

АМЕЛИНА Наталия Валерьевна

**КИНЕТИКА И АППАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ
ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЗИНОВЫХ
НИТЕЙ ИЗ ЛАТЕКСА**

Специальность 05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тамбов 2004

Работа выполнена на кафедре «Переработка полимеров и упаковочное производство» Тамбовского государственного технического университета.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Ялев Павел Серафимович

Бе-

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Ярцев Виктор Петрович

кандидат химических наук
Сивохин Владимир Сергеевич

Ведущая организация: ОАО «ННИРТмаш», г. Тамбов

Защита диссертации состоится «___» _____ 2004 г. в ___ ч ___ мин на заседании диссертационного совета Д 212.260.01 Тамбовского государственного технического университета по адресу: 392000, г. Тамбов, ул. Ленинградская, 1, ауд. 60.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных гербовой печатью, просим направлять по адресу: 392000, г. Тамбов, Советская, 106, ТГТУ, ученому секретарю диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан «___» _____ 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

В.М. Нечаев

Подписано к печати 17.11.2004

Гарнитура Times New Roman. Формат 60 × 84/16. Бумага офсетная

Печать офсетная. Объем: 0,93 усл. печ. л.; 0,9 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. С. 797

Издательско-полиграфический центр ТГТУ
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ*

Актуальность работы. Ускорение научно-технического прогресса невозможно без интенсификации технологических процессов. Это касается и производства резиновых нитей из латекса. Разработки технологического и конструктивного характера для данного производства проводились опытным путем, а применяемое оборудование характеризуется завышенными массогабаритными показателями. До настоящего времени не разработаны методы расчета основных параметров технологического процесса изготовления резиновых нитей из латекса: коагуляции, промывки и вытяжки, сушки, получения лент из нитей. В связи с этим актуальными являются комплексные задачи по теоретическому и экспериментальному исследованию основных процессов изготовления резиновых нитей из латекса как базы для оптимального проектирования необходимого оборудования, поиск и внедрение новых высокоинтенсивных технологий.

Цель работы. Исследование кинетики и аппаратурно-технологическое оформление процесса получения резиновых нитей из латекса, включающего новую технологическую операцию – синерезиса латексных гелей в жидких теплоносителях. Для достижения указанной цели поставлены и решены следующие задачи:

- теоретически и экспериментально обоснована возможность использования синерезиса латексных гелей в жидких теплоносителях для повышения эффективности процессов производства резиновых нитей;
- экспериментально определен тип жидкого теплоносителя для процесса синерезиса латексных гелей – глицерин, обеспечивающий повышение интенсивности тепло- и массообменных процессов и качества получаемых нитей;
- составлено математическое описание основных технологических операций процесса производства резиновых нитей из латекса: нитеобразования в ваннах коагуляции, синерезиса латексных гелей в жидком теплоносителе, воздушно-тепловой сушки резиновых нитей;
- разработана лабораторная установка для непрерывного получения резиновых нитей из латексных гелей, проведены экспериментальные исследования процессов коагуляции, синерезиса, промывки нитей от глицерина, воздушно-тепловой сушки и образования лент из нитей, а также влияния режимных переменных на интенсивность тепло- и массопереносных процессов и на качество получаемой продукции;

* Автор выражает глубокую благодарность профессору Клинкову Алексею Степановичу за научные консультации в области проектирования оборудования для производства резинотехнических изделий.

– сформулированы и решены задачи оптимизации режимных переменных и конструктивных параметров процесса производства резиновых нитей из латекса, обеспечивающих минимальные массогабаритные показатели технологической линии при заданном качестве продукции и максимальной производительности оборудования;

– разработаны рекомендации по аппаратурному оформлению линии для производства резиновых нитей диаметром до 0,6 мм и оборудованию для производства из них резиновых лент.

Научная новизна. Разработана новая технология процесса получения резиновых нитей из латекса, включающая в себя операцию синерезиса латексного геля в глицерине.

Проведены экспериментальные исследования основных технологических операций при производстве резиновых нитей из латекса. На их основе предложено математическое описание следующих процессов: коагуляции струи латекса в растворе уксусной кислоты, синерезиса латексного геля в жидком теплоносителе – глицерине и конвективной сушки.

Сформулирована и решена задача оптимизации режимных переменных и конструктивных параметров производства резиновых нитей из латекса.

Практическая ценность. Теоретически и экспериментально обоснована эффективность введения технологической операции синерезиса латексного геля в глицерине в процесс производства резиновых нитей и лент. Разработана инженерная методика и пакет программ для расчета режимных переменных и конструктивных параметров оборудования для производства резиновых нитей из латекса. Разработан проект линии по производству резиновых нитей диаметром до 0,6 мм, основанный на использовании

новой технологической операции синерезиса латексного геля в глицерине. Разработана инженерная методика расчета дополнительного оборудования линии: системы дозирования латекса и оборудования для производства лент из нитей.

С использованием полученных в диссертации данных проведены расчеты процессов отложения латексного геля на стенках трубопроводов с целью определения периодичности профилактических работ, определена эксплуатационная надежность и оптимальная численность обслуживающего персонала линии. Габаритные размеры линии на 30 % меньше существующих аналогов. Разработанный технический проект линии, методика расчета и программное обеспечение приняты к использованию в Научно-исследовательском институте резинотехнического машиностроения (АО «НИИРТмаш»), г. Тамбов.

Методика расчета оптимальных размеров ванн коагуляции, синерезиса, промывки и габаритов сушилки, а также программное обеспечение внедрены в учебный процесс Тамбовского государственного технического университета (ТГТУ) и используются при подготовке инженеров по направлению 655400 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, в нефтехимии и биотехнологии» в рамках дисциплины «Оборудование для переработки полимерных материалов».

Апробация работы. Результаты диссертационной работы доложены на научных конференциях ТГТУ (Тамбов, 2000, 2003, 2004 гг.) и опубликовано семь печатных работ.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти основных глав, выводов, списка использованных источников, включающего 76 наименований и одного приложения. Основная часть диссертации изложена на 114 страницах машинописного текста. Работа содержит 27 рисунков и пять таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сформулированы цель и задачи настоящей работы, ее научная и практическая актуальность, показана научная новизна и практическая значимость.

1 Технология и оборудование изготовления нитей из латекса.

Дано описание свойств латексов, технологического процесса и промышленной линии изготовления нитей из латекса.

Проведен обзор и анализ работ по проблемам латексной технологии, большой вклад в которую внесли отечественные и зарубежные ученые: В.В. Черная, П.Д. Трофимович, Б.А. Майзелис, Ю.В. Грубман, М.С. Силонова, Т.Н. Каменщикова, В.В. Верхованцев, Р.Э. Нейман, А.В. Лебедев, Р.Дж. Нобль, Е.Б. Бредфорд и другие.

Технологический процесс изготовления нитей из латекса состоит из совокупности технологических операций, каждая из которых характеризуется своими особенностями и соответствующим аппаратным оформлением.

Интенсифицировать процесс изготовления нитей при существующей технологии затруднительно. Так, стремление к увеличению производительности требует увеличения размеров ванн коагуляции и промывки и особенно увеличения длины камеры сушки и вулканизации. Желание увеличить производительность приводит к непропорциональному росту расходов на изготовление и эксплуатацию требующегося оборудования. Кроме того, до настоящего времени нет инженерной методики расчетов основных процессов в технологии изготовления латексных нитей. Поэтому повышение эффективности процессов производства резиновых нитей и лент из латекса диктует необходимость поиска новых технологических решений, позволяющих интенсифицировать процессы тепло- и массопереноса. Необходима постановка и решение комплексных задач по теоретическому и экспериментальному исследованию основных технологических операций процесса изготовления резиновых нитей из латекса с установлением математических зависимостей выходных параметров с действующими на процесс факторами как базы для оптимизации оборудования при его проектировании.

2 Экспериментальные исследования основных технологических операций при производстве резиновых нитей из латекса.

Основными технологическими операциями изготовления резиновых нитей из латекса являются: дозирование, коагуляция, промывка и вытяжка, сушка и образование лент из нитей.

При изготовлении нитей из латекса наиболее длительной и энергоемкой технологической операцией является сушка. Явление синерезиса гелей в среде высокотемпературных теплоносителей использовали как один из путей снижения энергозатрат и сокращений времени на процесс влагоудаления.

Для проверки эффективности использования различных теплоносителей для синерезиса латексных гелей были проведены пробные эксперименты по сушке латексного геля на стеклянных формах. Гель получали методом ионного отложения. Из группы исследуемых теплоносителей лучшие показатели оказались у глицерина, и в дальнейшем все эксперименты проводились с его использованием. Так, например, синерезис и сушка в глицерине при температуре 136 °С в течение 3 мин не приводит к браку в виде пор и пузырей, а при обработке в силиконовой жидкости уже после 10 с выдержки на поверхности пленки возникали и рвались пузыри. Кроме того, повышение температуры нагрева глицерина не вызывает образования вредных летучих компонентов.

Для проведения экспериментальных исследований основных процессов получения резиновых нитей из латекса с учетом введения новой технологической операции синерезиса в глицерине, а также процесса образования из них лент была разработана лабораторная установка непрерывного действия (рис. 1).

Проведение экспериментальных исследований было направлено на выяснение влияния режимных переменных на кинетику процессов коагуляции, синерезиса, промывки и сушки, а также на качественные показатели получаемых резиновых нитей.

Концентрацию каучука в образцах определяли методом взвешивания до и после тепловой обработки. Концентрацию ионов коагулянта (уксусной кислоты) в геле осуществляли на хроматографе «Кристалл-2000М». Физико-механические показатели образцов (прочность при разрыве и относительное удлинение) определяли путем испытаний на разрывной машине типа ЦМГИ-250. Анализ проведенных экспериментальных исследований показывает, что термообработка в глицерине латексных гелей может значительно сократить время сушки.

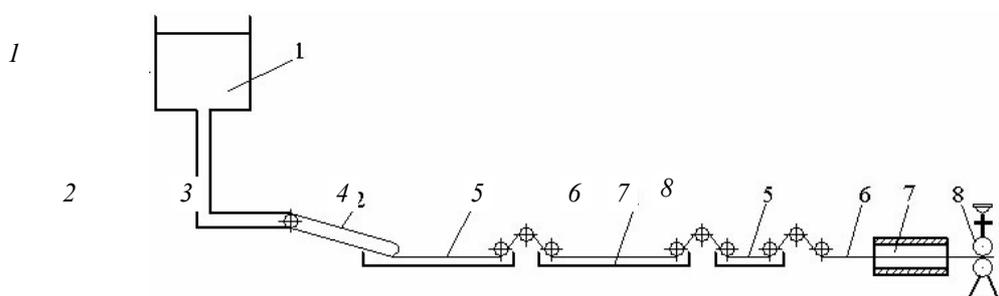


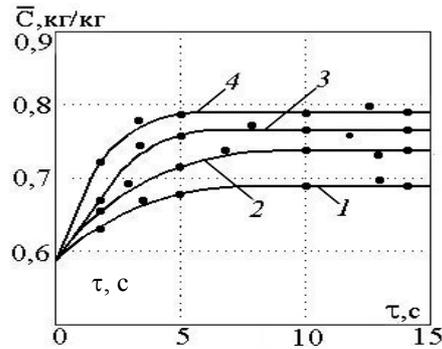
Рис. 1 Схема лабораторной установки для непрерывного получения резиновых нитей из латекса:

- 1 – бачок с латексной смесью; 2 – фильтра; 3 – ванна коагуляции;
4 – ванна с жидким теплоносителем; 5 – ванна промывки; 6 – латексная нить;
7 – сушилка; 8 – каландр

На рис. 2 приведен график изменения средней концентрации каучука в геле при синерезисе в глицерине различной температуры. Повышение температуры приводит к увеличению конечной концентрации каучука в геле.

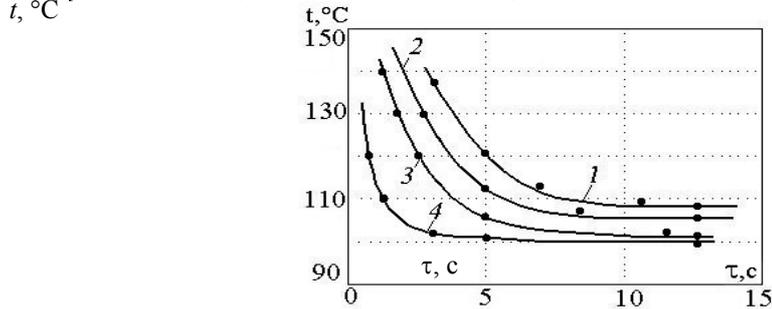
Однако, при повышении температуры глицерина ухудшается качество нити из – за порообразования. На рис. 3 показано начало порообразования в нитях различного диаметра при различной температуре и выдержке в глицерине, а также в воздушной среде. Таким образом, экспериментальные данные (рис. 3) определяют ограничения на технологические переменные при проведении процесса синерезиса в глицерине. Экспериментальные исследования конвективной сушки показали, что при повышении температуры выше 120 °С происходит ухудшение качества нитей. Это позволило определить ограничение на технологическую переменную при

\bar{C} , кг/кг



**РИС. 2 ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ КАУЧУКА В ГЕЛЕ
ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ СИНЕРИЗИСЕ:**

диаметр нити: $d = 0,6$ мм; 1 – $t = 100$ °С; 2 – $t = 110$ °С; 3 – $t = 120$ °С; 4 – $t = 140$ °С

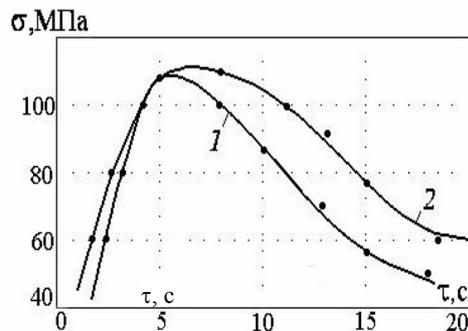


**РИС. 3 НАЧАЛО ПОРООБРАЗОВАНИЯ В ЛАТЕКСНОЙ НИТИ
ПРИ ОБРАБОТКЕ В ГЛИЦЕРИНЕ:**

1 – $d = 0,3$ мм; 2 – $d = 0,6$ мм; 3 – $d = 0,9$ мм;
4 – $d = 0,9$ мм (в воздушной среде)

проведении процесса конвективной сушки. Проведенные исследования показали, что обработанная в глицерине резиновая нить обладает более высокими качественными показателями: они имеют бархатистую поверхность, мягкость и эластичность. При этом, выпускаемые латексные нити должны соответствовать действующим в настоящее время требованиям технических условий «Нити латексные». Согласно этим условиям, предел прочности при разрыве должен быть $\sigma_p \geq 24$ МПа, а относительное удлинение при разрыве $\lambda \geq 500$ %. Как видно из рис. 4, 5 использование глицерина при высокотемпературном синерезисе приводит к повышению прочности нити в 3 – 4 раза и относительного удлинения более чем в 2 раза. Поэтому его использование в технологическом процессе изготовления резиновых нитей из латекса вполне обосновано.

σ , МПа



**РИС. 4 ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ НИТИ ДИАМЕТРОМ 0,6 ММ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СИНЕРЕЗИСА В ГЛИЦЕ-
РИНЕ:**

$1 - t = 110 \text{ }^\circ\text{C}$; $2 - t = 140 \text{ }^\circ\text{C}$ (кривые – расчет, точки – эксперимент)
 $\lambda \cdot 10^{-3}, \%$

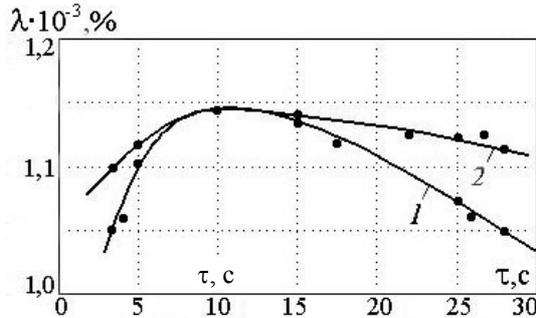


РИС. 5 ЗАВИСИМОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНОГО УДЛИНЕНИЯ НИТИ ДИАМЕТРОМ 0,6 ММ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИНЕРЕЗИСА РАЗЛИЧНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ В ГЛИЦЕРИНЕ:

$1 - t = 110 \text{ }^\circ\text{C}$; $2 - t = 140 \text{ }^\circ\text{C}$ (кривые – расчет, точки – эксперимент)

Как показали экспериментальные исследования совмещение процесса синерезиса в глицерине и воздушной сушки сокращают время проведения процесса в 1,3 – 1,4 раза по сравнению с конвективной сушкой. Качество обработанных в глицерине образцов более высокое, чем образцов после воздушной сушки. Термообработка в глицерине более целесообразна также с экономической точки зрения, так как при этом уменьшается расход тепла, и оборудование для осуществления этого процесса более компактно и менее металлоемко.

3 Математическое моделирование процесса получения резиновых нитей из латекса.

Для решения задач оптимизации режимных переменных и конструктивных параметров процесса производства резиновых нитей из латекса составлено математическое описание основных технологических операций: процесса коагуляции латексных гелей, синерезиса в глицерине и конвективной сушки.

Наиболее важным технологическим процессом в технологии получения нитей является процесс коагуляции струи латекса в ванне с раствором уксусной кислоты, когда собственно начинает формироваться нить в виде геля. Механизм этого процесса состоит в том, что при контакте струи латекса с кислотой глобулы каучука в поверхностном слое астабилизируются, образуя пленку коагулюма, толщина которой в момент контакта определяется диаметром глобул. В следующий момент времени коагуляция уже зависит от концентрации ионов, которые должны продиффундировать через пленку коагулюма. При этом процесс отложения становится диффузионным и определяющей величиной в нем является концентрация ионов на границе гель – латекс.

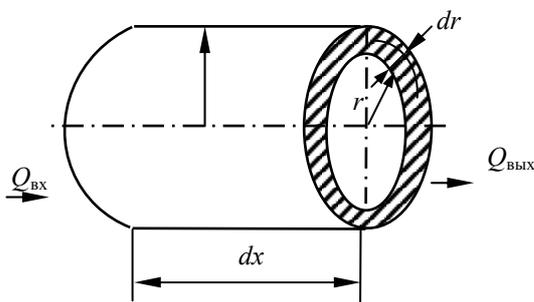


Рис. 6 Элемент латексной струи при гелеобразовании

В качестве математического описания процесса диффузии ионов при коагуляции в движущейся струе латекса (рис. 6) используется уравнение

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial C}{\partial r} \right) - v_x \frac{\partial C}{\partial x}. \quad (1)$$

Динамика образования слоя геля в латексной струе описывается уравнением

$$\frac{\partial r_n}{\partial \tau} + v_x \frac{\partial r_n}{\partial x} = -\frac{k}{\gamma} C(r_n, \tau). \quad (2)$$

Решение уравнения (1) имеет вид

$$C(\tau, r, x) = C_n - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2C_n J_0\left(\frac{\mu_n r}{R}\right)}{\mu_n J_1(\mu_n)} \exp\left[-\frac{D}{v_x} \left(\frac{\mu_n}{R}\right)^2 x\right]. \quad (3)$$

На рис. 7 представлено сравнение расчетных и экспериментальных значений изменения среднеинтегральной концентрации ионов коагулянта в струе латекса, где $f_0 = \frac{Dx}{R^2 v_x}$.

В производстве резиновых изделий из латекса, как уже указывалось, синерезис латексных гелей в глицерине является технологической операцией, существенно интенсифицирующей удаление влаги из геля, и снижающий общую длительность всего технологического процесса.

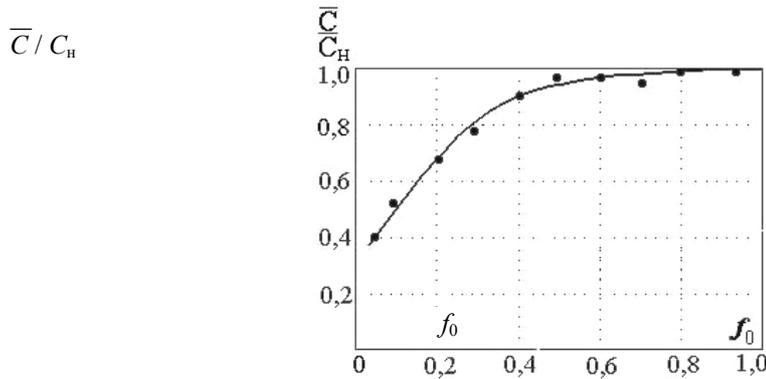


Рис. 7 Зависимость среднеинтегральной концентрации ионов коагулянта в струе от f_0 (кривая – расчет, точки эксперимент)

Формирование пленки происходит под действием капиллярного давления, возникающего за счет поверхностного натяжения на границе жидкость-полимер и аутогезии полимера, обусловленной взаимодиффузией его молекул. Под действием этих сил межглобулярная жидкость по капиллярам выжимается из геля, концентрация каучука в нем повышается.

Повышение температуры интенсифицирует процесс синерезиса. Рассмотрено влияние капиллярных сил, внешнего давления и аутогезии на процесс удаления межглобулярной жидкости при синерезисе латексных гелей, считая, что в начальный момент глобулы каучука занимают гексагональный порядок в упаковке.

В результате теоретического исследования получено уравнение, связывающее концентрацию каучука в геле с рассматриваемыми факторами

$$C = \frac{C_0 x_0}{x_0 - B}, \quad (4)$$

где

$$B = \left\{ \frac{a'k}{3} (1 - e^{-3\tau/k}) + b'k \left[\frac{1}{3} (1 - e^{-3\tau/k}) + \frac{1}{2} (1 - e^{-3\tau/k}) + 1 - e^{-3\tau/k} - \ln(1 - e^{\tau/k}) \right] + \right. \\ \left. + \frac{k}{4} (b' + d) (1 - e^{-4\tau/k}) + k A P_b 0,25 \left[\frac{1}{4} (1 - e^{-4\tau/k}) \right] - \frac{2}{5} (1 - e^{-5\tau/k}) + \frac{1}{6} (1 - e^{-6\tau/k}) - \right. \\ \left. - \frac{d}{\left(\frac{4}{k} + \frac{\xi}{m} \right)} \left[1 - e^{-\left(\frac{4}{k} + \frac{\xi}{m} \right) \tau} \right] \right\}; \quad (5)$$

$$a' = \frac{A \sigma}{0,155 R}; \quad A = \frac{r^4}{8 \mu x_0 R^2}; \quad b' = \frac{A \sigma}{0,55 R}; \quad d = \frac{A c m v_{0,m}}{\xi}.$$

На рис. 8 представлено сравнение расчетных и экспериментальных данных изменения средней концентрации каучука при синерезисе геля с диаметром нити 0,6 мм при различной температуре.

После процесса синерезиса в самих глобулах каучука остается влага, которую можно удалить воздушно-тепловой сушкой.

Для описания массопереноса при сушке латексных нитей, учитывая значительно большую инерционность полей влагосодержания по сравнению с полями температуры в рассматриваемом объекте, было использовано следующее дифференциальное уравнение

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a_m \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) + v_x \frac{\partial u}{\partial x}. \quad (7)$$

С краевыми условиями:

$$u(r, 0) = f(r); \\ -a_m \frac{\partial u}{\partial r}(R, \tau) = \varphi(\tau); \\ 0 \leq r \leq R; \quad \tau > 0.$$

На рис. 9 представлено сравнение расчетных и экспериментальных данных изменения среднего влагосодержания в латексной нити диаметром 0,6 мм при сушке в среде с температурой 120 °С.

\bar{C} , кг/кг

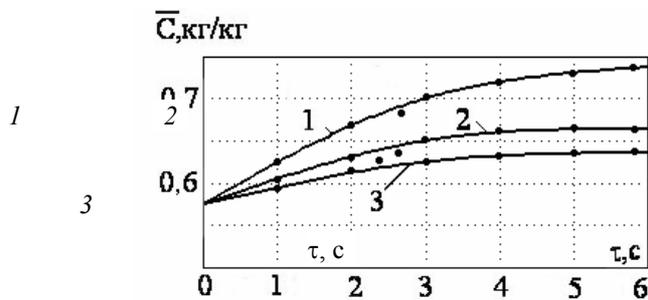


РИС. 8 ИЗМЕНЕНИЕ СРЕДНЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ КАУЧУКА ПРИ СИНЕРЕЗИСЕ ГЕЛЯ:

диаметр нити: $d = 0,6$ мм;
 1 – $t = 80$ °С; 2 – $t = 100$ °С; 3 – $t = 110$ °С
 (кривые – расчет, точки – эксперимент)

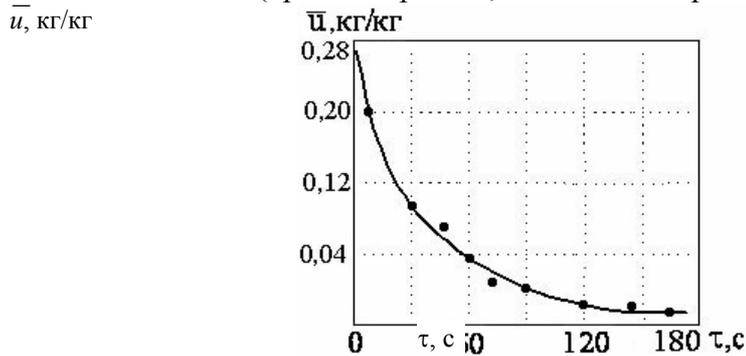


Рис. 9 Зависимость среднего влагосодержания в латексной нити от времени сушки:

диаметр нити: $d = 0,6$ мм; $t = 120$ °С (кривые – расчет, точки – эксперимент)

Адекватность представленных математических моделей процессов коагуляции, синерезиса и сушки проверяли путем сравнения экспериментальных и расчетных кривых изменения среднеинтегральных значений потенциалов массопереноса по сечению резиновой нити, полученными в независимых экспериментах.

Установлено, что расчетные и экспериментальные данные имеют отклонения в 7 – 10 %, что свидетельствует о возможности использования представленных математических описаний.

4 Аппаратурно-технологическое оформление процесса получения латексных нитей.

За основу принят процесс получения латексных нитей, включающий следующие операции: коагуляция, синерезис в глицерине, промывка в воде и конвективная сушка. Задача оптимизации формулируется следующим образом: для заданного диаметра резиновой нити требуется определить минимальные размеры технологической линии $L_{\text{опт}}$, обеспечивающая максимальную производительность оборудования при связях в форме уравнений математической модели (1) – (7) и ограничениях:

$$t_{\text{син}} \leq t'_{\text{доп}}; \quad t_{\text{суш}} \leq t''_{\text{доп}}; \quad \tau_{\text{пр}} \leq \tau_{\text{доп}}; \quad \bar{u} \leq \bar{u}_{\text{доп}}; \quad V_x = V_{\text{max}}.$$

Учитывая результаты экспериментальных исследований кинетики последовательных технологических операций получения резиновых нитей из латекса: необходимость завершения процессов коагуляции в ванне с уксусной кислотой, существенное превышение интенсивности обезвоживания латексных гелей при синерезисе в глицерине по сравнению с воздушно-тепловой сушкой, а также ограничения на длительность промывки поверхности нитей от глицерина в воде, удалось провести декомпозицию поставленной задачи оптимизации на ряд задач, таких, что

$$L_{\text{опт}} = \sum_{i=1}^n L_{\text{опт}}^i, \quad n = 4, \quad (8)$$

где $L_{\text{опт}}^i$ – оптимальные размеры соответственно ванн коагуляции, синерезиса, промывки и конвективной сушилки.

Разработан пакет программ расчета $L_{\text{опт}}^i$. В качестве примера приводятся результаты расчета линии производства резиновых нитей диаметром 0,6 мм при максимальной скорости подачи $v_{\text{max}} = 0,2$ м/с. При этом общая длина проектируемой линии (без учета расстояния между ваннами и сушилкой) составляет $L_{\text{опт}} = 35,8$ м. Промышленный вариант линии (прототип) имеет длину $L_{\text{пр}} = 55,7$ м.

Таким образом, уменьшение проектируемой линии по сравнению с эксплуатируемой составляет более 30 %.

5 Практическая реализация результатов работы.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили спроектировать линию для производства резиновых нитей диаметром до 0,6 мм, включающего помимо рассмотренного выше оборудования систему дозирования латекса повышенной точности и надежности и оборудование для приготовления лент из нитей (рис. 11).

При проектировании линии рассмотрены вопросы определения межремонтного цикла эксплуатации оборудования, вызванного необходимостью периодической чистки системы. На основе гидродинамики потока рассмотрен вопрос отложения геля за счет торможения частиц у стенок и их вращения с определенной угловой скоростью, которая приводит к отрыву защитных слоев от поверхности глобул. Получено уравнение для определения уменьшения внутреннего радиуса трубы при постоянной подаче латекса

$$r = \sqrt[4]{r_b^4 - \frac{8k Q_n \tau}{\pi}} \quad (9)$$

Уравнение (9) позволяет определить длительность работы трубопровода до профилактической чистки от отложившегося геля.

Рассмотрены вопросы проектирования оборудования для получения лент из резиновых нитей. Получено расчетное уравнение для определения силы адгезии между нитями при их сдавливании между валками машины

$$P = \frac{K^n h}{2} \sqrt{\left(r - \frac{h}{2}\right) \left[2R_b - \left(r - \frac{h}{2}\right)\right]} \left[\frac{f_c L_c}{\pi r^3 \sqrt{(2R_b - r)r}} \right]^{K+1}, \quad (10)$$

на основании, которого рассчитаны по (10) конструктивные основные параметры каландра. Сравнение расчетных и экспериментальных значений силы адгезии, полученных на разрывной машине, показали расхождение не выше 15 % (рис. 10).

P , МПа

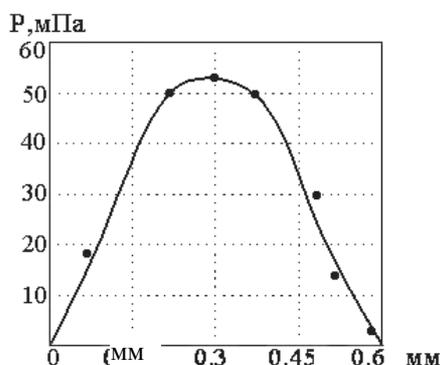
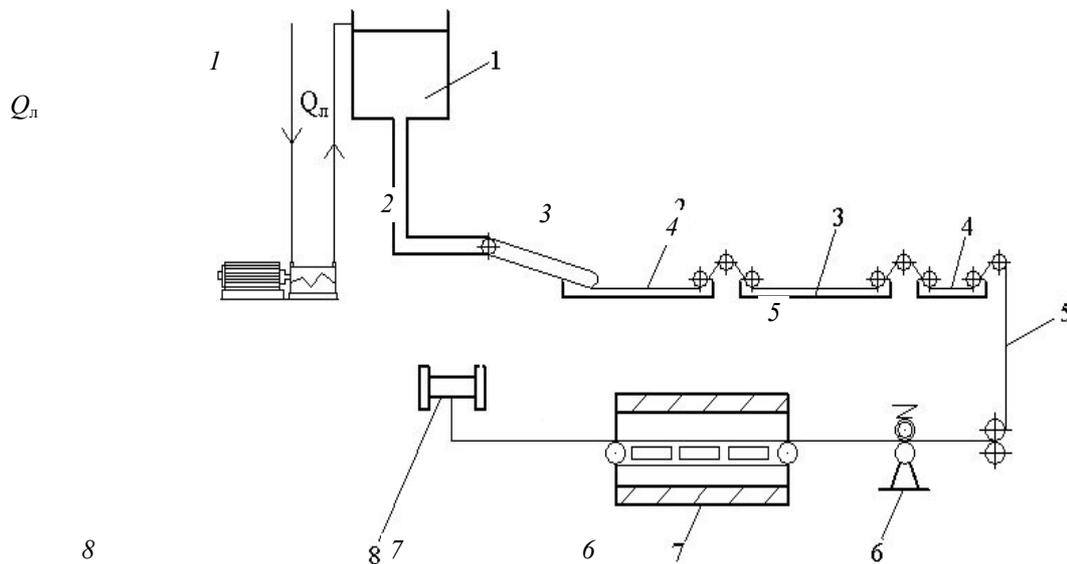


Рис. 10 Сила адгезии между нитями в ленте: теоретическая кривая; точки – эксперимент



**РИС. 11 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА РАЗРАБОТАННОЙ ЛИНИИ
ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЗИНОВЫХ НИТЕЙ ИЗ ЛАТЕКСА:**

1 – бачок с латексной смесью; 2 – ванна с кислотой; 3 – ванна с глицерином;
4 – ванна с водой; 5 – латексная нить; 6 – каландр; 7 – сушиллка; 8 – намотка

В проекте предлагаемой линии для производства резиновых нитей и лент представлены данные по расчету эксплуатационной надежности оборудования и оптимальной численности обслуживающего персонала по экономическому критерию.

Разработанный проект линии внедрен в АО «НИИРТмаш», г. Тамбов.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1 Показана возможность повышения эффективности процесса производства резиновых нитей из латекса при использовании дополнительной технологической операции – синерезиса латексных гелей в жидких теплоносителях.

2 Определен тип жидкого теплоносителя для процесса синерезиса латексных гелей – глицерин, обеспечивающий повышение эффективности тепло- и массообменных процессов и качества получаемых нитей при условии ограничения температуры до 110 °С.

3 Экспериментально изучены кинетика и механизмы физических процессов, протекающих при выполнении основных технологических операций при производстве резиновых нитей из латекса. Определены ограничения на значения режимных переменных, при которых достигаются заданные показатели качества изделия.

4 Составлено математическое описание основных технологических операций процесса производства резиновых нитей: нитеобразования в ванне коагуляции, синерезиса латексных гелей в глицерине и конвективной сушки резиновых нитей.

5 Сформулирована и решена задача оптимизации режимных переменных и конструктивных параметров производства резиновых нитей из латекса, обеспечивающих минимальные массогабаритные показатели линии при заданном качестве продукции и максимальной производительности оборудования.

6 Разработана линия по производству резиновых нитей из латекса диаметром до 0,6 мм и лент, габаритные размеры которой на 30 % меньше существующих аналогов. Для линии разработан новый тип дозирующего устройства подачи латекса, проведены расчеты оборудования для производства лент из нитей, процессов отложения геля на стенках трубопроводов с целью определения периодичности их чистки, определена эксплуатационная надежность и оптимальная численность обслуживающего персонала. Разработанный технический проект линии, методика расчета и программное обеспечение внедрены в АО «НИИРТмаш» г. Тамбова.

7 Методика расчета оптимальных размеров ванн коагуляции, синерезиса, промывки и габаритов сушиллки, а также программное обеспечение используется в учебном процессе ТГТУ при изучении дисциплины «Оборудование для переработки полимерных материалов» при подготовке инженеров по на-

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

C – концентрация каучука в геле, кг/кг; C_0 – начальная концентрация каучука в геле, кг/кг; x, r – пространственные координаты, м; x_0 – начальная толщина пленки геля, м; R – радиус глобул, м; σ – поверхностное натяжение на границе полимер-жидкость, н/м; r – радиус капилляра, м; μ – динамический коэффициент вязкости межглобулярной жидкости, Па · с; c – коэффициент пропорциональности; m – масса молекулы, кг; ξ – коэффициент трения; $v_{0, м}$ – скорость взаимодиффузии молекул, м/с; P_b – внешнее давление, Па; t – температура, К; v_x – скорость движения нити, м/с; τ – время, с; a_m – коэффициент диффузии влаги, м²/с; Q_n – подача насоса, м³/с; r_b – внутренний радиус трубопровода, м; r_n – радиус границы гель – латекс, м; C_n – начальная концентрация ионов коагулянта, кг/кг; J_0 – функция Бесселя первого рода нулевого порядка; J_1 – функция Бесселя первого рода первого порядка; μ_n – корни уравнения; D – коэффициент диффузии ионов коагулянта, м²/с; k, K, K'' – константы; h – зазор между валками, м; R_b – радиус валков, м; f_c – площадь сегмента, м²; L_c – длина хорды сегмента, м; $t_{снн}, t_{суш}$ – температура глицерина и воздуха в сушилке соответственно, °С; $\tau_{пр}$ – время промывки нити от глицерина в воде, с; $t'_{доп}, t''_{доп}, \tau_{доп}, \bar{u}_{доп}$ – допустимые значения режимных переменных; L_i, L – длина оборудования на соответствующей технологической операции и линии в целом, м; P – сила адгезии, Н.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО

В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

1 Амелина Н.В. О механической коагуляции латекса / В.И. Астафьев // Труды ТГТУ. 2000. Вып. 6. С. 70 – 74.

2 Вытяжка и промывка латексных нитей. Термообработка латексных гелей / Н.В. Амелина, В.И. Астафьев // V науч. конф. ТГТУ: Тез. докл. Тамбов, 2000. С. 47 – 48.

3 Амелина Н.В. Движение латексных нитей в ваннах промывки / М.В. Соколов // Труды ТГТУ. 2003. Вып. 13. С. 56 – 59.

4 Амелина Н.В. Описание формирования резиновых нитей из латекса / П.С. Беляев, А.С. Клинков, М.В. Соколов // Вестник ТГТУ. 2003. Т. 9. № 2. С. 236 – 242.

5 Амелина Н.В. К вопросу синерезиса латексных гелей / П.С. Беляев, А.С. Клинков, М.В. Соколов // Вестник ТГТУ. 2003. Т. 9. № 4. С. 669 – 673.

6 Амелина Н.В. К вопросу тепло-массообмена при изготовлении латексных нитей / П.С. Беляев, А.С. Клинков, М.В. Соколов // Труды ТГТУ. 2004. Вып. 15. С. 91 – 94.

7 Амелина Н.В. Дозатор латексной смеси в линии изготовления нитей / П.С. Беляев, М.В. Соколов // IX науч. конф. ТГТУ: Тез. докл. Тамбов, 2004. С. 55 – 56.