

мальдегидной смоле, с последующим деазотированием (перестройка Вульфа) и образованием кетена [3].

При ядерном торможении (тяжелые ионы Sb^{+}) происходят столкновения с ядрами мишени с образованием ядер отдачи (С, Н, О), которые способны вызвать деструкцию полимера за областью пробега имплантированных ионов. На большие расстояния энергия возбуждения способна в этом случае передаваться в виде упругих волн, которые отражаясь на различных неоднородностях/границах раздела будут вызывать модификацию структуры ФР и существенно влиять на его адгезию к кремнию. Следует учитывать наличие в пленке упругих напряжений, возникающих вследствие испарения растворителя при сушке. В процессе ИИ в зависимости от массы иона эти напряжения могут как компенсироваться, так и увеличиваться, приводя к накоплению деформации. При ИИ возникает также явление накопления электрического заряда в полимере, связанное с тем, что электроны, выбиваемые при ионизации полимера, стекают на границы раздела фаз. Они в основном накапливаются в припо-

верхностном слое кремния. При этом в полимере остаются имплантированные ионы и образовавшиеся в полимере катион-радикалы, что приводит к возникновению объемного заряда (разности потенциалов) на границе раздела фоторезист/кремний, который снижает адгезию ФР к кремнию.

Литература

1. Моро, У. Микролитография. Принципы, методы, материалы : в 2-х ч. / У. Моро. – М.: Мир, 1990. – Ч. 2. – 632 с.
2. Garcia, I. T. S. The effects of nuclear and electronic stopping powers on ion irradiated novolac-diazoquinone films / I. T. S. Garcia, F. C. Zawislak, D. Samios // Applied Surface Science. – 2004. – Vol. 228. – P. 63–76.
3. Модификация пленок диазохинон-новолачного фоторезиста за областью внедрения ионов V^{+} / С. Д. Бринкевич и [и др.] // Химия высоких энергий. – 2020. – Т. 54, № 5. – С. 377–386.
4. Прочностные свойства структур фоторезист-кремний, γ -облученных и имплантированных ионами V^{+} и P^{+} / С. А. Вабищевич [и др.] // Вестник Полоцкого гос. университета, 2016. – № 12. – С. 30–36.

УДК 678.057.9

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО СМЕСИТЕЛЬНО-ДОЗИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ОБРАЗЦОВ ИЗ МУЛЬТИКОМПОНЕНТНЫХ ПОЛИМЕРОВ

Выдумчик С.В., Васильева В.С., Гавриленко О.О., Горохов С.Л., Павлюкевич Т.Г., Понарядов В.В.

*НИУ «Институт прикладных физических проблем им. А.Н.Севченко» БГУ
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В работе представлены основные характеристики лабораторного комплекса для проведения учебно-научных работ по изучению влияния наноразмерных и мелкодисперсных добавок различной природы на процессы дозации, смешения и отверждения высоко реакционноспособных мономерных и олигомерных композиций при формировании полимерных композитов. Оборудование имеет широкий набор базовых функций, которые позволят полностью автоматизировать процессы дозирования и смешения многокомпонентных полимерных систем и получать для изучения лабораторные образцы и изделия высокого качества.

Ключевые слова: дозатор, смеситель, мультикомпонентные полимеры, реакционные системы.

THE CONCEPT OF CREATING A MULTIFUNCTIONAL MIXING AND DOSING DEVICE FOR OBTAINING LABORATORY SAMPLES FROM MULTICOMPONENT POLYMERS Vydumchik S., Vasilyeva V., Gavrilenko O., Gorokhov S., Pavlyukevich T., Ponaryadov V.

*A.N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems of BSU
Minsk, Belarus*

Abstract. The paper presents the main characteristics of a laboratory complex for conducting educational and scientific work on the study of the effect of nanoscale and fine-dispersed additives of various nature on the processes of dosing, mixing and curing of highly reactive monomeric and oligomeric compositions during the molding of polymer composites. The equipment has a wide range of basic functions that will allow fully automating the processes of dosing and mixing of multicomponent polymer systems and obtaining laboratory samples and products of high quality for study.

Keywords: dispenser, mixer, multicomponent polymers, reaction systems.

*Адрес для переписки: Выдумчик С.В., лаборатория ФХПМ и ПОС НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ,
ул. Курчатова, 7, г. Минск 220045, Республика Беларусь
e-mail: lab_dozator@mail.ru*

Принципы получения высокорекреационных поликонденсационных полимеров реализуют путем смешения в течение нескольких секунд двух взаимодействующих жидких композиций, после чего с высокими скоростями начинаются процессы поликонденсации, нарастания вязкости и отверждения композиции. Формование изделий начинается непосредственно после смешения реагентов и наступающего вслед за этим инициирования целой серии сложных химических реакций, приводящих в дальнейшем к росту полимерных молекул одновременно, а, следовательно, и изменению вязкоупругих свойств реакционной системы в целом.

Механизм образования полимера исключительно сложен. Полный цикл формирования композита может продолжаться 1–2 мин, жидкая фаза переходит в твердую, при этом изделие принимает конфигурацию, заданную поверхностями формы. Стабильность свойств и качество изделий достигается постоянством свойств компонентов, воспроизводимостью технологических параметров в каждом цикле, точным поддержанием требуемого соотношения компонентов, заданной интенсивностью смешения компонентов.

Большие скорости образования полимера затрудняют, а зачастую и не позволяют в ручном режиме быстро совместить, тщательно перемешать высокорекреационные химические компоненты, а так же отдозировать микродозы добавок и получить качественные лабораторные образцы изделий. Это обуславливает актуальность создания автоматизированной дозирующе-смесительной установки, использование которой значительно увеличит точность дозирования, высокие скорости смешения реакционноспособных систем в процессе изготовления различных экспериментальных образцов полимерных композиций с широким диапазоном соотношений реагентов и различной природой и количеством добавок [1, 2].

В основу работы комплекса положен принцип подачи дозированного количества жидких компонентов А, Б, С и наноразмерных или мелкодисперсных добавок в смесительную головку с динамическим перемешиванием. Процесс смешения компонентов осуществляется в проточной малогабаритной смесительной камере за счет механической энергии, благодаря высокой скорости вращения смесительного элемента.

Функционально комплекс состоит из следующих основных агрегатов: трех термобоксов, дозатора добавок, смесительного устройства, системы автоматической очистки смесительной камеры, комплекта пневмооборудования с компрессором, шкафа управления с персональным компьютером (рис. 1).

Все элементы комплекса расположены в вытяжном шкафу, предназначенном для удаления

газообразных продуктов выделяющихся при заправке и в процессе работы. Шкаф снабжен светодиодным светильником, выключателем светильника и брызгозащищенной розеткой, вытяжной вентилятор в комплект поставки не входит.



Рисунок 1 – Лабораторный смесительно-дозировочный комплекс

Управление работой комплекса и контроль параметров технологического процесса осуществляется с персонального компьютера. Заливки выполняются по заданной программе. Количество заливаемой смеси определяется временем открытия клапанов смесительного устройства, которое определяется программой автоматически исходя из заданной массы заливки.

Система управления обеспечивает комплексную автоматизацию при эксплуатации комплекса, задание и контроль технологических параметров, мониторинг состояния узлов и агрегатов с индикацией соответствующих сообщений на мониторе в режиме «реального времени», обеспечивает функцию дозирования компонентов в заданном соотношении, смешивание и заливку смеси, нагрев и контроль температуры компонентов в емкостях, перемешивание компонентов в емкостях, нагрев и контроль температуры дозирующих насосов, соединительных рукавов и смесительной головки, контроль давления в линиях нагнетания компонентов, регулировку частоты вращения ротора, автоматическую промывку камеры смешения с сушкой сжатым воздухом.

Электронный журнал обеспечивает визуализацию, обработку и хранение информации, содержащей установленные при работе параметры, а также телеметрические данные о процессе заливки.

Такое оборудование необходимо для учебных и научно-исследовательских лабораторий, занимающихся разработкой новых модифицированных материалов и технологий их производства.

Комплекс будет иметь широкий набор базовых функций, которые позволят полностью автоматизировать процессы дозирования и смешения многокомпонентных полимерных систем и

получать для изучения образцы и изделия высокого качества. Установка обеспечит:

- заливку смеси программируемыми дозами;
- высокую точность поддержания соотношения компонентов, что особенно важно для получения материалов с заданными свойствами;
- работу с быстрореагирующими системами;
- возможность введения в смесь различных мелкодисперсных наполнителей в разных программируемых пропорциях, что позволит разрабатывать новые гибридно-композитные материалы.

Установка будет оборудована малогабаритной проточной смесительной головкой роторного типа с плунжерными впускными клапанами и варьiruемой скоростью вращения смесительного элемента, что позволит создать необходимую однородность композиции за счет равномерного распределения всех компонентов смеси за малый

промежуток времени. Влияние вредного воздействия компонентов на окружающую среду будет минимизировано за счет герметичной системы дозирования и смешения компонентов.

Литература

1. Ксенофонов, М. А. Создание эффективных наукоемких машин для производства различных изделий из полимерных композитов / М. А. Ксенофонов // Доклады НАН Беларуси. – 2018. – Т. 62, № 2. – С. 7–12.

2. Создание и внедрение автоматизированных комплексов и технологических процессов производства ресурсосберегающих изделий из газонаполненных полимеров / М. А. Ксенофонов [и др.] // Тезисы докладов. Международная научно-техническая конференция «Полимерные композиты и трибология» (Поликомтриб-2019), Гомель, 2019. – С. 143.

УДК 372

РАЗДАТОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ ПО ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Гундина М.А.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В данной статье рассматриваются особенности разработки и использования раздаточного материала при организации образовательного процесса. В процессе работы с раздаточным материалом у студента усиливается мотивация к обучению, развивается наглядно-образное, теоретическое, логическое мышление. Также осуществляется процесс формирования культуры учебной деятельности, информационной культуры общества, активизируется взаимодействием интеллектуальных и эмоциональных функций при совместном решении исследовательских задач. Для примера представлены методические разработки по теме «Решение дифференциальных уравнений».

Ключевые слова: раздаточный материал, математика, образовательный процесс.

HANDOUTS FOR HIGHER MATHEMATICS FOR STUDENTS OF ENGINEERING SPECIALTIES

Hundzina M.

*Belarusian National Technical University
Minsk, Belarus*

Abstract. This article discusses the features of the development and use of handouts in the organization of the educational process. In the process of working with handouts, the student's motivation for learning increases, visual-figurative, theoretical, logical thinking develops. Also, the process of forming a culture of educational activity, information culture of society is carried out, it is activated by the interaction of intellectual and emotional functions in the joint solution of research problems. For example, methodological developments on the topic "Solving differential equations" are presented.

Key words: handouts, mathematics, educational process.

*Адрес для переписки: Гундина М.А., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: hundzinama@bntu.by*

Математическая подготовка является неотъемлемой частью системы высшего технического образования. Полноценное развитие мышления современного инженера невозможно без формирования его логической культуры.

Математическая подготовка позволяет сформировать у студента навыки логического анализа представленной ситуации, умение ана-

лизировать причинно-следственные связи, умение работать с определениями и абстрактными понятиями, умение анализировать, обобщать, выделять частное и общее, навыки рационального мышления.

В процессе изучения математики будущий инженер сталкивается с задачами прикладной математики, элементами аналитической геомет-