

Мы использовали среду разработки Arduino версии 1.6.7, в ней применяется язык программирования C++. В нашей программе мы использовали библиотеки: Ultrasonic для работы с ультразвуковым датчиком измерения расстояния, Servo для работы servo-мотора, Robot motor для работы моторов. Для загрузки программы мы использовали микроконтроллер и usb-провод. Перед началом загрузки среда разработки проводит компиляцию программы и, если ошибок не было обнаружено, то загрузка программы начинается. При запуске загрузчика будет мигать встроенный светодиод, подключенный к 13 ножке контроллера.

Произведя подбор соответствующих комплектующих для нашего робота, рассмотрев необходимую информацию и разработав дизайн, а так же выбрав алгоритм действий и написав необходимое программное обеспечение мы собрали робота на микроконтроллере Arduino.

УДК 004.02

Студ. А.Г. Иванов

Науч. рук. доц. проф. С.Г. Тихомиров

(кафедра информационных и управляющих систем, ВГУИТ, РФ)

## **СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ СОЗДАНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ**

В связи с повышенным требованием к качеству выпускаемой продукции, возникает необходимость в прогнозе, коррекции и управлении качеством продукции в процессе её создания. При производстве резинотехнических изделий их основные свойства формируются на стадии создания полимерной композиции (ПК), состоящей из полимерной матрицы и мягчителей различной природы (индустриальное масло И-12 (x1), масло ПН-6 (x2), низкомолекулярный полибутадиен (x3)). Компоненты ПК, как каждый в отдельности, так и в комбинации, оказывают влияние на формирование физико-механических показателей (ФМП) изделия, созданного на их основе. Для решения задачи прогноза и управления качеством готовой продукции исследователь должен иметь математические модели, адекватно описывающие связь «состав-свойство», позволяющие с использованием этих моделей в соответствии с рецептурными или иными требованиями (носящими, например, экономический характер), осуществить выбор рецептуры ПК, отвечающей заданным требованиям.

На первом этапе разработана математическая модель ФМП включающая систему зависимостей, устанавливающих связь между

компонентами полимерной композиции и ФМП изделия (прочность на разрыв ( $y_1$ ), относительное удлинение ( $y_2$ ), твердость по Шору ( $y_3$ )). Зависимость физико-механических показателей от мягчителей  $x_1$ - $x_3$  и вязкости по Муни (Mh) описывается:

$$y_i = (d_{i1} + d_{i2}Mh + d_{i3}Mh^2) \cdot (1 + a_{i1}x_1 + b_{i1}x_1^2) \cdot (1 + a_{i2}x_2 + b_{i2}x_2^2) \cdot (1 + a_{i3}x_3 + b_{i3}x_3^2) \quad i = \overline{1,3}$$

$$A = \begin{pmatrix} 3.45 \cdot 10^{-3} & 1.19 \cdot 10^{-2} & 2.02 \cdot 10^{-2} \\ 6.685 \cdot 10^{-3} & 6.85 \cdot 10^{-3} & 2.55 \cdot 10^{-2} \\ -1.22 \cdot 10^{-2} & -7.98 \cdot 10^{-3} & -9.12 \cdot 10^{-4} \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} -7.45 \cdot 10^{-4} & -8.98 \cdot 10^{-4} & 1.31 \cdot 10^{-3} \\ -7.2 \cdot 10^{-5} & 2.84 \cdot 10^{-3} & 1.11 \cdot 10^{-4} \\ 2.42 \cdot 10^{-4} & 9.98 \cdot 10^{-5} & 1.24 \cdot 10^{-4} \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$C = \begin{pmatrix} 25.3 & -2.36 \cdot 10^{-1} & 1.02 \cdot 10^{-3} \\ 656.8 & -6.9 & 2.26 \cdot 10^{-2} \\ 20.13 & 1.352 & -6.03 \cdot 10^{-3} \end{pmatrix}$$

Осуществлена структурная и параметрическая идентификация моделей. Показана их адекватность в соответствии с критериями Фишера, поворотных точек, Дарбина-Уотсона (Таблица 1–3).

**Таблица 1 – Относительное удлинение**

Критерий	Расчетное значение	Табличное значение
Критерий Фишера	35.83	26.296
Критерий поворотных точек	12	6.221
Критерий Дарбина-Уотсона	0.83	[0.86, 1.73]

**Таблица 2 – Прочность на разрыв**

Критерий	Расчетное значение	Табличное значение
Критерий Фишера	29.34	26.296
Критерий поворотных точек	8	6.221
Критерий Дарбина-Уотсона	1.57	[0.86, 1.73]

**Таблица 3 – Твердость по Шору**

Критерий	Расчетное значение	Табличное значение
Критерий Фишера	45.168	26.296
Критерий поворотных точек	12	6.221
Критерий Дарбина-Уотсона	1.40	[0.86, 1.73]

Другим существенным показателем качества производимой ПК, влияющим на выходные ФМП, является вязкость по Муни.

На втором этапе рассмотрена возможность оценки значения вязкости по Муни в процессе переработки полимерной композиции. Предложена математическая модель, описывающая зависимость выходного значения вязкости по Муни от условий обработки ПК и его начального значения.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dR}{dt} = \frac{1}{\tau} (R(0) - R(t) + k_1 P_0 - k_2 R(t) P_0) \\ C_p \frac{dT(t)}{dt} = C_p \frac{1}{\tau} (T(0) - T(t)) - K_T F_{уд} (T(t) - T_{нагр}) \\ Mh(t) = Mh(0) e^{-\frac{3.4}{P_0(\beta+1)} R(t)} \\ k_1 = A_1 Mh(0)^{b_1} e^{-\frac{E_1}{RT}} \\ k_2 = A_2 Mh(0)^{b_2} e^{-\frac{E_2}{RT}} \\ \tau = \frac{V}{v} \\ R(0) = 0 \\ T(0) = T_0 \end{array} \right.$$

где  $R(t)$ ,  $R(0)$  - текущая и начальная концентрации радикалов,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $P_0$  - концентрация полимера,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $T(t)$ ,  $T(0)$  - текущая и начальная температуры в зоне обработки,  $\text{К}$ ;  $C_p$  - теплоемкость реакционной смеси,  $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ;  $K_T$  - коэффициент теплопередачи,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ ;  $F_{уд}$  - удельная поверхность теплообмена,  $\text{м}^{-1}$ ;  $T_{нагр}$  - температура теплоносителя,  $\text{К}$ ;  $\beta$  - константа Марка-Кунна-Хаувинка;  $k_1$  - константа скорости образования активных радикалов,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $k_2$  - константа скорости реакции «сшивки» полимерных молекул  $\text{м}^3/(\text{кг}\cdot\text{мин})$ ;  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  - константы;  $V$  - объем экструдера,  $\text{м}^3$ ;  $v$  - скорость входного потока,  $\text{м}^3/\text{мин}$ .

Результатом исследования является модель, описывающая изменение ФМП в ходе переработки ПК.