

Компьютерная система для подготовки специалистов в области управления жизненным циклом производства и вторичной переработки полимерных материалов

Т. Б. Чистякова¹, И. В. Новожилова²

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)

¹nov@technolog.edu.ru, ²novozhilova@bk.ru

Аннотация. В целях интенсификации рециклинга, повышения экономической эффективности, улучшения экологических характеристик и потребительских свойств полимерной продукции предложена функциональная структура компьютерной системы для комплексного обучения специалистов в области ресурсосберегающего управления жизненным циклом производства технических изделий на основе технологии переработки полимерных отходов. Основу системы составляет модуль формирования индивидуальных траекторий обучения специалистов (участников инжиниринговой команды), задействованных на каждой стадии жизненного цикла производства, с учетом комплексной оценки отдельных этапов выполнения группового задания по синтезу полимерного изделия с уникальными свойствами. Результатом обучения специалистов является формирование паспорта производства полимерного изделия, удовлетворяющего требованиям рынка сбыта продукции, и учитывающего экологические характеристики, технико-экономические показатели каждой стадии жизненного цикла, а также экономическую эффективность производства в целом.

Ключевые слова: вторичные полимерные материалы; компьютерная система; обучение; рециклинг полимеров

I. ВВЕДЕНИЕ

Промышленный инжиниринг современных предприятий с целью их модернизации, повышения качества продукции и внедрения новых систем управления производством приводит к необходимости формирования высококвалифицированного кадрового обеспечения, что особенно важно для процессов переработки вторичных полимерных материалов в целях снижения загрязнений окружающей среды, интенсификации рециклинга и возврата ценного сырья в производство [1]. Расширение ассортимента возвращаемых в технический оборот полимерных отходов и многообразие полимерных промышленных изделий, подлежащих утилизации, приводят к необходимости разработки новых

технологических решений, которые позволяют восстановить свойства деструктурированных полимеров.

Наиболее динамично развивающимся направлением в области переработки полимерных материалов является процесс использования вторичного сырья производства в качестве новой ресурсной базы. При этом основная сложность заключается в разделении и выделении чистых фракций из смешанных отходов, так как могут присутствовать локальные и распространенные неоднородности состава композиционных смесей, которые случайно варьируются, и которые трудно описать количественно. Проблема смесевых пластиковых отходов приводит к тому, что большая часть рециклируемых полимеров направляется не на первоначальное производство, а на производство иных изделий, как правило, с более низкими потребительскими свойствами (мусорных ведер, технической тары, технических полимерных емкостей различного объема) [2–5].

Таким образом, актуальной является задача подготовки высококвалифицированных специалистов в области разработки композиционных полимерных смесей на основе вторичных полимерных материалов и технологий их переработки в технические изделия с улучшенными экологическими и потребительскими характеристиками.

Для решения данной задачи необходимо применение комплексного подхода в планировании и управлении жизненным циклом технического изделия с использованием междисциплинарных технологий и знаний из различных профессиональных областей, таких как маркетинг, экономика, экология, промышленный инжиниринг, автоматизированное управление, синтез материалов, охватывающих все стадии жизненного цикла.

Целью работы является разработка компьютерной системы для комплексной подготовки специалистов в области ресурсосберегающего управления жизненным циклом производства технических изделий на основе технологии переработки вторичных полимерных материалов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда инфраструктурных и образовательных программ РОСНАНО по заказу ООО «Завод по переработке пластмасс имени «Комсомольской правды», договор №06/61/19/40(01УМ)19 от 04 апреля 2019 года

Основу системы составляет модуль формирования индивидуальных траекторий обучения специалистов (участников инжиниринговой команды), задействованных на каждой стадии жизненного цикла производства, с учетом комплексной оценки отдельных этапов выполнения группового задания по синтезу полимерного изделия с уникальными свойствами.

Результатом обучения специалистов является формирование паспорта производства полимерного изделия из вторичного сырья, с учетом требований рынка сбыта продукции, требований экологической безопасности и экономической эффективности каждой стадии жизненного цикла и производства в целом.

Использование компьютерной системы позволяет повысить профессиональный уровень специалистов в области решения сложной задачи перенастройки производства на новый вид полимерной продукции, задачи определения рецептуры композиционной смеси на основе вторичных полимерных материалов, а также задачи выбора технологических режимов производства полимерного изделия с заданными требованиями по качеству и потребительским свойствам конечной продукции.

II. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ

Производство полимерных материалов является крупнотоннажным, многоассортиментным производством, характеризуется огромными массивами информации, поступающими с производственных линий, отличается многофакторными взаимодействиями и связями, возникающими по ходу процесса, а также наличием изменяющегося (непрогнозируемого) состава сырья – композиционных смесей.

Процесс производства технических полимерных изделий из термопластов для народного потребления (мусорных ведер, технической тары, технических полимерных емкостей различного объема) состоит из следующих стадий: подготовка сырья, включающая процесс сушки в случае повышенной влажности сырья; изготовление изделий методом литья под давлением; первичный контроль и упаковка; приёмка изделия. Процесс литья под давлением заключается в получении изделий определенной конфигурации при заполнении под давлением полости литьевой формы предварительно нагретым до текучего состояния в обогревательном цилиндре полимерным материалом.

Сложность управления процессом производства полимерных изделий методом литья под давлением обусловлена разнородностью физико-химических процессов переработки сырья и материалов, многообразием оборудования, большим количеством контролируемых параметров, чувствительностью к возникновению брака при выборе управляющих воздействий, строгими требованиями к экологическим показателям производства [6].

Решение комплексной задачи управления жизненным циклом производства и вторичной переработки полимерных материалов можно разделить на следующие этапы:

Для выпуска определенного типа полимерного изделия $TP = \{TP_1, \dots, TP_p\}$ с заданными требованиями по качеству и потребительским характеристикам $QP = \{QP_1, \dots, QP_{qp}\}$ необходимо:

1) Выполнить маркетинговое исследование потребности рынка во вторичных изделиях и сделать вывод о целесообразности его производства.

2) Разработать рецептуру композиционной смеси на основе вторичных полимерных материалов $RP = \{RP_1, \dots, RP_p\}$, определить состав сырья $FS = \{FS_1, \dots, FS_{fs}\}$ для изготовления технического изделия с заданными требованиями по качеству $QP = \{QP_1, \dots, QP_{qp}\}$, а также рассчитать экономическую эффективность полученной полимерной композиционной смеси для ее возможной реализации.

3) Для выпуска определенного типа TP продукции, заданной составом сырья FS , рецептурой RP , требованиями к качеству QP и потребительским характеристикам SP , сформировать последовательность технологических стадий TS , оборудования EQ , определить диапазоны технологических режимов $[U_{jmin}, U_{jmax}]$ каждого из элементов технологической схемы при соблюдении ограничений по качеству материалов $QP_{jmin} \leq Y_j \leq QP_{jmax}$.

4) Сформировать технологическую карту TM процесса производства заданного полимерного изделия с учетом требований экологической безопасности.

5) Провести общую технико-экономическую оценку $EI = \{EI_1, \dots, EI_{ei}\}$ жизненного цикла технического изделия с учетом анализа планово-экономической и маркетинговой деятельности полимерного производства, расчета проектной себестоимости и технико-экономических показателей продукции.

Таким образом, для ресурсосберегающего управления полным жизненным циклом процессов переработки вторичных полимерных материалов с учетом требований профессиональных стандартов в состав инжиниринговой команды включены следующие группы специалистов: специалисты для обеспечения производственного цикла переработки вторичных полимерных материалов, технико-экономической оценки жизненного цикла, контроля и обеспечения безопасности производственной среды, а также автоматизированного управления производством с использованием цифровых технологий.

III. СТРУКТУРА КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ

Для формирования индивидуальной траектории обучения специалистов инжиниринговой команды, задействованных на каждой стадии жизненного цикла производства полимерного изделия, предложена компьютерная система, функциональная структура которой приведена на рис. 1. По результатам анализа требований профессиональных стандартов сформирована матрица квалификаций и общих компетенций,

необходимых для реализации технологического кейса по разработке композиционных полимерных смесей на основе вторичных материалов и технологий их переработки в технические изделия [7]. Формирование профессиональных компетенций осуществляется на основе освоения необходимых трудовых функций, для которых разработаны соответствующие практико-ориентированные учебные модули:

1. Разработка и испытания актуальных композиционных смесей на основе вторичных полимерных материалов, а также выбор агрегатов и технологических режимов оборудования для производства полимерного изделия из вторичного сырья в соответствии с требованиями технологического регламента.
2. Автоматизированное управление производством с использованием цифровых технологий и формирование технологической карты производства заданного технического изделия.
3. Контроль и обеспечение безопасности производственной среды с целью формирования карты качества полимерного изделия, промежуточных продуктов, а также отходов производства с учетом требований экологической безопасности.
4. Техничко-экономическая оценка жизненного цикла технического изделия с учетом анализа планово-экономической и маркетинговой деятельности полимерного производства, расчета проектной себестоимости и технико-экономических показателей продукции, а также определения

экономической эффективности инновационного проекта и участия инжиниринговой команды [8].

Для освоения теоретических результатов обучения в системе размещены учебные материалы в виде текстов лекций и слайд-презентаций, а для освоения практико-ориентированных результатов обучения в системе используются компьютерные тренажерные комплексы [9].

Количественная оценка практико-ориентированных результатов обучения проводится на основе анализа подготовленных отчетов о выполнении практических заданий участниками инжиниринговой команды в составе выполнения группового задания по синтезу полимерного изделия с уникальными свойствами.

С помощью предложенной компьютерной системы осуществляется взаимодействие и обратная связь экспертов и участников проекта, а также формируется база знаний модели кадрового обеспечения.

IV. Этапы выполнения группового задания инжиниринговой команды

Для участников инжиниринговой команды в компьютерной системе предусмотрено выполнение группового задания, включающего этапы, приведенные на рис. 2. Этапы группового задания выполняются последовательно. Результаты работы каждого этапа передаются на последующий, и данные отчета предыдущего этапа являются входными данными для изучения и выполнения последующих практических заданий.

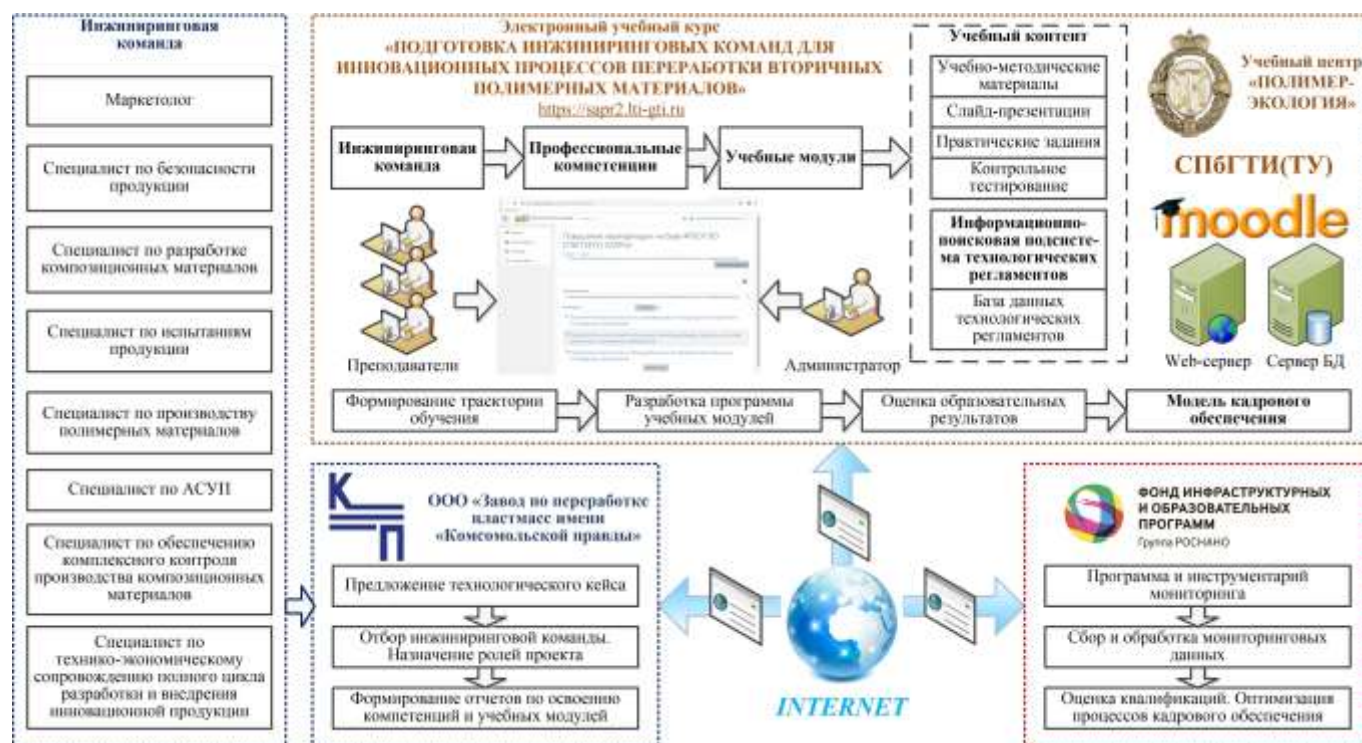


Рис. 1. Структура компьютерной системы для обучения специалистов в области переработки вторичных полимерных материалов

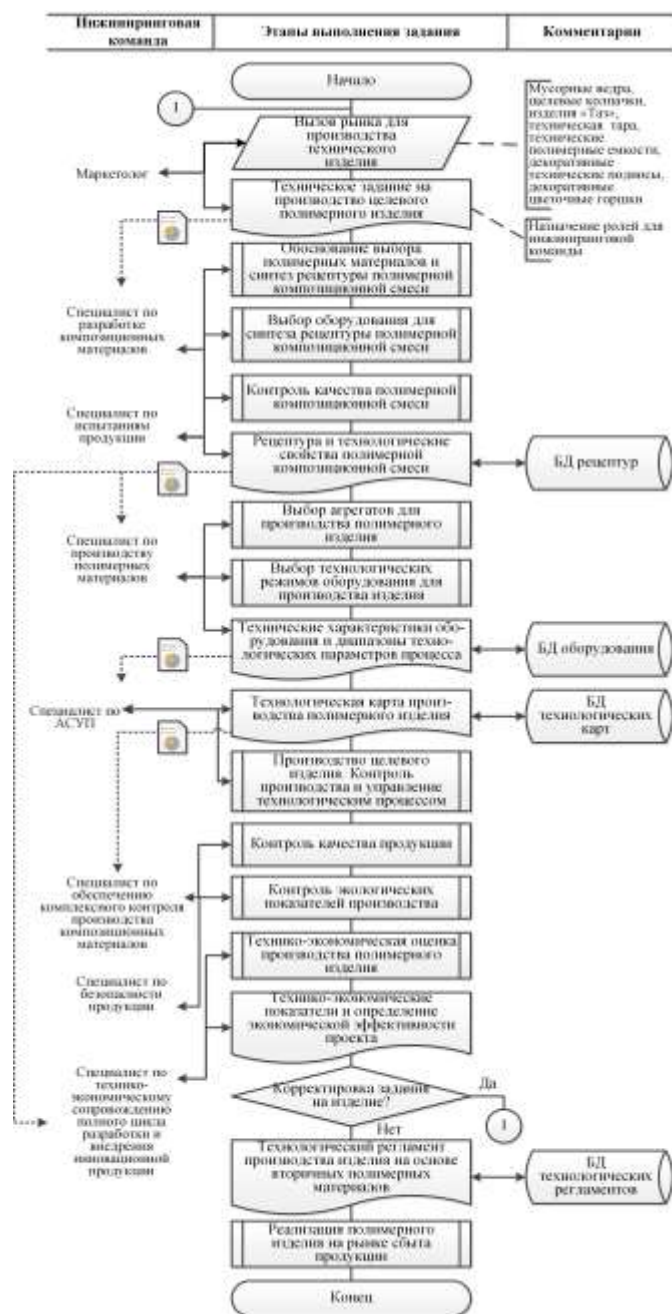


Рис. 2. Блок-схема алгоритма выполнения группового задания

Результатом обучения специалистов является формирование паспорта производства полимерного изделия из вторичного сырья, включающего описание процесса подготовки сырья, данные оборудования, технологической оснастки и инструмента, диапазоны технологических режимов процесса литья под давлением, требования к показателям качества изделия, требования экологической безопасности, а также технико-экологические показатели производства. Данные о новом полимерном изделии заносятся в базу данных для формирования библиотеки технологических регламентов производства. Ключевой особенностью предложенного подхода подготовки специалистов является возможность

технико-экономической оценки каждой стадии производства полимерного изделия из вторичного сырья и определения общей экономической эффективности проекта.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация и апробация компьютерной системы проводилась в рамках выполнения проекта «Модель кадрового обеспечения (формирование инжиниринговых команд), применяемой для внедрения передовых производственных технологий» при поддержке Фонда инфраструктурных и образовательных программ Роснано и Национального совета при Президенте Российской Федерации по профессиональным квалификациям. Тестирование компьютерной системы для подготовки специалистов в области управления жизненным циклом производства и вторичной переработки полимерных материалов, проведенное на базе учебного центра «Полимер-экология» СПбГТИ(ТУ) при сотрудничестве с ООО «Завод по переработке пластмасс имени «Комсомольской правды», подтвердило ее работоспособность и возможность использования для подготовки инжиниринговых команд на промышленных производствах с рециклингом. Использование компьютерной системы позволяет повысить профессиональный уровень кадрового обеспечения промышленных предприятий в условиях цифровизации экономики и модернизации системы профессиональных стандартов и квалификаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Meshalkin V.P. and Khodchenko S.M. The nature and types of engineering of energy- and resource-efficient chemical process systems // Polymer Science. Series D. 2017. T. 10. № 4. С. 347-352.
- [2] Britov V.P., Bogdanov V.V., Nikolaev O.O., Tubolkina A.E. Activating mixing in preparation and modification of polymeric composites // Russian Journal of Applied Chemistry. 2004. T. 77. № 1. С. 119-123.
- [3] Стебловский Г.А., Бритов В.П., Николаев О.О. Новые подходы к подготовке инженерных кадров в области переработки пластмасс // Современное образование: содержание, технологии, качество. 2014. Т. 1. С. 53-55.
- [4] Barzilovich E.A., Verstakov A.E., Nikulin V.A., Sirotinkin N.V., and Sytov V.A. Polym. Sci. Ser. D (2014) 7: 57. <https://doi.org/10.1134/S199542121401002X>
- [5] Panfilov D.A. and Dvorko I.M. The Effect of Oligoethers Based on Secondary Polyethylene Terephthalate and Oligopropylene Diol on the Properties of Novolac Compounds, Polym. Sci. Ser. D (2018) 11: 169. <https://doi.org/10.1134/S1995421218020144>
- [6] Dontsov S.A., Drozdova L.F., and Ivahnjuk G.K. Strategy for the management of safety and health personnel // Безопасность жизнедеятельности. 2019. № 3 (219). С. 3-9.
- [7] Chistyakova T.B. and Novozhilova I.V. Intelligence computer simulators for elearning of specialists of innovative industrial enterprises, 2016 XIX IEEE International Conference on SCM, St. Petersburg, 2016, pp. 329-332. doi: 10.1109/SCM.2016.7519772
- [8] Бурмистров А.Н., Козлова С.П., Калинина О.В. Подготовка инженеров и комплексных команд для импортозамещения в Санкт-Петербурге: стратегия, опыт и возможности // В сборнике: Неделя науки СПбПУ. 2015. С. 103-110.
- [9] Chistyakova T.B. (2019). A Synthesis of Training Systems to Promote the Development of Engineering Competences. Handbook of Research on Engineering Education in a Global Context (pp. 430-442). Hershey, PA: IGI Global. doi:10.4018/978-1-5225-3395-5.ch036.