

ОЧЕРЕТЯНЫЙ Владимир Анатольевич

**Разработка грузонесущего кабеля с
волоконно-оптическим каналом связи
для спуско-подъемных работ**

Специальность 05.05.05 — подъемно-транспортные машины

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00816488 (Z)

Сдано в набір 27.09.92. Подписано в печать 4.10.92.
Формат бумаги 60×84¹/₁₆. Объем 1 п. л. Зак. 1172. Изд. № 85.

Типографія ЧВВМУ ім. П. С. Нахімова,

На правах рукописи

ОЧЕРЕТЯНЫЙ Владимир Анатольевич

**Разработка грузонесущего кабеля с
волоконно-оптическим каналом связи
для спуско-подъемных работ**

Специальность 05.05.05 — подъемно-транспортные машины

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Харьков — 1992

ЖВ 25.921

Работа выполнена на кафедре «Машиноведение и прикладная механика» Севастопольского приборостроительного института.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор Гончаренко Неонила Константиновна

Официальные оппоненты: доктор технических наук Дворников Владимир Иванович, кандидат технических наук Смоляков Сергей Леонидович

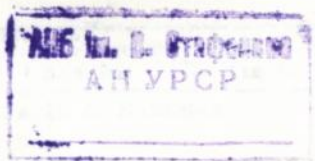
Ведущее предприятие: НПО «Югрыбтехцентр», г. Севастополь

Защита диссертации состоится «12» 11 1992 г. в 11.00 часов на заседании специализированного совета К 068.22.01 Харьковского инженерно-педагогического института им. И. З. Соколова по адресу: 310003, г. Харьков, ул. Университетская, дом 16.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Харьковского инженерно-педагогического института им. И. З. Соколова.

Автореферат разослан: «9» 10 1992 г.

Ученый секретарь специализированного совета
Хонин Юрий Александрович



13-25, 317

Общая характеристика работы

Актуальность темы. В последние годы во всем мире отмечается рост интереса к разработке новых конструкций гибких грузонесущих органов (ГГО) — грузонесущих кабелей (ГК), кабель-трос-шлангов и др., использующихся в подъемно-транспортных машинах при глубоководном океаническом рыболовстве, проведении геофизических и геохимических исследований, при поиске и разработке новых месторождений полезных ископаемых и других работах.

Опыт эксплуатации подъемно-транспортных машин, в которых определяющими параметрами являются точность позиционирования и стабильность характеристик движения перемещаемого объекта, показывает, что отсутствие или малая величина кручения ГГО во многом определяет работоспособность машины в целом. В этих случаях при малом числе циклов работы ГГО возможно применение в качестве грузонесущего элемента (ГЭ) грузонесущей оплетки (ГО) вместо обычной брони. Если же сердечник ГГО содержит волоконно-оптические элементы, то применение грузонесущей оплетки в ряде задач наиболее целесообразно. Но при этом, как правило, увеличивается удлинение кабеля под нагрузкой. Таким образом, при проектировании конструкции и технологии изготовления ГК с волоконно-оптическим каналом связи и с ГЭ, выполненным в виде ГО, необходимо обеспечить его минимальное относительное удлинение, так как при этом повышается надежность работы кабеля в целом.

Известно, что наибольшее влияние на удлинение ГК с ГО оказывают конструктивные особенности оплетки, в частности, количество проволок в пряди и их диаметр, угол оплетки, жесткость сердечника и пр., но до настоящего времени отсутствуют рекомендации по выбору этих параметров для ГК.

В связи с тем, что территория Украины и стран Содружества, включая их морской шельф, исследованы в геофизическом отно-

шении недостаточно, исследования по определению влияния параметров оплетки на удлинение ГК и разработка на их основе эффективной конструкции с целью повышения работоспособности подъемно-транспортной машины в целом является важной и актуальной задачей.

Цель работы. 1. Исследование влияния конструктивных параметров грузонесущей оплетки на механические характеристики ГК и разработка теоретических основ их расчета и выбора в целях обеспечения минимального относительного удлинения кабеля под нагрузкой.

2. Создание новой конструкции и технологии изготовления ГК, содержащего волоконно-оптический канал связи для повышения надежности подъемно-транспортной машины.

Научная новизна работы заключается в создании научно обоснованной методики выбора параметров ГК. Это достигнуто путем:

- разработки математической модели ГК, позволяющей исследовать различные конструкции ГО;
- разработки алгоритма и программы расчета удлинения ГК при статическом продольном нагружении;
- разработки и изготовления механизма предварительной силовой обработки проволок оплетки.

Практическая ценность работы:

- разработанная по методике автора конструкция ГК с ГО принята к внедрению Институтом ядерных исследований АН России для выполнения научных работ на оз. Байкал;
- метод расчета параметров ГК с ГО передан НПО «Электросигнал» (г. Ташкент) для использования при изготовлении ГК подобных конструкций.

Реализация результатов работы. Работа выполнялась в рамках государственной научно-технической программы «Физика высоких энергий» (Постановление СМ СССР от 16.06.87). Результатом работы являются рекомендации, в соответствии с которыми на НПО «Электросигнал» изготовлен грузонесущий кабель с двухслойной грузонесущей оплеткой, строительной длиной 1300 м, и который будет использован в зимнюю экспедицию 1992—1993 гг. при выполнении комплекса научно-исследовательских работ, производимых Институтом ядерных исследований АН России на оз. Байкал.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены на Всесоюзной технической школе «Технические средства и методы исследования океана» в 1989 г. в г. Геленджике, на республиканской научно-технической конференции «Технология и оборудование для производства многопроволочных витых из-

делий» в 1989 г. в г. Севастополе, на конференции профессорско-преподавательского состава Севастопольского приборостроительного института в 1990 г., на республиканской научно-технической конференции «Проблемы повышения надежности стальных канатов» в г. Одессе в 1991 г., на республиканской научно-технической конференции «Технические средства океанического промышленного рыболовства» в 1991 г. в г. Керчи.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 11 научных работ, в т. ч. 3 рукописи депонированы в УКРНИИИТИ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных отечественных и зарубежных источников из 114 наименований и приложений. Текст изложен на 152 страницах машинописного текста, включающего 1 таблицу и 38 рисунков.

Краткое содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы исследований, определен круг вопросов, решаемых в работе, дана ее общая характеристика.

В первой главе анализируется состояние вопроса в области исследования, изготовления и использования ГК, ставятся задачи исследования.

Если гибкие длинномерные изделия, покрытые оплеткой, применяются в народном хозяйстве довольно давно (в текстильной промышленности; в кабельной, в качестве защиты от электромагнитных помех), то в качестве грузонесущего элемента, покрывающего кабель, оплетки стали использоваться лишь с середины 70-х годов. Один из первых образцов ГК с ГО изготовлен фирмой IOS (США), с помощью которого в 1978 году был проведен комплекс геофизических исследований.

При моделировании ГК с ГО может быть проведена аналогия со спиральными канатами и ГК со спиральной броней, с учетом особенностей конструкции. В связи с этим автором проведен анализ существующих работ, посвященных стальным канатам и ГК со спиральной броней.

Общие вопросы теории расчета и механики стальных канатов наиболее полно разработаны в трудах М. Ф. Глушко, идеи которого в приложении к ГК были развиты Э. А. Шахназаряном, Л. Н. Мамаевым и др. Среди работ, посвященных сопротивляемости сердечника поперечному сжатию можно отметить работы А. Ф. Самарского и В. А. Тараканова, а в области исследований

влияния технологических напряжений в проволоках на долговечность стальных канатов работы А. П. Ветрова, В. Д. Высочина, Н. К. Гончаренко, В. Т. Қозлова, Б. Д. Тиховидова. Повышением стойкости проволочных оплеток к перегибам занимался Б. Н. Голуб. Однако рассматривались только экранирующие защитные оплетки кабелей. Эти исследования были положены А. П. Ветровым и М. И. Калининым в обоснование теоретических основ расчета ГО, на базе которых был изготовлен один из первых опытных образцов кабель-трос-шланга с ГО. Однако ими исследовались в основном вопросы повышения долговечности ГК при работе на блоке, а в крайне небольшом числе работ других авторов, посвященных теории и расчетам ГО, описывается лишь выбор конструкции, удовлетворяющей условиям прочности на разрыв. Таким образом, анализ показал, что задача по определению рациональных конструктивных параметров ГО с учетом влияния этих параметров на удлинение ГК ставится впервые.

В работе описаны существующие конструкции ГК с ГО, используемые в нашей стране и за рубежом, спуско-подъемные устройства, в которых они используются.

Отмечается, что оборудование, на которых производится оплетка кабелей, предназначено для нанесения экранирующих оплеток и стальных оплеток малого диаметра для шланговых изделий, и поэтому не оснащено приспособлениями для снижения технологических напряжений.

Учитывая, что в связи с ограничениями по габаритам количество оплеток может быть больше одной, поэтому ставится задача об определении удлинения ГК с многослойной оплеткой.

В связи с этим сделан вывод о необходимости развития теоретических основ расчета и исследований поведения кабеля с грузонесущей многослойной оплеткой при растяжении. На основании изложенного сформулированы задачи исследований.

Во второй главе описывается построение математической модели кабеля с многослойной ГО, нагруженного статическим растягивающим усилием. Исследуется прямой участок кабеля. В работе приняты следующие допущения: 1 — объект исследований представлен в виде системы пространственных криволинейных упругих стержней; 2 — силы трения, возникающие между проволоками, не учитывались; 3 — структура оплетки постоянна в пределах шага по длине кабеля; 4 — перемещения и деформации элементов кабеля при приложении растягивающего усилия считались малыми; 5 — поперечная нагрузка сердечником воспринимается равномерно по всей площади; 6 — принята гипотеза о совместности деформации проволок и сердечника; 7 — технологические напряжения в проволоках не учитывались.

Введем две системы координат. Осовая линия проволоки описывается при помощи двух систем координат: неподвижной с базисом $\{x_i\}$ и подвижная с базисом $\{e_i\}$ (рис. 1,а).

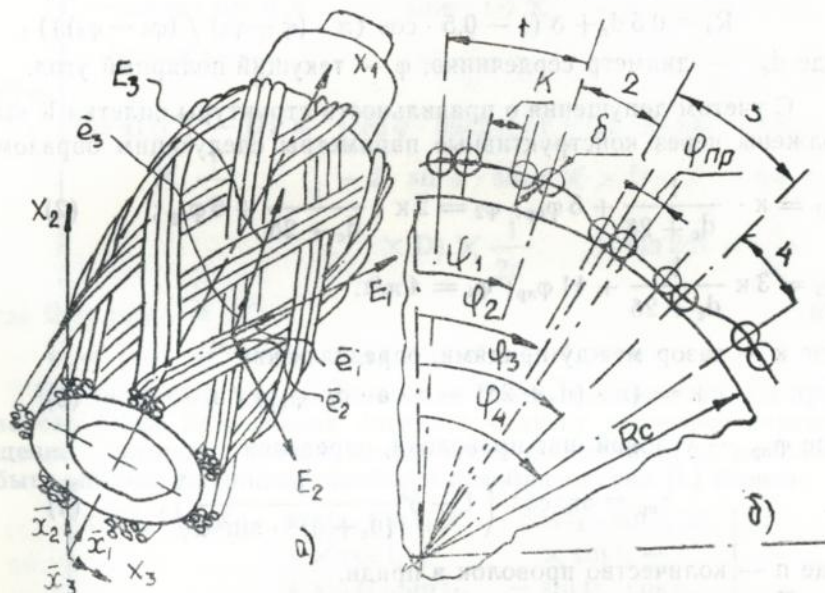


Рис. 1. Расчетная схема:

а — расчетная схема ГК; б — расчетная схема геометрии осевой линии проволоки

Известно, что форма ее в оплетке отличается от винтовой линии, поэтому рассмотрим характер изменения радиуса осевой линии проволоки в оплетке в зависимости от угла поворота плоскости осевого сечения кабеля (рис. 1,б). Выявлено, что параметр R имеет период $4\pi/a$, где a — количество прядей в одном направлении. Рассмотрен один такой период. Для описания оси проволоки выделено четыре характерных участка, имеющих постоянный или переменный радиус. На участках 2 и 4 радиус аппроксимирован косинусоидами с аргументами соответственно $2(\varphi_2 - \varphi_1) - 2(\varphi_4 - \varphi_3)$ и амплитудой $0,5\delta$, где φ_i ($i = 1, 2, 3, 4$) — значения полярных углов в характерных точках кривой, δ — диаметр проволоки. В результате получены значения R_i для всех участков:

$$R_1 = 0,5 d_c + 1,5\delta = 0,5 (d_c + 3\delta);$$

$$R_2 = 0,5 d_c + \delta (1 - 0,5 \cdot \cos (\pi \cdot (\varphi - \varphi_1) / (\varphi_2 - \varphi_1)));$$

$$R_3 = 0,5 (d_c + \delta); \quad (1)$$

$$R_4 = 0,5 d_c + \delta (1 - 0,5 \cdot \cos (\pi \cdot (\varphi - \varphi_3) / (\varphi_4 - \varphi_3)));$$

где d_c — диаметр сердечника, φ — текущий полярный угол.

С учетом допущения о правильности структуры оплетки R выражены через конструктивные параметры следующим образом:

$$\varphi_1 = k \cdot \frac{1}{d_c + 2\delta} + 5 \varphi_{пр}; \quad \varphi_2 = 2k \cdot \frac{1}{d_c + 2\delta} + 6 \varphi_{пр}; \quad (2)$$

$$\varphi_3 = 3k \cdot \frac{1}{d_c + 2\delta} + 11 \varphi_{пр}; \quad \varphi_4 = 4 \pi / a,$$

где k — зазор между прядями, определен как

$$k = (\pi \cdot (d_c + 2\delta) - n \cdot a \cdot d_c \cdot \varphi_{пр}) / a, \quad (3)$$

где $\varphi_{пр}$ — угловой шаг проволоки, определен:

$$\varphi_{пр} = \arccos \left(1 - \delta^2 \frac{1}{(d_c + \delta)^2 \cdot \sin^2 \alpha} \right), \quad (4)$$

где n — количество проволок в пряди.

Пряди в поперечном сечении кабеля расположены симметрично друг относительно друга, поэтому может быть определено положение каждой проволоки методом преобразования координат. Определенный таким образом радиус осевой линии проволоки был использован для нахождения составляющих вектора кривизны $\bar{\chi}_1^0$ ее оси в недеформированном состоянии. Компоненты этого вектора имеют вид:

$$\chi_1^0 = \frac{\sin 2\alpha ((\sin^2 \alpha + r \cdot r'') (2 \cdot r \cdot r'' + \sin^2 \alpha - (r')^2) + r \cdot r' \cdot r'')}{(\sin^2 \alpha + r'' \cdot r) ((r')^2 + \sin^2 \alpha + r \cdot r'') + r' \cdot r \cdot r''}; \quad (5)$$

$$\chi_2^0 = 0;$$

$$\chi_3^0 = \frac{r (r')^2 \cdot r'' - (\sin^2 \alpha + r'') ((r')^2 + \sin^2 \alpha + r'' \cdot r)}{r},$$

где $r' = \frac{dr}{ds}$; $r'' = \frac{d^2 r}{ds^2}$, которые позволяют получить матрицу

направляющих косинусов $\{e^x\}$:

$$\{e^x\} = \left\{ \begin{array}{lll} \sin \alpha & -\cos \alpha \cdot \sin \varphi - & r' \cdot \sin \varphi + \\ & -r' \cdot \cos \varphi & + \cos \alpha \cdot \cos \varphi \\ (\cos \alpha \cdot \sin \varphi \cdot r' - & (\cos \alpha \cdot \sin \varphi \cdot r' - & (\cos \alpha \cdot \cos \varphi \times \\ -\cos \varphi \cdot \sin^2 \alpha \times & -\sin \varphi \cdot D) \times & \times r' + \sin \varphi D) \times \\ \times r \cdot r') \cdot \frac{1}{c} & \times \frac{1}{c} & \times \frac{1}{c} \\ \cos \alpha ((r'')^2 - D) \times & (\cos \varphi \cdot \sin 2\alpha \cdot r - & (2 \cdot \cos \varphi \cdot \sin \alpha \times \\ \times \frac{1}{c} & - 2 \cdot \sin \alpha \cdot \sin \varphi \times & \times D - r' \cdot \sin \varphi \times \\ & \times D) \times \frac{1}{2c} & \times \sin 2d) \times \frac{1}{2c} \end{array} \right\},$$

где $D = \sin \alpha + r \cdot r''$; (6)

$$c^2 = (r')^2 \cdot (r'' \cdot r + \cos^2 \alpha) \cdot (\sin^2 \alpha + r'' \cdot r)^2,$$

Предположим, что произвольная точка, лежащая на оси проволоки после приложения нагрузки получит некоторое перемещение, которое с учетом малых углов поворота t_1, t_2, t_3 может быть описано матрицей линейного преобразования $\{L\}$ базиса:

$$\{L\} = \left\{ \begin{array}{lll} \cos t_2 \cdot \cos t_3, & \cos t_3 \cdot \sin t_3 \times & \cos t_2 \cdot \sin t_3 \times \\ & \times \cos t_1 + & \times \sin t_1 - \\ & + \sin t_2 \cdot \sin t_1, & - \sin t_2 \cdot \cos t_1, \\ - \sin t_3, & \cos t_1 \cdot \cos t_3, & \cos t_3 \cdot \sin t_1, \\ \sin t_2 \times & \sin t_2 \cdot \sin t_3 \times & - \sin t_2 \cdot \sin t_3 \times \\ \times \cos t_3 & \times \cos t_1 - & \times \sin t_1 + \\ & - \cos t_2 \cdot \sin t_1 & + \cos t_2 \cdot \cos t_1 \end{array} \right\} \quad (7)$$

необходимая для определения вектора кривизны оси проволоки в деформированном состоянии. Этот вектор имеет вид:

$$\{\chi\} = \{L_1\} \cdot \{t\}^1 + \{L\} \cdot \chi_i^0 \cdot \bar{e}_i,$$

$$\{L_1\} = \left\{ \begin{array}{lll} \cos t_2 \cdot t_3 & 0 & -\sin t_2 \\ -\sin t_3 & 1 & 0 \\ \sin t_2 \cdot \cos t_3 & 0 & \cos t_2 \end{array} \right\}; \{t\}^1 = \frac{d\{t\}}{ds} = \left\{ \begin{array}{l} t'_1 \\ t'_2 \\ t'_3 \end{array} \right\}. \quad (8)$$

Таким образом, имея χ_i^0 и χ_i , легко получить значения приращений составляющих вектора кривизны после деформации проволоки:

$$\Delta \chi_1 = (t_1 \cdot t_3 - t_2) \cdot c \cdot \frac{1}{r} + t'_1 - t'_3 \cdot t_2;$$

$$\Delta\chi_2 = -0,5 \left((r'' \cdot D \cdot r - 2c^3 \cdot t_1) + t'_1 \cdot c \cdot r \cdot t_3 - \right. \\ \left. - 2t'_2 \cdot c^2 \cdot r - 2c^3 \cdot t_1 \right) \cdot \frac{1}{c \cdot r}; \quad (9)$$

$$\Delta\chi_3 = 0,5 (r'' \cdot D \cdot r + c) \cdot \sin 2\alpha \cdot \frac{1}{r \cdot c} \cdot t_2 + \\ + t'_3 + t'_1 \cdot t_2 + c \cdot \frac{1}{r} \cdot t_1 \cdot t_2,$$

где $t'_i = \frac{dt_i}{ds}$.

При помощи известных соотношений Клебша в работе получена система, связывающая перемещения с углом поворота подвижного базиса:

$$t_1 = -\frac{1}{e_1^0} (t_2 \cdot e_2^0 - t_3 e_3^0); \\ t_3 = -u'_2 + \chi_3^0 \cdot u_1 - \chi_1^0 u_3; \quad (10) \\ t_2 = -u'_3 - \chi_1^0 \cdot u_2;$$

$$u'_i = \chi_3^0 \cdot u_2 + \varepsilon; \quad u'_i = \frac{du_i}{ds}, \quad (i = 1, 2, 3),$$

С учетом матрицы (6) получены соотношения, определяющие составляющие вектора кривизны оси проволоки в деформированном состоянии в неподвижной системе координат $\{x_i\}$, которые позволяют записать выражение для потенциальной энергии кабеля, подверженного осевому растягивающему усилию:

$$\Pi = 0,5 \sum_i \int (\Delta\chi_1^2 H_1 + \Delta\chi_2^2 H_2 + \Delta\chi_3^2 H_3 + \varepsilon^2 H_0) dx + \\ + 0,5 \sum_i \int (\Delta\chi_1^2 H_1 + \Delta\chi_2^2 H_2 + \Delta\chi_3^2 H_3 + \varepsilon^2 H_0) dx + \\ + 0,5 \sum_i \int (\Delta\chi_1^2 H_1 + \Delta\chi_2^2 H_2 + \Delta\chi_3^2 H_3 + \varepsilon^2 H_0) dx + \quad (11) \\ + 0,5 \sum_i \int (\Delta\chi_1^2 H_1 + \Delta\chi_2^2 H_2 + \Delta\chi_3^2 H_3 + \varepsilon^2 H_0) dx + \\ + \int \gamma u_1 dx + 0,5 \int \int (k u_2^2 + \varepsilon_c^2 \cdot H_{oc}) dx d\varphi,$$

где H_1, H_2, H_3, H_0 — соответственно изгибные, крутильная, продольная жесткость проволоки; k — радиальная жесткость сердечника (установлена экспериментально); H_{oc} — приведенная продольная жесткость сердечника; γ — линейная масса кабеля. Знак Σ

поставлен с учетом общего количества проволок в оплетке, их направления свивки и угловой координаты в сечении кабеля.

Выражение (11) является функционалом вида:

$$F(y) = \int_L f(x, y_1(x), \dots, y_n(x), y_1'(x), \dots, y_n'(x), \dots, y_1^{(n)}(x), \dots, y_n^{(n)}(x)), \quad (12)$$

для получения экстремального значения которого функция должна удовлетворять системе уравнений Эйлера — Пуассона:

$$\frac{df}{dy} - \frac{d}{dx} \left(\frac{df}{dy'} \right) + \frac{d^2}{dx^2} \left(\frac{df}{dy''} \right) = 0; \quad (13)$$

Все вышеизложенные соотношения получены в системе аналитических вычислений Редьюс 3.2 на IBM PC/XT в явном виде и в работе приведены в качестве приложений.

Получены численные решения системы с использованием метода Бубнова-Галеркина, система фундаментальных функций, для реализации которого была выбрана в виде, предложенном Кочановым:

$$u_i = \sum_{j=0}^3 c_{ij} \cdot x^j + \sum_{k=0}^m (a_{ik} \cdot \cos(k \cdot x) + b_{ik} \cdot \sin(kx)), \quad (14)$$

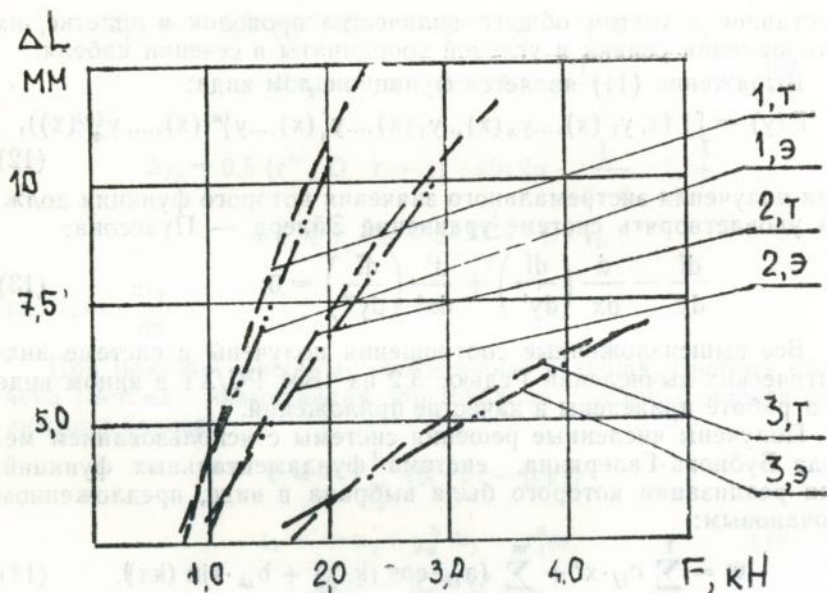
где постоянные коэффициенты c_{ij} определенные с учетом граничных условий; a_{ik} , b_{ik} — искомые постоянные коэффициенты.

Каждое решение получено для различных соотношений диаметра проволоки δ , угла оплетки α , количества прядей в одном направлении a . Для нахождения минимума целевой функции, в качестве которой было выбрано относительное удлинение ГК $\epsilon_k = f(\delta, \alpha, a)$, использовался последовательный симплексный метод, реализованный в 3-факторном пространстве δ, α, a . Результаты расчета представлены на рис. 2.

В качестве выводов по первой главе можно отметить:

- расчеты производились для двухслойной ГО;
- с изменением величин значений конструктивных параметров оплетки удлинение ГК под нагрузкой возрастает различно;
- определена область допустимых значений параметров оплетки, удовлетворяющих условиям задачи, причем выбор считался правильным, если относительное удлинение ГК при конечной нагрузке в 3000 Н не превышало 1,5%.

В третьей главе излагается методика расчета устройства для силовой обработки проволоки, позволяющего снижать технологические напряжения в оплетке и получать правильную форму последней при свивке, путем предварительного закручивания проволок. В устройстве реализован принцип двойного кручения



1. $\alpha = 54^\circ$, $\delta = 0.45$ мм, $d_c = 7.5$ мм, $a = 12$ т. — теория
 2. $\alpha = 58^\circ$, $\delta = 0.45$ мм, $d_c = 7.5$ мм, $a = 12$ э. — эксперимент
 3. $\alpha = 64^\circ$, $\delta = 0.45$ мм, $d_c = 7.5$ мм, $a = 12$ L = 500 мм

Рис. 2. Зависимость удлинения грузонесущего кабеля от нагружения

(рис. 3). В существующих оплеточных машинах не предусмотрено открутка проволок, что приводит к закручиванию каждой проволоки на шаге оплетки на величину $\gamma_{ост} = 2\pi \cdot \sin\alpha$, где α — угол оплетки, определяемый как $\alpha = \pi/2 - \beta$, где β — канатный угол свивки. После предварительного закручивания остаточное кручение снизится до величины:

$$\gamma_{ост} = 2\pi \left(\sin\alpha - \frac{1}{2} \frac{\omega_1}{\omega_2} \cdot \frac{v_2}{v_1} \right), \quad (15)$$

где ω_1 и ω_2 соответственно угловые скорости вращения закручивающей рамки (поз. 1) и ротора оплеточной машины, v_1 и v_2 соответственно скорости вытяжки устройства двойного кручения и оплеточной машины. При достижении равенства $\frac{0,5\omega_1}{v_1}$ и $\frac{\omega_2}{v_2}$

(15) упрощается до вида $\gamma_{ост} = 2\pi (\sin\alpha - 1)$. Так как $\omega_2/v_2 = \text{const}$, то устранение кручения ($\gamma_{ост} = 0$) можно достиг-

нуть правильным подбором $0,5 \omega_1/v_1$, т. е. когда $\frac{1}{2} \frac{\omega_1}{\omega_2} \cdot \frac{v_2}{v_1} = \sin \alpha$. Это осуществляется в том случае, когда закручивающая рамка делает $0,5 \cdot \sin \alpha$ оборота на шаге оплетки, для чего определен характер кинематической связи между подвижными элементами устройства. В частности, между угловыми скоростями вращения закручивающей рамки и вытяжного шкива (соответственно ω_1 и ω_3) и диаметром вытяжного шкива.

d_3 :

$$d_3 = \frac{\omega_1}{\omega_3} \cdot \frac{2(d_c + 2\delta)}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha} \quad (16)$$

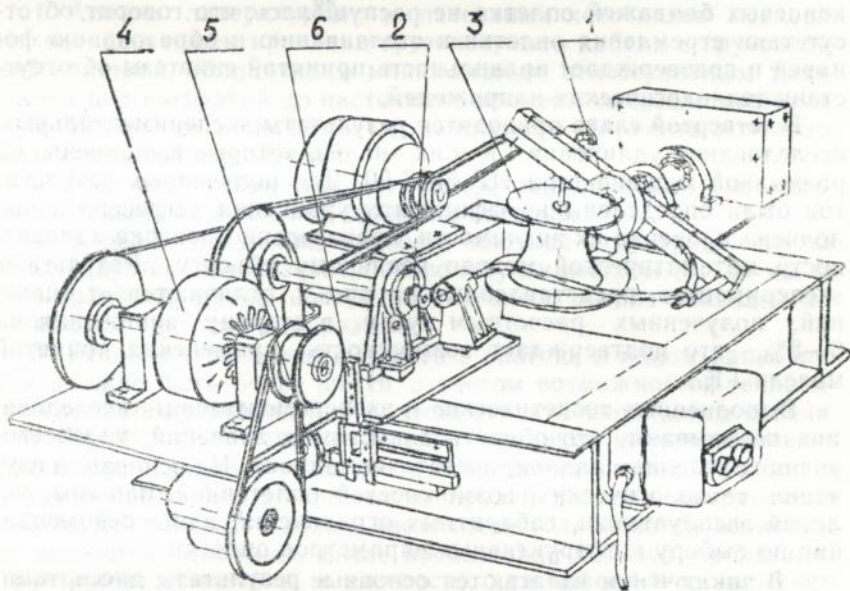


Рис. 3. Устройство для предварительного закручивания проволок

Механизм позволяет закручивать проволоку диаметром 0,1...0,5 мм. Были исследованы возможности устройства при радиальном и осевом сматывании проволоки с отдающей катушки (бухты) — поз. 3. С целью достичь синхронизации работы вытяжного шкива (поз. 2) и приемной катушки опробованы различные типы муфт скольжения и окончательно принята муфта, выполненная в виде обдуваемого регулируемого проволочного тормоза (поз. 4). Для получения плотной укладки проволоки на

приемной катушке изучены различные схемы укладчиков и в результате испытаний принята схема укладчика (поз. 6), управляемого кулачковым механизмом (поз. 5). Проведена оценка величины деформации кручения и изгиба с дальнейшим определением критического шага свивки и диаметра вытяжного шкива, которая показала, что для внешней оплетки закручивание приводит к упругим деформациям, для внутренней к пластическим, для которой превышение допустимых напряжений кручения достигает 7 процентов.

При помощи разработанного и изготовленного устройства впервые была произведена предварительная закрутка проволок, которая, как показали испытания, позволила существенно снизить технологический момент в готовом изделии. После снятия концевых бандажей оплетка не распушалась, что говорит об отсутствии стремления оплетки к отслаиванию и образованию фанарей и подтверждает правильность принятой гипотезы об отсутствии технологических напряжений.

В четвертой главе приводятся результаты экспериментальных исследований удлинения ГК и их анализ, которые выполнены на разрывной машине типа ИР 5057-50. Для полученных результатов были определены коэффициенты уравнения регрессии и выполнена проверка их значимости, произведена проверка адекватности математической модели реальному объекту. Результаты экспериментов, представленные на рис. 2, отличаются от значений, полученных расчетным путем в сторону занижения на 6—8%, что подтверждает возможность применения принятой модели ГК.

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования показывают, что область допустимых значений, удовлетворяющих условиям задачи, достаточно широка. На основании изучения технологических возможностей оплеточной машины, условий эксплуатации, габаритных ограничений даны рекомендации по выбору конструктивных параметров оплетки.

В заключении излагаются основные результаты диссертационной работы в целом и сформулированы основные выводы. В приложении приведены программы, использованные в системе аналитических вычислений Редьюс 3.2 при построении математической модели кабеля, подверженного осевому растягивающему усилию.

Основные результаты работы

1. Получены зависимости, описывающие осевую линию проволоки для различных конструкций оплеток ГК.
2. Разработана и исследована математическая модель ГК с двухслойной ГО.

3. Разработаны рекомендации по проектированию ГК с ГО, обладающих минимальным относительным удлинением под нагрузкой.

4. Разработано и использовано в технологическом процессе изготовления ГК устройство для предварительной силовой обработки, позволившей свести к минимуму остаточные напряжения в оплетке.

5. Изготовлен на Ташкентском НПО «Электросигнал» и принят к эксплуатации образец ГК с двухслойной ГО строительной длиной 1300 метров.

Основные выводы и рекомендации

1. Анализ литературных и патентных источников показал, что задача о проектировании грузонесущего кабеля с грузонесущей оплеткой, обладающим минимальным относительным удлинением под нагрузкой до настоящего времени не имела решения.

2. Возможно в качестве грузонесущего элемента использовать многослойные оплетки.

3. При построении математической модели может быть проведена аналогия с теорией стальных канатов.

4. В целях получения наиболее плотной структуры оплетки рекомендуется использовать проволоку диаметром до 0,5 мм с суммарной площадью поперечного сечения, обеспечивающей необходимую прочность на разрыв.

5. Рекомендуемое число прядей в оплетке в одном направлении должно быть более шести, с учетом возможностей технологического оборудования и требуемой строительной длины кабеля.

6. Установлено, что наибольшее влияние на относительное удлинение оказывают жесткость сердечника и угол оплетки, а диаметр проволоки и количество прядей в одном направлении в меньшей степени. Однако, увеличение угла оплетки возможно до некоторой величины, после превышения которой происходят структурные изменения, в частности, для кабеля с сердечником диаметром 7,5 мм он не должен превышать 75 градусов.

7. Углы проволок во внешней и внутренней оплетках должны отличаться друг от друга на величину, обеспечивающую совместность перемещений после приложения нагрузки.

8. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований, для изготовления грузонесущего кабеля с волоконно-оптическим каналом связи, заключенным во фторопластовую оболочку, обеспечивающего разрывное усилие не менее 20 кН были приняты следующие параметры: число прядей в одном направлении — 12; число проволок в пряди — 3; диаметр проволоки — 0,45 мм; материал проволок — 12Х18Н10Т,

$\sigma_s = 1850$ МПа; число грузонесущих оплеток — 2; угол свивки внутренней оплетки — 66° ; угол свивки внешней оплетки — $72,3^\circ$. Результаты испытаний кабеля показали, что его относительное удлинение при рабочей нагрузке 3 кН не превышает полутора процентов.

9. Для получения некрутящихся ГК с двумя и более отдельно расположенными сердечниками рекомендуется использовать витоплетные машины, позволяющие получать структуру оплетки в виде плоского плетеного каната.

10. Дальнейшие исследования могут быть посвящены изучению устойчивости грузонесущих оплеток при изгибе грузонесущего кабеля.

Основное содержание работы опубликовано в следующих работах:

1. Гончаренко Н. К., Очеретяный В. А. Спуско-подъемная система для производства подводных работ // Тез. докл. Всесоюзной школы «Технические средства и методы освоения морей и океанов». — М.: 1989, т. 1. — С. 149.

2. Гончаренко Н. К., Очеретяный В. А., Поляков А. М. Спуско-подъемная система для подводных работ // Тез. докл. Респ. научн.-техн. конф. «Технология и оборудование для производства многопроволочных витых изделий». — Севастополь, 1989. — С. 5.

3. Очеретяный В. А., Поляков А. М. Опыт разработки новой конструкции грузонесущей бронеоплетки для подводных работ // Тез. докл. Респ. научн.-техн. конф. «Проблемы повышения качества и надежности стальных канатов (г. Одесса, 14—16 мая 1991 г.)». Днепропетровск, 1991. — С. 3.

4. Калинин М. И., Очеретяный В. А. Расчет грузонесущих буксируемых кабель-тросов для подъемно-транспортных и специальных операций на шельфе. — Деп. в УКРНИИТИ, № 1270—Ук91 от 12.09.91. — 11с.

5. Калинин М. И., Очеретяный В. А. Применение обтекаемых грузонесущих кабель-тросов для подъемно-транспортных и исследований работ на шельфе. — Деп. в УКРНИИТИ, № 1272—Ук91 от 12.09.91. — 11с.

6. Калинин М. И., Очеретяный В. А. Основы расчета напряженно деформированного состояния грузонесущих бронеоплеток кабель-тросов для подъемно-транспортных систем. — Деп. в УКРНИИТИ, № 1271—Ук91 от 12.09.91. — 12с.

7. Калинин М. И., Очеретяный В. А., Розанов М. И. Расчет несущих элементов кабель-тросов для длительной эксплуатации под водой. — В брошюре «Научные достижения и опыт отраслей машиностроения — народному хозяйству». — Севастополь, 1992. — С. 40—41.

МИБ № 0. Выдана
АН УРСР

468431

AB 25.921