

Платонова Татьяна Львовна

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫТЯГИВАНИЯ ШВЕЙНЫХ
НИТОК С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РАЗРЫВНЫХ УСИЛИЙ**

Специальность 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы
(текстильная и легкая промышленность)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»

- Научный руководитель: **Энтин Виталий Яковлевич**
доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», профессор кафедры автоматизации производственных процессов
- Официальные оппоненты: **Рымкевич Павел Павлович**
доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования "Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского" Министерства обороны РФ, профессор кафедры физики
- Волков Владимир Васильевич**
кандидат технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный технологический университет» профессор, заведующий кафедрой автоматизации и управления
- Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет», г. Иваново

Защита диссертации состоится 7 июня 2022 г. в 13:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.236.06 на базе ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», по адресу 191186, г.Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.18, ауд. 437.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» по адресу: 190068, Санкт-Петербург, Вознесенский пр., д. 46, <http://www.sutd.ru>.

Автореферат разослан «__» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д.212.236.06
кандидат технических наук

Васильева Елизавета Константиновна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Изготовление швейных ниток является важной составляющей производств текстильной и легкой промышленности. Ниточный способ соединения деталей в настоящее время является основным в технологических процессах изготовления швейных изделий. Поэтому, к качеству ниток предъявляются высокие требования. Основным из них является минимальная обрывность при пошиве изделий.

Частота обрывов нити при заданной статической прочности зависит от стабильности натяжения в зоне петлеобразования. Если натяжение в этой зоне изменяется, проявляется в виде рывков с амплитудами близкими к предельным величинам, то частота обрывов при этом увеличится. Причиной такой нестабильности натяжения является структурная неоднородность нити и её недостаточная вытяжка перед применением.

При использовании вытянутой нити в зону шитья поступает нить с натяжением и количеством, соответствующими заданным параметрам шва. В случае же невытянутой нити под действием усилия от иглы в случайные моменты времени в зону шитья поступает дополнительное количество нити с меньшим натяжением. В результате этого в зоне шитья резко падает натяжение нити, а следовательно, и силовая нагрузка на иглу. Падение нагрузки приводит к возникновению на игле не расчетных ускорений, появляются дополнительные динамические нагрузки на нить, приводящие к обрывам, пропуску стежков и к снижению качества шва. В итоге ухудшается качество изделий, растет количество брака и уменьшается производительность швейного производства.

В связи с этим в настоящее время являются актуальными задачи совершенствования процессов и механизмов вытягивания швейных ниток с учетом неоднородной структуры нити и исследования с целью определения разрывных характеристик для вытягиваемых швейных ниток.

Объект исследования – армированные швейные нитки марок 45 ЛЛ-вк и 65 ЛЛ-вк.

Предмет исследования – управляемый процесс вытягивания исследуемых марок швейных ниток.

Целью диссертационной работы является разработка и исследование системы вытягивания швейной нити с учетом линейной неоднородности ее структуры и плотности.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие основные задачи:

1. Разработана автоматическая система перематывания нити с постоянной линейной скоростью с целью вытягивания при стабилизируемом натяжении с учетом линейной структурной неоднородности нити и изменяющихся массовых и геометрических характеристик приемной бобины.

2. Выполнен расчет динамики системы перематывания, обеспечивающий устойчивые процессы стабилизации натяжения и скорости приема нити на бобину при действии на систему возмущений, обусловленных проявлением эффектов от структурной неоднородности вытягиваемой нити. Расчет включал решение следующих задач: разработка математической модели системы; решение задачи параметрического синтеза системы; разработка алгоритмов для оптимизации запаса устойчивости системы, обеспечивающих устойчивую работу системы при действии возмущений, обусловленных структурной неоднородностью нити; разработка программы для численного моделирования управления процессами вытягивания нити с учетом изменяющихся геометрических и массовых характеристик приемной бобины.

3. Выполнены экспериментальные исследования прочностных характеристик вытягиваемых швейных ниток с целью определения разрывных усилий, необходимых для разработки исследуемой системы вытягивания нити.

4. Разработана программа для численного сопровождения на ЭВМ процесса вытягивания нити с целью формирования в реальном масштабе времени управляющих воздействий, обеспечивающих приём нити на бобину с постоянной линейной скоростью при изменяющемся радиусе бобины и действующих возмущений, обусловленных структурной неоднородностью нити.

5. Выполнены исследования скоростных возможностей алгоритмов управления для численного сопровождения процесса наматывания нити на бобину с целью её вытягивания.

Научная новизна работы

1. Впервые получены результаты экспериментальных исследований по определению разрывных усилий, обеспечивающих возможность максимального вытягивания исследуемой нити с целью устранения линейной структурной неоднородности.

2. Впервые предложена и экспериментально реализована предпосылка о наличии зоны «выстоя» в задаче определения разрывных усилий.

3. Разработаны методика, алгоритмы и программа для автоматизации решения задач параметрического синтеза на ЭВМ систем, обеспечивающих устойчивые процессы вытягивания при действии возмущений, обусловленных наличием структурной неоднородности нити.

4. Разработаны оригинальные методика, программы и алгоритмы для численного сопровождения на ЭВМ процессов управления, с учетом изменяющихся массы и радиуса приемной бобины в процессе перематывания нити с целью вытягивания;

Практическая значимость и реализация результатов работы

1. Практическая значимость результатов исследований состоит в том, что разработанные методики, алгоритмы и программы вследствие высокой эффективности целесообразно использовать при проектировании промышленных образцов систем вытягивания нитей для предприятий текстильной и легкой промышленности.

2. Результаты и методику экспериментальных исследований можно применять для получения информации о предельных удлинениях и разрывных усилиях для других марок швейных ниток.

3. Данные о разрывных усилиях швейных ниток могут применяться в качестве исходных данных при проектировании динамических характеристик швейных машин.

4. Результаты решения задачи параметрического синтеза в работе представлены расчетными данными шести вариантов элементов систем для практического применения в качестве исходных данных для проектирования промышленных образцов систем вытягивания нити.

5. Полученные результаты исследований применяются для учебного процесса в виде учебных и методических пособий для курсового и дипломного проектирования по направлениям подготовки 15.03.04 и 15.04.04.

Теоретическая значимость работы

1. Разработана математическая модель системы вытягивания нити, отличающаяся возможностью стабилизации силы вытягивания при действии на процесс возмущений, обусловленных структурной неоднородностью вытягиваемой нити.

2. Получены результаты, свидетельствующие о возможности существенного ослабления влияния структурной неоднородности за счет увеличения запаса устойчивости системы вытягивания.

3. Разработана методика для численного расчета на ЭВМ в реальном времени управляющих воздействий для учета изменяющихся массы и радиуса приемной бобины в процессе перематывания нити с целью вытягивания.

4. Разработана исходная предпосылка, обеспечивающая возможность для экспериментальных исследований с целью определения разрывных характеристик исследуемых нитей.

Достоверность полученных результатов обусловлена обоснованностью и применением исходных теоретических положений, содержащихся в теории управления, математического анализа, программирования и компьютерного моделирования.

Для подтверждения результатов теоретических предпосылок выполнялись экспериментальные исследования, позволившие существенно снизить степень неопределенности в определении разрывных усилий.

Теоретические исследования, содержащие результаты параметрического синтеза и оптимизации запаса устойчивости проверены посредством численного моделирования процессов вытягивания с учетом действующих возмущений.

Скоростные возможности численного сопровождения на ЭВМ процессов вытягивания, обеспечивающие синхронный расчет управляющих воздействий оценены посредством хронометрирования.

Личный вклад автора. На всех этапах выполнения работы автор под руководством научного руководителя принимал личное участие в разработке стратегии исследований, формулировании и выполнении экспериментов, обсуждении полученных результатов, формулировании и проверке гипотез и выводов, подготовке материалов для публикаций совместно с соавторами.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались на всероссийских и международных научно-технических конференциях: 11-я Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы информатизации в науке и образовании», г. Москва, Зеленоград 2018 г.; Международный Косыгинский форум МНТС Вторые Международные Косыгинские чтения «Энергоресурсоэффективные экологически безопасные технологии и оборудование», г. Москва 2019 г.; Международная научно-техническая конференция «LightConf 2021», г. Санкт-Петербург 2021 г.; II Международная научная конференция «Инновационные направления развития науки о полимерных волокнистых и композиционных материалах» г. Санкт-Петербург, 2021 г. Получен акт апробации в производственных условиях АО «ПНК «Красная Нить».

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 11 научных работах, в том числе 7 статей в научных журналах из «Перечня ...» ВАК РФ и SCOPUS и 4 тезиса докладов на конференциях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы (65 наименований), 2 приложений. Работа изложена на 120 страницах без учета приложений, включает 42 рисунка и 10 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана краткая характеристика диссертационной работы, обоснована её актуальность, показаны научная новизна и практическая значимость.

В первой главе рассмотрен ассортимент швейных ниток, а также известные технологии вытягивания. Проведен анализ актуальности производства синтетических волокон и обоснован выбор армированных полиэфирных ниток. На основании проведенных обзоров выявлена необходимость разработки системы с механизмом обеспечения стабилизации разрывного удлинения и увеличения степени вытяжки ниток для снижения линейной структурной неоднородности.

Во второй главе представлены методика и результаты экспериментальных исследований для определения величины растягивающей силы, обеспечивающей максимальную величину вытягивания. В качестве объектов исследования выбраны армированные швейные нитки марок 65 ЛЛ-bk, 45 ЛЛ-bk.

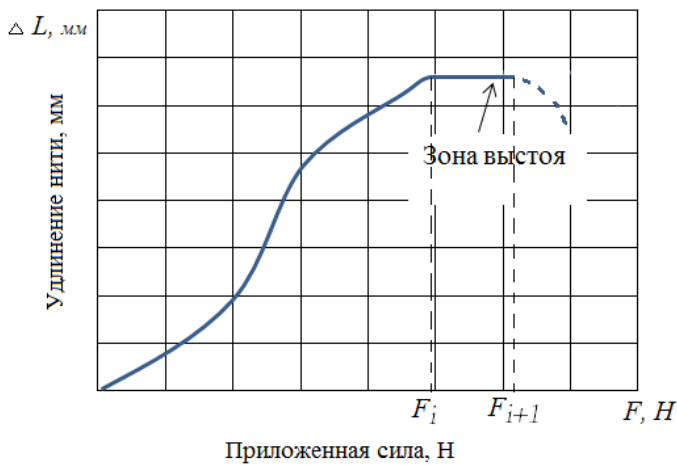


Рисунок 1 – Предполагаемая кривая растяжения нити с «зоной выстоя»

никнет такая ситуация, когда в образце не останется неиспользованных для вытягивания структурных неоднородностей. В этом случае при очередном увеличении нагрузки на испытуемый образец, заметного увеличения величины в сравнении с величиной не произойдет. Точка i на рисунке 1 для данного образца будет являться началом так называемой «зоны выстоя». Концом этой зоны будет точка $i+1$ на графике, соответствующая нагрузке близкой к нагрузке разрыва образца. Очевидно, что для данного образца искомой величиной является нагрузка, соответствующая началу «зоны выстоя».

В результате экспериментальных исследований подтверждена теоретическая предпосылка о наличии «зоны выстоя» в графике кривой зависимости упругой деформации нити перед напряжением, соответствующем её разрыву. Полученные данные разрывных характеристик позволили определить величины нагрузки для настройки проектируемой системы вытягивания ниток.

В третьей главе представлен материал исследований, относящихся к решению задачи аналитического проектирования, включающей: разработку функциональной схемы системы вытягивания нити; получение математической модели системы, обеспечивающую возможность проектирование процессов перематывания нити с постоянной линейной скоростью и необходимым для вытягивания нити натяжением; параметрический синтез системы для обеспечения устойчивой работы системы с заданными показателями качества.

В большинстве известных устройств вытягивание нити реализуется за счет разности линейных скоростей нити, сходящей с подающего устройства, например шкива и приема нити на бобину (рисунок 2): $\Delta V = V_2 - V_1$, где $V_1 = \omega_1 r_1$ - линейная скорость нити, сходящей с подающего барабана при намотке нити, $V_1 = const$; $V_2 = \omega_2(t) r_2(t)$ - линейная скорость приема нити на бобину. На рисунке 2 обозначено: D_1, D_2 – электродвигатели, обеспечивающие вращения шкива и приемной бобины с угловыми скоростями ω_1 и ω_2 , F – сила давления на нить измерительного ролика.

Для проведения эксперимента применялся универсальный измерительный комплекс Инстрон 1122. В основе методики находятся статистические испытания образцов нити с последующей обработкой результатов. Всего было проведено 100 опытов. В эксперименте производилось дозированное и последовательное увеличение вытягивающей нагрузки на каждый испытуемый образец с целью сравнительного анализа получающихся удлинений ΔL_i . При этом предполагалось, что при последовательном увеличении нагрузки обязательно воз-

Если обеспечить в зоне вытягивания выполнение условия $\Delta V = const$, то для однородной нити установится соответствующее величине ΔV натяжение и удлинение нити. Однако, несмотря на известность способа, техника вытягивания не доведена до необходимого совершенства. Практически во всех известных устройствах в процессе вытягивания швейной нитки не учитываются неоднородности ее структуры и линейной плотности. Известно также, что вытягивание нити будет соответствовать заданной величине лишь в том случае, когда в зоне вытягивания поддерживается постоянная сила натяжения, обеспечивающая максимальную вытяжку нити. В связи с этим возникает задача разработки механизмов, обеспечивающих возможность компенсации влияния структурной неоднородности нити с целью восстановления расчетных натяжений в зоне вытягивания.

Представляемый ниже материал относится к разработке такой системы. Предполагается, что создаваемая система будет решать задачу стабилизации натяжения в зоне вытягивания. При этом в системе предлагается новая технология стабилизации натяжения нити при вытягивании, в которой стабилизация натяжения выполняется посредством регулирования скорости приема нити на бобину, то есть фактически за счет изменения разности $\Delta V = V_1 - V_2$.

Разработанная схема системы для перематывания нити с целью ее вытягивания изображена на рисунке 3, где: 1 – прижимной ролик (f – сила прижатия); 2 – подающий барабан; 3, 6 – электрические двигатели; 4 – нить; 5 – приемная бобина; 7 – усилитель; 8 – подвижный ролик; 9 – потенциометрический датчик; 10 – подвижный контакт потенциометра; 11 – демпфирующее устройство; 12 – гидравлическое сопротивление (калиброванное отверстие); 13 – упругая пружина (растяжение); 14 – устройство для растяжения пружины.

В системе управляющий сигнал U_x возникает при отклонении натяжения перематываемой нити от заданного значения. При этом подвижный ролик изменяет свое положение, потенциометр формирует корректирующий управляющий сигнал, который после усиления подается на двигатель для изменения скорости приема нити на бобину с целью восстановления заданного натяжения. При работе системы отклонения натяжения нити (положения подвижного ролика) от заданного значения возникают в основном из-за структурной неоднородности нити, если она вытянута не полностью. На рисунке 3

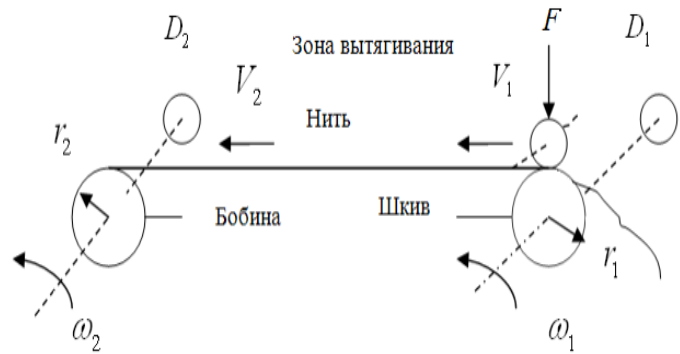


Рисунок 2 – Принципиальная схема зоны вытягивания

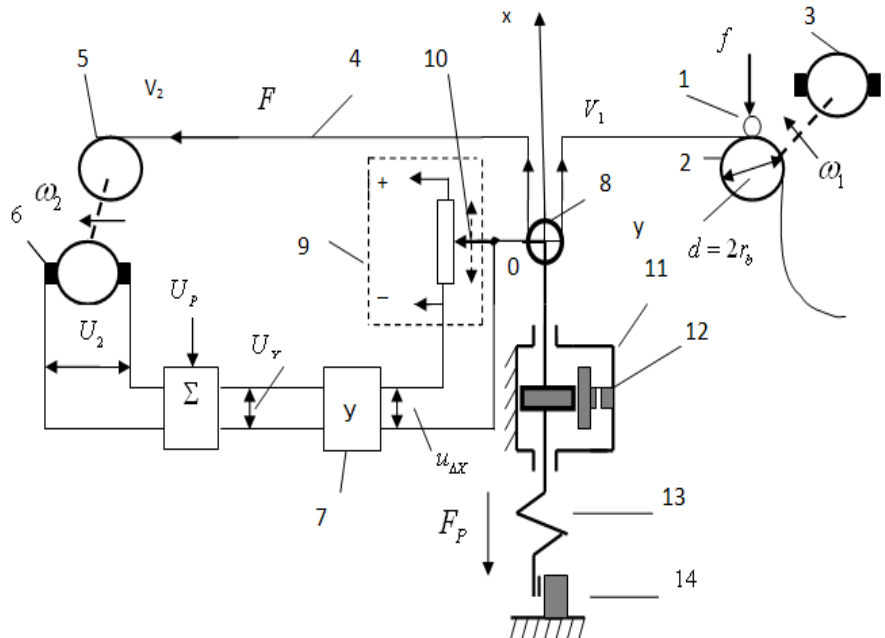


Рисунок 3 – Система для перематки нити с целью вытягивания

показаны расположенные по длине нити пустоты, образующие дополнительные резервы длины, которые реализуются при вытягивании в виде возмущений, действующих на процесс стабилизации натяжения. Возмущения проявляются в случайные моменты времени в виде скачкообразного падения натяжения.



Рисунок 3 – Структура швейной нити

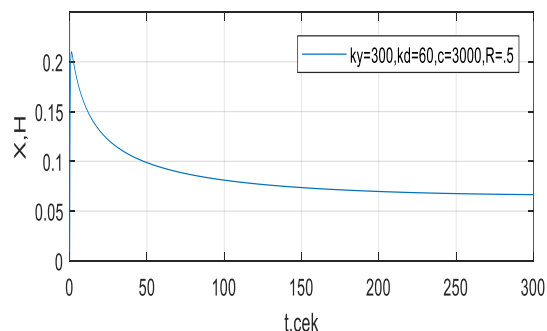


Рисунок 4 – Зависимость $X(t)$

Очевидно, что система стабилизации натяжения должна устранять такие проявления структурной неоднородности нити. На рисунке 4 представлен процесс стабилизации натяжения нити без учета влияния возмущений из-за структурной неоднородности нити. Из графика видно, что процесс стабилизации натяжения устойчивый, не колебательный и обеспечивает требуемую стабилизацию. Для получения возможности такой стабилизации было выполнено аналитическое проектирование системы стабилизации натяжения, включающее получение математической модели системы и решения задач параметрического синтеза системы и численного моделирования процессов перематывания нити с целью вытягивания.

На рисунке 5 представлен процесс стабилизации натяжения нити с учетом влияния возмущений из-за структурной неоднородности нити. Возмущения вводились через каждые 10 сек. посредством сброса натяжения на 1 сек. Далее система восстанавливала потерянное натяжение в течение 10 сек. до следующего сброса и т.д. Видно, что возмущения раскачивают процессы. Увеличение амплитуды колебаний с течением времени станет чрезмерно большим, что соответствует неустойчивым процессам.

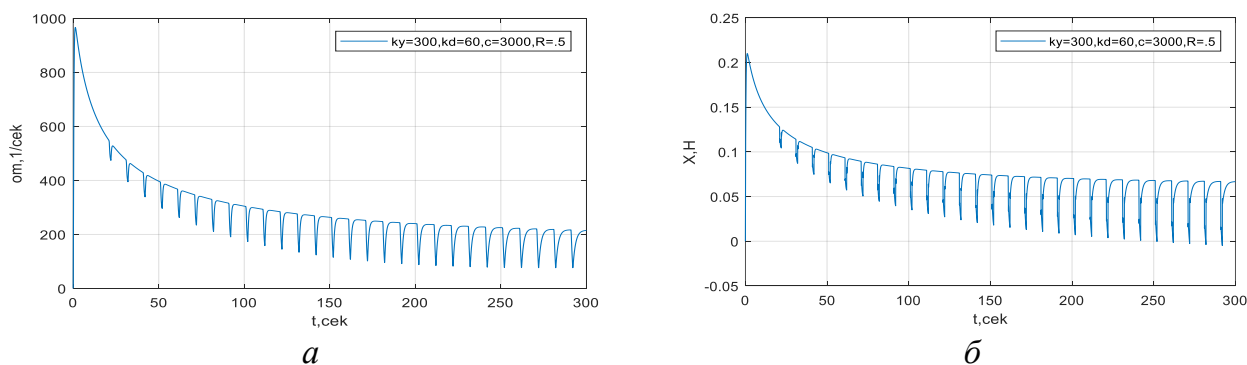


Рисунок 5– Результаты моделирования процессов с учетом структурной неоднородности нити: *а* – процесс изменения угловой скорости вращения приемной бобины; *б* – процесс регулирования натяжения нити

Переход системы в неустойчивое состояние свидетельствует о недостаточном запасе устойчивости. Для увеличения запаса устойчивости необходимо вернуться к параметрическому синтезу и обеспечить повышение запаса устойчивости системы. Ниже представлены основные уравнения, образующие основу математической модели системы. Уравнение движения подвижного ролика (измерителя натяжения нити):

$$(A_0 p^5 + A_1 p^4 + A_2 p^3 + A_3 p^2 + A_4 p + A_5) X =$$

$$= \left[\frac{JLk_0 k_{ny}}{c_d r} p^2 + \left(\frac{JRk_0 k_{ny}}{c_d r} + 2L \right) p + \left(\frac{k_0 c_d k_{ny}}{r} + 2R \right) \right] X_{зад} + \left(\frac{JLk_0}{c_d r} p^2 + \frac{JRk_0}{c_d r} p \right) U_p, \quad (1)$$

где $A_0 = JL^2 T_2^2 / c_d^2$, $A_1 = JL(2T_2^2 R + T_1 L) c_d^{-2}$, $A_2 = JLC_d^{-2}(2T_1 R + L + R^2 T_2^2 / L)$,
 $A_3 = JLC_d^{-2}(2R + c_d k_{np} k_0 r^{-1} + T_1 R^2 / L)$, $A_4 = JRC_d^{-2}(R + c_d k_{np} k_0 k^{-1}) + T_1 R + L$,
 $A_5 = R + c_d k_{np} k_0 r^{-1}$, $T_2^2 = m_p / c$; $T_1 = k_d / c$, m_p - масса измерительного ролика, c - коэффициент жесткости пружины, k_d - коэффициент скоростного демпфирования.

Уравнение угловой скорости вращения приемной бобины:

$$\left(\frac{J(t)L}{c_d^2} p^2 + \frac{J(t)R}{c_d^2} p + 1 \right) \omega_2 = \frac{1}{c_d} U_p(t) + k_n k_y (X - X_{зад}) - \frac{Rcr(t)}{c_d^2} X, \quad (2)$$

$$U_p(t) = \frac{C_{Дв}}{r(t)} V_2 + \frac{cr(t)R}{C_{Дв}} X(t), \quad (3)$$

где $L_{Я}, R_{Я}$ - индуктивное и активное сопротивления цепи ротора двигателя; $C_{Дв}$ - коэффициент двигателя; $J(t)$ - текущее значение момента инерции ротора двигателя, с учетом изменяющейся массы наматываемой бобины; $r(t)$ - текущее значение радиуса бобины; k_y, k_n - коэффициенты передачи усилителя и измерителя отклонения подвижного ролика.

Уравнение (2) описывает процесс изменения отклонений натяжения вытягиваемой нити от заданного значения. Об этом можно судить по величине отклонения подвижного ролика X . Для перевода этого отклонения в размерность силы необходимо величину X умножить на жесткость пружины c . Уравнение имеет пятый порядок. В правой части два внешних управляющих воздействия $X_{зад}$ и $U_p(t)$. Воздействие $X_{зад}$ задается положением измерительного ролика и в процессе вытягивания не изменяется. Воздействие $U_p(t)$ является напряжением питания двигателя. По мере увеличения радиуса бобины управляющее напряжение $U_p(t)$ должно уменьшаться для того, чтобы обеспечить постоянство заданной линейной скорости приема нити на бобину. Следовательно, необходимо численное сопровождение на ЭВМ процесса наматывания нити на бобину для расчета текущих значений управляющей функции $U_p(t)$. Расчеты функции $U_p(t)$ выполняются по формулам (1)–(3). Особенностью представленной модели является наличие переменных коэффициентов, что обусловлено изменяющимися размерами радиуса и массы приемной бобины.

Представленная математическая модель применена для организации параметрического синтеза системы с целью повышения запаса устойчивости, обеспечивающего устойчивую работу системы с учетом структурной неоднородности вытягиваемых нитей. Ниже представлены алгоритмы метода эффективных полюсов и нулей, позволяющие организовать оптимизацию запаса устойчивости системы в процессе решения задачи параметрического синтеза

$$m_2 = 0,17\Delta_2; m_3 = 0,17\Delta_3 [1+9\Delta_2+2\Delta_2^2+0.4\Delta_2^3];$$

$$m_4 = 0,17\Delta_4 [1+9\Delta_3+2(1+6\Delta_2)\Delta_3^2+0.4(1+100\Delta_2)\Delta_3^3];$$

$$m_5 = 0,17\Delta_5 [1+9\Delta_4+2(1+6\Delta_3)\Delta_4^2+0.4(1+100\Delta_3)\Delta_4^3],$$

где $\Delta_2 = A_0 A_2 / A_1^2$, $\Delta_3 = A_3 A_1 / A_2^2$, $\Delta_4 = A_4 A_2 / A_3^2$, $\Delta_5 = A_5 A_3 / A_4^2$; A_0 – A_5 - коэффициенты уравнения (3), $m_i < 1$, $i = 2 \div 5$.

Чем меньше числа m_i , тем выше запас устойчивости системы. При $m_i > 1$, $i = 2 \div 5$ запасы не обеспечивают устойчивую работу системы.

Для решения задачи параметрического синтеза включающей и оптимизацию запаса устойчивости системы разработаны алгоритмы и программы, позволившие автоматизировать процесс решения задачи. В основу данных разработок заложена идеология случайно-направленного поиска параметров. Применение направленного поиска позволила существенно сократить объем расчетов и найти более десятка вариантов систем с достаточными запасами устойчивости для компенсации возмущений, причиной возникновения которых является структурная неоднородность вытягиваемой нити. В таблице №1 представлены первые два варианта систем с повышенным запасом устойчивости ($m^{max}=0.311$ и $m^{max}=0.533$), а третий вариант ($m^{max}=0.832$) соответствует переходному процессу представленному на рисунке 5.

Таблица 1 – Данные параметрического синтеза

Управляемые параметры	Варианты систем		
	1	2	3
Коэффициент демпфирования k_d , H^*c/m	60	50	50
Коэффициент усиления k_y	300	350	1600
Жесткость пружины C , H/m	3011	2752	3000
Сопротивление якорной цепи R , Ом	0.073	0.151	1.2
Индуктивность якорной обмотки, L Гн	0.005	0.015	0.85
Запас устойчивости m^{max}	0.311	0.553	0.832

На рисунке 6 приведены процессы соответствующие первому варианту системы. Система имеет повышенный запас устойчивости ($m^{max}=0.311$) в сравнении с системой, процессы для которой изображены на рисунке 5 (третий вариант $m^{max}=0.832$). Видно, что процессы стали устойчивыми, более того колебания, обусловленные влиянием структурной неоднородностью устранены практически полностью. Система с данными второго варианта также устойчива и имеет процессы, практически совпадающие с представленными кривыми на рисунке 6.

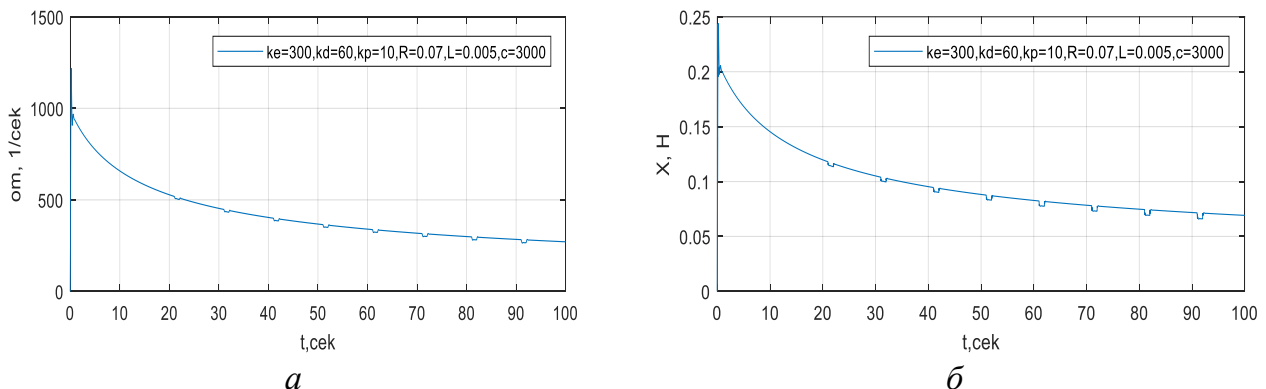


Рисунок 6 – Результаты моделирования процессов скорректированных систем с учетом структурной неоднородности нити: *а* – процесс изменения угловой скорости вращения приемной бобины; *б* – процесс регулирования натяжения нити

Структурная неоднородность нити оказывает существенное влияние на процесс вытягивания нити и при недостаточных запасах устойчивости может сделать систему не работоспособной (неустойчивой). Для обеспечения устойчивой работы системы необходимо создавать запасы устойчивости, соответствующие характеристикам действующих

возмущений – частоте и амплитуде воздействий, обусловленных структурной неоднородностью вытягиваемой нити.

В четвертой главе рассматривается задача формирования управляющих воздействий, обеспечивающих работу системы вытягивания. Необходимость в управлении вызвана увеличением в процессе наматывания нити радиуса приемной бобины. Для сохранения постоянства линейной скорости приема нити на бобину $V_2 = const$ (рисунок 1) необходимо синхронно уменьшать угловую скорость вращения бобины ω_2 . Для этой цели в работе получена формула для расчета управления $U_p(t)$, обеспечивающего необходимые изменения для угловой скорости. Данное выражение имеет вид

$$U_p(t) = \frac{C_{Дв}}{r(t)} V_2^0 + \frac{cr(t)R}{C_{Дв}} X(t).$$

Видно, что для расчета управляющей функции $U_p(t)$ необходимы текущие численные значения радиуса $r(t)$ и положения подвижного ролика, характеризующего натяжения нити. Для определения этих характеристик требуется параллельно с работой системы в режиме реального времени численно решать соответствующие уравнения математической модели. Необходимость в численном сопровождении процесс вытягивания обуславливается еще и тем, что изменяющиеся в процессе наматывания геометрические и массовые характеристики приемной бобины входят в коэффициенты уравнений математической модели системы. Очевидно, что для объективного моделирования на ЭВМ процессов перематывания нити с целью вытягивания на каждом расчетном шаге должны корректироваться численные значения переменных коэффициентов уравнений

Ниже приводятся уравнения и зависимости для вычисления переменных.

Уравнения вращения бобины

$$(a_0 p^2 + a_1 p + a_2) \omega_2 = b_2 U_p(t) + U_x(t) - D_M M_H, \quad (4)$$

$$(a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p) \varphi_2 = \frac{1}{C_{Дв}} (U_x + U_p(r) - \frac{R_{Я}}{C_{Дв}^2} M_H), \quad (5)$$

$$(a_0 p^2 + a_1 p + a_2) V_2(t) = \frac{1}{C_{Дв}} r(t) [U_p(t) + U_x(t)] - \frac{R_{Я} r(t)}{C_{Дв}^2} M_H, \quad (6)$$

где $a_0 = J(t) L_{Я} / C_{Дв}^2$, $a_1 = J(t) R_{Я} / C_{Дв}^2$, $a_2 = 1$, $b_2 = 1 / C_{Дв}$, $D_M = R_{Я} / C_{Дв}^2$.

Уравнение движения подвижного ролика – измерителя натяжения

$$(A_0 p^3 + A_1 p^2 + A_2 p + A_3) X(t) = B_3 X_{зад} - C_3 \omega_2(t), \quad (7)$$

$$A_0 = T_2^2 L r(t), \quad A_1 = (T_2^2 R + T_1 L) r(t), \quad A_2 = r(t) (T_1 R + L),$$

$$(T_2^2 = m_p / c, \quad T_1 = k_d / c), \quad A_3 = R r(t) + C_{Дв} k_0 k_{ПР}, \quad B_3 = C_{Дв} k_0 k_{ПР}, \quad C_3 = C_{Дв}^2 k_0.$$

Видно, что коэффициенты a_0 и a_1 содержат суммарный момент инерции $J(t)$ вращающегося ротора двигателя с закрепленной на его валу приемной бобиной, в которой изменяются радиус и масса. При моделировании и формировании управления должны учитываться изменения указанных параметров. Зависимости для расчета текущих значений для момента инерции имеют вид:

$$J(t) = m_0 r_0 + k_1 n(t) [m_0 + \Delta m(t)] (k_1 n(t) + 2r_0) + r_0^2 \Delta m(t).$$

Из представленного равенства видно, что изменяющимися параметрами здесь являются: изменение радиуса за один оборот бобины $\Delta r(t) = k_1 n(t)$, где $n(t) = \varphi(t) / 2\pi$ – число оборотов двигателя, соответствующее углу поворота $\varphi(t)$, k_1 – коэффициент,

эмитирующей количество нитей, укладываемых раскладчиком в одном слое бобины; изменения массы бобины $\Delta m(t) = \gamma L(t)$, где γ – коэффициент линейной массы нити, $L(t) = V_2(t)t$ – текущая длина нити на бобине, $V_2(t)$ – линейная скорость приема нити на бобину. Из представленных соотношений следует, что для моделирования уравнения (4) требуется дополнительно решать уравнение движения, записанные относительно угла поворота приемной бобины $\varphi(t)$ и линейной скорости приема нити на бобину $V_2(t)$. Данные уравнения имеют вид (5) и (6).

В правой части рассматриваемых уравнений располагаются управляющие воздействия: $U_p(t)$, корректирующее угловую скорость вращения бобины; $U_x(t)$, корректирующее влияние возмущений от структурной неоднородности вытягиваемой нити. Формулы для их определения имеют вид:

$$U_p(t) = \frac{C_{Д6}}{r(t)} V_2^0 + \frac{cr(t)R}{C_{Д6}} X(t); \quad (8)$$

$$U_x = k_{II} k_y (X_{зад} - X). \quad (9)$$

Также в правой части этих же уравнений присутствует момент нагрузки $M_H = Fr(t)$, создаваемый силой натяжения нити $F = cX$. Из представленных описаний видно, что для пошагового определения воздействий $U_p(t)$, $U_x(t)$, $M_H(t)$ необходимо также определять текущие значения радиуса бобины и силы натяжения нити $X(t)$. Следовательно, требуется решение еще одного уравнения системы (7), моделирующего изменения натяжения нити в процессе ее вытягивания. Правая часть этого уравнения, представлена двумя внешними воздействиями: угловой скоростью вращения бобины ω_2 и задающим воздействием $X_{зад}$. Как и в случае моделирования уравнения (4) здесь для решения также требуется дополнительная информация, но уже о текущих значениях угловой скорости вращения бобины ω_2 . Такая информация может быть получена только в результате численного моделирования уравнения (4).

Для составления программы моделирования рассмотренную систему расчетов уравнений и их переменных параметров можно представить в виде схемы, изображенной на рисунке 7. На рисунке 7 с помощью символов b_2 , D_2 , N_3 , L_3 обозначены комплексы коэффициентов перед соответствующими переменными в уравнениях (4)-(7). На схеме показана взаимная параметрическая зависимость решаемых уравнений. Уравнения расположены на правой стороне схемы. Видно, что решаемых уравнений три. Все они с переменными коэффициентами, изменяющимися с течением времени, в процессе изменения радиуса бобины. Переменные параметры, формирующие коэффициенты уравнений, размещены на левой стороне схемы, вверху размещены исходные данные и неизменяющиеся в процессе моделирования параметр.

На рисунке 8 показан закон изменения угловой скорости, который необходимо обеспечить при наматывании нити на бобину с целью вытягивания. График получен для случая наматывания нити с постоянной скоростью $V=20$ м/с. Прием нити на бобину с постоянной линейной скоростью, находится в основе рассматриваемого способа вытягивания. Представленный закон изменения угловой скорости обеспечивает такой прием нити на бобину при изменении ее радиуса в процессе наматывания. Очевидно, что данный закон не является фиксированным, он зависит и от постоянных параметров, формирующих коэффициенты решаемых уравнений, например, от параметров жесткости пружины c ,

диаметра наматываемой нити d , сопротивления цепи якоря R и т.д., а так же и от параметров регулирования - натяжения $x(t)$ и скорости приема нити.

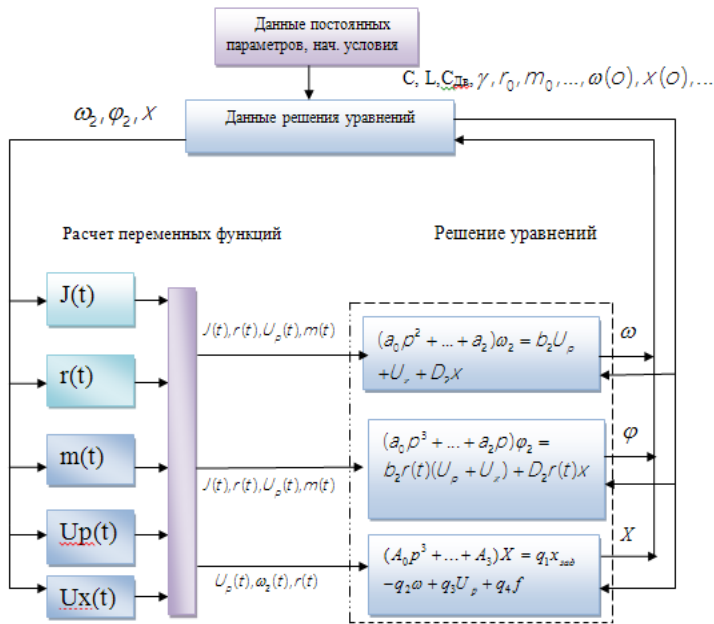


Рисунок 7 – Схема расчетов в программе управления процессом вытягивания нити

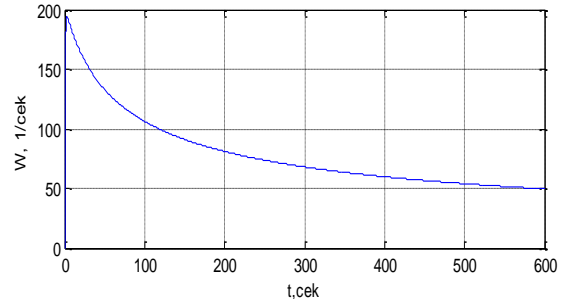


Рисунок 8 – Изменение угловой скорости вращения бобины

На рисунке 9 показаны результаты моделирования натяжения. Видно, что с течением времени величина отклонений $X(t)$ изменяется более, чем в четыре раза. Такие изменения оказывают существенное влияние на изменения угловой скорости вращения ротора двигателя, вращающего бобину.

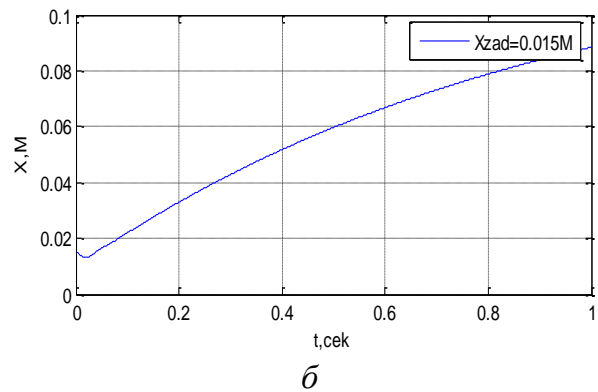
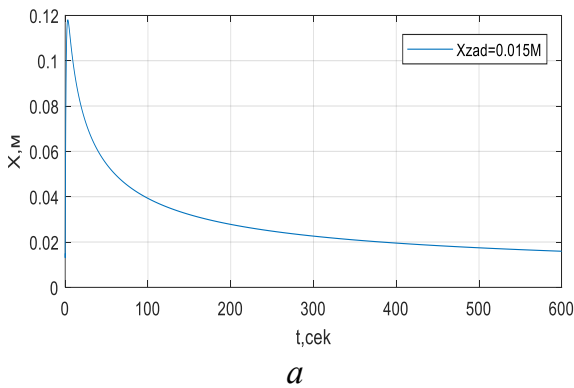


Рисунок 9 – Процессы регулирования натяжения нити при вытягивании:

а – продолжительность намотки 600с; б – продолжительность – 1с.

На рисунке 10 и 11 представлены начальный и последующий участок требуемого закона изменения управляющего напряжения. Для построения применялись результаты совместных решений уравнений (4)-(7). Реализация такого управления обеспечит изменения угловой скорости на промежутке времени $t = 1 \div 140с$ в соответствии законом на рисунке 8, и, следовательно, обеспечит прием нити на бобину с постоянной линейной скоростью, что необходимо для поддержания заданного натяжения нити в процессе вытягивания.

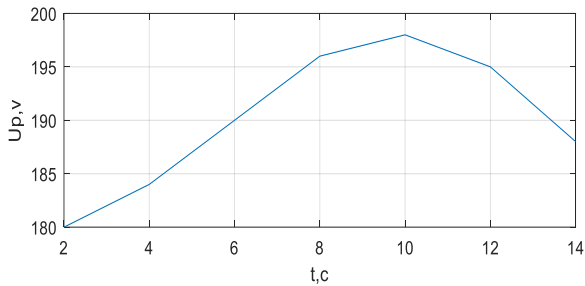


Рисунок 10 – Начальный участок изменения управляющего напряжения

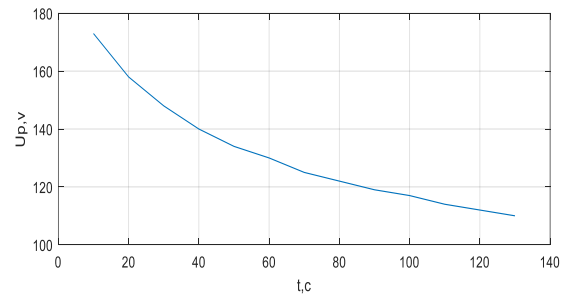


Рисунок 11 – Последующий участок изменения управляющего напряжения

В завершение по главе можно сделать следующие выводы: разработаны алгоритмы и программы для управления процессом перематывания нити с целью вытягивания. Алгоритмы управления предполагают возможность для постоянной коррекции скорости вращения приемной бобины. Необходимость в коррекциях обусловлена текущими изменениями массы и радиуса бобины и текущими воздействиями на процессы стабилизации скорости приема нити и натяжения возмущений, обусловленных структурной неоднородностью вытягиваемой нити.

Выполненные исследования показали высокую скорость численного моделирования, вполне обеспечивающую возможность для сопровождения на ЭВМ в реальном времени процессов вытягивания нити с учетом нестационарности, решаемой задачи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Структурная линейная неоднородность нити при пошиве изделий приводит к нестабильности разрывных удлинений, что приводит к снижению качества выпускаемой продукции. Для стабилизации разрывного удлинения необходимо увеличивать степень вытяжки ниток в процессе их производства, что обеспечит ликвидацию пустот и пор в структуре нити, являющихся основной причиной обрывов нити и возникновения пороков швов, формируемых иглой при пошиве изделий.

2. На основании анализа литературных источников в настоящее время существуют различные механизмы для вытягивания ниток. Применение оборудования позволяет поддерживать величину вытяжки в определенных пределах, но не предполагает её регулирования в процессе намотки, что является существенным недостатком. В виду того, что швейная нить имеет неоднородную структуру, нельзя с уверенностью определить точное значение необходимого натяжения. Таким образом, нитка будет иметь недовытянутые участки, что приведет к большим нагрузкам на иглу в процессе пошива изделий.

3. Для поддержания натяжения в зоне вытягивания, соответствующего максимальной вытяжке нити необходимо в системе перематывания нити предусмотреть механизм, обеспечивающий возможность компенсации действующих возмущений и восстановления расчетных натяжений.

4. В работе экспериментально подтверждена теоретическая предпосылка о наличии «зоны выстоя» в графике кривой зависимости упругой деформации нити перед напряжением, соответствующем её разрыву. Полученные в процессе исследования характеристики позволили определить величины нагрузки для настройки системы вытягивания армированных швейных ниток 65 ЛЛ-бк, 45 ЛЛ бк, а также выполнить настройку механизма швейных машин для обеспечения высокого качества пошива швейных изделий.

5. Разработана математическая модель системы, включающая в себя уравнения, описывающие процесс наматывания нити на бобину и процесс стабилизации натяжения нити.

6. В процессе исследования было выявлено, что система является нестационарной. Во время перематывания нити изменяются радиус приемной бобины и её масса, и для сохранения постоянства скорости приема нити на бобину необходимо изменять угловую скорость в соответствии с изменениями радиуса бобины. Изменения данных характеристик должны учитываться при численном сопровождении процессов функционирования системы и при исследовании качества процессов регулирования.

7. Разработаны алгоритмы для автоматизации расчетов по схеме случайно-направленного поиска в задаче оптимизации заданного критерия качества и методика параметрического синтеза на ЭВМ для проектирования системы вытягивания нити.

8. Составлена программа для параметрического синтеза на ЭВМ системы регулирования натяжения нити в задаче её перематывания с целью вытягивания. Алгоритм программы позволяет добиться высокой эффективности работы, так как за короткое время просчитываются сотни вариантов систем с различными показателями качества.

9. В работе выполнено аналитическое проектирование системы вытягивания. Разработаны алгоритмы и программы, позволяющие с высокой скоростью численно моделировать процессы, перематывания и вытягивания нити. Выполненные исследования показали высокую скорость моделирования, обеспечивающую возможность для сопровождения на ЭВМ процессов вытягивания нити с учетом нестационарности решаемой задачи, с целью формирования управляющего воздействия для двигателя, вращающего приемную бобину.

10. Выполнено исследование влияния на процессы вытягивания структурной неоднородности нити. Установлено, что отрицательное влияние неравномерности структуры на динамические свойства системы проявляется в виде неустойчивых процессов с возрастающей со временем амплитудой колебаний, которые можно устранить путем увеличения запаса устойчивости при проектировании системы. Доказано, что устойчивые системы без учета структурной неоднородности нити, при реальной работе могут стать неустойчивыми.

11. Разработана функциональная схема экспериментальной установки и исходные характеристики элементов исследуемой системы.

12. Разработана программа для моделирования в режиме численного сопровождения процесса вытягивания нити. Теоретически заданное изначально время выполнения процесса вытягивания существенно превышает реальное время работы системы, поэтому разработанные алгоритмы и программы в данной системе пригодны для организации численного сопровождения процессов перематывания и вытягивания нити.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых журналах, входящих в «Перечень ...» ВАК РФ и Scopus

1. **Платонова, Т. Л.** Исследование процесса вытягивания нити с учетом структурной неоднородности / Т. Л. Платонова, В. Я. Энтин // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. – 2021. – № 3. – С. 105-109. – DOI 10.46418/2079-8199_2021_3_19.

2. **Платонова, Т. Л.** Разработка управляющей системы для численного сопровождения на ЭВМ процессов вытягивания нити / Т. Л. Платонова, В. Я. Энтин // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. – 2021. – № 4. – С. 30-35. – DOI 10.46418/2619-0729_2021_4_4.

3. **Платонова, Т.Л.** Разработка алгоритмов оптимизации в задаче параметрического синтеза систем управления / В. Я. Энтин, Т.Л. Платонова // Химические волокна. – 2021. – №4. – С.22 – 24.

4. **Platonova, T. L.** Investigation of Breaking Properties of Yarn for Control of Its Pulling Tensio / T. L. Platonova, V. Y. Entin, V. V. Vasil'eva // Fibre Chemistry. – 2020. – Vol. 52. – No 1. – P. 48-50. – DOI 10.1007/s10692-020-10149-y.

5. **Платонова, Т. Л.** Исследование разрывных характеристик нити для регулирования натяжения при её вытягивании / Т. Л. Платонова, В. Я. Энтин, В. В. Васильева // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2019. – Т. 44. – № 2. – С. 9-11.

6. Энтин, В.Я. Моделирование процессов регулирования характеристик вытягиваемой нити / В.Я. Энтин, **Т.Л. Платонова** // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. – 2019. – № 1. – С. 5-8.

7. Энтин, В. Я. Исследование процессов регулирования в задаче перемотки неоднородной нити с целью ее вытягивания / В. Я. Энтин, Е. К. Васильева, **Т. Л. Платонова** // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2016. – Т. 33. – № 3. – С. 21-26.

Материалы конференций

8. **Платонова, Т. Л.** Исследование влияния линейной структурной неоднородности нити на натяжение в технологических процессах / Т. Л. Платонова, В. Я. Энтин // Инновационные направления развития науки о полимерных волокнистых и композиционных материалах : Тезисы докладов II Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 22–24 ноября 2021 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2021. – С. 112-113.

9. **Платонова, Т. Л.** Исследование процесса вытягивания нити с учетом структурной неоднородности / Т. Л. Платонова, В. Я. Энтин // Наука - Технологии - Производство : Тезисы докладов Международной научно-технической конференции, посвященной инновационному развитию текстильной и легкой промышленности, Санкт-Петербург, 29–31 марта 2021 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2021. – С. 23.

10. **Платонова, Т. Л.** Исследование деформационных свойств швейных нитей для наматывания на бобины / Т. Л. Платонова, В. Я. Энтин, В. В. Васильева // Энергоресурсоэффективные экологически безопасные технологии и оборудование : сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума «Вторые международные Косыгинские чтения, приуроченные к 100-летию РГУ имени А. Н. Косыгина» на Международном Косыгинском Форуме-2019 «Современные задачи инженерных наук», Москва, 29 октября – 01 2019 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)", 2019. – С. 94-97.

11. **Платонова, Т.Л.** Разработка математической модели процессов регулирования вытягивания нити / Т. Л. Платонова // 11-я Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы информатизации в науке и образовании – 2018»: Сборник материалов. – Зеленоград, 8 - 9 ноября 2018. – С. 91.