

**ЭЛЕКТРОННЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС  
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ЖИДКОСТНОЙ ОБРАБОТКИ  
ВОЛОКНИСТЫХ СИСТЕМ**

**ELECTRONIC LABORATORY SYSTEM FOR DETERMINATION  
OF QUALITY OF LIQUID TREATMENT OF FIBROUS SYSTEMS**

*S.E. СОЛОВЬЕВ, E.E. КОРОЧКИНА, E.S. КОНСТАНТИНОВ*  
*S.E SOLOVYEV, E.E KOROSHKINA, E.S KONSTANTINOV*

**(Ивановская государственная текстильная академия)**  
**(Ivanovo State Textile Academy)**  
E-mail: tepl@igta.ru

*На основе исследований в области жидкостной обработки текстильных материалов создан программно-аппаратный комплекс для определения качества пропитки волокнистых систем. Результатом работы данного комплекса являются кинетические кривые пропитки текстильного материала.*

*On the basis of research in the field of liquid treatment of textile materials the software and hardware complex for determination of quality of fibrous material impregnation has been developed. The result of this complex operation are kinetic curves of textile materials impregnation.*

**Ключевые слова:** математическая модель, лабораторный комплекс, степень пропитки, кинетические кривые, тензодатчики, LabVIEW, NI Elvis.

**Keywords:** a mathematical model, a laboratory complex, a degree of impregnation, kinetic curves, strain gauges, LabVIEW, NI Elvis.

В текстильной промышленности ключевое место занимают процессы, основанные на пропитке обрабатываемого материала различными растворами. От качества пропитки зависят многие характеристики выпускаемого материала, а также экономические параметры производства в целом. Это обусловлено тем, что текстильное производство в целом очень энерго- и водоемко. Соответственно методы и оборудование, позволяющие точно оценить степень пропитки материала, позволят более точно рассчитывать количество обрабатываемых материалов для получения нужного результата и соответственно минимизировать их потери.

Работы, проводимые различными учеными в этом направлении ранее, показали, что качество процесса пропитывания тек-

стильных материалов определяется степенью проникновения пропитывающей жидкости в элементарные поры волокна. И что материал будет иметь качественную пропитку при заполнении порового объема этого материала обрабатываемой жидкостью на 98...100%. Соответственно, чтобы определить, достигнут ли этот порог заполнения, и необходима методика и оборудование оценки пропитки текстильного материала.

В результате был разработан весовой аппаратно-программный комплекс определения качества пропитки текстильных материалов. В основу легло предположение о фронтальном заполнении жидкостью поровой структуры материала [1]. Время продвижения полной пропитки волокни-

стого материала до координаты  $x$  определяется следующим образом:

$$\tau = k \frac{R^2 \mu \delta_{\text{пр}}^\gamma}{\sigma}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент сопротивления пропитке;  $\delta_{\text{пр}}$  – степень полноты заполнения поровой структуры материала за время пропитки (степень пропитки  $\tau$ );  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости жидкости;  $\sigma$  – поверхностное натяжение жидкости;  $R$  – половина толщины материала [1].

Величина  $k$  определяется по экспериментальным кинетическим кривым пропитки текстильных полотен.

По полученным данным была разработана лабораторная установка для определения степени пропитки текстильного материала весовым методом. В ее основу лег метод измерения веса при помощи тензодатчика – устройства, чье электрическое сопротивление изменяется пропорционально величине его деформации.

Измерение с использованием тензодатчиков включает в себя обнаружение чрезвычайно малых изменений сопротивления, а в случае нашей установки трудность в подборе правильного тензодатчика определялась сверхмалым весом испытуемых образцов. Следовательно, для достоверных измерений необходимы правильный выбор и использование моста, согласования сиг-

налов, схемы соединений и компонентов для сбора данных.

Выходное напряжение тензодатчиков и мостов относительно мало. На практике большинство тензомостов и преобразователей деформаций выдают напряжение меньше 10 мкВ/В (10 мкВ выходного напряжения на 1 вольт напряжения возбуждения). Поэтому устройства согласования сигнала обычно содержат усилители для увеличения уровня сигнала, что приведет к большей разрешающей способности измерения и лучшему соотношению сигнал-шум.

Для проведения лабораторных испытаний разрабатываемого образца электронной установки было предположено использовать специализированный аппаратно-программный комплекс. В связи с этим разрабатываемый лабораторный образец будет отличаться от промышленного образца только наличием дополнительных точек выводов для подключения измерительного оборудования и более дорогим микроконтроллером, для упрощения отладки программного обеспечения.

Лабораторный образец должен был отвечать требованиям высокой точности, быстродействия, отказоустойчивости, низкого энергопотребления и вместе с этим обладать достаточно низкой себестоимостью для серийного производства. В результате нами была разработана принципиальная схема лабораторного образца электронной установки, представленная на рис. 1.

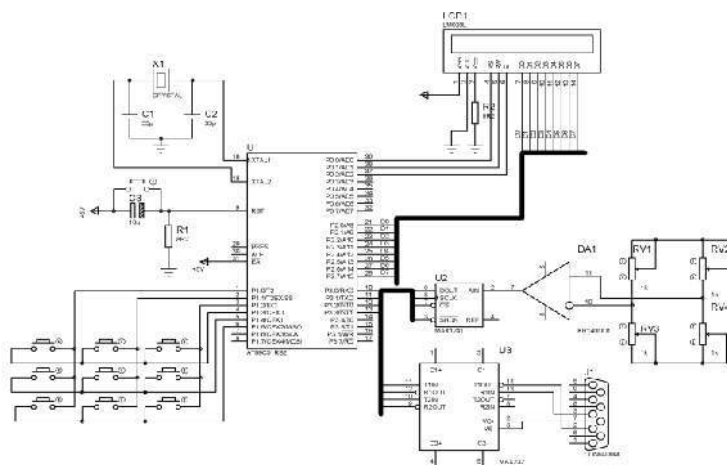


Рис. 1

В состав этого образца входят следующие блоки: тензоизмерительный мост, усилитель, аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), микроконтроллер, жидкокристаллический индикатор, клавиатурная матрица и устройство сопряжения (УСО). Разделение системы на функциональные блоки позволяет упростить процесс наладки изделия, а в случае выхода из строя одного из функциональных блоков позволяет легко произвести его замену. Приведенные первые два функциональных блока (тензоизмерительный мост и усилитель) представляют собой измерительную часть электронной установки. Датчики наклеены на пластину таким образом, что два из них работают на растяжение и два на сжатие. Один из концов пластины жестко закрепляется. К другому ее концу прикрепляется испытуемый образец ткани, вызывая ее деформацию и изменение сопротивления тензорезисторов.

Следующий функциональный блок на схеме – аналогово-цифровой преобразователь (АЦП). Он предназначен для преобразования усиленного сигнала с тензоизмерительного моста в цифровую форму и передачу полученных значений в микроконтроллер.

На тензоизмерительный мост влияет сопротивление подводящих проводов, а также при выходе с усилителя в проводниках возникают шумы, вызванные паразитными емкостями проводников. Все это негативным образом влияет на полезный выходной сигнал. Поэтому было целесообразно расположить АЦП как можно ближе к тензопреобразователю и усилителю, поскольку на цифровой сигнал помехи не влияют. В связи с этим и был выбран АЦП с передачей данных по последовательному порту, поскольку он позволяет производить передачу данных на расстояние нескольких метров без потерь. АЦП по последовательному каналу передачи данных осуществляет передачу оцифрованного сигнала в микроконтроллер. Типичный микроконтроллер сочетает в себе функции процессора и периферийных устройств, может содержать оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) и постоянное

запоминающее устройство (ПЗУ). Это однокристалльный компьютер, способный выполнять простые задачи. Использование одной микросхемы вместо целого набора, как в случае обычных процессоров, применяемых в персональных компьютерах, значительно снижает размеры, энергопотребление и стоимость устройств, построенных на базе микроконтроллеров.

В результате проведения сравнительного анализа рынка микроконтроллеров для использования в лабораторной установке нами был выбран 8-разрядный микроконтроллер *atmega16*, отвечающий всем предъявленным выше требованиям. Использование данного микроконтроллера позволяет сократить время разработки программного обеспечения за счет использования возможности внутрисхемной отладки. Программа для данной установки написана на языке программирования высокого уровня C++. После усиления и оцифровки сигнала, идущего с измерительного тензомоста, полученные данные сохраняются в энергонезависимой памяти. Полученные архивы передаются в компьютер через устройство сопряжения последовательному порту. Данные, получаемые от АЦП, отображаются на жидкокристаллическом дисплее (ЖКД). Для передачи данных из микроконтроллера в компьютер наиболее широко на сегодняшний день используется последовательный канал передачи данных.

Так как лабораторные испытания подразумевают более широкий спектр исследований, была использована универсальная среда графического программирования LabVIEW и отладочная плата “NI Elvis”, которая позволяет передавать физические сигналы в качестве входных сигналов в модель LabVIEW. Данная система выбрана, поскольку в ее основу положена технология виртуальных приборов, позволяющая создавать системы измерения, управления и диагностики различного назначения любой произвольной сложности, включая математическое моделирование и тестирование этих систем.

Лабораторный образец электронной установки подключается к отладочной плате

“NI Elvis”. Лабораторный образец питается от встроенного в отладочную плату регулируемого источника питания. Это позволило измерить уровень потребляемого тока, а также смоделировать ситуацию с падением напряжения источника питания и убедиться в работоспособности программы защиты микроконтроллера от потери данных.

С тензоизмерительного моста и усилителя снимаются выходные напряжения. Это позволило увидеть малый уровень шумов, накладываемых усилителем на сигнал, поступающий от тензомоста, даже при малых значениях этого сигнала. При этом математическая модель, построенная в LabVIEW, производит собственную оцифровку сигнала, его приведение, а также обработку аналогичных, производимым в микроконтроллере. Схема в LabVIEW также снабжена виртуальной клавиатурой для корректировки нуля и сопоставления сигналов с величиной нагрузки. Полученные в результате данные отображались на виртуальном дисплее и сравнивались с данными, отображаемыми на ЖКД. Это позволило установить корректность и достоверность данных, получаемых от лабораторного устройства (корректность аналогово-цифровых преобразований, калибровки, отображения данных). При этом LabVIEW производило сохранение результатов эксперимента для их дальнейшей сверки.

Для проверки передачи данных по последовательному порту была реализована схема проверки, описываемая далее. Устройство сопряжения лабораторного образца электронной установки было подключено к последовательному порту отладочной платы “NI Elvis”. И так же, как и в случае с аналоговыми сигналами, была связана с программой LabVIEW, где получаемые данные сохраняются и сравниваются с данными эксперимента, обработанными при помощи LabVIEW. Использование комплекса LabVIEW совместно с отладочной платой “NI Elvis” позволило значительно сократить затраты на покупку дорогостоящего лабораторного оборудования: осциллографов, мультиметров, регистраторов, и

получать все необходимые для лабораторных испытаний данные на одном виртуальном приборе. Полученная в результате лабораторная установка позволила существенно сократить время на производство и отладку комплекса. После усиления и оцифровки сигнала, идущего с измерительного тензомоста, полученные данные отображаются на жидкокристаллическом индикаторе, а также сохраняются во внутренней энергонезависимой памяти с возможностью их дальнейшей передачи в персональный компьютер по последовательному порту для их статистической обработки.

Для обработки полученных экспериментальных данных было разработано специальное программное обеспечение. Основной задачей анализа экспериментальных данных являлось построение графиков зависимостей изменения степени пропитки во времени, которая осуществляется специальной программой, рассчитывающей степень пропитки по следующим формулам:

$$\delta_{\text{пр}} = P_{\tau}/P_{\text{н}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

$$P_{\tau} = \alpha - \beta\tau, \quad (3)$$

$$P_{\text{н}} = \alpha - P_{\text{к}}, \quad (4)$$

где  $\alpha$  – масса рамки + ткань, не пропитанные;  $\beta\tau$  – масса рамки + ткань, пропитанные в воде, изменяющиеся с течением времени;  $P_{\text{к}}$  – масса рамки + ткань в воде, полностью пропитанные при вакуумной пропитке.

Для того чтобы определить  $\alpha$ , строится экспериментальная зависимость  $\beta\tau$  ( $\tau$ ) и производится ее полиномиальная аппроксимация. Использование языка Python оказалось в этом случае не очень рациональным, поскольку требовало больших затрат на математическое описание аппроксимирующих кривых. В результате было решено использовать языки программирования сверхвысокого уровня, в которых включена реализация требуемых нами задач. В качестве такой системы нами был использован пакет Matlab и его бесплатная альтернатива Scilab. Это стало возможным, поскольку синтаксис языка в этих системах для задач данной сложности является

идентичным. Результат работы программы обработки экспериментальных данных представляет собой кинетическую кривую пропитки текстильного материала и показан на рис. 2. Эксперимент был проведен на текстильном материале бязь суровая арт.142 при пропитке водой без интенсифицирующих воздействий [2].

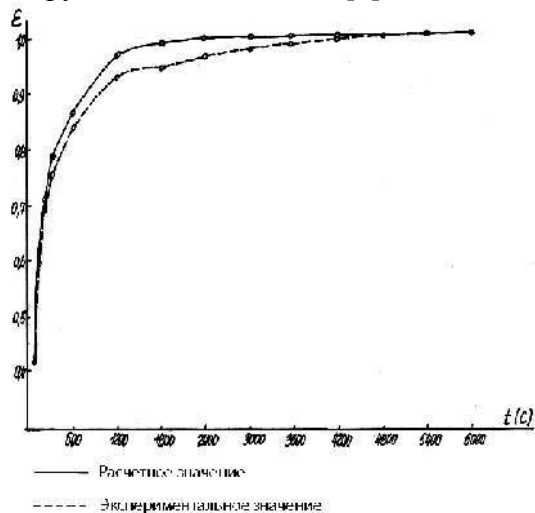


Рис. 2

Поскольку современное программное обеспечение невозможно представить без графического интерфейса пользователя, были рассмотрены различные графические библиотеки, позволяющие его реализовать. В результате графический интерфейс был разработан с помощью средств библиотек QT языка программирования Python. Вид интерфейса представлен на рис. 3.

Адекватность математической модели оценивалась при помощи кривой кинетики пропитки, определенной экспериментальным методом. Расхождение результатов натурального и численного эксперимента не превышает 5%.

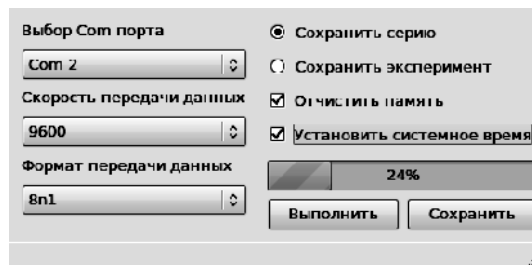


Рис. 3

## ВЫВОДЫ

1. В результате проведенного исследования и работы был создан электронный лабораторный комплекс, позволяющий проводить исследования в области жидкостной обработки волокнистых систем.

2. Данный комплекс может быть рекомендован для использования в отраслевых лабораториях при текстильных предприятиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимов М.Н. Пропитка тканей: теория процесса, технология, оборудование. – Иваново: ИГТА, 2002.

2. Корочкина Е.Е., Махов О.Н., Герасимов М.Н. Ясинский Ф.Н. Аппаратно-программный комплекс для исследования процесса капиллярного впитывания по толщине текстильного полотна при его пропитке // Изв. вузов: Технология текстильной промышленности. – 2002, №4. С.139...141.

Рекомендована кафедрой системного анализа.  
Поступила 30.11.11.