

УДК 621.891

Чуфус В.М., аспирант

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА СОСТАВНЫХ ШКИВОВ ЛЕНТОЧНО-КОЛОДОЧНОГО ТОРМОЗА БУРОВОЙ ЛЕБЕДКИ ПРИ ИХ ВОЗДУШНО-ЖИДКОСТНОМ ОХЛАЖДЕНИИ

***Аннотация.** Произведена оценка теплового баланса составных тормозных шкивов, имеющих наружные и внутренние полированные и матовые поверхности, которые омываются принудительно воздушно-жидкостной смесью в трибосистеме ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки.*

***Анотація.** Зроблено оцінку теплового балансу складених гальмівних шківів, що мають зовнішні і внутрішні поліровані і матові поверхні, які омиваються примусово повітряно-рідинною сумішшю в трибосистемі стрічково-колодочного гальма бурової лебідки.*

***Abstract.** We've estimated the heat balance of composite brake pulleys with external and internal polished and matt surfaces that are washed by forced air-liquid mixture in the tribosystem of the band-block brake of the draw-work.*

Введение. Тепловой баланс предназначен для моделирования эффектов теплопередачи и ее градиентов в трибосистеме ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки. Очевидно, что при разности температур фрикционно взаимодействующих пар трения или если они находятся в разомкнутом состоянии происходит омывание их поверхностей газообразной или жидкой средой. при этом происходит перетекание энергии от поверхности трения с большей температурой к менее нагретым слоям обода шкива. При этом формируется градиент температуры как поверхностный так и объемный в телах пар трения и в омывающих средах. Существует три составляющих сложного теплообмена: кондуктивный (теплопроводностью), конвекцией, и излучением (лучистый). Каждый из видов теплообмена не встречается в чистом виде, а в комбинации, так например, конвективно-кондуктивный, кондуктивно-конвективный, лучисто- конвективный, лучисто-кондуктивный. Иногда, в особых случаях выделяется лучистый вид теплообмена [1, 2].

Состояние проблемы. В работе [3] были рассмотрены: особенности конструкции системы воздушно-жидкостного охлаждения

пар трения ленточно-колодочного тормоза буровой-лебедки; динамика омывания жидкостью поверхностей стенок камер составного шкива; соотношения между пограничным слоем и внешним потоком циркулирующей жидкости в камере составного шкива; определение пути перемешивания слоев жидкости в камерах составных шкивов при их вращении. Однако в данных материалах исследований не был затронут вопрос оценки теплового баланса составного шкива ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки.

Известен метод нагревания и охлаждения поверхностей шкивов ленточно- колодочного тормоза буровой лебедки для оценке их теплового баланса, который осуществляется в лабораторных и промышленных условиях в четыре этапа: на первом – в лабораторных условиях определяются потери теплоты лучистым теплообменом от нагретого шкива; втором – в лабораторных условиях определяются потери теплоты естественным конвективным теплообменом от поверхностей нагретого первого шкива; третьем – в промышленных условиях определяются потери теплоты кондуктивным теплообменом от выступов шкивов в тело фланца барабана лебедки; четвертом – в промышленных условиях определяются потери теплоты вынужденным конвективным теплообменом от нагретых шкивов [4]. Однако в данной работе не был учтен тот факт, что буровая лебедка с двумя ленточно-колодочными тормозами является хорошей экспериментальной базой для оценки теплового баланса их тормозных шкивов.

Постановка задачи. В данной публикации рассмотрены следующие вопросы применительно к исследуемой проблеме:

– особенности конструкции воздушно-жидкостной системы охлаждения трибосопряжений ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки;

– потери теплоты от матовых и полированных поверхностей составных тормозных шкивов в динамике и статике;

– анализу результатов оценки теплового баланса усовершенствованных пар трения ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки при их принудительном охлаждении.

Особенности конструкции воздушно-жидкостной системы охлаждения трибосопряжений ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки. В основу принципа воздушно-жидкостного охлаждения пар трения ленточно-колодочного тормоза заложены следующие эффекты: вихревой, кондуктивный, лучистый и испарительно-конденсационный.

На рис. 1 *а, б* показан ленточно-колодочный тормоз, продольный разрез (*а*); на рис. *б* - разрез по А-А на рис. *а* (без воздухозаборников и системы отверстий в средней части обода шкива и в реборде).

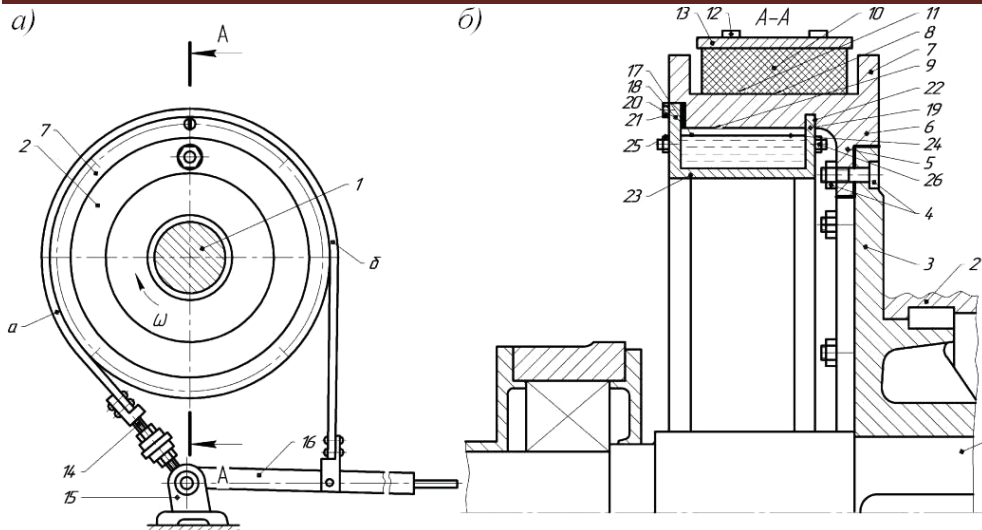


Рисунок 1 *а, б* – Ленточно-колодочный тормоз с принудительной системой воздушно-жидкостного охлаждения: *а* – общий вид; *б* – поперечный разрез по А–А: 1 – подъемный вал; 2, 3 – барабана с фланцем; 4 – болтовое соединения; 5, 6, 7, 8, 9 – теплоизолированный выступ тормозного шкива, имеющего реборды, рабочую и нерабочую поверхности; 10, 11, 12 – накладки с рабочими поверхностями и усиками; 13 – тормозная лента, имеющей набегающую (*а*) и сбегающую (*б*) ветви; 14 – резьбовая стяжка; 15 – опора; 16 – рычаг управления тормозом; 17, 18, 19 – камера и ее боковые стенки; 20 – герметизационная прокладка; 21 – крепежные болты; 22 – круговой паз; 23 – цилиндрическое кольцо; 24 – жидкость; 25, 26 – впускной и выпускной клапаны

На рис. 2 использованы следующие условные обозначения: C_l – коэффициент излучения; T_1, T_2 – температуры полированных поверхностей: рабочих и нерабочих обода шкива; $T_ж, T_c$ – температуры: жидкости и омывающей воздушной среды; $а_ж, а_c$ – коэффициенты теплоотдачи от: жидкости к стенке камеры; стенки камеры к окружающему воздуху; h – толщина обода тормозного шкива; D – кольцевой диаметр камеры; рассматриваются два варианта: *а* – жидкость омывает внутреннюю стенку камеры; *б* – жидкость омывает полированную нерабочую поверхность обода шкива и внутреннюю стенку камеры.

Ленточно-колодочный тормоз с принудительной системой воздушно- жидкостного охлаждения состоит из подъемного вала 1, барабана 2 с фланцем 3, который крепится с помощью болтового соединения 4 к теплоизолированному выступу 5 тормозного шкива 6. Последний имеет реборды 7, рабочую 8 и нерабочую 9 поверхности. Рабочая поверхность 8 шкива в процессе торможения фрикционно взаимодействует с рабочими поверхностями 11 полимерных накладок

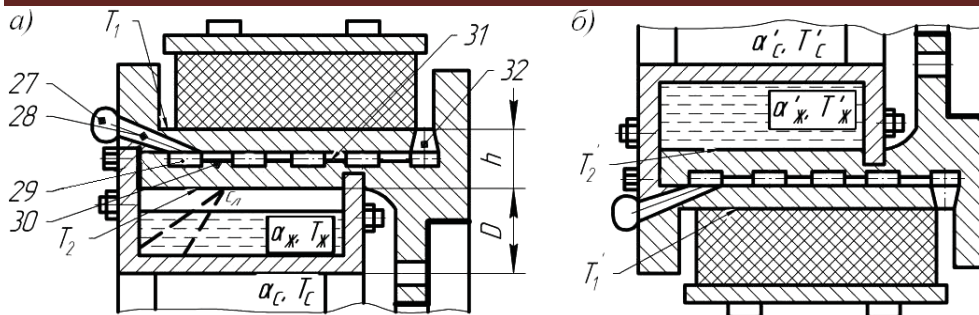


Рисунок 2 а, б – Фрикционное взаимодействие узлов трения в их верхнем (а) и нижнем (б) положении: 27 – воздухозаборники; 28, 32 – эжекционные отверстия в ободу шкива; 29 – цилиндрические кольцевые объемы; 30, 31 – перегородки с отверстиями между частями обода шкива

10, прикрепленных с помощью усиков 12 к тормозной ленте 13, имеющей набегающую (а) и сбегающую (б) ветви. Набегающая ветвь (а) ленты 13 с помощью резьбовой стяжки 14 крепится к опоре 15, а ее сбегающая ветвь (б) – к рычагу 16 управления тормозом.

Ленточно-колодочный тормоз с принудительной системой воздушно- жидкостного охлаждения состоит из подъемного вала 1, барабана 2 с фланцем 3, который крепится с помощью болтового соединения 4 к теплоизолированному выступу 5 тормозного шкива 6. Последний имеет реборды 7, рабочую 8 и нерабочую 9 поверхности. Рабочая поверхность 8 шкива в процессе торможения фрикционно взаимодействует с рабочими поверхностями 11 полимерных накладок 10, прикрепленных с помощью усиков 12 к тормозной ленте 13, имеющей набегающую (а) и сбегающую (б) ветви. Набегающая ветвь (а) ленты 13 с помощью резьбовой стяжки 14 крепится к опоре 15, а ее сбегающая ветвь (б) – к рычагу 16 управления тормозом.

Под нерабочей поверхностью 9 обода шкива 6 расположена камера 17, занимающая объем от первой радиальной боковой стенки 18, расположенной со стороны свободного края обода шкива 6 и до второй радиальной боковой стенки 19, находящейся возле выступа 5 шкива 6. Сверху первая радиальная боковая стенка 18 находится в пазе 19 торца реборды 7 и через герметизационную прокладку 20 с помощью болтов 21 крепится по ее периметру к ободу шкива 6. Вторая радиальная боковая стенка 19 заведена с натягом в круговой паз 22. Снизу стенки 18 и 19 соединены между собой цилиндрическим кольцом 23. Заправка камеры 17 производится жидкостью 24 через впускной клапан 25, а стравливается в атмосферу образовавшийся пар в камере 17 через выпускной клапан 26.

Камера 17 заполнена жидкостью 24 на 2/3 ее объема и над ней нерабочая поверхность 9 обода шкива 6 выполнена полированной. К левой реборде 7 по ее периметру подключены воздухозаборники 27, расположенные с постоянным шагом, которые соединены с

отверстиями 28 в реборде 7. Отверстия 28 выполнены под углом в реборде 7 в виде сопел Лавая. Последние связаны с первым цилиндрическим кольцевым объемом 29 расположенным в середине толщины обода шкива 6. Количество цилиндрических кольцевых объемов 29 в ободке шкива 6 зависит от его ширины. Между цилиндрическими кольцевыми объемами 29 находятся кольцевые перегородки 30, в которых выполнены горизонтальные отверстия 31. Последние по периметру перегородок 30 смещены на величину их диаметра. Последний цилиндрический кольцевой объем 29 подключен к отверстиям 32, выполненным в виде конфузоров по периметру рабочей поверхности обода шкива 6 со стороны его заземленного края.

Ленточно-колодочный тормоз с принудительной воздушной системой охлаждения работает следующим образом. При вращении тормозного шкива 6 с большой скоростью в направлении стрелки при спуске колонны бурильных труб в скважину (не показаны) до включения механического ленточно-колодочного тормоза воздухозаборники 27 способствуют образованию следующих воздушных потоков: на входе – сопла Лавая – первый цилиндрический кольцевой объем 29 – горизонтальные отверстия 31 в кольцевой перегородке 30; на выходе – последний цилиндрический кольцевой объем 29 – перпендикулярные отверстия 31 (конфузоры) к рабочей поверхности 8 обода шкива 6. Интенсификация воздушного конвективного теплообмена происходит в остальных цилиндрических кольцевых объемах 29 за счет того, что горизонтальные отверстия 31 по периметру перегородок 30 смещены на величину их диаметра. Такое конструктивное решение способствует большому количеству скоростных воздушных потоков, которые ударяясь об поверхность очередной перегородки 29, завихряются и тем самым увеличивают воздухообмен, и как следствие, происходит их охлаждение, а затем уже они попадают в очередные отверстия 31 перегородок 30, в которых происходит ускорение воздушных потоков.

Таким образом, осуществляется отвод теплоты от верхней части тормозного шкива 6 за счет циркуляции в нем множества воздушных потоков, омывающих кольцевые перегородки 30, являющихся тепловыми мостиками между верхней и нижней частью тормозного шкива 6, что способствует снижению в них глубинного температурного градиента. Кроме того, имеет место кондуктивный теплообмен между нижней частью обода тормозного шкива 6 и стенками камеры 17.

Ленточно-колодочный тормоз с принудительной жидкостной системой охлаждения работает следующим образом.

При нажатии на рычаг 16 управления тормозом происходит затягивание тормозной ленты 13 и рабочие поверхности 11

полимерных накладок 10 взаимодействуют с рабочей поверхностью 8 тормозного шкива 6, что способствует генерированию теплоты на их поверхностях. При этом значительная часть теплоты поглощается шкивом 6, который является аккумулятором тепловой энергии. В свою очередь, тормозной шкив 6 состоит из верхней и нижней части, которые между собой соединены кольцевыми перегородками 30. Последние играют роль тепловых мостиков по выравниванию энергонагруженности верхней и нижней части тормозного шкива. Передача теплоты кондуктивным теплообменом от нижней части обода тормозного шкива к элементам камеры способствует ее отводу в жидкость.

Рассмотрим два случая взаимодействия полированной нерабочей поверхности 9 обода шкива 6 с жидкостью 24 камеры 17.

Первый случай, когда жидкость 24 не омывает полированную нерабочую поверхность 9 обода тормозного шкива 6 и между их поверхностями образуется зазор. Из полированной нерабочей поверхности 9 обода тормозного шкива 6 осуществляется лучистый теплообмен: подводится лучистый поток q_l от полированной рабочей поверхности 8 обода тормозного шкива 6 и в соответствии с законом Стефана-Больцмана отводится поток собственного излучения плотностью $C_l T_n^4$ непосредственно к поверхности абсолютного черного тела, т.е. жидкости 24. В этом случае также имеет место слабый конвективный теплообмен, поскольку при вращении шкива 6 за счет центробежных сил капли жидкости все таки попадают на полированную нерабочую поверхность 9 обода шкива 6, на которой сразу превращаются в пар. Таким образом, в данном случае имеет слабый конвективный и сильный лучистый теплообмены, которые снижают энергонагруженность обода тормозного шкива.

Второй случай, когда жидкость 24 находится на полированной нерабочей поверхности 9 обода тормозного шкива 6. В этом случае сильным является конвективный теплообмен при взаимодействии слоев жидкости 24 с полированной нерабочей поверхностью 9 обода шкива 6 при слабом их лучистом теплообмене.

Тепловое состояние частей тормозного шкива, находящихся на разных полюсах в вертикальной плоскости, является неодинаковым из-за изменения термодинамических параметров жидкости и омывающего воздуха, что и способствует изменению их градиентов, и как следствие, интенсификации кондуктивного, конвективного и лучистого теплообмена в предложенной системе охлаждения.

Таким образом, при работе в режимах вращения тормозного шкива или фрикционного взаимодействия пар трения ленточно-колодочного тормоза имеют место следующие виды теплообмена:

– в первом режиме - конвективный воздушный и жидкостной, кондуктивный, а также лучистый с рабочей и нерабочей поверхности (полированной) обода тормозного шкива;

– во втором режиме - конвективный воздушный и жидкостной, кондуктивный, а также лучистый с полированной нерабочей поверхности обода тормозного шкива.

Перечисленные виды теплообмена в неодинаковой степени влияют на энергонагруженность пар трения ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки, и в конечном итоге, снижают их энергонагруженность, и как следствие, повышают долговечность рабочих поверхностей [5].

Потери теплоты от матовых и полированных поверхностей составных тормозных шкивов в динамике и в статике. Особенностью определения тепловых потерь от поверхностей составного тормозного шкива и его жидкостной камеры является то, что на одном тормозе теплоизолируются все наружные матовые и полированные поверхности, кроме полированной рабочей поверхности шкива. В процессе оценки тепловых потерь от поверхностей усовершенствованного шкива последовательно освобождаются от их теплоизоляции, а также от теплоизоляции каркаса камеры. Это делается для того чтобы можно было определить тепловые потери от различных видов теплообмена при сравнении их со вторым шкивом, которые имеют ленточно-колодочные тормоза в составе буровой лебедки.

Результат исследований достигается тем, что в ленточно-колодочных тормозах буровой лебедки наружные матовые и полированные поверхности двух составных шкивов без жидкостных камер выполнены теплоизолированными от окружающей среды, а в первом шкиве отключают принудительную воздушную систему, после чего путем циклических торможений, обеспечивающих взаимодействие фрикционных узлов тормоза, нагревают рабочие поверхности составных шкивов до поверхностной температуры выше допустимой для материалов фрикционной накладки; фиксируя при этом время процесса их нагревания и по соотношению измеренных термопарами поверхностных температур первого и второго шкивов при разной интенсивности конвективно-лучистого теплообмена его внутренних и полированной (рабочей) поверхностей определяют эффективность принудительного охлаждения (первый этап). На втором этапе буровую лебедку останавливают и с помощью галетных датчиков теплового потока, фиксируя время естественного охлаждения, и по соотношению рассчитанных поверхностных температур первого и второго шкивов оценивают в статике интенсивность лучисто-конвективного теплообмена их внутренних поверхностей и полированной рабочей поверхности до температуры

окружающей среды. Третий этап выполняют по схеме: принудительное воздушное охлаждение – нагревание – время процесса – отсутствие термоизоляции на нерабочей полированной поверхности первого шкива – соотношение поверхностных температур шкивов и интенсивность конвективно-лучистого теплообмена полированной нерабочей поверхности обода шкива. Четвертый этап выполняют по схеме: остановка буровой лебедки – время естественного охлаждения – галетные датчики теплового потока – рассчитанные поверхностные температуры и их соотношения для шкивов и оценивают интенсивность конвективно-лучистого теплообмена полированных рабочих и нерабочих поверхностей шкива до температуры окружающей среды. Пятый этап выполняют по схеме: принудительное воздушное охлаждение – нагревание – время процесса – теплоизоляция только на крепежном выступе первого шкива – соотношение измеренных поверхностных температур для шкивов и оценивают интенсивность конвективно-лучистого теплообмена наружных матовых и полированных поверхностей первого шкива и находят тепловые потери. Шестой этап выполняют по схеме: остановка буровой лебедки – время естественного охлаждения – галетные датчики теплового потока – рассчитанные поверхностные температуры и их соотношения для шкивов и оценивают интенсивность лучисто-конвективного теплообмена наружных матовых и полированных поверхностей шкива до температуры окружающей среды. Седьмой этап выполняют по схеме: принудительное воздушное охлаждение – нагревание – время процесса – теплоизоляция снята с крепежного выступа первого шкива – соотношение измеренных поверхностных температур для шкивов и оценивают количество теплоты, которое отводится кондуктивным теплообменом от крепежного выступа шкива в тело фланца барабана лебедки. Восьмой этап выполняют по схеме: принудительное воздушное охлаждение – шкивы оборудуют жидкостными камерами - стенки камеры второго шкива полностью теплоизолируют – нагревание – время процесса – соотношение измеренных поверхностных температур для шкивов и оценивают количество теплоты, отводимое кондуктивным теплообменом от нижней части обода первого шкива в каркас камеры и от ее стенок лучисто-конвективным теплообменом в окружающую среду. Девятый этап выполняют по схеме; остановка буровой лебедки – заливка жидкости в количестве $2/3$ объема камеры первого нагретого шкива – посадка накладок лент на рабочую поверхность ободов шкивов – соотношения измеренных поверхностных температур для шкивов при отключенных системах принудительного их охлаждения и оценивают количество теплоты, отведенное от частей обода первого шкива. Десятый этап выполняют по схеме: принудительные воздушные системы разгерметизируют – шкивы разогреты вместе с жидкостью в

камерах – нагревание – время процесса – соотношение измеренных поверхностных температур для шкивов и оценивают эффективность принудительного жидкостного охлаждения пар трения тормоза. Одиннадцатый этап выполняют по схеме: остановка буровой лебедки – заправка объемов камер паровоздушной смесью под давлением в камеры нагретых шкивов – посадка накладок лент на рабочую поверхность ободов шкивов – соотношения измеренных поверхностных температур для шкивов при отключенных системах принудительного воздушного охлаждения и определяют количество теплоты, отведенное от частей обода первого шкива. Двенадцатый этап выполняют по схеме: принудительные воздушные системы включены – шкивы разогреты вместе с паровоздушной смесью в камерах – нагревание – время процесса – соотношение измеренных поверхностных температур для шкивов и оценивают эффективность косвенного принудительного паровоздушного охлаждения пар трения тормоза. Тринадцатый этап посвящен определению коэффициентов теплопередачи в теплообменных процессах через многослойные объекты, т.е. пары трения, имеющие составные шкивы с камерами охлаждения и градиентов коэффициентов теплопередачи в теплообменных процессах системы.

В качестве примеров рассмотрим первый и четвертый этапы исследований.

Первый этап. В промышленных условиях определяются потери теплоты конвективно-лучистым теплообменом при работе принудительной воздушной системы охлаждения омывающей внутренние поверхности нижней и верхней части составного обода тормозного шкива. Этап осуществляется без жидкостных камер.

В первом составном шкиве отключают систему принудительного охлаждения циркулирующего воздуха, а во втором – оставляют ее открытой. При этом наружные матовые и полированные (кроме рабочих) поверхности составных шкивов теплоизолируют от окружающей среды.

Циклическими торможениями доводят температуру поверхности трения первого составного шкива от минимальной t_1 до t_2 (выше допустимой для материалов фрикционной накладки), фиксируя при этом температуры t_1 и t_2 с помощью термопар, а также время нагревания τ рабочей поверхности первого тормозного шкива. При этом фиксируют температуру t_3 с помощью термопар второго тормозного шкива. В дальнейшем путем усреднения замеренных температур на рабочих поверхностях ободов первого и второго составных шкивов устанавливают их соотношение. Последнее характеризует отношение второго $(t_3 - t_1)$ к первому $(t_2 - t_1)$ составному шкиву, которое и определяет долю теплоты рассеиваемой в окружающую среду конвективно-лучистым теплообменом. Так,

например, при соотношении указанных температур $\frac{480-100}{500-100} = 0,95$

доля теплоты, которая рассеивается в окружающую среду конвективно-лучистым теплообменом от внутренних поверхностей обода составного тормозного шкива, составляет 5,0%.

Четвертый этап. В промышленных условиях определяются потери теплоты лучисто-конвективным теплообменом от их полированных рабочих и нерабочих поверхностей при нахождении шкивов в статике

Замеренные тепловые потоки q от полированных рабочих и нерабочих поверхностей с помощью галетных датчиков сначала усредняют, а затем по зависимости вида $t_3 - t_0 = q\delta / \lambda$ (где δ – одинаковая толщина верхней и нижней части обода шкива; λ – коэффициент теплопроводности материала обода шкива; температура нерабочей полированной поверхности равна 450,0°C, а рабочей поверхности – 500,0°C) определяют энергонагруженность полированных рабочих и нерабочих противоположных поверхностей составного шкива. При этом представляется возможным определить градиенты температуры по толщине верхней и нижней части обода шкива.

Анализ результатов оценки теплового баланса усовершенствованных пар трения ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки при их принудительном охлаждении. Перейдем непосредственно к теплообменным процессам, наблюдаемых в серийных тормозных шкивах и в составных шкивах (усовершенствованных) согласно работы [4] при вынужденном воздушном охлаждении их поверхностей. Особенностью охлаждения является то, что в усовершенствованном тормозном шкиве площадь матовых наружных поверхностей равна 20 % от площади матовых внутренних поверхностей системы воздушного охлаждения. При этом скорости омывающих потоков будут разными, а следовательно, количество омывающего воздуха наружные и внутренние матовые поверхности будет одинаковым.

Принудительное жидкостное охлаждение пар трения ленточно-колодочного тормоза имеет отличительную особенность в том, что при положении сверху камеры с жидкостью интенсифицируется лучистый теплообмен от полированной поверхности нижней части составного шкива. При положении снизу камеры с жидкостью лучистый теплообмен исчезает, поскольку указанная поверхность обода омывается жидкостью.

На основании системного анализа различных видов теплообмена серийного и усовершенствованного тормозного шкива и была предложена табл. 1, в которой и проиллюстрирована

эффективность принудительного воздушно-жидкостного охлаждения составного шкива на двенадцати этапах исследований.

Таблица 1 – Обозначение поверхностей, названия различных видов теплообмена и эффективность принудительного воздушно-жидкостного охлаждения составного шкива тормоза

Обозначение	Название поверхностей систем охлаждения:	Вид теплообмена	Эффективность в %	
			от	до
<i>вынужденное воздушное</i>				
А	полированная (рабочая) обода шкива	лучисто-конвективный	6,5	8,0
Б	матовая нерабочая обода шкива	конвективно-лучистый	5,0	6,5
В	матовые крепежного выступа обода шкива	конвективно-лучистый	1,0	2,0
Г	матовые реборд обода шкива	конвективно-лучистый	0,5	1,0
Д	матовые конических и цилиндрических отверстий обода шкива	лучисто-конвективный	0,25	0,5
Е	матовые кольцевых камер обода шкива	лучисто-конвективный	5,0	6,5
<i>кондуктивное (теплопроводностью)</i>				
Ё	матовые крепежного выступа обода шкива с фланцем барабана	кондуктивно-конвективный	2,0	5,0
Ж	матовые стенки жидкостной камеры с нижней частью обода шкива	кондуктивно-лучистый	3,0	6,0
<i>принудительное жидкостно-воздушное</i>				
З и И	полированной нерабочей обода шкива: через слой воздуха с жидкостью; с омываемой жидкостью	лучисто-конвективный; конвективный	10,0 15,0	20,0 25,0
Й	матовой камеры с омываемой жидкостью	конвективный	20,0	30,0
К	матовой наружной камеры с омывающим воздухом	лучисто-конвективный	5,0	10,0

Анализ полученных результатов позволяет констатировать следующее:

– принудительное воздушное охлаждение обладает слабой эффективностью, но зато способствует росту градиента объемной температуры по толщине верхней и нижней части обода шкива, что вызывает интенсификацию лучистого теплообмена от нерабочей полированной поверхности составного шкива;

– кондуктивный теплообмен в сопряжениях «крепежный выступ шкива – фланец барабана» и «нижняя часть обода шкива – каркас камеры» способствует усилению принудительного воздушного охлаждения матовых и полированных поверхностей составного шкива;

– принудительное жидкостное охлаждение составного шкива является наиболее эффективным, поскольку термодинамическое состояние жидкости изменяется в зависимости от энергонагруженности шкива.

Выводы. Таким образом, произведена оценка теплового баланса составного тормозного шкива ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки при лучистом и сложном теплообмене, который необходимо учитывать при проектировании новых типов тормозных шкивов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кириллин В.А. Основы экспериментальной термодинамики / В.А. Кириллин, А.Е. Шейдлин – М. – Л.: Государственное энергетическое издательство, 1950. – 310 с.

2. Нестационарный теплообмен / В.К. Кошкин, Э.К. Калинин, Г.А. Дрейцер и др. – М.: Машиностроение, 1973. – 328 с.

3. Чуфус В.М. Энергонагруженность пар трения ленточно-колодочного тормоза при их воздушно-жидкостном охлаждении в буровой лебедке // Проблемы тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ. – 2017. – Вип. 1(74). – С. 35–47.

4. Патент РФ №2279579С2, МПК F16D 65/813. Способ нагревания и охлаждения тормозных шкивов ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок при оценке их теплового баланса / А. И. Вольченко, А.А. Петрик, Н.А. Вольченко, Д.А. Вольченко, П.Ф. Пургал, Л.И. Криштопа; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный технологический университет; заявл. 30.08.2004; опубл. 10.07.2006, Бюл. №19. – 9 с.

5. Проектный и проверочный расчет фрикционных узлов тормозов буровых лебедок / А.Х. Джанахмедов, Д.А. Вольченко, В.С. Скрыпник и др. – Баку: Апострофф, 2016. – 311 с.