

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

В статье рассматриваются вопросы оптимизации АСУ ТП с распределенной структурой. Программное обеспечение системы управления основывается на представленной в работе математической модели, полученной экспериментальными методами. Предлагается архитектура АСУ, построенная на основе объектно-ориентированного подхода.

Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) строятся обычно в соответствии с иерархическим принципом, при котором функции управления распределяются между отдельными взаимно соподчиненными частями системы (подсистемами). В качестве примера рассмотрим АСУТП вулканизации эластомерных покрытий на металлических поверхностях.

Для многослойных покрытий гуммированных объектов вулканизация представляет собой сложнейший вариант теплового процесса [1, 2, 3], а именно: нестационарный нагрев (охлаждение) в условиях двух- или трехмерной теплопроводности при переменных во времени и по контуру граничных температурах и нестационарном теплообмене с теплоносителями, при определенных начальных условиях, наличии внутренних источников тепла, зависимости теплофизических характеристик материала от температуры. В этом случае задача автоматизации технологического процесса приобретает особую важность, решение которой без математического описания процесса не представляется возможным.

На рис. 1 представлена автоматизированная линия вулканизации, которая состоит из трех основных подсистем:

- подсистемы централизованного контроля и управления основными технологическими агрегатами (контроль и управление температурой термообработки, порозностью зернистого теплоносителя, давлением среды и др.);

- подсистемы централизованного контроля и управления транспортными механизмами (управление конвейером);

- подсистемы оптимизации технологического процесса.

Первые две подсистемы относятся к первой ступени управления и охватывают локальные системы автоматического регулирования (САР) и системы автоматического управления (САУ) приводами механизмов. Подсистема оптимизации тех-

нологического процесса относится ко второй ступени управления и отвечает за выработку управляющих воздействий.

Подсистемы АСУ физически представляют собой совокупность вычислительных узлов, соединенных транспортной средой передачи. Подсистемы объединены в единую автоматизированную систему управления посредством промежуточного программного обеспечения – объектной распределенной информационно-управляющей системы (ОРИУС) [4].

Распределенная структура ОРИУС обеспечивает гибкость при территориальном размещении частей комплекса программ управления по вычислительным узлам с целью оптимизации временных и стоимостных показателей системы управления. Архитектура ОРИУС основывается на понятии объекта – законченного программного модуля с четко определенными функциональными характеристиками (состоянием, поведением, идентичностью). Объекты предоставляют входную и выходную информацию о соответствующей стадии технологического процесса вулканизации (в нашем случае процесс делится на стадии по секциям реакционной камеры) подсистеме оптимизации.

Модули программного обеспечения могут взаимодействовать друг с другом посредством информационного обмена (запросов), причем взаимодействие происходит в режиме реального времени. Кроме того, они контролируют параметры технологического процесса, поэтому для описания их функционирования наилучшим способом подходит схема конечного автомата [4, 5].

Функционирование объектов определяется следующими массивами данных:

$M^y = \{m_1^y, m_2^y, \dots, m_n^y\}$, представляющий множество контролируемых параметров $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$;

$M^u = \{m_1^u, m_2^u, \dots, m_n^u\}$, представляющий множество управляющих параметров $U = (u_1, u_2, \dots, u_m)$, которые являются «установками» для первой ступени управления и поступают от системы оптимизации технологического процесса;

$M^{z^+} = \{m_1^{z^+}, m_2^{z^+}, \dots, m_n^{z^+}\}$, характеризующий данные поступающие от других объектов;

$M^{z^-} = \{m_1^{z^-}, m_2^{z^-}, \dots, m_n^{z^-}\}$, характеризующий данные, передаваемые объектом.

На рис. 2 рассмотрена разработанная авторами диаграмма состояний и переходов объекта.

Из нее видно, что для объекта существует конечное множество состояний $\{K_0, K_1, K_2, K_3, K_4\}$, где K_0 – начальное состояние, K_1 – сбор информации, K_2 – вычисление отклонения, K_3 – задача решена, K_4 – аварийная ситуация.

Каждому K_i ($i = 1, \dots, n$) сопоставляется набор пар вида (m_j^i, K_g) , где $j \in \{1, 2, \dots, m\}$, $g \in \{0, 1, \dots, r\}$,

$q \in \{y, u, z^+, z^-\}$. Начальному состоянию K_0 сопоставляется пары вида (m_0^q, K_h) , где $h \in \{1, 2, \dots, r\}$, $q \in \{y, u, z^+, z^-\}$. Инициализация объекта заключается в получении им массива данных M_U . После инициализации по запросу объект проводит опрос датчиков и сбор данных M_Y , а затем переходит в состояние вычисления отклонения, т. е. сравнения полученной от датчиков информации с установками. Приведа параметры технологического процесса вулканизации в соответствии с установками, объект переходит в состояние «задача решена» и передает резульативную информацию на верхний уровень системы управления. В случае существен-

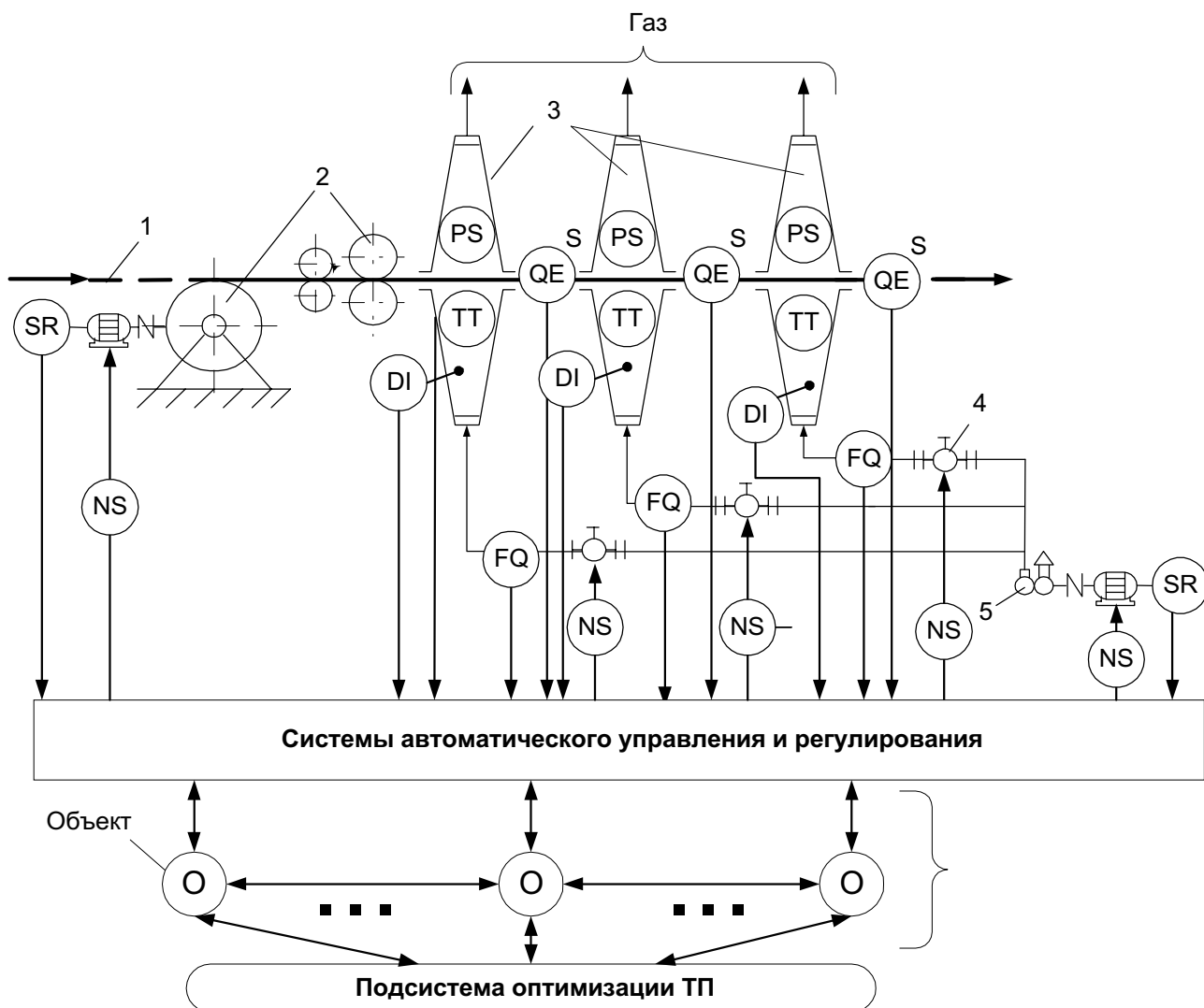


Рисунок 1. Автоматизированная линия вулканизации

1 – вулканизируемый материал; 2 – конвейер; 3 – секции реакционной камеры; 4 – задвижка; 5 – воздуходувка. Условные обозначения: ТТ – прибор для измерения температуры; FQ – прибор для измерения расхода; PS – прибор для измерения давления; DI – прибор для измерения порозности; QE – первичный измерительный преобразователь для измерения качества вулканизации; SR – прибор для измерения скорости вращения привода; NS – аппаратура для управления электродвигателем.

ного отклонения от установленных параметров объект переходит в состояние «аварийная ситуация», о котором оповещаются другие объекты, входящие в систему управления.

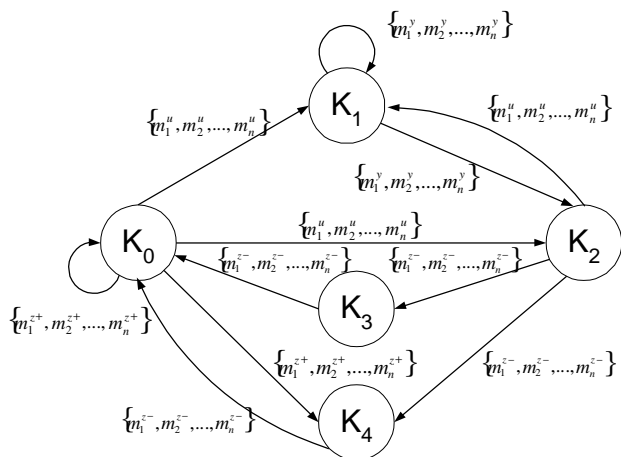


Рис. 2. Диаграмма состояний и переходов объекта

Массивы данных M^y, M^u, M^{z+}, M^{z-} в виде основных параметров включаются в математическую модель, формализующую функционирование аппарата вулканизации, на основе которой производится расчет управляющих воздействий.

По мнению многих исследователей [3, 6-8], реакцию присоединения серы к каучуку можно считать реакцией первого порядка, скорость которой зависит от концентрации только одного реагента - серы. Управление процессом вулканизации можно осуществлять регулированием интенсивности подачи гуммируемого изделия (резиновой или эбонитовой обкладки на стальной подложке) и температуры в реакционных камерах, непосредственно влияя на содержание свободной серы.

Применение секционированных аппаратов позволяет значительно улучшить качество вулканизуемой обкладки по степени обработки ее отдельных частей в результате более равномерного распределения их по времени суммарного воздействия инертного зернистого теплоносителя на покрытие после пребывания изделия во всех секциях вулканизационного аппарата. В данном случае рассматривается трехсекционный аппарат с псевдооживленными слоями [7, 8].

Будем считать, что из опытов [7], проведенных с конкретными эластомерными обкладками, известны кривые кинетики вулканизации (зависимости содержания свободной серы от времени термообработки и температуры их нагрева) при постоянных значениях определяющих параметров:

$$\left. \begin{aligned} S &= S(\tau; T_{cp}; \delta_{об}; \delta_{ст}; \omega; S_0; T_0) \\ T &= T(\tau; T_{cp}; \delta_{об}; \delta_{ст}; \omega; S_0; T_0) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где S – содержание свободной серы в эластомерной обкладке;

τ – текущее время пребывания резинометаллического изделия в аппарате;

T_{cp} – температура среды;

$\delta_{об}$ – толщина резиновой (эбонитовой) обкладки;

$\delta_{ст}$ – толщина стальной подложки;

ω – скорость ожигающего агента;

S_0 – начальное содержание свободной серы в обкладке;

T_0 – начальная температура гуммированного объекта.

Построим модель процесса термообработки эластомерного покрытия на основе кинетических зависимостей (1). Из общей массы эластомерной обкладки гуммированного объекта, выходящего из первой секции (по ходу движения материала) аппарата с инертным зернистым теплоносителем, выделим ее элементарную долю $\rho(X; \tau_1)dX$.

Согласно кинетическим соотношениям (1) содержание свободной серы и температура этой доли при входе ее во вторую секцию определяется следующим образом:

$$S = S(X; T_{cp}; \delta_{ст}; \delta_{об}; \omega; S_0; T_0), \quad (2)$$

а ее теплосодержание будет равно:

$$\begin{aligned} &\rho(X; \tau_1)dX[(C_{об} + C_{ст}) + \\ &+ C_{об}S(X; T_{cp}; \delta_{об}; \delta_{ст}; \omega; S_0; T_0)] \times \\ &\times (X; T_{cp}; \delta_{об}; \delta_{ст}; \omega; S_0; T_0) \end{aligned} \quad (3)$$

где $C_{ст}$ – удельная теплоемкость стальной подложки;

$C_{об}$ – удельная теплоемкость обкладки.

Рассматриваемая доля обкладки распределяется по времени контакта с инертным зернистым теплоносителем после пребывания во второй секции, и некоторая часть ее, пробывшая в нем под воздействием зернистого теплоносителя время H , будет иметь на выходе следующие значения содержания свободной серы и температуры:

$$\begin{aligned} &S[H; T_{cp}; \delta_{ст}; \delta_{об}; \omega; S(X; T_{cp}; \delta_{ст}; \delta_{об}; \omega; S_0; T_0)] \times \\ &\times T(X; T_{cp}; \delta_{ст}; \delta_{об}; \omega; S_0; T_0); \\ &T[H; T_{cp}; \delta_{ст}; \delta_{об}; \omega; T(X; T_{cp}; \delta_{ст}; \delta_{об}; \omega; S_0; T_0)] \end{aligned} \quad (4)$$

Теплосодержание всей рассматриваемой доли обкладки $\rho(X; \tau_1)dX$ на выходе из второй секции по-

лучается суммированием теплосодержания всех ее частей, пребывавших под воздействием зернистого теплоносителя (контакта с ним) во второй секции время от 0 до ∞:

$$\begin{aligned} & \rho(X; \bar{\tau}_1) dX \int_0^{\infty} (H; \bar{\tau}_2) \{ (C_{cm} + C_{об}) + \\ & + C_{об} S[H; T_{cp}; \delta_{cm}; \delta_{об}; \omega; T(X; T_{cp}; \delta_{cm}; \delta_{об}; \omega; T_0; S_0); \\ & S(X; T_{cp}; \delta_{cm}; \delta_{об}; \omega; T_0; S_0) \} \\ & \cdot T[H; T_{cp}; \delta_{cm}; \delta_{об}; \omega; T(X; T_c; \delta_{cm}; \delta_{об}; \omega; S_0; T_0)] dH \quad (5) \end{aligned}$$

Среднее значение теплосодержания всей эластомерной обкладки гуммированного объекта на выходе из второй секции определится суммированием теплосодержаний всех долей, имевших контакт с псевдоожиженным слоем во втором секции:

$$\begin{aligned} \bar{J}_2 = & (\rho_{cm} V_{cm} + \rho_{об} V_{об}) \int_0^{\infty} \rho(X; \bar{\tau}_1) \int_0^{\infty} \rho(H; \bar{\tau}_2) \times \\ & \times \{ C_{cm} + C_{об} + C_{об} S[H; T_{cp}; \\ & \delta_{cm}; \delta_{об}; \omega; S(X; T_{cp}; \delta_{cm}; \delta_{об}; \omega; S_0; T_0); \\ & T(X; T_{cp}; \delta_{cm}; \delta_{об}; \omega; S_0; T_0) \} \\ & T[H; T_{cp}; \delta_{cm}; \delta_{об}; \omega; S(X; T_{cp}; \delta_{cm}; \delta_{об}; \omega; S_0; T_0); \\ & T(X; T_{cp}; \delta_{cm}; \delta_{об}; \omega; S_0; T_0)] dH dX \quad (6) \end{aligned}$$

Аналогично находится содержание свободной серы в эластомерной обкладке, выходящей из второго псевдоожиженного слоя:

$$\begin{aligned} \bar{S}_2 = & \int_0^{\infty} \rho(X; \bar{\tau}_1) \int_0^{\infty} \rho(H; \bar{\tau}_2) \times \\ & \times S[H; T_{cp}; \delta_{об}; \delta_{cm}; \omega; S(X; T_{cp}; \delta_{об}; \\ & \delta_{cm}; \omega; S_0; T_0)] T(X; T_{cp}; \delta_{об}; \delta_{cm}; \omega; S_0; T_0)] dX dH. \quad (7) \end{aligned}$$

Среднее значение теплосодержания и содержания свободной серы эластомерной обкладки гуммированного объекта, выходящего из первой секции, определяется следующим образом:

$$\bar{J}_1 = (\rho_{cm} V_{cm} + \rho_{об} V_{об}) \int_0^{\infty} \rho(X; \bar{\tau}) [C_{cm} + C_{об} + C_{об} S(X; T_{cp}; \delta_{cm}; \delta_{об}; \omega; S_0; T_0)] T(X; T_{cp}; \delta_{cm}; \delta_{об}; \omega; S_0; T_0) dX. \quad (8)$$

$$\bar{S}_1 = \int_0^{\infty} \rho(X; \bar{\tau}) S(X; T_{cp}; \delta_{об}; \delta_{cm}; \omega; S_0; T_0) dX. \quad (9)$$

Аналогично определяется теплосодержание и содержание свободной серы в третьей секции аппарата. Кинетические соотношения записаны в наиболее общей форме, когда текущие значения содержания свободной серы и температуры эластомерной обкладки гуммированного объекта зависят от семи параметров. При этом формулы для определения величин содержания вулканизирующего агента S_n и теплосодержания J_n сохраняют свою принципиальную структуру; кратность интегрирования по времени в них соответственно увеличивается, но выражения для текущих значений содержания свободной серы, являющиеся начальными для каждой последующей секции аппарата, в значительной степени усложняются.

Согласно предложенной модели информация, полученная и обработанная подсистемой АСУТП, управляющей первой секцией аппарата вулканизации, должна использоваться подсистемами, управляющими последующими секциями. Реализация предложенной математической модели технологического процесса на основе распределенной архитектуры АСУТП позволяет оптимизировать информационные потоки в системе управления, что ведет к повышению ее надежности и уменьшению времени выработки управляющих воздействий.

Список использованной литературы:

1. Вулканизация эластомеров / Под ред. Г. Аллигера, И. Сьетуна. М.: Химия, 1967. – 428 с.
2. Лукомская А.И., Евстратов В.Ф. Основы прогнозирования механического поведения каучуков и резин. – М.: Химия, 1975. – 360 с.
3. Лукомская А.И., Минаев Е.Т., Кеперша Л.М. и др. Оценка степени вулканизации резин в изделиях. Тем.обзор. – М.:ЦНИИ-ТЭнефтехим,1972. – 44 с.
4. Осипов Ю.Р., Моисеев А.А., Павлов В.В. Анализ методов описания и моделирования распределенных систем управления // В сборнике материалов Международной научно-технической конференции «Моделирование оптимизация и интенсификация производственных процессов и систем». – Вологда: ВоГТУ, 2001. – С.213-215.
5. Осипов Ю.Р., Моисеев А.А., Павлов В.В. Применение операторного принципа для реализации алгоритмов децентрализованного контроля и управления // В сборнике материалов Всероссийской научно-технической конференции «Методы и средства измерения в системах контроля и управления». – Пенза: ПГУ, 2001. С.142-143.
6. Гвоздев В.Д. Исследование некоторых процессов термообработки материалов в инертном теплоносителе и их аппаратное оформление. Автореферат дис. докт. техн. наук. – М.: МИХМ, 1973. – 32 с.
7. Осипов Ю.Р. Процессы термической обработки гуммированных объектов и разработка методов их расчета. Дис...уч.степ. д.т.н.– Иваново, ИГАСА.,1997. – 463 с.
8. Осипов Ю.Р. Термообработка и работоспособность покрытий гуммированных объектов. – М.: Машиностроение, 1992. – 232 с.