

**УДК 621.3.019.3**

**Липская Марина Анатольевна** – к.т.н., доцент (Казахская академия транспорта и коммуникации им. М. Тынышбаева, г. Алматы)

**Кабдолдаева Камила Айбековна** – магистрант (Казахская академия транспорта и коммуникации им. М. Тынышбаева, г. Алматы)

**ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ОВ НА КРАТКОВРЕМЕННУЮ ПРОЧНОСТЬ**

При эксплуатации оптических волокон, проблема долговечности приобретает решающее значение. Механические требования, предъявляемые к конструкции оптоволоконного кабеля, выполняются, если оптическое волокно прочно и не разрушается в течение заданного срока службы. Поэтому создание оптического кабеля связи на основе оптических волокон заданной долговечности требует анализа прочностных характеристик волокна, оценки кратковременной и длительной прочности волокна и оценки надежности оптического волокна.

Оценка кратковременной и длительной прочности оптического волокна исследовалась в работах[1]. При этом авторы уделяли внимание либо виду распределения механической прочности оптических волокон, либо предлагали методы определения длительной прочности.

Однако, влияние конкретных механических характеристик на надежность оптического волокна, равно как и способы их получения описаны не были.

В настоящей работе была предложена методика оценки надежности оптического волокна на основе механических характеристик, полученных при испытаниях волокна на кратковременную и длительную прочность.

Основной характеристикой надежности оптического волокна может быть названа долговечность  $t$  волокна длиной  $L$ , находящегося под воздействием заданных эксплуатационных напряжений  $\sigma$  с вероятностью разрушения  $P$ .

Таким образом, долговечность может быть выражена как:

$$t = t(L, \sigma, P) \quad (1)$$

Если рассчитанная характеристика окажется большей или равной допустимой, можно сделать вывод что, данное оптическое волокно при заданных условиях эксплуатации не разрушится в течении заданной долговечности с вероятностью  $P$ .

Для нашего случая целесообразно видоизменить введением в формулу (1) набора характеристик кратковременной и длительной прочности, полученных способом, изложенным ниже. Таким образом, формула (1) примет вид:

$$t = t(L, \sigma, P, \alpha_i) \quad (2)$$

где  $\alpha_i$  - механические характеристики оптического волокна.

Долговечность оптического волокна определяется характером и скоростью распространения трещин в стекле[2]. Распространение трещин зависит от коэффициента концентрации напряжений  $K_I$  и от окружающей среды стекла под напряжением. Видерхорн измерил скорость распространения трещин в зависимости от прилагаемой силы и коэффициента интенсивности напряжений при различном содержании воды в атмосфере. В результате проведенных испытаний ему удалось выявить стадии развития трещин в стекле. Интерпретация скоростей роста трещин при таком подходе может осуществляться с применением теории Чарлза и Хиллига:

$$v = v_0 \exp \left[ -\frac{E + \frac{b}{K}}{RT} \right] \quad (3)$$

где  $v$  – скорость роста трещины;  
 $b$  и  $v_0$  – константы;  
 $E$  – энергия активации;  
 $R$  – универсальная газовая постоянная;  
 $T$  – абсолютная температура;  
 $K$  – коэффициент интенсивности напряжений.

Этот закон распространения трещин экспоненциального типа мало применим, при этом отдается предпочтение более простому в использовании эмпирическому приближению, хорошо описывающему скорость роста трещин:

$$v = AK_1^n \quad (4)$$

где  $v$  – скорость роста трещины;  
 $K_1$  – коэффициент интенсивного напряжений;  
 $A$  и  $n$  – константы, зависящие от материала и окружающей среды.

Константа  $n$  является характеристикой усталости стекла для данной среды и носит название параметра усталости.

Задавшись зависимостью скорости роста трещин от величины коэффициента интенсивности  $K_1$ , а, следовательно, от приложенного напряжения, можно определить время разрушения  $t_s$ :

$$t_s = \frac{B\sigma_c^{n-2}}{\sigma^n} \quad (5)$$

где  $\sigma_c$  – прочность волокна в инертной среде;  
 $\sigma$  – приложенное напряжение.

Следует заметить, что формула (5) получена при принятии следующих допущений:

$K_1 < 0,7K_{1c}$ , или  $\sigma < 0,7\sigma_c$ , то есть действующее на волокно напряжение на 30% меньше предельного напряжения для инертной среды, что обычно выполняется ввиду снижения прочности стекла при воздействии окружающей среды; Параметры усталости  $n > 10$ , что также подтверждается экспериментальными данными.

Прологарифмировав выражение (5), получим:

$$\ln t_s = -n \ln \sigma + \ln k_s \quad (6)$$

где  $t_s$  – время разрушения;  
 $\sigma$  – приложенное напряжение;  
 $k_s$  – константа, определяемая условиями окружающей среды.

Постоянные  $\ln k_s$  и  $n$  могут быть получены методом регрессионного анализа из результатов опытов по определению времени разрушения образцов под напряжением  $\sigma$  в различных условиях окружающей среды.

Однако у данного метода есть один существенный недостаток: при небольших значениях напряжения  $\sigma$ , время до разрушения  $t_s$ , может оказаться очень большим и, в связи с этим, проведение такого рода испытаний становится нецелесообразным[3].

Для исключения этого недостатка используются в основном динамические методы. В соответствии с одним из таких методов волокно подвергают напряжениям, возрастающим при различных скоростях, предполагающих несколько декад[4].

Действительно, если принять  $O = qt$ , то после преобразований можно получить, приняв  $q = \text{const}$ :

$$\sigma^{n+1} = B(n+1)\sigma_c^{n-2}q \quad (7)$$

Это уравнение сводится логарифмированием к уравнению:

$$\ln \sigma_d = (n+1)^{-1} \ln q + (n+1)^{-1} \ln k_d \quad (8)$$

Дальнейшие преобразования дают возможность выразить в явном виде время  $t_d$  условия, что  $\sigma_d = qt_d$  и получить запись, сходную по форме с (6):

$$\ln t_d = -n \ln \sigma_d + \ln k_d \quad (9)$$

где  $t_d$  – время разрушения;

$\sigma_d$  – напряжение в конце нагружения;

$k_d$  – константа, определяемая условиями окружающей среды.

Графическая интерпретация формулы (9) приведена на рис.1. Необходимо заметить, что данная кривая соответствует 50% вероятности разрушения, следующий из регрессионного анализа.

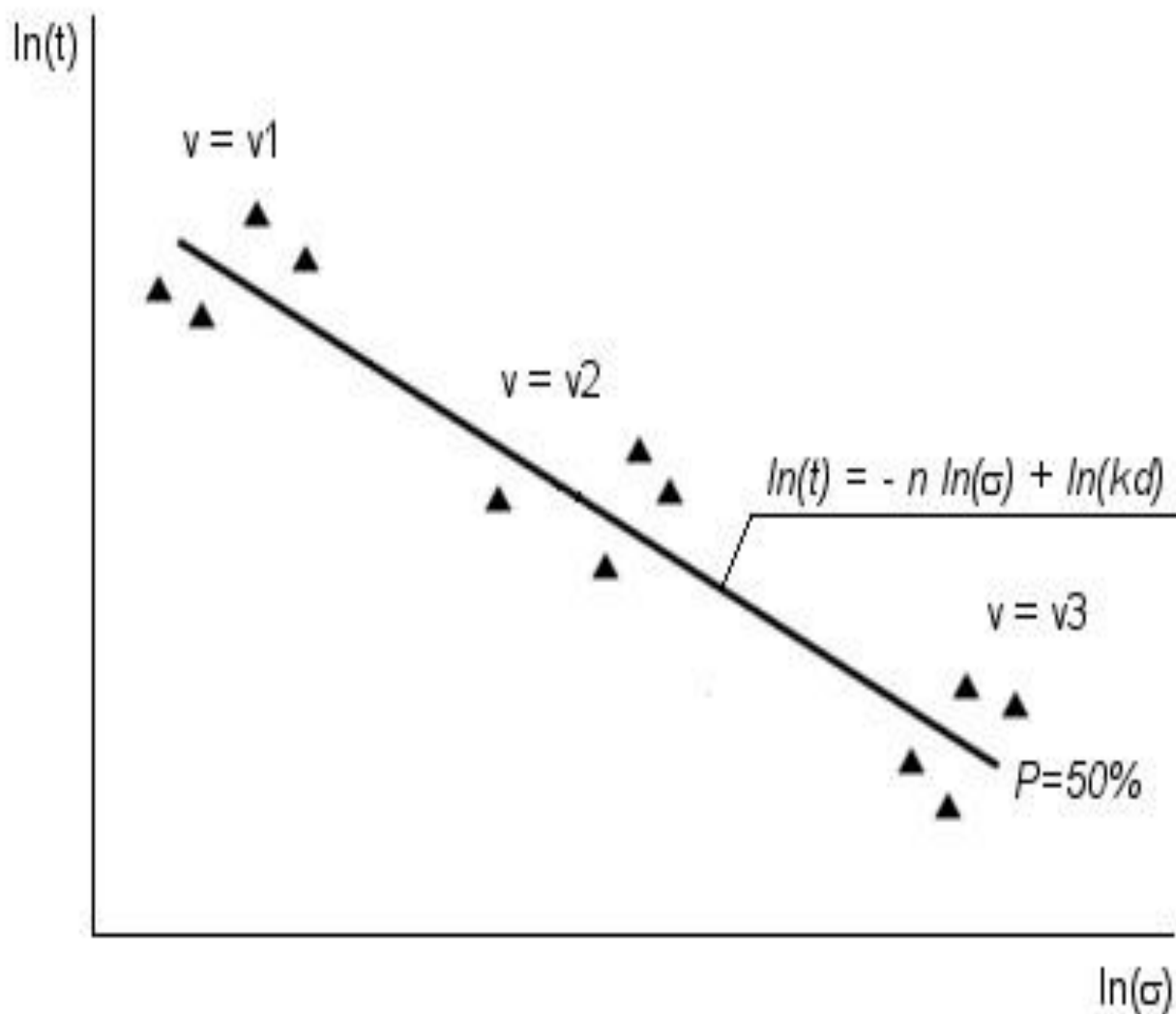


Рисунок 1 - Кривая длительной прочности оптического волокна.

Для определения характеристик оптического волокна использовали испытания на растяжение.

В качестве образцов использовали оптическое волокно с рабочей длиной:  $L_0=120\pm 10$ мм.

Зажим образцов осуществлялся в специально сконструированных захватах, исключающих проскальзывание и раздавливание закрепляемых концов оптического волокна, а также обеспечивающих осесимметричное приложение растягивающей нагрузки к образцу.

Испытание на растяжение производили при фиксированной скорости перемещения захватов испытательной машины с регистрацией разрушающей нагрузки и диаграммы деформирования. На основании полученных экспериментальных данных определяли деформацию разрушения и, с учетом заданной скорости перемещения захватов, вычисляли время до разрушения. Испытания проводились при трех различных скоростях перемещения захватов, отличающихся на порядок: 0.57 мм/мин, 5.31 мм/мин, 55.1 мм/мин. При этом времена до разрушения, соответствующие заданным скоростям, также отличались на порядок.

Полученные значения характеристик кратковременной прочности сведены в таблице 1.

Таблица 1.

$m_1$	$\sigma_{01}$	$m_2$	$\sigma_{02}$	$L_0$
28.604	5.587	5,187	5,222	Принято равным 120 мм

Для определения характеристик длительной прочности по формуле (9) методом регрессионного анализа были найдены значения  $n$  и  $\ln(k_d)$ , а по формуле (10) вычислено значение  $\ln(k_s)$ . Значения характеристик длительной прочности сведены в таблице 2.

Таблица 2.

$n$	$\ln(k_d)$
23,287	42.189

**Выводы.** Разработана методика определения кратковременной и длительной прочности оптического волокна на базе испытания на растяжение образцов оптического волокна определенной длины с различными скоростями нагружения, (деформирования), отличающимися друг от друга на порядок без измерения оптических параметров волокна. Экспериментально получены характеристики кратковременной и длительной прочности оптического волокна, предоставленный заказчиком при нормальных климатических условиях.

Расчет надежности для разрабатываемых вновь изделий обычно основываются на результатах исследовательских испытаний. В связи с этим возможна только ориентировочная оценка характеристик интенсивности отказов для разрабатываемых оптических компонентов, произведенная на основе их сопоставления с существующими аналогами, для которых доступны справочные данные.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ларин Ю.Т. Надежность оптических волокон. – М.: Информэлектро, 2003.-40 с.

2. Ксенофонов С.Н. Оценка надежности волоконно-оптической линий связи. Учебное пособие. – М.:2002 – 48 с.
3. Шарварко В.Г. Волоконно-оптические линии связи. Учебное пособие. Таганрог: Издательство ТРТУ, 2006, 170с.
4. Бейли Д., Райт Э. Волоконная оптика. Теория и практика. М.: Кудиц – Образ, 2006. 230 с.т.