

МЕТОД ДВУХТОЧЕЧНОГО ИЗГИБА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ

Мартироян М.Д. (МЭИ)

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, доцент Цой В.Э. (МЭИ)

Введение. Проблема определения истинной прочности изделий из стекол – несомненно, одна из важнейших в инженерии, особенно при рассмотрении в качестве них волоконных световодов как частей волоконно-оптического кабеля. Для решения данной задачи было решено воспользоваться методом двухточечного изгиба, известного своими достоинствами, который представляет интерес ввиду своей методической сложности. Так, машину для автоматизированных испытаний на двухточечный изгиб было необходимо конструировать самостоятельно, при этом в её основу был положен аппарат, учитывающий пластическую природу разрушения образца. Обработка результатов эксперимента производилась различными способами, поскольку т.н. «графики Вейбулла» были явно рекомендованы лишь для испытаний волоконных световодов из стекла на растяжение.

Основная часть. Для лучшего понимания результатов проделанной работы стоит разделить их на тематические пункты, для подробной информации см. список источников:

1) Был сконструирован, собран (в виде прототипа) и протестирован прибор, осуществляющий эксперимент по определению прочности образцов методом двухточечного изгиба, как он описан в [1], в автоматическом режиме, в том числе проводящий в автоматическом режиме обработку результатов измерений и выводящий графики, наглядно интерпретирующие результаты эксперимента при использовании разных вероятностных моделей. Подробнее с этой частью работы можно ознакомиться с помощью [2-3], физические модели были взяты по аналогии с [4]. Наиболее важные подробности необходимо осветить здесь во избежание трудностей с пониманием нижеследующего материала, поскольку они являются критически важными для формирования общего вывода по работе. Эксперимент проводился на образцах, не подвергавшихся эксплуатации, также, они вступали в контакт лишь с атмосферным воздухом и стальными пластинами прибора, сам прибор регистрировал расстояние между своими пластинами в момент излома образца при приближении одной из пластин к другой пластине, остающейся на месте, с помощью которого вычислялся искомый предел прочности образца по соотношениям, доступным в [2].

2) Обработка результатов эксперимента проводилась с помощью различных гипотез о виде распределения. Наиболее подходящими для условий проводимых по аналогии с [2] экспериментов были признаны как несколько наиболее часто встречающихся в теории надежности распределений, так и логистическое распределение, которое является достаточно «удалённым» от них с точки зрения математического анализа, см. результат успешного его применения в [3], что позволяет дополнительно убедиться в правильности физической модели двухточечного изгиба и успешности её применения к выявлению истинной прочности волоконных световодов.

3) Было установлено, что интерпретация результатов эксперимента посредством т.н. «графика Вейбулла» (метод оценивания с помощью него описан в [5] и в более ранних аналогичных стандартах) для двухточечного изгиба оказалась менее точной относительно реализации гипотезы о вейбулловском характере распределения и оценивания его параметров с помощью метода максимального правдоподобия. Об этом, частично, возможно сделать вывод в [6], но в этой работе использовался идеальный вариант применения данного метода интерпретации результатов эксперимента – линеаризация случайной величины прочности образцов и отыскание нужных параметров с помощью МНК. Необходимо отметить, что даже в такой, наиболее точной реализации с помощью «графика Вейбулла» получаются результаты, более далёкие от истинного значения прочности, чем при

использовании метода максимального правдоподобия.

4) В качестве дополнительного аргумента в сравнении методов, был проведён анализ результатов эксперимента с точки зрения теории надёжности. Для этого эксперимент был линейно отображён через время с определённой константой масштабирования (это возможно благодаря квазистатическому характеру нагружения образцов), после этого проводился надёжностный анализ (для наглядности было показано время наработки на отказ, оно позволяет определить и другие параметры, такие как функциональная интенсивность отказов и вероятность безотказной работы) с помощью распределения Вейбулла, что показало ожидаемые из-за линейного отображения результаты, что является хорошим подтверждением правильности применения метода двухточечного изгиба.

Выводы. С помощью серии экспериментов на приборе, определяющем прочность волоконных световодов на двухточечный изгиб с применением различных вероятностных моделей, среди которых наиболее подходящими для условий, в которых проводился эксперимент, оказались модели, построенные на логнормальном и гамма-распределениях, а также на распределении Вейбулла, но не в виде «графика Вейбулла», оценённые по методу максимального правдоподобия. Также, можно с уверенностью заявить, что метод двухточечного изгиба может быть успешно применён в связке с прибором-измерителем для определения предела прочности волоконных световодов (в наилучшем случае сочетания серии с моделью погрешность определения составила ок. 3%, в наихудшем – ок. 5%).

Список использованных источников:

1. MATTHEWSON, M.J., KURKJIAN, C.R. and GULATI, S.T. (1986), Strength Measurement of Optical Fibers by Bending. *Journal of the American Ceramic Society*, 69: 815-821. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1986.tb07366.x>
2. Martirosyan, M.D. A Device for Measuring the Ultimate Strength of Multilayer Rods by the Two-Point Bending Method. *Instruments and Experimental Techniques* 67, 790–794 (2024). <https://doi.org/10.1134/S0020441224701033>
3. Мартиросян, М. Д. Приложение логистического распределения к моделированию двухточечного изгиба многослойного стержня / М. Д. Мартиросян // Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации: Труды XVII МНТК, Суздаль, 23–26 сентября 2024 года. – Москва: НТЦ УП РАН, 2024. – С. 40-43.
4. Baikova, L.G., Pesina, T.I., Kurkjian, S.R. *et al.* On the method for determining the true strength of inorganic glasses. *Technical Physics* 58, 1447–1452 (2013). <https://doi.org/10.1134/S1063784213100034>
5. ГОСТ Р МЭК 60793-1-31-2010. Волокна оптические. Часть 1-31. Методы измерений и проведение испытаний. Прочность при разрыве.
6. Мартиросян, М. Д. Вейбулловская статистическая модель двухточечного изгиба многослойного стержня / М. Д. Мартиросян // ИАМП-2024: Материалы XIX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, Бийск, 30 октября – 1 ноября 2024 года. – Бийск: АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 2024. – С. 192-194.