

Нестерко Виктория Александровна

**ОЦЕНКА СТОЙКОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ  
К РАДИАЛЬНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ ВОДЫ**

Специальность 05.09.02. – Электротехнические материалы и изделия

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



Москва 2005

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский энергетический институт (технический университет)» на кафедре физики электротехнических материалов и компонентов и автоматизации электротехнологических комплексов

Научный руководитель: д.т.н., проф. Боев Михаил Андреевич

Официальные оппоненты: д.т.н., проф. Портнов Эдуард Львович  
к.т.н. Смирнов Юрий Владимирович

Ведущая организация – ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт связи»

Защита диссертации состоится “30” сентября 2005 г. в 13 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.157.15 при Московском энергетическом институте (Техническом университете) по адресу: 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, 13, ГОУВПО “МЭИ (ТУ)”, в аудитории Е 205.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенные печатью) просим направлять по адресу: 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, 14, Ученый Совет МЭИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУВПО “МЭИ (ТУ)”.

Автореферат разослан “28” июня 2005 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета  
к.т.н.



Соколова Е.М.

2006-4  
13508

2174022  
3

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Стойкость оптических кабелей (ОК) к воздействию воды и ее паров является одним из основных и безусловных требований, которые предъявляют к ОК.

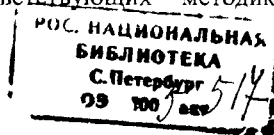
Проблема обеспечения стойкости к воздействию воды наиболее остро стоит для кабелей, имеющих полимерные оболочки, *проницаемые* для воды.

Стойкость к воздействию воды означает не только защиту ОК от продольного распространения воды во избежание выхода из строя подключенной к кабелю аппаратуры (аварийный режим при обрыве кабеля или оболочки), но и защиту в штатном режиме оптических волокон (ОВ) от воды, диффундирующей через оболочки кабеля. При длительной эксплуатации вода, проникающая через оболочки кабеля к поверхности ОВ, может приводить к ухудшению их оптических и механических характеристик, особенно при действии на ОВ механических напряжений.

Для защиты ОВ от воздействия воды в конструкции кабелей широкое применение нашли гидрофобные наполнители (ГЗ). Усилия разработчиков ОК направлены на решение задач, возникающих в связи с применением указанных материалов. Это, прежде всего, проблема совместимости ГЗ с материалами конструктивных элементов ОК, поиск составов для ГЗ, в наименьшей степени влияющих на долговечность кабелей.

В то же время в литературе отсутствуют критерии оценки стойкости конструкций ОК к радиальному воздействию воды. Отсутствие критериев и, как следствие, способов эффективной защиты кабелей с полимерными оболочками от воздействия воды делает невозможным корректное сравнение различных конструкций друг с другом, выбор наиболее предпочтительной конструкции для тех или иных условий эксплуатации.

Таким образом, проблема оценки стойкости конструкций ОК к воздействию воды и разработка соответствующих методик является актуальной.



**Цель и задачи работы.** Целью данной работы является разработка методики оценки стойкости конструкций ОК к радиальному воздействию воды и разработка на этой основе способов защиты ОК от воздействия воды.

Для реализации этой цели необходимо решить следующие задачи:

- сформулировать критерии оценки стойкости конструкций к воздействию воды и разработать методику расчета концентрации влаги и времени достижения заданной концентрации;

- провести экспериментальные исследования свойств (диффузионных, механических, термических) современных материалов, используемых в конструкции ОК, в том числе с учетом анизотропии полимеров, при взаимодействии их с ГЗ;

- провести экспериментальные исследования физических свойств применяемых ГЗ;

- разработать методику оценки совместимости ГЗ с материалами конструктивных элементов ОК, учитывающую свойства и особенности эксплуатации используемых материалов.

**Научная новизна.** Сформулированы обоснованные критерии оценки стойкости конструкций ОК к радиальному воздействию воды. В качестве критериев оценки выступают: *концентрация влаги* в сплошных элементах конструкции ОК (*концентрация водяного пара* в воздушных полостях), *время* достижения предельной концентрации влаги в сплошных элементах конструкции и паров воды в воздушных полостях.

Разработана методика расчета критериев оценки стойкости конструкций ОК к радиальному воздействию воды и ее паров. Отличие методики состоит в том, что расчет значений критериев распространяется на обобщенные конструкции ОК.

Усовершенствована методика определения коэффициента диффузии воды в полимерных материалах, в том числе многокомпонентных, по кривым поглощения. Методика позволяет определить с необходимой точностью коэффициент диффузии во всем диапазоне критерия Фурье для диффузии, а

также проводить диагностику полимерных материалов: по характеру кривых поглощения судить о степени однородности материала (в части его водопоглощения).

Определена энергия активации процесса теплового старения полибутилентерфталата по данным термического анализа, проведенного в динамическом режиме.

**Практическая ценность** исследований состоит:

- в разработке способов эффективной защиты ОК с полимерными защитными оболочками от радиального воздействия воды;
- в определении концентраций насыщения и коэффициентов диффузии для некоторых полимеров при длительной выдержке в воде во всем диапазоне критерия Фурье для диффузии, что позволяет обоснованно выбрать материалы при конструировании ОК;
- в разработке методики определения механических характеристик трансверсально-изотропных элементов ОК;
- в получении экспериментальных результатов методами термического анализа;
- в разработке методики оценки совместимости ГЗ с материалами ОК, в соответствии с которой проведены испытания синтетических нитей и полимерных материалов оптических модулей (ОМ), подвергнутых тепловому старению в контакте с ГЗ (определены их механические характеристики).

Результаты работы используют при проектировании эффективных конструкций ОК, работающих в среде с повышенной влажностью.

**Реализация и внедрение результатов исследований.** Конкретные технические решения в виде кабельных конструкций введены в ТУ 16 К 71-308-2002 «Кабели судовые оптические».

Разработанные в процессе работы методики и способы защиты ОК от воздействия воды использованы при создании конструкций и технологии изготовления ОК и проведении соответствующих исследований в ОАО «ВНИИ КИ» (по теме «Нить-К»).

«Методика испытаний на совместимость полимерных материалов оптического модуля и оптического волокна с гидрофобным наполнителем» (МИ 16.К00-158-2005), предназначенная для разработчиков ОК, включает в себя ряд частных методик – по проведению испытаний образцов методом термического анализа, по определению механических характеристик трансверсально-изотропных элементов ОК, по оценке изменения яркости цвета покрытия элементов ОК в результате теплового старения – и используется при выборе материалов в конструкции ОК.

**На защиту выносятся следующие основные положения.**

1. Методика оценки стойкости и способы защиты ОК с полимерными оболочками от радиального воздействия воды.

2. Анализ диффузионных характеристик полимерных материалов по кривым поглощения.

3. Результаты экспериментального исследования диффузионных характеристик полимерных материалов, их теплофизических свойств при взаимодействии с ГЗ.

4. Методика оценки совместимости ГЗ с материалами ОК.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на VII международной научно-технической конференции студентов и аспирантов (МЭИ, Москва, 2001 г.); IV международной конференции по физико-механическим проблемам электротехнических материалов и компонентов (Клязьма, Россия, 2001 г.); VIII международной научно-технической конференции студентов и аспирантов (Москва, Россия, 2002 г.); V международной конференции «Электромеханика, электротехнологии и электроматериаловедение» (Алушта, Украина, 2003 г.); V международной конференции «Электротехнические материалы и компоненты» (Алушта, Украина, 2004 г.); XI международной научно-технической конференции студентов и аспирантов (Москва, Россия, 2005 г.).

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в 11 печатных работах. Список работ приведен в конце автореферата.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 4-х глав, списка используемой литературы и 2 приложений. Материал изложен на 130 страницах текста и содержит 38 рисунков, 15 таблиц. Список использованной литературы включает в себя 109 наименований.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, ее научная новизна, оценена практическая ценность и показана реализация результатов работы.

**В первой главе** проведен анализ работ, посвященных проблеме проектирования ОК, предназначенных для эксплуатации при воздействии воды.

Конструкция должна обеспечивать продольную герметичность ОК в течение всего времени, необходимого для замены кабеля. Поэтому применяют ГЗ и другие водоблокирующие элементы – разбухающие порошки, нити и т.д. или комбинации этих материалов.

Кроме защиты от продольного распространения воды в кабеле стойкость к воздействию воды означает также защиту ОВ от воды, диффундирующей через оболочки кабеля. Время достижения влагой поверхности ОВ составляет, в зависимости от конструкции ОК, от нескольких недель до нескольких месяцев. При длительной эксплуатации вода, проникающая через оболочки кабеля к поверхности ОВ, может приводить к ухудшению их оптических и механических характеристик.

В части продольной герметичности в качестве критерия используют величину «протечки» на определенной длине кабеля за определенное время, в то же время отсутствуют *критерии* стойкости конструкций ОК к *радиальному* воздействию воды.

Отсутствие критериев делает невозможным корректную оценку стойкости конструкций к радиальному воздействию воды и разработку способов их наиболее эффективной защиты.

Необходимо отметить большой разброс значений диффузионных характеристик полимерных материалов, приведенных в литературе. Это

обусловлено, во-первых, тем, что в литературе приводят значения для разных марок одного и того же класса материалов, во-вторых, методическими причинами.

Разработчики ОК, в конструкциях которых защита от проникновения воды осуществляется с применением ГЗ, сталкиваются с проблемой совместимости ГЗ и материалов конструктивных элементов ОК. В первой главе проведен анализ технических параметров современных ГЗ для ОК.

Анализ существующих методов испытаний на совместимость ГЗ с полимерными материалами позволил установить, что их недостаточно для объективной оценки фактических характеристик совместимости. Модуль упругости в радиальном направлении полимерных материалов невозможно определить при испытании по действующим методикам, отсутствует метод определения изменения вязкости ГЗ по результатам термомеханического анализа.

**Вторая глава** посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям процесса диффузии воды через защитные оболочки в ОК.

Расчет концентрации влаги в конструкциях ОК в настоящей работе распространяется на обобщенную конструкцию, в состав которой могут входить как *коаксиальные*, так и *некоаксиальные* многослойные *цилиндрические* элементы, промежутки между которыми заполнены ГЗ.

Рассмотрим обобщенную конструкцию ОК в виде совокупности двух типовых моделей:

а) «полицилиндрическая» модель многоволоконного ОМ, представляющего собой трубку из полимерного материала, заполненную ГЗ, в котором расположены ОВ;

б) многослойная цилиндрическая модель повива элементов в составе ОК (ОМ, армирующих элементов), промежутки между которыми заполнены ГЗ.

Если такие конструкции являются *элементами* более сложной конструкции ОК, то для того, чтобы рассчитать значение концентрации влаги, необходимо представить элементы конструкции эквивалентными



(поглощающими в любой момент времени такое же количество воды) однородными: в первом случае – однородным цилиндром, во втором – однородным кольцевым слоем.

На рис. 1 и 2 представлены алгоритмы такого представления.

Радиусы  $R_0$  эквивалентного однородного цилиндра, а также  $R_2$  и  $R_3$  эквивалентного однородного кольцевого слоя определяются из условий симметрии (для кольцевого слоя) и равенства площадей сечений эквивалентных

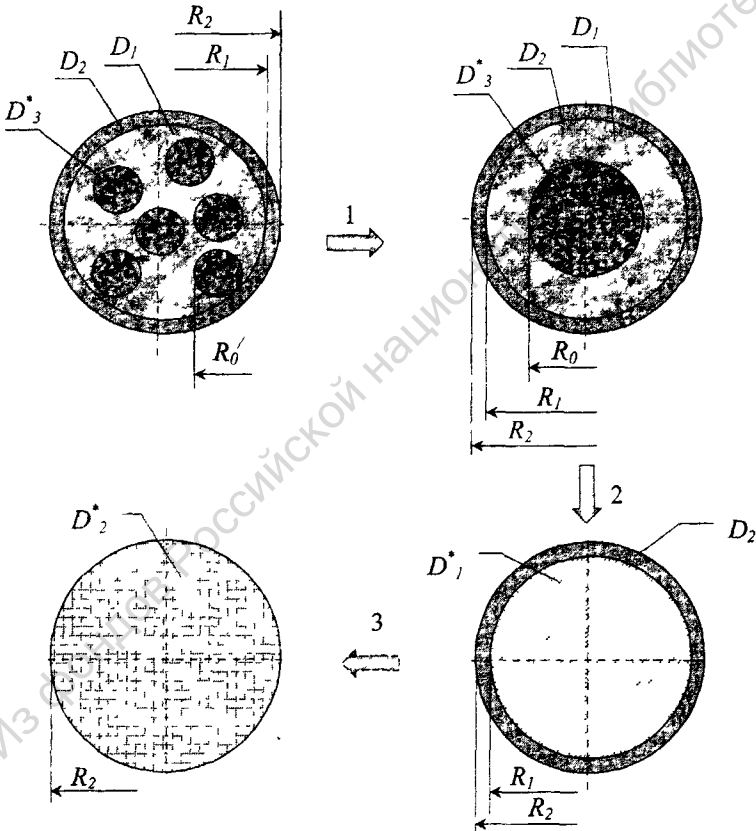


Рис. 1. Алгоритм представления «полицилиндрической» конструкции эквивалентным однородным цилиндром с эффективным коэффициентом диффузии  $D_1^*$

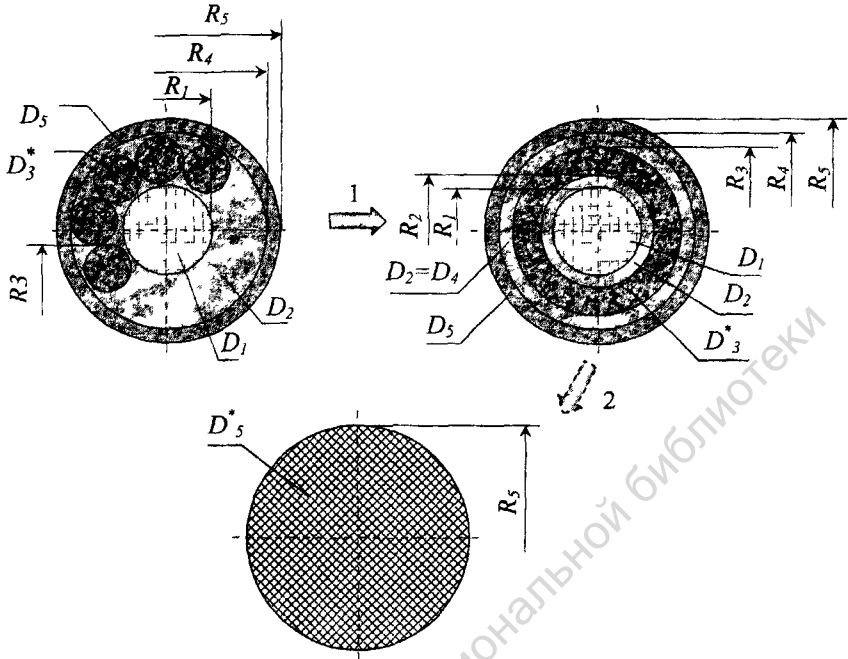


Рис. 2. Алгоритм представления слоя (повива) многослойных цилиндрических элементов эквивалентным однородным кольцевым слоем с эффективным коэффициентом диффузии  $D_3^*$

элементов сумме площадей сечений совокупности однородных цилиндров количеством  $n$  радиусом  $R'_0$ :

$$R_0 = R'_0 \sqrt{n} \cdot k, \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} R_2 &= 0,5k \left( R_1 + R_4 - \frac{(R_3)^2 n}{(R_1 + R_4) \cos \psi} \right); \\ R_3 &= 0,5 \left( R_1 + R_4 + \frac{(R_3)^2 n}{(R_1 + R_4) \cos \psi} \right). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Коэффициент  $k$  учитывает влияние степени заполнения полости модуля (повива элементов) цилиндрическими элементами на скорость его насыщения влагой и подлежит экспериментальному определению в ходе дальнейших исследований.

Для расчета критериев эффективности конструкции – концентрации влаги (паров) и времени достижения опасной концентрации – необходимо знать две характеристики материалов: предельное поглощение  $A$  (предельную концентрацию  $C_0$ ) и коэффициент диффузии  $D$ .

Рассмотрены задачи о диффузии в неограниченной пластине и длинном цилиндре. Применение операционного метода для решения соответствующих дифференциальных уравнений диффузии позволило найти приближенные решения для средней концентрации поглощенной влаги  $\bar{C}(t)$  для больших и малых значений критерия Фурье для диффузии (критерия  $F$ ):

для пластины толщиной  $2R$ , соответственно, -

$$\frac{\bar{C}(t)}{C_0} = 1 - \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2}{4} F\right) = 1 - \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 Dt}{4R^2}\right); \quad (3)$$

$$\frac{\bar{C}(t)}{C_0} = 2\sqrt{\frac{F}{\pi}} = 2\sqrt{\frac{Dt}{R^2\pi}}; \quad (4)$$

для цилиндра радиусом  $R$ -

$$\frac{\bar{C}(t)}{C_0} = 1 - 0.692 \exp(-5.783F), \quad (5)$$

Формула (3) совпадает с известной формулой Эндрюса и Джонсона.

На рис. 3 приведена зависимость погрешности формул (3) и (4) от критерия  $F$ . Как видно из рис. 3, результаты расчета средней концентрации по упрощенным формулам совпадают с точным решением: при  $F > 0,2$  следует использовать формулу (3), при  $F < 0,2$  справедлива формула (4).

С учетом того, что средняя относительная концентрация поглощенной влаги равна отношению массы поглощенной воды  $M$  в момент времени  $t$  к массе поглощенной воды при насыщении  $M_S$ , формулы для определения коэффициента диффузии материала в форме пластины – (6), (7) и цилиндра – (8) имеют вид:

$$D_p = \left[ -0,085 - 0,405 \ln\left(1 - \frac{M}{M_S}\right) \right] \cdot \frac{R^2}{t}; \quad F > 0,2; \quad (6)$$

$$D_p = \frac{M^2}{M_S^2} \cdot \frac{\pi R^2}{4t}; \quad F < 0,2. \quad (7)$$

$$D_c = \left[ -0,064 - 0,173 \ln \left( 1 - \frac{M}{M_S} \right) \right] \cdot \frac{R^2}{t}; \quad F \geq 0,1. \quad (8)$$

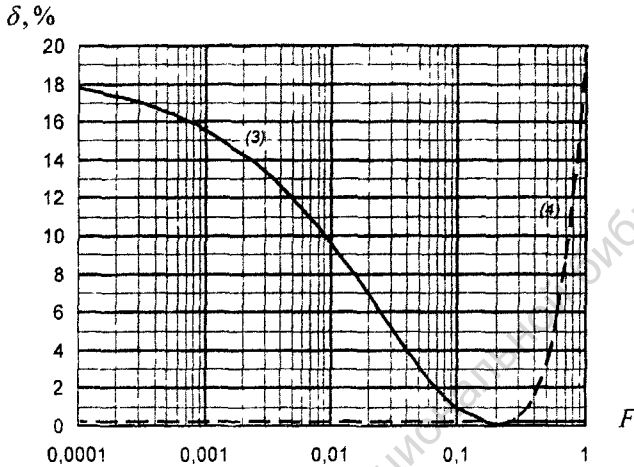


Рис. 3. Зависимость погрешности  $\delta$  приближенных формул (3) и (4) для определения средней относительной концентрации поглощенной пластиной влаги от критерия Фурье для диффузии  $F$ .

Время, необходимое для построения кривых поглощения плоских образцов (с достижением насыщения), определяется из соотношения

$$t = 1,5 \frac{R^2}{D}. \quad (9)$$

Для цилиндрических образцов соответствующих размеров время проведения испытаний в полтора раза меньше:

$$t = R^2 / D. \quad (10)$$

Формулы (6) и (7) проверены экспериментально. Определены коэффициенты диффузии для водопоглощающего ГЗ, а также для компаунда марки S 6645 и поливинилхлоридного пластика (ПВХ) марки O-50, используемых в качестве оболочек ОК.

Методика, изложенная в данной главе, позволяет проводить «диагностику» полимерных материалов: по характеру кривых поглощения можно судить о степени однородности материала.

Так, компаунд марки S 6645 является однородным материалом в смысле водопоглощения, процесс диффузии в котором описывается дифференциальным уравнением диффузии (с постоянным коэффициентом диффузии  $D(S\ 6645) = 5,6 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{ч}$ ).

На рис. 4 приведена кривая поглощения для компаунда марки S 6645. Во всем экспериментальном диапазоне, за исключением начального участка ( $t \leq 21 \text{ ч}$ ), теоретическая кривая  $M = f(t)$ , построенная с использованием расчетного коэффициента диффузии  $D(S\ 6645) = 5,6 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{ч}$ , совпадает с экспериментальными данными с погрешностью не более 3%.

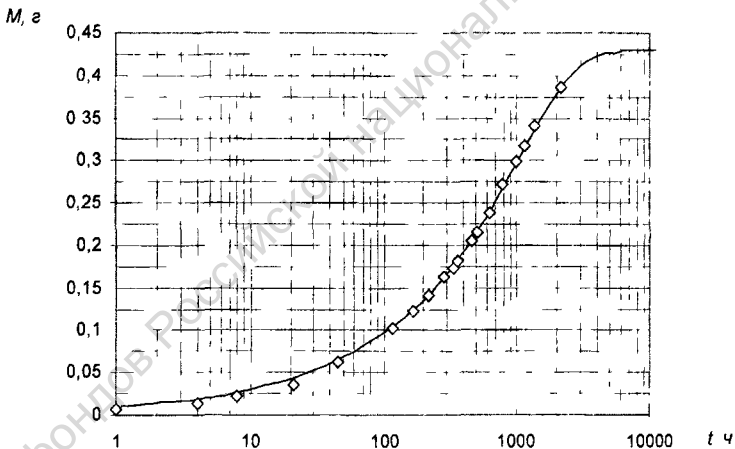


Рис. 4. Зависимость приращения массы пластины из компаунда марки S 6645 толщиной 2,4 мм от времени выдержки в воде

◇ - экспериментальные данные; — — теоретическая кривая при использовании расчетного коэффициента диффузии  $D(S\ 6645) = 5,6 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{ч}$

ПВХ марки О-50 является многокомпонентным (неоднородным) материалом, процесс диффузии воды в котором с течением времени

замедляется (коэффициент диффузии изменяется в процессе диффузии от  $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{ч}$  до  $0,9 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{ч}$ ).

Анализ кривой поглощения и зависимости  $D = f(F)$  позволяет выделить три области, для которых характерны условно-постоянные коэффициенты диффузии (табл. 1).

Какое именно значение коэффициента диффузии использовать при расчетах – зависит от условий конкретной расчетной задачи.

Таблица 1.

Область применения и погрешности коэффициента диффузии воды ПВХ марки О-50

Значение критерия $F$	Коэффициент диффузии, $\text{см}^2/\text{ч}$	Максимальная погрешность, % (при определении количества поглощенной воды)
$F \leq 0,05$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	12
$0,05 < F < 0,3$	$1,45 \cdot 10^{-5}$	10
$F \geq 0,3$	$0,9 \cdot 10^{-5}$	3

**В третьей главе** рассмотрены способы защиты ОК от радиальной диффузии воды – уменьшение концентрации влаги в ОК, увеличение времени насыщения.

*Уменьшение концентрации влаги в ОК.*

Теоретически и экспериментально показано, что концентрация влаги в сплошном многослойном цилиндре, в т.ч. содержащем ОМ, заполненный ГЗ, в течение всего процесса диффузии и по его окончании тем меньше, чем меньше равновесная концентрация  $C_0$  на поверхности (на границе внешней оболочки с влажной средой).

При насыщении концентрация по всему сечению одинакова (максимальна) и равна равновесной концентрации  $C_0$  на поверхности.

При эксплуатации во влажном *воздухе* с концентрацией водяных паров  $C^0$  равновесная концентрация  $C_0$  на поверхности (и, соответственно, концентрация насыщения конструкции) определяется по формуле

$$C_0 = C^0 A, \quad (11)$$

где  $A$  – предельное поглощение материала *внешней* оболочки.

Таким образом, концентрация влаги в сплошной (без полости) конструкции ОК определяется предельным поглощением материала *внешней* оболочки.

Коэффициенты диффузии материалов оболочки и сердечника влияют только на скорость диффузии и, соответственно, на время достижения насыщения.

*Увеличение времени насыщения.*

Время полного насыщения для сплошного двухслойного цилиндра (например, ОК, заполненного ГЗ) определяется по формуле:

$$t = \frac{R_2^2}{D_2} \cdot \left( \frac{K_R^2}{K_D^2} + 1 \right). \quad (12)$$

Влияние параметрических критериев подобия конструкций  $K_R = R_1/R_2$  и  $K_D = \sqrt{D_1/D_2}$  на время насыщения представлено графически. Как видно из рис. 5, с уменьшением толщины оболочки (с увеличением  $K_R$ ) «безразмерное время»  $\frac{t}{R_2^2/D_2}$  заметно возрастает, если коэффициент диффузии  $D_1$  сердечника меньше коэффициента диффузии  $D_2$  оболочки ( $K_D < 1$ ). Для случаев  $D_1 > D_2$  ( $K_D > 1$ ) безразмерное время насыщения практически не зависит от толщины оболочки.

**Четвертая глава** посвящена анализу физических методов оценки совместимости ГЗ с конструктивными элементами ОК.

Приведен анализ физических свойств конструктивных элементов ОК.

Для нитей существенными являются две механические характеристики: жесткость при растяжении  $ES$  и разрывное усилие  $F_b$ .

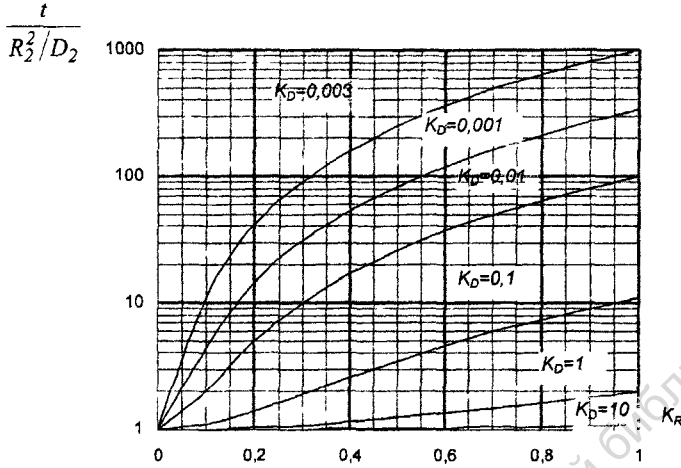


Рис. 5. Влияние параметрических критериев подобия конструкций  $K_R$  и  $K_D$  на время насыщения

Для полимерных элементов важны следующие характеристики: модуль упругости  $E_1^+$  при растяжении элемента вдоль его продольной оси (секущий модуль  $E_{1c}^+$ ); модуль упругости  $E_2^-$  при «гидростатическом» сжатии в радиальном направлении, обусловленном давлением спиральных элементов при растяжении кабеля; коэффициент Пуассона  $\nu_{12}$ ; предельная упругая деформация материала  $\varepsilon$ .

Приведена методика определения модуля упругости  $E_2^-$  цилиндрических полимерных элементов радиусом  $R_1$  при сжатии в радиальном направлении, создаваемом специальной оснасткой (оплеткой из стальных проволок или синтетических нитей, скрученных под углом  $\psi_0$  количеством  $n$  и жесткостью  $ES$ ). Расчетная формула для определения  $E_2^-$  с учетом продольной жесткости  $L$  (экспериментальной) конструкции (оплетка + сердечник с жесткостью  $(ES)_c$ ) имеет вид:



$$E_2^- = \frac{nES \cdot \sin^4 \psi_0 \cdot k_f}{\left[ \frac{nES}{L - (ES)_c} (1 - \nu_{12} \sin \psi_0 \operatorname{tg} \psi_0) \cos^2 \psi_0 - 1 \right] 2\pi R_1^2}, \quad (13)$$

Коэффициенты формы поперечного сечения сердечника имеют вид:

для сплошного цилиндра:

$$k_f = 1 - \nu_{12}; \quad (14)$$

для трубки с внешним  $R_1$  и внутренним  $R_2$  радиусами:

$$k_f = \frac{R_1^2 + R_2^2}{R_1^2 - R_2^2} - \nu_{12}. \quad (15)$$

Обоснован выбор диаметра оправки для испытания ОМ на навивание.

Приведены результаты физико-механических испытаний элементов конструкции ОК (синтетических нитей, полимерных материалов ОМ) на предмет совместимости с ГЗ, проведенные в соответствии с методикой, разработанной в процессе диссертационной работы.

Физико-механические характеристики исследованных материалов в целом не изменяются в процессе теплового старения в контакте с ГЗ.

Данные, полученные по методу ДСК, показывают, что температура основных фазовых переходов полимерных материалов ОМ после теплового старения в присутствии ГЗ остается неизменной в пределах ошибки ее определения и вязкость исследованных ГЗ не изменяется.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Проведен анализ работ, посвященных проблемам проектирования ОК, предназначенных для эксплуатации при воздействии воды. Показана актуальность разработки методик оценки стойкости ОК к радиальному воздействию воды, совместимости ГЗ с материалами ОК, исследования физических свойств наиболее актуальных для ОК материалов, в том числе при взаимодействии их с ГЗ.

2. Сформулированы критерии оценки стойкости конструкции ОК к радиальному воздействию воды и разработана методика расчета указанных критериев для обобщенной конструкции кабеля.

3. Получены и проанализированы выражения для определения средней относительной концентрации поглощенной влаги для образцов плоской и цилиндрической формы во всем диапазоне критерия Фурье для диффузии

4. Приведена методика анализа водопоглощения и определения коэффициента диффузии по результатам обработки кривых поглощения полимеров плоской и цилиндрической формы. Методика позволяет по характеру кривых поглощения судить о степени однородности материала в части его водопоглощения.

Методика проверена экспериментально. Определены по кривым поглощения коэффициент диффузии водопоглощающего ГЗ, а также коэффициент диффузии компаунда марки S 6645 и ПВХ марки О-50.

5. Рассмотрены способы защиты ОК от радиальной диффузии воды – уменьшение концентрации влаги в ОК, увеличение времени насыщения. Экспериментально подтверждена возможность снижения концентрации поглощенной влаги в ОК за счет выбора материала внешней оболочки.

6. Проведен анализ физических свойств конструктивных элементов ОК. Приведена методика определения модуля упругости полимерных элементов ОК при сжатии в радиальном направлении, создаваемом специальной оснасткой. Определены механические характеристики ОМ.

7. Разработана методика оценки совместимости ГЗ с конструктивными элементами ОК, в соответствии с которой проведены испытания синтетических нитей и полимерных материалов ОМ, подвергнутых тепловому старению в контакте с ГЗ.

8. Конкретные технические решения в виде кабельных конструкций введены в ТУ 16.К 71-308-2002 «Кабели судовые оптические». Разработанные в процессе работы методики и способы защиты ОК от воздействия воды использованы при создании конструкций и технологии изготовления ОК и

проведении соответствующих исследований в ОАО «ВНИИ КП» (по теме «Нить-К»).

### **Список опубликованных работ по теме диссертации**

1. Нестерко В.А., Боев М.А. Результаты исследования механических характеристик волоконно-оптических кабелей // VII Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов: Тез. докл. Т2.– М., 2001.– С. 52-53.

2. Нестерко В.А., Боев М.А. Выбор конструкции магистрального оптического кабеля по механическим параметрам // IV Международная конференция по физико-механическим проблемам электротехнических материалов и компонентов: Тез. докл.– М., 2001. – С. 18-19.

3. Нестерко В.А., Боев М.А. Материалы для изготовления волоконно-оптических кабелей // «Информост» - Радиоэлектроника и Телекоммуникации.- 2002.- № 1.- С. 39-43.

4. Нестерко В.А., Боев М.А. Исследование механических свойств упрочняющих элементов оптических кабелей // VIII Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов: Тез. докл. Т2.- М., 2002.– С. 35.

5. Нестерко В.А., Боев М.А. Современные конструкции оптических кабелей // «Информост» - Радиоэлектроника и Телекоммуникации.- 2002.- № 3.- С. 44-48.

6. Нестерко В.А., Ларин Ю.Т. Полимерные оптические волокна // «Информост» - Радиоэлектроника и Телекоммуникации.- 2002.- № 4.- С. 28-33.

7. Нестерко В.А., Боев М.А., Ларин Ю.Т. Исследование гидрофобного заполнения на совместимость с полимерными материалами // V Международная конференция «Электромеханика, электротехнологии и электроматериаловедение»: Тез. докл. Ч 1.- Алушта, 2003.- С. 37-38

8. Нестерко В.А., Боев М.А., Ларин Ю.Т. Термический анализ модульного материала, используемого для изготовления оптических кабелей // V

Международная конференция «Электротехнические материалы и компоненты»:  
Тез. докл.- Алушта, 2004.- С. 99-101.

9. Нестерко В.А., Боев М.А. Исследование влияния гидрофобного наполнителя на структуру и термоокислительную стойкость полимерных материалов // XI Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов: Тез. докл.- М., 2005.- С. 60-61.

10. Нестерко В.А., Геча Э.Я. К вопросу об определении коэффициента диффузии воды в полимерных материалах по кривым поглощения // Пластические массы.- 2005.- №5.- С. 46-49.

11. Нестерко В.А., Геча Э.Я., Ларин Ю.Т. Оценка эффективности конструкций оптических кабелей с точки зрения стойкости к воздействию воды в радиальном направлении.- М., 2005.- 25 с.- Деп. в Информэлектро 10.06.05, №6-эт-2005.

Подписано в печать 21.06.05 Зак. 214 Тир. 100 Шл. 1.6  
Полиграфический центр МЭИ (ТУ)  
Красноказарменная ул., д. 13