

**Ключевые слова:** инвестиционный потенциал, инвестиционный климат, инвестор, эффективность, инвестиционная политика.

УДК 621373

**КЕМЕЛЬБЕКОВ Б.Ж.** – д.т.н., профессор (г. Алматы, Казахский университет путей сообщения)

**ЛУГАНСКАЯ С.П.** – сениор-лектор (г. Алматы, Международный университет информационных технологий)

## МЕХАНИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ И ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ

### **Аннотация**

В статье приведены результаты исследований механической прочности волоконных световодов волоконно-оптических кабелей. Рассмотрены факторы, влияющие на прочность световодов, что является снижением прочности оптоволокна. Описаны воздействующие нагрузки на трещины и причины роста трещин в оптоволокне.

Так же рассмотрены различные механические воздействия при изготовлении, прокладке и эксплуатации оптических кабелей и меры предосторожности предотвращения этих воздействий.

**Ключевые слова:** оптические волокна, микротрещины, световод, долговечность, механические нагрузки, деформация, защитная оболочка.

### **Введение.**

Современный этап развития техники связи характеризуется проведением интенсивных работ в области волоконно-оптических систем связи (ВОСС). Такой большой интерес к ВОСС обусловлен возможностью передачи широкополосных сигналов по оптическим волокнам (ОВ) на большие расстояния. При этом реализуется целый ряд преимуществ ВОСС, обусловленных применением в качестве направляющих систем оптических кабелей (ОК) связи: высокая скорость передачи цифровых сигналов, большая длина регенерационного участка, высокая помехозащищенность от внешних воздействий. В настоящее время проводятся активные работы по внедрению ВОСС на сетях связи различного назначения. При этом темпы роста новых технологий таковы, что промышленность существенно отстает по темпам их развития. Подобная тенденция сохраняется как в области создания систем дальней связи, так и в области локальных сетей.

### **Основная часть.**

В настоящее время существуют две тенденции развития волоконно-оптических систем связи (ВОСС). Первая из них связана с созданием ВОСС со сверхвысокими скоростями передачи информации, вторая с расширением области применения ВОСС в различных отраслях промышленности (энергетика, авиаация, железнодорожный и автодорожный транспорт). Основным элементом любой волоконно-оптической системы связи является ее направляющая система, в качестве которой используется волоконно-оптический кабель связи. Поэтому при рассмотрении вопроса надежности и долговечности функционирования таких ВОСС решающее значение имеет

эксплуатационная надежность ОК. Эксплуатационная надежность ОВ имеет две составляющие: механическую, обусловленную сохранением целостности волокна, и передаточную, связанную со стабильностью передаточных параметров волокна. Механическая надежность ОВ является статистической характеристикой, определяющей вероятность обрыва ОВ под воздействием механического напряжения. Основными механическими характеристиками ОК являются прочность и коэффициент вариации прочности, которые изменяются в широких пределах в зависимости от условий изготовления, обработки изделий из стекла и методов их испытаний. Для правильной оценки внешних механических нагрузок, действующих на оптический кабель, следует рассмотреть сначала механизм разрушения оптических волокон под воздействием механических напряжений. Прочность оптического волокна определяется в основном наличием поверхностных трещин, которые произвольно располагаются вдоль всей его длины. Величина прочности зависит от длины образца оптического волокна, скорости приложения нагрузки и условий окружающей среды. Если к волокну не прикладывать нагрузок, то его механические и оптические свойства остаются неизменными, даже если на волокно воздействуют влага, вода, кислоты большой концентрации или другие химические вещества. Если к волокну прикладывать напряжение, то трещины на его поверхности могут увеличиваться. Таким образом, волокна, которые подвергаются растягивающему напряжению, кручению или перегибам, подвергаются воздействию статической усталости, что со временем приводит к ухудшению их прочностных характеристик. Обычно при изготовлении оптических волокна подвергаются тестированию на механическую прочность, т.е. испытаниям на перемотку под натяжением по всей их длине. В результате использование волокон с низкой механической прочностью для изготовления оптических кабелей исключается. Для выбора конструкции оптического кабеля необходимо помнить, что в процессе прокладки и эксплуатации кабель подвергается комплексному воздействию различных механических нагрузок. Кварцевое ОВ, изготовленное в соответствии с технологическим циклом, длительное время сохраняет высокопрочное состояние стекла. Наличие дефектов стекла, даже при его хорошем покрытии так же, как и не нанесение качественной защиты ОВ сразу после его формирования, приводят к переходу кварцевых ОВ в низко-прочное состояние. Механические свойства стеклянных волокон существенно отличаются от свойств цельного стекла, например, прочность ОВ существенно выше. Причины повышенной прочности световолокна недостаточно ясны. Предполагается, что упрочнение световодов связано с изменением структуры, возникающей при вытягивании волокна в процессе его изготовления. Процесс вытягивания создает молекулярную ориентацию и цепочечные образования вдоль волокна. Однако такое объяснение не получило достаточно убедительных экспериментальных подтверждений.

Известно, что решающим фактором снижения прочности хрупких тел являются дефекты, на которых даже при малых деформациях развиваются микротрещины, приводящие к повышению локальных напряжений. В тонких стеклянных нитях при их вытягивании число опасных поверхностных дефектов уменьшается. Прочность ОВ зависит от химического состава и технологических условий его получения. Повышенная прочность наблюдается в ОВ, вытянутых из жидкого стекла при высокой температуре и охлажденных с достаточно большой скоростью. С увеличением диаметра ОВ его прочность уменьшается. В таблице 1 приведены величины напряжения на разрыв ОВ различных диаметров из алюмоборосиликатного стекла.

Таблица 1 – Величины напряжения на разрыв ОВ различных диаметров из алюмоборосиликатного стекла

Диаметр ОВ, мкм	10	20	30	50	100	120
$\sigma \times 10^9$ , Н/м <sup>2</sup>	1,47	1,18	0,98	0,785	0,735	0,49

Наибольшей прочностью обладают оптические волокна из боратного и фосфатного стекла, а также из силиката натрия. Кристаллические и мелкие газовые пузырьки в исходной стекломассе уменьшают прочность ОВ на 30÷40%. Хотя прочность кварцевого ОВ выше, чем обычного стеклянного ОВ, однако его реальная прочность зависит от технологии получения. При изготовлении кварцевого ОВ вытягиванием из штабиков его прочность оказывается на 50÷70% ниже, чем прочность волокна из алюмосиликатного стекла. Весьма существенным для производства и эксплуатации ОК является влияние окружающей среды на прочность ОВ. В сухом воздухе прочность максимальна. Например, при кратковременной нагрузке у погруженного в воду ОВ из алюмоборосиликатного стекла диаметром 20 мкм снижается прочность на 23%, а прочность ОВ из натрий-кальций-силикатного стекла диаметром 28 мкм снижается на 28%. При длительной нагрузке проявляются усталостные явления. Для ОВ из алюмоборосиликатного стекла диаметром 6 мкм предел прочности уменьшается с  $1,19 \times 10^9$  Н/м<sup>2</sup> до  $1,09 \times 10^9$  Н/м<sup>2</sup> при выдерживании под нагрузкой в течение 1 часа. После снятия нагрузки и высушивания деформация постепенно исчезает и прочность ОВ восстанавливается. При этом прочность ОВ, содержащая более 15% щелочи, после пребывания в воде или во влажном воздухе необратимо снижается в связи с выщелачиванием и разрушением.

Кинетический подход к изучению физической природы прочности ОВ, т.е. устойчивости его к разрушению, привёл к коренному изменению всей системы взглядов на явление механического разрушения ОВ. Внешняя сила не осуществляет разрыва межатомных связей, а создает благоприятные условия для их необратимого разрыва в результате тепловых флюктуаций. Старение и разрушение ОВ – по своей природе термофлюктуационные процессы. Причём, общая закономерность зависимости долговечности ОВ от напряжения и температуры может быть пояснена тем обстоятельством, что приложенные к ОВ внешние воздействия вызывают напряжение межатомных связей. Вследствие гетерогенности строения ОВ, на над атомным уровнем внешняя нагрузка распределяется неравномерно по химическим связям, т.е. возникают локальные перенапряжения, где энергия активации распада межатомных связей понижается особенно сильно. Именно в этих местах наиболее интенсивны процессы термофлюктуационного разрушения напряжённых связей. Здесь формируются очаги разрушения, развитие которых приводит к старению ОВ и их разрушению. Флюктуации и в отсутствие внешней нагрузки вызывают в различных местах ОВ разрывы межатомных связей. Однако, разрывы эти вскоре же ликвидируются благодаря реставрации разорванных связей, поскольку флюктуация, необходимая для восстановления связи, не больше флюктуации, вызывающей её разрыв. Приложение к ОВ внешней нагрузки уменьшает энергию распада связи. Это значит, что разрыв связи будет вызываться флюктуациями меньшей величины, т.е. разрывы межатомных связей будут чаще, чем до приложения нагрузки. И, главное, облегчив термофлюктуационный распад связей, внешняя нагрузка затруднит их рекомбинацию. Действительно, после разрыва связи атомы оказываются отодвинутыми друг от друга на большее, чем обычно, расстояние. Для восстановления связи, т.е. сближения атомов, потребуется очень большая флюктуация, которые возникают очень редко. Следовательно, скорость распадов связей значительно превысит скорость их восстановления. Начинается накопление разрывов связей в нагруженном световоде. Каждый из этих разрывов вызывается, однако, не самой внешней силой, а тепловой флюктуацией. Атомы с напряжённой связью как бы «ждут» прихода

тепловой флюктуации, которая и становится своеобразными «ножницами», перерезывающими межатомные связи. Таким образом, непосредственно разрушающим фактором в этом случае являются тепловые флюктуации. Энергия разрушения ОВ часто и в большей мере пополняется из запаса его тепловой энергии, а не в результате воздействия на ОВ внешней силы, которая играет роль вентиля, облегчая и направляя разрушающее действие тепловых флюктуаций энергии межатомных связей.

При изготовлении, прокладке и эксплуатации ОК, находящиеся в них оптические волокна, подвергаются различным механическим воздействиям – растяжению, сжатию, кручению. При эксплуатации ОК волокна могут испытывать вибрации, которые приводят к дополнительной модуляции излучения.

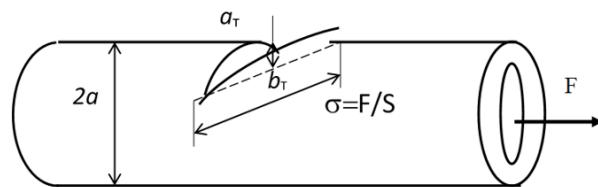


Рисунок 1 – Схема микротрешины ОВ

Под действием механических нагрузок происходит непрерывный рост микродефектов, заканчивающихся разрушением волокон. Действительно, если волокно имеет поверхностную трещину (рисунок 1) глубиной  $a_t$  и длиной  $b_t$ , то при диаметре волокна  $2a$  механическое напряжение в нем равно:

$$f^{\text{c}} = \frac{F}{\pi a^2}, \quad (1)$$

где  $F$  ;  $a$  – глубина поверхностной трещины волокна

Под воздействием растягивающих нагрузок трещины растут, что и приводит к обрыву волокна. Механизм разрушения световодов описывается моделью, построенной на основе теории Гриффитса. В начале развития трещины скорость роста трещины описывается выражением:

$$v_p = \frac{da_t}{dt} = \frac{db_t}{dt} = AJ^{\sigma}(f), \quad (2)$$

где  $A$ ,  $\sigma$  – постоянные, зависящие от материала световода, внешних условий и вида трещины;

$J(f)$  – коэффициент интенсивности напряжения, равный:

$$J(f) = 0,806 f^{\text{c}} b_t^{0,5} \quad (3)$$

На начальной стадии происходит медленное развитие трещины, сопровождаемое ростом  $J(f)$ . При достижении критического значения  $J(f)$  (для кварца этот коэффициент составляет величину  $0,789 \text{ МН/м}^{3/2}$ ) начинается быстрый рост трещины и обрыв волокна. Развитие трещины происходит со скоростью  $10^{-16} \div 10^{-4} \text{ м/с}$ , а разрушение – со звуковой скоростью.

На рисунке 2 приведены графики зависимости величины  $J(f)$  и критической глубины трещины от величины приложенного механического напряжения.

Из повседневного опыта работы со стеклом может сложиться представление о его непрочности. Для правильного представления о возможностях стекла рассмотрим основные физические параметры различных материалов, которые приведены в таблице 2. Из приведенной таблицы видно, что стекло успешно может конкурировать с металлами, главным образом по величине отношения прочность/вес.

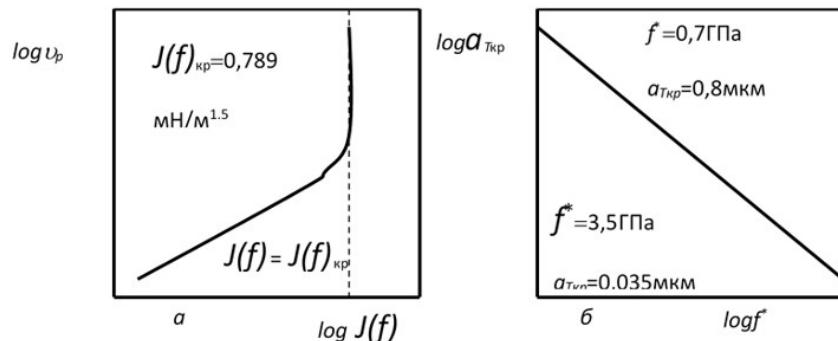


Рисунок 2 – Графики зависимости: *a* – скорости роста трещины от коэффициента интенсивности напряжения  $J(f)$ ; *б* – критической глубины трещины от значения приложенного напряжения.

При этом следует учесть, что стекло при комнатной температуре не течет, а упруго удлиняется до некоторого предела, а затем происходит разрыв. Однако, практически измеренные значения прочности стекол, значительно меньше теоретически предсказываемых исходя из числа связей и их средней прочности, приходящихся на 1 см<sup>2</sup> материала. Такое поведение стекол объясняет гипотеза микротрещин Гриффитса. На рисунке 3 приведена схема трещины на поверхности стекла и ее основные параметры, влияющие на прочность волоконного световода.

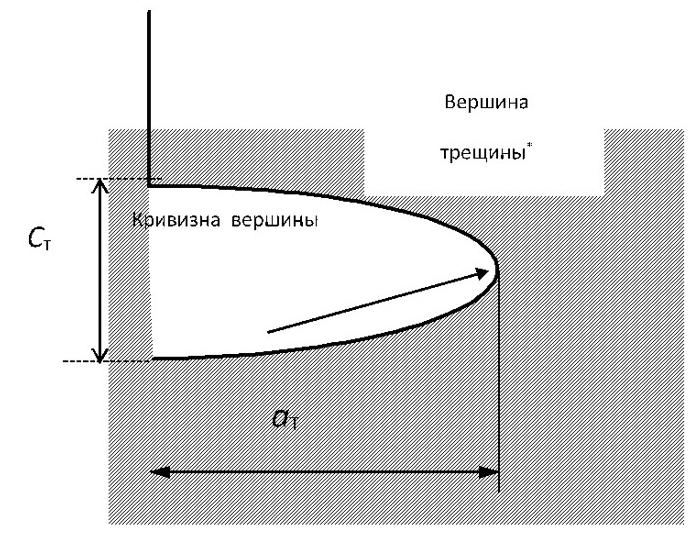


Рисунок 3 – Сечение микротрещины

В предложенной модели предполагается, что на поверхности стекла существуют микротрещины. При приложении силы к стеклу происходит концентрация напряжения вокруг вершины микротрещины и материал разрывается значительно раньше, чем приложенная сила сравняется с суммой всех сил связей в материале. Справедливость теории подтверждается успешным применением основанных на ней методов повышения

прочности стекла. Например, значительное увеличение прочности при химическом травлении стеклянных изделий: на несколько порядков большая прочность свежеизготовленных стеклянных волокон, по сравнению с волокнами, оставленными на несколько дней без защиты. Из рисунка 3 видно, что чем меньше прикладываемые к ОВ механические напряжения, тем больше критические размеры трещин.

Таблица 2 – Основные физические параметры различных материалов

Материал	Модуль Юнга, Е, ГПа	Предел текучести ГПа	Предел упругих деформаций, %	Прочность на разрыв, ГПа	Удлинение при разрыве, %
Стальная проволока	200	0,4÷0,15	0,2÷1,0	0,5÷3,0	2÷25
Нейлоновая нить	6÷13	Более 0,8	Более 6	1,0÷1,5	15÷20
Кевлар 49, волокно	130	3,0	2	--	2
Стекло S-типа, волокно	90	3,0	3	3,0	3
Углеродное волокно	100-200	15÷20	1,0÷1,5	1,5÷2,0	1,0÷1,5

Вероятность разрушения световода заданной длины описывается распределением Вейбулла:

$$G(S, f^*, t) = 1 - \left[ - \left( \frac{f^* - f_m}{f_n - f_m} \right)^p \left( \frac{t}{t_{T0}} \right)^b \left( \frac{S}{S_0} \right) \right] \quad (4)$$

где  $f^*$  – приложенное к стеклу напряжение;

$f_m$  – значение напряжения, ниже которого не происходит разрушение;

$f_n$  – значение напряжения, выше которого всегда происходит разрушение;

$t_{T0}$  – временная постоянная роста трещины;

$S_0$  – эквивалентный масштабный коэффициент площади поверхности;

$S$  – площадь поверхности образца;

$t$  – время действия напряжения;

$p, b$  – эмпирические постоянные;

$G(S, f^*, t)$  – вероятность разрушения световода такой длины, при которой площадь поверхности равна  $S$ , если к световоду приложено напряжение  $f^*$  в течение времени  $t$ .

Экспериментальные наблюдения показывают, что короткие световоды разрушаются при сравнительно больших средних значениях нагрузок, чем длинные. Это объясняется существованием статистического распределения размеров дефектов, так как прочность на разрыв обратно пропорциональна размеру дефектов.

Как видно из соотношения (4), вероятность разрушения зависит не только от приложенного напряжения, но и от времени. Это усложняет определение требований к световоду для кабеля, рассчитанного на длительное пребывание в рабочем состоянии. Физической основой разрушения ОВ является рост трещины в стекле под действием деформации и влаги. Экспериментальные исследования медленного роста трещины показывают, что зависимость размера трещины  $x$  от времени  $t$  имеет вид:

$$\frac{\partial x}{\partial t} = \left( 2 A f^{\frac{b}{c}} \sqrt{\frac{x}{\rho}} \right)^b, \quad (5)$$

где  $f^*$  – значение приложенного напряжения, типичные значения  $b$  для стекла составляют  $20 \div 25$ ;

$\rho$  – радиус кривизны вершины трещины;

$(A, b)$  – эмпирические постоянные.

Интегрируя это выражение, находим время роста трещины от первоначального размера  $a_{Ti}$  до значения  $a_{Tp}$ , при котором исследуемый образец разрушается:

$$t = \left( \frac{2}{b-2} \right) \left( \frac{\sqrt{\rho}}{2 A f^{\frac{b}{c}}} \right)^b a_{Tp}^{1-0.5b}, \quad (6)$$

Рост трещины в стекле происходит из-за химической эрозии материала в окрестности ее вершины. Процессы роста трещины ускоряются, если световод находится под нагрузкой. При этом, используя уравнение (4), можно рассчитать допустимый размер дефектов, которые могут возникнуть во время изготовления ОК. Для этого необходимо знать следующие параметры [4]:

1. Диапазон температур эксплуатации;
2. Химический состав рабочей среды (а также влажность);
3. Остаточное напряжение в волокне после проведения монтажных работ;
4. Срок эксплуатации;
5. Допустимую вероятность разрушения световода в расчете на 1 км длины.

Для обеспечения надежности световодов необходимо провести тщательный статистический анализ и проверить обоснованность результатов измерений. Далее необходимо сформулировать, для выбранной конструкции кабеля, условия его эксплуатации. Также необходимо проследить, чтобы защищенный световод, показавший при испытаниях некоторые статистические характеристики, не разрушался механически при производстве оптического кабеля – защитное покрытие должно обеспечивать механическую непроницаемость во время производственного процесса. Располагая этими данными и задавая условия эксплуатации кабеля, можно используя временную зависимость, найти первоначальный наименьший размер дефекта, который за срок службы кабеля сможет вырасти до размеров, достаточных для его разрушения. После того, как размер дефекта установлен, вычисляется величина деформации или напряжения, при котором световод с дефектом будет разрушен, если он будет нагружен сразу после вытягивания, но перед изготовлением кабеля. Далее процедура состоит в том, чтобы после вытягивания и покрытия (перед изготовлением ВОК) подвергнуть ОВ напряжению рассчитанного значения. Если он не разрушается, то в нем нет дефектов с размерами, более рассчитанных, и долговечность изготовленного из него ОК может быть гарантирована для заданных условий эксплуатации. Подобная процедура применяется при производстве прецизионных стеклянных световодов для обеспечения эксплуатационной прочности.

Для предотвращения влияния механических нагрузок как динамических, так и статических используют различные покрытия для оптических волокон. Следует отметить, что ОВ с оболочкой обладают некоторой пониженной прочностью, по сравнению с ОВ без оболочки. Это объясняется несогласованностью физических параметров стекол сердечника и оболочки и нарушение однородности в процессе их изготовления. Для повышения разрывной прочности ОВ и уменьшения коэффициента трения их

поверхности с материалом защитной оболочки, каждое волокно, из которых собирается жгут, покрывается полимерной пленкой на основе фторопласта толщиной порядка 1 мкм. Это покрытие уменьшает вероятность повреждения ОВ в процессе изготовления жгутов и наложения на них защитной оболочки. Таким образом, процесс коррозии ОВ с точки зрения эксплуатационной надежности ОК представляет собой необратимый процесс уменьшения механической прочности волокна и увеличения затухания оптических сигналов, передаваемых по волокну. Разрушение ОВ – это процесс роста микротрешин на его поверхности под воздействием внутренних и внешних факторов.

### **Выводы.**

Обеспечение прочности волоконных световодов и волоконно-оптических кабелей – это самое главная задача производителей. При изготовлении световодов замечено, что решающим фактором снижения прочности стекла являются дефекты, что, несомненно, приводят к повышению локальных напряжений.

Важнейшей производственной задачей является создание технологического процесса, минимизирующего число крупных дефектов, и гарантирующего, что испытательное значение деформации или напряжения, достаточно велико для обеспечения эксплуатационной долговечности, и достаточно мало для разрушения (для обеспечения приемлемого выхода готовой продукции).

### **Литература**

1. Кемельбеков Б.Ж., Мышкин В.Ф., Хан В.А. Оптические кабели связи. – Томск, 2001.
2. Семенов С.Л. Надежность, прочность, старение и деградация волоконных световодов. / Сборник трудов «Волоконно-оптические технологии, материалы и устройства», 2000.
3. Семенов С.Л. Прочность волоконных световодов на основе кварцевого стекла при различных скоростях нагружения и возможность ее диагностики. Деформация и разрушение материалов, 2007.
4. Кемельбеков Б.Ж. Техническая эксплуатация ВОЛС. Ученое пособие. – Алматы 2017.
5. Кемельбеков Б.Ж., Мышкин В.Ф., Хан В.А. Волоконно-оптические линии связи. Справочное пособие. – Томск, 2001.
6. Петров Ю.М. Надежность функционирования ВОЛС-ВЛ при низких температурах окружающей среды // Электросвязь. – 2015. – № 3.
7. Васильев В.Е., Бондаренко О.В., Ларин Ю.Т., Николаев В.Г. Результаты испытаний оптических кабелей на долговечность. // Электросвязь. – 1985. – №10. – С. 29-31.
8. Чупраков В.Ф., Шитов В.В. Температурно-временные воздействия на оптические волокна и кабели. // Электросвязь. – 1988. – №11
9. Коханенко А.П. Волоконно-оптические линии связи. Физические основы эксплуатации оптического волокна: учебно-методическое пособие / А. П. Коханенко. – Томск: Изд-во ТГУ, 2013. – 64 с.
10. Дьяченко А. А. Влияние температуры на оптические характеристики световодов на основе кварцевого стеклополимера / А. А. Дьяченко, Ю. С. Миляевский // Квантовая электроника. – 1980. – №. 5. – С. 1118-1120.

### **References**

1. Kemelbekov B.Zh., Myshkin V.F., Khan V.A. Optical communication cables. – Tomsk, 2001.
2. Semenov S.L. Reliability, durability, aging and degradation of fiber light guides. / Collection of works "Fiber-optic technologies, materials and devices", 2000.

3. Semenov S.L. Strength of fiber optical fibers based on quartz glass at different loading speeds and the possibility of its diagnostics. Deformation and destruction of materials, 2007.
4. Kemelbekov B.J. Technical operation of VOLS. Study guide. – Almaty 2017.
5. Kemelbekov B.Zh., Myshkin V.F., Khan V.A. Fiber-optic communication lines. Reference manual. – Tomsk, 2001.
6. Petrov Yu. M. Reliability of the functioning of the VOLS-VL at low ambient temperatures // Elektrosvyaz. – 2015. – No. 3.
7. Vasiliev V.E., Bondarenko O.V., Larin Yu.T., Nikolaev V.G. Results of tests of optical cables for durability. // Telecommunications. – 1985. – No. 10. – pp. 29-31.
8. Chuprakov V.F., Shitov V.V. Temperature and time effects on optical fibers and cables. // Telecommunications. – 1988. – No. 11
9. Kohanenko A.P. Fiber-optic communication lines. Physical bases of optical fiber operation: educational and methodical manual / A.P. Kohanenko. – Tomsk: TSU Publishing house, 2013. – 64 p.
10. Dyachenko A.A. Influence of temperature on optical characteristics of light guides based on quartz glass-polymer / A.A. Dyachenko, Yu.S. Milyavsky // Quantum electronics. – 1980. – №.5. – pp. 1118-1120.

**КЕМЕЛБЕКОВ Б.Ж. – т.ғ.д., профессор (Алматы қ., Қазақ қатынас жолдары университеті)**

**ЛУГАНСКАЯ С.П. – сениор-лектор (Алматы қ., Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті)**

## **ТАЛШЫҚТЫ ЖАРЫҚ ӨТКІЗГІШТЕР МЕН ТАЛШЫҚТЫ-ОПТИКАЛЫҚ КАБЕЛЬДЕРДІҢ МЕХАНИКАЛЫҚ БЕРІКТІГІ**

### **Аңдатта**

Мақалада талшықты-оптикалық кабельдердің сәуле бағыттағыштың механикалық беріктігін зерттеу нәтижелері қарастырылған. Оптикалық талшықтардың беріктігіне әсер ететін факторлар қарастырылады, бұл оптикалық талшықтың беріктігін төмөндеуі. Жарыққа әсер ететін жүктемелер мен талшықты жарықшақтардың өсу себептері сипатталған.

Оптикалық кабельдерді өндіру, орнату және пайдалану кезіндеңі әр түрлі механикалық әсерлер және осы әсерлердің алдын алу шаралары қарастырылады.

**Түйінді сөздер:** оптикалық талшықтар, шағын жарықшақтар, жарық бағыттағыш, беріктік, механикалық кернеу, деформация, қорғаныш қабық.

**KEMELBEKOV B.Zh. – d.t.s., professor (Almaty, Kazakh university ways of communications)**

**LUGANSKAYA S.P. – senior lecturer (Almaty, International university of information technologies)**

## **MECHANICAL STRENGTH OF FIBER LIGHT GUIDES AND FIBER OPTIC CABLES**

### **Abstract**

*The article presents the results of studies of the mechanical strength of fiber optic fiber optic cables. The factors affecting the strength of the optical fibers, which is a decrease in the strength of the fiber, are considered. The influencing loads on cracks and the causes of crack growth in optical fiber are described.*

*Various mechanical impacts during the manufacture, laying and operation of optical cables and precautions to prevent these impacts are also considered.*

**Keywords:** optical fibers, microcracks, light guide, durability, mechanical loads, deformation, protective shell.

УДК 656.2

**МУСАЕВ Ж.С. – д.т.н., доцент (г. Алматы, Академия логистики и транспорта)**

**БЕКМАМБЕТ К.М. – к.т.н., доцент (г. Алматы, Казахский университет путей сообщения)**

**ХАНГЕРЕЕВ Р.Т. – преподаватель (г. Алматы, Алматинский технико-экономический колледж путей сообщения)**

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТОВ НА УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВОГО ВАГОНА**

### **Аннотация**

Литым деталям тележек грузовых вагонов свойственна приобретенная эксплуатационная дефектность (усталостные трещины), а также исходная технологическая дефектность, которая характерна для крупногабаритных отливок сложной конфигурации. Данная дефектность может привести к аварийным разрушениям литых деталей тележек в процессе их эксплуатации. Изломы боковых рам тележек грузовых вагонов нередко сопровождаются сходом вагона с рельсов, создают угрозу безопасности движения поездов, представляют опасность для жизни и здоровья граждан, приносят значительные убытки. В статье для оценки напряженно-деформированного состояния боковой рамы предложена конечно-элементная модель. Рассмотрены схемы нагружения и методики испытания боковых рам.

**Ключевые слова:** тележка грузового вагона, боковая рама, литейный дефект, напряженно-деформированное состояние, моделирование, испытание, анализ.

### **Введение.**

Транспорт – важнейшая сфера общественного производства. Он служит материальной основой разделения труда в обществе и осуществляет многообразную связь между производством и потреблением, промышленностью и сельским хозяйством, добывающей и обрабатывающей промышленностью, экономическими районами. В структуре транспорта важное место занимает железнодорожный транспорт. Его использование в жизни общества повсеместно, поэтому общее представление об экономике вообще и о транспорте в частности было бы неполным без упоминания железнодорожного транспорта.

Железнодорожный транспорт является важнейшей отраслью народного хозяйства, который создает необходимые условия для всестороннего развития экономики нашей страны, основной вид транспорта, на долю которого приходится перевозка до 50% всех народнохозяйственных грузов и до 40% пассажиров.

Учитывая объем и широкую номенклатуру перевозимых железнодорожным транспортом грузов, аварии на железной дороге могут привести к большому материальному ущербу, экологическому бедствию и главное – человеческим жертвам, поэтому основными требованиями, предъявляемыми к подвижному составу железнодорожного транспорта, являются высокая надежность и долговечность