

УДК 621.873:006.354

**МОДУЛЬ УПРУГОСТИ СТАЛЬНИХ КАНАТОВ, ОТРАБОТАВШИХ  
НОРМАТИВНЫЙ СРОК СЛУЖБЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ (КАНАТОВ)  
ДАЛЬНЕЙШЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

©Слободяник В. А.

ТОВ «ДВЦ «МОСТОКРАН»

**Інформація про автора:**

**Слободяник Віктор Олександрович:** ORCID: 0000-0003-2908-436X; viktor.slobodyanik1951@gmail.com; кандидат технічних наук; директор; ТОВ «ДВЦ «МОСТОКРАН»; пр. Московський, 251, м. Харків, 61044, Україна.

В статье приводятся результаты многолетнего внедрения на ряде кранов мостового типа стального каната, использующегося в качестве натяжного элемента в устройствах, создающих предварительное напряжение в металлоконструкциях пролётных балок. Предложено на основании статистических данных определение значения модуля упругости каната, в т.ч. отработавшего свой нормативный срок, но продолжающегося эксплуатироваться при малых напряжениях.

Делается вывод о надёжности и экономичности применения вышеуказанных стальных канатов, обтянутых в процессе предыдущей эксплуатации, в качестве затяжек в связи со стабилизацией их модуля упругости.

**Ключевые слова:** канат; кран мостового типа; предварительное напряжение; модуль упругости каната; нормативный срок.

**Слободяник В. О.** «Модуль пружності сталевих канатів, що відпрацювали нормативний термін служби та можливості їх (канатів) подальшої експлуатації».

В статті наводяться результати багаторічного впровадження на ряді кранів мостового типу сталевих канатів, що використовуються в якості натяжного елемента в пристроях, які створюють попереднє напруження в металоконструкціях прогінних балок. Запропоноване на основі статистичних даних визначення значення модуля пружності каната, в тому числі такого, що відпрацював свій нормативний термін, але продовжує експлуатуватись при малих напруженнях.

Робиться висновок про надійність і економічність застосування вказаних вище сталевих канатів, обтягнутих в процесі попередньої експлуатації, в якості затяжок у зв'язку зі стабілізацією їх модуля пружності.

**Ключові слова:** канат; кран мостового типу; попереднє напруження; модуль пружності каната; нормативний термін.

**Slobodianyuk V.** “Coefficient of elasticity of worked-out steel ropes and possibilities of their (ropes) further exploitation”.

In the article the results of long standing application a steel rope on the row of overhead type cranes are given. Steel rope such as tie in the devices which are make prestressing in metalwares of span beams is used. Estimation of the value of coefficient of elasticity of rope including worked-out and proceeding to be exploiting with small tensions rope is suggested.

Conclusion about reliability and economy of applying foregoing steel ropes jacketed during their prior exploitation as straining with stabilization of their coefficient of elasticity is done.

**Key words:** rope; overhead type crane; prestressing; coefficient of elasticity of rope; rated resource.

## **Піднімально-транспортні машини**

---

### **1. Постановка проблемы**

Как известно, при выборе типоразмера стальных канатов в качестве исходных данных необходимо определить: как требуемые запас прочности, так и условия их (канатов) эксплуатации [1]. Известно также, что ожидаемые сроки службы канатов до их списания различаются в зависимости от того в каком механизме или устройстве применяется канат. Так, для канатов механизмов подъёма, в соответствии с вышеуказанной таблицей, определяющим критерием является износ проволок и/или число их обрывов значения числа обрывов приводится в [1]. При применении же канатов в канатных дорогах – критерием отбраковки является календарный срок работы канатов [2].

Известно также, что канаты эксплуатируются при различных запасах прочности в зависимости от режима работы механизма тем самым учитывается неопределённость в перераспределении усилий в проволоках каната при работе на блоках и барабанах). Нас же интересует в данной работе использование каната в качестве затяжек, т.е. как прямолинейно натянутой струны, работающей в условиях чистого растяжения. Рассмотрим указанные запасы прочности.

Тяговые канаты (к ним относятся и затяжки) по действующим «Правилам устройства и безопасной эксплуатации грузоподъёмных кранов» имеют минимальный коэффициент запаса прочности в пределах 3,0-4,0. В тоже время, в ранее действующих Правилах по кранам [3] в механизмах режимной группы 2М и 3М канаты работают с запасом 5,0; группы 4М – 5,5; групп 5М и 6М – 6,0. Таким образом, если требуется применение каната незначительной длины по сравнению с длиной списываемого каната), то имеется возможность выбрать бездефектный участок или участки каната, обладающими запасом прочности затяжки увеличенным в 1,25, 1,375 и 1,5 раза соответственно. Ссылка на ранее действующие «Правила по кранам» уместна, т.к. краны, их барабаны продолжают эксплуатироваться, и канаты меняют по значениям диаметров, указанных в паспортах.

Тяговые канаты и канаты для затяжек соответствуют условиям применения каната в качестве затяжек в устройствах для создания предварительного напряжения, например, в несущих пролетных балках кранов мостового типа, см. рис. 1 и 2 [4, 5].

Более того, к канатам, применяемых при усилении несущей способности кранового моста, для предотвращения такого явления как релаксация напряжения (особенно на начальных этапах эксплуатации предписывается требование устанавливать канат предварительно обтянутым. Но, как и стоимость каната, так и выполнение его обтянутым, особенно когда речь идет о незначительных объёмах до 100-150 м), приводит к тому, что поставка нового обтянутого каната в настоящее время намного удорожает модернизацию в целом.

**2. Целью** настоящей статьи является обоснование возможности применения стальных канатов, отработавших свой срок службы по критерию работы в механизмах, с целью использования в качестве затяжек, а точнее – той части отработавшего каната, которая будет соответствовать требованиям к затяжкам: расчетным – в части соответствия состоянию обтянутого каната, т.е. максимальному значению модуля упругости; нормативным - в части отсутствия оборванных проволок; безопасности – в части соответствия расчётному коэффициенту запаса прочности.



**Рис. 1** – Создание предварительного напряжения в пролётной балке мостового крана грузоподъёмностью 10 т, пролётом 22,5 м



**Рис. 2** – Канатные затяжки при усилении металлоконструкции козлового крана грузоподъёмностью 20/5 т, пролётом 32 м

### 3. Анализ последних исследований и публикаций

Проблема возможности использования канатов, имеющих после длительной эксплуатации максимальное (для данного типоразмера) значение модуля упругости, тем более в области малых напряжений, ранее представляла только познавательный интерес, что выразилось в ряде публикаций [6–8].

Тяжёлое экономическое положение на большинстве предприятий Украины приводит к поиску оптимальных решений проблемы сохранения существующей грузоподъёмной техники. Одним из таких решений является применение метода предварительного напряжения с целью увеличения несущей способности крановых мостов. Создание предварительного напряжения предусматривает применение канатных затяжек с использованием возможностей стальных канатов благодаря тому, что с течением времени их (канатов) эксплуатации одна из технических характеристик – модуль упругости ( $E_{к.о}$ ), не ухудшается, а наоборот – принимает своё максимальное значение. В таблице 1 указаны значения модулей упругости в зависимости от типоразмера канатов и времени их эксплуатации. Полученные значения мы можем сравнить со значениями по формуле для определения  $E_{к.о}$ , приведенной в работе [7] и экспериментальными данными, выполненными автором. Для экспериментов были задействованы стальные канаты ранее работавшие в различных механизмах.

Устройство, создающее предварительное напряжение в металлоконструкции, включало новый, т.е. необтянутый до установки на устройство канат (реконструкция в сентябре 1993 года для увеличения жёсткости мостового магнитно-грейферного крана грузоподъёмностью 5/5 т). Применялся канат типа ЛК–РО, конструкции  $6 \times 36(1+7+7/7+14)+7 \times 7(1+6)$  по ГОСТ 7669-80, изготовленного Орловским сталепрокатным заводом. Для тарировки датчиков, устанавливаемых с целью как определения усилия натяжения, так и для наблюдения за релаксацией указанных усилий в процессе эксплуатации, были проведены испытания образца каната диаметром 30 мм длиной 4,25 м на стандартной установке в заводской испытательной лаборатории. При этом

## **Піднімально-транспортні машини**

---

были получены исходные данные для определения начального модуля упругости, который был равен 4,5 МПа (усилие натяжения составляет – 4 т 10 % от разрывного). Обтяжка каната проводилась на кране в процессе первых месяцев её эксплуатации. Через полгода эксплуатации, когда усилия в канате изменялись в пределах 4,5-5,0 т, т.е. 10-12 % от разрывного усилия или напряжения – от 11000-12000 МПа, модуль упругости имел значение равное 5,5 МПа. Таким образом, увеличение начального модуля упругости до максимального составляет 22 %.

В 1996 году канат типа ЛК-Р двойной свивки, конструкции 6x19 (1+6+6/6)+1 о.с.) по ГОСТ 2688-80 (диаметром 25,5 мм), был списан после эксплуатации в качестве несущего каната на канатной дороге парка им. Горького в г. Харькове и применен в аналогичной конструкции устройства для создания предварительного напряжения. При общей длине каната, равной 200 м, были отобраны два отрезка по 20 м (при этом фактический диаметр каната составил 24,0 мм), которые и были применены при усилении несущей пролетной балки в козловом кране грузоподъемностью 5 т. Модуль упругости (замеры для его определения проводились непосредственно на кране при создании усилия предварительного напряжения) составил 7 МПа. В дальнейшем кран эксплуатируется 17 лет по настоящее время измерения показали незначительное увеличение модуля упругости каната – 7,5 МПа – канат вытянулся за время пятилетней эксплуатации, да и усилия в канатной затяжке составляли 10 % от разрывного усилия.

Далее. После прекращения эксплуатации каната типа ЛК-Р (двойной свивки, конструкции 6x19 1+6+6/6)+1 о.с.) по ГОСТ 2688-80 диаметром 24,0 мм в механизме подъема груза стрелового автокрана отрезки указанного каната были использованы в качестве затяжек в мостовом кране г/п 10 т (Никопольский завод ферросплавов, эксплуатация с 2001 г.) при увеличении его грузоподъемности до 16 т. В течение 12 лет успешной эксплуатации не возникало проблем с релаксацией напряжений в канатах, т.к. до применения в качестве затяжки указанный канат был максимально обтянут в процессе эксплуатации. Модуль упругости, определенный после установки в устройстве усиления в качестве затяжки на мостовом кране, составил 8 МПа, в дальнейшем – изменений не наблюдалось.

Очередное применение стальных канатов, не работавших, а использованных после длительного срока (10 лет) хранения на открытом складе, в конструкции узла усиления мостового грейферного крана грузоподъемностью 10 т металлургический комбинат им. Ильича, г. Мариуполь). Тип каната – ЛК-РО (конструкция 6X31(1+6+6/6+12)+1 о.с., ГОСТ 16853-88. Канаты стальные талевые для эксплуатационного и глубокого разведочного бурения, диаметр каната не эксплуатировавшегося диаметр – 32,0 мм).

Мостовой кран успешно эксплуатируется с 2005 г. и по настоящее время.

Идентичный канат, но после снятия с буровой установки по окончании нормативного срока эксплуатации, был установлен на козловом кране как в качестве затяжки, создающей предварительное напряжение в несущей конструкции между опорами, так и в качестве вант, установленных для увеличения жесткости консоли крана. Успешная эксплуатация козлового крана грузоподъемностью 20 т, пролет 32 м, вылет консоли 11,2 м, местонахождение – Полтавский ГОК) продолжается с 2010 года и по настоящее время осуществляется благодаря надёжной работы указанных канатов.

В таблице 1 указаны основные технические параметры вышеупомянутых канатов, среди которых следует обратить внимание на запасы прочности канатов, принятых в три и более разы большими чем рекомендуемые расчетными методиками и нормативными документами или - усилия, действующие в канате в 7-15 раз меньше разрывного усилия каната. Такой подход – значительное увеличение запасов прочности, который к тому же совпадает с расчетными предпосылками, касающихся созданию надежной предварительно - напряженной конструкции кранового моста и состояние обтянутого каната (см. рис. 3), даёт надежные основания к применению стальных канатов, отработавших свой нормативный срок.

Перечень применяемых канатов в устройствах для создания предварительного напряжения в крановых металлоконструкциях.



**Рис. 3** – Сечение каната диаметром 32 мм после эксплуатации в течение нормативного срока службы

И ещё раз о надежности работы канатных затяжек – предварительное напряжение создаётся устройством, устанавливаемом у нижнего пояса пролетных балок, в составе которого как минимум две нитки из стальных канатов, причем имеющих самостоятельный механизм создания, а затем и регулирования, усилий в канатах. Такая система в зависимости от степени ответственности конструкции технически поддается автоматическому регулированию требуемого уровня усилия в последних.

Проанализировав результаты определения расчетных значений модулей упругости канатов, применяемых в затяжках и сопоставив их фактические значения с полученными ранее при усилиях в канате, составляющих порядка 80 % от разрывного, можно принять (в первом приближении формулу для их (модулей) расчета с корректирующим коэффициентом, равным  $k_{<10} = 0,55$ . С указанным коэффициентом известная формула А. Л. Флоринского [6] примет следующий вид:

$$E_{k<10} = k_{<10} \cdot 0,74 \cdot 10^6 F/g^4, \quad (1)$$

где коэффициент  $0,74 = (100 \cdot \gamma)^4 \cdot E_{np}$  здесь  $E_{np} = 20$  МПа – модуль упругости проволок каната;  $\gamma = 0,0079$  кг/см<sup>3</sup> – объёмный вес металла;  $F$  – суммарная площадь поперечного сечения всех проволок каната в «см<sup>2</sup>»;  $g$  – вес одного погонного метра каната в «кг».

Аналогичным образом эмпирическая формула по определению модуля упругости [4] примет следующий вид:

$$E_{k<10} = 0,55 \cdot k_c \cdot k_{ce} \cdot k_{kp} \cdot 10^6 \cdot F \cdot \gamma^4 \cdot E_{np}, \quad (2)$$

где  $k_c$  – коэффициент, зависящий от типа сердечника  $k_c = 1,0$  – для органического сердечника;  $k_c = 1,3$  – для металлического сердечника);  $k_{ce}$  – коэффициент, зависящий от направления свивки  $k_{ce} = 0,9$  – для крестовой свивки;  $k_{ce} = 0,95$  – для смешанной свивки;  $k_{ce} = 1,0$  – для односторонней свивки;  $k_{kp}$  – коэффициент, зависящий от кратности свивки  $k_{kp} = 1,0$  – для канатов с кратностью свивки равной 6,5 (нормальная кратность);  $k_{kp} = 1,3$  – для канатов с кратностью прядей до 10, каната – до 8;  $k_{kp} = 1,6$  – для канатов с кратностью прядей до 14-16 и каната – до 10-12) [4].

## Піднімально-транспортні машини

Таблиця 1 – Технические параметры канатов

№ п/п	Тип каната и назначение конструкции	Диаметр каната, $d_b$ , в мм	Место установки каната, отработавшего нормативный срок службы или завод-изготовитель нового каната	Модуль упругости в МПа				Запас прочности
				$E_0$ (начальное значение)	$E_{взм}$ (после нормат. срока экспл.)	$E_{ст}$ (при экспл. в качестве затяжки)	$E_{р}$ расчет по формулам (3) или (4)	
1	ЛК-Р (двойной свивки) 6х19(1+6+6/6)+1 о. с. ГОСТ 2688-80 [увеличение жесткости моста козлового крана]	25,5	Канатная дорога в парке им. Горького (г. Харьков)	-	7	7,5	8,42	10
2	ЛК-Р(двойной свивки) 6х19(1+6+6/6)+1о.с. ГОСТ 2688-80 [создание предварительной деформации в металлоконструкции подкрановых путей]	14,0	Автомобильный кран, механизм подъема стрелы	-	7	7	8,48	12
3	ЛК-Р(двойной свивки) 6х19(1+6+6/6)+1о.с. ГОСТ 2688-80 [усиление несущей способности моста, увеличение грузоподъемности крана с 10 т до 16 т]	24,0	Механизм подъема автомобильного крана г п 25 т	-	8	8	8,45	10
4	ЛК-РО 6х31(1+6+6/6+12)+1о.с. ГОСТ 16853-88 [увеличение жесткости моста грейферного крана]	32,0	ООО «Силтур»	3,7	-	5,8	6,3	15
5	ЛК-РО 6х31(1+6+6/6+12)+1о.с. ГОСТ 16853-88 [увеличение жесткости моста козлового крана]	32,0	Буровая установка предприятия Харьковской обл.	-	6,5	6,8	6,3	15
6	ЛК-РО 6х31(1+6+6/6+12)+1о.с. ГОСТ 7669-80 [увеличение жесткости пролетной балки мостового грейферного крана]	30	Завод-изготовитель – Орловский сталепрокатный (новый канат)	4,5	-	5,5	5,9	10
7	ЛК-РО 6х19 (1+9+9)+7х7(1+6) ГОСТ 3081-80 (увеличение грузоподъемности с 10т до 16т)	31,5	ООО «Силтур» (новый канат)	5,5	-	6,0	6,8	8,15
8	ЛК-РО 6х31(1+6+6/6+12)+1 о.с. ГОСТ 16853-88 (увеличение грузоподъемности с 10 т до 16 т)	32,0	Буровая установка предприятия газодобычи в Харьковской обл.	-	8	8,5	9,5	7,12

## Піднімально-транспортні машини

Формулы Динника и Флоринского, апробированные в практике расчетов канатов, дают превышение значений на 15-20%, поэтому расчет по ниже предлагаемой формуле, несмотря на чрезвычайную ограниченность экспериментальных данных, будет более соответствовать истинному значению модуля упругости каната при создании в нём усилий, составляющих менее 10-15% от разрывного усилия, т.е. усилий, которые создаются в затяжке. При этом, предлагаемый коэффициент учитывает и зависимость модуля упругости от действующих напряжений. Характер указанной зависимости описан в работе Ковальского Б. С. и Жирякова А. И. [7]. Коэффициент  $k_{<10}=0,55$  относится только к канатам не отработавшим свой нормативный срок или новым канатам, устанавливаемым в устройство для создания преднапряжения непосредственно при его(устройстве) монтаже на кране. Это позволит при расчетах и конструировании устройства по созданию предварительного напряжения определять расчётный уровень напряжений в металлоконструкции усиливаемой пролётной балки.

С целью максимального упрощения в расчётах преобразим формулу (2) таким образом, что данные по площадям проволок каната и погонных масс будут вноситься в тех значениях, которые они даются в таблицах ГОСТов на канаты. Формулы для определения модуля упругости канатов будут иметь следующий вид:

- 1) для канатов, отработавших срок службы (стабилизированный модуль):

$$E_k = 0,74 \cdot 10^{11} \cdot k_c \cdot k_{ce} \cdot k_{kp} \cdot F / g^4 \text{ в «МПа»}, \quad (3)$$

где  $F$  – в «мм<sup>2</sup>», а  $g$  – в «кг» за 1000 м каната;

- 2) для новых канатов, обтяжка которых проводится непосредственно на кранах и работающих в дальнейшем при усилиях, составляющих 10-15 и менее процентов от разрывного усилия:

$$E_{<10} = 0,47 \cdot 10^{11} \cdot k_c \cdot k_{ce} \cdot k_{kp} \cdot F / g^4 \text{ в «МПа»}. \quad (4)$$

### Выводы

Вышеприведенные зависимости, основаны на ограниченном числе данных, поэтому требуются дальнейшие исследовательские работы в этом направлении.

### Список использованных источников:

1. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъёмных кранов. – К.: Основа, 2007. – 312 с.
2. Правила устройства и безопасной эксплуатации пассажирских подвесных канатных дорог. – Киев : Сталь, 2014 – 352 с.
3. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъёмных кранов. – М. : Металлургия, 1981. – 168 с.
4. Слободяник В. А. Обоснование рациональных параметров предварительно-напряженных крановых конструкций : дис. ... канд. техн. наук / В. А. Слободяник. – Харьков, 1992.
5. Слободяник В. А. О практике применения предварительного напряжения при восстановлении работоспособности кранов мостового типа / В. А. Слободяник // *Машинобудування : збірник наук. праць / Укр. інж.-пед. акад.* – Харків, 2012. – Вып. 10. – С. 40-48.
6. Флоринский Ф. В. Динамика шахтного подъёмного каната / Ф. В. Флоринский. – М. : Углетехиздат. – 1955. – 240 с.
7. Ковальский Б. С. Модуль упругости каната двойной свивки / Б. С. Ковальский, А. И. Жиряков // *Стальные канаты.* – Киев : Техника, 1970. – Вып. 10. – С. 61-64.
8. Глушко М. Ф. Стальные подъёмные канаты / М. Ф. Глушко. – Киев : Техника, 1966. – 327 с.

### References

1. 2007, *Pravila ustroystva i bezopasnoy ekspluatatsii gruzopodyemnykh kranov*, Osnova, Kiev.
2. 2014, *Pravila ustroystva i bezopasnoy ekspluatatsii passazhirskikh podvesnykh kanatnykh dorog*, Stal, Kiev.
3. 1981, *Pravila ustroystva i bezopasnoy ekspluatatsii gruzopodyemnykh kranov*, Metallurgiya, Moskva.
4. Slobodianyuk, V 1992, 'Obosnovaniye ratsionalnykh parametrov predvaritelno-napryazhennykh kranovykh konstruktsiy', Kand.tekh.n. thesis, Ukrainiy zaochnyy politekhnicheskyy institut, Kharkiv.
5. Slobodianyuk, V 2012 'About practice of application of prestress by reworking the operability of overhead type cranes', *Mashynobuduvannia*, iss 10, pp. 40-48.
6. Florinskiy, F 1955, *Dinamika shakhtnogo podyemnogo kanata*, Ugletekhizdat, Moskva.
7. Kovalskiy, B & Zhiryakov, A 'Modul uprugosti kanata dvoynoy svivki', *Stalnyye kanaty*, iss. 10, pp. 61-64.
8. Glushko, M 1966, *Stalnye podyemnyye kanaty*, Tekhnika, Kiev.

Стаття надійшла до редакції 25 травня 2016 р.