

Пользовательский интерфейс ИИС исследования реологических характеристик связующих полимерных композитов

О. С. Дмитриев, email: phys@tstu.ru
А. О. Дмитриев

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

***Аннотация.** Рассмотрено построение пользовательского интерфейса управления экспериментом информационно-измерительной системы исследования реологических характеристик связующих полимерных композитов в процессе отверждения. Приведены основные модули прикладного программного обеспечения, составляющие основу пользовательского интерфейса, рассмотрено их назначение, порядок и особенности функционирования.*

***Ключевые слова:** информационно-измерительная система, пользовательский интерфейс, реологические характеристики.*

Введение

Полимерные композиты (ПК) армированные углеродными, стеклянными и органическими наполнителями на основе терморезактивных связующих горячего отверждения нашли широкое применение в различных отраслях техники, в том числе в конструкциях летательных аппаратов [1]. Технологический процесс производства изделий из ПК предполагает формообразование и термическое отверждение, качество которых определяется оптимальностью температурно-временного режима и возникает необходимость в математическом моделировании и оптимизации процесса тепло- и массопереноса, а также идентификации характеристик ПК с применением информационно-измерительной системы (ИИС), в силу требования обработки больших объемов экспериментальных данных [2].

Основными характеристиками ПК являются теплофизические, кинетические и реологические, приобретающие особую актуальность в процессах сопровождаемых течением связующего под давлением из преперега во впитывающий слой. При исследовании этих характеристик и управлении ИИС, включающей в свой состав множество различных связанных между собой программных модулей, появляется необходимость в разработке пользовательского интерфейса (ПИ), адаптированного для использования химиком-технологом композитов.

1. Структура ИИС исследования полимерных композитов

Структура ИИС для исследования характеристик ПК включает в свой состав следующие виды обеспечений [3, 4]:

- математическое – совокупность математических моделей;
- алгоритмическое – совокупность алгоритмов;
- программное – совокупность программного обеспечения (ПО);
- информационное – пользовательский интерфейс, модули информационного отображения и хранения данных (база данных);
- техническое – совокупность всех технических средств;
- организационно-методическое – совокупность документов, устанавливающих состав ИИС, правила эксплуатации и прочее.

Важное место среди перечисленных обеспечений занимает пользовательский интерфейс, как средство взаимодействия пользователя и ИИС, особенно при исследовании реологических характеристик связующих полимерных композитов в процессе отверждения.

2. Построение пользовательского интерфейса и прикладного программного обеспечения ИИС

Пользовательский интерфейс и программное обеспечение ИИС выполнено в интегрированной среде разработки Borland Delphi 7 и представляет собой MDI-приложение (multiple document interface), в которую входят дочерние программы (модули). Программная оболочка снабжена подробной контекстной помощью, что упрощает работу с комплексом и практически не требует специальных навыков. В любой момент времени пользователь комплекса может воспользоваться подсказкой о том, что происходит на экране, и какие действия требуются от него. При задании исходных данных для эксперимента или какого-либо расчета информация "по-умолчанию" подобрана таким образом, чтобы при работе с любым материалом требовалось вносить как можно меньше изменений.

Выбор программ осуществляется посредством главного меню, в котором перечислены все разработанные программы. Пользователю предлагается выбрать любую из задач: проводить эксперимент, рассчитывать характеристики полимерного композита по экспериментальным данным, оптимизировать режим отверждения, просматривать результаты или провести тестирование программ путем решения имитационных задач.

Программа управления экспериментом служит для ввода информации об эксперименте, управления экспериментом и сбора данных. Началом работы с пользовательским интерфейсом и ПО ИИС является запуск программы управления экспериментом.

В начале работы вводятся ряд параметров и сведений, необходимых для работы: прогрева ли ИИС, осуществлять нагрев или отверждение, имя файла для сохранения результатов эксперимента, режим нагрева (монотонный или ступенчатый), период опроса измерительных преобразователей или шаг температурных измерений, максимальная температура и время эксперимента, число каналов и какие из них будут задействованы, а также скорость нагрева образца или напряжение на основном нагревателе (рис. 1).

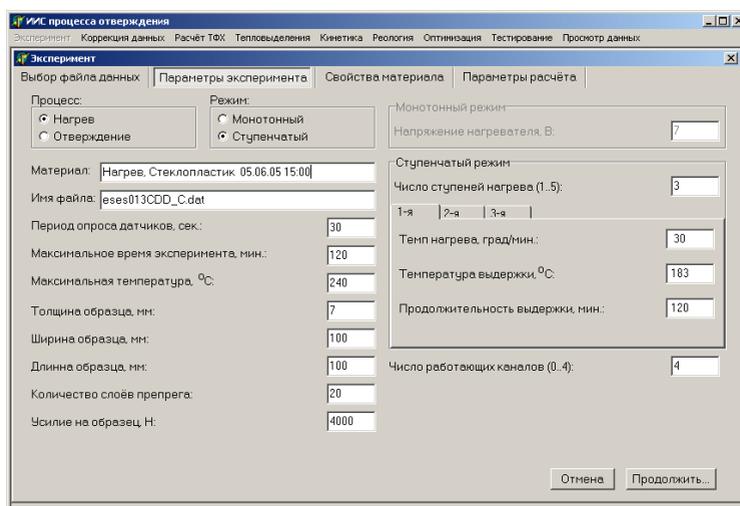


Рис. 1. Ввод исходных данных для проведения эксперимента

После получения от пользователя этих данных, программа запрашивает разрешение на начало эксперимента. Результаты эксперимента отображаются в виде графика и таблицы значений на экране, копия которой записывается на жёсткий диск. Экспериментальная информация, отображаемая на экране в виде таблицы, имеет формат: номер записи, время в секундах от начала эксперимента, напряжение U на нагревателе в вольтах, температура верхнего основного нагревателя $TВ$ в $^{\circ}C$, значения температур внутри образца в 1...4 точках по его толщине, температура нижнего нагревателя $TН$, температура среды $TС$ (свободных концов термопар), толщина образца L . Нажатием на клавиатуре клавиши F8 на экране выводятся графики распределения температуры по толщине образца в зависимости от времени эксперимента и изменения толщины. Возврат в текстовый режим осуществляется повторным нажатием клавиши F8 (рис. 2).

ИИС процесса отверждения										
Эксперимент Коррекция данных Расчёт ТФЖ Тепловыделение Кинетика Реология Оттенизация Тестирование Промоутр данных										
Данные эксперимента										
N	Время	U	TB	T1	T2	T3	T4	TH	TC	L
60	1440	7,00	152,00	155,00	152,00	0,00	0,00	144,00	20,00	6,0300
61	1464	7,00	156,00	158,00	156,00	0,00	0,00	147,00	20,00	6,0300
62	1488	7,00	159,00	161,00	158,00	0,00	0,00	151,00	20,00	6,0300
63	1512	7,00	163,00	164,00	162,00	0,00	0,00	154,00	20,00	6,0200
64	1536	7,00	165,00	167,00	164,00	0,00	0,00	157,00	20,00	6,0200
65	1560	7,00	168,00	169,00	167,00	0,00	0,00	160,00	20,00	6,0200
66	1584	7,00	171,00	172,00	170,00	0,00	0,00	163,00	20,00	6,0200
67	1608	7,00	174,00	174,00	172,00	0,00	0,00	166,00	20,00	6,0200
68	1632	7,00	176,00	177,00	174,00	0,00	0,00	168,00	20,00	6,0200
69	1656	7,00	178,00	178,00	177,00	0,00	0,00	171,00	20,00	6,0200
70	1680	7,00	181,00	181,00	179,00	0,00	0,00	173,00	20,00	6,0200
71	1704	7,00	183,00	184,00	181,00	0,00	0,00	176,00	20,00	6,0200
72	1728	7,00	185,00	186,00	183,00	0,00	0,00	178,00	20,00	6,0200
73	1752	7,00	187,00	188,00	185,00	0,00	0,00	180,00	20,00	6,0200
74	1776	7,00	189,00	190,00	187,00	0,00	0,00	182,00	20,00	6,0200
75	1800	7,00	191,00	192,00	189,00	0,00	0,00	184,00	20,00	6,0200
76	1824	7,00	193,00	194,00	191,00	0,00	0,00	186,00	20,00	6,0100
77	1848	7,00	195,00	196,00	193,00	0,00	0,00	188,00	20,00	6,0100
78	1872	7,00	197,00	197,00	195,00	0,00	0,00	190,00	20,00	6,0100
79	1896	7,00	199,00	199,00	197,00	0,00	0,00	192,00	20,00	6,0100
80	1920	7,00	201,00	201,00	199,00	0,00	0,00	194,00	20,00	6,0100
81	1944	7,00	203,00	203,00	200,00	0,00	0,00	196,00	20,00	6,0100
82	1968	7,00	205,00	205,00	202,00	0,00	0,00	198,00	20,00	6,0100
83	1992	7,00	206,00	206,00	204,00	0,00	0,00	199,00	20,00	6,0100
84	2016	7,00	208,00	208,00	206,00	0,00	0,00	201,00	20,00	6,0100
85	2040	7,00	210,00	210,00	207,00	0,00	0,00	203,00	20,00	6,0100
86	2064	7,00	211,00	211,00	209,00	0,00	0,00	205,00	20,00	6,0100
87	2088	7,00	213,00	213,00	211,00	0,00	0,00	206,00	20,00	6,0100
88	2112	7,00	215,00	215,00	212,00	0,00	0,00	208,00	20,00	6,0100
89	2136	7,00	216,00	216,00	214,00	0,00	0,00	210,00	20,00	6,0100
90	2160	7,00	218,00	218,00	216,00	0,00	0,00	211,00	20,00	6,0100
91	2184	7,00	220,00	219,00	217,00	0,00	0,00	213,00	20,00	6,0100
92	2208	7,00	224,00	224,00	219,00	0,00	0,00	215,00	20,00	6,0100

Рис. 2. Ход эксперимента

Эксперимент завершается при достижении в измерительной ячейке максимальной температуры либо при окончании заданного времени эксперимента. Процесс может быть также прерван нажатием клавиши Esc, причем комплекс запросит подтверждение прерывания во избежание случайных остановок эксперимента.

После завершения основного эксперимента выполняется второй этап, предназначенный для исключения систематических погрешностей. Во втором этапе программой управления отключается основной нагреватель и продолжается регистрация температурного распределения в образце, находящегося в адиабатических условиях.

Для удобства ведения базы данных экспериментальные файлы имеют стандартные имена, комбинирующиеся из букв латинского алфавита и цифр таким образом, что первые четыре символа отражают название материала, а на пятой и шестой позициях записываются буквы "ТС" - в случае нагрева отвержденного образца и буквы "ТW" - в случае отверждения образца при нагреве. Седьмая и восьмая позиции имени файла занимает порядковый номер эксперимента данного материала.

Программа расчета реологических характеристик течения связующего при отверждении полимерных композитов рассчитывает энергию активации вязкого течения связующего $E_{\mu}(\beta)$ и структурную составляющую вязкости $\tilde{\mu}(\beta)$. В качестве исходных данных для работы

программы используются файлы об изменении толщины образца $L(t_j)$ при отверждении, (см. рис. 3) созданные программой управления экспериментом или коррекции экспериментальных данных и помеченные в имени буквами "TW", а также данные о тепловыделениях $w(t_j)$ при отверждении материала, которые являются результатом обработки термограмм этих же данных программой расчета мощности тепловыделений и помеченные в имени буквой "W". Тепловой эффект реакции отверждения вычисляется путем численного интегрирования

мощности тепловыделений $w(t_j)$ по формуле $Q(t) = \int_0^t w(t)dt$ и служит

для расчета степени отверждения β . Для расчета двух параметров (энергии активации вязкого течения и структурной составляющей вязкости) необходимо наличие как минимум двух экспериментальных файлов $L_1(t_j)$ и $L_2(t_j)$ данных изменения толщины образца и соответствующих этим данным двух файлов расчета мощности тепловыделений $w_1(t_j)$, $w_2(t_j)$. Если имеется только один такой файл, то энергия активации вязкого течения задается как константа E_μ или как функция $E_\mu(\beta)$ из файла и вычисляется эффективная вязкость $\tilde{\mu}(\beta)$.

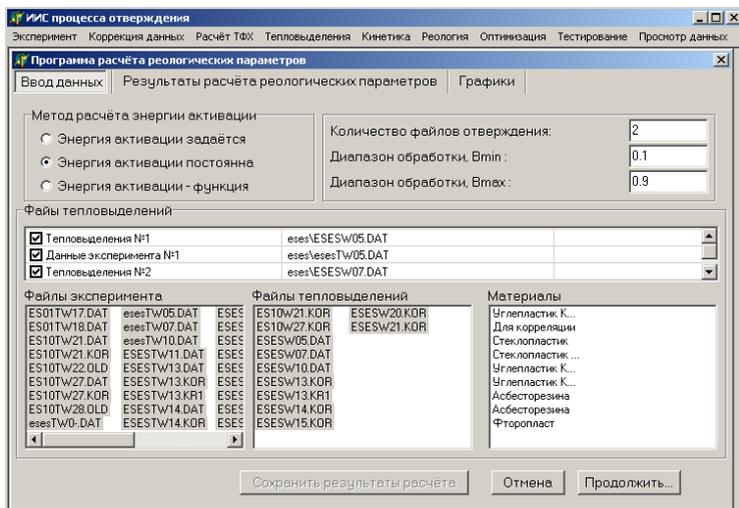


Рис. 3. Ввод исходных данных для расчета реологических характеристик

Задается также диапазон изменения степени отверждения β в пределах которого будет производиться расчет. После ввода всех необходимых параметров запускается программа расчета.

Программа рассчитывает зависимость энергии активации вязкого течения связующего и эффективной или структурной составляющей вязкости от степени отверждения $\beta_1(t) = \frac{Q_1(t)}{Q_n}$, (где $Q_n = Q(t_k)$) и записывает эти данные на жёсткий диск в формате: степень отверждения β_j , энергия активации вязкого течения $E_\mu(\beta)$ и натуральный логарифм эффективной или структурной составляющей вязкости $\ln \tilde{\mu}(\beta)$. Такая же таблица выводится на экран для визуального контроля. После просмотра таблицы, пользователю предоставляется возможность оценить графическое представление указанных зависимостей (рис. 4). Имя, вновь созданного файла, формируется замещением в имени файла экспериментальных данных буквы "Т" в пятой позиции символом "R".

Полученные реологические характеристики наряду с совместно исследованными теплофизическими, кинетическими характеристиками процесса отверждения поступают в базу данных ИИС и в дальнейшем используются для расчета оптимального температурно-временного режима отверждения изделий из полимерных композитов [2-6].

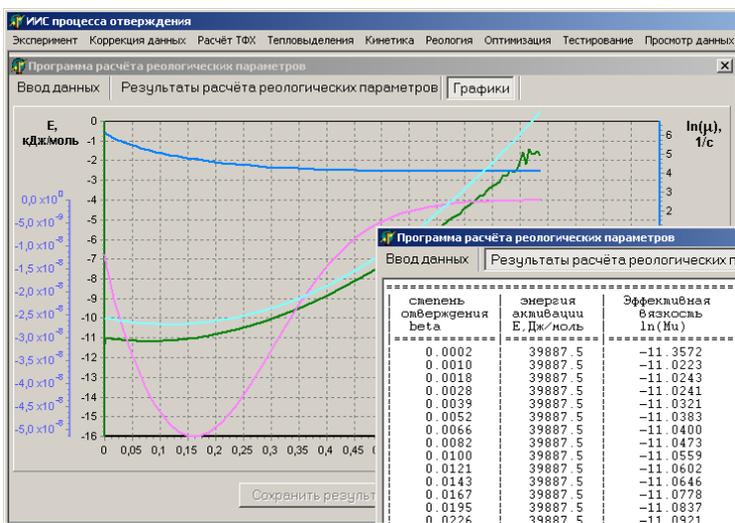


Рис. 4. Вывод результатов расчёта реологических характеристик

Заключение

Предложен пользовательский интерфейс ИИС исследования реологических характеристик связующих полимерных композитов в процессе отверждения, позволяющий вводить данные, представлять входную и выходную информацию в виде таблиц и графиков в режиме реального времени в ходе подготовки и выполнения эксперимента, а также показывать результаты расчетов. Разработанный интерфейс позволяет химику-технологу по производству полимерных композитов легко адаптироваться с работой ИИС и выполнять исследования характеристик.

Список литературы

1. Каблов, Е.Н. Становление отечественного космического материаловедения // Вестник Российского фонда фундаментальных исследований. – 2017. – Т. 95. № 3. – С. 97-105.
2. Дмитриев, О.С. Определение оптимальных режимов отверждения толстостенных изделий из полимерных композитов / О.С. Дмитриев, В.Н. Кириллов, А.О. Дмитриев, А.В. Зуев // Тепловые процессы в технике. – 2013. – Т. 5. № 10. – С. 467-475.
3. Дмитриев, О.С. Интегрированная информационно-измерительная система исследования свойств и расчета режимов отверждения полимерных композитов / О.С. Дмитриев, С.В. Мищенко, А.О. Дмитриев И.С. Касатонов, С.О. Дмитриев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2008. – Т. 14. № 2. – С. 230-240.
4. Дмитриев, О.С. Измерительно-вычислительная система для исследования свойств клеевых препрегов и расчета режимов отверждения ПКМ на их основе / О.С. Дмитриев, В.Н. Кириллов, С.В. Мищенко, А.О. Дмитриев // Клеи. Герметики. Технологии. – 2009. – № 6. – С. 22-28.
5. Дмитриев, О.С. Влияние режимов термообработки на геометрические и механические характеристики углепластиковых трубчатых элементов / О.С. Дмитриев, И.В. Малков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – Т. 22. № 3. – С. 427-438.
6. Дмитриев, О.С. Численно-аналитическое решение нелинейной коэффициентной обратной задачи теплопроводности / О.С. Дмитриев, А.А. Живенкова // Инженерно-физический журнал. – 2018. – Т. 91. № 6. – С. 1426-1437.