

На правах рукописи

Артеменко Лина Феликсовна

Совершенствование устройств для рулонирования
изделий легкой промышленности

Специальность 05.19.09 -
Машины и агрегаты легкой промышленности

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев - 1996

67.03
Работа выполнена в
промышленности Украины /ГАИ/

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00360327 (L)

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Кострицкий В.В.

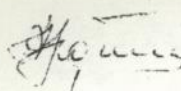
Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Орловский Б.В.,
кандидат технических наук,
доцент Шидловский Н.С.

Ведущая организация - "Укрпластик", г. Киев

Защита состоится "9" 10 1996 г. в 10 часов на
заседании специализированного Совета Д 01.17.01 в Государствен-
ной академии легкой промышленности Украины по адресу: 252011,
г. Киев -11, ул. Немировича-Данченко, 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государст-
венной академии легкой промышленности Украины.

Автореферат разослан "7" 09 1996 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета  Тарасенко А.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Интенсивное развитие различных отраслей легкой промышленности увеличивает потребность в рулонизируемых полимерных и текстильных материалах, обладающих определенными физико-механическими свойствами. При этом к эксплуатационным характеристикам рулонизируемых материалов, легкой промышленности, предъявляются требования, определяющие показатели качества готовых изделий из них. Практически во всех рулонизируемых материалах, независимо от области их применения, преобладающее значение имеют физико-механические свойства, со строго регламентированными показателями. Формирование в процессе изготовления рулонизируемых материалов определенной технологической структуры предопределяет комплекс их физико-механических свойств. При этом, если весь объем рулонизированного материала находится в одинаковых условиях после изготовления, то и релаксационные процессы посттехнологической стабилизации физико-механических свойств материала будут происходить однородно и однозначно. Особенностью получения листовых и пленочных материалов в легкой промышленности является наличие в заключительной стадии технологического процесса операции намотки готовой продукции в рулоны. Превращения в микро- и макроструктуре рулонизируемых материалов, определяющие показатели качества изделия из них, формируются на этапах, предшествующих намотке материалов в рулоны. Если правильная намотка обеспечивает однородность физико-механических и эксплуатационных свойств материалов по длине рулонов, то неправильная намотка может значительно ухудшить качество и даже привести в негодность большие объемы наматываемых материалов.

Существующие намоточные устройства не позволяют создать в рулонах однородное напряженно-деформированное состояние, что приводит к значительной неравномерности физико-механических свойств и потере качества наматываемых материалов по длине рулонов.

В связи с этим необходимо создание таких конструкций намоточных устройств, которые бы обеспечили сохранение заданной технологической структуры намотанного материала, сформированного в результате технологического процесса. Главным фактором управления выступает натяжение наматываемого материала. Поэтому расчет режимов намотки следует согласовать, прежде всего, с основными конструктивными особенностями устройств и параметрами намотки, влияющими на распределение внутренних напряжений в витках рулона.

Таким образом, совершенствование намоточных устройств, формирующих рулоны с заданным, рациональным распределением внутренних напряже-

ний в слоях рулонизируемых изделий, является весьма актуальной задачей, представляющей огромный интерес для легкой и химической промышленности.

Цель и задачи исследований. Целью диссертационной работы является совершенствование устройств для рулонирования изделий легкой промышленности путем обеспечения возможности управления приводом намоточного устройства на базе разработок теоретических основ проектирования и инженерных методов расчета основных параметров намоточных устройств.

Для достижения указанной цели в работе поставлены следующие задачи исследований:

- разработать модель, определяющую основные закономерности процесса рулонирования изделий легкой промышленности намоткой;
- исследовать зависимость основных параметров намоточных устройств от технологических режимов рулонирования различных наматываемых материалов;
- разработать метод определения параметров намоточных устройств, обеспечивающий устранение основных видов брака при рулонировании пленочных, текстильных материалов и искусственных кож;
- разработать метод определения параметров намоточных устройств, обеспечивающий сохранение целостности рулонов при их транспортировке и динамических воздействиях;
- разработать критерии оптимизации и соответствующие им законы изменения намоточного натяжения, обеспечивающие однородность физико-механических свойств наматываемых материалов по объему рулона;
- разработать метод определения параметров намоточных устройств с учетом аэродинамики процесса рулонирования;
- провести экспериментальные исследования анизотропии физико-механических свойств наматываемых материалов;
- экспериментально исследовать рулонирование анизотропных материалов;
- разработать основные положения научно обоснованного расчета и методологии проектирования намоточных устройств;
- спроектировать и изготовить автоматизированное намоточное устройство, обеспечивающее программное рулонирование материалов химической и легкой промышленности.

Методы исследований. В работе использованы аналитические, численные и экспериментальные методы исследований. Аналитические и численные методы применены для анализа и исследования модели рулонированного изделия; определения параметров намоточных устройств, учитывающих аэродинамику процесса рулонирования, обеспечивающих устранение теле-

скопического эффекта и сохранения целостности рулонов при их транспортировке и динамических воздействиях; определения критерия оптимальности и соответствующего ему режима работы намоточного устройства; определения основных конструктивных особенностей намоточных устройств.

Экспериментальные исследования проводились на опытно-экспериментальном намоточном устройстве, позволяющем осуществлять программированную намотку рулонов пленочных и листовых материалов.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- предложена усовершенствованная модель рулонированного изделия и определены закономерности изменения окружных и радиальных напряжений по слоям рулонов для существующих намоточных устройств;

- предложены критерии определения рациональных параметров намоточных устройств, устраняющих основные дефекты рулонирования;

- разработан метод определения основных параметров намоточных устройств, учитывающий аэродинамику процесса рулонирования;

- разработан критерий оптимизации режимов работы намоточных устройств, обеспечивающий стабильность физико-механических свойств наматываемого материала по объему рулона;

- аналитически установлен и экспериментально подтвержден закон управления приводом намоточного устройства, обеспечивающий стабильность физико-механических свойств наматываемых материалов по длине рулонов;

- разработана общая модель привода и предложены основные положения метода расчета и проектирования намоточных устройств с учетом динамики процесса рулонирования;

- разработана, изготовлена и внедрена опытная конструкция намоточного устройства, обеспечивающая рулонирование пленочных материалов по заданной программе изменения намоточного натяжения;

- получены экспериментальные результаты, показывающие, что рулонирование материалов при оптимальном законе изменения намоточного натяжения практически устраняет неравномерность физико-механических свойств наматываемых материалов по объему рулонов.

Практическая ценность. В работе предложены основные этапы расчета и проектирования намоточных устройств. Разработанная модель рулонированного изделия дала возможность установить основные критерии определения параметров намоточных устройств, что позволило устранить основные дефекты намотки и уменьшить объем бракованных рулонированных изделий, получаемых на существующих намоточных устройствах.

Разработанный метод определения параметров намоточных устройств

с учетом аэродинамических аспектов рулонирования позволяет устранить эффект засасывания воздуха внутрь рулона и установить предельные значения рабочих скоростей наматываемых материалов по технологическим линиям, в зависимости от типа материала и его механических свойств.

Предложенные критерии оптимального закона управления приводом намоточного устройства, отраженные в программе управления приводом, позволили спроектировать намоточное устройство с характеристиками, приближенными к оптимальным.

Предложенные методики измерения распределения окружных и радиальных напряжений позволили впервые качественно и количественно определить действительное напряженно-деформированное состояние рулонированного изделия. Разработанные положения метода расчета и проектирования намоточных устройств позволили сформулировать основные технические требования к конструкциям современных намоточных устройств высокопроизводительных линий, используемых для получения высококачественных пленочных материалов и искусственных кож.

Реализация результатов работы.

Результаты исследований, полученные в работе, используются в настоящее время на шосткинском производственном объединении "Свема" при рулонировании широкой номенклатуры различных пленочных материалов, используемых для изготовления различных изделий потребительского и технического назначения.

Выполнение диссертационной работы связано с проведением следующих научно-исследовательских работ:

- "Программированная намотка рулонов ПЭТФ пленок и магнитных лент" № гос. регистрации - 77052113;

- "Проведение исследований по оптимизации намотки полимерных пленок и разработки методов оценки их физико-механических свойств" № гос. регистрации 01.83.0052873;

"Исследование анизотропии физико-механических свойств изоляционных полимерных лент и оптимизация технологических параметров их изготовления", № гос. регистрации - 01.86.0089786;

"Разработка микропроцессорного комплекса управления намоткой для программного регулирования внутренних напряжений в рулонах полимерных пленок", № гос. регистрации - 02.90.020490.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались по мере их получения и получили положительную оценку на III Республиканской конференции "Перспективы развития техники магнитной записи и технологии производства магнитных носителей информации" (Шост-

ка, 1987 г.); научных конференциях профессорско-преподавательского состава Киевского технологического института легкой промышленности (апрель 1993 г. и апрель 1994 г.); международной научно-практической конференции Хмельницкого технологического университета (1993 г.); научных конференциях профессорско-преподавательского состава Государственной академии легкой промышленности Украины (1995-1996 г.); международной конференции "Современные достижения текстильной промышленности" (г. Тампере, Финляндия, 1996 г.); заседаниях кафедры машин и аппаратов химических производств легкой промышленности Государственной академии легкой промышленности Украины в (1993-1996 гг.); международной конференции "Метрология в производстве текстильных материалов", (Польша, Лодзь, 1996 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 17 работ, 9 из них приведены в конце автореферата.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка основной использованной литературы (122 наименования) и приложений. Работа объемом 266 страниц содержит: 132 страниц основного текста, 79 рисунков на 58 страницах, 2 страницы фотографии, 7 страниц таблиц, 18 страниц списка литературы и 29 страниц приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава - "Особенности рулонирования изделий легкой промышленности. Литературный обзор" - посвящена обзору основных закономерностей формирования рулонированных изделий намоткой, а также анализу основных типов намоточных устройств, используемых в технологических агрегатах легкой и химической промышленности.

Проведенный анализ показал, что существующие модели и методы расчета напряженно-деформированного состояния рулонированных изделий, основанные на решении Р. Саусвелла, не учитывают особенностей физико-механических свойств наматываемого материала, его анизотропии и эффектов, сопровождающих процесс намотки. Нет четкого представления об основных процессах, происходящих в рулонах при их расслаивании, самозатягивании, возникновении поперечных и винтообразных полос деформации в слоях наматываемого материала. В настоящее время отсутствует научно обоснованный метод определения основных параметров намоточных устройств и их проектирования. Сложность процессов измерения и регистрации внутренних напряжений в рулоне ставит задачу разработки экспериментального метода определения основных параметров напряженно-деформированного состояния рулонизируемых изделий. При разработке и проекти-

ровании намоточных устройств возникает задача оптимизации режимов их работы таким образом, чтобы они обеспечивали сохранение сформированной в результате технологического процесса заданной технологической структуры намотанного материала по всему объему рулона.

Дана характеристика объектов настоящего исследования, в качестве которых выбраны: полиэтилентерефталатные (ПЭТФ), полиэтиленовые (ПЭ) и полиимидные (ПИ) пленки технического назначения; искусственные кожи на тканой основе; текстильные материалы (костюмная ткань).

С учетом сказанного выше определены цель и задачи исследований.

Во второй главе - "Определение основных закономерностей формирования рулонированных изделий легкой промышленности намоточными устройствами" - предложена усовершенствованная модель рулонированного изделия и определены закономерности изменения внутренних напряжений в слоях рулонов.

Рулоны различных материалов, образованные намоткой, представлены как многослойные изделия из изотропных или анизотропных слоев, у которых модуль упругости в направлении намотки (E_{α}) значительно превышает модуль упругости в направлении радиуса рулона (E_r). При разработке модели рулонированного изделия (рис.1) и выводе определяющих соотношений были приняты следующие основные гипотезы и допущения: наматываемый материал представляет собой линейную вязкоупругую анизотропную среду с ортотропной симметрией; в поперечных сечениях наматываемого материала возникают радиальные σ_r и окружные σ_{α} напряжения, постоянные по ширине наматываемого материала и являющиеся функциями только радиуса рулона; модули упругости материала при растяжении E_r^p и E_{α}^p и сжатии E_r^c и E_{α}^c равны в соответствующих направлениях; в процессе намотки исключается возможность проскальзывания слоев относительно друг друга; напряжения радиальные σ_r и окружные σ_{α} в пределах образующей витка остаются неизменными, а по толщине изменяются в соответствии с общим характером изменения соответствующего напряжения; деформациями оправки (товарного валика), на поверхность которой наматывается материал, по сравнению с деформациями слоев рулона можно пренебречь.

Показано, что наматываемый материал, намотанный на жесткую оправку, вызывает на ее поверхности напряжения, сам испытывая со стороны оправки внутреннее давление. Это приводит к тому, что элементарный объем наматываемого материала находится в условиях плосконапряженного состояния под действием растягивающих окружных напряжений σ_{α} , возникающих при намотке материала на оправку с некоторым натяжением $N(r)$, и радиальных напряжений σ_r , возникающих как результат взаимодействия элемен-

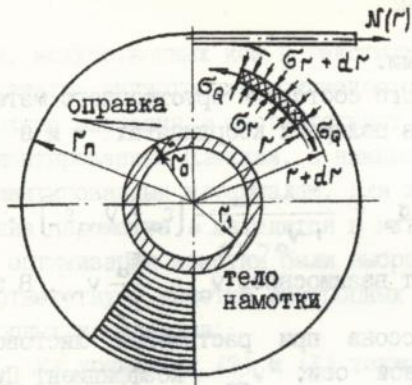


Рис.1. Модель рулонированного изделия.

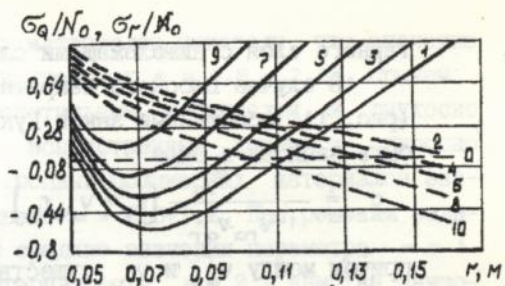


Рис.2. Распределение напряжений по слоям рулона при $N(r) = \text{const}$.

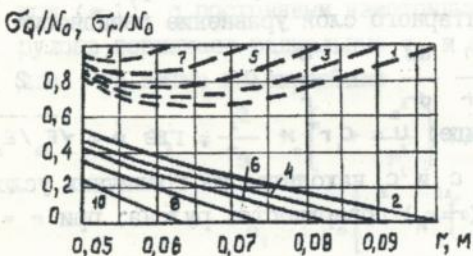


Рис.3. Распределение напряжений по слоям рулона при $M(r) = \text{const}$

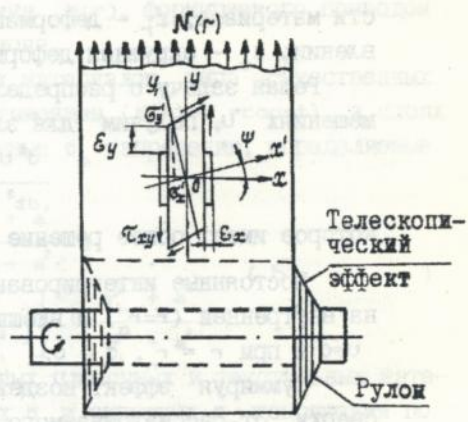


Рис.4. Возникновение телескопического эффекта.

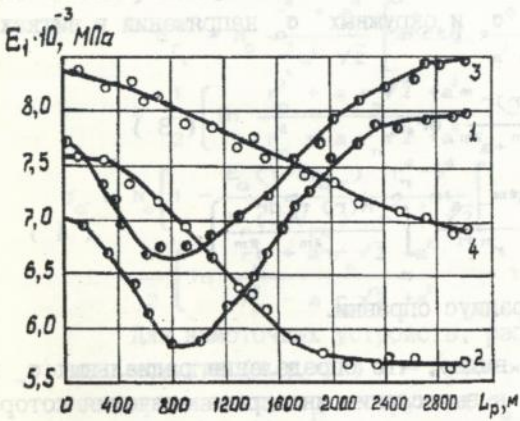


Рис.5. Распределение упругих свойств пленки по длине рулонов при $N(r) = \text{const}$ и $M(r) = \text{const}$

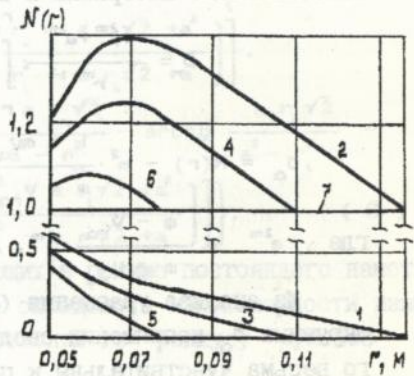


Рис.6. Распределение напряжений по слоям рулона при $\sigma_\phi = \text{const}$.

тарного слоя с нижележащими слоями.

В случае плоского напряженного состояния ортотропного материала (рис. 1) обобщенный закон Гука в полярных координатах r и θ может быть записан в виде

$$\sigma_r = \frac{E_r}{1 - \nu_{ra} \nu_{ar}} (\varepsilon_r + \nu_{ra} \varepsilon_a), \quad \sigma_a = \frac{E_a}{1 - \nu_{ar} \nu_{ra}} (\varepsilon_a + \nu_{ra} \varepsilon_r), \quad (1)$$

причем между ν_{ar} и ν_{ra} существует взаимосвязь $\nu_{ar} = \frac{E_a}{E_r} \nu_{ra}$. В этих выражениях ν_{ar} - коэффициент Пуассона при растяжении листового материала в направлении продольной оси; ν_{ra} - коэффициент Пуассона листового материала при сжатии в направлении, перпендикулярном плоскости материала; ε_r - деформация элементарного слоя в радиальном направлении; ε_a - окружная деформация элементарного объема.

Решая задачу о распределении напряжений по радиусу рулона в перемещениях U , получим для элементарного слоя уравнение равновесия

$$\frac{d^2 U}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dU}{dr} - m^2 \frac{U}{r} = 0, \quad (2)$$

которое имеет общее решение в виде: $U = C_1 r^m + \frac{C_2}{r^m}$, где $m = \sqrt{E_a/E_r}$.

Постоянные интегрирования C_1 и C_2 находятся из граничных условий на внутренней ($r=r_0$) и внешней ($r=r_n$) поверхностях рулона; при $r=r_0$ $U=0$ и при $r=r_n$, $\sigma_r = 0$.

Суммируя эффект воздействия всех витков рулона, расположенных сверху от рассматриваемого элементарного слоя радиуса r до внешнего радиуса r_n , и учитывая, что $\varepsilon_r = U/r$ и $\varepsilon_a = dU/dr$, получено решение задачи об определении радиальных σ_r и окружных σ_a напряжений в витках наматываемого материала в виде

$$\sigma_r = \frac{r^{2m} + a^{2m}}{r^{m+1}} \cdot \int_r^{r_n} \frac{N(r) r^m}{r^{2m} + a^{2m}} \cdot dr, \quad (3)$$

$$\sigma_a = N(r) - m^2 \cdot \frac{1 + \nu_{ar}}{m + \nu_{ra}} \cdot \frac{r^{2m} - a^{2m}}{r^{m+1}} \cdot \int_r^{r_n} \frac{N(r) r^m dr}{r^{2m} + a^{2m}}, \quad (4)$$

где $a^{2m} = \frac{m - \nu_{ra}}{m + \nu_{ra}} r_0^{2m}$, r_0 - радиус оправки.

Из анализа уравнений (3,4) видно, что определение радиальных σ_r и окружных σ_a напряжений сводится к вычислению интеграла значения которого весьма чувствительны к показателю степени m , который характеризует анизотропию физико-механических свойств наматываемого материала.

Результаты исследований анизотропии полимерных пленочных материа-

лов, искусственных кож и текстильных материалов показали, что значение параметра анизотропии m изменяется в пределах $m = 0,8 + 2,85$, причем верхние значения m соответствуют текстильным материалам и двухосно ориентированным пленкам, а нижние - искусственным козам и одноосно ориентированным материалам. Для изотропных полимерных материалов значение параметра m находится в интервале $m = 0,8+1,2$. При решении задачи оптимизации намотки были выбраны средние значения параметра $m = 1$ соответствует намотке изотропных материалов, а $m = 2$ - намотке анизотропных материалов.

Из уравнений (3) и (4) также следует, что напряженно-деформированное состояние рулонированного изделия может быть определено, если известен закон изменения усилия натяжения $N(r)$, формируемого приводом намоточного устройства при намотке рулона.

В случае рулонирования изотропных материалов, типа искусственных кож ($m=1$), с постоянным намоточным натяжением ($N(r)=N_0=const$), в слоях рулона возникают радиальные σ_r и окружные σ_a напряжения, определяемые для i -го витка из выражений

$$\begin{aligned} \sigma_{r_i} &= \frac{1}{2} N_0 \left[1 + \frac{a^2}{r_i^2} \right] \ln \frac{r_n^2 + a^2}{r_i^2 + a^2}, \\ \sigma_{a_i} &= N_0 \left[1 - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{a^2}{r_i^2} \right) \right] \ln \frac{r_n^2 + a^2}{r_i^2 + a^2}. \end{aligned} \quad (5)$$

В случае рулонирования анизотропных пленочных и текстильных материалов ($m=2$) распределения радиальных σ_r и окружных σ_a напряжений по радиусу рулона определяются выражениями

$$\begin{aligned} \sigma_{r_i} &= N_0 \frac{r_i^4 + a^4}{r_i^3 a^2 \sqrt{2}} \left[\arctg \frac{a r_n \sqrt{2}}{a^2 - r_n^2} - \arctg \frac{a r_i \sqrt{2}}{a^2 - r_i^2} - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{2} \left[\ln \frac{r_n^2 + a r_n \sqrt{2} + a^2}{r_n^2 - a r_n \sqrt{2} + a^2} - \ln \frac{r_i^2 + a r_i \sqrt{2} + a^2}{r_i^2 - a r_i \sqrt{2} + a^2} \right] \right], \\ \sigma_{a_i} &= N_0 \left\{ 1 - \frac{E_a (1+2\nu_{ar})}{E_r (2+\nu_{ra})} \frac{r_i^4 - a^4}{r_i^3 a^2 \sqrt{2}} \left[\arctg \frac{a r_n \sqrt{2}}{a^2 - r_n^2} - \arctg \frac{a r_i \sqrt{2}}{a^2 - r_i^2} - \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \frac{1}{2} \left[\ln \frac{r_n^2 + a r_n \sqrt{2} + a^2}{r_n^2 - a r_n \sqrt{2} + a^2} - \ln \frac{r_i^2 + a r_i \sqrt{2} + a^2}{r_i^2 - a r_i \sqrt{2} + a^2} \right] \right] \right\}. \end{aligned} \quad (6)$$

Для намоточных устройств, работающих в режиме постоянного намоточного момента ($M = N(r) r = M_0 = const$), определены закономерности изменения радиальных σ_r и окружных σ_a напряжений по радиусу рулонов из изотропных ($m=1$)

$$\sigma_{r_i} = \frac{M_0}{a} \left[1 + \frac{a^2}{r_i^2} \right] \operatorname{arctg} \left[\frac{r_n - r_i}{a^2 + r_n r_i} a \right], \quad (7)$$

$$\sigma_{\alpha} = \frac{M_0}{r} \left[1 - \frac{r_i}{a} \left(1 - \frac{a^2}{r_i^2} \right) \operatorname{arctg} \left[\frac{r_n - r_i}{a^2 + r_n r_i} a \right] \right],$$

и анизотропных ($m = 2$) материалов

$$\sigma_{r_i} = \frac{M_0}{2a^2} \left[r_i^2 + \frac{a^4}{r_i^2} \right] \operatorname{arctg} \left[\frac{r_n^2 - r_i^2}{r_i^4 + a^4} a^2 \right], \quad (8)$$

$$\sigma_{\alpha_i} = \frac{M_0}{r_i} \left[1 - \frac{r_i^4 - a^4}{a^2 r_i^2} \operatorname{arctg} \left[\frac{r_n^2 - r_i^2}{r_i^4 + a^4} a^2 \right] \right].$$

На рис.2 и 3 в качестве примера представлены зависимости, отражающие распределение относительных окружных ($\sigma_{\alpha} / N_{\alpha}$), (кривые 1-9) и относительных радиальных (σ_r / N_r), (кривые 2-10) напряжений по радиусу рулонов, намотанных из полиэтиленовой пленки с постоянным усилием натяжения $N(r) = \text{const}$ (рис.2) и с постоянным намоточным моментом $M(r) = \text{const}$ (рис.3).

Анализ приведенных результатов показал, что в случае намотки с постоянным усилием натяжения возможно появление в рулоне сжатых слоев (кривые 1,3,5,7 на рис.2), что является причиной возникновения арочных эффектов и поперечных полос деформаций, приводящих к потере показателей качества намотанного материала.

Для рулонов, намотанных с постоянным намоточным моментом (рис.3), характерно отсутствие сжатых витков и меньшая степень неравномерности окружных напряжений σ_{α} по объему рулона. Анализ обоих режимов намотки показал, что основными факторами, влияющими на качество намотки, являются следующие физико-механические свойства наматываемого материала: закон изменения намоточного натяжения, а также основные параметры рулонизируемого изделия (длина намотки L_p , толщина h наматываемого материала и диаметр оправки D_0).

Существование в объеме тела намотки областей, где имеются слои с существенно более низким уровнем, чем по периметру рулона, окружных напряжений σ_{α} (кривые 1,3,5,7 на рис.2), является причиной возникновения и явления самозатягивания отдельных слоев рулона, т.е. движением их относительно друг друга. Впоследствии в результате релаксации напряжений возможно взаимное движение (самораскручивание) витков. Следствием этого является образование слоев с нулевыми значениями межслойного давления ($\sigma_r = 0$) и разрушение рулонов. К этому явлению мож-

но также отнести нарушение плоскостности торцов рулона или возникновение так называемого "телескопического эффекта" и, следовательно, плохое качество намотки рулона.

Пока радиальные напряжения σ_r в рулоне поддерживаются на определенном уровне, то они создают силу статического трения между отдельными слоями, которая препятствует боковому перемещению полотна наматываемого материала. Но как только радиальные напряжения уменьшатся до определенного значения, то отдельные слои под действием внешних сил, возникающих в плоскости полотна из-за несовпадения осей упругой симметрии $X'OY'$ (рис.4) с осями наматываемого материала XOY , начинают относительное движение в направлении оси рулона. При этом возникают силы динамического трения между слоями, которые значительно меньше сил статического трения. Поэтому возникает перемещение наматываемого материала, приводящие к возникновению "телескопического эффекта" (рис.4), и как следствие, потянутость кромки рулона, ухудшение качества намотки, возникновение поперечных винтообразных складок материала.

В связи с вышеизложенным в качестве критерия качественной намотки рулонов из анизотропных материалов при постоянном усилии натяжения полотна ($N(r) = N_0 = \text{const}$) предлагается проверка достаточности уровня межслойных радиальных напряжений σ_r , препятствующих взаимному смещению витков, определенному их уровню.

Выразив радиальные напряжения σ_r через силу статического трения $F_{\text{тр}}$, получим уравнение, определяющее условие, выполнение которого позволяет предотвратить возникновение взаимообразного движения слоев рулона и так называемого "телескопического эффекта"

$$\sigma_r > \frac{N(r) r_n h}{2\pi r^2 \eta}, \quad (9)$$

где η - коэффициент трения покоя (выбирается для пары, внутренний слой - наружный слой наматываемого материала).

Можно показать, что в случае намотки рулонов с постоянным значением намоточного момента ($M_H = \text{const}$) условие (9) всегда удовлетворяется, и "телескопический эффект" не возникает.

Вместе с тем следует отметить, что значения радиальных напряжений σ_r в витках рулонов, намотанных с постоянным намоточным моментом ($M_H = \text{const}$) (рис.3), существенно ниже (от 20-30% до 2 раз) аналогичных значений для рулонов, намотанных с постоянным намоточным натяжением ($N(r) = \text{const}$) (рис.1).

Пониженный уровень радиальных напряжений σ_r создает реальную угрозу нарушения целостности рулона, которая выражается в склонности к скольжению, в направлении оси рулона, одной части витков относительно

другой, во время различных манипуляций с рулоном или во время перемотки и транспортировки. Поэтому в качестве критерия, положенного в основу определения рациональных режимов работы намоточных устройств с постоянным намоточным моментом ($M_H = \text{const}$), принята необходимость создания такого уровня радиальных напряжений σ_r , который бы обеспечил предотвращение перемещения одной части рулона относительно другой, при динамическом воздействии на рулон в направлении оси рулона с заданным ускорением w . Получены уравнения, определяющие условие, выполнения которого обеспечивает сохранение целостности рулона как при динамическом воздействии, так и под действием собственной массы

$$\sigma_r > \frac{\gamma(r_n^2 - r^2)}{2 \eta w r}, \quad \sigma_r > \frac{\gamma(r_n^2 - r^2)}{2 \eta g r}, \quad (10)$$

где γ — плотность наматываемого материала, кг/м³; w — ускорение, м/с²; η — коэффициент трения; $g = 9,81$ м/с².

Требования, которые должны предъявляться к технологическому оборудованию и соответствующим операциям при изготовлении пленочных, листовых и текстильных материалов, заключаются в создании одинаковых условий для каждого элементарного участка наматываемого материала. Эти условия вытекают из специфических процессов естественных и искусственных превращений микро и макроструктуры, происходящих в пленочных материалах и искусственных кожах после их изготовления. И чем в более равнозначных условиях находятся все участки намотанного в рулон материала, тем лучшими показателями качества он будет обладать. Это наглядно иллюстрирует рис.5, где показано изменение упругих свойств ПЭТФ пленки (кривые 1, 2) и ПИ пленки (кривые 3, 4) по длине рулонов ($L_p = 3000$ м), намотанных в режиме постоянного усилия натяжения ($N(r) = \text{const}$) (кривые 1, 3) и постоянного намоточного момента ($M_H = \text{const}$) (кривые 2, 4), на оправку диаметром $D_0 = 0,175$ м. Из анализа результатов, приведенных на рис.5, видно, что значения динамического модуля упругости как ПЭТФ пленок, так и ПИ пленок распределены по длине рулона (намотки) весьма неравномерно. Так, для ПЭТФ пленки, намотанной в режиме постоянного намоточного натяжения (рис.5, кривая 1,) упругие свойства изменяются от $E = 5880$ МПа (для слоя, соответствующего длине $L_p = 800-900$ м) до $E = 8000$ МПа (для слоев, соответствующих периферии рулона) т.е. изменяются более, чем в 1,36 раза. В случае намотки ПЭТФ пленки в режиме постоянного намоточного момента (рис.5, кривая 2) распределение упругих свойств по длине намотки носит несколько иной характер. Так, наибольшие значения модуля упругости ($E = 7600$ МПа) имеют слои, расположенные около оправки. В дальнейшем с ростом длины намотки

наблюдается уменьшение модуля упругости в 1,32 раза (до длины $L_p = 1800 + 2000$ м), а затем примерная его стабилизация на уровне $E = 5760$ МПа. Аналогичный характер распределения упругих свойств соответствует и ПИ пленкам, для которых при намотке с постоянным намоточным натяжением модуль упругости изменяется в 1,28 раза (от $E = 6700$ МПа для слоя, соответствующего длине $L_p = 750 + 800$ м, до $E = 8600$ МПа для периферийных слоев).

Из сравнения результатов, приведенных на рис. 2, 3, 5, видно, что характер изменения упругих свойств пленок по длине намотки коррелирует с характером изменения окружных напряжений σ_α по радиусу рулона. Это связано с тем, что намотанные рулоны ПЭТФ и ПИ пленок представляют собой технологические рулоны материалов, внутренняя структура которых продолжает изменяться еще в течение относительно большого промежутка времени, значительно большего чем время намотки материала в рулон. А так как процесс структурной стабилизации носит релаксационный характер, то и физико-механические свойства изменяются соответственно характеру стабилизации структуры материала, проявляя зависимость от уровня структурных напряжений, пропорциональных величине окружных напряжений σ_α в слоях рулона.

В связи с вышеизложенным в качестве критерия, положенного в основу определения оптимального с точки зрения однородности распределения физико-механических свойств материала по длине намотки, положено условие, которое заключается в создании такого напряженно-деформированного состояния рулонированного изделия, при котором все участки материала (т.е. каждый элементарный виток) будут испытывать постоянные по величине окружные напряжения ($\sigma_\alpha = \sigma_0 = \text{const}$).

В работе получено уравнение, определяющее, как должно изменяться натяжение $N(r)$, создаваемое приводом намоточного устройства в процессе намотки материала, чтобы окружные напряжения в витках рулона оставались постоянными ($\sigma_\alpha = \sigma_0 = \text{const}$),

$$N(r_i) = \sigma_0 \left[1 + k \frac{r_i^4 - a^4}{r_i^4 + a^4} \left(\frac{r_n - r_i}{r_i} \right) \right]. \quad (11)$$

Выражение для радиальных напряжений σ_r получено из уравнения (3) при подстановке в них условия $\sigma_\alpha = \sigma_0 = \text{const}$

$$\sigma_r = \sigma_0 \frac{r_n - r_i}{r_i} \quad (12)$$

На рис. 6 представлены зависимости относительных намоточных напряжений $N(r)/\sigma_0$ (кривые 2, 4, 6), окружных σ_α/σ_0 (прямая 7) и радиальных напряжений σ_r/σ_0 (кривые 1, 3, 5) от радиуса намотки. Анализ результатов,

приведенных на рис. 5, показывает, что для обеспечения постоянства окружных напряжений по виткам рулона намотка до определенного количества витков должна производиться с возрастающим натяжением, которое достигает максимального значения, определяемого толщиной, метражом и физико-механическими свойствами наматываемого материала. В дальнейшем натяжение $N(r)$ должно монотонно уменьшаться и на последнем витке становиться равным величине заданного остаточного окружного напряжения $N(r) = \sigma_0$.

Аэродинамические эффекты, возникающие при рулонировании материалов легкой промышленности, связаны прежде всего с засасыванием воздушного слоя определенной толщины внутрь рулонизируемого изделия. В связи с этим возникает задача, связанная с определением режимов работы намоточных устройств, позволяющих устранить засасывание воздуха и турбулилизацию воздушных потоков, омывающих наматываемый материал и тело намотки.

Экспериментальные исследования, проведенные нами, показали, что в результате засасывания воздуха уменьшается коэффициент трения между слоями и как результат возникает проскальзывание одних слоев рулона по отношению к другим. Кроме того, по мере увеличения радиуса рулона и радиальных напряжений σ_r воздух, зажатый во внутренних слоях, выталкивается через боковые стороны рулона. В результате нелинейной зависимости радиальных напряжений σ_r по радиусу рулона степень удаления воздушной прослойки из слоев рулона также будет различна. При этом радиус слоя, на который был намотан материал до удаления из него воздушной прослойки, деформируется в сторону уменьшения. Это искажает исходное распределение напряжений и является причиной появления арочных эффектов (складок), проскальзывания отдельных слоев относительно друг друга, нарушения целостности рулона при динамических воздействиях. Другой эффект связан с неполным и неравномерным вытеснением воздуха из толщи рулона. В результате происходит образование воздушных полостей (карманов) в различных частях рулона.

Для предотвращения этих явлений необходимо, чтобы воздух в процессе намотки удалялся из рулона на текущем радиусе намотки r_i . Это может быть достигнуто двумя способами. Первый способ заключается в увеличении намоточного натяжения $N(r)$ до величины, достаточной для создания радиального давления σ_r , обеспечивающего удаление воздушного слоя на текущем радиусе намотки r_i . Второй способ заключается в создании дополнительного радиального давления контрваликом, который опирается на рулон при намотке.

Реализация первого способа затруднена тем, что увеличение намоточного натяжения $N(r)$ ограничено механическими свойствами наматываемого материала.

Реализация второго способа приводит к появлению циркуляционной составляющей, искажающей напряженно-деформированное состояние, формируемое в рулоне намоточным устройством.

В работе впервые получено уравнение, позволяющее определить толщину воздушного слоя h , засасываемого в рулон при намотке:

$$h = \frac{1}{K} \sqrt{\frac{\eta_0 L_1}{\rho_0 S_p}}. \quad (13)$$

В уравнении (13) толщина воздушного слоя, засасываемого внутрь рулона, зависит не только от технологических параметров намотки (η_0 , ρ_0 - динамическая вязкость и плотность газовой среды рулонирования; S_p - скорость рулонирования; K - показатель шероховатости наматываемого материала), но и от конструктивных параметров намоточного устройства, таких как L_1 - расстояние от точки последнего контакта наматываемого материала с технологической линией до точки захвата воздуха в рулон на текущем радиусе намотки r_1 (рис.7).

Например для ПЭТФ пленки, движущейся по технологическому тракту со скоростью $S_p = 10$ м/с, динамической вязкостью воздуха $\eta_0 = 18,2 \cdot 10^{-8}$ Па с, плотностью воздуха $\rho_0 = 1,22$ кг/м³, для текущего радиуса рулона $r_1 = 0,2$ м и $L_1 = 0,6$ м, получим $h = 0,095 \cdot 10^{-3}$ м. Полученное значение воздушного слоя, увлекаемого пленкой, почти в два раза превосходит толщину наматываемого материала ($h = 0,05 \cdot 10^{-3}$ м).

В работе впервые определено аэродинамическое давление F_A , возникающее в результате воздействия воздушного слоя толщиной h , увлекаемого наматываемым материалом шириной b , со скоростью, равной рабочей скорости полотна S_p , на область входа наматываемого материала в рулон (рис.8). На основании теоремы об изменении количества движения воздушного слоя получено выражение для главного вектора аэродинамических сил

$$F_A = 2\rho_0 b h S_p^2. \quad (14)$$

Равнодействующая аэродинамических сил, воздействуя на цилиндрическую поверхность АВ текущего радиуса r_1 , раскладывается на касательную и нормальную составляющие. Нормальная составляющая F_A^N , определяемая из выражения

$$F_A^N = 2\rho_0 S_p^2 b h \sqrt{\frac{h}{2r_1}}, \quad (15)$$

создает в области входа наматываемого материала аэродинамическое давление F_A^N , прижимающее предыдущий виток к рулону

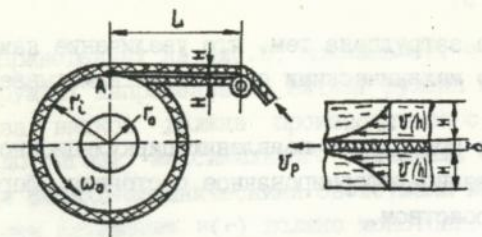


Рис.7. Затягивание воздушного слоя в рулон.

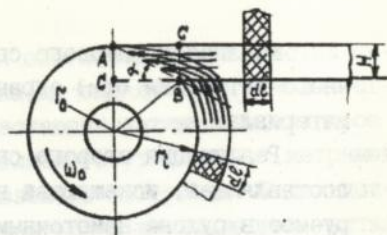


Рис.8. Определение аэродинамического давления воздушного слоя в зоне намотки.

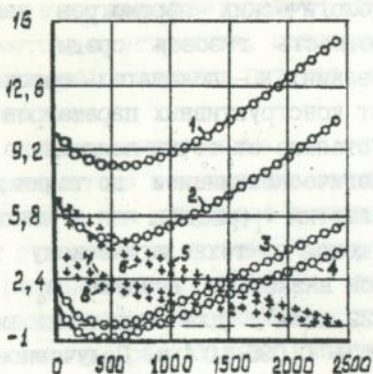


Рис.9. Изменение внутренних напряжений по длине рулонов ПЭТФ пленок при $N(r) = \text{const}$

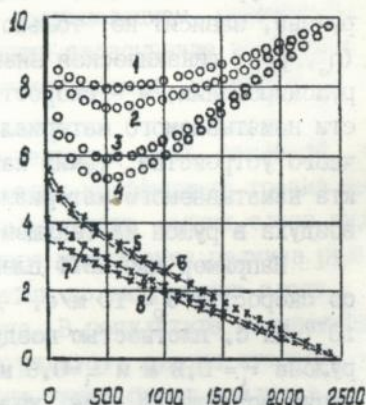


Рис.10. Изменение внутренних напряжений по длине рулонов ПЭТФ пленок при $M(r) = \text{const}$.

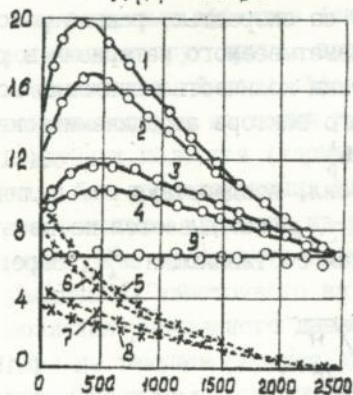


Рис.11. Изменение намоточного натяжения для рулонов ПЭТФ пленок при $\sigma_q = \text{const}$.

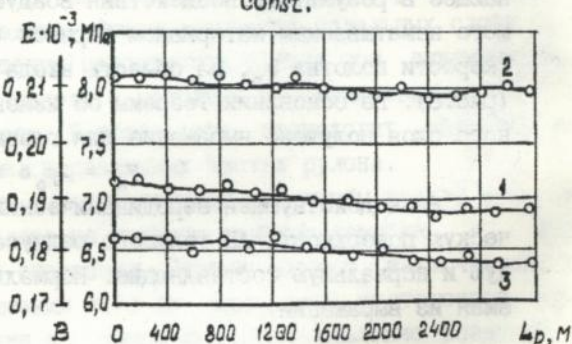


Рис.12. Изменение упругих свойств ПЭТФ пленки при $\sigma_q = \text{const}$

$$F_{\Delta}^N = \rho_0 \vartheta_p^2 \frac{H}{r_l} \quad (16)$$

Касательная составляющая F_{Δ}^T , определяемая из выражения

$$F_{\Delta}^T = 2\rho_0 \vartheta_p^2 v \sqrt{1 - \frac{H}{2r_l}} \quad (17)$$

создаёт в области входа наматываемого материала аэродинамическое давление F_{Δ}^T , стремящееся приподнять текущий виток от рулона

$$F_{\Delta}^T = 2\rho_0 \vartheta_p^2 \left[1 - \frac{H}{2r_l}\right] \quad (18)$$

В то же самое время намоточное натяжение $N(r)$ на текущем радиусе намотки r_l прижимает последний виток к рулону с давлением

$$P_r = \frac{N(r)h}{r_l} \quad (19)$$

Тогда необходимым и достаточным условием, обеспечивающим неподняtie последнего витка и, как следствие, предотвращение засасывания воздушного слоя в рулон будет $P_r - F_{\Delta}^T > 0$, или с учетом выражений (18) и (19)

$$\frac{N(r)h}{r_l} - 2\rho_0 \vartheta_p^2 \left[1 - \frac{H}{2r_l}\right] > 0 \quad (20)$$

Разрешая полученное неравенство относительно намоточного натяжения $N(r)$, получим условие, обеспечивающее удаление воздушного слоя из рулона увеличением минимально возможного натяжения $N(r)$ до уровня

$$N(r) > 2\rho_0 \vartheta_p^2 \frac{r_l}{h} \left[1 - \frac{H}{2r_l}\right] \quad (21)$$

Если определенное из выражения (21) намоточное натяжение превышает

$$N(r) > 0,75 \sigma_{\text{пл}} \quad (22)$$

где $\sigma_{\text{пл}}$ - предел пропорциональности наматываемого материала, то необходимо для удаления воздушного слоя из рулона использовать прижимное устройство в виде контрвалика.

Из уравнения (21) с учетом соотношения (20) и (22) получено условие выбора максимально допустимой рабочей скорости намотки ϑ_p материала, учитывающей особенности его физико-механических свойств

$$\vartheta_p \leq \sqrt{\frac{0,75 \sigma_{\text{пл}} h}{2\rho_0 r_l}} \quad (23)$$

В третьей главе - "Разработка методов и измерительной аппаратуры для исследования качественных показателей рулонизируемых изделий легкой промышленности" - показано, что для обеспечения оптимального закона управления намоточным устройством необходимо располагать сведениями об

анизотропии физико-механических свойств наматываемых материалов и однородности распределения их по ширине и длине наматываемого полотна.

На основании подробного анализа существующих намоточных устройств был разработан, изготовлен и внедрён на шосткинском производственном объединении "Свема" автоматизированный комплекс управления намоткой, обеспечивающий изменение натяжения наматываемых материалов по любому заданному закону. Автоматизированный комплекс управления намоткой полимерных плёночных материалов состоит из намоточного устройства, оснащённого целым рядом систем автоматического регулирования, предназначенных для программного управления намоткой - заключительной стадией технологического процесса получения высококачественных ПЭТФ плёнок. Разработанный комплекс применим к намотке всех без исключения исследуемых материалов, позволяет повысить производительность и культуру труда, устранить дефекты рулонирования и уменьшить отбраковку больших масс наматываемых материалов.

Здесь же приводится описание ряда оригинальных испытательных установок, предназначенных для определения основных физико-механических свойств наматываемых материалов.

Исследования физико-механических свойств полимерных листовых материалов и плёнок показали, что материалы, полученные на отечественных технологических агрегатах, характеризуются значительной неравномерностью распределения физико-механических свойств в плоскости полотна, что затрудняет однозначную интерпретацию различных явлений, возникающих при их намотке. В связи с вышеизложенным, в работе разработаны методики оценки анизотропии и неравномерности распределения физико-механических свойств листовых, полимерных плёночных и текстильных материалов в плоскости полотна.

В четвертой главе - "Экспериментальное исследование рулонированных изделий, образованных намоткой с различными законами изменения намоточного натяжения" - приведены экспериментальные результаты по исследованию распределения радиальных σ_r и окружных σ_θ напряжений по слоям рулонов.

Для определения распределения окружных напряжений σ_θ по длине намотки были изготовлены шесть измерительных полотен из ПЭТФ плёнок длиной $L_p = 2500$ м. На каждом полотне через каждые сто метров устанавливались специально разработанные линейные тензодатчики из константановой микропроволоки диаметром $d = 0,020$ мм. Максимальная погрешность измерений окружных напряжений с учетом дополнительной погрешности за счет многократного переподавления датчиков составила $\pm 8\%$.

Для измерения радиальных напряжений σ_r , действующих между слоями намотанного рулона, разработан новый метод. Сущность метода заключается в том, что в межвитковое пространство вводится строго определенное количество (0,5 мл) пастообразного белого вещества, обладающего практически идеально пластическими свойствами. В качестве характеристики уровня межслойных (радиальных) напряжений использовалось значение площади пятна, которое образуется в результате растекания пасты в межвитковом пространстве. Максимальная погрешность измерения радиальных напряжений составила $\pm 8\%$ при доверительной вероятности $F=0,95$.

На рис.9 представлены экспериментальные зависимости, характеризующие изменения окружных σ_α (кривые 1-4) и радиальных σ_r (кривые 5-8) напряжений по длине рулонов, намотанных на технологическую оправку диаметром $D_0 = 0,175$ м с постоянным натяжением $F_0 = 120$ Н при длине намотки $L_p = 2500$ м. Кривые 1, 5 на рис.9 описывают поведение ПЭТФ пленок толщиной $h = 0,013 \cdot 10^{-3}$ м, кривые 2, 6 - толщиной $h = 0,018 \cdot 10^{-3}$ м, кривые 3, 7 - толщиной $h = 0,036 \cdot 10^{-3}$ м и кривые 4, 8 - толщиной $h = 0,050 \cdot 10^{-3}$ м.

Анализ приведенных результатов показывает, что рулоны, намотанные с постоянным натяжением, характеризуются сильной неравномерностью окружных напряжений σ_α по виткам рулона. При одной и той же длине намотки более ярко выраженной неравномерностью обладают рулоны, намотанные из более толстых пленок (кривые 3, 4 на рис.9). Исследование влияния длины намотки показало, что увеличение в 2,5 раза длины намотанного рулона при неизменности намоточного натяжения приводит к повышению общей неравномерности окружных напряжений для исследованных материалов в среднем в 1,6-3,6 раза.

Проведены экспериментальные исследования формирования рулонированных изделий в режиме постоянного намоточного момента. На рис.10 изображены экспериментальные зависимости окружных σ_α и (кривые 1-4) радиальных σ_r (кривые 5-8) напряжений, возникающих в витках рулонов при намотке в режиме постоянного намоточного момента $M_H = 10$ Н м, пленок толщиной $h = 0,013 \cdot 10^{-3}$ м (кривые 1, 5); $h = 0,018 \cdot 10^{-3}$ м (кривые 2, 6), $h = 0,036 \cdot 10^{-3}$ м (кривые 3, 7) и $h = 0,050 \cdot 10^{-3}$ м (кривые 4, 8) на оправку диаметром $D_0 = 0,175$ м и при длине намотки $L_p = 2500$ м.

Из анализа результатов, приведенных на рис.10, видно, что максимальные значения окружных напряжений σ_α испытывают наружные витки рулонов. Минимальные окружные напряжения $\sigma_\alpha^{(min)}$ наблюдаются ближе к оправке, после намотки примерно 20 + 40% от общего числа витков. При этом формируются рулоны, в которых окружные напряжения σ_α не могут

быть сжимающими. Кроме того, следует отметить, что значения радиальных напряжений σ_r в витках рулонов, намотанных с постоянным намоточным моментом ($M_H = \text{const}$) (кривые 5-8 на рис.10) существенно ниже аналогичных значений для рулонов, намотанных с постоянным намоточным натяжением ($N(r) = \text{const}$) (кривые 5-8 на рис.9). И если для начальных (около оправки) витков это расхождение составляет в среднем $18 \pm 25\%$, то для средней части рулона, где в основном возникает опасность расслоения, это расхождение может достигать 1,5 - 2 раз.

Проведены экспериментальные исследования формирования рулонированных изделий в режиме постоянства окружных напряжений. На рис.11 в качестве примера представлены зависимости радиальных напряжений σ_r (кривые 5-8) по слоям рулонов ПЭТФ пленок толщиной $t=0,013 \cdot 10^{-3}$ м (кривая 8); $t=0,018 \cdot 10^{-3}$ м (кривая 7); $t=0,036 \cdot 10^{-3}$ м (кривая 6) и $t=0,050 \cdot 10^{-3}$ м (кривая 5). Практически горизонтальная линия 9 на рис.11 соответствует значению остаточного напряжения σ_0 , выбранного таким образом, чтобы максимальное значение намоточного натяжения не превысило $P \leq 120$ Н. Кривые 1-4 на рис.11 изображают изменения экспериментально измеренного намоточного напряжения $N(r)$ по длине рулона для наматываемого материала длиной $L = 2500$ м.

Анализ результатов, приведенных на рис.11, показывает, что полученные экспериментальные результаты хорошо коррелируют с теоретическими зависимостями. При этом следует отметить, что с увеличением толщины наматываемой пленки положение экстремального значения натяжения смещается к оправке, в начало намотки, а отношение его абсолютного значения $N(r)$ к величине остаточного окружного напряжения $\sigma_0 = \text{const}$ увеличивается. Так, например, для пленки толщиной $t=0,013 \cdot 10^{-3}$ м (кривая 4) это отношение составляет 1,4 раза, а для пленки толщиной $t=0,050 \cdot 10^{-3}$ м (кривая 1) это отношение составляет более чем 2,58 раза при длине намотки $L = 2500$ м.

Сравнения теоретических (рис.2,3,6) и экспериментальных (рис.9, 10,11) зависимостей показали, что экспериментальные зависимости качественно верно описывают распределение окружных σ_θ и радиальных σ_r напряжений в слоях рулонов всех исследуемых пленок. При этом расхождение между экспериментальными и теоретическими кривыми составляет в среднем для окружных напряжений σ_θ около 12%, для пленок толщиной $t=0,013 \cdot 10^{-3}$ м; 15% для пленок толщиной $t=0,018 \cdot 10^{-3}$ м; около 18% для пленки толщиной $t=0,036 \cdot 10^{-3}$; и более 20% для пленки толщиной $t=0,050 \cdot 10^{-3}$ м. Для радиальных напряжений σ_r это расхождение составило около 12% для всех исследованных пленок.

Методика определения оптимальных режимов работы намоточных устройств, обеспечивающих постоянство окружных напряжений $\sigma_{\alpha} = \text{const}$ в витках рулонов, заключается в определении минимального значения окружного напряжения $\sigma_{\alpha(\text{min})}$, величина которого учитывает межслойное проскальзывание, динамические нагрузки, релаксацию напряжений, физико-механические свойства наматываемого материала, основные геометрические параметры (r_n, r_o, L_p, n) рулонов и технические характеристики (ϑ_p, ω_o) намоточного устройства. В работе определены значения оптимальных окружных $\sigma_{\alpha} = \text{const}$, радиальных σ_r и намоточных $N(r)$ напряжений для основной номенклатуры ПЭТФ пленок отечественного производства. На основании полученных оптимальных значений окружных σ_{α} , радиальных σ_r и намоточных $N(r)$ напряжений были определены рабочие характеристики ($\vartheta_p, \omega_o, N(r=r_o)$) разработанного намоточного устройства.

Оптимизация параметров намоточного устройства в режиме постоянства окружных напряжений ($\sigma_{\alpha} = \text{const}$) позволила стабилизировать физико-механические свойства широкой номенклатуры ПЭТФ, ПЭ и ПИ пленок отечественного производства. На рис.12 приведены осредненные экспериментальные зависимости распределения динамического модуля упругости E' по длине катушки для ПЭТФ пленки (кривая 1) и ПИ пленки (кривая 2) производства ШПО "Свема" и ПЭ пленки производства НПО "Дельта" (г. Херсон) (кривая 3). Пленки, полученные на технологических агрегатах, были намотаны в режиме постоянства окружных напряжений. После намотки рулоны выдерживались в течение 48 часов для завершения основных процессов стабилизации структурно-молекулярных характеристик пленок. Как следует из рис.12, распределения $E' = f(L_p)$ для всех без исключения пленок характеризуются практически постоянством динамического модуля упругости E' по длине полотна. Это позволяет сделать вывод о том, что программированная катушка в режиме $\sigma_{\alpha} = \text{const}$ позволяет стабилизировать структурно-молекулярные характеристики наматываемых материалов и, как следствие, повышение качества изготовления полимерных пленок и изделий из них.

В пятой главе - "Основы расчета и проектирования намоточных устройств" - разработаны основные положения научно обоснованного метода расчета и проектирования намоточных устройств с учетом динамики процесса рулонирования.

При разработке намоточных устройств возникает задача оптимизации режимов их работы на основе исследования напряженно-деформированного состояния, формирующегося в рулоне при намотке. Главным фактором управления при этом выступает намоточное натяжение материала, поэтому

расчет намоточного устройства необходимо прежде всего согласовать с основными параметрами наматывания, а именно: с законом изменения намоточного натяжения $N(r)$, длиной рулона L_p , диаметром оправки D_0 , максимальным диаметром рулона D_p и скоростью движения полотна по технологической линии S_p .

При проектировании намоточных устройств должны быть решены следующие принципиальные вопросы: выбор режима намотки $N(r)=const, M(r)=const$ или $\sigma_a(r)=const$; оптимальная кинематическая схема намоточного механизма; тип привода оправки; тип подвески; необходимость механизма прижимного валика; конструкция оправки; система механизации и автоматизации ручных операций.

Анализ кинематической схемы и конструкции наиболее распространенного типа намоточных устройств - с непосредственным приводом - показывает, что в каждый момент времени намотки рулона момент привода M_n может быть определен из следующего уравнения

$$M_n = M_H + M_{\text{дин.}} + M_{\text{т.о.}} + M_M + M_A, \quad (24)$$

где M_H - намоточный момент, равный $M_H = N(r) r_i$; $M_{\text{дин.}}$ - момент, возникающий вследствие изменения момента инерции рулона $I_z(p)$, его массы m_p и угловой скорости оправки ω_0 ; $M_{\text{т.о.}}$ - момент, создаваемый силами трения в опорах оправки намоточного устройства; M_M - момент сопротивления механической передачи приводного устройства оправки; M_A - момент аэродинамического сопротивления тела намотки.

В работе получено выражение, определяющее момент $M_{\text{т.о.}}$, создаваемый силами трения в опорах оправки намоточного устройства при текущем радиусе намотки r_i для кинематической схемы с верхней

$$M_{\text{т.о.}} = \eta \frac{d}{2} \sqrt{[\omega_0 + \pi b r_0 (r_i^2 - r_0^2)]^2 + [N(r_i) b h]^2} - 2[\omega_0 + \pi b r_0 (r_i^2 - r_0^2)] N(r_i) b h \sin \alpha_i$$

и для схемы с нижней заправкой наматываемого полотна

$$M_{\text{т.о.}} = \eta \frac{d}{2} \sqrt{[\omega_0 + \pi b r_0 (r_i^2 - r_0^2)]^2 + [N(r_i) b h]^2} + 2[\omega_0 + \pi b r_0 (r_i^2 - r_0^2)] N(r_i) b h \sin \alpha_i.$$

Из полученных выражений видно, что для обеих схем заправки наматываемого полотна момент $M_{\text{т.о.}}$ будет изменяться с изменением радиуса намотки r_i . При этом следует отметить, что кинематическую схему с нижней заправкой наматываемого полотна необходимо использовать при проектировании быстроходных намоточных устройств, так как эта схема исключает возникновение вибрации в опорах в начальный период намотки.

Закон изменения момента $M_{\text{дин.}}$, определен из уравнения Лагранжа второго рода

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{\partial E}{\partial \dot{\varphi}} \right] - \frac{\partial E}{\partial \varphi} = \Sigma M_i, \quad (25)$$

где E - кинетическая энергия намоточного устройства; φ и $\dot{\varphi}$ - соответ-

ственно обобщенные угловые координаты (угол поворота рулона и угловая скорость рулона); t - время; ΣM_i - внешние обобщенные силы (в нашем случае $\Sigma M_i = M_{\text{дин}}$).

В результате решения уравнения Лагранжа (25) окончательно получено выражение для $M_{\text{дин}}$

$$M_{\text{дин}} = - \left[I_{\text{п}} + \frac{G_0}{2g} r_0^4 + \frac{\pi \rho b}{2} (r_1^4 - r_0^4) \right] \frac{h \vartheta_0^2}{\pi r_1 r_0 (r_1 + r_0)} + \frac{\pi \rho b}{2} \vartheta_p^2 r_1. \quad (26)$$

Знак "минус" в первом члене уравнения (26) определяет динамический момент торможения $M_{\text{дин}}$, который необходимо развивать приводу نامточного устройства в процессе формирования рулона. При этом динамические силы влияют на тормозной момент $M_{\text{дин}}$ тем больше, чем выше рабочая скорость полотна ϑ_p по технологической линии, масса рулона m_p и текущий радиус намотки r_1 .

Момент сопротивления механической передачи приводного устройства оправки M_m определяется по известным методикам, которые заключаются в приведении к валу приводного двигателя моментов инерции кинематических пар, моментов трения в опорах валов и в зубчатых зацеплениях.

Аэродинамическое сопротивление тела намотки M_A складывается из моментов трения о воздух торцевых и цилиндрической поверхности рулона, а также момента сопротивления, возникающего при трении о воздух открытого участка листового материала до входа в зону намотки. Обтекание воздухом этих поверхностей может происходить как в ламинарном, так и в турбулентном течениях. При этом в зависимости от угловой скорости наматывания ω_1 и радиуса намотки r_1 изменяются размеры областей ламинарного и турбулентного течений, а с ними - и общий момент аэродинамического сопротивления M_A . Кроме того, величина аэродинамического сопротивления будет существенно зависеть от состояния поверхности (шероховатости) наматываемого материала.

Приведен расчет полного момента аэродинамического сопротивления тела намотки, которое учитывает возможность возникновения как ламинарного, так и турбулентного режимов наматывания

$$M_A = 2(M_{\text{Тл}} + M_{\text{Тт}}) + M_{\text{Цл}} + M_{\text{Цт}} + M_{\text{Лл}} = 2 \left[0,664 \pi \rho_0 \left(r_{\text{кр}}^4 - r_1^4 \right) \sqrt{\frac{v_0 \vartheta_p^2}{r_1^3}} + \right. \\ \left. + 0,0196 \rho_0 R_z^2 \frac{\vartheta_p^2}{r_1^2} \left(r_1^{4,8} - r_{\text{кр}}^{4,8} \right) \right] + 0,664 b \vartheta_p^2 r_1 \mu_0 / \sqrt{Re_{\text{кр}}} + 0,0187 \rho_0 \vartheta_p^2 \\ b r_1 \left(R_z + \frac{0,83 v_0}{\vartheta_p} \right)^2 \left[(2\pi r_1)^{0,8} - (2\pi r_0)^{0,8} \right] + 0,328 \vartheta_0^2 \rho_0 b \mu_0 r_1 / \sqrt{Re_{\text{кр}}}. \quad (27)$$

Анализ уравнения (27) показывает, что момент аэродинамического со-

противления тела намотки M_A не остается постоянным, а увеличивается с ростом текущего радиуса рулона r_t , скорости наматывания ϑ_p , ширины наматываемого материала и существенно влияет на процесс намотки при скоростях наматывания свыше ($\vartheta_p > 10$ м/с), достигая от 10 до 30% от требуемого намоточного момента привода M_n . При скоростях $\vartheta_p \leq 10$ м/с влияние момента аэродинамического сопротивления несущественно и находится в пределах 5–10% от требуемого намоточного момента привода M_n вследствие, практически полного отсутствия турбулентных течений, омывающих рулон.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Проведен анализ основных закономерностей процесса намотки рулонирования изотропных и анизотропных материалов. Установлено, что качество рулонированных изделий зависит от напряженно-деформированного состояния, сформированного в изделии в процессе намотки.

2. В работе усовершенствована модель рулонированного изделия и установлены законы изменения внутренних напряжений в витках рулона, наматываемых на существующих конструкциях намоточных устройств.

3. Установлено, что характер напряженно-деформированного состояния рулонизируемого изделия, формируемого намоточным устройством в процессе намотки зависит, прежде всего от закона изменения намоточного натяжения, конструкции и параметров намоточного устройства, а также физико-механических свойств и анизотропии наматываемого материала.

4. Установлено, что при работе намоточных устройств в режиме постоянного намоточного натяжения формируются рулоны, обладающие сильной неравномерностью (от 60 до 300%) окружных напряжений в витках рулонов. При этом следует отметить, что при увеличении длины намотки в определенной области рулона возможно возникновение сжимающих напряжений. Появление сжимающих напряжений является причиной возникновения арочных эффектов и поперечных полос деформации наматываемого материала, приводящих к потере качества.

5. Показано, что причиной возникновения так называемого "телескопического эффекта" является нерациональный выбор величины намоточного натяжения, приводящего к возникновению динамического скольжения витков или явления самозатягивания рулона.

6. Разработаны критерии оптимизации и методы определения рациональных режимов работы намоточных устройств, формирующих рулоны с постоянным усилием намотки или с постоянным намоточным моментом. Разработанные режимы позволяют устранить "телескопический эффект", самозатягивание, динамическое скольжение витков, а также устранить расслоение рулонов при манипуляциях и транспортировке.

7. Установлено, что для обеспечения положительных растягивающих напряжений в слоях рулонов, намотанных на существующих намоточных устройствах, соотношение между диаметром оправки D_0 и максимальным диаметром рулона D_n должно находиться в интервале $D_n/D_0 \leq 2$.

8. Впервые решена задача и получены уравнения, определяющие толщину воздушного слоя, затягиваемого внутрь рулона и создающего аэродинамическое давление на витки при намотке.

9. Установлен критерий, позволяющий определить максимально допустимую рабочую скорость намотки с учетом физико-механических свойств наматываемого материала.

10. Установлено, что исходные требования, которые должны предъявляться к намоточному технологическому оборудованию, заключаются в обеспечении равных окружных напряжений намотанного материала в каждом элементарном слое рулонированного изделия.

11. Разработана методика и стенд для экспериментальных исследований распределения напряжений в рулонах пленочных материалов.

12. Проведенные исследования физико-механических свойств наматываемых материалов показали, что значения коэффициента анизотропии, определяющего закон изменения внутренних напряжений в рулонах из анизотропных материалов, находится в пределах 2,825 - 4,225.

13. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния рулонов ПЭТФ пленок показали, что предложенная модель рулонированного изделия качественно верно описывает распределение напряжений по слоям рулонов. При этом расхождения между теоретическими и экспериментальными зависимостями составляют в среднем 12-20 % для окружных напряжений и около 12 % для радиальных напряжений.

14. Разработан метод определения оптимальных режимов работы намоточных устройств, обеспечивающий постоянство окружных напряжений в витках рулонов. Это позволило стабилизировать физико-механические свойства широкой номенклатуры ПЭТФ, ПЭ и ПИ пленок.

15. Разработан научно обоснованный метод расчета и проектирования намоточных устройств с центральным приводом, учитывающий динамику и аэродинамические эффекты, возникающие при рулонировании листовых и пленочных материалов легкой промышленности.

16. На основе результатов исследования спроектирован, изготовлен и внедрен опытный образец намоточного устройства, обеспечивающий программированную намотку рулонов полимерных пленок.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Артеменко Л.Ф. , Захарчук В.И. , Билида Г.В. Перспективы разработ-

- ки магнитных лент на основе фенелоновых композиции //Тезисы докладов III Республиканской научно-технической конференции, Шостка, 1987, 87 с.
2. Артеменко Л.Ф., Кострицкий В.В., Лысенко А.И. Структурно-механическая модель микропористых сред //Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції - Хмельницький, 1993 - 123 с..
 3. Артеменко Л.Ф., Кострицкий В.В. Математичне моделювання процесів рулонування виробів легкої промисловості //Наукові праці Ювілейної наукової конференції до 65-річчя заснування ДАЛПУ, 1995, - 4 с.
 4. Артеменко Л.Ф., Кострицкий В.В. Телескопический эффект при формировании рулонированных изделий легкой промышленности и способы его устранения //Тези доповідей науково-практичної конференції Хмельницького технологічного університету, 1995, - 346 с.
 5. Артеменко Л.Ф. Дослідження основних параметрів намотувальних пристроїв та використання при рулонуванні виробів легкої промисловості //Тези доповідей науково-практичної конференції Хмельницького технологічного університету, 1995, 348 с.
 6. Артеменко Л.Ф. Петко И.В. Технологія обробки матеріалів швидкоплинним гідроструменем // Нові технології в легкій промисловості, ДАЛПУ, 1995. - 324 с.
 7. Artemenko L.F., Kostritsky V.V., Burmistenkov A.P. Automatic mechanical Spectrometer for definition of qualitative parameters of textile and chemical fibres, films, threads and clothies. Thetextile institutes 77 th world Conference may 21+24 1996, Tampere, Finland.
 8. Артеменко Л.Ф. Оптимизация процесса рулонирования листовых и пленочных материалов легкой промышленности //Проблеми сучасного машинобудування, збірник наукових праць технологічного університету Поділля, 1996. 58-59 с.
 9. Артеменко Л.Ф., Березненко Н.П., Кострицкий В.В. Аспекты метрологической оценки качества рулонирования текстильных материалов // Тез. докл. Международного семинара "Metrology in the Textile Enginetry", г. Лодзь, Польша 1996. 64-73.

Артеменко Л.Ф. Совершенствование устройств для рулонирования изделий легкой промышленности.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.19.09 – машины и агрегаты легкой промышленности. Государственная академия легкой промышленности Украины, Киев, 1996. Защищается 9 научных работ, которые содержат теоретические и практические исследования параметров намоточных устройств для рулонирования изделий легкой промышленности, а также результаты экспериментальных исследований. Рассмотрена задача оптимизации напряженно-деформированного состояния рулонированных изделий легкой промышленности. Установлены законы распределения радиальных и окружных напряжений по радиусу рулона. Показаны причины возникновения "телескопического эффекта" и явления самозатягивания отдельных слоев рулона. Изложена методика определения основных параметров намоточных устройств, устраняющая указанные выше дефекты. Осуществлено промышленное внедрение разработанного намоточного устройства, приведены данные об его эффективности в процессе эксплуатации.

Artemenko L.F. Improving of winding devices of rolled articles light industry.

Dissertation on competition degree of candidat of technical science on field of specilization 05.19.09 – machines and units of the light industry, National Academy of light industry of Ukraine, Kiev, 1996. The competitor intends to defend 9 scientific papers, which contain theoretical and practical studies of winding devices for rolled articles used in light industry and also the results of experimental research. The problem of optimization of a stress - strain state of rolled articles used in light industry has been considered. The laws of radial and ring stress distribution along the roll radius have been established. The causes inducing a "telescopic effect" and phenomena of self - pinching of separate roll plies have been shown. Methods for determining principal parameters of winding devices to remove the above defects have been described. In addition, there was performed the industrial implementation of designed winding devices. The papers contain data on effectiveness of use of said agents.

Ключові слова: намотувальний пристрій, рулонований вироб, параметри намотувального пристрою, радіальні та окружні напруження, пружно-деформований стан, телескопічний ефект.

ВНИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И МАШИНОСТРОЕНИЯ
ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГЕАТОМ»

Издательство «Энергетик»

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГЕАТОМ»

ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ПРИМЕНЕНИЯ РИТМОВ В ЗАДАЧАХ
УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ ПРОИЗВОСТВА И
ПОЗИЦИИ ЭНЕРГЕТИКИ

Сост. А. А. Боровиков, В. В. Козлов, В. В. Козлов, В. В. Козлов
Издательство «Энергетик»

АВТОРЕФРАТ
на тему: «...»

Книга - 1976

009 .кб

102000

AB 35.523
AB 35.523

Бесплатно

Зак. 900