

На правах рукописи

ДЕНИСОВА ЕКАТЕРИНА ВАЛЕРЬЕВНА

**РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ
НЕОДНОРОДНЫХ НИТЕЙ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

Специальность 05.19.02 – «Технология и первичная обработка
текстильных материалов и сырья»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2015

Работа выполнена на кафедре текстильных технологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный университет дизайна и технологии».

Научный руководитель:

Щербаков Виктор Петрович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Строганов Борис Борисович
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой технологии тканей и
трикотажа ФГБОУ ВПО «Московский гос-
ударственный университет технологий и
управления имени К.Г. Разумовского»

Сафонов Павел Евгеньевич
кандидат технических наук, научный со-
трудник ООО «ТЕКС-ЦЕНТР» (Москва)

Ведущая организация:

Текстильный институт ФГБОУ ВО «Ива-
новский государственный политехниче-
ский университет»

Защита диссертации состоится «24» сентября 2015 года в 10:00 часов на засе-
дании диссертационного совета Д 212.144.06 при Московском государственном
университете дизайна и технологии по адресу: 117997, Москва, ул. Садовническая,
д. 33, стр. 1, ауд. 156.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государ-
ственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального
образования «Московский государственный университет дизайна и технологии»

Автореферат разослан «___» _____ 2015 года

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.144.06,
доктор технических наук,
профессор



Кирсанова Елена Александровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы работы. В настоящее время широкое применение находят материалы и изделия технического назначения.

Среди изделий технического назначения особого внимания заслуживают защитная одежда и средства индивидуальной защиты. Поскольку области применения подобных изделий различны, на этапе их создания закладываются соответствующие принципиальные свойства: высокую прочность, термо- и огнестойкость, устойчивость к действию химических реагентов и т.д.

Планировать и прогнозировать свойства будущей защитной одежды и изделий целесообразно на этапе выбора сырья. С одной стороны, это сокращает количество технологических операций, а с другой – удешевляет процесс разработки и исследований.

В ряде случаев бывает очень сложно заложить в один вид сырья сразу несколько полезных свойств, поэтому возникает необходимость в разработке новых универсальных вариантов путем комбинирования двух и более материалов.

При создании специальной одежды и средств защиты для пожарных, металлургов, спасателей, военнослужащих и т.д. чаще всего используют пара- или метаарамиды, обладающие рядом уникальных свойств. Однако параарамиды плохо поддаются окрашиванию и имеют высокую стоимость, тогда как метаарамиды на фоне хорошей окрашиваемости и невысокой цены оказываются непрочными. В связи с этим наиболее оптимальным вариантом является комбинирование этих двух классов материалов.

Цель исследования: разработка структуры и технологии неоднородных нитей со свойствами, обеспечивающими успешную дальнейшую переработку в ткань, а также обладающих высокой прочностью, термо- и огнестойкостью, устойчивостью к действию химических реагентов, легко поддающихся операциям отделки и крашения.

В соответствии с указанной целью были поставлены и решены следующие задачи:

- разработана новая теория прочности комбинированных нитей, основанная на современных теориях разрушения в механике деформируемого твердого тела;
- на основе теории наматывания и сматывания гибкой нити получены уравнения движения стержневой нити; проведен расчет натяжения, определяющего структуру комбинированных нитей;
- методами нелинейной механики упругой нити получены уравнения изгиба комбинированной нити; дан корректный способ определения жесткости при изгибе, проведен расчет жесткостных характеристик неоднородных нитей;
- проведен анализ сырья, используемого при получении тканей технического назначения, главным образом для создания защитной одежды и изделий для работников опасных профессий (пожарных, спасателей, металлургов, военнослужащих и др.);

- рассмотрены и проанализированы существующие технологии для получения комбинированных нитей;
- показана целесообразность использования комплексных нитей Русар-С в виде основы для выработки неоднородных нитей и пряжи из волокон Арселон-С в качестве дополнительного компонента, схожего по эксплуатационным характеристикам и компенсирующего недостатки нитей Русар-С;
- разработана структура неоднородной нити, в соответствии с которой стержневая нить Русар-С обкручивается арселоновой пряжей в двух противоположных направлениях;
- наработаны опытные образцы трех ассортиментных позиций неоднородных нитей пяти вариантов числа обкручиваний;
- проведено исследование исходных компонентов и готовых неоднородных нитей (трех ассортиментных позиций) с целью оценки их основных свойств;
- выбраны оптимальные технологические параметры получения неоднородных нитей в соответствии с выявленными зависимостями их основных характеристик от числа обкручиваний;
- разработана программа для расчета площади поверхности стержневой нити, закрытой обкручивающим компонентом, которая позволяет прогнозировать качество окрашивания готовых нитей.

Методы исследования. Задачи, поставленные в работе, решены экспериментальными и теоретическими методами. Нарботка образцов выполнена на обкруточной машине Menegatto 1500/270/2003NG (Италия), установленной в ООО «ЮнайТекс» (г. Новомосковск Тульской обл.). Одна из ассортиментных позиций неоднородных нитей получена на опытном стенде обкруточной машины в учебно-технологической лаборатории ФГБОУ ВПО «МГУДТ». Нарботка опытной партии с целью переработки в ткань осуществлена на машине Menegatto 1500/270/2003NG, установленной в ЗАО «Клинское производственное текстильно-галантерейное объединение» (г. Клин Московской обл.). Образцы ткани наработаны на ткацком бесчелночном станке (ТЛБ), установленном в ООО «Техноткани» (Москва).

В ходе исследования механических и эксплуатационных характеристик неоднородных нитей использованы методики, описанные в соответствующих ГОСТах. Результаты проведенных испытаний обработаны методами математической статистики с помощью программ MS Excel и MathCAD. Программа для расчета площади покрытия поверхности стержневой составляющей комбинированной нити обкручивающим компонентом, которая дает представление о возможности ее окрашивания, написана на языке C++.

Научная новизна:

- разработана новая теория прочности неоднородной обкрученной нити с учетом механизма разрушения как отдельных ее компонентов, так и нити в целом, основанная на концепции наислабейшего звена в современных теориях разрушения механики деформируемого твердого тела;

- предложена гипотеза о блокировке слабых мест внутри нити при увеличении контактной нагрузки, в соответствии с которой прочность комбинированной нити носит экстремальный характер;
- разработана оптимальная в смысле успешной дальнейшей переработки структура неоднородной комбинированной нити;
- на основе теории наматывания и сматывания гибкой нити получены уравнения движения стержневой нити;
- проведен расчет натяжения, определяющего структуру комбинированных нитей с прямолинейным расположением внутреннего компонента;
- методами нелинейной механики упругой нити получены уравнения изгиба комбинированной нити;
- дан корректный, отличающийся от всех известных, способ определения жесткости при изгибе;
- проведен расчет жесткостных характеристик неоднородных нитей; получены численные значения жесткости нити при изгибе, необходимые для проектирования ткани и трикотажа;
- разработана теория вычисления площади поверхности стержневой нити, закрытой обкручивающим компонентом; дан расчет свободной площади поверхности центрального компонента.

Практическая значимость заключается:

- в разработке и реализации технологии комбинированной нити с внутренним прямолинейным сердечником и двумя оплеточными компонентами; определении геометрических, скоростных и силовых факторов, обеспечивающих формирование неоднородной комбинированной нити с заданными свойствами;
- в разработке структуры и определении оптимальных технологических параметров выработки неоднородных обкрученных нитей, состоящих из комплексных нитей Русар-С и арселоновой пряжи, обкручивающей указанные нити в двух противоположных направлениях;
- в получении неоднородных нитей, обладающих высокими физико-механическими и эксплуатационными характеристиками и восприимчивых к процессам отделки и крашения, а также имеющих низкий показатель неравновесности, улучшающий ее переработку в ткань;
- в создании компьютерной программы, позволяющей оценить распределение обкручивающего компонента комбинированной нити по поверхности стержневого компонента, что впоследствии дает возможность прогнозировать качество окрашивания готовых нитей и изделий из них. Получено свидетельство о государственной регистрации № 2014614489 от 25.04.2014.

Реализация результатов работы проведена в ООО «Техноткани» (Москва), где полученные неоднородные нити были переработаны в ткань на ткацком бесчелночном станке (ТЛБ), после чего – окрашены в зеленый цвет и подвержены испытаниям на светостойкость в ООО «ТЕКС-ЦЕНТР» (Москва). Результаты позволяют реко-

мендовать исследуемые нити для производства тканей, предназначенных для пошива защитной одежды.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы доложены, обсуждены и получили положительную оценку на:

- 63-ей межвузовской научно-технической конференции «Студенты и молодые ученые КГТУ – производству», Кострома, КГТУ, 2011;
- всероссийской научной конференции молодых ученых «Инновация молодежной науки», Санкт-Петербург, СПГТУД, 2011;
- научно-практической конференции аспирантов университета на иностранных языках, Москва, ФГБОУ ВПО «МГТУ им. А.Н. Косыгина», 2011;
- международной научно-технической конференции «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» (ТЕКСТИЛЬ – 2011), Москва, ФГБОУ ВПО «МГТУ им. А.Н. Косыгина», 2011;
- всероссийской научно-технической конференции «Современные тенденции развития информационных технологий в текстильной науке и практике», Дмитровград, ДИТИ НИЯУ МИФИ, 2012;
- международной научно-технической конференции «Современные проблемы развития текстильной и легкой промышленности», Москва, МГУТУ им. К.Г. Разумовского, 2012;
- международной научно-технической конференции «Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности» (ПРОГРЕСС – 2012), Иваново, ИГТА, 2012;
- международной научно-технической конференции «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» (ТЕКСТИЛЬ–2012), Москва, ФГБОУ ВПО «МГТУ им. А.Н. Косыгина», 2012;
- международной научно-технической конференции «Современные наукоемкие технологии» (ПРОГРЕСС – 2013), Иваново, ИГТА, 2013;
- международной научно-технической конференции «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности», Москва, ФГБОУ ВПО «МГУДТ», 2013.

Публикации. По результатам исследований опубликовано 7 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 5 статей – в зарубежном издании «Fibre Chemistry»; подана заявка на патент РФ на изобретение; зарегистрирована программа для ЭВМ; представлено 10 докладов на научных конференциях.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, 4 глав с выводами, общих выводов по диссертационной работе, библиографического списка использованной литературы и приложений. Работа изложена на 161 странице машинописного текста, содержит 59 рисунков, 27 таблиц; библиографический список использованных литературных источников включает 98 наименований. Приложения представлены на 35 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлено обоснование выбора темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования, указаны методы исследования, раскрыты научная новизна и практическая значимость работы, перечислены публикации по теме диссертации.

В первой главе показана актуальность задачи получения защитных материалов с универсальными свойствами. Указаны требования и критерии, которым должны соответствовать такие материалы применительно к защитной одежде.

Проведен обзор сырья, используемого при производстве защитных изделий для работников опасных профессий (военнослужащих, оперативных сотрудников МЧС и др.). Анализ сырья показал, что самыми востребованными для получения защитных изделий выбранного назначения являются нити на основе пара- и метаарамидов, обладающие рядом уникальных физико-механических и эксплуатационных свойств (термо- и огнестойкостью, устойчивостью к действию химических реагентов, биостойкостью и др.). Основным преимуществом параарамидных материалов является повышенная прочность. Однако есть и недостатки: высокая цена и затруднительное окрашивание. Метаарамидные материалы не обладают высокой прочностью, но легко окрашиваются и имеют меньшую стоимость. Таким образом, поставлена задача получения нового материала путем комбинирования пара- и метаарамидного сырья.

В главе также дано обоснование выбора приблизительной структуры проектируемого материала, какой в упрощенном виде является неоднородная комбинированная нить. Кроме того, рассмотрены известные технологии получения комбинированных армированных нитей.

В заключительном разделе первой главы приведен обзор методов расчета прочности нитей различной структуры. Однако расчет прочности армированной нити требует особого подхода.

Вторая глава посвящена разработке структуры и технологии получения неоднородных комбинированных нитей. Выбрано и обосновано сырье для получения комбинированных нитей: за высокопрочную основу взята комплексная нить Русар-С производства ОАО «Каменскволокно» (г. Каменск-Шахтинский) (линейной плотности 14,3 и 29,4 текс), в качестве обкручивающего компонента – арселеновая пряжа производства ОАО «Кобринская прядильно-ткацкая фабрика Ручайка» (республика Беларусь) (линейной плотности 29,4 текс), имеющая схожие эксплуатационные характеристики. Нить Русар-С, обладая большим количеством положительных свойств, практически не восприимчива к операциям крашения; арселеновая пряжа, не имея высокой прочности, окрашивается хорошо. Совместное использование способствует удешевлению готовой нити, поскольку стоимость арселеновой пряжи, составляющей 80-90 % от состава комбинированной нити, значительно ниже, чем у нитей Русар-С.

В главе также показаны результаты испытаний нитей Русар-С и арселоновой пряжи по основным характеристикам. Исходные нити и пряжа имеют высокую неравновесность, что затрудняет их дальнейшую переработку в ткань.

Проведен анализ изобретений, относящихся к структуре существующих комбинированных нитей. Выявлены близкие прототипы и определены их недостатки. Предложена оптимальная структура неоднородной комбинированной нити, согласно которой стержневая нить Русар-С обкручивается арселоновой пряжей в двух противоположных направлениях с равным числом обкручиваний. Выбранная структура способствует достижению наилучших значений показателя неравновесности и хорошей окрашиваемости.

Представлен анализ оборудования, предназначенного для производства нитей предложенной структуры. Для наработки образцов выбрана машина Menegatto 1500/270/2003NG (Италия), установленная на ООО «ЮнайТекс» (г. Новомосковск Тульской обл.). Поскольку данная машина рассчитана на работу с эластомерным компонентом в качестве стержня, схема заправки была изменена.

В заключительном разделе второй главы проведен расчет натяжения, сообщаемого стержневому компоненту в процессе выработки комбинированных нитей (рис. 1). Указанный технологический параметр является одним из ключевых, поскольку именно он определяет структуру обкрученных нитей с прямолинейным расположением внутреннего компонента.

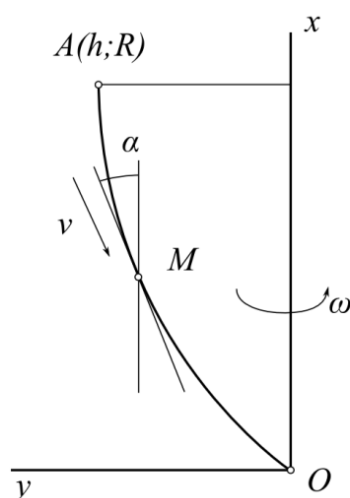


Рис. 1 – Схема баллона сматывания

На основе теории наматывания и сматывания гибкой нити получены уравнения движения стержневой нити. Постоянные интегрирования определяются из следующих уравнений:

$$R = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{C_1 C_2}{\mu}} \sin\left(\sqrt{\frac{\mu}{C_1}} \omega h\right), \quad l = \left(1 + \frac{C_2}{4}\right) h + \frac{C_2}{8\omega} \sqrt{\frac{C_1}{\mu}} \sin\left(2\sqrt{\frac{\mu}{C_1}} \omega h\right). \quad (1)$$

Найдены минимальное и максимальное значения натяжения, приведенные ниже.

$$T_{\min} = C_1 \cdot \left[1 + \frac{1}{2} \cdot \left(\sqrt{C_2} \cdot \cos \left(\sqrt{\frac{\mu}{C_1}} \cdot \omega \cdot h \right) \right)^2 \right], \quad (2)$$

$$T_{\max} = C_1 \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \cdot C_2 \right). \quad (3)$$

$$T_{\min} = 54,313 \text{ сН}, \quad T_{\max} = 259,177 \text{ сН}$$

Максимальное натяжение нити при сматывании почти линейно возрастает с увеличением частоты вращения веретен.

Третья глава посвящена исследованию неоднородных комбинированных нитей и анализу результатов эксперимента. Сначала были наработаны образцы комбинированных нитей двух ассортиментных позиций КР 14,3 + 2ПА 29,4 (комплексная нить Русар-С – 14,3 текс и арселоновая пряжа – 29,4 текс) и КР 29,4 + 2ПА 29,4 (комплексная нить Русар-С – 29,4 текс и арселоновая пряжа – 29,4 текс). Обкручивание производилось в двух противоположных направлениях в соответствии с пятью вариантами числа обкручиваний: 220, 290, 360, 430, 500 (обкр/м). Структура исследуемых нитей представлена на рис. 2: центральное положение занимает комплексная нить Русар-С (1), которую обкручивает арселоновая пряжа сначала в направлении по часовой стрелке Z (2), образуя внутренний слой обмотки, а затем – в противоположном направлении S (3), образуя внешний слой обмотки.

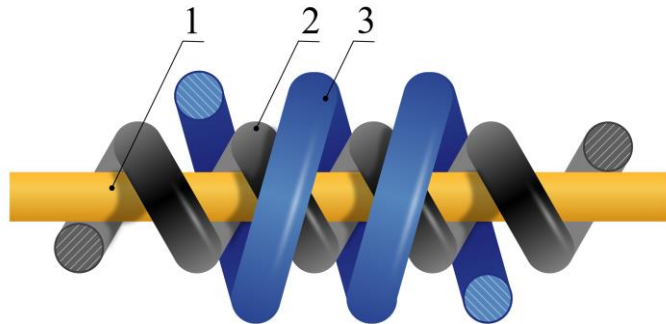


Рис. 2 – Структура комбинированной нити

Полученные образцы были подвергнуты испытаниям по основным показателям в соответствии с методиками, приведенными в ГОСТах. Результаты показали, что оптимальное число обкручиваний, при котором наблюдаются наилучшие показатели неравновесности – 360 обкр/м.

Определив оптимальное число обкручиваний, наработали образцы тканых лент (с использованием позиции КР 29,4 + 2ПА 29,4) трех вариантов плотности по утку (90, 95 и 100 нитей/10 см) на ткацком ленточном бесчелночном станке (ТЛБ), установленном на ООО «Техноткани» (Москва). Полученные образцы окрасили в

зеленый цвет, после чего провели испытание на устойчивость окраски к свету. Результат оценили в 3-4 балла, что является удовлетворительным.

Устойчивость тканых лент к истиранию по плоскости находится в следующих пределах: 21252 – 27518 циклов в зависимости от плотности ткани по утку (плотность по основе была одинаковой); чем больше плотность, тем выше исследуемый показатель. Оказалось, что тканые ленты истираются преимущественно по основе, уточные нити повреждаются меньше. Связано это с тем, что в процессе выработки нити утка натянуты больше, и уработка ткани происходит за счет нитей основы, которые, выступая на поверхность ленты, истираются быстрее.

Для образца тканой ленты с плотностью по утку 90 нитей/10 см были проведены испытания на прочность на разрывной машине TIRAtest-2200, установленной в ОАО «Инновационный научно-производственный центр текстильной и легкой промышленности». Средние значения разрывной нагрузки составили 1870,4 и 1311,1 Н по основе и по утку соответственно; средние значения удлинения при разрыве – 29,28 и 11,56 % по основе и по утку соответственно.

В ходе исследований заказчиком было отмечено, что полученные тканые ленты обладают повышенной жесткостью и плохой драпируемостью, в связи с чем встал вопрос о снижении линейной плотности комбинированных нитей. В качестве нового обкручивающего компонента была взята пряжа (также из волокон Арселон-С) линейной плотности 25 текс производства VUB a.s. (Чехия), а в качестве стержневого – нить Русар-С линейной плотности 14,3 текс. Полученная комбинированная нить имеет меньшую жесткость, чем предыдущие две позиции, что позволяет прогнозировать меньшую жесткость и лучшую драпируемость ткани, вырабатываемой из нее.

Поскольку для защитной одежды важен показатель износостойкости, были проведены испытания комбинированных нитей на устойчивость к самоистиранию. Исследования показали, что сначала разрушается стержневой компонент, а затем – обкручивающий. Объясняется это тем, что нить Русар-С находится под большим натяжением, чем арселоновая пряжа, при этом истирание происходит в поперечном направлении, в котором комплексная нить оказывается хрупкой. В то же время обкручивающий компонент благодаря своей структуре и углу, под которым он истирается, оказывается более устойчивым. Отмечено, что с увеличением числа обкручиваний, исследуемый показатель возрастает.

Одной из важнейших характеристик нитей, применяемых для изготовления тканей, является жесткость при изгибе. Данный показатель оказывает существенное влияние на процесс выработки тканых полотен и дальнейшую эксплуатацию изделий из них. В заключительном разделе третьей главы проведено исследование жесткости при изгибе H неоднородных комбинированных нитей (рис. 3). Методами нелинейной механики упругой нити получены уравнения изгиба комбинированной нити; дан корректный, отличающийся от всех известных, способ определения жесткости при изгибе, проведен расчет жесткостных характеристик неоднородных нитей.

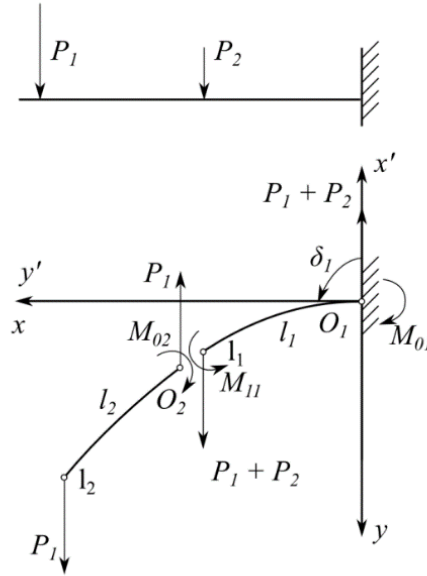


Рис. 3 – Изгиб нити двумя сосредоточенными силами

$$k_1 \sin \alpha_{01} = 0,707, \quad (4)$$

$$\int_0^{\alpha_{01}} \frac{d\alpha}{\sqrt{1-k_1^2 \sin^2 \alpha}} - \int_0^{\alpha_{01}} \frac{d\alpha}{\sqrt{1-k_1^2 \sin^2 \alpha}} = \sqrt{\frac{(P_1 + P_2)l_1^2}{H}}, \quad (5)$$

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\alpha}{\sqrt{1-k_2^2 \sin^2 \alpha}} - \int_0^{\alpha_{02}} \frac{d\alpha}{\sqrt{1-k_2^2 \sin^2 \alpha}} = \sqrt{\frac{P_1 l_2^2}{H}}, \quad (6)$$

$$k_2 \cos \alpha_{02} = k_1 \cos \alpha_{11}, \quad (7)$$

$$k_2 \sin \alpha_{02} = k_1 \sin \alpha_{11}, \quad (8)$$

α , k – параметры эллиптических интегралов 1-го и 2-го рода.

Жесткость комбинированной нити $H_1 = 8,087 \text{ сН} \cdot \text{мм}^2$.

Четвертая глава посвящена разработке теории прочности неоднородных обкрученных нитей, а также исследованию распределения обкручивающего компонента комбинированной нити по поверхности стержневого компонента.

При разработке технических тканей, в частности для изготовления защитной одежды, ведущая роль отводится проектированию прочности составляющих ее нитей.

Обозначим деформацию центрального прямолинейного высокомодульного компонента Русар-С неоднородной нити ε_0 . Угол подъема винтовой линии (оси арселоновой пряжи l), т.е. угол между касательной к винтовой линии и образующей цилиндра, равен α . Тогда деформация осевой линии l запишется в виде:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_0 \cos^2 \alpha. \quad (9)$$

Диаметры обеих арселоновых прях одинаковы; при обкручивании они располагаются под одинаковыми углами к оси нити, поэтому $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$.

Выразим деформации через силы. На испытательной машине STATIGRAPH L записаны диаграммы растяжения обоих компонентов (рис. 4 и 5).

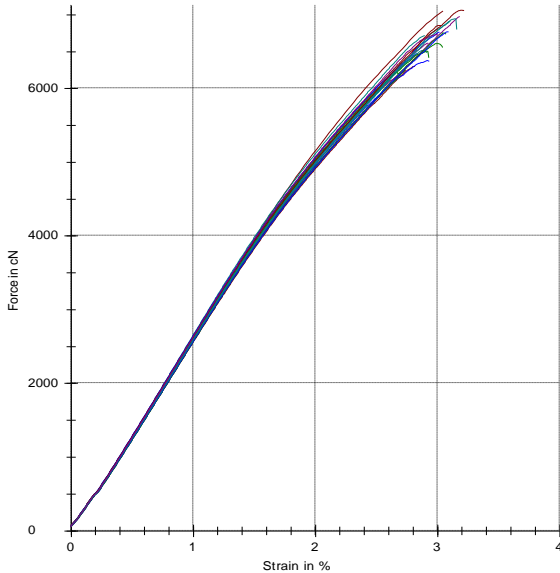


Рис. 4 – Диаграмма растяжения нити
Русар-С 29,4 текс

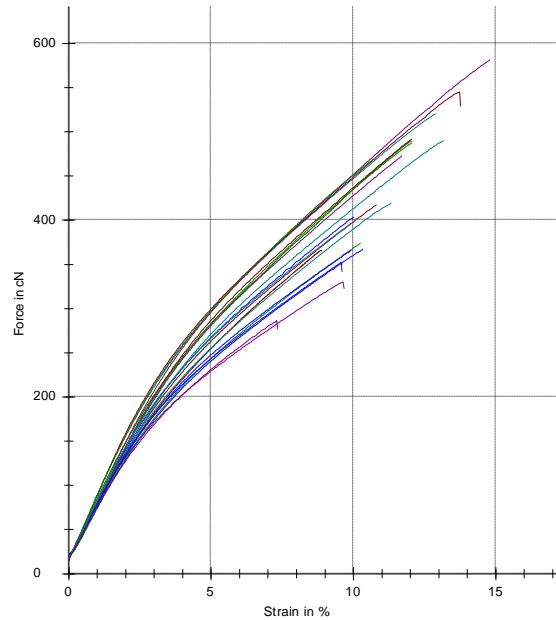


Рис. 5 – Диаграмма растяжения арсело-
новой пряжи 29,4 текс

Из рис. 4 и 5 видно, что кривые растяжения нелинейны. При этом у высокомодульного компонента Русар-С небольшая нелинейность наблюдается лишь в области разрушения в отличие от пряжи, где отклонения от линейности возникают уже после деформации, равной 2 %. В работе показано, что в момент разрыва деформация арселоновой пряжи $\varepsilon_1 = 0,021$. В этих условиях и для низкомодульного компонента можно принять закон Гука. Если обозначить $(EF)_i$ – жесткость нити при растяжении и T_i – натяжение, можно записать:

$$\varepsilon_0 = \frac{T_0}{(EF)_0} \text{ и } \varepsilon_1 = \frac{T_1}{(EF)_1}.$$

Тогда в соответствии с (9) имеем:

$$\frac{T_1}{(EF)_1} = \frac{T_0}{(EF)_0} \cos^2 \alpha.$$

Введем обозначения: отношение жесткостей $e = \frac{(EF)_1}{(EF)_0}$, натяжение нити в момент обрыва, т.е. прочность, P_* . Теперь напишем уравнение равновесия системы

$$P_* = T_{0*} + 2T_1 \cos \alpha$$

или

$$P_* = T_{0*} (1 + 2e \cos^3 \alpha). \quad (10)$$

При числе обкручиваний от 220 до 360 обкр/м наблюдается увеличение прочности, далее следует ее уменьшение. Расчеты по формуле (10) дают монотонное уменьшение прочности от максимума при $\alpha = 0$.

В работе предлагается гипотеза о блокировке слабых мест при увеличении контактной нагрузки.

В основе одной из статистических теорий прочности лежит гипотеза слабого звена. Элементарная нить предполагается составленной из большого числа структурных элементов, каждый из которых имеет свою прочность. Разрушение элементарной нити в целом происходит тогда, когда выходит из строя хотя бы один структурный элемент. Разрыв элементарной нити отождествляется с разрушением цепи, звенья которой имеют различную прочность. Прочность цепи равна прочности наислабейшего звена. Прочность элементарной нити длины l определяется прочностью ее наиболее слабого дефектного места. Так как дефекты в элементарной нити располагаются случайным образом, то и прочность элементарной нити является случайной величиной.

Для расчета на прочность основной интерес представляет возможность надежной экстраполяции кривых в сторону низких значений прочности с очень малой вероятностью появления. Для того чтобы с достаточной достоверностью получить отрезки кривой распределения, относящиеся к малым вероятностям, нужно располагать числом испытаний, во много раз превышающим реальные возможности эксперимента. Тогда реальная надежная экстраполяция эмпирических данных в область малых вероятностей возможна лишь при условии, если из каких-либо теоретических соображений известны асимптотические свойства распределения. К таким статистическим теориям прочности принадлежит теория, в основе которой лежит гипотеза слабого звена.

Распределение нити по прочности записывается в виде:

$$\Phi = 1 - \exp \left[-\frac{l}{l_0} \left(\frac{\sigma - \sigma_0}{\sigma_w} \right)^\alpha \right]. \quad (11)$$

Формула (11) обычно называется распределением Вейбулла. Фактически она содержит три константы, а выделение характерной длины l_0 предоставляет определенные удобства для решения конкретных задач; это может быть длина стандартного образца при испытаниях. Параметр распределения σ_w характеризует модальное значение прочности, а параметр α определяет структурные особенности материала. В действительности определение трех констант по данным эксперимента приводит к неустойчивым результатам. В этом случае после дифференцирования (11) находим плотность распределения

$$\varphi(l, \sigma) = \frac{l\alpha}{l_0\sigma_w} \left(\frac{\sigma}{\sigma_w}\right)^{\alpha-1} \exp\left[-\frac{l}{l_0} \left(\frac{\sigma}{\sigma_w}\right)^\alpha\right]. \quad (12)$$

Среднюю прочность определяем по формуле

$$\bar{\sigma} = \alpha \int_0^\infty \frac{l}{l_0} \left(\frac{\sigma}{\sigma_w}\right)^\alpha \exp\left[-\frac{l}{l_0} \left(\frac{\sigma}{\sigma_w}\right)^\alpha\right] d\sigma.$$

В результате преобразований для средней прочности получаем:

$$\bar{\sigma} = \sigma_w \left(\frac{l_0}{l}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right). \quad (13)$$

Выражение для дисперсии прочности имеет вид:

$$D = \sigma_w^2 \left(\frac{l_0}{l}\right)^{2/\alpha} \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \right]. \quad (14)$$

Коэффициент вариации находим по формуле

$$C = \sqrt{\frac{\Gamma(1 + 2/\alpha)}{\Gamma^2(1 + 1/\alpha)} - 1}. \quad (15)$$

Вычислим параметры распределения Вейбулла для стержневой нити Русар-С линейной плотности 29,4 текс. Среднее значение и дисперсия равны 66,72 и 2,60 Н соответственно. В формулах (14) и (15) заменим напряжения σ на силу P , соответственно параметр σ_w на P_w . Решая систему (14), (15), получим $\bar{P}_w = 72,775$ и $\alpha = 4,871$. Формула (13) при указанной замене символов

$$\bar{P} = P_w \left(\frac{l_0}{l}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

позволяет определить среднюю прочность при любой длине l при известной зажимной длине образца $l_0 = 500,2$ мм.

Расчеты с учетом гипотезы о блокировке слабых мест внутри нити при увеличении контактной нагрузки обнаруживают экстремальный характер прочности комбинированной нити.

Для выявления возможности окрашивания комбинированной нити, обкручивающий компонент которой окрашивается хорошо, а стержень – затруднительно, целесообразно применять два подхода. Первый позволяет оценить площадь, занимаемую обкручивающим компонентом на проекции комбинированной нити на плоскость (например, на фотографии). Такой расчет можно выполнить с помощью графической компьютерной программы. Использование данного способа дает представление о том, насколько комбинированная нить окрасится количественно.

Второй подход заключается в геометрическом подсчете той площади поверхности стержневого компонента (нити Русар-С), которая закрыта обкручивающим компонентом (арселоновой пряжей) по всей поверхности комбинированной нити (рис. 6).

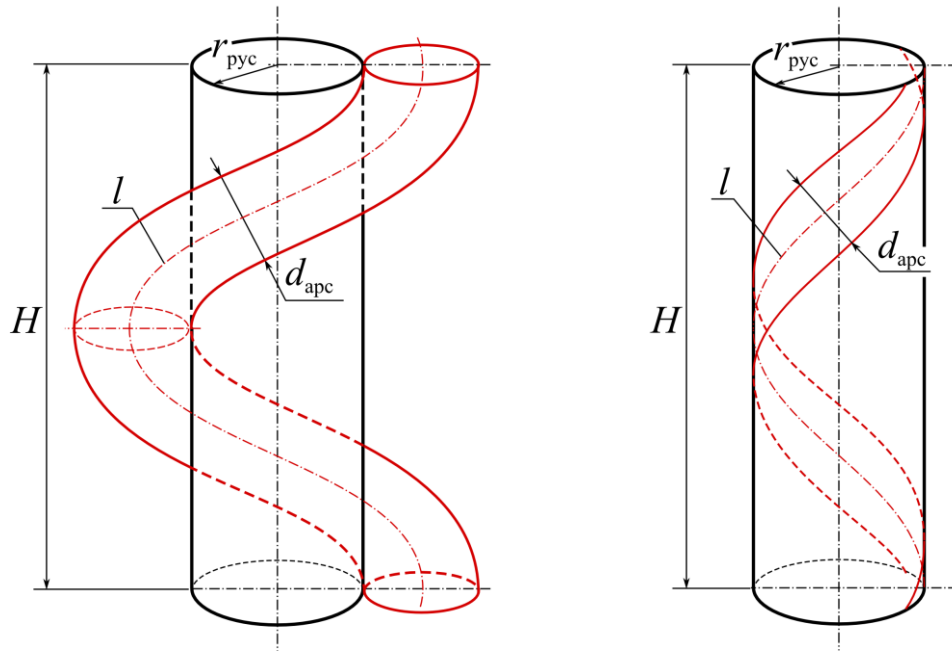


Рис. 6 – Модель расположения стержневого и обкручивающего компонентов друг относительно друга

В результате работы над данным подходом была выведена формула для расчета указанной площади:

$$S_{\text{покр}} = 2 \cdot S_{\text{арс}} - 2 \cdot S_{\text{пер}} = 2 \cdot d_{\text{арс}} \cdot \sqrt{4\pi^2 r_{\text{рус}}^2 + H^2} - \frac{2 \cdot d_{\text{арс}}^2 \cdot (H^2 + 4\pi^2 r_{\text{рус}}^2)}{4\pi r_{\text{рус}} \cdot H}, \quad (16)$$

где $S_{\text{покр}}$ – площадь поверхности нити Русар-С, закрытая арселоновой пряжей в пределах одного шага, мм²;

$S_{\text{арс}}$ – площадь поверхности нити Русар-С, закрытая арселоновой пряжей в рамках одного шага (при одинарном обкручивании), мм²;

$S_{\text{пер}}$ – площадь одного перекрытия витков внешнего и внутреннего слоев обкручивающего компонента (в пределах одного шага таких перекрытий два), мм²;

$d_{\text{арс}}$ – диаметр обкручивающего компонента (арселоновой пряжи), мм;

$r_{\text{рус}}$ – радиус стержневого компонента (комплексной нити Русар-С), мм;

H – шаг обкручивания (расстояние между соседними витками арселоновой пряжи), мм.

Для того чтобы узнать, какой процент от общей площади поверхности нити Русар-С составляет рассчитанная площадь покрытия, используется следующее отношение:

$$\Delta = \frac{S_{\text{покр}}}{S_{\text{рус}}} \cdot 100 = \left(\frac{d_{\text{арс}} \cdot \sqrt{4\pi^2 r_{\text{рус}}^2 + H^2}}{\pi r_{\text{рус}} \cdot H} - \frac{d_{\text{арс}}^2 \cdot (4\pi^2 r_{\text{рус}}^2 + H^2)}{4\pi^2 r_{\text{рус}}^2 \cdot H^2} \right) \cdot 100, \quad (17)$$

где $S_{\text{рус}}$ – площадь поверхности комплексной нити Русар-С, мм².

Для оценки распределения обкручивающего компонента комбинированной нити по поверхности стержневого написана программа на языке С++ (объем – 35 Кб). Пример работы программы представлен на рис. 7.

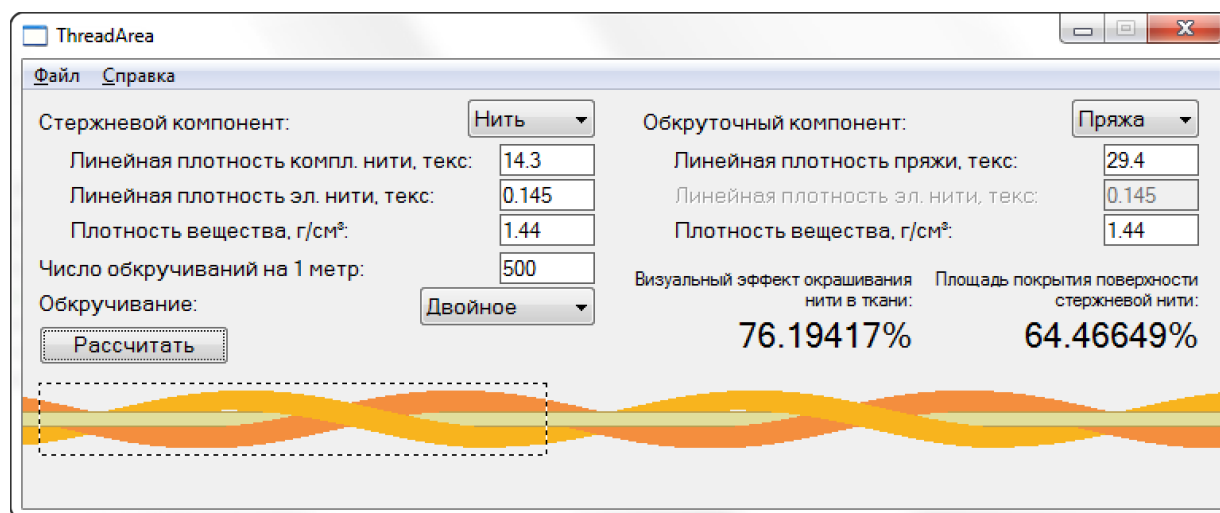


Рис. 7 – Пример расчета для позиции КР 14,3 + 2ПА 29,4

Данная программа позволяет вычислять площадь поверхности стержневого компонента, закрытую обкручивающим, в зависимости от основных характеристик сырья (линейная плотность комплексной нити (пряжи), линейная плотность элементарной нити в составе комплексной, плотность вещества) и выбранного числа обкручиваний. Кроме того, программа визуализирует комбинированную нить и рассчитывает по проекции нити на плоскость, какой процент от общей площади готовой нити занимает обкручивающий компонент, что соответствует реализации первого подхода к оценке окрашиваемости. Рассматриваемый показатель очень важен, поскольку стержневой компонент исследуемых нитей не окрашивается общеизвестными доступными красителями, а обкручивающий компонент хорошо поддается отделочным операциям.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Разработана и реализована технология комбинированной нити с внутренним прямолинейным сердечником и двумя оплеточными компонентами; определены геометрические, скоростные и силовые факторы, обеспечивающие формирование неоднородной комбинированной нити с заданными свойствами.

2. Разработана новая теория прочности неоднородной обкрученной нити с учетом механизма разрушения как отдельных ее компонентов, так и нити в целом, основанная на концепции наислабейшего звена в современных теориях механики деформируемого твердого тела.
3. Предложена гипотеза о блокировке слабых мест стержневой нити возрастающей контактной нагрузкой при нагружении комбинированной нити, в соответствии с которой прочность нити носит экстремальный характер.
4. Разработана оптимальная в смысле успешной дальнейшей переработки структура неоднородной комбинированной нити.
5. На основе теории наматывания и сматывания гибкой нити получены уравнения движения стержневой нити; проведен расчет натяжения, определяющего структуру комбинированных нитей с прямолинейным расположением внутреннего компонента.
6. Методами нелинейной механики упругой нити получены уравнения изгиба комбинированной нити; дан корректный, отличающийся от всех известных, способ определения жесткости при изгибе, проведен расчет жесткостных характеристик неоднородных нитей.
7. На ткацком бесчелночном станке выработаны ленты ткани с заданными свойствами из исследуемых комбинированных нитей в качестве основы и утка.
8. Основные свойства комбинированных нитей: высокая прочность, термо- и огнестойкость, устойчивость к действию химических реагентов, устойчивость окраски к свету, оцениваемая в 3 и более баллов, возможность беспроблемной отделки и крашения являются достаточными для проектируемого материала.
9. Для исследуемых неоднородных комбинированных нитей разработан проект технических условий ТУ-4798-001-02066457-2014 (Нити обкрученные комбинированные); подана заявка № 2013158436 от 27.12.2013 на патент РФ на изобретение (Комбинированная нить и способ ее получения).
10. Для вычисления площади поверхности стержневой нити, закрытой обкручивающим компонентом, написана программа для ЭВМ (свидетельство о государственной регистрации № 2014614489 от 25.04.2014).

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Благушина, Е.В. Разработка структуры и технологии получения неоднородных нитей для технических изделий / Е.В. Благушина // 63-я межвузовская научно-техническая конференция «Студенты и молодые ученые КГТУ – производству»: матер. конф. – Кострома, 2011. – ч. 2, С. 50-51.
2. Благушина, Е.В. Новый вид нитей технического назначения / Е.В. Благушина // Всероссийская научная конференция молодых ученых «Инновация молодежной науки»: матер. конф. – СПб., 2011. – ч. 4, С. 243.
3. Благушина, Е.В. Structure and technology of complex threads for technical applications / Е.В. Благушина, Л.Н. Селезнева // Научно-практическая конференция аспирантов университета (МГТУ им. А.Н. Косыгина) на иностранных языках: матер. конф. – М., 2011. – С. 12.

4. Благушина, Е.В. Получение неоднородных нитей для создания материалов с набором специальных свойств / Е.В. Благушина, В.А. Родионов // Международная научно-техническая конференция «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» (ТЕКСТИЛЬ – 2011): матер. конф. – М., 2011. – С. 28.
5. Благушина, Е.В. К вопросу о тенденциях развития технологии получения защитных материалов / Е.В. Благушина, В.А. Родионов // Всероссийская научно-техническая конференция «Современные тенденции развития информационных технологий в текстильной науке и практике»: матер. конф. – Дмитровград, 2012. – С. 29-33.
6. Благушина, Е.В. Исследование устойчивости нитей технического назначения к истирающим нагрузкам / Е.В. Благушина, В.А. Родионов, В.Л. Тарасов // Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы развития текстильной и легкой промышленности»: матер. конф. – М., 2012. – кн. 1, С. 5-7.
7. Благушина, Е.В. Исследование истираемости неоднородных нитей для специальных изделий / Е.В. Благушина, В.А. Родионов // Международная научно-техническая конференция «Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности» (ПРОГРЕСС – 2012): матер. конф. – Иваново, 2012. – ч. 1, С. 31-32.
8. Благушина, Е.В. Использование комбинированных нитей для изготовления высокопрочных тканей / Е.В. Благушина, В.А. Родионов // Международная научно-техническая конференция «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» (ТЕКСТИЛЬ–2012): матер. конф. – М., 2012. – ч. 1, С. 17.
9. Благушина, Е.В. Получение оптимальной структуры комбинированной нити специального назначения / Е.В. Благушина // Международная научно-техническая конференция «Современные наукоемкие технологии» (ПРОГРЕСС – 2013): матер. конф. – Иваново, 2013. – ч. 1, С. 89-90.
10. Благушина, Е.В. Исследование механических свойств комбинированных нитей технического назначения / Е.В. Благушина, В.А. Родионов // Международная научно-техническая конференция «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности»: матер. конф. – М., 2013. – С. 14-15.
11. Родионов, В.А. Разработка оптимальных технологических параметров получения комбинированных обкрученных нитей / В.А. Родионов, Е.В. Благушина // Химические волокна. – 2013. – № 2. – С. 38-40.
12. Родионов, В.А. Оценка прочностных характеристик шовного соединения технических изделий, выполненного комбинированными швейными нитками / В.А. Родионов, Е.В. Благушина, М.С. Дориомедов // Химические волокна. – 2013. – № 3. – С. 51-55.
13. Родионов, В.А. Влияние натяжения на прочностные характеристики швейных ниток / В.А. Родионов, Е.В. Благушина, М.С. Дориомедов // Химические волокна. – 2013. – № 4. – С. 35-37.
14. Благушина, Е.В. Оптимизация структуры и технологии получения комбинированных обкрученных нитей / Е.В. Благушина, В.А. Родионов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013. – № 5. – С. 33-36.

15. Благушина, Е.В. Расчет прочности комбинированных нитей / Е.В. Благушина, В.А. Родионов, А.Б. Сидоров // Химические волокна. – 2014. – № 3. – С. 54-57.
16. Благушина, Е.В. Расчет площади поверхности стержневого компонента комбинированной нити, занимаемой обкручивающим компонентом / Е.В. Благушина, В.А. Родионов, А.Б. Сидоров, Б.Ю. Денисов, М.В. Шаблыгин // Химические волокна. – 2014. – № 6. – С. 57-60.
17. Благушина, Е.В. Расчет линейной плотности обкрученных комбинированных нитей / Е.В. Благушина, В.А. Родионов, А.Б. Сидоров, Г.Б. Склярова // Химические волокна. – 2015. – № 2. – С. 58-61.
18. Rodionov, V. A. Developing optimum process parameters for the production of twisted combination fibers / V. A. Rodionov, E. V. Blagushina // Fibre Chemistry. – 2013. – Vol. 45. – № 2. – P. 98-100.
19. Rodionov, V. A. Determination of strength properties of sewing seams in technical articles produced by combined sewing threads / V. A. Rodionov, E. V. Blagushina, M. S. Doriomedov // Fibre Chemistry. – 2013. – Vol. 45. – № 3. – P. 175-179.
20. Rodionov, V. A. Effect of Tension on Strength Characteristics of Sewing Threads / V. A. Rodionov, E. V. Blagushina, M. S. Doriomedov // Fibre Chemistry. – 2013. – Vol. 45. – № 4. – P. 224-226.
21. Blagushina, E. V. Calculation of the Strength of Combined Filaments / E. V. Blagushina, V. A. Rodionov, A. B. Sidorov // Fibre Chemistry. – 2014. – Vol. 46. – № 3. – P. 194-197.
22. Blagushina, E. V. Calculation of the Area That the Enveloping Component of a Combination Fiber Occupies on the Surface of the Rod-Shaped Component / E. V. Blagushina, V. A. Rodionov, A. B. Sidorov, B. Yu. Denisov, M.V. Shablygin // Fibre Chemistry. – 2014. – Vol. 46. – № 6. – P. 388-391.

Денисова Екатерина Валерьевна

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ
НЕОДНОРОДНЫХ НИТЕЙ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Усл.-печ. 1,0 п.л. Тираж 80 экз. Заказ № _____
Информационно-издательский центр МГУДТ
117997, г. Москва, ул. Садовническая, 33, стр. 1
Тел/факс (495) 506 72 71
e-mail: rfrost@yandex.ru

Отпечатано в ИИЦ МГУДТ