

**СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ  
ВИРТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА  
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**CREATION OF EXPERIMENTAL STAND FOR OBTAINING VIRTUAL MODELS OF  
TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR MANUFACTURING FUNCTIONAL TEXTILE  
MATERIALS**

Д.С. Королев, О.И. Одинцова, С.В. Королев  
D.S. Korolev, O.I. Odintsova, S.V. Korolev

«Объединение «Специальный Текстиль» (г. Шуя)  
Ивановский государственный химико-технологический университет  
Ltd. "Association «Special textile»(Shuya)  
Ivanovo State University of Chemistry and Technology  
E-mail: [koroliovds@mail.ru](mailto:koroliovds@mail.ru)

**Создание виртуальных моделей репеллентно - акарицидной обработки текстильных материалов.**

**Ключевые слова:** клещ, репеллент, виртуальная модель, микрокапсулирование, цифровая фабрика.

**Creation of virtual models to repellent acaricide processing textile materials.**

**Key words:** harvest bug, repellent, virtual model, microencapsulation, digital factory.

Текстильная и легкая промышленность вместе с другими промышленными отраслями мировой экономической системы стоят у истоков четвертой промышленной революции – «Индустрия 4.0» [1], которая радикально изменит всю нашу жизнь, включая и условия производства инновационных, современных и перспективных функциональных текстильных материалов (ФТМ), полуфабрикатов и готовых изделий. По масштабу, всеохватности и сложности происходящих и предстоящих преобразований «Индустрия 4.0» не имеет аналогов во всем предыдущем историческом опыте человечества. Нам всем еще только предстоит узнать и осознать всю глубину предстоящих преобразований, в том числе и в области промышленных текстильных технологий. В формируемом технологическом укладе «Индустрии 4.0» сумеют выжить и выиграют те промышленные компании, которые будут иметь гибкое оборудование и технологии, способные быстро перестраивать свои производства под новые задачи.

Шуйско-Тезинская фабрика «Тезинка», входящая в состав Объединения «Специальный текстиль», готовится к освоению перспективных цифровых технологий производства ФТМ. Эти технологии найдут самое широкое распространение на будущих цифровых фабриках, которым предстоит работать в рамках «Индустрии 4.0». В настоящее время на «Тезинке» создается лабораторно - промышленный экспериментальный стенд, на котором будут отрабатываться методы получения математических моделей различных технологических процессов производства «умных» текстильных материалов, полуфабрикатов и готовых изделий.

В результате проведения предварительных теоретических и лабораторных исследований, выполненных Ивановским государственным химико-технологическим университетом (ИГХТУ) совместно с «Тезинкой», разработана новая оригинальная технология производства ФТМ, содержащих различные инкапсулированные активные вещества (АВ), включая биологически-активные (БАВ) и другие вещества [2, 3, 4]. Инкапсулирование АВ происходит в процессе их эмульгирования, путем сочетания

возможностей двух методов - коацервации и электростатической самосборки полиэлектролитных нанослоев («Layer-by-Layer» синтез).

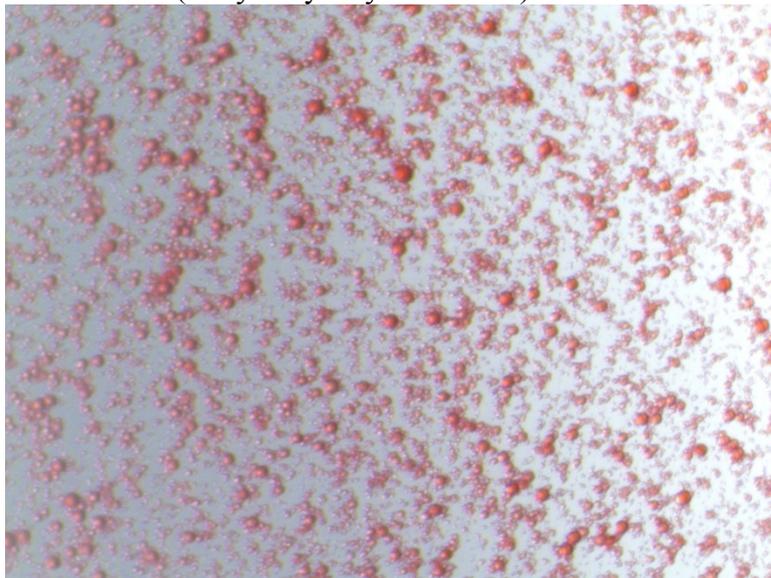


Рис. 1 Типичная фотография получаемых микрокапсул.

Из представленной на рис.1 фотографии видно, что получаемые микрокапсулы имеют различные размеры (от 7.5 до 870 нм) и случайным образом дислоцированы в пространстве. Лабораторные исследования физико-химических закономерностей технологического процесса получения ФТМ проводятся в ИГХТУ с помощью прибора PhotocorCompact-Z. На рис. 2 представлен типичный вид получаемых зависимостей.

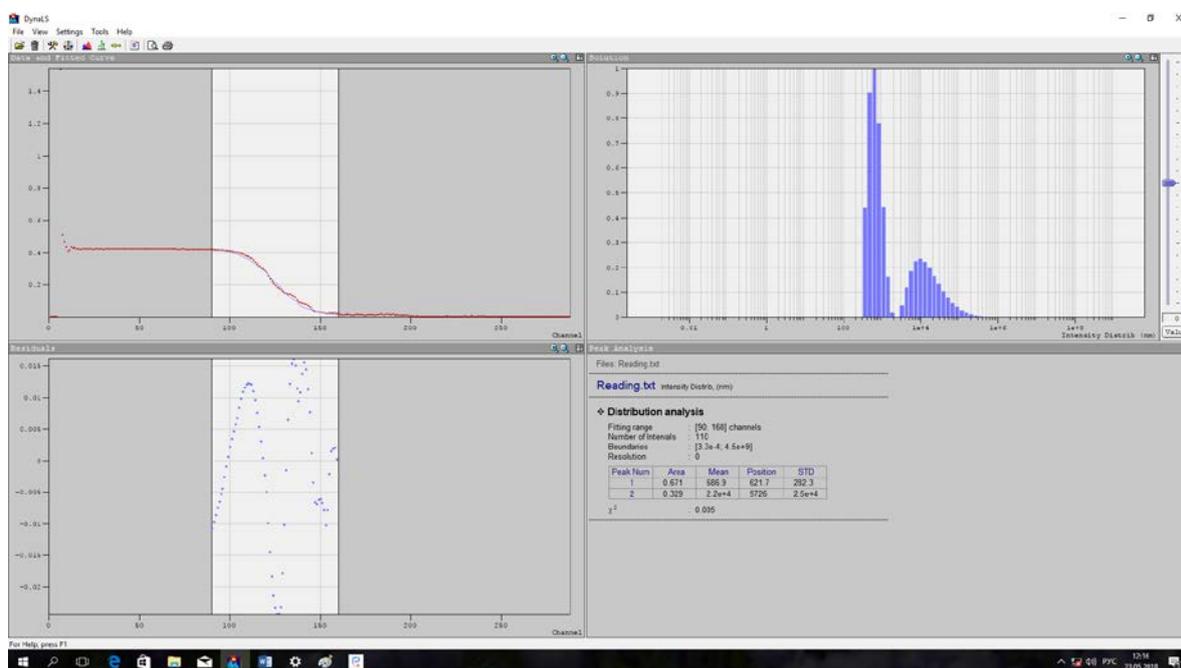


Рис. 2 Типичный вид результатов лабораторного эксперимента, полученных с помощью прибора PhotocorCompact-Z.

Здесь:

1. Окно Data and Fitted curve -исходная корреляционная функция измерения размеров микрокапсул (точки) и функция обработанная (сплошная красная линия) выбранной моделью
2. Окно Residuals – расхождение экспериментальных данных с выбранной моделью обработки

3. Окно Solution – результаты обработки в графическом представлении – пики с различной амплитудой и шириной распределения, положение которых на шкале абсцисс (на оси x) соответствует гидродинамическому радиусу частиц, нм.

4. Окно Peak Analysis (Distribution Analysis) – результаты обработки измерений в виде таблицы, основную информацию о размерах содержат окно Mean, где указан средний преобладающий размер микрокапсул, с учетом погрешностей и окно Area, содержащее их процентное распределение.

По результатам предварительных исследований можно сделать вывод о том, что технологический процесс получения ФТМ с инкапсулированными АВ, является сложным многопараметрическим стохастическим процессом, не имеющим в настоящее время строгого аналитического описания. Поэтому для выбора оптимальных параметров не только самого технологического процесса, но и функциональных текстильных материалов, полуфабрикатов и готовых изделий, получаемых с помощью этой технологии, необходимы дополнительные разносторонние модельные исследования.

Возможны два подхода к построению математических моделей подобных сложных исследуемых объектов:

1. Аналитический - в котором построение моделей сопряжено с проведением длительных дорогостоящих исследований. В рассматриваемом случае эти исследования необходимы для выявления, природы физико-химических процессов, лежащих в основе технологических операций производства ФТМ. Аналитические модели представляются в виде сложных систем уравнений (алгебраических, обыкновенных, дифференциальных, в частных производных). Эти уравнения позволяют описать исследуемые явления, процессы и изделия в широких пределах варьирования факторного пространства, но распространения в реальных производственных условиях не получили в силу ряда причин, основными из которых являются высокая трудоемкость и стоимость моделей, получаемых в течение длительного времени, их недостаточная адекватность исследуемым стохастическим процессам и т.п.

2. Функциональный - в котором физико-химические закономерности процессов не рассматриваются, исследуемый объект – технологический процесс, или изделие представляется в виде «чёрного ящика», обладающего набором входных и выходных переменных. Изучение объекта сводится к получению описания поведения объекта в виде статистических функциональных моделей – регрессионных зависимостей.

Как отмечалось выше, сложность таких многокомпонентных гетерогенных материалов, как ФТМ с инкапсулированными репеллентно – акарицидными АВ, и технологических процессов их производства, в том числе и производства самих микрокапсул не позволяет на современном этапе развития науки решать задачи разработки ФТМ и технологических процессов их производства строгим математическим путём. Проблема усложняется ещё и тем, что размеры микрокапсул и место их дислокации на ФТМ имеют вероятностный характер распределения.

Решение поставленных задач в случаях отсутствия или невозможности применения строгих математических методов требует обращения к эксперименту, как единственному способу получения достоверного знания об объекте исследования. При этом следует учитывать, что экспериментальные исследования в условиях реального производства требуют значительных временных затрат, материальных и человеческих ресурсов.

Создаваемый экспериментальный стенд позволит существенно сократить эти расходы. Стенд предназначен для проведения на нем нескольких серий полномасштабных лабораторных, а затем и опытно-промышленных работ с целью получения набора адекватных регрессионных моделей и последующей линейной или нелинейной оптимизации параметров, как самого технологического процесса, так и получаемых посредством этого процесса ФТМ, полуфабрикатов и готовых текстильных изделий. Полученные регрессионные модели, адекватно описывающие технологический процесс производства,

послужат основой для организации опытно-промышленного участка, как составной части цифровой фабрики будущего первого поколения.

На первом этапе будет выполнена серия исследований технологического процесса производства ФТМ, обладающего репеллентно – акарицидными свойствами. Актуальность первоочередного создания репеллентно - акарицидных текстильных изделий [5,6] обусловлена неблагоприятной эпидемиологической ситуацией в России, вызванной повышенной активностью лесных иксодовых клещей. Только в Ивановской области, которая не является лидером по эндемии данных заболеваний, в течение эпидемиологического сезона 2017 года зафиксировано 3231 обращения за медицинской помощью по поводу присасывания лесных клещей, что превысило аналогичные показатели 2016 года. В том числе медицинская помощь потребовалась 821 ребенку. При этом выявлено 229 положительных результата на клещевой боррелиоз, 59 положительных результата на моноцитарный эрлихиоз и 2 – на гранулоцитарный анаплазмоз.

Методические приемы, предлагаемые для создания адекватных виртуальных моделей технологического процесса производства ФТМ и оптимизации их параметров, неоднократно апробированы при разработке многопараметрических стохастических технических систем специального назначения. Опыт, приобретенный авторами при выполнении указанных работ, а так - же публикации других исследователей, занимающихся прикладными исследованиями в различных областях науки, техники и технологий, показывает, что регрессионные модели, формируемые в результате правильно спланированного, грамотно проведенного и обработанного эксперимента на конкретном технологическом оборудовании, являются не только самыми экономичными, но и наиболее адекватными.

Статистические регрессионные модели обладают следующими преимуществами:

1. Достаточно простая структура модели в виде линейных, или нелинейных полиномов;
2. Построение модели выполняется за сравнительно небольшое время, с использованием ограниченных ресурсов, в условиях промышленного производства;
3. Имеются всесторонне апробированные программные продукты для построения регрессионных моделей;
4. Регрессионные модели адекватно отражают исследуемый технологический процесс, или полученное изделие и могут служить основой для управления процессом и выбора оптимальных параметров создаваемого изделия;
5. Построенные адекватные математические модели производства ФТМ позволят создать прототип технологического участка цифровой фабрики будущего.

В дальнейшем будут предприняты попытки сформировать единый физико - статистический подход, в котором вначале создается физико-химическая модель технологии производства ФТМ, а уточнение модели ведётся функциональным способом. В обоих подходах в основе лежит эксперимент в реальном технологическом процессе, который позволяет оценить влияние на него различных факторов, определить оптимальные условия его протекания, найти его математическую модель и т.д. Натурный эксперимент позволяет целенаправленно создавать условия и в заданных диапазонах контролировать их изменения, необходимые для изучения заданного объекта.

При описании такого стохастического объекта исследования, как технология получения ФТМ, будет использовано понятие кибернетической модели «Чёрный ящик», в которой устанавливается связь между независимыми переменными на «входе»  $x_i$  и зависимыми переменными на «выходе»  $y_j$  исследуемой системы.

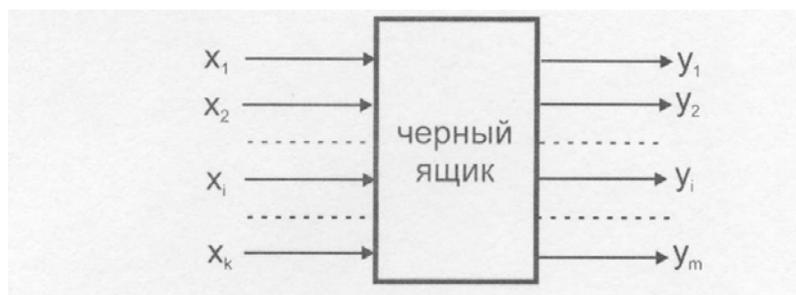


Рис. 3 Кибернетическая модель «Черного ящика»

Независимые переменные  $x_i$  (концентрации исходных препаратов, температура, скорость вращения диспергатора, время обработки и т.п.) технологического процесса, реализуемого на экспериментальном стенде, будут управляемыми и контролируемыми. В качестве зависимых переменных  $y_j$  (целевых функций) могут быть выбраны показатели качества ФТМ, геометрические размеры и свойства получаемых микрокапсул, концентрация АВ и динамика их выделения из микрокапсул и т.п.

Проведение лабораторно - промышленного эксперимента требует определённых затрат времени, сил и средств. Поэтому очень важными становятся правильная, научно обоснованная программа планирования и проведения эксперимента, объективная оценка результатов эксперимента. Работа на экспериментальном лабораторно-промышленном стенде будет разбита на два важных этапа:

1. Организация и проведение непосредственно эксперимента: выбор измеряемых параметров, размер выборки, на которой проводится эксперимент, порядок проведения измерений, план эксперимента и т.п.

2. Обработка полученных экспериментальных данных, построение регрессионных моделей технологического процесса производства ФТМ и самих ФТМ.

На экспериментальном стенде в основном будут проводиться активные эксперименты, при которых вначале строится план эксперимента таким образом, чтобы при проведении минимального количества экспериментов получить больше адекватной количественной информации для ее последующего регрессионного анализа.

Активный эксперимент — такой, в котором планирование и анализ результатов основаны на математико-статистических методах. Все методы активного эксперимента объединяются под названием методы планирования эксперимента. Активный эксперимент наиболее эффективен в специально организованных лабораторно - промышленных условиях, когда можно варьировать технологические факторы в широких пределах. Следовательно, активный эксперимент эффективнее применять на этапе оптимального проектирования новых ФТМ.

Итогом планируемых работ станет получение виртуальных моделей и программного обеспечения, для оптимизации процесса создания новых ФТМ, полуфабрикатов и готовых изделий, позволяющих снизить себестоимость производства и повысить функциональные показатели при эксплуатации ФТМ. Разработанные инструменты и методики могут быть использованы и для «оцифровки» иных технологий текстильной и легкой промышленности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Клаус Шваб, «Четвертая промышленная революция», изд-во «Эксмо», 2018
2. Кузьменко В.А., Одинцова О.И., Русанова А.И., Малышева К.А. Современное состояние и перспективы развития ароматной отделки текстильных материалов (обзор) // Химия растительного сырья. 2015. № 1. С. 15-27.
3. Одинцова О.И., Козлова О.В. Межмолекулярные взаимодействия в водных растворах синтетических полиэлектролитов и ПАВ // Глава 6 в монографии: Растворы в химии и технологии модифицирования полимерных материалов: новое в теории и практике – отв. ред. А. Ю. Цивадзе. – Сер. Проблемы химии растворов. – Иваново: ИХР РАН, 2014

4. Прохорова А.А., Петрова Л.С., Владимирцева Е.Л., Одинцова О.И. Использование метода микроэмульсионного капсулирования для придания текстильным материалам акарицидных свойств// Изв. Вузов. Технология текстильной промышленности, № 1, 2017
5. Способ производства текстильного материала, содержащего нано - и микрокапсулированные биологически активные вещества с замедленным высвобождением: пат. № 2596452 Рос. Федерация. Заяв. № 2015122221 / Одинцова О.И., Королев С.В., Кузьменко В.А., Владимирцева Е.Л., Козлова О.В., Королев Д.С., Крутских Е.В., Муратова Н.Н., Одинцова Л.С., Прохорова А.А., Никифорова Т.Е.;заявл. 10.06.15; опубл. 10.09.16, Бюл. № 25
6. Одежда для защиты человека от кровососущих клещей и летающих кровососущих насекомых: пат. № 2625432 Рос. Федерация. Заяв. № 2016129496/ Королев Д.С., Королев С.В., Козлова О.В., Крутских Е.В., Муратова Н.Н., Одинцова О.И., Петрова Л.С., Прохорова А.А.;заявл. 19.07.16; опубл. 13.07.17, Бюл. № 20

УДК 677.05-791

## **ИННОВАЦИОННЫЙ ЦИФРОВОЙ МЕТОД ТЕСТИРОВАНИЯ ТОЛЩИНЫ МАХРОВЫХ И ТРИКОТАЖНЫХ ТКАНЕЙ**

### **INNOVATIVE DIGITAL METHOD OF TESTING THE THICKNESS OF VELVETS AND KNITTED FABRICS**

Д.А. Пирогов<sup>1</sup>, Э.А. Эльнашар<sup>2</sup>, Р.В. Шляпугин<sup>1</sup>  
D.A. Pirogov<sup>1</sup>, E.A. Elnashar<sup>2</sup>, R.V. Shljyapugin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ивановский государственный политехнический университет

<sup>2</sup>Университет г.Кафрэльшейх (Египет)

Ivanovo State Polytechnic University

<sup>2</sup>Kaferelsheikh University, Egypt.

E-mail: [pirogov81@mail.ru](mailto:pirogov81@mail.ru), [Smartex@kfs.edu.eg](mailto:Smartex@kfs.edu.eg)

**В работе предлагается новое цифровое устройство для тестирования толщины бархатной и трикотажной тканей в целом, утка и трехмерных петель. Принцип действия предложенного устройства основан на воздействии давлением на исследуемый материал. Устройство может быть полезным при исследовании свойств тканей в текстильной и легкой промышленности. Прототипом данного метода является разработка сотрудников университета г. Кафр-Эль-Шейх, Египет.**

**Ключевые слова: измерение толщины; цифровой метод; махровая ткань; трикотажная ткань.**

**A new digital device is proposed for testing the thickness of velvet and knitted fabrics in general, duck and three-dimensional loops. The principle of operation of the proposed device is based on the effect of pressure on the test material. The device can be useful in studying the properties of fabrics in the textile and light industries. The prototype of this method is the development of employees of the University of Kafr- El-Sheikh, Egypt.**

**Key words: thickness measurement; digital method; velvet; knitted fabric.**

A prototype is model of apparatus for testing thickness of fabrics, is generally used to evaluate a new design to enhance precision by system analysts and users velvets and knitting clothes. In some design workflow models, creating a prototype is the step between the formalization and the evaluation of an idea. According that Fabrics are designed to fit different projected demands in order to be suitable for their end use of fabric constructor it is essential that the relationships