

УДК:004.942

DOI: 10.25559/SITITO.15.201904.837-845

Информационно-алгоритмическое обеспечение имитационной системы управления экспериментальными исследованиями процессов смешения и структурирования эластомерных композитов для дополнительного обучения инженеров – технологов

А. С. Кузнецов^{1*}, В. Ф. Корнюшко², Е. Г. Шмакова¹, С. В. Пивнева¹, В. В. Халюкин¹

¹ Российский государственный социальный университет, г. Москва, Россия
129226, Россия, г. Москва, ул. Вильгельма Пика, д. 4. с. 1

* askuznetsov@mitht.ru

² МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Россия
119454, Россия, г. Москва, пр. Вернадского, д. 78

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы, касающиеся разработки средств обучения инженеров-технологов в практике их производственной деятельности. Показана целесообразность создания системы непрерывного обучения с использованием имитационных моделей. На практике данные модели реализуются с помощью разработки интеллектуальных систем управления. Именно с помощью данных информационных систем становится возможным отработка практических навыков по оптимизации химико-технологических процессов смешения и структурирования эластомерных композитов. Данные системы позволяют технологу совершенствовать подходы к принятию решений в сложной технологической обстановке, когда управленческие решения неоднозначны и могут быть неэффективными и приводить к образованию брака продукции. Рассматривается единая химико-технологическая система производства изделий из эластомеров, а также химико-технологические процессы смешения и структурирования многокомпонентных эластомерных композитов как составляющие химико-технологической системы. Большое разнообразие составов резиновых смесей, которое насчитывает до полутора тысячи рецептов, а также индивидуальные для каждого полуфабриката параметры переработки в изделия диктуют необходимость создания информационной базы данных для организации информационных процессов сбора, обработки и передачи реометрической информации.

Для принятия решений по рациональному управлению и контролю процессов смешения и структурирования эластомерных композитов необходимо предоставление наиболее полных сведений о процессах, что диктует необходимость объединения всей доступной информации в информационную базу данных. Решение этих задач требует проведения системного анализа связей и закономерностей функционирования и развития объектов и процессов с учетом отраслевых особенностей на основе информационной технологии баз данных, теории управления и принятия решений.

Предложена модель алгоритмической и информационной поддержки, основанная на интеллектуальной системе управления на основе комплексного анализа технологической информации, базе данных основной географической информации. Данная интеллектуальная информационная система является программной средой для дополнительного профессионального обучения операторов инженеров – технологов.



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



Ключевые слова: система управления, процессы смешения и структурирования, эластомерные композиты, информационная поддержка, алгоритмическое обеспечение процесса.

Для цитирования: Кузнецов А. С., Корнюшко В. Ф., Шмакова Е. Г., Пивнева С. В., Халюкин В. В. Информационно-алгоритмическое обеспечение имитационной системы управления экспериментальными исследованиями процессов смешения и структурирования эластомерных композитов для дополнительного обучения инженеров – технологов // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2019. Т. 15, № 4. С. 837-845. DOI: 10.25559/SITITO.15.201904.837-845

© Кузнецов А. С., Корнюшко В. Ф., Шмакова Е. Г., Пивнева С. В., Халюкин В. В., 2019



Information and Algorithmic Support of the Simulation System for Controlling Experimental Researches of Mixing and Structuring Elastomeric Composites for Additional Training of Process Engineers

A. S. Kuznetsov^{1*}, V. F. Korniyushko², E. G. Shmakova¹, S. V. Pivneva¹, V. V. Halyukin¹

¹ Russian State Social University, Moscow, Russia

4 build. 1 Wilhelm Pieck Str., Moscow 129226, Russia

* askuznetsov@mitht.ru

² MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia

78 Vernadsky Ave., Moscow 119454, Russia

Abstract

The professional education system is very important for the work of operator engineer technologists. The issues related to the development of training tools for process engineers in the practice of their production activities are discussed. The expediency of creating a system of continuous training with the use of simulation models is shown. It is with the help of these information systems that it becomes possible to develop practical skills in optimizing the chemical-technological processes of mixing and structuring elastomeric composites. These systems allow the technologist to improve decision-making approaches in a complex technological environment, when management decisions are ambiguous and can be ineffective and lead to the formation of defective products.

To make decisions on the rational management and control of the processes of mixing and structuring of elastomeric composites, it is necessary to provide the most complete information about the processes, which dictates the need to combine all available information into an information database. Solving these problems requires a systematic analysis of the relationships and patterns of functioning and development of objects and processes taking into account industry specifics based on information technology databases, control theory and decision-making.

We consider a single chemical-technological system for manufacturing products from elastomers, as well as chemical-technological processes of mixing and structuring multicomponent elastomeric composites as components of a chemical-technological system. A wide variety of rubber compounds, which has up to one and a half thousand formulations, as well as individual parameters for each semi-finished product processing into products dictate the need to create an information database for organizing information processes fail and, processing and transmitting information rheometer.

Keywords: control system, mixing and structuring processes, elastomeric composites, information support, algorithmic support of the process.

For citation: Kuznetsov A.S., Korniyushko V.F., Shmakova E.G., Pivneva S.V., Halyukin V.V. Information and Algorithmic Support of the Simulation System for Controlling Experimental Researches of Mixing and Structuring Elastomeric Composites for Additional Training of Process Engineers. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie* = Modern Information Technologies and IT-Education. 2019; 15(4):837-845. DOI: 10.25559/SITITO.15.201904.837-845



Введение

Одной из важнейших задач, стоящих перед страной в целом, является значительное повышение производительности труда во всех сферах и прежде всего в промышленности, в том числе на химико-технологических предприятиях. Добиться этого можно не только за счет внедрения новых совершенных технологий, автоматизированных систем управления, широкого применения информационных технологий для управления производствами, но и внедрения системы непрерывного повышения квалификации технологов, занятых в системах управления технологиями. Это может быть достигнуто в повсеместном внедрении системы дополнительного образования на новой информационной основе. Речь, прежде всего, идет о разработке и широком применении интеллектуальных тренажеров, позволяющих с помощью методов математического моделирования и экспертных технологий подготовки управленческих решений, находить оптимальные режимы управления технологическими процессами, искать новые методы принятия решений в неоднозначных технологических ситуациях.

Основная часть

Разработке интеллектуальных систем управления и применению их в качестве тренажеров для обучения, как студентов, так и для дополнительного обучения специалистов в области химической технологии, посвящено в настоящее время значительное количество работ [1-3]. Однако попытка переноса найденных решений на новые процессы встречает значительные трудности, так как очевидно, что для детального изучения новой технологии и особенностей управления ею, необходимы соответствующие математические модели и оригинальные алгоритмы управления, учитывающие особенности этих технологических процессов и их систем контроля и управления. Рассмотрим особенности построения интеллектуальной системы управления химическим процессом пространственного сшивания и соответственно технологическим процессом создания готового изделия из эластомеров [4, 6]. Повышению качества готового продукта способствует применение методов контроля и управления процессами смешения и структурирования, системный анализ производственных процессов, их детальное вербальное и математическое описание, а также информационное обеспечение принятия решений при контроле процессов смешения и вулканизации на основе анализа реометрических кривых и информационных баз данных [5, 6]. Оператор-технолог является основным звеном в современной автоматизированной системе управления химическим производством. Анализ деятельности оператора-технолога выявил центральную роль процесса принятия решений при управлении производством, вследствие чего основное внимание при обучении должно уделяться развитию у операторов оперативного мышления и формированию навыков принятия решений и приемов управления технологическим процессом [7]. На долю оператора-технолога приходится самая ответственная функция – принятие окончательного решения по управлению процессом. Оперативному персоналу необходимы достаточно глубокие знания по технологии производства эластомерных композитов, устойчивые навыки логического анализа больших объе-

мов информации, поступающей с пульта управления, быстрота реакции, умение своевременно принимать правильные решения [7-11].

На основе ранее проведенных исследований по созданию интеллектуальных тренажерно-обучающих комплексов [7, 9, 11]. На основе модели «идеального» оператора в работе предлагается структура учебно-обучающего комплекса для операторов производств готовой продукции из эластомерных композитов (рисунок 1).

Подсистема «идеальный» оператор включает в себя модуль поиска причины неисправности, модуль поиска оптимального решения, модуль оценки действий обучаемого, а также модуль, отвечающий за формирование комментариев¹ [8, 12]. Блок внешних программ включает в себя графический интерпретатор ввода-вывода и графический редактор. Подсистема «Имитатор» содержит модуль пуска, модуль плановой остановки, модуль, отвечающий за моделирование аварийных ситуаций, модуль имитации нормального режима работы тренажерного комплекса, а также модуль статических и динамических моделей процесса. Блок «Администратор» отвечает за администрирование комплекса, и содержит следующие программные модули: модуль управления обучением, модуль выбора сложности, генератор различных технологических ситуаций, модуль, содержащий протоколы и документацию по процессам структурирования эластомерных композитов, модуль, отвечающий за диалог с пользователем системы, а также интерпретатор ввода-вывода. Блок «База данных» содержит базу данных стандартных реограмм состояния многокомпонентных эластомерных композитов, интеллектуальную базу знаний, массив заданий для обучаемых, массив графических изображений реограмм состояния (блок визуализации), а также массив текущих параметров технологического процесса, массив регламентных параметров технологического процесса, и массив текстов-рекомендаций по принятию управленческих решений. Современное промышленное производство изделий из эластомеров – сложный многостадийный процесс, характеризующийся наличием нескольких стадий [4, 6, 13]. Множество параметров сырья и стадий технологических процессов приводит к тому, что инженеру – технологу одновременно приходится учитывать большое количество факторов. Наличие тренажерно-обучающей системы, в данном случае, позволяет более оперативно выявлять число точек управления процессом, а также в значительной степени облегчает принятие решений по контролю и управлению процессом [10].

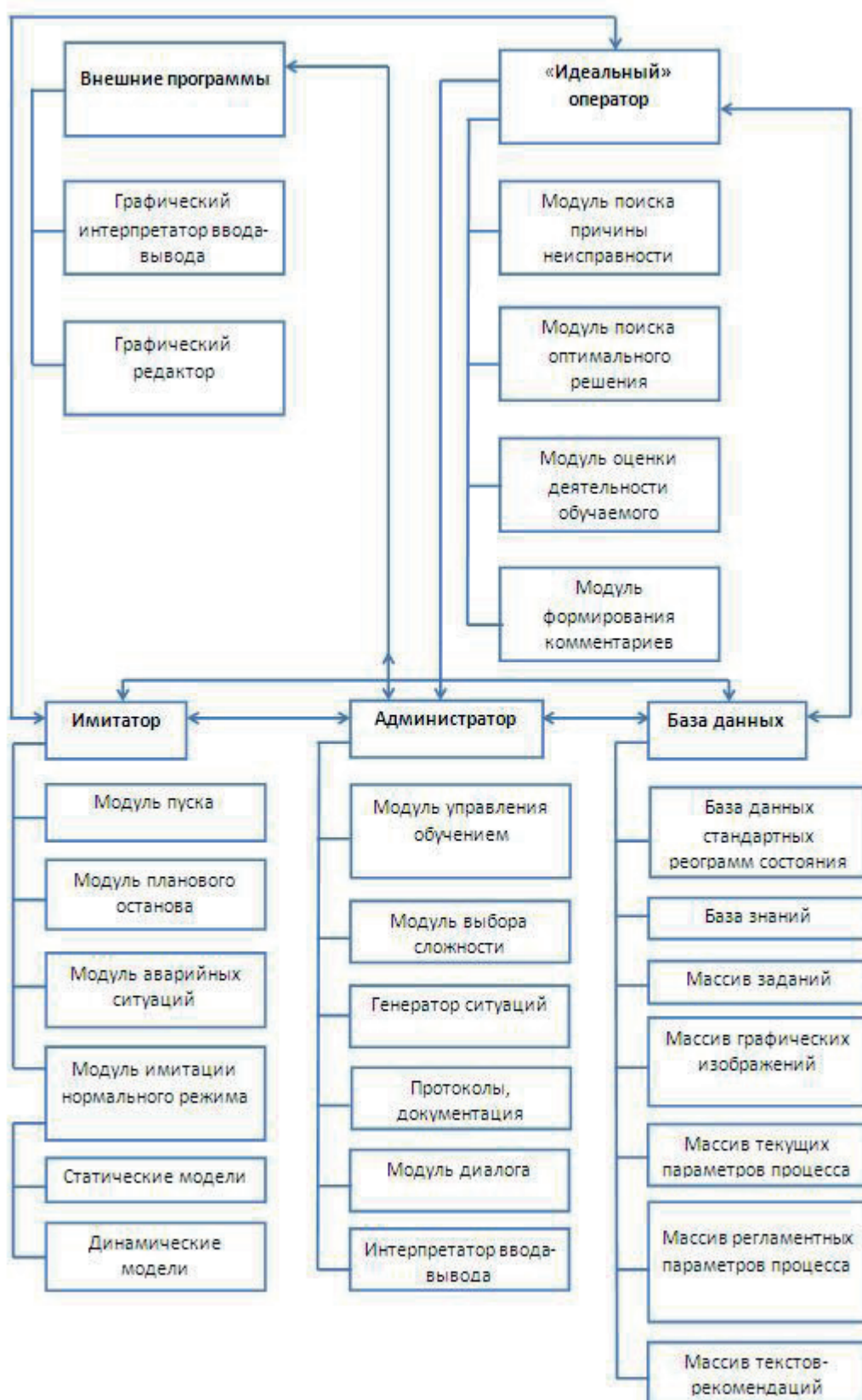
Предложенная модель обучающего комплекса направлена на выработку, закрепление и углубление профессиональных знаний и практических навыков по контролю и управлению процессами смешения и структурирования эластомерных композитов.

Управление в процессах структурирования эластомерных композитов трактуется как направленное воздействие на химико-технологическую систему производства продукции из эластомерных композитов, которое обеспечивает поддержание оптимальных параметров данного процесса [11].

На основе анализа технологических процессов смешения и структурирования эластомерных композитов было построено информационное обеспечение системы управления химико-технологическими процессами смешения и структурирования многокомпонентных эластомерных композитов (архитектура данной системы приведена на рисунке 2).

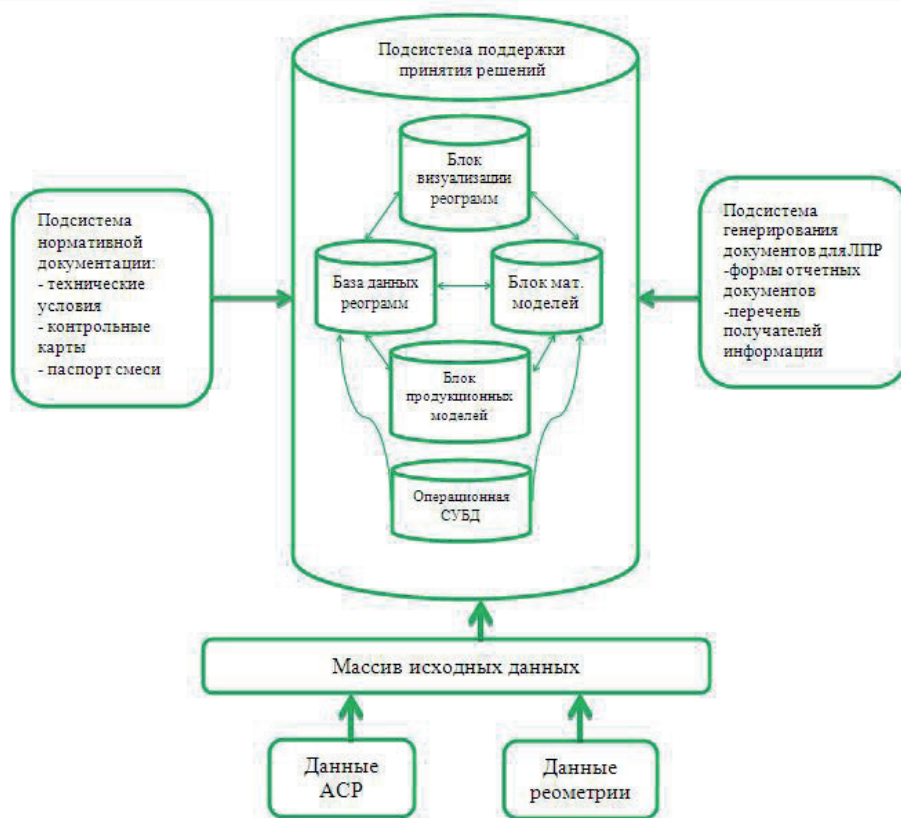
¹ ISO 6502:1991. Резина. Измерение вулканизационных характеристик безроторным кюрметром [Rubber – Measurement of vulcanization characteristics with rotorless curemets]. Second edition, 1991.





Р и с. 1. Структура учебно-обучающего комплекса для операторов производств готовой продукции из эластомерных композитов
F i g. 1. Structure of the training complex for manufacturers of finished products made of elastomer composites





Р и с. 2. Архитектура интегрированной информационной системы управления химико-технологическими процессами смешения и структурирования эластомерных композитов. Обозначения: ЛПР – лицо, принимающее решения, АСР – автоматическая система регулирования

Fig. 2. Architecture of integrated information system for management of chemical-technological processes of mixing and structuring elastomer composites. Designations: DM – decision maker, ARS – automatic regulation system

Система содержит ряд подсистем, из которых далее рассматривается подсистема поддержки управленческих решений. Подсистема поддержки принятия управленческих решений содержит блок визуализации реограмм состояния, базу данных реограмм, блок математических моделей и блок подготовки управленческих решений на основе производственных моделей. Реограмма состояния эластомерного композита графически отображает ход процесса структурирования в реальных производственных условиях, она является датчиком динамического состояния технологического процесса, и именно она используется оператором для принятия управленческих решений. Поведение эластомерных композитов в процессе переработки описывается математической моделью вида:

$$M = a + b \cdot \left[1 - \left(1 + \exp \left(\frac{t + d \cdot \ln(2^{1/e} - 1) - c}{d} \right) \right)^{-e} \right]. \quad (1)$$

где M – крутящий момент ($\text{дН} \cdot \text{м}$) – основной параметр состояния эластомерной системы, определяющий ее способность к переработке на этапах смешения и структурирования. Эта модель представляет собой аналитическое выражение функции распределения случайных величин. Параметр a с равен минимальному крутящему моменту M_{\min} . Параметр b соответствует приращению крутящего момента $\Delta M = M_{\max} - M_{\min}$. Па-

раметр c равен вулканизационной характеристике $t_{c(50)}$. Параметры d и e характеризуют геометрию реометрической кривой (графической характеристики процесса структурирования эластомерного композита). Таким образом, коэффициенты данной модели имеют физический смысл: a – минимальная вязкость системы; b – перепад вязкости в процессе переработки; c – время половинного превращения при структурировании, d – коэффициент крутовершинности кривой структурирования, e – асимметричность формы кривой [8]. Также на практике часто используют безразмерный показатель β :

$$\beta = \frac{M - M_{\min}}{M_{\max} - M_{\min}} \quad (2)$$

Данный показатель характеризует степень завершенности процесса структурирования эластомерного композита. Все эти показатели используются для количественной оценки процессов смешения и структурирования эластомерных композитов, и, в конечном итоге, являются дополнительной информацией, которая также учитывается в блоке подготовки управленческих решений.

Построено дерево продукции для анализа процесса структурирования эластомерных композитов при отклонении основ-

ного показателя, отвечающего за переработку – крутящего момента $M_{кр}$. (рисунок 3).



Р и с. 3. Дерево продуктов для анализа процесса структурирования эластомерных композитов

Fig. 3. Tree scheme of products for analysis of elastomer composite structuring

Построение деревьев решений позволяет сформировать наборы продукционных решений (правил) для каждой отдельной технологической ситуации на каждой стадии производства. Результаты анализа различных технологических ситуаций, которые могут возникать на производстве продукции из эластомеров, являются основой для формирования базы данных, которая представляет собой систему продукционных правил, и выполняет задачу интеллектуальной информационной поддержки для выработки решений по контролю и управлению процессами на производстве эластомерных композитов.

Заключение

Дополнительное непрерывное профессиональное обучение инженеров технологов – крайне важная задача. Профессионализм оператора - технолога в значительной степени определяется своевременностью и точностью принятия решений по контролю и управлению производственными процессами. При этом важную роль играет интеллектуальная система информационной поддержки. Наиболее эффективным вариантом является программный комплекс – тренажер на основе интеллектуальной информационной системы управления на основе сформированной базы знаний (системы продукционных правил), построенных на основе анализа накопленной технологической информации. Блок математических моделей позволяет получить набор количественных характеристик, описывающих состояние эластомерного композита в различных этапах его переработки в готовую продукцию, что значительно облегчает процесс принятия решений при различных технологических ситуациях на производстве эластомерных композитов.

Список использованных источников

- [1] *Запасная Л. А.* Интеллектуальная автоматизированная система подготовки химиков-технологов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2014.
- [2] *Егоров А. Ф.* Разработка автоматизированных лабораторных комплексов / А.Ф. Егоров, Т.В. Савицкая, С.П. Дударов, А.В. Горанский, В.П. Бельков, И.Б. Шергольд; под общ. ред. А.Ф. Егорова. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2006. 176 с.
- [3] *Егоров А. Ф., Савицкая Т. В., Запасная Л. А.* Междисциплинарная автоматизированная система обучения на основе сетевых технологий для многоуровневой подготовки химиков-технологов // Открытое образование. 2012. № 6. С. 20-33. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18411286> (дата обращения: 13.08.2019).
- [4] *Новаков И. А., Вольфсон С. И., Новопольцева О. М., Кракшин М. А.* Реологические и вулканизационные свойства эластомерных композиций. М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. 332 с.
- [5] Monsanto Rheometer 100, Description and application. Technical Bulletin No IS-1, p. 18.
- [6] *Новаков И. А., Новопольцева О. М., Кракшин М. А.* Методы оценки и регулирования пластозластических и вулканизационных свойств эластомеров и композиций на их основе. М.: Химия, 2000. 240 с.
- [7] *Coughanowr D. R.* Process Systems Analysis and Control. McGraw-Hill, 2 edition. 1991.
- [8] *Агаянц И. М., Кузнецов А. С., Овсяников Н. Я.* Модификация осей координат при количественной интерпретации реометрических кривых // Тонкие химические технологии. 2015. Т. 10, № 2. С. 67-70. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24152651> (дата обращения: 13.08.2019).
- [9] *Кузина Е. В.* Разработка математического обеспечения экспертной обучающей системы подготовки операторов химических производств: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 1996.
- [10] *Рылов С. А.* Разработка компьютерных информационных тренажеров на основе технологий виртуализации: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2011.
- [11] *Мешалкин В. П.* Экспертные системы в химической технологии. Основы теории, опыт разработки и применения. М.: Химия, 1995. 367 с.
- [12] *Diwan P.* Artificial Intelligence and the Chemical World: Expert System Applications in Chemical Analysis, Chemical Synthesis and Chemical Engineering // IETE Journal of Research. 1988. Vol. 34, Issue 3. Pp. 223-230. DOI: 10.1080/03772063.1988.11436733
- [13] *Уральский М. Л., Горелик Р. А., Буканов А. М.* Контроль и регулирование технологических свойств резиновых смесей. М.: Химия, 1983. 128 с.
- [14] *Агаянц И. М., Наумова Ю. А., Кузнецов А. С.* Анализ корреляционных соотношений в области реометрических исследований резин / Вестник МИТХТ им. М.В. Ломоносова. 2013. Т. 8, № 1. С. 15-19. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18814016> (дата обращения: 13.08.2019).
- [15] *Кузнецов А. С., Корнюшко В.Ф., Гончаров И.А., Агаянц И.М.* Информационная поддержка системы управления технологическим процессом структурирования эласто-



- мерных систем с использованием реометрических кривых // Прикладная информатика. 2016. Т. 11, № 2. С. 23-30. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25918767> (дата обращения: 13.08.2019).
- [16] Кузнецов А. С., Корнюшко В. Ф., Агаянц И. М. Реограмма как инструмент управления технологическим процессом структурирования эластомерных систем // VI Молодежная научно-техническая конференция «Научные химические технологии-2015» (11-12 ноября 2015 г., Москва): тезисы докладов. М.: Издательство МИТХТ, 2015. С. 143-144.
- [17] Ogunnaike B., Ray W. H. Process Dynamics, Modeling, and Control. Oxford University Press, 1995. 1280 pp.
- [18] Кузнецов А. С., Корнюшко В. Ф., Агаянц И. М. Информационная поддержка управления технологическим процессом структурирования эластомерных систем // Российско-американская научная школа-конференция «Моделирование и оптимизация химико-технологических процессов РАШХИ-2016»: сб. тр. науч.-практ. конф. (23–25 мая 2016 г.) / Под ред. Зиятдинова Н.Н., Лаптевой Т.В., Сильвестровой А.С. Казань: Изд-во КНИТУ, 2016. С. 94-97.
- [19] Ziyatdinov N. N. Computer simulation and optimization in chemical technology // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2014. Vol. 48, Issue 5. Pp. 539-540. DOI: 10.1134/S0040579514050261
- [20] Дорохов И. Н., Меньшиков В. В. Системный анализ процессов химической технологии. Интеллектуальные системы и инженерное творчество в задачах интенсификации химико-технологических процессов и производств. М.: Наука, 2005. 582 с.
- [21] Бельдеева Л. Н. Технологические измерения на предприятиях химической промышленности. В 2-х частях. Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2002.
- [22] Bauman J. T. Fatigue, Stress, and Strain of Rubber Components: A Guide for Design Engineers. Munich: Hanser Publishers, 2008. DOI: 10.3139/9783446433403
- [23] Dick J. S. How to Improve Rubber Compounds. 1800 Experimental Ideas for Problem Solving 2nd Edition. Munich: Hanser Publishers, 2013.
- [24] Morton M. Rubber Technology. Springer Science + Business Media, B.V., 1999. DOI: 10.1007/978-94-017-2925-3
- [25] White J. L., Coran A. Y., Moet A. Polymer Mixing: Technology and Engineering. Munich: Hanser Publishers, 2001. 241 pp.
- фессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6192-3464>, vfk256@mail.ru
- Шмакова Елена Германовна**, декан факультета Информационных технологий, кафедра информационных систем, сетей и безопасности, Российский государственный социальный университет (129226, Россия, г. Москва, ул. Вильгельма Пика, д. 4. с. 1), кандидат технических наук, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5739-6374>, rusja_lena@mail.ru
- Пивнева Светлана Валентиновна**, заведующий кафедрой информатики и прикладной математики, факультет Информационных технологий, Российский государственный социальный университет (129226, Россия, г. Москва, ул. Вильгельма Пика, д. 4. с. 1), кандидат педагогических наук, доцент, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2288-9915>, tit-swetlana@yandex.ru
- Халюкин Владимир Васильевич**, старший преподаватель кафедры информационных систем, сетей и безопасности, факультет Информационных технологий, Российский государственный социальный университет (129226, Россия, г. Москва, ул. Вильгельма Пика, д. 4. с. 1), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6192-3464>, 89266083801@mail.ru

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

References

- [1] Zapasnaja L.A. *Intellektual'naja avtomatizirovannaja sistema podgotovki himikov-tehnologov* [Intelligent automated training system for chemists-technologists]: dis. ... Ph.D. (Engineering). Moscow, 2014. (In Russ.)
- [2] Egorov A.F. *Razrabotka avtomatizirovannyh laboratornyh kompleksov* [The development of automated laboratory complexes]. In: Egorov A.F., Savickaja T.V., Dudarov S.P., Goranskij A.V., Bel'kov V.P., Shergol'd I.B. (Eds.). MUCTR Publ., Moscow, 2006. (In Russ.)
- [3] Egorov A.F., Savickaja T.V., Zapasnaja L.A. *Mezhdisciplinarnaja avtomatizirovannaja sistema obuchenija na osnove setevyh tehnologij dlja mnogourovnevoj podgotovki himikov-tehnologov* [Interdisciplinary Automated Training System based on Network Technology for Multilevel Training of Chemists Engineers]. *Open Education*. 2012; 6:20-33. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18411286> (accessed 13.08.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [4] Novakov I.A., Vol'fson S.I., Novopol'ceva O.M., Krakshin M.A. *Reologicheskie i vulkanizacionnye svojstva jelastomernyh kompozicij* [Rheological and cure properties of elastomeric compositions]. Akadernkna Publ., Moscow, 2008. (In Russ.)
- [5] Monsanto Rheometer 100, Description and application. Technical Bulletin No IS-1, p. 18. (In Eng.)
- [6] Novakov I.A., Novopol'ceva O.M., Krakshin M.A. *Metody ocenki i regulirovanija plastoelasticheskij i vulkanizacionnyh svojstv jelastomero i kompozicij na ih osnove* [Methods of estimation and regulation of plastoelastic and vulcanizing properties of elastomers and compositions based on them]. Himija Publ., Moscow, 2000. (In Russ.)
- [7] Coughanowr D. R. Process Systems Analysis and Control. McGraw-Hill, 2 edition. 1991. (In Eng.)
- [8] Agayants I.M., Kuznetsov A.S., Ovsyannikov N.Ya. *Modifikacija*

Поступила 13.08.2019; принята к публикации 25.11.2019;
опубликована онлайн 23.12.2019.

Об авторах:

Кузнецов Андрей Сергеевич, доцент кафедры информатики и прикладной математики, факультет информационных технологий, Российский государственный социальный университет (129226, Россия, г. Москва, ул. Вильгельма Пика, д. 4. с. 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1569-4765>, askuznetsov@mitht.ru

Корнюшко Валерий Федорович, профессор кафедры информационных систем в химической технологии, Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова, МИРЭА – Российский технологический университет (119454, Россия, г. Москва, пр. Вернадского, д. 78), доктор технических наук, про-



- osej koordinat pri kolichestvennoj interpretacii reometricheskikh krivykh [Modification of Axes in Rheometer Curves Quantitative Interpretation]. *Fine Chemical Technologies*. 2015; 10(2):67-70. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24152651> (accessed 13.08.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [9] Kuzina E.V. *Razrabotka matematicheskogo obespechenijaj ekspertnoj obuchajushhej sistemy podgotovki operatorov himicheskikh proizvodstv* [Development of mathematical support for an expert training system for the training of chemical production operators]: dis. ... Ph.D. (Engineering). Moscow, 1996. (In Russ.)
- [10] Rylov S.A. *Razrabotka komp'yuternyh informacionnyh trenazherov na osnove tehnologij virtualizacii* [Development of computer information simulators based on virtualization technologies]: dis. ... Ph.D. (Engineering). Moscow, 2011. (In Russ.)
- [11] Meshalkin V.P. *Jekspertnye sistemy v himicheskoy tehnologii* [Expert systems of chemical technology]. Himija Publ., Moscow, 1995. (In Russ.)
- [12] Diwan P. Artificial Intelligence and the Chemical World: Expert System Applications in Chemical Analysis, Chemical Synthesis and Chemical Engineering. *IETE Journal of Research*. 1988; 34(3):223-230. (In Eng.) DOI: 10.1080/03772063.1988.11436733
- [13] Ural'skij M.L., Gorelik R.A., Bukanov A.M. *Kontrol' i regulirovanie tehnologicheskikh svojstv rezinovykh smesej* [Control and regulation of the rubber blends properties]. Himija Publ., Moscow, 1983. (In Russ.)
- [14] Agayants I.M., Naumova Yu.A., Kuznetsov A.S. *Analiz korrelyacionnykh sootnoshenij v oblasti reometricheskikh issledovanij rezin* [Analysis of Correlative Relationships in Rheometric Rubber Research]. *Fine Chemical Technologies (Vestnik MITHT)*. 2013; 8(1):15-19. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18814016> (accessed 13.08.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [15] Kuznetsov A., Kornushko V., Goncharov I., Agayants I. *Informacionnaja podderzhka sistemy upravlenija tehnologicheskim processom strukturirovanija jelastomernyh sistem s ispol'zovaniem reometricheskikh krivykh* [Information support of process structuring elastomeric systems control system using the rheometer curves]. *Journal of Applied Informatics*. 2016; 11(2):23-30. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25918767> (accessed 13.08.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [16] Kuznetsov A., Kornushko V., Agayants I. *Reogramma kak instrument upravlenija tehnologicheskim processom strukturirovanija jelastomernyh sistem* [Rheogram as a tool for managing the technological process of structuring elastomeric system]. In: *Proceedings of the conference "High chemical technologies-2015"*. MITHT Publ., Moscow, 2015, pp. 143-144. (In Russ.)
- [17] Ogunnaike B., Ray W. H. *Process Dynamics, Modeling, and Control*. Oxford University Press, 1995. (In Eng.)
- [18] Kuznetsov A., Kornushko V., Agayants I. Information support of process structuring elastomeric systems control. In: Ziyatdinov N.N., Lapteva T.V., Silvestrova A.S. (Eds.) *Modeling and Optimization of Chemical Engineering Processes and Systems ARChESS-2016: the book of plenary and poster abstracts of the American-Russian Chemical engineering Scientific School ARChESS-2016*. KNRTU Press, Kazan, 2016, pp. 226-229. (In Eng.)
- [19] Ziyatdinov N.N. Computer simulation and optimization in chemical technology. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2014; 48(5):539-540. (In Eng.) DOI: 10.1134/S0040579514050261
- [20] Dorohov I.N., Menshikov V.V. *Sistemnyj analiz processov himicheskoy tehnologii. Intellektual'nye sistemy i inzhenernoe tvorchestvo v zadachah intensivizacii himiko-tehnologicheskikh processov i proizvodstv* [System analysis of chemical technology processes. Intelligent systems and engineering in the tasks of intensification of chemical-technological processes and production]. Nauka, Moscow, 2005. (In Russ.)
- [21] Bel'deeva L.N. *Tehnologicheskie izmerenija na predpriyatijah himicheskoy promyshlennosti* [Technological Measurements of the Chemical Industry]. AltGTU Publ., Barnaul, 2002. (In Russ.)
- [22] Bauman J.T. *Fatigue, Stress, and Strain of Rubber Components: A Guide for Design Engineers*. Munich: Hanser Publishers, 2008. (In Eng.) DOI: 10.3139/9783446433403
- [23] Dick J.S. *How to Improve Rubber Compounds*. 1800 Experimental Ideas for Problem Solving 2nd Edition. Munich: Hanser Publishers, 2013. (In Eng.)
- [24] Morton M. *Rubber Technology*. Springer Science + Business Media, B.V., 1999. (In Eng.) DOI: 10.1007/978-94-017-2925-3
- [25] White J.L., Coran A.Y., Moet A. *Polymer Mixing: Technology and Engineering*. Munich: Hanser Publishers, 2001. (In Eng.)

Submitted 13.08.2019; revised 25.11.2019;
published online 23.12.2019.

About the authors:

Andrey S. Kuznetsov, Associate Professor of the Department of Informatics and Applied Mathematics, Faculty of Information Technology, Russian State Social University (4 build. 1 Wilhelm Pieck Str., Moscow 129226, Russia), Ph.D. (Technical), Associate Professor, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1569-4765>, askuznetsov@mitht.ru

Valery F. Korniyushko, Professor of the Department of Information Systems in Chemical Technology of M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA – Russian Technological University (78 Vernadsky Ave., Moscow 119454, Russia), Dr. Sci. (Technical), Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6192-3464>, vfk256@mail.ru

Elena G. Shmakova, Dean of the Faculty of Information Technology, Department of Information Systems, Networks and Security, Russian State Social University (4 build. 1 Wilhelm Pieck Str., Moscow 129226, Russia), Ph.D. (Technical), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5739-6374>, rusja_lena@mail.ru

Svetlana V. Pivneva, Head of the Department of Informatics and Applied Mathematics, Faculty of Information Technology, Russian State Social University (4 build. 1 Wilhelm Pieck Str., Moscow 129226, Russia), Ph.D. (Pedagogy), Associate Professor, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2288-9915>, tlt-svetlana@yandex.ru

Vladimir V. Halyukin, Senior Lecturer of the Department of Information Systems, Networks and Security, Faculty of Information Technology, Russian State Social University (4 build. 1 Wilhelm Pieck Str., Moscow 129226, Russia), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6192-3464>, 89266083801@mail.ru

All authors have read and approved the final manuscript.

