

Проведено розрахунок талевої системи для різних видів оснастки бурової установки. Розглянуто зусилля, що виникають в струнах канату, визначені величини навантажень на перший шків при підйомі для ряду максимальних навантажень на гаку, максимальні напруги в нерухомій струні канату. Розрахована контактна міцність і навантаження на струмок шківів. Побудовано математичну модель шківів і позначені критичні області навантаження

Ключові слова: талева система, оснастка, напруга, струна, ручей, блок, футеровка

Проведен расчет талевой системы для разных видов оснастки буровой установки. Рассмотрены усилия, возникающие в струнах каната, определены величины нагрузок на первый шкив при подъеме для ряда максимальных нагрузок на крюке, максимальные напряжения в неподвижной струне каната. Рассчитана контактная прочность и нагрузки на ручей шкива. Построена математическая модель шкива и обозначены критические области нагрузки

Ключевые слова: талевая система, оснастка, напряжение, струна, ручей, блок, футеровка

УДК 622.276.012.05

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.37403

МЕТОДИКА РАСЧЕТОВ НА ПРОЧНОСТЬ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В КРОНБЛОЧНЫХ ШКИВАХ

К. В. Дихтяренко

Кандидат экономических наук,
председатель совета директоров*

А. И. Пупышев

Ведущий конструктор**

В. П. Червинский

Кандидат технических наук, доцент,
главный конструктор*

Н. В. Товстуха

Ведущий инженер*

ООО «ЗАВОД НГО»*

*Корпорация «Харьковмаш»***

***ул. Лодзинская, 8а, г. Харьков, Украина, 61099

1. Введение

Буровая установка представляет собой целый автономный комплекс оборудования, обеспечивающий сооружение канала (ствола), соединяющего земную поверхность с пластами, содержащими углеводородное сырье.

Талевая система буровых установок является одним из важнейших и ответственных узлов, обеспечивающих надежное опускание и подъем буровых обсадных колон.

Вес этих колон порой достигает 2000–2500 кН [1, 2].

При этом буровой канат, сплетенный из сотен свитых проволок, кроме основных нагрузок от растяжения, подвергается усиленному износу (металл взаимодействует с металлом). Известно, что грузоподъемные механизмы проектируют с коэффициентом запаса прочности равным 3 [3].

В буровых установках шкивы имеют в торце углубление, соответствующее диаметру каната. Этот профиль изнашивается и изменяет свою геометрию и со временем приходится шкивы с износом по вертикали до 6 мм отбраковывать. Замеры износа осуществляются с помощью соответствующих шаблонов. При достижении допустимого износа шкив прекращают эксплуатировать. В дальнейшем производится наплавка беговой дорожки необходимыми электродами.

После ремонта шкив вновь взаимодействует с металлическим канатом до следующей отбраковки.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Оснащение кронблока и талевого блока шкивами называется оснасткой, от кратности оснастки зависит диаметр и длина используемого каната, а также кинематика и нагрузка всей подъемной части бурового комплекса. Оснастка обозначается цифрами: 5х6; 6х7; 7х8 [4]. Для повышения срока службы канатов и шкивов было предложено, как и в горной промышленности, применить футеровку для ремонта шкивов. Для футеровки шкива следует определить все напряжение и усилия, которые возникают в канате и шкиве. Исходя из расчета, при разных нагрузках на крюк, для разной оснастки буровой установки и возникающих усилий, будет выбран один из специальных синтетических материалов, принадлежащий к группе термоустойчивых пластмасс для дальнейшего расчета и построения опытной модели футерованного шкива [5].

В данной статье произведены расчеты усилий в канатах талевых систем. Для талевой системы 7х6 при нагрузке 2000 кН проведены прочностные расчеты шкива ШК 1000-32.

Проблема футеровки различных шкивов до недавнего времени рассматривалась применительно к горной промышленности, а конкретно к большим шкивам горных копров.

Благодаря большому диаметру этих шкивов (2–5 м) футеровку отдельными фрагментами крепили к торцевой поверхности шкива.

Применительно к шкивам буровых установок нами разработана специфичная конструкция самой футеровки и профиля торца шкива [6].

За рубежом футеровкой шкивов занимаются фирмы, производящие передвижные буровые установки и большегрузные подъемные краны. Однако, наибольший диаметр этих шкивов составляет 350–400 мм [7].

В Украине проблемой футеровки буровых шкивов практически никто не занимается. Поэтому решение этой задачи представляется целесообразным.

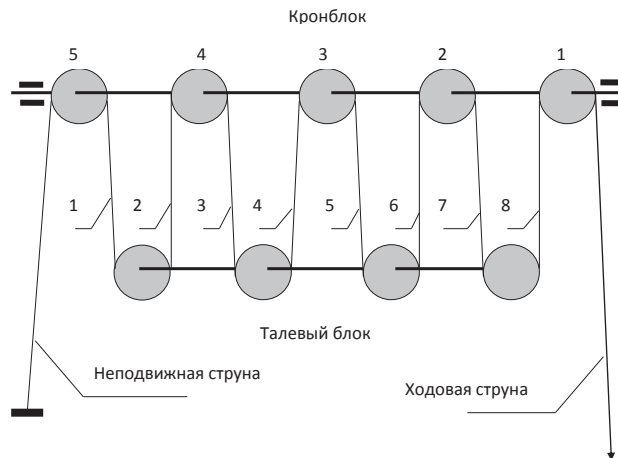


Рис. 1. Талевая система 5x4

3. Цель и задачи исследования

Целью предлагаемой работы является разработка методики расчетов усилий, возникающих в применяемых в талевых системах буровых шкивах.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Для рассмотрения возникающих усилий в ободе шкивов были выбраны наиболее часто применяемые системы оснастки 5x4, 6x5 и 7x6.

2. Расчеты проводились при наиболее часто применяемых нагрузках 1000 кН, 1500 кН, 2000 кН при применении канатов диаметрами 25, 28 и 35 мм.

3. Получение результатов расчетов должно показать, что для уточнения исследуемых значений напряжения в шкивах необходимо разработать методику их испытаний и провести советующие натурные исследования.

4. Расчеты усилий в талевых системах

1. Расчет усилий в талевой системе 5x4

Расчет выполнялся для максимальной нагрузки на крюке 1000 кН, 1500 кН и 2000 кН. Расчеты проводились по программе, написанной в MathCad, что позволило выполнять многовариантные расчеты. [8] Ниже приводится расчет для нагрузки на крюке 1000 кН при следующих данных:

Максимальная рабочая нагрузка на крюке $P_m = 1.0 \cdot 10^6$ Н.

Число шкивов талевой системы $n = 4$.

Кратность талевой системы $i_{TC} = 2 \cdot n$, $i_{TC} = 8$.

Расчетное значение подвижных частей талевых механизмов:

$$G_t = 0.035P_m. \tag{1}$$

Максимальная рабочая нагрузка на кронблок:

$$P_{кб} = P_m + G_t. \tag{2}$$

На рис. 1 приведена развернутая схема талевой системы буровой установки.

При неподвижном талевом блоке струны каната под действием нагрузки на кронблок растягиваются с одинаковым усилием:

$$S = \frac{P_{кб}}{i_{TC}}. \tag{3}$$

Тогда максимальные расчетные нагрузки на шкивы с первого по пятый будут равны:

$$Q = 2 \cdot S. \tag{4}$$

При подъеме и опускании талевых блоков усилия в струнах каната изменяются из-за сопротивлений, учитываемых коэффициентом полезного действия шкива [9]. На КПД шкивов наиболее значительно влияет трение в опорах и между канавкой шкива и канатом. Коэффициент полезного действия шкива равен $\eta = 0.97$. Тогда коэффициент сопротивления шкива будет равен:

$$\beta = \frac{1}{\eta}. \tag{5}$$

Коэффициент полезного действия талевой системы будет равен:

$$\eta_{TC} = \frac{\beta^{2n} - 1}{2 \cdot \beta^{2n} \cdot (\beta - 1) \cdot n}. \tag{6}$$

Максимальное расчетное натяжение ходовой струны при подъеме будет равно:

$$S_x = \frac{P_{кб}}{i_{TC} \cdot \eta_{TC}}. \tag{7}$$

Максимальное расчетное натяжение неподвижной струны при подъеме равно:

$$S_H = P_{кб} \cdot \frac{\beta - 1}{\beta \cdot (\beta^{2n} - 1)}. \tag{8}$$

Расчетное натяжение в каждой струне при подъеме $i=1..8$:

$$S_i := P_{кб} \cdot \beta^{i-1} \cdot \frac{\beta - 1}{\beta^{2n} - 1}. \tag{9}$$

Максимальная расчетная нагрузка на первый шкив при подъеме:

$$Q_{1п} = S_8 + S_x \tag{10}$$

Максимальная расчетная нагрузка на пятый шкив при подъеме равна:

$$Q_{5п} = S_1 + S_H \tag{11}$$

Расчетная нагрузка на оставшиеся шкивы при подъеме будет равняться сумме натяжений соответствующих ветвей каната:

$$Q_{2п} = S_7 + S_6 \tag{12}$$

$$Q_{3п} = S_5 + S_4 \tag{13}$$

$$Q_{4п} = S_3 + S_2 \tag{14}$$

При спуске груза максимальное натяжение будет в неподвижной, а минимальное – в ходовой струне. Допускаемый запас прочности каната [10] $k=3$. Максимально допустимая величина агрегатного разрывного усилия каната:

$$P_{max} = S_x \cdot k \tag{15}$$

Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчетов

| № формулы | Переменная | Ед. изм. | Значение |
|-----------|-------------|--------------------|--------------------|
| 1 | G_t | Н | $3.5 \cdot 10^4$ |
| 2 | $P_{кб}$ | | $1.035 \cdot 10^6$ |
| 3 | S | | $1.294 \cdot 10^5$ |
| 4 | Q | | $2.587 \cdot 10^5$ |
| 5 | β | - | 1.031 |
| 6 | $\eta_{тс}$ | - | 0.874 |
| 7 | S_x | Н | $1.48 \cdot 10^5$ |
| 8 | S_H | | $1.125 \cdot 10^5$ |
| 9 | S_1 | | $1.16 \cdot 10^5$ |
| | S_2 | | $1.196 \cdot 10^5$ |
| | S_3 | | $1.233 \cdot 10^5$ |
| | S_4 | | $1.271 \cdot 10^5$ |
| | S_5 | | $1.31 \cdot 10^5$ |
| | S_6 | | $1.351 \cdot 10^5$ |
| | S_7 | $1.393 \cdot 10^5$ | |
| | S_8 | $1.436 \cdot 10^5$ | |
| 10 | $Q_{1п}$ | | $2.916 \cdot 10^5$ |
| 11 | $Q_{5п}$ | | $2.285 \cdot 10^5$ |
| 12 | $Q_{2п}$ | | $2.744 \cdot 10^5$ |
| 13 | $Q_{3п}$ | | $2.582 \cdot 10^5$ |
| 14 | $Q_{4п}$ | | $2.429 \cdot 10^5$ |
| 15 | P_{max} | | $4.441 \cdot 10^5$ |

Величины натяжения в ходовой струне при подъеме для ряда максимальных нагрузок на крюке приведены в табл. 2.

Таблица 2

Натяжение (кН) в неподвижной струне

| Максимальная нагрузка на крюке, кН | | |
|------------------------------------|-------|-------|
| 1000 | 1500 | 2000 |
| 148 | 222,0 | 296,0 |

Величины натяжения в неподвижной струне при подъеме для ряда максимальных нагрузок на крюке приведены в табл. 3

Таблица 3

Натяжение (кН) в ходовой струне

| Максимальная нагрузка на крюке, кН | | |
|------------------------------------|-------|-------|
| 1000 | 1500 | 2000 |
| 112,5 | 168,8 | 225,1 |

Величины натяжения в струнах при подъеме для ряда максимальных нагрузок на крюке приведены в табл. 4.

Таблица 4

Натяжение (кН) в струнах

| Макс. нагрузка на крюке | № струны | | | | | | | |
|-------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1000 | 116,0 | 119,6 | 123,3 | 127,1 | 131,0 | 135,1 | 139,3 | 143,6 |
| 1500 | 174,0 | 179,4 | 184,9 | 190,7 | 196,6 | 202,6 | 208,9 | 215,4 |
| 2000 | 232,0 | 239,2 | 246,5 | 254,2 | 262,1 | 270,2 | 278,5 | 287,2 |

Величины нагрузок на первый шкив при подъеме для ряда максимальных нагрузок на крюке приведены в табл. 5.

Таблица 5

Нагрузка (кН) на первый шкив

| Максимальная нагрузка на крюке, кН | | |
|------------------------------------|-------|-------|
| 1000 | 1500 | 2000 |
| 291,6 | 437,4 | 583,2 |

Величины нагрузок на пятый шкив при подъеме для ряда максимальных нагрузок на крюке приведены в табл. 6.

Таблица 6

Нагрузка (кН) на пятый шкив

| Максимальная нагрузка на крюке, кН | | |
|------------------------------------|-------|-------|
| 1000 | 1500 | 2000 |
| 228,5 | 342,8 | 457,1 |

Величины нагрузок (кН) на оставшиеся шкивы при подъеме для ряда максимальных нагрузок на крюке приведены в табл. 7.

Таблица 7

Нагрузки (кН) на шкивы

| Макс. нагрузка на крюке | № шкива | | |
|-------------------------|---------|-------|-------|
| | 2 | 3 | 4 |
| 1000 | 274,4 | 258,2 | 242,9 |
| 1500 | 411,5 | 387,2 | 364,3 |
| 2000 | 548,7 | 516,3 | 485,8 |

Величины максимально допустимых разрывных усилий (кН) каната для ряда максимальных нагрузок на крюке приведены в табл. 8.

Таблица 8

Максимально допустимые разрывные усилия (кН)

| Максимальная нагрузка на крюке, кН | | |
|------------------------------------|-------|-------|
| 1000 | 1500 | 2000 |
| 444,1 | 666,1 | 888,1 |

Диаметры и максимально допустимые расчетные разрывные усилия канатов для ряда максимальных нагрузок на крюке приведены в табл. 9.

Таблица 9

Диаметры и максимально допустимые расчетные усилия канатов

| Нагрузка на крюке, кН | 1000 | 1500 | 2000 |
|---|-------|-------|--------|
| Макс. допустимые расчетные разрывные усилия, кН | 444,1 | 666,1 | 888,1 |
| Разрывные усилия каната, кН ГОСТ 16853-88 | 451,0 | 713,0 | 1009,0 |
| Диаметр каната, мм | 25 | 32 | 38 |

Исходя из заданных параметров, которые были определены для оснастки 5x4, было рассчитано натяжение, которое возникает в каждой из семи струн оснастки, при подъеме оборудование и спуске для ряда максимальных нагрузок на крюке.

4. 2. Расчет усилий в талевой системе 6x5

Величины натяжения в ходовой струне при подъеме для ряда максимальных нагрузок на крюке приведены в табл. 10.

Таблица 10

Натяжение (кН) в ходовой струне

| Максимальная нагрузка на крюке, кН | | |
|------------------------------------|-------|-------|
| 1000 | 1500 | 2000 |
| 121,9 | 182,9 | 243,8 |

Величины натяжения в неподвижной струне при подъеме для ряда максимальных нагрузок на крюке приведены в табл. 11.

Таблица 11

Натяжение (кН) в неподвижной струне

| Максимальная нагрузка на крюке, кН | | |
|------------------------------------|-------|-------|
| 1000 | 1500 | 2000 |
| 87,2 | 130,8 | 174,4 |

Величины натяжения в струнах при подъеме для ряда максимальных нагрузок на крюке приведены в табл. 12.

Таблица 12

Натяжение (кН) в струнах

| Макс. нагрузка на крюке | № струны | | | | | | | | | |
|-------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1000 | 89,9 | 92,68 | 95,55 | 98,50 | 101,5 | 104,7 | 107,9 | 111,3 | 114,7 | 118,3 |
| 1500 | 134,8 | 139,0 | 143,3 | 147,8 | 152,3 | 157,0 | 161,9 | 166,9 | 172,1 | 177,4 |
| 2000 | 179,8 | 185,4 | 191,1 | 197,0 | 203,1 | 209,4 | 215,8 | 222,5 | 229,4 | 236,5 |

Величины нагрузок на первый шкив при подъеме для ряда максимальных нагрузок на крюке приведены в табл. 13.

Таблица 13

Нагрузка (кН) на первый шкив

| Максимальная нагрузка на крюке, кН | | |
|------------------------------------|-------|-------|
| 1000 | 1500 | 2000 |
| 240,2 | 360,2 | 480,3 |

Величины нагрузок на шестой шкив при подъеме для ряда максимальных нагрузок на крюке приведены в табл. 14.

Таблица 14

Нагрузка (кН) на шестой шкив

| Максимальная нагрузка на крюке, кН | | |
|------------------------------------|-------|-------|
| 1000 | 1500 | 2000 |
| 177,1 | 265,7 | 354,2 |

Величины нагрузок (кН) на оставшиеся шкивы при подъеме для ряда максимальных нагрузок на крюке приведены в табл. 15.

Таблица 15

Нагрузки (кН) на шкивы

| Макс. нагрузка на крюке | № шкива | | | |
|-------------------------|---------|-------|-------|-------|
| | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1000 | 226,0 | 212,6 | 200,0 | 191,2 |
| 1500 | 339,0 | 318,9 | 300,1 | 286,8 |
| 2000 | 451,9 | 425,2 | 400,1 | 382,4 |

Величины минимально допустимых агрегатных разрывных усилий (кН) каната для ряда максимальных нагрузок на крюке приведены в табл. 16.

Таблица 16

Максимально допустимые агрегатные разрывные усилия (кН)

| Максимальная нагрузка на крюке, кН | | |
|------------------------------------|-------|-------|
| 1000 | 1500 | 2000 |
| 365,7 | 548,6 | 731,5 |

Диаметры и максимально допустимые расчетные разрывные усилия канатов для ряда максимальных нагрузок на крюке приведены в табл. 17.

Таблица 17

Диаметры и максимально допустимые расчетные усилия канатов

| Нагрузка на крюке, кН | 1000 | 1500 | 2000 |
|---|-------|-------|-------|
| Макс. допустимые расчетные разрывные усилия, кН | 365,7 | 564,5 | 731,5 |
| Разрывные усилия каната, кН ГОСТ 16853-88 | 451,0 | 713,0 | 846,0 |
| Диаметр каната, мм | 25 | 28 | 35 |

Для оснастки 6x5 определена величина нагрузки, которая действует при подъеме на первый шкив. Ана-

логично для шестого, рассчитаны разрывные усилия каната при максимальных нагрузках.

4. 3. Расчет усилий в талевой системе 7х6

Величины натяжения в ходовой струне при подъеме для ряда максимальных нагрузок на крюке приведены в табл. 18.

Таблица 18

Натяжение (кН) в ходовой струне

| Максимальная нагрузка на крюке, кН | | |
|------------------------------------|-------|-------|
| 1000 | 1500 | 2000 |
| 104,6 | 156,8 | 209,1 |

Величины натяжения в неподвижной струне при подъеме для ряда максимальных нагрузок на крюке приведены в табл. 19.

Таблица 19

Натяжение (кН) в неподвижной струне

| Максимальная нагрузка на крюке, кН | | |
|------------------------------------|-------|-------|
| 1000 | 1500 | 2000 |
| 70,37 | 105,6 | 140,7 |

Величины натяжения в струнах при подъеме для ряда максимальных нагрузок на крюке приведены в табл. 20.

Натяжение (кН) в струнах

| Макс. нагрузка на крюке | № струны | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1000 | 72,54 | 74,79 | 77,1 | 79,49 | 81,94 | 84,48 | 87,09 | 89,78 | 92,56 | 95,42 | 98,38 | 101,4 |
| 1500 | 108,8 | 112,2 | 115,7 | 119,2 | 122,9 | 126,7 | 130,6 | 134,7 | 138,8 | 143,1 | 147,6 | 152,1 |
| 2000 | 145,1 | 149,6 | 154,2 | 159,0 | 163,9 | 169,0 | 174,2 | 179,6 | 185,1 | 190,8 | 196,8 | 202,8 |

Величины нагрузок на первый шкив при подъеме для ряда максимальных нагрузок на крюке приведены в табл. 21.

Таблица 21

Нагрузка (кН) на первый шкив

| Максимальная нагрузка на крюке, кН | | |
|------------------------------------|-------|-------|
| 1000 | 1500 | 2000 |
| 206,0 | 309,0 | 411,9 |

Величины нагрузок на седьмой шкив при подъеме для ряда максимальных нагрузок на крюке приведены в табл. 22.

Таблица 22

Нагрузка (кН) на седьмой шкив

| Максимальная нагрузка на крюке, кН | | |
|------------------------------------|-------|-------|
| 1000 | 1500 | 2000 |
| 142,9 | 214,4 | 285,8 |

Величины нагрузок (кН) на оставшиеся шкивы при подъеме для ряда максимальных нагрузок на крюке приведены в табл. 23.

Таблица 23

Нагрузки (кН) на шкивы

| Макс. нагрузка на крюке | № шкива | | | | |
|-------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1000 | 193,8 | 182,3 | 171,6 | 161,4 | 151,9 |
| 1500 | 290,7 | 273,5 | 257,4 | 242,1 | 227,8 |
| 2000 | 387,6 | 364,7 | 343,1 | 322,9 | 303,8 |

Величины минимально допустимых агрегатных разрывных усилий (кН) каната для ряда максимальных нагрузок на крюке приведены в табл. 24.

Таблица 24

Максимально допустимые агрегатные разрывные усилия (кН)

| Максимальная нагрузка на крюке, кН | | |
|------------------------------------|-------|-------|
| 1000 | 1500 | 2000 |
| 313,7 | 470,5 | 627,3 |

Диаметры и максимально допустимые расчетные разрывные усилия канатов для ряда максимальных нагрузок на крюке приведены в табл. 25.

Таблица 25

Диаметры и максимально допустимые расчетные усилия канатов

| Нагрузка на крюке, кН | 1000 | 1500 | 2000 |
|---|-------|-------|-------|
| Макс. допустимые расчетные разрывные усилия, кН | 313,7 | 470,5 | 627,3 |
| Разрывные усилия каната, кН ГОСТ 16853-88 | 451,0 | 564,5 | 713,0 |
| Диаметр каната, мм | 25 | 28 | 32 |

Таблица 20

Для оснастки 7х6 определены максимально допустимые, агрегатные расчетные усилия каната при нагрузке на крюк в 1000, 1500, 2000 кН.

5. Контактная прочность и нагрузки на ручей шкива

Радиус профиля дна ручья шкива: $R_1 = 18.0 \cdot 10^{-3}$ м.
 Модуль упругости материала ручья шкива: $E_1 = 2.1 \cdot 10^{11}$ Па.

Коэффициент Пуассона материала ручья шкива: $\nu_1 = 0.3$.

Радиус каната: $R_2 = 16.0 \cdot 10^{-3}$ м.
 Расчетный поперечный модуль упругости каната: $E_2 = 300 \cdot 10^6$ Па.

Коэффициент Пуассона каната: $\nu_2 = 0.25$.

Усилие на шкиве: $P = 411.9 \cdot 10^3$ Н.
 Радиус крайней точки дна ручья шкива относительно его оси шкива: $R = 0.5$ м.

Распределенная нагрузка по линии на дно ручья шкива [4, 5]:

$$q = \frac{P}{2R}, \tag{16}$$

$$q = 4.119 \cdot 10^5 \text{ Н/м.}$$

Полуширина полосы контакта троса и ручья шкива:

$$b = 1.128 \sqrt{q \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 - R_2} \cdot \left(\frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right)}, \quad (17)$$

получим $b = 0.015$ м.

Наибольшее контактное напряжение в ручье шкива:

$$\sigma_k = 0.5642 \cdot \sqrt{q \cdot \frac{R_1 - R_2}{R_1 \cdot R_2} \cdot \frac{1 - \nu_1^2 + 1 - \nu_2^2}{E_1 + E_2}}, \quad (18)$$

$$\sigma_k = 1.706 \cdot 10^7 \text{ Па.}$$

Наибольшее контактное напряжение в ручье шкива находится на глубине:

$$Z_{\text{ок}} = 0.8 \cdot b, \quad (19)$$

$$Z_{\text{ок}} = 0.012 \text{ м.}$$

Предел текучести материала шкива (сталь 35Л): $\sigma_{02} = 255.0 \cdot 10^6$ Па.

Коэффициент запаса прочности: $n = 1.5$.

Допускаемое напряжение:

$$\sigma_d = \frac{\sigma_{02}}{n}, \quad (20)$$

$$\sigma_d = 1.7 \cdot 10^8 \text{ Па.}$$

Величина коэффициента: $m = 0.557$.

Условие контактной прочности дна ручья шкива выполняется:

$$\sigma_k = 1.706 \cdot 10^7 \text{ Па} \leq \frac{\sigma_d}{m} = 3.052 \cdot 10^8 \text{ Па.}$$

Длина дуги профиля ручья, находящаяся в контакте с канатом:

$$s = R_1 \cdot 2 \cdot \arcsin\left(\frac{b}{R_1}\right), \quad (21)$$

$$s = 0.037 \text{ м.}$$

Площадь профиля ручья, находящаяся в контакте с канатом:

$$f = \pi \cdot R \cdot s, \quad (22)$$

$$f = 0.058 \text{ м}^2.$$

Давление по площади дна ручья шкива, контактирующей с канатом:

$$\sigma_c = \frac{P}{f}, \quad (23)$$

$$\sigma_c = 7.119 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

6. Общая прочность шкива

Материал шкива сталь 35Л с величиной предела текучести $\sigma_t = 255$ МПа, что обеспечивает достаточный запас прочности по пределу прочности, равный:

$$n_t = \frac{\sigma_t}{\sigma_{\text{max}}}, \quad (24)$$

$$n_t = 5.62.$$

Шкив нагружен давлением $\sigma_c = 7.119 \cdot 10^6$ МПа со стороны каната (охват шкива канатом 180°) по полосе контакта с дном обода шкива. Расчетная модель шкива представлена на рис. 2 и напряженно-деформированное состояние шкива на рис. 3.

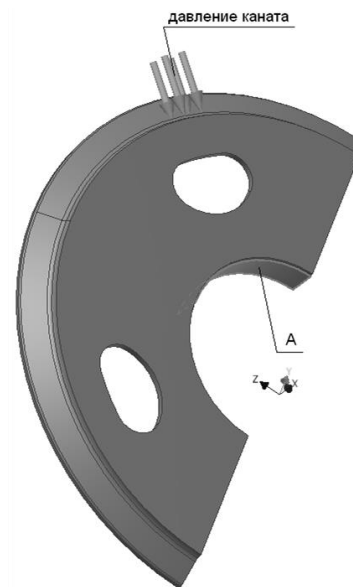


Рис. 2. Расчетная модель шкива ШК-1000-32

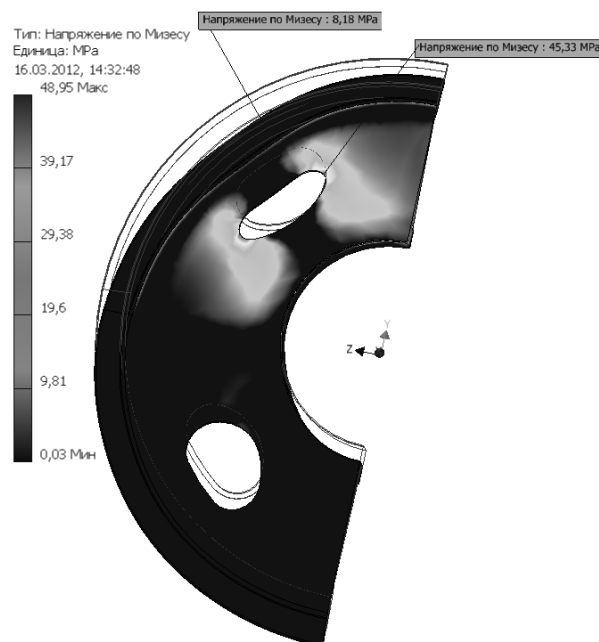


Рис. 3. Напряженно-деформированное состояние шкива ШК-1000-32

Для построения модели и оптимального решения проблемы было выполнено условие контактной прочности дна ручья шкива.

7. Выводы

В силу симметрии конструкции шкива и приложенной нагрузки рассчитывалась четверть шкива. Закрепление модели осуществлено запретом радиальных перемещений по втулке под вал по поверхности А и

соблюдения условий симметрии. Результаты расчетов приведены на рис. 3, где показано распределение напряжений по объему шкива. Максимальные эквивалентные напряжения в ободке шкива составляют 8,18 МПа. Максимальные эквивалентные напряжения в полоте шкива возле выреза составляют $\sigma=45.33$ МПа.

Для расчетов брались наиболее применяемые системы оснастки, нагрузки, диаметры канатов для уточнения значений напряжений в шкивах, необходимо проведение комплекса дополнительных стендовых исследований.

Литература

1. Дихтяренко, К. В. К вопросу повышения срока службы кронблочных шкивов буровых установок [Текст] / К. В. Дихтяренко, В. П. Червинский, А. И. Пупышев // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 1, № 7 (55). – С. 20–22. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/3409/3209>
2. Степанова, Е. М. Эффективное использование современных футовых для шкивов подъемных машин шахт Украины [Текст] / Е. М. Степанова // Глюкаус. – 2010. – № 2. – С. 70–71.
3. Баграмов, Р. А. Буровые машины и комплексы [Текст]: учебник / Р. А. Баграмов. – М.: Недра, 1988. – 501 с.
4. Lee, H. N. Motion planning for three-dimensional overhead cranes with high-speed load hoisting [Text] / H. N. Lee // International Journal of Control. – 2005. – Vol. 78, Issue 12. – P. 875–886. doi: 10.1080/00207170500197571
5. Александров, М. П. Грузоподъемные машины: учебник [Текст] / М. П. Александров, Л. Н. Колобов, Н. А. Лобов. – М.: Машиностроение, 1986. – 400 с.
6. Вайнсон, А. А. Подъемно-транспортные машины [Текст]: учебник / А. А. Вайнсон. – М.: Машиностроение, 1989. – 536 с.
7. Писаренко, Г. С. Справочник по сопротивлению материалов [Текст] / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. – Киев: Наук. Думка, 1988. – 736 с.
8. Сорокин, В. Г. Марочник сталей и сплавов [Текст] / В. Г. Сорокин. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
9. Ильский, А. Л. Буровые машины, механизмы и сооружения [Текст] / А. Л. Ильский, В. М. Касьянов, В. Г. Порошин. – М., Недра, 1967. – 469 с.
10. Единые нормы техники безопасности на разработку основных видов нефтегазодобывающего оборудования [Текст] / РД 39-22-617-81, МНП, 1982.