

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ СОПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЭТИЛЕНПРОПИЛЕНОВЫХ КАУЧУКОВ ПО ПОКАЗАТЕЛЮ КАЧЕСТВА ПРОДУКТА

CONTROL OF ETHYLENE-PROPYLENE RUBBERS COPOLYMERIZATION IN TERMS OF THE PRODUCT QUALITY

В настоящее время при производстве этиленпропиленовых каучуков для поддержания качества продукта (вязкости по Муни) используется ручной режим управления. Определение вязкости по Муни осуществляется по лабораторным данным, что приводит к недопустимым колебаниям качества продукта.

В статье рассматривается построение автоматизированной системы управления технологическим процессом по показателю качества, который оценивается на основе вискозиметра и модели связи динамической вязкости и вязкости по Муни. Исследование качества управления проводится на имитационной модели с использованием виртуального анализатора.

At the present time in the production of ethylene-propylene rubbers to maintain the quality of the product (viscosity on the Mooney) is used manual control mode. Definition of viscosity on Mooney is carried out in laboratory data, which leads to unacceptable fluctuations in the quality of the product.

Focus on the construction of the automated control system of technological process in terms of quality, which is estimated on the basis of the viscometer and patterns of communication of dynamic viscosity and viscosity on Mooney.

Study of the quality control is carried out on a simulation model using virtual analyzer.

Веревкин А.П., Кирюшин О.В.,
Уразметов Ш.Ф.

ФГБОУ ВПО Уфимский
государственный нефтяной
технический университет

A.P. Verevkin, O.V. Kiryushin,
Sh.F. Urazmetov

FSBEI Ufa state petroleum technical
university

Ключевые слова: автоматизированная система управления, этилен-пропиленовые каучуки, вязкость по Муни, булевская логика.

Keywords: system of automatic control, ethylene-propylene rubbers, Mooney viscosity, boolean logic.

Основной целью управления технологическим процессом получения этиленпропиленового каучука является достижение заданного качества – вязкости по Муни (Mh) [1]. В настоящее время управление технологическим процессом полимеризации осуществляется оператором, который на основе опыта и косвенных параметров, влияющих на реакцию полимеризации, принимает решения по управлению процессом для целей получения продукта соответствующего качества. Одной из главных проблем управления процессом является большая задержка в получении информации по показателю качества из-за длительности определения параметра в лабораторных условиях. В работе [2] рассмотрены вопросы оценки вязкости по Муни на основе измерения динамической вязкости полимера ротационным вискозиметром при определенных условиях измерения.

В данной работе приведены результаты разработки автоматизированной системы управления процессом полимеризации (АСУ ПП) и результаты исследования качества управления вязкостью по Муни на имитационной модели.

Разработанная АСУ ПП представляет собой двухконтурную систему регулирования и состоит из следующих блоков: объекта управления (ОУ), двух

управляющих устройств ($УУ_1$ и $УУ_2$) и анализатора вязкости по Муни (ВА).

Состояние ОУ характеризуется вектором контролируемых параметров Y , включающим в себя температуры низа реактора T_n , верха реактора T_v , концентраций этилена $C_э$ и водорода $C_в$ в циркулирующем газе и расхода этилена $F_э$. Управляющее устройство $УУ_1$ формирует вектор управляющих параметров U (расходы катализатора $G_{кат}$, сокатализатора $G_{сокат}$, отдувки $F_{отд}$ и температуры растворителя T_p), формирующихся исходя из вектора заданных уставок $X_{зад}$ по контролируемым параметрам. Блок ВА служит для формирования значения сигнала вязкости по Муни (в имитационной модели физический блок анализа вязкости по Муни заменен виртуальным анализатором). Управляющее устройство $УУ_2$ предназначено для формирования вектора задающих воздействий $X_{зад}$. Схема имитатора автоматизированной системы приведена на рисунке 1. Модель ОУ приведена на рисунке 2.

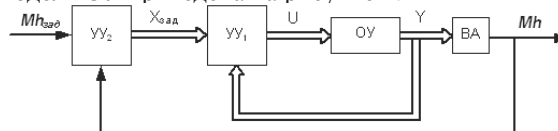


Рисунок 1. Структурная схема имитатора автоматизированной системы управления процессом полимеризации.

Внутренний контур АСУ ПП (устройство управления $УУ_1$) выполняет функцию стабилизации заданных параметров, а внешний контур (устройство управления $УУ_2$) - получения продукции заданного качества.

Алгоритм функционирования УУ₁ предлагается реализовать в виде набора логических выражений, получаемых путем формализации знаний операторов, ведущих технологический режим.

Для формализации плохо структурированных знаний операторов разработана методика, включающая следующие пять этапов.

1) На первом этапе определяются векторы контролируемых параметров, управляющих воздействий и внутренних переменных управляющего устройства. При этом одному и тому же контролируемому параметру будут соответствовать одна или несколько внутренних переменных. Например, если параметр X_i контролируется по верхнему и нижнему уровням, то ему будут поставлены в соответствие две внутренние переменные:

$d_i \downarrow = (X_i \leq X_{i, \min})$ – контроль по нижнему уровню,

$d_i \uparrow = (X_i \leq X_{i, \max})$ – контроль по верхнему уровню,

где $X_{i, \min}$ и $X_{i, \max}$ – соответственно значения нижнего и верхнего уровней, которые разбивают диапазон возможных значений X_i на три интервала.

То же самое относится и к управляющим воздействиям. Интенсивность управляющего воздействия U_i может быть определена несколькими внутренними переменными u_{ij} .

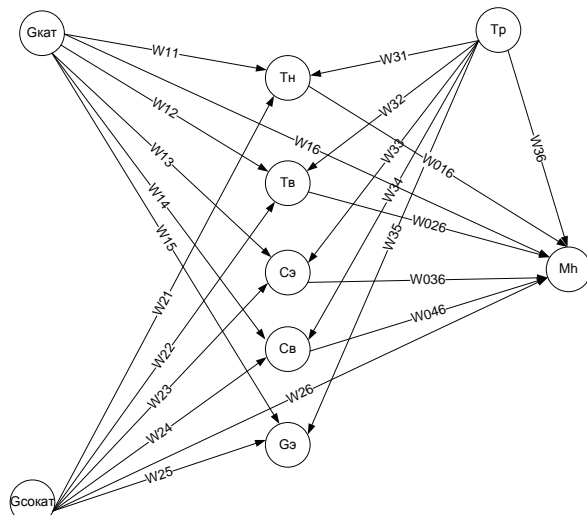


Рисунок 2. Модель ОУ на топологическом уровне определенности

2) После определения значений формируется система продукционных правил (продукционная система – ПС). При этом возможные ситуации представляются на рассмотрение экспертам, и на основе их заключений формируются правила вида

«Если {выражение антецедента} то {выражение консеквента}»,

например,

Если T_n и $C_э$ то $G_{кат} \uparrow$ и $F_{омо}$,

где T_n , $C_э$, $G_{кат} \uparrow$ и $F_{омо}$ – логические переменные, соответствующие изменениям переменных.

В случае если оператор выдает несколько вариантов управлений, эти варианты записываются в виде дизъюнкции термов, каждый из которых соответствует своему варианту. Термы в дизъюнкции располагаются в порядке убывания степени уверенности в них эксперта или степени предпочтительности. Эти степени могут быть представлены в формализованном виде.

3) Обобщение правил. Оно применяется для упрощения ПС, уменьшения числа правил и происходит путем объединения правил по принципу: если два правила имеют одинаковые антецеденты, консеквенты правил объединяются знаком конъюнкции; если два правила имеют одинаковые консеквенты, антецеденты объединяются знаком дизъюнкции.

4) Выявление и ликвидация конфликтов. Для выявления правил, которые одновременно инициализируют противоположные управляющие воздействия, возможно либо дополнение системы набором метаправил, корректирующих работу процедуры в подобных случаях, либо запрет одновременного исполнения нескольких правил.

Традиционная схема разрешения конфликтов, когда запрещается одновременное исполнение нескольких правил, то есть на каждом шаге функционирования ПС выбирается только одно правило, является неэффективной, так как в этом случае возникают неоправданные задержки или запрещения применения «вытесненных» неконфликтных операций, которые могут быть применены одновременно с оставшимися [3].

Для реализации этого метода предлагается метод коррекции ПС путем попарного сравнения правил. Данный метод разработан на основе алгоритма МакКласки путем расширения его на логические переменные, соответствующие нескольким интервалам. Алгоритм является наименее требовательным к аппаратным и программным ресурсам при автоматическом расчете по сравнению с другими методами.

5) Минимизация логических выражений. Данная процедура в разработанном алгоритме реализуется параллельно процедуре ликвидации конфликтов, так как производится также путем попарного сравнения правил с последующим их объединением.

В результате синтезируется минимизированный набор логических выражений, готовый к реализации на контроллерах. В нашем случае в блоке УУ₁ прописываются следующие минимизированные логические выражения:

$$\downarrow G_{кат} = T_n \uparrow \vee (\bar{T}_n \downarrow \cdot T_v \downarrow \cdot C_э \uparrow \cdot C_v \downarrow) \vee (\bar{T}_n \uparrow \cdot T_v \downarrow \cdot C_э \uparrow \cdot C_v \downarrow) ;$$

$$\uparrow G_{кат} = T_n \downarrow \vee (\bar{T}_n \downarrow \cdot T_v \uparrow \cdot C_э \uparrow \cdot C_v \uparrow) \vee (\bar{T}_n \uparrow \cdot T_v \uparrow \cdot C_э \uparrow \cdot C_v \uparrow) ;$$

$$\begin{aligned} \downarrow G_{\text{сокат}} &= T_B \uparrow \vee (T_H \downarrow \cdot \bar{T}_B \downarrow \cdot C_3 \uparrow \cdot C_B \uparrow) \vee \\ &\quad \vee (T_H \downarrow \cdot \bar{T}_B \downarrow \cdot C_3 \uparrow \cdot C_B \uparrow); \\ \uparrow G_{\text{сокат}} &= T_B \downarrow \vee (T_H \uparrow \cdot \bar{T}_B \downarrow \cdot C_3 \uparrow \cdot C_B \downarrow) \vee \\ &\quad \vee (T_H \uparrow \cdot \bar{T}_B \downarrow \cdot C_3 \uparrow \cdot C_B \downarrow); \\ \downarrow T_P &= C_B \uparrow \vee (T_H \downarrow \cdot T_B \downarrow \cdot C_3 \uparrow \cdot \bar{C}_B \downarrow) \vee \\ &\quad \vee (T_H \downarrow \cdot T_B \downarrow \cdot C_3 \uparrow \cdot \bar{C}_B \uparrow); \\ \uparrow T_P &= C_B \downarrow \vee (T_H \uparrow \cdot T_B \uparrow \cdot C_3 \uparrow \cdot \bar{C}_B \downarrow) \vee \\ &\quad \vee (T_H \uparrow \cdot T_B \uparrow \cdot C_3 \uparrow \cdot \bar{C}_B \uparrow); \\ \downarrow F_{\text{отд}} &= C_3 \downarrow \vee (T_H \downarrow \cdot T_B \downarrow \cdot \bar{C}_3 \downarrow \cdot C_B \downarrow) \vee \\ &\quad \vee (T_H \downarrow \cdot T_B \downarrow \cdot \bar{C}_3 \uparrow \cdot C_B \downarrow); \\ \uparrow F_{\text{отд}} &= C_3 \uparrow \vee (T_H \uparrow \cdot T_B \uparrow \cdot \bar{C}_3 \downarrow \cdot C_B \uparrow) \vee \\ &\quad \vee (T_H \uparrow \cdot T_B \uparrow \cdot \bar{C}_3 \uparrow \cdot C_B \uparrow). \end{aligned}$$

Принцип работы УУ₁ заключается в сравнении заданных и текущих значений, и в случае уменьшения или увеличения разности значений определяется правило, по которому устанавливаются управляющие воздействия. Устройство УУ₂ формирует задающие воздействия $X_{\text{зад}}$ для первого контура на основании сравнения заданного Mh ($Mh_{\text{зад}}$) и Mh , рассчитанного с помощью ВА по принципам ситуационного управления [4].

Данная АСУ ПП была исследована на математической модели, разработанной в среде *Matlab*. Первым этапом разработки математической модели являлась идентификация объекта управления от концептуального до параметрического уровней определенностей [5]. На концептуальном уровне определялись векторы входных $X_{\text{зад}}$ и выходных Y параметров, на топологическом – связи между отдельными параметрами векторов (рис. 2), на структурном уровне были определены структуры оператора связи – передаточные функции (ПФ), представленные в таблице 1. Поскольку отдельные элементы имеют нелинейные характеристики, ПФ соединяются последовательно с блоками, моделирующими нелинейные элементы. При моделировании ОУ были учтены следующие статические характеристики в виде функций, полученных аппроксимацией экспериментальных данных:

$$T_H = f(G_{\text{кат}}) = 5,67 \cdot G_{\text{кат}}^2 - 37,813 \cdot G_{\text{кат}} + 86,76$$

при $G_{\text{кат}} \in [2,5, 5]$, кг/ч;

$$T_B = f(G_{\text{сокат}}) = 4,53 \cdot G_{\text{сокат}}^2 - 13,56 \cdot G_{\text{сокат}} + 33,127$$

при $G_{\text{сокат}} \in [1,5, 3,5]$, кг/ч;

$$C_B = f(T_P) = 0,0523 \cdot T_P^2 + 0,5534 \cdot T_P + 4,4987$$

при $T_P \in [-5, 0]$ °С;

$$C_B = f(T_P) = -0,0572 \cdot T_P^2 + 0,6344 \cdot T_P + 4,5164$$

при $T_P \in [0, 5]$ °С.

Полученная модель была исследована по всем каналам связи и качественно адекватна реальному объекту. Оценка адекватности проводилась экспертной группой, в которую входили операторы, управляющие процессом полимеризации.

При реализации АСУ ПП было использовано два вида управляющих устройств УУ₁, один из которых построен на булевой логике, а второй – на нечеткой.

Таблица 1. Набор ПФ, описывающих реальный объект

Воздействующий сигнал	Реакция реального объекта на воздействие, в виде ПФ W_{ij}			
	$T_n (j=1)$	$T_n (j=2)$	$C_n (j=3)$	$C_n (j=4)$
$\Delta G_{\text{кат}} (i=1)$	$\frac{4.3}{868S^2 + 45S + 1} e^{-20S}$	$\frac{-1.24}{1230S^2 + 55S + 1} e^{-15S}$	$\frac{0.4}{1013S^2 + 50S + 1} e^{-18S}$	$\frac{-2.29}{760S^2 + 50S + 1} e^{-35S}$
$\Delta G_{\text{сокат}} (i=2)$	$\frac{1.1}{1223S^2 + 54S + 1} e^{-17S}$	$\frac{3.71}{846S^2 + 45S + 1} e^{-15S}$	$\frac{-0.39}{1607S^2 + 63S + 1} e^{-12S}$	$\frac{3.9}{967S^2 + 43S + 1} e^{-14S}$
$\Delta T_P (i=3)$	$\frac{-0.225}{1135S^2 + 53.5S + 1} e^{-18S}$	$\frac{-2.12}{752S^2 + 43S + 1} e^{-15S}$	$\frac{0.944}{960S^2 + 51.5S + 1} e^{-12S}$	$\frac{2.02}{446S^2 + 40S + 1} e^{-15S}$
$\Delta F_{\text{отд}} (i=4)$	$\frac{0.007}{376S^2 + 21S + 1} e^{-18S}$	$\frac{0.0043}{284S^2 + 23S + 1} e^{-13S}$	$\frac{0.133}{324S^2 + 23S + 1} e^{-7S}$	$\frac{0.0323}{574S^2 + 27S + 1} e^{-8S}$

На рисунке 3 представлены тренды работы рассматриваемой системы с булевым регулятором при наличии возмущающих воздействий разной амплитуды и по разным каналам передачи воздействий. Как видно, недостатком регулирования является наличие автоколебаний.

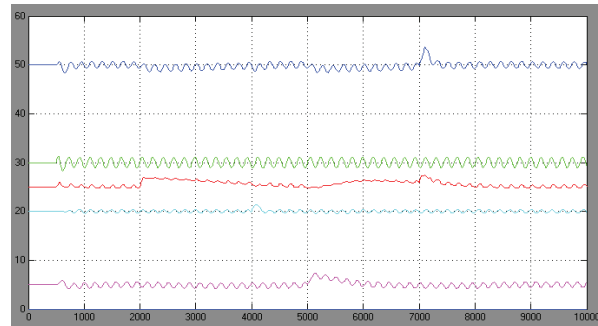


Рисунок 3. Тренды с булевым логическим регулятором

Нечеткий регулятор был построен путем замены четких логических переменных на нечеткие (их функции принадлежности) и замены булевой логики на нечеткое расширение логики и использованием нечеткого алгоритма вывода. База правил нечеткого регулятора использует полученные ранее Булевские логические выражения с учетом изложенных выше изменений. Функции принадлежности масштабируются в соответствии с предельными уровнями аналоговых переменных.

Структура регулятора представляет собой блоки входных (задающих) сигналов, правил и выходных (управляющих) сигналов. В первых блоках определяются параметры функций принадлежности (рисунок 4). В блоке правил вводятся набор четких логических выражений, по которым формируются выходные сигналы.

В блоке УУ₂ реализован принцип ситуационного управления, который заключается в том, что при различных степенях отклонения показателя качества – вязкости Mh , принимается тот или иной технологический режим.

В среде программного пакета *Simulink* были проведены эксперименты, связанные со стабилизацией вязкости, при различных возмущающих воздействиях: изменение качества реагентов, изменение расходов потоков, погрешности измерения параметров и т.д. Результаты модельных экспериментов приведены на рисунке 5.

Выводы

Можно утверждать, что АСУ ПП обеспечивает стабилизацию качества полимера (вязкость по Муни) при всех возможных возмущениях. Время переходных процессов, как правило, не превышает нескольких десятков минут.

АСУ ПП с нечетким регулятором имеет лучшие показатели качества процессов управления, но более трудоемка при реализации.

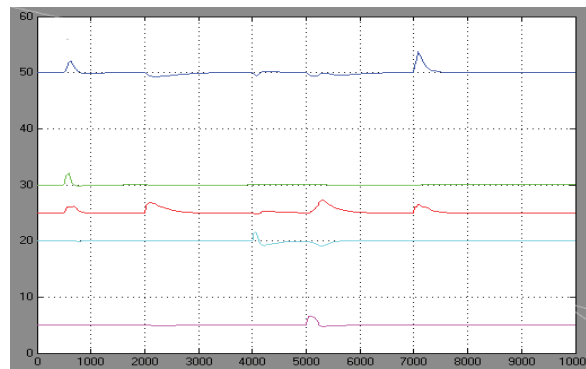


Рисунок 5. Тренды с нечетким логическим регулятором

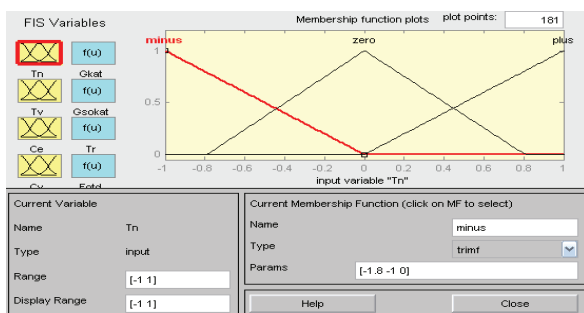


Рисунок 4. Блок определения параметров функции принадлежности

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверко-Антонович Ю.О., Давлетбаева И.М., Кирпичников П.А. Химия и технология синтетического каучука. М.: Колос, 2008. 356 с.

2. Вережкин А.П., Кирюшин О.В., Уразметов Ш.Ф. Управление процессом подготовки нефти по агрегативной устойчивости водонефтяной эмульсии. // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2012. № 4. С. 33 – 35.

3. Евсеев О.В. Производственная управляющая система для гибких производственных систем. // Техническая кибернетика. 1987. № 5. С. 93-112.

4. Технология, экономика и автоматизация процессов переработки нефти и газа: учеб. пособие / Ахметов С.А. и др. М.: Химия, 2005. 736 с.

5. Вережкин А.П., Кирюшин О.В. Теория систем: учеб. пособие. Уфа: Изд-во УГНТУ. 2003. 71 с.

Вережкин А.П., д-р. техн. наук, профессор кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств», ФГБОУ ВПО УГНТУ

A.P. Verevkin, dr. tech. sci, professor of chair «Automation of technological processes and manufactures», FSBEI USPTU

Кирюшин О.В., канд. техн. наук, доцент кафедры «Автоматизация технологиче-

ских процессов и производств», ФГБОУ ВПО УГНТУ

O.M. Kiryushin, cand. tech. sci, associate professor of chair «Automation of technological processes and manufactures», FSBEI USPTU

Уразметов Ш.Ф., аспирант кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств», ФГБОУ ВПО УГНТУ

Sh.F. Urazmetov, postgraduate student of chair «Automation of technological processes and manufactures», FSBEI USPTU

e-mail: apverevkin@mail.ru