

МЕТОД АДАПТАЦИИ МОДЕЛЕЙ ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

(НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВОДСТВА ЭТИЛЕНПРОПИЛЕНОВЫХ КАУЧУКОВ)

ADAPTATION METHOD FOR PETROCHEMICAL PRODUCTION QUALITY INDEXES EFFICIENT EVALUATION MODELS (AS EXEMPLIFIED BY ETHYLENE PROPYLENE RUBBER PRODUCTION)

Решение задач оперативного определения показателей качества продуктов производства и обеспечения технико-экономической эффективности управления технологическими процессами по этим показателям, базируется на использовании моделей, параметры которых должны периодически корректироваться по данным с поточных анализаторов или лабораторным данным. Для коррекции параметров моделей обычно требуется достаточно большой объем данных, получить которые за короткий интервал времени часто не удается. В связи с этим при изменении технологических параметров, качества сырья, параметров оборудования точность оценки показателей качества падает, что отрицательно влияет на показатели эффективности управления процессами.

В статье предлагается метод оперативной адаптации, который требует минимального объема экспериментальных данных. На примере производства этиленпропиленовых каучуков исследовано влияние технологических параметров и качества сырья (факторов) на показатель качества (вязкость по Муни). Показано, что коэффициенты модели, определяющие чувствительность показателя качества к факторам изменяются незначительно. Это позволяет проводить адаптацию модели изменением величины смещения при сохранении коэффициентов при факторах. Приведены структура автоматической системы управления по показателям качества с контуром адаптации и алгоритм получения значений показателя качества с заданной точностью.

Problems of production quality indexes efficient determination and ensuring technical and economic effectiveness of process control based on these indexes are to be solved with the use of the models having the parameters which should be periodically updated in accordance with the online analyzer or laboratory data. For the model correction a considerable amount of information is usually needed which is often impossible to obtain within a short period of time. Due to above reason, with technological parameters, raw material quality and equipment parameters being changed, the accuracy of quality indexes evaluation goes down, producing a negative effect on the efficiency of process control. This article suggests an efficient adaptation method which requires minimum amount of experimental data. On the basis of ethylene propylene rubber production, impact of technological parameters and raw material quality (factors) on quality index (Mooney viscosity) has been studied. It is demonstrated that the model coefficients determining the quality index response to the factors are changed insignificantly. This makes it possible to execute model adaptation by changing the bias value with the coefficients remaining unchanged against the factors. Structure of automatic control system based on quality indexes with adaptation contour and algorithm of obtaining quality index values with predetermined accuracy are presented.

Веровкин А.П., Кирюшин О.В., Муртазин Т.М., Уразметов Ш.Ф.
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный технический университет»,
г. Уфа, Российская Федерация

A.P. Verevkin, O.V. Kiryushin, T.M. Murtazin, Sh.F. Urazmetov
FGBEI of HPE Ufa State Petroleum Technological University,
Ufa, the Russian Federation

Ключевые слова: автоматизированная система управления, показатель качества, синтетический каучук, процесс полимеризации, ручной режим, вязкость по Муни, математическая модель, усовершенствованная система управления, метод адаптации.

Key words: automatic control system, quality index, synthetic rubber, polymerization process, manual mode, Mooney viscosity, mathematical model, advanced control system, adaptation method.

К основным задачам систем управления технологическими процессами современных химических и нефтеперерабатывающих производств относятся задачи поддержания контролируемых параметров на заданных значениях, обеспечение требуемых показателей качества (ПК) продукции и оптимизация

показателей технико-экономической эффективности (ПТЭЭ) производств.

Для решения таких задач использование типовых структур регулирования технологических параметров является недостаточным, поэтому современная АСУТП должна включать в себя блоки определения ПК и ПТЭЭ и контуры управления по этим показателям.

Вопросам построения систем усовершенствованного управления (АРС-систем) процессами добычи и подготовки нефти, в частности, посвящена статья [5], где была рассмотрена структура адаптивной системы усовершенствованного управления.

Особенностью процессов нефтехимпереработки является длительность лабораторного определения ПК, которая может достигать нескольких часов.

Например, для процесса сополимеризации каучуков длительность измерения, включая отбор, транспортировку, подготовку пробы и непосредственно сами измерения на вискозиметре, составляет не менее двух часов. В статье [2] рассмотрены вопросы снижения времени оценки ПК на основе измерения вязкости продукта при определенных условиях.

Производство синтетических этиленпропиленовых каучуков, представляет собой растворный процесс сополимеризации двух или трех (в зависимости от типа получаемого каучука) мономеров в присутствии металлоорганического каталитического комплекса Циглера-Натта [1]. Управление технологическим процессом полимеризации ведется по главному ПК – вязкости по Муни, определяемой на специальном вискозиметре в лабораторных условиях.

В работе [2] предложена модель оперативной оценки показателя качества - вязкости по Муни (МООПК), рассчитываемой по изменению технологических параметров вектора Y , который влияет на изменение показателя качества. В случае производства этиленпропиленовых каучуков

$Y = \{T_H; T_B; C_Э; C_B\}$, где T_H и T_B – температуры низа реактора и верха, $C_Э$ и C_B – концентрация этилена и водорода в циркулирующем газе.

На структурном уровне определенности модель в отклонениях от некоторых базовых режимов представлена следующими соотношениями:

$$\Delta Mh^* = \Delta Mh_1 + \Delta Mh_2 + \Delta Mh_3 + \Delta Mh_4, \quad (1)$$

$$\Delta Mh_1 = f_1(\Delta T_H) = a_2 \cdot \Delta T_H^2 + a_1 \cdot \Delta T_H; \quad (2)$$

$$\Delta Mh_2 = f_2(\Delta T_B) = b_2 \cdot \Delta T_B^2 + b_1 \cdot \Delta T_B; \quad (3)$$

$$\Delta Mh_3 = f_3(\Delta C_Э) = c_2 \cdot \Delta C_Э^2 + c_1 \cdot \Delta C_Э; \quad (4)$$

$$\Delta Mh_4 = f_4(\Delta C_B) = d_2 \cdot \Delta C_B^2 + d_1 \cdot \Delta C_B; \quad (5)$$

где $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2, d_1, d_2$ - коэффициенты модели.

Полученную модель (1)-(5) можно использовать при управлении технологическим процессом в окрестности соответствующего базового режима. Однако изменение характеристик объекта управления потребует проведения новых экспериментов для пересчета параметров модели, т.е. необходима процедура адаптации модели [4].

В производстве каучуков трудности адаптации моделей связаны как с влиянием измеряемых (изменение параметров технологического режима), так и не измеряемых факторов (запаздывание, вносимое при измерении концентраций хроматографическим методом, метрологические ошибки измерения приборов и др.).

В данной работе предлагается автоматизированная система управления процессом полимеризации

по показателю качества – вязкости по Муни (АСУ ПП), со структурой, представленной на рисунке 1. Система представляет собой двухконтурную систему регулирования с контуром адаптации.

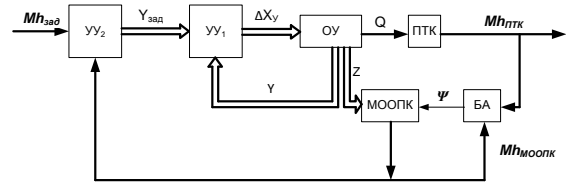


Рисунок 1. Структурная схема автоматической системы управления процессом полимеризации

Предлагаемая система управления состоит из следующих блоков:

- объекта управления (ОУ), состояние которого характеризуется вектором параметров Y (температура низа реактора T_H и верха T_B , концентрация этилена $C_Э$ и водорода C_B в циркулирующем газе) и вектором Z , включающим параметры вектора Y и технологические параметры, задающие режим процесса (расход растворителя G_p – определяет нагрузку реактора, соотношение расходов катализатора к сокатализатору R , давление в реакторе, уровень заполнения растворителя в реакторе L_p). Параметры вектора Z используются для оценки вязкости по Муни;

- управляющего устройства (УУ₁), которое формирует вектор управляющих параметров ΔX_y сепаратных систем регулирования (расходы катализатора $\Delta G_{кат}$, сокатализатора $\Delta G_{сокат}$, отдувки $\Delta F_{отд}$ и температуры растворителя ΔT_p);

- блока моделирования оперативной оценки показателя качества вязкости по Муни (МООПК);

- управляющего устройства (УУ₂) для формирования уставок $Y_{зад}$ в целях управления по показателю качества – вязкости по Муни;

- программно-технического комплекса (ПТК), для периодического измерения вязкости по Муни; принцип измерения вязкости на потоке с использованием ПТК, основан на установленной связи между динамической вязкостью полимеров и вязкостью по Муни с применением вискозиметра ротационного типа [3];

- блока адаптации (БА) модели МООПК, предназначенного для периодической коррекции модели оперативной оценки ПК.

В предложенной структуре АСУПП управление процессом полимеризации по показателю качества ведется с использованием модели (блок МООПК). Поэтому оценка ПК проводится в реальном времени, но из-за влияния возмущений и изменения технологического режима необходима периодическая коррекция модели. В качестве критерия для определения

необходимости коррекции модели используется периодические измерения ПК с помощью ПТК.

Внутренние контуры (ОУ - УУ₁) обеспечивают поддержание технологических параметров вектора Z на заданном уровне, а задания в виде вектора $Y_{зад}$ формируются контурами (ОУ - МООПК - УУ₂). При несовпадении оценки $Mh_{МООПК}$, полученной по МООПК, и вязкости $Mh_{ПТК}$, измеренной с помощью ПТК, происходит коррекция параметров МООПК (ПТК → БА → МООПК).

Таким образом, одной из главных функций блока адаптации, является параметрическое воздействие через вектор Ψ на МООПК. При этом, как было сказано выше, при отклонении значений МООПК от реальных значений, в общем случае, требуется пересчет коэффициентов $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2, d_1, d_2$.

В данной статье предлагается упрощенный и более оперативный механизм адаптации МООПК, позволяющий произвести коррекцию величины Mh путем смещения ΔMh на величину r_0 , при этом модель (1) примет вид:

$$Mh = \Delta Mh_1 + \Delta Mh_2 + \Delta Mh_3 + \Delta Mh_4 + r_0, \quad (6)$$

Уравнение (6) можно представить в отклонениях от некоторого базового режима с параметрами

$$Mh = Mh_0 \text{ при } T_H = T_H^0; T_B = T_B^0; C_{\mathcal{E}} = C_{\mathcal{E}}^0; C_B = C_B^0; \\ Mh = \Delta Mh_1^0 + \Delta Mh_2^0 + \Delta Mh_3^0 + \Delta Mh_4^0 + Mh^0; \quad (7)$$

$$\Delta Mh_1^0 = f_1(\Delta T_H) = a_2 \cdot (T_H - T_H^0) \cdot (T_H + a_1 / a_2 - T_H^0); \quad (8)$$

$$\Delta Mh_2^0 = f_2(\Delta T_B) = b_2 \cdot (T_B - T_B^0) \cdot (T_B + b_1 / b_2 - T_B^0); \quad (9)$$

$$\Delta Mh_3^0 = f_3(\Delta C_{\mathcal{E}}) = c_2 \cdot (C_{\mathcal{E}} - C_{\mathcal{E}}^0) \cdot (C_{\mathcal{E}} + c_1 / c_2 - C_{\mathcal{E}}^0); \quad (10)$$

$$\Delta Mh_4^0 = f_4(\Delta C_B) = d_2 \cdot (C_B - C_B^0) \cdot (C_B + d_1 / d_2 - C_B^0). \quad (11)$$

Для решения задачи разработки метода адаптации МООПК было исследовано влияние выбора базового режима как на коэффициенты $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2, d_1, d_2$, так и на величину смещения r_0 .

В частности, исследовалось влияние величины расхода нагрузки (расхода растворителя G_p) на характер зависимости $Mh = f(T_B)$, при условии, что параметры $T_H, C_{\mathcal{E}}$ и C_B имели базовые значения.

Частные (для конкретных режимов) модели для расчета приращений ПК при базовых значениях

$T_H = T_H^0; C_{\mathcal{E}} = C_{\mathcal{E}}^0; C_B = C_B^0; T_B^0 = 23^\circ\text{C}$ и $Mh^0 = 54$ ед. Муни и изменениях нагрузки $G_p = \{3,5; 4; 4,5\}$ м³/ч имеют вид:

$$Mh = f(T_B, G_p = 3,5) = -0,159 \cdot T_B^2 + 7,059 \cdot T_B - 23,9; \quad (12)$$

$$Mh = f(T_B, G_p = 4) = -0,172 \cdot T_B^2 + 7,331 \cdot T_B - 23,617; \quad (13)$$

$$Mh = f(T_B, G_p = 4,5) = -0,172 \cdot T_B^2 + 7,037 \cdot T_B - 17. \quad (14)$$

На рисунке 2 приведены графики зависимостей (12) – (14).

Продифференцировав (12) – (14) по T_B , получим:

$$\frac{dMh(T_B, G_p = 3,5)}{dT_B} = -0,318 \cdot T_B + 7,059;$$

$$\frac{dMh(T_B, G_p = 4)}{dT_B} = -0,344 \cdot T_B + 7,331;$$

$$\frac{dMh(T_B, G_p = 4,5)}{dT_B} = -0,344 \cdot T_B + 7,037.$$

Видно, что коэффициенты наклона касательных к графикам $Mh = f(T_B, G_p)$ зависят от T_B . Если, например, $T_B = 27^\circ\text{C}$, коэффициенты наклона касательных в данной базовой точке равны соответственно (50,8; 48,9; 47,6). При этом скорости изменения этих коэффициентов (-0,318, -0,344, -0,344) малы, т.е. можно пренебречь «кривизной» характеристик $Mh = f(T_B, G_p)$. Таким образом, в достаточно широком диапазоне изменения температуры T_B , можно считать, что скорости изменения вязкости в зависимости от T_B при фиксированной нагрузке постоянны:

$$\frac{dMh(T_B, G_p = 3,5)}{dT_B} = -1,527;$$

$$\frac{dMh(T_B, G_p = 4)}{dT_B} = -1,957;$$

$$\frac{dMh(T_B, G_p = 4,5)}{dT_B} = -2,251.$$

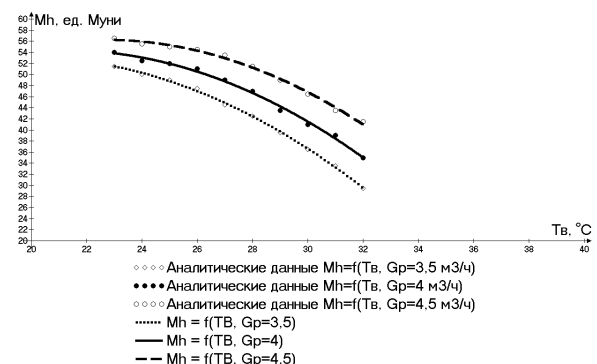


Рисунок 2. Графики изменения вязкости по Муни в зависимости от температуры верха при различных значениях нагрузки

Предположим, что во всем диапазоне изменения нагрузки $G_p \in [3,5 \text{ м}^3/\text{ч}; 4,5 \text{ м}^3/\text{ч}]$ используется одна и та же модель M^B , соответствующая $G_p = 4 \text{ м}^3/\text{ч}$, (назовем ее базовой) расчета приращений (3), в которой смещение r_0 является настраиваемым параметром.

Оценим ошибку расчета приращений по базовой модели (9) при отклонении T_B в сравнении с моделями (12), (14) для окрестности режима ($G_p = 4 \text{ м}^3/\text{ч}; T_B = 27^\circ\text{C}$).

По точным (частным) моделям при режимах $T_B = 27^\circ\text{C}$ значения $Mh(G_P, T_B)$ равны: $Mh(3,5; 27) = 50,782$; $Mh(4; 27) = 48,932$; $Mh(4,5; 27) = 47,611$.

Для базового режима ($G_P^B = 4\text{ м}^3/\text{ч}; T_B^B = 27^\circ\text{C}$) и базовой модели вида (6) смещение составляет

$$r_0 = Mh(G_P = 4\text{ м}^3/\text{ч}; T_B = 27^\circ\text{C}) = 48,932\text{ед.}$$

В таблице 1 приведены результаты расчетов по точным частным моделям и по базовой модели с учетом коррекции:

$$\Delta r_0(G_P) = Mh(G_P) - Mh(G_P^B),$$

соответствующих смещений для режимов G_P по сравнению с базовым G_P^B на величины:

$$\Delta r_0(G_P = 3,5\text{ м}^3/\text{ч}) = 50,782 - 48,932 = 1,85\text{ед.};$$

$$\Delta r_0(G_P = 4,5\text{ м}^3/\text{ч}) = 47,611 - 48,932 = -1,32\text{ед.}$$

Как видно из таблицы 1, в зависимости от требуемой точности оценки Mh может быть выбран диапазон изменения **измеряемых** параметров, для которых базовая модель адекватна точной модели с учетом коррекции смещения. При выходе за выбранный диапазон измеряемого возмущения необходимо произвести коррекцию смещения.

Для случая, когда на вязкость влияют неконтролируемые возмущения, коррекция смещения может производиться непосредственно по разнице:

$$r_0 = Mh_{\text{ПТК}} - Mh_{\text{МООПК}} \quad (15)$$

как это сделано в предлагаемой АСУПП.

Заметим, что при отсутствии ПТК оценки вязкости по Муни, коррекция смещения может проводиться по результатам лабораторных анализов.

Таким образом, в рамках алгоритма управления технологическим процессом предлагается простой метод адаптации со следующим алгоритмом. В алгоритме используется таймер с установленным временем $\theta_{\text{ПТК}}$ измерения показателя качества с использованием ПТК (или период получения данных лабораторного анализа):

Шаг 1. На стадии формирования модели, конфигурирования системы:

1.1. По каждой измеряемой переменной (фактору) f_i ($i = 1,2,3,4$): $f = \{T_H, T_B, C_{\text{Э}}, C_B\}$, выбираются

базовая модель с параметрами $T_H = T_H^0$, $T_B = T_B^0$,

$C_{\text{Э}} = C_{\text{Э}}^0$, $C_B = C_B^0$ и значение Mh^0 , устанавливается заданное абсолютное значение допустимых отклонений определения δMh , исходя из требований технологического регламента.

Таблица 1. Сравнительный анализ двух моделей

Граничные точки для $\Delta T_B = \pm 4^\circ\text{C}$				Абсолютная ошибка, ед. /относительная ошибка, %
T_B	G_P	Точная модель	Модель со смещением	
23	3,5	54,3	55,9	1,6/3
	4,5	53,9	52,7	-1,2/2,2
31	3,5	42,1	40,3	-1,9/4,5
	4,5	35,9	37,1	1,2/2,2
Максимальная ошибка:				1,9/4,5
Граничные точки для $\Delta T_B = \pm 3^\circ\text{C}$				Абсолютная ошибка, ед. /относительная ошибка, %
T_B	G_P	Точная модель	Модель со смещением	
24	3,5	53,9	55,2	1,3/2,4
	4,5	52,8	52,0	-0,8/1,5
30	3,5	44,8	43,4	-1,4/3,1
	4,5	39,3	40,2	0,9/2,3
Максимальная ошибка:				1,4/3,1
Граничные точки для $\Delta T_B = \pm 2^\circ\text{C}$				Абсолютная ошибка, ед. /относительная ошибка, %
T_B	G_P	Точная модель	Модель со смещением	
25	3,5	53,2	54,1	0,9/1,7
	4,5	51,4	50,9	-0,6/1,2
30	3,5	47,1	46,2	-0,9/1,9
	4,5	42,4	43,0	0,6/1,4
Максимальная ошибка:				0,9/1,9
Граничные точки для $\Delta T_B = \pm 1^\circ\text{C}$				Абсолютная ошибка, ед. /относительная ошибка, %
T_B	G_P	Точная модель	Модель со смещением	
26	3,5	52,2	52,6	0,5/1
	4,5	49,7	49,4	-0,3/0,6
29	3,5	49,1	48,7	-0,4/0,8
	4,5	45,2	45,5	0,3/0,7
Максимальная ошибка:				0,5/1

1.2. Устанавливается период $\theta_{ПТК}$ определения $Mh_{ПТК}$, текущее значение таймера θ_T , который используется для задания периода, обнуляется.

Шаг 2. При оперативном управлении в цикле работы контроллера:

2.1. Вводятся измеренные значения факторов $f = \{T_H, T_B, C_Э, C_B\}$, текущее значение таймера θ_T .

2.2. По соотношениям (8) – (11) вычисляется сумма отклонений ПК:

$$S = \Delta Mh_1^0 + \Delta Mh_2^0 + \Delta Mh_3^0 + \Delta Mh_4^0.$$

Если на объект управления воздействуют возмущения со стороны измеряемых факторов, при которых:

$$|S| > \delta Mh,$$

то в качестве текущего значения на УУ2 отправляется последнее измеренное значение вязкости $Mh_{ПТК}$ (или данные лабораторного анализа Mh^0) и осуществляется переход на п.2.6, **иначе** выполняется п.2.3;

2.3. По модели (7) – (11) вычисляется значение $Mh_{МООПК}$;

2.4. Сравняется значение $\theta_{ПТК}$ с текущим значением таймера θ_T .

Если выполняется условие $\theta_{ПТК} > \theta_T$, (это означает отсутствие свежего анализа ПК к текущему моменту времени), **то** в качестве текущего значения Mh на УУ2 отправляется значение $Mh_{МООПК}$ и осуществляется переход на п.2.6, **иначе** выполняется п.2.5 (имеется свежий анализ ПК);

2.5. По соотношению (15) рассчитывается смещение r_0 , осуществляется сброс таймера и осуществляется переход на п.2.3

2.6. Выход из цикла.

На рисунке 3 показан эффект адаптации на основе использования имитационного эксперимента. В качестве эталона истинной вязкости использовалась точная модель.

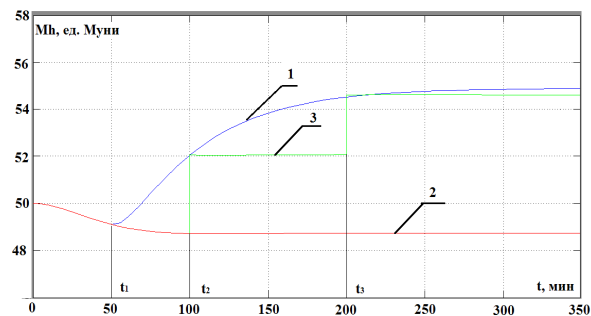


Рисунок 3. Динамика вязкости на имитационной модели
1 – график изменения «истинной» вязкости, вычисляемой по точным моделям;
2 – график вязкости, вычисленной по МООПК;
3 – график вязкости, полученный по адаптированной модели

На рисунке 3 видно, что в момент времени $t_1 = 50$ мин появляется возмущение, которое имитирует неизмеряемое возмущение. В момент времени $t_2 = 100$ мин и $t_3 = 200$ мин происходит адаптация, путем смещения на разницу между измеренным значением вязкости по точной модели и МООПК.

Выводы

Главной особенностью такого способа адаптации является то, что не требуется набирать статистический материал и делать его обработку для пересчета коэффициентов модели.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Марк Дж., Эрман Б., Эйрич Ф. Каучук и резина. Наука и технология: монография. Пер. с англ. Долгопрудный: издательский дом «Интеллект», 2011. 768 с.
2. Веревкин А.П., Кирюшин О.В., Уразметов Ш.Ф. Управление процессом сополимеризации этиленпропиленовых каучуков по показателю качества продукта // Нефтегазовое дело. 2012. Т. 10, №4. С. 121-124.
3. Веревкин А.П., Кирюшин О.В., Уразметов Ш.Ф. Исследование связи между динамической вязкостью и вязкостью полимеров по Муни на примере этиленпропиленовых каучуков для целей управления процессом // Башкирский химический журнал. Т.19, №14. 2012. С.16-19.

4. Тюкин И.Ю., Терехов В.А. Адаптация в нелинейных динамических системах. СПб.: изд-во: ЛКИ, 2008. 384 с.
5. Веревкин А.П., Кирюшин О.В. Вопросы проектирования систем адаптивного управления процессами добычи и подготовки нефти. // Территория Нефтегаз. 2008. № 3. С. 16 – 20.
6. Подвальный С.Л. Моделирование промышленных процессов полимеризации. М.: Химия, 1979. 256с.
7. Кафаров В.В., Мешалкин В.П. Анализ и синтез химико-технологических систем: учебник для вузов. М.: Химия, 1991. 432с.
8. Пупков К.А., Егупов Н.Д. Методы классической и современной теории автоматического управления. М.: изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. Т. 3. 616 с.
9. Александровский Н.М., Егоров С.В., Кузин Р.Е. Адаптивные системы

- автоматического управления сложными технологическими процессами. М.: Энергия, 1973. 272 с.
10. Беллман Р. Процессы регулирования с адаптацией М.: Наука, 1964. 359 с.
11. Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадко А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. СПб.: Наука, 2000. 549с.
12. Рей У. Методы управления технологическими процессами. Пер. с англ. М.: Мир, 1983. 368 с.
13. Малкин А.Я., Исаев А.И. Реология: концепция, методы приложения. Пер. с англ. СПб.: Профессия, 2007. 560 с.
14. G. Ver Strate, in «Encyclopedia of polymer Science and Engineering» J.I. Kroschwitz (Ed.), Wiley-Interscience, New York, Vol. 6, 1986, p.522.
15. E.P. Wasserman, in «Encyclopedia of polymer Science and Engineering» J.I.

REFERENCES

1. Mark Dzh., Erman B., Eirich F. Kauchuk i rezina. Nauka i tehnologiya: monografiya. Per. s angl. Dolgoprudnyi: izdatel'skii dom «Intelekt», 2011. 768 s.

2. Verevkin A.P., Kiryushin O.V., Urazmetov Sh.F. Upravlenie processom sopolimerizatsii etilenpropilenovyyh kauchukov po pokazatelyu kachestva produkta //Neftegazovoe delo. 2012. T. 10, №4. S. 121-124. [in russian].

3. Verevkin A.P., Kiryushin O.V., Urazmetov Sh.F. Issledovanie svyazi mezhdu dinamicheskoi vyzkost'yu i vyzkost'yu polimerov po Muni na primere etilenpropilenovyyh kauchukov dlya celei upravleniya processom // Bashkirskii himicheskii zhurnal. T.19, №14. 2012. S.16-19. [in russian].

4. Tyukin I.Yu., Terehov V.A. Adaptatsiya v nelineinykh dinamicheskikh sistemakh. SPb.: izd-vo: LKI, 2008. 384 s. [in russian].

5. Verevkin A.P., Kiryushin O.V. Voprosy proektirovaniya sistem adaptivnogo upravleniya processami dobychi i podgotovki nefli. // Territoriya Neftegaz. 2008. № 3. S. 16 - 20. [in russian].

6. Podval'nyi S.L. Modelirovanie promyshlennykh processov polimerizatsii. M.: Himiya, 1979. 256s. [in russian].

7. Kafarov V.V., Meshalkin V.P. Analiz i sintez himiko-tehnologicheskikh sistem: uchebnik dlya vuzov. M.: Himiya, 1991. 432s. [in russian].

8. Pupkov K.A., Egupov N.D. Metody klassicheskoi i sovremennoi teorii avtomaticheskogo upravleniya. M.: izd-vo MG TU im. N. E. Baumana, 2004. T. 3. 616 s. [in russian].

9. Aleksandrovskii N.M., Egorov S.V., Kuzin R.E. Adaptivnye sistemy avtomaticheskogo upravleniya slozhnymi tehnologicheskimi processami. M.: Energiya, 1973. 272 s. [in russian].

10. Bellman R. Processy regulirovaniya s adaptatsiei M.: Nauka, 1964. 359 s. [in russian].

11. Miroshnik I.V., Nikiforov V.O., Fradko A.L. Nelineinoe i adaptivnoe upravlenie slozhnymi dinamicheskimi sistemami. SPb.: Nauka, 2000. 549s. [in russian].

12. Rei U. Metody upravleniya tehnologicheskimi processami. Per. s angl. M.: Mir, 1983. 368 s.

13. Malkin A.Ya., Isaev A.I. Reologiya: koncepciya, metody prilozheniya. Per. s angl. SPb.: Professiya, 2007. 560 s. [in russian].

14. G. Ver Strate, in «Encyclopedia of polymer Science and Engineering» J.I. Kroschwitz (Ed.), Wiley-Interscience, New York, Vol. 6, 1986, p.522.

15. E.P. Wasserman, in «Encyclopedia of polymer Science and Engineering» J.I. Kroschwitz (Ed.), Wiley-Interscience, New York, Vol. 7, 2003, p.35.

Веревкин А.П., д-р техн. наук, проф., зав. кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств» ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

A.P. Verevkin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Chair «Technological Processes and Productions Automation» FSBEI of HPE Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, the Russian Federation

Кiryushin O.V., канд. техн. наук, доцент кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств» ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

O.V. Kiryushin, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Chair «Technological Processes and Productions Automation» FSBEI of HPE Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, the Russian Federation

Муртазин Т.М., канд. техн. наук, доцент кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств» ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

T.M. Murtazin, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Chair «Technological Processes and Productions Automation» FSBEI of HPE Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, the Russian Federation

Уразметов Ш.Ф., аспирант, кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств» ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация
Sh.F. Urazmetov, Postgraduate of the Chair «Technological Processes and Productions Automation» FSBEI of HPE Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, the Russian Federation

e-mail: apverevkin@mail.ru.