре, пространственных потерь и вихревых токов в сердечнике головки. В процессе стирания записи движущийся носитель проходит через переменное магнитное поле зазора стирающей головки. Последняя в принципе отличается от головки записи только большей шириной зазора, обычно равной 100 - 200 мкм. Если в процессе записи задача состоит в том, чтобы каждый элемент носителя довести до определенной намагниченности и не подвергнуть перемагничиванию, то для стирания записи каждый элемент носителя требуется многократно (несколько сотен раз) перемагнитить в спадающем до нуля магнитном поле головки стирания. Амплитуда поля, воздействующего на данный элемент носителя, спадает до нуля по мере удаления элемента от центра зазора. Максимальная амплитуда напряженности стирающего магнитного поля должна быть не менее H_s , а частота - 100 - 200 кГц при скоростях движения носителя через это поле до одного м/с.

Из известных в настоящее время способов накопления информации МЗ характеризуется наиболее высокой продольной плотностью записи. Минимальная рабочая длина волны записи на магнитном носителе равна 0,33 мкм, что соответствует $6 \cdot 10^3$ потокопереходам/мм или $6 \cdot 10^3$ бит/мм. Поверхностная плотность МЗ ограничена из-за ее относительно низкой поперечной плотности. Максимально достигнутая в настоящее время поперечная плотность МЗ равна 100 дорожек/мм. МЗ имеет также наиболее высокую из всех известных способов объемную плотность записи, которая достигает 60 Мбит/мм³. МЗ характеризуется технологичностью и универсальностью: простотой проведения процессов записи, воспроизведения и стирания; возможностью записи информации как в аналоговой, так и в цифровой форме; возможностью многократного использования носителя без какой-либо его обработки. МЗ происходит практически мгновенно, а интервал времени между включением сигнала на вход головки записи и его откликом на выходе головки воспроизведения определяется только конструктивными параметрами системы МЗ (скоростью носителя и расстоянием между зазором головок записи и воспроизведения).

Направление 220200

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Магистерская программа 220200.08

Автоматизация технологических процессов и производств

Руководитель программы д.т.н., проф. Погонин В. А.

Фролов С. В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛУЧИСТОГО ТЕПЛООБМЕНА В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПЕЧАХ МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Работа выполнена под руководством д.т.н., проф. Фролова С. В.

Кафедра «Информационные процессы управления»

В химической, металлургической и промышленности строительных материалов широко используются вращающиеся печи обжига. Эти печи имеют цилиндрическую форму, длину от 50 до 150 м и диаметр от 3 до 5 м. При решении задач проектирования и

оптимизации работы таких агрегатов важную роль играет математическое моделирование. Строгое математическое описание процессов лучистого теплообмена возможно на базе интегральных уравнений Фредгольма второго рода, составленных для плотности потока того или иного вида излучения. Точное решение указанных интегральных уравнений даже для сравнительно простых излучающих систем представляет собой трудную задачу, которая в значительной мере усложняется для условий промышленных теплотехнических агрегатов.

Из-за наличия сопутствующих процессов переноса сложный теплообмен обладает большой физической и математической сложностью по сравнению с чисто радиационным переносом. Разработке точных методов расчета препятствует также сложный характер излучаемого спектра участвующих в теплообмене тел, наличие переменных по объему рабочего пространства оптических характеристик и температур. В связи с этим большое значение приобрели разработка и использование приближенных методов решения задач сложного теплообмена применительно к условиям котельных агрегатов и пламенных печей. Практика показала, что наиболее приемлемым и перспективным с точки зрения расчетно-теоретического анализа тепловой работы теплотехнических установок являются зональные методы [1,2,3]. При определении лучистой составляющей зональных уравнений теплового баланса в нашей стране распространена расчетная схема, использующая введенные Ю.А. Суриновым разрешающие угловые коэффициенты излучения [4]. В общем виде, для каждой из n поверхностных и m объемных зон можно записать соответствующее нелинейное уравнение теплового баланса и теплопередачи:

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{n+m-1} A_{ij}^{\Sigma} T_i^4 - A_{jj}^{\Sigma} T_j^4 + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^l g_{ij} T_i - g_{ij} T_j + Q_j = 0; \quad (1)$$

В такой форме запись уравнения впервые была предложена В.Г. Лисиенко [5]. В этом уравнении первые два слагаемых представляют собой результирующий радиационный тепловой поток для зоны j , равный разности между теплом, поглощенным данной зоной j вследствие лучистого переноса из других зон $iQ_{\text{полг } j}$, и собственным излучением $jQ_{\text{полг } j}$. Третье и четвертое слагаемые представляют собой величину результирующего теплообмена данной зоны j с соседними зонами i в результате переноса тепла с движущейся средой, конвективного теплопереноса и теплопередачи через поверхностные зоны; последнее слагаемое – количество тепла подводимое извне.

Входящие в уравнение (1) коэффициенты радиационного теплообмена A_{ij}^{Σ} и A_{ji}^{Σ} (Вт/К⁴) между соответствующими зонами могут быть найдены по известным зависимостям [5], когда определены разрешающие угловые коэффициенты излучения f_{ij} , для нахождения которых применяется метод статистических испытаний. Разрешающий угловой коэффициент излучения f_{ij} определяет долю энергии, перенесенную из зоны i в зону j , с учетом возможного многократного переизлучения энергии поверхностными зонами и поглощения в объемных [5].

Особенностью системы уравнений с разрешающими угловыми коэффициентами излучения является простота формы записи и универсальность уравнений. Взаимный баланс лучистых и конвективных членов в выражении (1) позволяет учесть совместное тепловое взаимодействие конвекции и излучения. Точность такого подхода исследовалась относительно точной постановки задачи радиационно-конвективного теплообмена [6], где было показано, что погрешность зонального расчета на участках, где наиболее сильно проявляется взаимодействие конвекции и излучения, не превышает 7% при определении результирующих потоков и 2% при нахождении распределений температуры.

Существующие методы расчета теплообмена в некоторых практически важных случаях не позволяют детально проанализировать влияние тех или иных параметров теплового режима и конструкции энергоустановки на процессы теплопередачи. В этих условиях использование приближенных зональных методов наталкивается на ряд трудностей, связанных с учетом неоднородности оптических характеристик среды, а также сложной геометрии поверхностей и объемов при вычислении коэффициентов радиационного теплообмена. Большими возможностями при разрешении указанных трудностей обладает метод статистических испытаний (Монте-Карло). Приоритет статистическому методу обеспечивают возможности отказа от многих допущений типа предположений о черных, серых, диффузионных или зеркальных поверхностях, а также о прозрачных, серых или изотермических газах. Преимущества метода Монте-Карло перед другими методами при исследовании геометрически сложных систем сводятся к двум основным: менее сложен математический аппарат геометрических преобразований; ясная физическая интерпретация рассматриваемых задач делает процесс программирования более наглядным и легко контролируемым в стадии отладки программы.

При изучении и совершенствовании алгоритма было показано [7], что при задании в модели диффузионного закона излучения и отражения, а также при условии изотропности излучения в объеме с

целью экономии машинного времени целесообразно использовать метод Моне-Карло лишь для определения обобщенных угловых коэффициентов ψ_{ij} , осуществляя последующий переход к разрешающим угловым коэффициентам f_{ij} с помощью решения системы линейных алгебраических уравнений. Обобщенный угловой коэффициент излучения ψ_{ij} определяет долю лучистого потока, попадающего на облучаемую зону j , от всего лучистого потока, излучаемого i -ой зоной. Такой двухэтапный подход к определению разрешающих угловых коэффициентов дает высокую эффективность использования метода Монте-Карло.

Метод статистических испытаний Монте-Карло заключается в проведении серии испытаний-расчетов: частную выборку из всей совокупности случайных процессов излучения, переноса и поглощения энергии. Одно испытание-расчет будет состоять из следующих основных этапов:

1. Случайный выбор излучающей точки внутри излучающей зоны.
2. Случайный выбор направления излучения.
3. Определение отрезков траектории потока выбранного направления до встречи с ограничивающей поверхностью.
4. Определение доли лучистой энергии, дошедшей до облучаемой зоны.

Подходя к вопросу программной реализации данного метода, в настоящее время необходимо опираться на достижения в области систем компьютерной математики (СКМ). Здесь, работа с большим объемом однотипных данных в процессе расчета и их представление в матричной форме, а также, решение линейных и нелинейных уравнений наталкивают нас на выбор соответствующей системы – MatLab. Он представляет собой хорошо апробированную и надежную СКМ, рассчитанную на решение самого широкого круга математических задач с представлением данных в универсальной матричной форме, предложенной фирмой Math Works, Inc. Имея в настоящее время достаточные вычислительные ресурсы, гибкие и универсальные средства написания алгоритмов, задача такого класса эффективно реализуется на ЭВМ.

Список литературы

1. Невский А.С. Лучистый теплообмен в печах и топках. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Металлургия, 1971 – 440 с.
2. Спэрроу Э.М., Сесс Р.Д. Теплообмен излучением.– Л.:Энергия, 1971.–296 с.
3. Зигель Р., Хауэлл Дж. Теплообмен излучением.– М.:Мир, 1975. –936 с.
4. Суринов Ю.А. Об итерационно зональном методе исследования и расчета локальных характеристик лучистого теплообмена. – Теплофизика высоких температур, 1972, 10, № 4, с. 844-852.
5. Лисиенко В.Г., Волков В.В., Гончаров А.Л. Математическое моделирование теплообмена в печах и агрегатах.– Киев: Наук думка, 1984. –232 с.
6. Щербинин В.И., Боковикова А.Х., Шкляр Ф.Р. Взаимодействие излучения и конвекция при сложном теплообмене в коротком канале. – Инж.-физ. журн., 1974, 26, № 2, с. 238-244.
7. Журавлев Ю.А., Лисиенко В.Г., Китаев Б.И. Совершенствование алгоритма зонального расчета теплообмена в пламенной печи. – Инж.-физ. журн., 1971, 21, №5, с. 829-835.

Направление 200400

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Магистерская программа 200400.15

Всеобщее управление качеством

Руководитель программы д.т.н., проф. Чуриков А. А.

Ванькова О. А.

ПРИМЕНЕНИЕ FMEA-МЕТОДОЛОГИИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРОННЫХ ВЕСОВ ТИПА ВНТР, ПРОИЗВОДИМЫХ НА ОАО «ТВЕС»

Работа выполнена под руководством Трофимова А. В.

ГГТУ, Кафедра «Автоматизированные системы и приборы»

Конкурентами ОАО «ТВЕС» по производству электронных весов типа ВНТР являются российские производители (Москва, Санкт-Петербург) и производители других стран (Южная Корея, Япония, Молдавия, Тайвань, Китай). Весы этого типа имеют стандартный набор функциональных возможностей, таких как – автоноль, память цен продуктов, режим компенсации массы тары, экономичный режим работы, сигнализация перегрузки, фиксация успокоения, питание от аккумулятора и др.

Главной задачей ОАО «ТВЕС» является повышение качества выпускаемой продукции, как основы повышения конкурентоспособности.

Для управления качеством продукции и процессов существует множество инструментов и методов [1].

С целью улучшения качества электронных весов типа ВНТР посредством анализа и доработки конструкции принято решение использовать FMEA-методологию. Метод FMEA позволяет проанализировать потенциальные дефекты, их причины и последствия, оценить риски их появления и обнаружения на предприятии и принять меры для устранения или снижения вероятности и ущерба от их появления.

FMEA-анализ осуществлен по алгоритму, представленному в [2], в три этапа.

На первом этапе руководителем FMEA-команды – директором по качеству и надежности продукции ОАО «ТВЕС» создана межфункциональная и квалифицированная команда, состоящая из инженера-конструктора, инженера ОТК, начальника БУК и студентки магистратуры. Затем руководитель FMEA-команды на коротком совещании объяснил цели, основные идеи и подходы к FMEA-анализу и основные роли членов FMEA-команды, предоставил необходимую информацию и сведения об основных характеристиках исследуемой продукции.

На втором этапе FMEA-команда определила возможные режимы отказов в работе, в результате чего удалось выявить возможные неполадки в конструкции электронных весов типа ВНТР.

В результате работы FMEA-команды получены следующие результаты, представленные в таблице 1.

Результаты FMEA-анализа

Вид потенциального дефекта изделия	Последствие потенциального дефекта	Потенциальная причина или механизм дефекта	S	O	D	ПЧР	Рекомендуемое изменение
Пробой микросхемы компаратора TS393ID	Зарядка аккумулятора не останавливается	Неисправна	6	7	4	168	Использование другой марки микросхемы
Микросхема AT89S8252-24A1 TQFP-44 не формирует импульсы сканирования клавиатуры	Весы не реагируют на нажатие клавиш	Незапрограммирована	7	3	6	126	Увеличение процента входного контроля или смена поставщика
		Неисправна	7	3	6	126	
Микросхема усилителя ПСВВ LM324SMD вышла из строя	Весы работают неправильно	Сопротивление капсулей не соответствует заданному значению	9	4	4	144	Дополнительные внутренние проверки
		Датчик не заземлен на минус аккумулятора	9	3	4	108	
		Отсутствует чистый зазор между капсулями и струной ПСВВ	8	3	5	120	
Отсутствует контакт в клавиатуре	Кнопка клавиатуры не срабатывает	Окисление контактов	7	4	2	56	Использование неокисляемых материалов или специального покрытия
		Несовпадение контактов	7	3	2	42	Дополнительные внутренние проверки
Плохой контакт в разъемах от капсулей ПСВВ	Нет реакции на вес; На индикаторе перегруз	Следы окисления	8	3	3	72	Использование неокисляемых материалов. Улучшение условий хранения
Некоторые сегменты блока индикации не высвечиваются	Показания на индикаторе не считываются	Брак поставщика	8	4	2	64	Выбор другого поставщика или увеличение процента входного контроля

На последнем этапе проводимого FMEA-анализа разработаны рекомендации о том, что следует сделать для предотвращения тяжелых последствий при наиболее рискованных случаях.

По рассчитанному приоритетному числу риска (ПЧР) видно, что из выявленных дефектов наиболее рискованными случаями являются:

- пробой микросхемы компаратора;
- выход из строя микросхемы усилителя виброчастотного преобразователя силы веса (ПСВВ);
- не формирование микросхемой импульсов сканирования клавиатуры.

Принято граничное приоритетное число риска $ПЧР_{гр}=100$. Для данных дефектов $ПЧР > ПЧР_{гр}$.

Соответственно для каждого из них предложены следующие рекомендации по устранению дефекта или снижению негативных последствий:

- использовать другую марку микросхемы;
- проводить дополнительные внутренние проверки, в процессе сборки системного блока (СБ);
- увеличить процент входного контроля;
- сменить поставщика.

С учетом принятых изменений ПЧР пересчитано и оказалось меньше граничного значения – $ПЧР < ПЧР_{гр}$.

Результаты FMEA-анализа с учетом изменений представлены в таблице 2.

После завершения работы FMEA-команды составлен письменный отчет по выполненному анализу форм и последствий отказов. Этот отчет передан руководителям организации, которые верифицировали и оценили результаты работы FMEA-команды.

В результате проведенной работы разработаны рекомендации для предотвращения последствий отказов электронных весов типа ВНТР. Эти результаты вместе с рекомендациями по улучшению конструкции весов приняты для использования в практической деятельности ОАО «ТВЕС».

Т а б л и ц а 2

Результаты FMEA-анализа с учетом изменений

Изделие/функция	Микросхема компаратора TS393ID	Микросхема	Микросхема усилителя ПСВВ
Вид потенциального дефекта	Пробой	Не формирует импульсы сканирования клавиатуры	Вышла из строя
Последствие потенциального дефекта	Зарядка аккумулятора не останавливается	Весы не реагируют на нажатие клавиш	Весы работают неправильно
Потенциальная причина или механизм дефекта	Неисправна	Незапрограммирована	Сопротивление капсулей не соответствует заданному значению
S, O, D	6, 7, 4	3, 7, 6	9, 4, 4
ПЧР	168	126	144
Рекомендуемое изменение	Использование другой марки микросхемы	Увеличение процента входного контроля	Назначить дополнительные внутренние проверки в процессе сборки СБ
РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕЙСТВИЙ			
Предпринятые меры	Заменяли микросхему TS393ID на LM393D	Увеличили процент входного контроля при производстве системного блока с 10% до 25%	Стали проверять дополнительно на регулировочной стадии процесса сборки СБ наличие напряжения 5 В на микросхеме
S, O, D	6, 3, 4	7, 3, 4	9, 4, 2
ПЧР	72	84	72

Список литературы

1. Управление качеством продукции. Инструменты и методы менеджмента качества: учебное пособие / С. В. Пономарев, С. В. Мищенко, В. Я. Белобрагин, В. А. Самородов, Б. И. Герасимов, А. В. Трофимов, С. А. Пахомова, О.С. Пономарева. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2005. – 248 с., ил.

2. ГОСТ Р 51814.2-2001 Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.

Чепурнова Е. Е.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ «CASE-STUDY» ПРИ ПОДГОТОВКЕ МАГИСТРОВ

Работа выполнена под руководством д. т. н., проф. Пономарева С. В.

ГГТУ, Кафедра «Автоматизированные системы и приборы»

Подготовка магистров подразумевает подготовку специалистов широкого профиля, т.к. видами профессиональной деятельности магистров являются:

- организационно-управленческая;
- производственно-технологическая;
- научно-исследовательская;
- педагогическая;
- проектная [1]

Поэтому дисциплины, изучаемые студентами магистратуры, должны быть нацелены на расширение кругозора будущих специалистов, приобретение навыков методологического подхода к решению проблем различного масштаба, возникающих как на уровне предприятия, региона, так и страны в целом.

По мнению автора, наилучшим методом обучения студентов, способствующим расширению кругозора и уровня образованности, является технология кейс-стади, широко применяемая в настоящее время для оценки потенциала работников иностранных предприятий.

На взгляд автора, при решении различных «кейсов» (учебных ситуаций) студенты смогут развить наиболее важные навыки, необходимые при разрешении различных вопросов, касающихся как учебной деятельности, так и будущей работы и элементарного общения с людьми.

Кейс-стади (Case-study) – это интерактивная технология для краткосрочного обучения менеджеров, на основе реальных или вымышленных бизнес-ситуаций, направленная не столько на освоение знаний, сколько на формирование у слушателей новых качеств и умений [2].

Цель: научить слушателей, как индивидуально, так и в составе группы: анализировать информацию, сортировать ее для решения заданной задачи, выявлять ключевые проблемы, генерировать альтернативные пути решения и оценивать их, выбирать оптимальное решение и формировать программы действий и т.п. (Заметим: элитарное образование во всем мире связано с решением задач. Именно так

готовят дипломатов, разведчиков, офицеров Генштаба – в этих профессиях по понятным причинам предъявляются высочайшие требования к качеству образования).[2]

Название произошло от латинского термина «casus» — запутанный или необычный случай). Различают "полевые" (основанные на реальном фактическом материале) и "кабинетные" (выдуманные) кейсы. [2]

Метод был впервые применен в Harvard Business School в 1924 году. Его суть состоит в том, что слушателям дается описание определенной ситуации, с которой столкнулась реальная организация в своей деятельности или которая смоделирована как реальная. Человек должен накануне занятия ознакомиться с проблемой и обдумать способы ее решения. В классе в небольших группах происходит коллективное обсуждение приведенного случая из практики. Усмотрев и проанализировав сотни не придуманных проблем, человек «набьет руку» на их решении. Если он попадет в аналогичную ситуацию в реальности, то она не поставит его в тупик.

При проведении реальных интервью при приеме на работу работодатель оценивает следующие качества кандидата [3]:

- Способность эффективно общаться со своими коллегами и вместе достигать поставленных целей
- Способность анализировать информацию и принимать решения на основе этого анализа
- Способность достигать результата.

По мнению автора статьи, именно эти навыки имеет смысл развивать у студентов. Практические занятия в институте, проводимые в форме «деловой игры», позволяют студентам, во-первых, подготовиться к будущему интервью, а во-вторых, развить или улучшить те навыки, которые перечислены выше.

Кроме этого, каждый преподаватель может разработать примеры различных «учебных ситуаций» по своему предмету или даже по каждой теме, в которых студенты смогут продемонстрировать усвоение теоретического материала. А также преподаватель может предложить свою систему оценивания каждого студента по различным критериям.

В данной статье предлагается следующая система оценивания студентов.

1) способность эффективно общаться с коллегами оценивается по таким параметрам:

а) Уровень 1 – Студент «отмалчивается», соглашается с большинством, не высказывает собственного мнения. При обращении к нему лично поддерживает точку зрения кого-либо из команды.

б) Уровень 2 – Студент принимает живое участие в обсуждении, не обижается на критику, имеет свою точку зрения, но прислушивается к мнению других.

в) Уровень 3 – Студент принимает активное участие в беседе, старается вовлечь в решение проблемы всех членов команды, руководит регламентом, не позволяет отвлекаться, занимает лидирующую позицию.

2) Способность анализировать информацию и принимать решения на основе этого анализа:

а) Уровень 1 – Не знает, с чего начать, как подступиться к проблеме, не улавливает причинно-следственных связей, не понимает, в чем заключается задача.

б) Уровень 2 – Понимает поставленную задачу, находит верный способ действия, но недостаток теоретических знаний не позволяет довести дело до принятия решения.

в) Уровень 3 – Четко формулирует поставленную задачу, находит верный способ действия, представляет алгоритм действия, находит оптимальное решение проблемы.

3) Способность достигать результата

а) Уровень 1 – Составляет алгоритм действий, приводящий к какому-либо результату.

б) Уровень 2 – Составляет алгоритм действий, выполняет его, упуская из виду мелкие детали, находит решение, не являющееся рациональным.

в) Уровень 3 – Тщательно взвешивает всю имеющуюся информацию, включая мелкие детали, находит решение, анализирует его и старается найти более подходящее (оптимальное) решение.

В течение всего обсуждения преподаватель делает пометки напротив фамилии студента, соответствующие уровню проявления тех или иных качеств. Естественно, что способность эффективного общения с коллегами можно проанализировать только при обсуждении ситуаций в команде, а оставшиеся два показателя оцениваются при индивидуальной работе студентов с заданиями.

Предлагается следующая форма регистрации показателей:

Фамилия, имя, отчество	Работа в команде			Анализ информации и принятие решения			Способность достигать результата		
	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В
Задание 1									
Задание 2									

После проведения каждого занятия целесообразно обсуждать со студентами результаты решения каждой ситуации. Преподаватель должен оценить каждого студента в соответствии со своими замечаниями и дать рекомендации по улучшению тех или иных навыков.

Рассмотрим один из возможных примеров «учебной ситуации».

К станку с четырьмя болтами был прикреплен прибор. Заказчик пожаловался на частый излом болта № 1, поэтому его заменили болтом большего диаметра. Затем сломался болт № 2. Было решено увеличить диаметр всех четырех болтов. Казалось, проблема решена, но не тут-то было – раскололась пополам чугунная плита, которая использовалась в качестве держателя. Ее заменили более толстой, после этого фирма заявила, что ей удалось предотвратить поломки.*

Дополнительная информация

При тщательном изучении проблемы было установлено, что причины выхода из строя станка кроются в постоянных воздействиях вибрации.

Задание.

1) Удалось ли на самом деле фирме предотвратить появление поломок?

* Ситуация заимствована из книги Каору Исикавы «Японские методы управления качеством»: Сокр. пер. с англ./Науч. ред. и авт. предисл. А.В. Гличев. – М.: Экономика, 1988. – 215 с.

- 2) *В чем основная причина возникновения поломок?*
- 3) *Предложите свой вариант действий в сложившейся ситуации.*

Решение любой «учебной ситуации» подразумевает несколько вариантов ответов, поскольку концентрация усилий различных людей при работе над проблемой может привести к множеству нестандартных решений. В данном случае пример ответа может быть следующим.

1. На самом деле компании вряд ли удалось избежать поломки, поскольку не была выявлена причина выхода станка из строя, а именно: постоянные воздействия вибрации. Так как не была устранена причина появления поломок, фирма не может гарантировать клиенту безотказную работу своего изделия даже при проведении множества коррекций.

2. Однако основная причина возникновения несоответствия кроется в том, что фирма не смогла обнаружить и предусмотреть последствия воздействия вибрации на прибор еще при его испытаниях. Отсюда следует, что в пересмотре и доработке нуждается система проведения испытаний.

3. В данном случае действия по разрешению ситуации должны быть приблизительно такими. 1) Создать команду по выявлению причин возникшего несоответствия. 2) Составить причинно-следственную диаграмму и выявить причину появления несоответствия. 3) Провести корректирующие действия по устранению причины выявленного несоответствия. 4) Провести анализ, направленный на то, чтобы выяснить, почему причина несоответствия не была выявлена на ранних стадиях разработки продукции. 5) Предложить план действий по предотвращению возникновения проблемы посредством корректировки программы испытаний.

Однако это всего лишь один из примеров возможного решения сложившейся проблемы. При коллективном обсуждении ситуации может возникнуть более рациональное предложение.

Таким образом, эффективный способ подбора персонала под названием «case-study» может стать не менее эффективным методом обучения студентов. Он позволяет развить навыки общения, закрепить полученные теоретические знания на практике, получить возможность потренироваться в решении реальных задач, используя изученные методы и подходы. Также метод «кейс-стади» может помочь в подготовке к реальному собеседованию при приеме на работу. Полученные на практических занятиях навыки, а также опыт подобного решения проблем поможет будущим потенциальным работникам справиться со стрессом при реальном отборе на работу.

Список литературы

1. Магистерская диссертация по направлению 552200 «Метрология, стандартизация и сертификация»/ Сост. Пономарев С.В., Трофимов А.В.: - Тамбов, 2003. – 40 с.
2. Путеводитель по MBA в России и за рубежом, / Под редакцией Гозман О., Жаворонковой А., Рубальской А., М., «Begin Group», 2004 г., с. 47.
3. http://www.batrussia.ru/OneWeb/sites/BAT_5G2MJE.nsf/vwPagesWebLive/DO5RNB9J?opendocument&SID=&DTC=&TMP=1

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Направление 150400

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Магистерская программа 150400.02

ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН 3

Попова И. В. Управление движением лопасти
роторной лопастной машины посредством самосинхронизации. 3

Тепляков М. М., Ильина С. А. Аналитическое моделирование
процессов теплообмена в кожухотрубном аппарате
для первичного охлаждения молока 9

Ступников О. А. Оптимальное проектирование роторного аппарата 14

Пугачев Д. В., Иванов С. А., Крутов А. Ю. Структурная модель
АБС – сополимера для твердофазной экструзии
с позиций термомеханической спектроскопии 22

Магистерская программа 150400.15

ПРИВОДЫ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ МАШИНАМИ И ОБОРУДОВАНИЕМ 25

Шапкин С. А., Зубчанинов Д. А. Зуборезный станок
с внутренними гидравлическими связями
для нарезания конических зубчатых колес с криволинейным зубом 25

Юркевич А. В. Тенденции развития электромеханических приводов
станков со ступенчатым регулированием скорости 29

Магистерская программа 150400.19

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН 32

Краснянский М. Н., Чаукин Ю. В. Автоматизированная система
проверки знаний и тренинга персонала химических предприятий 32

Русских Д. С. Календарное планирование выпуска продуктов
на многоассортиментной гибкой химико-технологической системе 35

Мокрозуб В. Г., Чуксин А. П. Информационно-логическая модель
построения технологий обработки зубчатых цилиндрических колес 39

Рухов А. В. Использование адсорбции для хранения газов 43

Рухов А. В. Алгоритм расчета собственных чисел
задач нестационарной теплопроводности и диффузии 44

Мокрозуб В. Г., Распутин А. О. Функциональная модель информационной системы проектирования кожухотрубчатых теплообменников	49
Храпова А. В., Немтинов В. А. Автоматизированный синтез системы оборотного водоснабжения	53
Ломонова Н. А., Мокрозуб В. Г. Методы разработки информационной системы создания технологии изготовления деталей типа валы и оси	57
Филадельфийский О. М., Голошапов П. С., Зюзина О. В., Голикова И. В. Совершенствование технического обслуживания копильной установки в производстве копченого колбасного сыра	61
<i>Магистерская программа 150400.22</i> МАШИНЫ И АГРЕГАТЫ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	65
Павленко П. М. Анализ способов стабилизации потребительских характеристик конфет со сбивными корпусами	65
<i>Магистерская программа 150400.32</i> СОВРЕМЕННЫЕ ПРИНЦИПЫ АППАРАТУРНОГО ОФОРМЛЕНИЯ ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ	70
Максименкова Т. А., Гурова А. С. осушители, используемые для удаления влаги в замкнутых объемах	70
Потапова Н. О., Гурова А. С., Шредер В. Е. Силикагели, химически модифицированные аминсоединениями	74
Политова О. С., Верченнова О. В., Шубина В. Н. Влияние добавок оксидов и гидроксидов щелочных и щелочноземельных металлов на динамическую активность регенерируемого поглотителя на основе гидроксида циркония	77
<i>Магистерская программа 150400.35</i> МАШИНЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ	80
Иванов С. А., Крутов А. Ю., Кобзев Д. Е. Физико-механические свойства полимерных композитов до и после твердофазной экструзии	80
Крутов А. Ю., Иванов С. А. Экспериментальная установка для определения теплостойкости и внутренних напряжений в полимерах с использованием компьютерных технологий	86
Красненков П. Г., Ковалев С. В. Математическое описание процесса сушки материалов с высоким внутридиффузионным сопротивлением	90

Направление 270100
СТРОИТЕЛЬСТВО

Магистерская программа 270100.01

ТЕОРИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ 94

Антонов В. М., Медведев В. М. Прочность и деформативность
песчаных оснований, армированных пространственными элементами 94

Кузнецов И. Н., Елагин В. Н., Вахонин А. В. Использование
проектно-вычислительных комплексов, основанных на МКЭ,
для анализа экспериментальных данных 98

Магистерская программа 270100.07

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ 101

Ермаков С. В., Веретенников Ю. Н., Киселева О. А. Влияние концентраторов
напряжений на долговечность древесных композитов 101

Веретенников Ю. Н., Ермаков С. В., Корчагина О. А. Мелкозернистые бетоны
для изготовления цокольных и тротуарных плиток и камней 107

Направление 210200

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Магистерская программа 210200.05

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ 111**

Нистратов М. И. Дegradaция параметров измерительных средств
под действием влажности окружающей среды 111

Баранов А. М., Осипов Е. В. Синтез фильтра Калмана с использованием MATLAB . 115

Магистерская программа 210200.08

**ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА
ЭЛЕКТРОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ 119**

Милованов А. В., Шелохвостов В. П. Получение тонких пленок
наноразмерной толщины 119

Королев В. А. Получение полупроводниковых тонких пленок
сульфида свинца 122

Кудрявцев С. И., Кузьмин А. Ю., Поляков Е. В. О новых направлениях
в технологии узкозонных полупроводников 125

Попов С. А. Минаев А. М. Реализация САПР в технологии магнитной записи 128

Попов С. А. Минаев А. М. Технология магнитной записи 132

Направление 220200

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Магистерская программа 220200.08

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

И ПРОИЗВОДСТВ 136

Фролов С. В. О Моделирование лучистого теплообмена в высокотемпературных цилиндрических печах методом статистических испытаний 136

Направление 200400

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Магистерская программа 200400.15

ВСЕОБЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ 141

Ванькова О. А. Применение FMEA-методологии при управлении качеством электронных весов типа ВНТР, производимых на ОАО «ТВЕС» 141

Чепурнова Е. Е. Применение технологии «CASE-STUDY» при подготовке магистров 146

СБОРНИК СТАТЕЙ МАГИСТРАНТОВ

Выпуск 5

Технический редактор Л. Николаева

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Печать на ризографе. Усл. печ. л. 9,07. Тираж 100 экз. Изд. № 1188.

Печать ТОГУП «Тамбовполиграфиздат».
392602, Тамбов, Моршанское шоссе, 14.