

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССОМ СОВМЕСТНОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКОГО КАУЧУКА

В.К. Битюков¹, М.В. Корчагин¹, С.Г. Тихомиров¹, В.И. Корчагин²

*Кафедры: «Информационных и управляющих систем» (1),
«Машины и аппараты химических производств» (2),
Воронежская государственная технологическая академия*

Представлена членом редколлегии профессором С.И. Дворецким

Ключевые слова и фразы: нечеткое управление; система поддержки принятия решений; совместная утилизация отходов; таблица лингвистических правил; формализация нечетких правил; экспертный опрос.

Аннотация: Предложен подход к построению системы поддержки принятия решений по управлению технологическим процессом совместной утилизации отходов производства синтетического каучука. Приведены результаты реализации используемых системой алгоритмов и методов принятия решений с учетом специфики управления технологическим процессом и результатов экспертного опроса.

Совместная переработка отходов и малоценных продуктов позволяет обеспечить экологическую безопасность в ресурсоемких производствах, в частности, в производстве синтетического каучука (СК). При этом одной из задач при создании технологии утилизации является максимально эффективное комплексное использование компонентов отходов при получении конечных продуктов с удовлетворительными эксплуатационными характеристиками при минимальных затратах.

Низкая точность оценки показателей качества отходов производства СК не позволяет оперативно и достоверно произвести параметрическую идентификацию моделей и регуляторов для управления процессом. Сложный характер влияния управляющих воздействий (расходов компонентов и их соотношения) на показатели качества получаемой продукции осложняет формализацию этих закономерностей с помощью детерминированных математических функций. На практике после каждого лабораторного анализа оператор, исходя из прошлого опыта, сам изменяет настройки системы и принимает решения по управлению процессом, руководствуясь своим опытом и принципами, а зачастую – профессиональной интуицией.

Использование математических методов и теории оптимизации позволяет эффективно принимать решения только в условиях, когда параметры системы известны, или их можно представить в виде фиксированных значений. Поэтому при проектировании подобных систем поддержки принятия решений (СППР) целесообразно использовать методы экстраполяции интервальных или «размытых» экспертных оценок с последующим отражением полученных правил в базу знаний путем дефаззификации.

Процесс принятия решения в СППР (рис. 1) состоит из четырех этапов:

- 1) формирование базы правил систем нечеткого вывода;
- 2) преобразование реальных производственных параметров в лингвистическую форму («размыывание» или «фаззификация» значений);
- 3) обработка лингвистических значений по методикам теории нечетких множеств и нейронных сетей;
- 4) преобразование лингвистических значений в реальные значения («дефаззификация» значений).

База знаний СППР в управлении процессом совместной утилизации отходов производства СК основана на правилах поведения системы, которые сформулированы на основании экспертных оценок, полученных путем анкетированных опросов экспертов в области технологии переработки и утилизации отходов. За основу базы знаний приняты правила, которыми пользуются операторы при управлении процессом совместной утилизации отходов производства СК, описывающие действия лица, принимающего решения (ЛПР) по изменению дозировок следующих компонентов [1]:

- латексных стоков, представляющих собой разбавленные латексные системы, полимерная фаза которых может выступать в качестве связующего;
- отработанного активированного угля АГ-3, поступающего со стадии очистки бутадиена в производстве СК, который после измельчения может применяться в качестве адсорбента-наполнителя;
- сточных вод (СВ), поступающих со стадии выделения эмульсионных каучуков (серум) и содержащих загрязняющие компоненты – тонкодисперсные примеси полимера, мыла смоляных и жирных кислот, а также диспергатор лейканол, которые могут выступать стабилизаторами суспензий углеродсодержащего наполнителя (отработанного активированного угля);
- отработанных моторных масел.

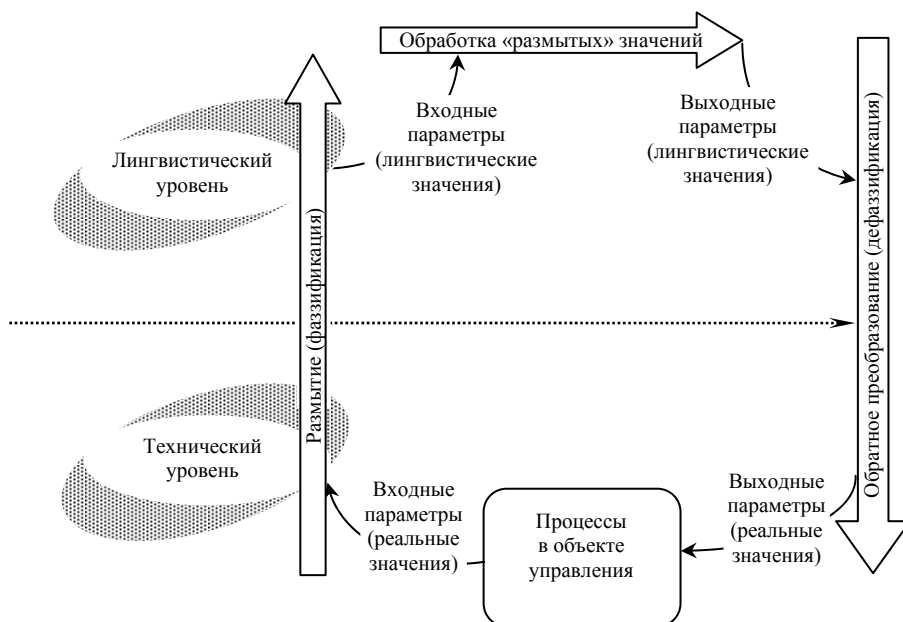


Рис. 1. Функциональная структура СППР

Способ получения модифицированных наполненных эмульсионных каучуков [2] может быть реализован в технологическом процессе совместной переработки отходов производства СК, включающем (рис. 2):

– технологические стадии: 1 – озонирование; 2 – коагуляция; 3 – приготовление суспензии наполнителя; 4 – обратно-осмотическая очистка; 5 – механо-термическое обезвоживание;

– материальные потоки: I – латексные стоки с основного производства СК; II – озонированный наполненный латексный сток; III – раствор хлористого натрия; IV – серум; V – крошка наполненного каучука; VI – стоки с органическими примесями; VII – СВ с примесями хлористого натрия (коагулирующий агент); VIII – суспензия наполнителя; IX – очищенная вода; X – наполненный каучук; XI – озono-воздушная смесь (ОВС); XII – раствор серной кислоты; XIII – отработанный сорбент (наполнитель); XIV – пластификатор (отработанные моторные масла).

С целью построения описанной выше функциональной структуры СППР (см. рис. 1) технологическую схему, представленную на рис. 2, необходимо декомпозировать в разрезе управляющих (параметров воздействия на качество процесса совместной переработки отходов) и управляемых (состояний технологического процесса) критериев выбора оптимальных значений параметров оператором СППР. Функциональная структура может быть представлена в виде таблицы лингвистических правил (ТЛП). ТЛП составлялась на основе эвристических мнений экспертов. Задание критериев осуществлено нечетким образом на лингвистической шкале из пяти термов: «Низкий» (Н_и), «Ниже Нормы» (Н_Н), «Норма» (Н), «Выше Нормы» (В_Н), «Высокий» (В).

В качестве критериев состояний технологического процесса совместной переработки взяты лингвистические переменные: y_1 – пластичность по Карреру наполненного каучука; y_2 – эффективность очистки СВ по химическому потреблению кислорода (ХПК) после стадии приготовления суспензии наполнителя; y_3 – вязкость по Муни наполненного каучука, усл. ед. Пример области определения лингвистического термина y_2 на численных интервалах – носителях нечеткого множества, соответствующих нормальному глобальному состоянию Y технологического процесса, приведен в табл. 1. В зависимости от сферы применения СППР данные лингвистические переменные целесообразно ранжировать. Табл. 2 – ТЛП, соответствующая нормальному глобальному состоянию Y технологического процесса.

Для моделирования процесса фазификации была выполнена формализация критериев при помощи аппарата теории нечетких множеств.

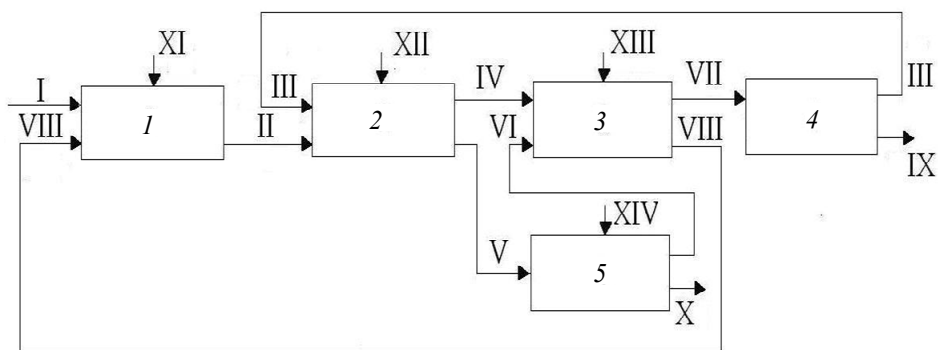


Рис. 2. Структурно-функциональная схема технологического процесса совместной переработки отходов

Таблица 1

Область определения лингвистического термина y_2

Лингвистическая переменная	Термы	Носитель нечетного множества
Эффективность очистки по ХПК, %	Высокая	90...95
	Выше среднего	87...90
	Норма	80...87
	Ниже среднего	70...80
	Низкая	60...70

Таблица 2

ТЛП для моделирования глобального состояния технологического процесса

y_1	y_2	y_3	Y
Н	Н	Н	Н
ВН	ВН	НН	
ВН	Н	Ни	
ВН	Н	ВН	

На основе экспертных данных путем применения метода парных сравнений [3] были сформированы функции принадлежности $\mu^{l_j}(y_i)$, с помощью которых можно соотнести универсальную шкалу с лингвистической – l_j .

Принятие решения по приведенной выше ТЛП осуществляется путем проведения логической операции «И» по горизонтали и операции «ИЛИ» по вертикали. Согласно [4], для вычисления степени принадлежности нормальному глобальному состоянию Y технологического процесса используется выражение

$$\mu^H(Y) = \bigcup_{Y=\langle H \rangle} \bigcap_{i=1}^4 \mu^{l_j}(y_i), \quad (1)$$

где $l_j \in \{l_1 = \langle \text{Ни} \rangle, l_2 = \langle \text{НН} \rangle, l_3 = \langle \text{Н} \rangle, l_4 = \langle \text{ВН} \rangle, l_5 = \langle \text{В} \rangle\}$.

Аналогично вычисляются степени принадлежности термов к остальным значениям заданной лингвистической шкалы по всей базе правил нечеткого вывода.

В качестве критериев воздействия на качество процесса совместной переработки отходов взяты лингвистические переменные: x_1 – соотношение полимер – наполнитель; x_2 – введение ОВС; x_3 – введение пластификатора. Пример области определения лингвистического термина x_1 на носителях нечеткого множества приведен в табл. 3.

В табл. 4. приведена часть экспертной нечеткой базы правил для моделирования параметров x_1, x_2, x_3 воздействия на качество процесса совместной переработки отходов, которая с соответствующими значениями y_1, y_2, y_3 была использована в качестве обучающей выборки для нейронной сети СППР. Нейронная сеть

Таблица 3

Область определения лингвистического термина x_1

Лингвистическая переменная	Термы	Носитель нечетного множества
Соотношение полимер – наполнитель, масс. ч.	Высокая	270...300
	Выше среднего	240...270
	Норма	230...240
	Ниже среднего	210...230
	Низкая	180...210

Таблица 4

ТЛП для моделирования параметров воздействия на качество процесса совместной переработки отходов

x_1	x_2	x_3	Y
В	НН	ВН	Н
В	Ни	В	
ВН	НН	Н	
НН	ВН	Н	
Н	НН	НН	

может быть реализована средствами программного продукта Matlab Version 6.0 со встроенным пакетом Fuzzy Logic Toolbox.

Правила задавались на основе экспертных данных без ранжирования критериев состояния системы. Выбор правила формально можно описать следующим образом:

$$Y' = \bigcup_{x_i} \bigcup_{x=x_i} \bigcap_{x_i} \mu^{l_j}(x_1, x_2, x_3), \quad i = 1, \dots, 3, \quad (2)$$

где $l_j \in \{l_1 = \text{«Ни»}, l_2 = \text{«НН»}, l_3 = \text{«Н»}, l_4 = \text{«ВН»}, l_5 = \text{«В»}\}$.

Рациональный выбор алгоритма дефаззификации при синтезе нечетких регуляторов автоматизированных систем управления в программной среде Matlab Version 6.0 с использованием пакетов Fuzzy Logic Toolbox и Simulink, согласно [5], предполагает использование алгоритма Сугено, который представляет собой следующую процедуру:

1) агрегирование условий в ТЛП (для нахождения степени истинности условий всех правил нечетких продукций применялась логическая операция минимума конъюнкции);

2) активизация значений из экспертной нечеткой базы правил, согласно ТЛП, осуществляется по формуле (2), после чего рассчитываются нечеткие значения выходных переменных каждого правила, полученного по формуле

$$y_i = \frac{\sum_l \mu^{l_0}(y_i) y^l}{\sum_l \mu^{l_0}(y_i)}, \quad i = 1, \dots, 3, \quad (3)$$

где $\mu^{l_0}(y_i)$ – функции принадлежности l -го термина воздействия x i -му терму состояния y ;

3) аккумуляция заключений нечетких правил продукций;

4) дефаззификация выходных переменных, осуществляется с использованием модифицированного метода центра тяжести c_i для одноточечных множеств

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n c_i w_i}{\sum_{i=1}^n c_i}, \quad (4)$$

где c_i – центр тяжести множества; w_i – соответствующий вес правила нечеткой продукции; n – общее количество активных правил нечетких продукций.

Обучение сети проведено итеративным градиентным методом с помощью комбинированного алгоритма обратного распространения ошибки с возмущением и адаптацией параметра скорости настройки сети [6].

Выбор начальных синаптических весовых коэффициентов (вес правила нечеткой продукции в формуле (4)) и начальных значений смещений для нейронов скрытых слоев проводился на этапе статической настройки сети с целью установки максимальной чувствительности к вариации параметров. Так, для ядра A_i^m обработка данных была определена по формуле

$$S_m^i(v) = z_i^m(u) w_i^m(u, v), \quad (5)$$

где $w_i^m(u, v)$ – соответствующий нейрону u выход v ядра A_i^m весовой коэффициент; $z_i^m(u)$ – значение функции сдвига нейрона u ядра A_i^m .

Новые значения синаптических весовых коэффициентов w_i , в соответствии с принципом градиентного поиска, получаются из предыдущих значений путем аддитивной коррекции в направлении антиградиента $\lambda \Delta J(w)$ по формуле

$$w_{\text{new}} = w_{\text{old}} - \lambda \Delta J(w), \quad (6)$$

где w_{new} – новое значение коэффициента w_i ; w_{old} – старое значение коэффициента w_i .

Для любого слоя координаты градиента определяются частными производными по обобщенной ошибке для координаты соответствующего рецепторного поля. Выражение для критерия обучения имеет вид

$$J = \sum_j \sum_v (y_j^n(v) - z_j(v))^2, \quad (7)$$

где $y_j^n(v)$ – выход j -го нейрона; $z_j(v)$ – сдвиг выхода j -го нейрона.

Топология нейронной сети СППР (рис. 3) представляет собой двухслойную сеть прямого распространения, которая отличается простотой связей между ней-

ронами. В соответствии с областью определения лингвистических переменных, сеть имеет по 3 ядра на входном и выходном слоях, по проведенным численным экспериментам с помощью системы диагностики СППР в скрытом слое решено использовать 4 ядра. В качестве функций активации применена сигмоидальная функция.

Модель системы диагностики СППР в среде Matlab Version 6.0 представляет собой структуру из пяти файлов-программ (рис. 4). При NETCREATE.M на экране появляется график, подобный изображенному на рис. 5, отображающий зависимость величины ошибки обучения от числа циклов обучения.

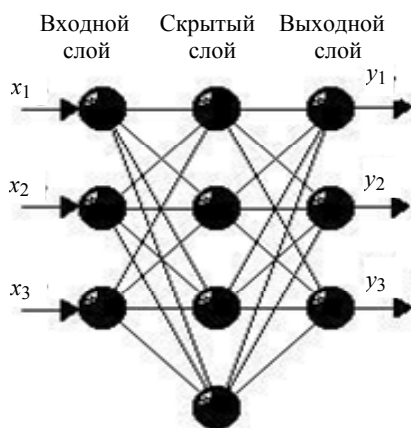


Рис. 3. Топология нейронной системы

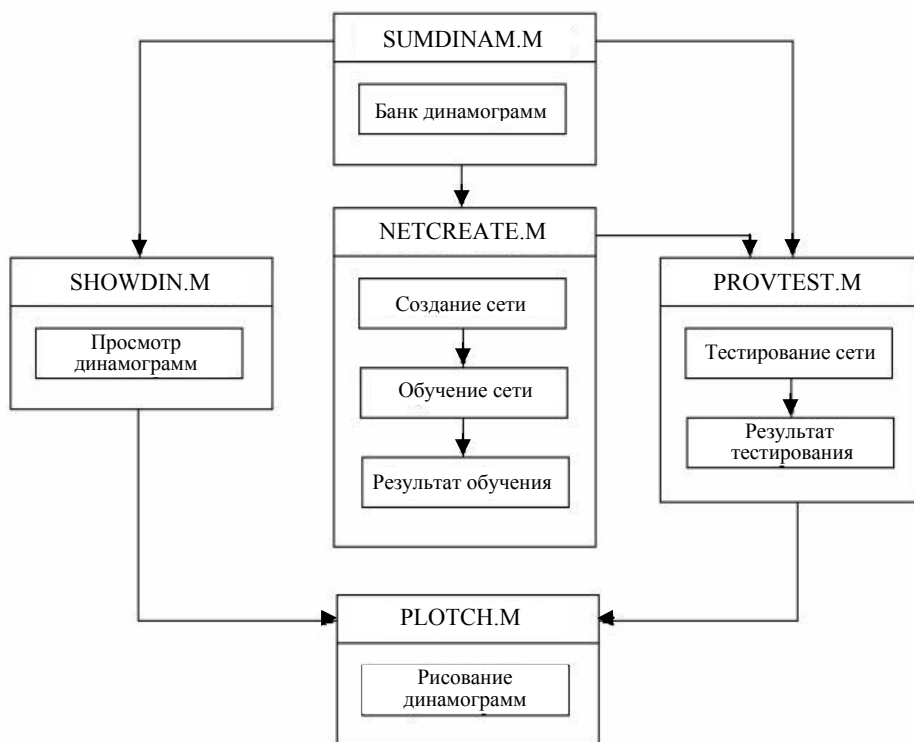


Рис. 4. Модель системы диагностики СППР

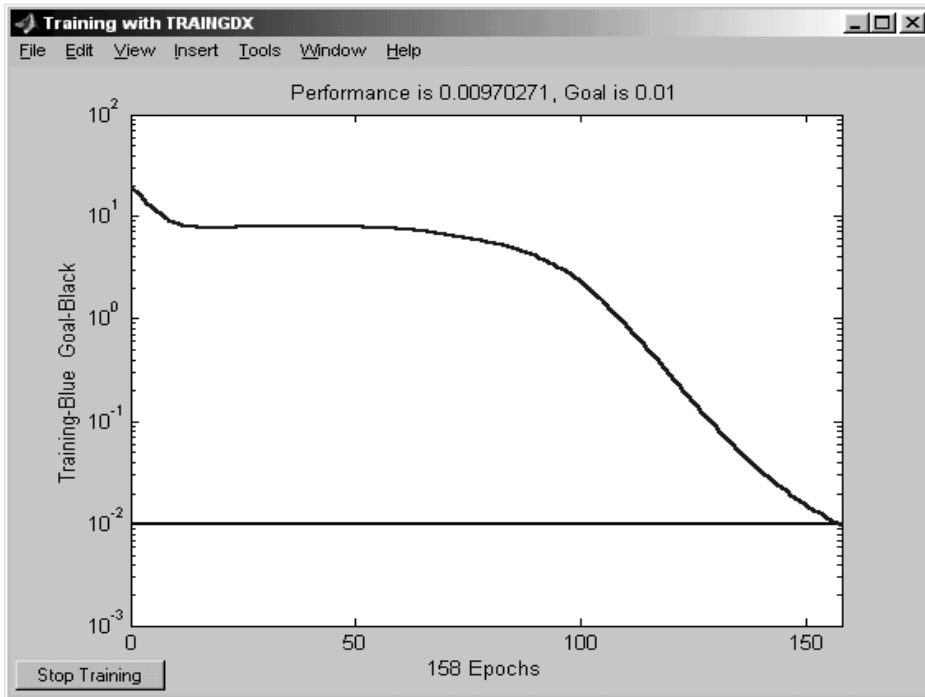


Рис. 5. Зависимость величины ошибки обучения от числа циклов обучения

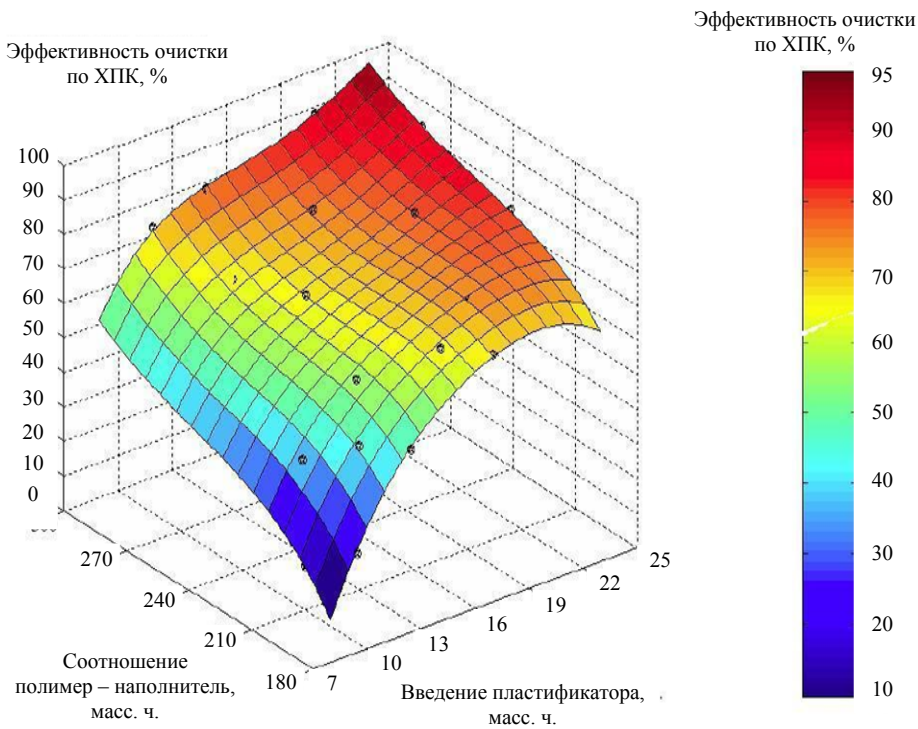


Рис. 6. Взаимозависимость параметров процесса совместной переработки отходов производства СК

Анализ результатов работы СППР можно просматривать в виде графиков. На рис. 6 показана дефазифицированная зависимость лингвистической переменной y_2 («Эффективность очистки по ХПК») от x_1 («Соотношение полимер – наполнитель») и x_3 («Введение пластификатора») после выбора начальных синаптических весовых коэффициентов w_i и начальных значений смещений $z_i^m(u)$ для нейронов скрытых слоев. В режиме функционирования СППР по мере самообучения нейронной сети данные результаты изменятся, так как значение критерия обучения (7) минимизируется.

Список литературы

1. Совместная утилизация отходов производства синтетического каучука / В.И. Корчагин [и др.] // Экология и промышленность России. – 2006. – № 10. – С. 8–10.
2. Пат. 2293751 С1 Российская Федерация, МПК7 С 08 С 1/00, С 08 С 1/14, С 08 К 3/04. Способ получения модифицированных наполненных эмульсионных каучуков / Корчагин В.И., Полуэктов П.Т., Власова Л.А., Шутилин Ю.Ф., Корчагин М.В. – № 2006103463/04 ; заявл. 06.02.2006 ; опубл. 20.02.2007, Бюл. № 5. – 4 с. : ил.
3. Ротштейн, А.П. Нечеткий многокритериальный анализ вариантов с применением парных сравнений / А.П. Ротштейн, С.Д. Штовба // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2001. – № 3. – С. 150–154.
4. Королев, А.С. Модели и алгоритмы интеллектуальной поддержки принятия решений при создании открытых информационных систем : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01 / А.С. Королев. – М., 2007. – 18 с.
5. Прасов, М.Т. Алгоритм дефазификации при синтезе нечеткого регулятора автоматизированных систем контроля и управления / М.Т. Прасов, М.Н. Анохин // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2006. – № 6. – С. 41–42.
6. Медведев, В.С. Нейронные сети. MATLAB 6 / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин ; под общ. ред. В.Г. Потемкина. – М. : Диалог–МИФИ, 2002. – 496 с.

Decision Making Support System in Management of the Process of Consolidated Utilization of Industrial Waste of Synthetic Rubber

V.K. Bityukov¹, M.V. Korchagin¹, S.G. Tikhomirov¹, V.I. Korchagin²

*Departments: “Information and Control Systems” (1),
“Machines and Apparatuses of Chemical Production” (2),
Voronezh State Technological Academy*

Key words and phrases: consolidated utilization; decision-making support system; expert survey; formalization of fuzzy rules; fuzzy control; table of linguistic rules.

Abstract: The approach to designing the decision-making support system for control over technological process of consolidated utilization of industrial waste of

synthetic rubber is proposed. The results of realization of the applied algorithms and methods of decision-making with regard for peculiarities of control over technological process and the results of expert survey are given.

**System der Unterstützung der Beschlussefassung in der Steuerung
vom Prozess der gemeinsamen Verwertung der Abfälle
der Produktion des synthetischen Kautschukes**

Zusammenfassung: Es ist das Herangehen zur Konstruktion des Systems der Unterstützung der Beschlussfassung für die Verwaltung vom technologischen Prozess der gemeinsamen Verwertung der Abfälle der Produktion des synthetischen Kautschukes angeboten. Es sind die Ergebnisse der Realisierung der vom System verwendeten Algorithmen und der Methoden der Beschlussfassung unter Berücksichtigung der Besonderheit der Steuerung vom technologischen Prozess und der Ergebnisse der Expertenfrage angeführt.

**Système du soutien de la prise des solutions dans la commande
du processus de l'utilisation commune des déchets de la production
du caouthouc synthétique**

Résumé: Est proposée une approche envers la construction du système de la prise des solutions dans la commande du processus technologique de l'utilisation commune des déchets de la production du caouthouc synthétique. Sont cités les résultats de la réalisation des systèmes des algorithmes et des méthodes de la prise des solutions compte tenu de la spécificité de la commande du processus technologique et des résultats du processus d'expert.
