

**КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ОБУЧЕНИЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕМУ УПРАВЛЕНИЮ
ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ****Т.Б. Чистякова, И.В. Новожилова, В.П. Мешалкин, О.А. Паукин**

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Московский пр., 24-26/49 литера А, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 190013

E-mail: nov@technolog.edu.ru, novozhilova@technolog.edu.ru, vpmeshalkin@gmail.com, oleg.paukin@mail.ru

Предложена структура компьютерной системы обучения инженеринговой команды способам ресурсосберегающего управления процессами производства полимерных технических изделий из вторичного сырья. Инженеринговая команда включает специалистов, выполняющих отдельные этапы жизненного цикла изделий: специалистов технологического цикла процессов переработки вторичного сырья, специалистов по испытаниям композиционных смесей, специалистов по техносферной безопасности, специалистов по технико-экономическому сопровождению производства, а также специалисты в области информационных технологий и автоматизированного управления производством. Основу компьютерной системы составляет база данных промышленных отходов и база правил процессов вторичной переработки отходов в полезную продукцию, позволяющие решать задачу перенастройки производства, проводить изучение характеристик и связей объекта управления, выбирать технологические режимы аппаратурного оформления процесса для получения качественных полимерных изделий. Компьютерная система позволяет формировать индивидуальные программы обучения специалистов инженеринговой команды для выполнения совместного задания по производству полимерного технического изделия из заданного вторичного материала. Результат командного обучения заключается в составлении технологической карты производства полимерного изделия, включающей описание рецептуры и процесса синтеза композиционной полимерной смеси, спецификацию аппаратурного оформления производства, значения технологических режимов ключевых стадий, характеристики безопасной эксплуатации производства, технические требования к производимой полимерной продукции, а также технико-экономические показатели. Работоспособность компьютерной системы подтверждена результатами функционального тестирования, проведенного по производственным данным ООО «Завод по переработке пластмасс имени «Комсомольской правды» на базе учебного центра «Полимер-экология» СПбГТИ(ТУ). Предложенная компьютерная система может быть использована для подготовки управленческого производственного персонала в составе инженеринговых команд на предприятиях полимерной промышленности.

Ключевые слова: компьютерная система, обучение, жизненный цикл, технические изделия, ресурсосберегающее управление, вторичные полимерные материалы

**COMPUTER TRAINING SYSTEM FOR RESOURCE-SAVING LIFE CYCLE CONTROL
OF POLYMER PRODUCTS FROM RECYCLED MATERIALS****T.B. Chistyakova, I.V. Novozhilova, V.P. Meshalkin, O.A. Paukin**

Saint-Petersburg State Institute of Technology, Moskovsky pr., 24-26/49 A, Saint-Petersburg, Russia, 190013

E-mail: nov@technolog.edu.ru, novozhilova@technolog.edu.ru, vpmeshalkin@gmail.com, oleg.paukin@mail.ru

The structure of a computer system for training an engineering team in the methods of resource-saving control of the production processes of polymer technical products from secondary raw materials is proposed. The engineering team includes specialists who perform individual stages of the product life cycle: specialists in the technological cycle of recycling processes, specialists in testing composite mixtures, specialists in technosphere safety, specialists in technical and economic

support of production, as well as specialists in the field of information technology and automated production control. The basis of the computer system is a database of industrial waste and a database of rules for recycling waste into useful products, which allow solving the problem of reconfiguring production, studying the characteristics and connections of the control object, choosing technological modes of hardware design of the process to obtain high-quality polymer products. The computer system allows you to create individual training programs for specialists of the engineering team to perform a joint task for the production of a polymer technical product from a given secondary material. The result of team training consists in drawing up a technological map for the production of a polymer product, including a description of the formulation and synthesis process of a composite polymer mixture, a specification of the hardware design of production, the values of technological modes of key stages, characteristics of safe operation of production, technical requirements for polymer products, as well as technical and economic indicators. The operability of the computer system was confirmed by the results of functional testing conducted according to the production data of Plastic processing plant named after “Komsomolskaya Pravda” LLC on the basis of the Polymer Ecology training center of SPSIT. The proposed computer system can be used to train managerial production personnel as part of engineering teams at polymer industry enterprises.

Key words: computer system, training, life cycle, technical products, resource-saving control, secondary polymer materials

Для цитирования:

Чистякова Т.Б., Новожилова И.В., Мешалкин В.П., Паукин О.А. Компьютерная система обучения ресурсосберегающему управлению жизненным циклом полимерных изделий из вторичного сырья. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2022. Т. LXVI. № 3. С. 70–78. DOI: 10.6060/rcj.2022663.10.

For citation:

Chistyakova T.B., Novozhilova I.V., Meshalkin V.P., Paukin O.A. Computer training system for resource-saving life cycle control of polymer products from recycled materials. *Ros. Khim. Zh.* 2022. V. 66. N 3. P. 70–78. DOI: 10.6060/rcj.2022663.10.

ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения требуемого уровня экологической безопасности предприятия химической промышленности направлены на создание безотходных производств, оснащенных надежными автоматизированными системами управления и информационно-обучающими комплексами для своевременной подготовки управленческого производственного персонала [1–5]. Решение данных вопросов особенно важно для химико-технологических производств, имеющих сложную многостадийную структуру [6], к классу которых и относится синтез новых полезных полимерных изделий из вторичных материалов. Сложность данного процесса заключается в отделении незагрязненных частиц из общей массы полимерных отходов. Наличие нежелательных частиц в композиционной смеси влияет на качественные характеристики конечного изделия. Проблема неоднородности композиционной смеси заставляет производителей использовать полимерные отходы для производства полимерных изделий, которые пригодны только для хозяйственного или технического использования [7]. Проблема использования и внедрения на

промышленных предприятиях процессов производства полимерных изделий из вторичного сырья может быть решена только при наличии высококвалифицированных кадров.

Таким образом, актуальной задачей является подготовка инженеринговых команд, способных решать задачи синтеза композиционных смесей, задачи перенастройки производства на новые полимерные изделия, а также задачи ресурсосберегающего управления процессами синтеза полимерных материалов [8, 9]. Задача обучения формулируется следующим образом: необходимо обучить специалистов выбирать оборудование, материалы, технологические режимы таким образом, чтобы максимизировать экономические и качественные характеристики конечного изделия из вторичных полимерных материалов [10].

Для решения поставленной задачи обучения предложена компьютерная система, позволяющая на основе реляционной базы данных отходов (вторичных полимерных материалов) и продукционной модели представления правил о способах их переработки сформировать технологическую карту переработки отходов в полезную продукцию, опре-

делить ключевые технико-экономические показатели и экономическую эффективность производства полимерных изделий. Компьютерная система включает модули обучения, которые способствуют индивидуальному развитию специалистов в своей предметной области и инкапсулируются в единую систему, где результат обучения каждого специалиста влияет на показатели всей инженеринговой команды. Таким образом, происходит переход от индивидуального обучения к общекомандному. Обучение строится с учетом совокупной оценки отдельных взаимосвязанных этапов, что позволяет улучшать эффективность практических навыков работы специалистов в команде. Включение в состав компьютерной системы моделей представления знаний позволяет специалистам инженеринговой команды глубже изучить причинно-следственные связи в объекте изучения. Компьютерная система обеспечивает визуализацию основных процессов производства полимерных изделий, а также расчет технико-экономических показателей на всех этапах производства.

Практическое применение компьютерной системы позволяет повысить уровень профессиональной компетентности специалистов за счет освоения навыков эффективного ресурсосберегающего управления процессами переработки вторичного сырья в новые изделия технического назначения и применения способов минимизации безвозвратных отходов химико-технологических производств. Рациональное использование отходов, используемых в технологическом цикле, позволяет снизить затраты основного производства, себестоимость готовой продукции, улучшить показатели отходоёмкости производства, а также снизить негативное воздействие химических отходов на окружающую среду.

ЭТАПЫ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПОЛИМЕРНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ

К ключевым особенностям производства полимерных технических изделий относятся его многостадийность, изменяющийся ассортимент выпускаемой продукции, наличие многофакторных физико-химических взаимодействий, непрогнозируемый состав многокомпонентных композиционных смесей. Схема процесса производства, приведенная на рис. 1, отражает основные процессы и характеристики цикла производства изделия из вторичных полимеров. Наиболее наукоемкими этапами производства являются: этап синтеза состава

и количественного соотношения компонентов композиционной смеси, а также этап выбора режимных параметров оборудования для переработки вторичного сырья в сложные и габаритные технические изделия с заданными свойствами. Рецептура композиционной смеси определяет не только потребительские свойства готовой полимерной продукции (прочность, стойкость к действию агрессивных сред и др.), но и метод переработки вторичного сырья [11–13].

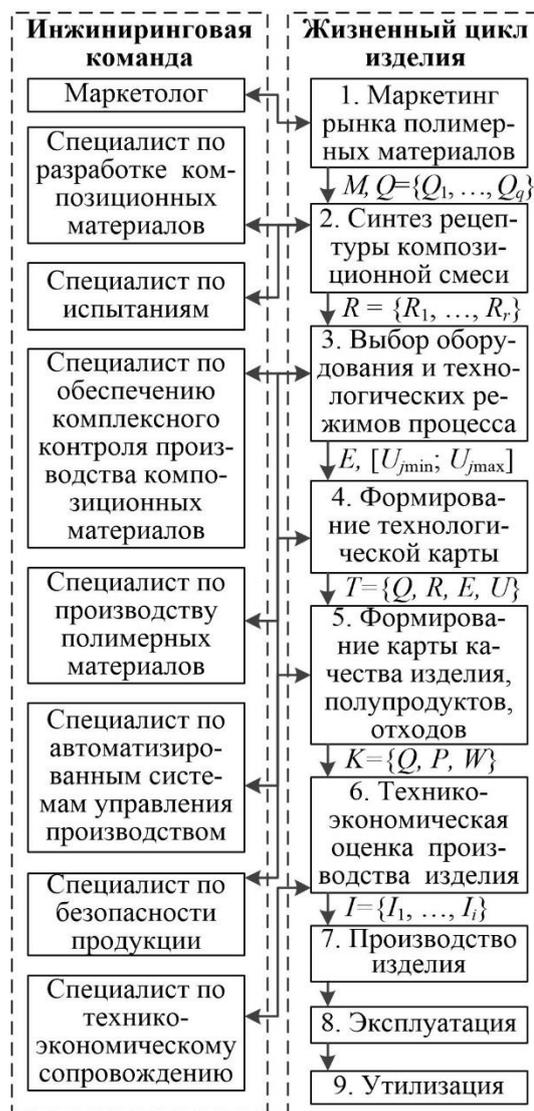


Рис. 1. Схема управления жизненным циклом полимерных изделий

Производство полимерных изделий из термопластов состоит из стадии подготовки сырья, включающей процесс экструзии, обеспечивающий равномерное перемешивание исходного полимера с возможными добавками, процесс гранулирова-

ния, процесс сушки, процесс дробления и основную стадию литья под давлением [14]. Основным агрегатом, необходимым для реализации процесса с заданной производительностью и экономической эффективностью является термопластавтомат. Именно с выбора термопластавтомата начинается подбор всего технологического оборудования. Трудности управления процессом литья под давлением заключаются в сложности конструкции пресс-форм, выборе температуры переработки полимерных материалов для выбранной композиции на основе вторичных полимеров, большом количестве контролируемых переменных.

Таким образом, в состав инжиниринговой команды включены: специалисты технологического цикла процессов переработки вторичного сырья, специалисты по испытаниям композиционных смесей, специалисты по техносферной безопасности, специалисты по технико-экономическому сопровождению производства, а также специалисты в области информационных технологий и автоматизированного управления производством.

В целях обучения сформированной инжиниринговой команды общая задача комплексного ресурсосберегающего управления сформулирована следующим образом: для заданного вторичного полимерного материала Z необходимо определить возможную полимерную продукцию его вторичной переработки, выбрать полимерное изделие F для производства из заданного вторичного материала, определить требования к качеству готового изделия $Q = \{Q_1, \dots, Q_q\}$ и сформировать технологическую карту T его производства с указанием характеристик сырья $R = \{R_1, \dots, R_r\}$, конечного продукта, последовательности технологических стадий, технологического оборудования, режимов производства $[U_{jmin}; U_{jmax}]$, а также технико-экономических показателей $I = \{I_1, \dots, I_i\}$ производства.

Решение сформулированной задачи инжиниринговой командой производится в несколько этапов.

1) Анализ области применения и рынка сбыта полимерного изделия, поиск конкурентной продукции, определение уникальных отличительных свойств полимерного изделия, выбор маркетинговой стратегии M , анализ рисков реализации продукции.

2) Выбор состава и количественного соотношения $R = \{R_1, \dots, R_r\}$ компонентов композиции на основе вторичных полимеров $Z = \{Z_1, \dots, Z_z\}$ для производства полимерного изделия с заданными требованиями по техническим характеристикам $Q = \{Q_1, \dots, Q_q\}$ (внешнему виду изделия, цвету, форме, прочности, герметичности, стойкости к

агрессивным средам и др.). Определение норм расходов сырья G на единицу продукции.

3) Определение последовательности стадий переработки вторичного сырья, выбор спецификации оборудования E для каждой стадии, определение диапазонов режимных параметров $[U_{jmin}; U_{jmax}]$ каждого из элементов схемы производства для обеспечения заданного качества полимерных изделий $Q_{jmin} \leq Q_j \leq Q_{jmax}$, где j – принадлежность к стадии производства.

4) Разработка технологической карты T производства полимерного изделия, включающей данные о сырье и рецептуре многокомпонентной композиционной смеси $R = \{R_1, \dots, R_r\}$, данные аппаратного оформления E , технологические режимы стадий производства U_j , требования к техническим характеристикам полимерного изделия $Q = \{Q_1, \dots, Q_q\}$.

5) Составление карты качества K промежуточных продуктов $P = \{P_1, \dots, P_p\}$, полимерного изделия, а также образующихся отходов $W = \{W_1, \dots, W_w\}$ производства с учетом требований безопасности.

6) Техничко-экономическая оценка $I = \{I_1, \dots, I_i\}$ производства. Основными технико-экономическими показателями для оценки эффективности производства являются: годовой выпуск продукции, себестоимость и оптовая цена единицы продукции, прибыль от реализации продукции, в том числе от реализации композиционной смеси, чистая прибыль, рентабельность продаж, доля использования отходов и предотвращенного экологического ущерба.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ

На рис. 2 представлена структура компьютерной системы [15–17] для решения задачи обучения инжиниринговой команды способам управления производством полимерных изделий.

Ядром компьютерной системы является база отходов (вторичных полимерных материалов) и база продукционных правил, позволяющая на основе выбранного вида полимерного отхода формировать информацию о его ключевых свойствах, рецептуре композиционной смеси, а также полезной продукции, доступной для производства на основе технологий переработки выбранного вида отхода. База данных системы состоит из 21 таблицы, включающих 85 полей, и 19 связей.

База данных и правил компьютерной системы настраивается на различные характеристики процессов переработки полимерных отходов с помощью изменения значений соответствующих параметров. Это позволяет использовать компьютерную систему для решения задач управления технологическими процессами с рециклингом [18].

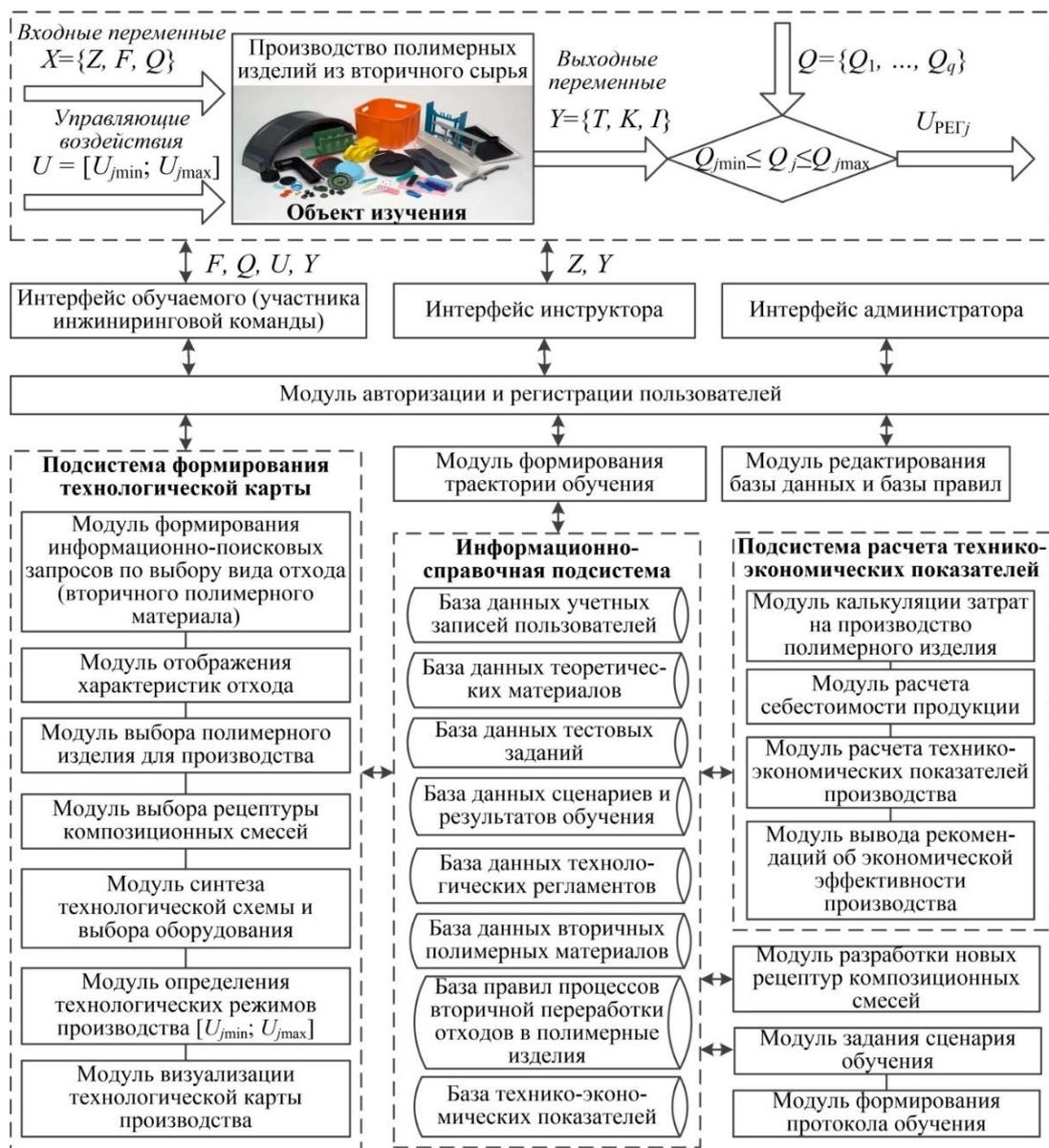


Рис. 2. Функциональная структура компьютерной системы обучения

Включенные в состав компьютерной системы модули позволяют осваивать специалистами инжиниринговой команды необходимые трудовые функции.

1) Модуль для разработки новых рецептов позволяет специалистам сравнивать различные группы полимеров и выявлять сочетания для композиционных смесей, обеспечивающих наилучшее качество конечного продукта.

2) Модуль расчета полной себестоимости продукта помогает специалистам прогнозировать стоимость производства изделий из предложенной композиционной смеси. Специалисты по технико-экономическому сопровождению могут заранее вычислить нерентабельность производства и указать другим участникам инжиниринговой команды на факторы, увеличивающие стоимость производства.

3) Модуль выбора агрегатов и технических режимов оборудования помогает специалисту грамотно выбрать и настроить оборудование, чтобы избежать внештатных ситуаций и обеспечить производство изделий заданного качества.

4) Модуль формирования карты качества позволяет спрогнозировать качество изделия, исходя из выбранной композиционной смеси и режимов производства, а также провести анализ безопасного обращения полимерной продукции [19].

5) Модули работы с технологическими картами позволяют формировать полноценную базу знаний, которая помогает инкапсулировать подходы, накопленные знания и опыт участников инжиниринговой команды на всех этапах производства [20].

б) Для теоретического обучения существует отдельный модуль, содержащий теоретическую информацию, презентации и наборы тестовых заданий. Оценка результата обучения инжиниринговой команды в целом и отдельного специалиста в частности проводится на основе сформированного обобщенного отчета по выполнению заданного сценария обучения.

ОБОБЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ИНЖИНИРИНГОВОЙ КОМАНДЫ

Для инжиниринговой команды предложен обобщенный алгоритм обучения, описывающий этапы выполнения задания по формированию технологической карты производства полимерного изделия. Обобщенный алгоритм представлен на рис. 3.

На начальном этапе инструктор формирует сценарий обучения, включающий описание заданного вторичного полимерного материала и назначение ролей в проекте каждого специалиста инжиниринговой команды. На основании заданного сценария инжиниринговая команда с использованием базы данных вторичных полимерных материалов выбирает полимерное изделие для производства. Далее, после определения показателей качества изделия формируется технологическая карта его производства с учетом экономических и экологических характеристик.

После завершения обучения инструктор может ознакомиться с результатами в виде файла протокола обучения, исследовать таблицы и графики состояния объекта, произвести коррекцию сценария обучения в соответствии с уровнем знаний обучаемых.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Программные модули компьютерной системы реализованы в среде Visual Studio на языке программирования C#, позволяющем применять объектно-ориентированный подход к моделированию сложных процессов, программировать интерфейсы и серверную часть приложений. Для разработки информационного обеспечения компьютерной системы использована система Microsoft SQL Server.

Тестирование компьютерной системы осуществлялось на сценарии обучения производству технической емкости объемом 10 л из вторичного полиэтилена низкого давления и полиэтилентерефталата, что подтвердило возможность использования данного программного продукта для обучения инжиниринговых команд. Исходные данные сценария обучения приведены в таблице 1.

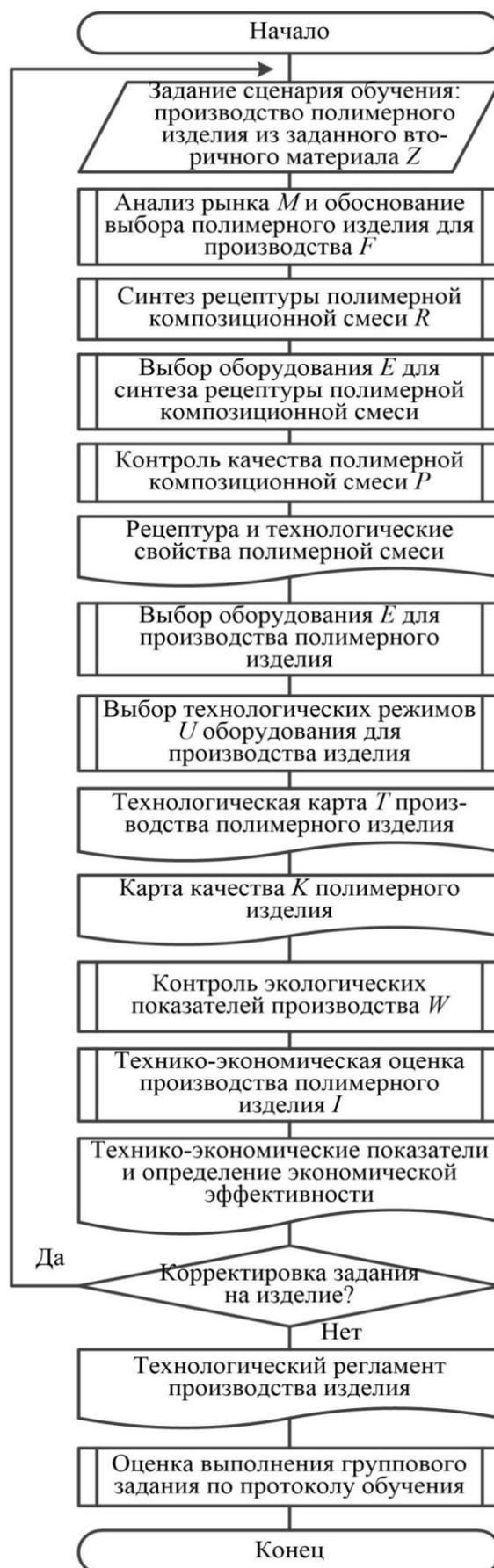


Рис. 3. Алгоритм выполнения группового задания

Таблица 1
Исходные данные для тестирования компьютерной системы

Наименование	Значение
Вторичный полимерный материал	Полиэтилен низкого давления
Код федерального классификационного каталога отходов	4 38 118 01 51 5
Класс опасности	5

В таблице 2 приведены характеристики полимерного изделия, подлежащего производству из вторичного полиэтилена низкого давления.

Таблица 2
Характеристики полимерного изделия

Наименование	Значение
Полимерное изделие	Емкость
Длина, мм	290
Ширина, мм	290
Высота, мм	227
Диаметр	290
Объем, литр	10
Код	13953
Форма	Круглая
Цвет	Черный

По результатам маркетингового исследования техническая емкость может быть востребована для хранения и транспортировки различных смесей и растворов, используемых в автомобильном, строительном, лакокрасочном сегментах рынка. Благодаря использованию композиции из полиэтилена низкого давления с добавлением полиэтилентерефталата емкость обладает высокими прочностными характеристиками.

Для реализации поставленной производственной задачи потребуется следующее основное оборудование: экструдер-гранулятор для приготовления композиционной смеси; сушилка, термопластавтомат.

На рис. 4 показан фрагмент сформированной технологической карты производства технической емкости из вторичного полиэтилена низкого давления с добавлением полиэтилентерефталата.

Технологическая карта производства технического изделия – это конечный продукт работы инжиниринговой команды. В ней содержится алгоритм производства технического изделия, описывающий все стадии производства от выбора смеси,

выбора технологических режимов работы агрегатов, до прогнозируемой стоимости изделия на рынке и оценки качества готовой полимерной продукции.

Режим литья						
1. Температуры по зонам:						
Зона 1	190	2. Температура формы матрица <u>охл.</u>				
Зона 2	210					
Зона 3	220					
Зона 4	230	Сопло	+0%			
3. Дозировка 33 %						
4. Предел давления впрыска, бар.						
1 фаза	90					
2 фаза	60					
3 фаза	30					
5. Точка перехода на вторую фазу впрыска 3 %						
6. Контрдавление пластификации 1 бар						
7. Скорость впрыска 90/90/90/90/80/90/100/100/100/100 85 %						
8. Скорость вращения шнека 165 об/мин						
9. Длит-ть наполнения посредством интрузии 0 с						
10. Ход декомпрессии перед/после пластикации 5% / 5%						
Закрытие пресс-формы						
Фаза	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>
Скорость, %	<u>17</u>	<u>17</u>	<u>17</u>	<u>25</u>	<u>80</u>	<u>98</u>
Поз. кон. фазы, мм	<u>650</u>	<u>350</u>	<u>220</u>	<u>170</u>	<u>150</u>	<u>0</u>
Пред. дав. п/ф, бар.	<u>135</u>					
Пред. дав. заш. п/ф, мм	<u>80</u>					

Рис. 4. Фрагмент технологической карты

Функциональное тестирование системы, проведенное на базе учебного центра «Полимер-экология» СПбГТИ(ТУ) по данным ООО «Завод по переработке пластмасс имени «Комсомольской правды», подтвердило ее работоспособность и возможность применения для подготовки кадров на промышленных полимерных производствах.

ВЫВОДЫ

Анализ химико-технологических производств полимерных изделий показал необходимость разработки компьютерной системы обучения с модульной адаптивной архитектурой, настраиваемой на различное аппаратурно-технологическое оформление процессов, ассортимент выпускаемой продукции, производительность, требования к качеству материалов. Предложенная компьютерная система позволяет проводить обучение инжиниринговых команд в области вторичного использования полимерных материалов как новой ресурсной базы для производства полезных технических изделий. Использование компьютерной системы позволяет повысить эффективность процессов, связанных с перенастройкой оборудования, разработкой новых композиционных смесей и оценкой технико-экономических показателей производства изделий из вторичного полимерного сырья.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №21-79-30029 Разработка комплекса технологий переработки отходов 3-5 классов опасности с получением полезных продуктов).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

REFERENCES

1. Саркисов П.Д. Современные концепции логистики ресурсосбережения и повышение экономической эффективности промышленных предприятий. Энциклопедия инженера-химика. 2009. № 2. С. 2–6.
2. Meshalkin V.P., Dovi V.G., Bobkov V.I., Belyakov A.V., Butusov O.B., Garabadzhui A.V., Burukhina T.F., Khodchenko S.M. State of the art and research development prospects of energy and resource-efficient environmentally safe chemical process systems engineering. Mendeleev Communications. 2021. T. 31. № 5. С. 593–604. DOI: 10.1016/j.mencom.2021.09.003
3. Meshalkin V.P., Khodchenko S.M. The nature and types of engineering of energy- and resource-efficient chemical process systems. Polymer Science. Series D. 2017. V. 10. N 4. P. 347–352.
4. Dontsov S.A., Drozdova L.F., Ivahnjuk G.K. Strategy for the management of safety and health personnel. Безопасность жизнедеятельности. 2019. № 3 (219). С. 3–9.
5. Dvoretiskii D.S., Dvoretiskii S.I., Ostrovskii G.M. Integrated design of power- and resource-saving chemical processes and process control systems: Strategy, methods, and application. Theor. Found Chem Eng. 2008. 42. P. 26–36. DOI: 10.1134/S0040579508010041.
6. Korobiichuk I., Ladaniuk A., Ivaschuk V. Features of Control for Multi-assortment Technological Process. 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-29993-4_27.
7. Britov V.P., Bogdanov V.V., Nikolaev O.O., Tubolkin A.E. Activating mixing in preparation and modification of polymeric composites. Russian Journal of Applied Chemistry. 2004. V. 77. N 1. P. 119–123.
8. 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.
9. Астахов М.В., Филонов М.Р., Ягодкин Ю.Д., Саркисов П.Д., Юртов Е.В. О проблемах подготовки кадров в области функциональных и конструкционных наноматериалов. Все материалы. Энциклопедический справочник. 2011. № 6. С. 47–52.
10. 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.
11. Barzilovich E.A., Verstakov A.E., Nikulin V.A., Sirotinkin N.V., Sytov V.A. Polym. Sci. Ser. D. 2014. 7. 57. DOI: 10.1134/S199542121401002X
12. Panfilov D.A., 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. DOI: 10.1134/S1995421218020144.
13. Panfilov D., Lavrov N., Alikin M., Litosov H., Dvorko I. The Effect of the Dynamic Viscosity of an Epoxide Compound on the Properties of Foam Materials Obtained on Its Basis. Polymer Science Series D. 2020. 14. P. 4–7. DOI: 10.1134/S1995421221010032.
1. Sarkisov P.D. Modern logistics concepts of resource saving and increasing the economic efficiency of industrial enterprises. Encyclopedia of a chemical engineer. 2009. N 2. P. 2–6. (in Russian).
2. Meshalkin V.P., Dovi V.G., Bobkov V.I., Belyakov A.V., Butusov O.B., Garabadzhui A.V., Burukhina T.F., Khodchenko S.M. State of the art and research development prospects of energy and resource-efficient environmentally safe chemical process systems engineering. Mendeleev Communications. 2021. V. 31. N 5. P. 593–604. DOI: 10.1016/j.mencom.2021.09.003.
3. Meshalkin V.P., Khodchenko S.M. The nature and types of engineering of energy- and resource-efficient chemical process systems. Polymer Science. Series D. 2017. V. 10. N 4. P. 347–352.
4. Dontsov S.A., Drozdova L.F., Ivahnjuk G.K. Strategy for the management of safety and health personnel. Life safety. 2019. N 3 (219). P. 3–9.
5. Dvoretiskii D.S., Dvoretiskii S.I., Ostrovskii G.M. Integrated design of power- and resource-saving chemical processes and process control systems: Strategy, methods, and application. Theor. Found. Chem. Eng. 2008. 42. P. 26–36. DOI: 10.1134/S0040579508010041.
6. Korobiichuk I., Ladaniuk A., Ivaschuk V. Features of Control for Multi-assortment Technological Process. 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-29993-4_27.
7. Britov V.P., Bogdanov V.V., Nikolaev O.O., Tubolkin A.E. Activating mixing in preparation and modification of polymeric composites. Russian Journal of Applied Chemistry. 2004. V. 77. N 1. P. 119–123.
8. Steblovsky G.A., Britov V.P., Nikolaev O.O. New approaches to the training of engineering personnel in the field of plastics processing. Modern education: content, technology, quality. 2014. V. 1. P. 53–55. (in Russian).
9. Astakhov M.V., Filonov M.R., Yagodkin Yu.D., Sarkisov P.D., Yurtov E.V. On the problems of personnel training in the field of functional and structural nanomaterials. All materials. Encyclopedic reference. 2011. N 6. P. 47–52. (in Russian).
10. Burmistrov A.N., Kozlova S.P., Kalinina O.V. Training of engineers and integrated teams for import substitution in St. Petersburg: strategy, experience and opportunities. In the collection: SPbPU Science Week. 2015. P. 103–110. (in Russian).
11. Barzilovich E.A., Verstakov A.E., Nikulin V.A., Sirotinkin N.V., Sytov V.A. Polym. Sci. Ser. D. 2014. 7. 57. DOI: 10.1134/S199542121401002X.
12. Panfilov D.A., 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. DOI: 10.1134/S1995421218020144.
13. Panfilov D., Lavrov N., Alikin M., Litosov H., Dvorko I. The Effect of the Dynamic Viscosity of an Epoxide Compound on the Properties of Foam Materials Obtained on Its Basis. Polymer Science Series D. 2020. 14. P. 4–7. DOI: 10.1134/S1995421221010032.

14. Flisyuk O.M., Martsulevich N.A., Shininov T.N. Granulation of powdered materials in a high-speed granulator. Russ. J. Appl. Chem. 2016. 89. P. 603–608. DOI: 10.1134/S1070427216040133.
15. Chistyakova T.B., Novozhilova I.V. Intelligence computer simulators for elearning of specialists of innovative industrial enterprises, 2016 XIX IEEE International Conference on SCM, St. Petersburg, 2016. P. 329–332. DOI: 10.1109/SCM.2016.7519772.
16. Dozortsev V., Agafonov D., Nazin V., Novichkov A., Frolov A. Computerized Operator Training: Continued Importance, New Opportunities, and the Human Factor. Automation and Remote Control. 81. 2020. 935–954. 10.1134/S0005117920050124.
17. Chistyakova T.B. 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. 2019. DOI: 10.4018/978-1-5225-3395-5.ch036.
18. Мартенс Г., Голдман Д. Рециклинг. Технологии и оборудование вторичной переработки / Г. Мартенс, – Перев. с нем. под научн. ред. С. Росинкевича. – Санкт-Петербург : ИД Профессия. 2019. – 544 с.
19. Саркисов П.Д., Егоров А.Ф., Савицкая Т.В., Бачкала О.В., Кузьмина Ю.А. Системный анализ безопасного обращения химической продукции: методы и подходы к прогнозированию и классификации опасностей. Теоретические основы химической технологии. 2013. Т. 47. № 1. С. 26.
20. Савостова Т.Л., Бiryukov A.L., Саркисов П.Д. Управление интеллектуальными ресурсами – основа инновационной деятельности. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2008. Т. 51. Вып. 1. С. 114–119.
14. Flisyuk O.M., Martsulevich N.A., Shininov T.N. Granulation of powdered materials in a high-speed granulator. Russ. J. Appl. Chem. 2016. 89. P. 603–608. DOI: 10.1134/S1070427216040133.
15. Chistyakova T.B., Novozhilova I.V. Intelligence computer simulators for elearning of specialists of innovative industrial enterprises, 2016 XIX IEEE International Conference on SCM, St. Petersburg, 2016. P. 329–332. DOI: 10.1109/SCM.2016.7519772.
16. Dozortsev V., Agafonov D., Nazin V., Novichkov A., Frolov A. Computerized Operator Training: Continued Importance, New Opportunities, and the Human Factor. Automation and Remote Control. 2020. 81. 935–954. DOI: 10.1134/S0005117920050124.
17. Chistyakova T.B. A Synthesis of Training Systems to Promote the Development of Engineering Competences. Handbook of Research on Engineering Education in a Global Context. 2019. P. 430–442. Hershey, PA: IGI Global. DOI: 10.4018/978-1-5225-3395-5.ch036.
18. Martens G., Goldman D. Recycling. Recycling technologies and equipment. – Translated from German under the scientific editorship of S. Rozinkevich. – St. Petersburg : Profession Publishing House, 2019. – 544 p. (in Russian).
19. Sarkisov P.D., Egorov A.F., Savitskaya T.V., Bachkala O.V., Kuzmina Yu.A. System analysis of the safe handling of chemical products: methods and approaches to forecasting and classification of hazards. Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2013. V. 47. N 1. P. 26. (in Russian).
20. Savostova T.L., Biryukov A.L., Sarkisov P.D. Intellectual resources management – base for innovation activity. ChemChemTech. 2008. V. 51. N 1. P. 114–119. (in Russian).

Поступила в редакцию (Received) 12.09.2022

Принята к опубликованию (Accepted) 23.09.2022

Received 12.09.2022

Accepted 23.09.2022