

**Андрей Возный, Ирина Бекиш, Василий Вытвицкий
(Ивано-Франковск, Украина)**

ТЕОРИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТОРМОЗНЫХ ДИСКОВ С ОХЛАЖДЕНИЕМ ТИПА «МНОГОСТРУЙНЫЙ ЭЖЕКТОР» ДИСКОВО-КОЛОДОЧНОГО ТОРМОЗА

Введение. Повышение эффективности и надежности фрикционных узлов тормозных устройств неразрывно связано с поддержанием уровня их теплонагруженности, не превышающего допустимой температуры для материалов фрикционных накладок. Для решения данной проблемы необходимо принудительно или вынужденно охлаждать пары трения тормозов. Отечественной школой тормозостроителей разработан ряд конструкций и систем, работающих на нетрадиционных видах охлаждения. Одним из них является охлаждение многоструйными эжекторами, в которых в качестве рабочего тела может циркулировать сжатый воздух [1] или омывающие токи встречного потока воздуха.

Состояние проблемы. Известные системы охлаждения в составе ленточно-колодочного тормоза, которые интенсифицируют вынужденное воздушное охлаждение его рабочих поверхностей с помощью труб, установленных на торцах обода шкива, и которые выполнены с открытым и герметичным концами, а также с переменным профилем, имеющим больший диаметр сечения у открытого конца, а меньший – у герметичного конца [2]. Недостатком данной конструкции системы охлаждения является то, что поверхности трубы не принимают участие в теплообменных процессах.

Также известен охлаждаемый барабанно-колодочный тормоз, в котором установлены многоструйные эжектора с радиальными перегородками расположенными в полости основания и системой трубопроводов [3]. Недостатком данной конструкции системы охлаждения является то, что она работает на сжатом воздухе и ее эффективность не зависит от угловой скорости вращения тормозного барабана.

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

- принципы работы многоструйной эжекторной системы для вынужденного воздушного охлаждения пар трения дисково-колодочного тормоза;
- конструкция и работа многоструйной эжекторной системы охлаждения тормоза.

Принципы разработки многоструйной эжекторной системы для вынужденного воздушного охлаждения пар трения дисково-колодочного тормоза. Многоструйная система охлаждения представляет собой эжекторы, выполненные в виде конфузоров-диффузоров, которые установлены между собой на некотором расстоянии.

Охлаждение пар трения тормоза происходит следующим образом. Встречные потоки воздуха попадают во входной эжектор, имеющий наименьший диаметр, и согласно закону Бернулли воздух, находящийся в зазоре между парами трения, через щелевые отверстия засасывается через зазор между эжекторами в последующий эжектор. Ускоренная воздушная струя проходит далее сквозь второй эжектор, третий и так далее, повторяя процессы отсасывания воздуха из зазора между парами трения, способствуя тем самым их охлаждению. При этом из зоны трения удаляются продукты износа. Кроме того, применение охлаждающей системы интенсифицирует продольную циркуляцию воздуха в зазорах между парами трения барабанно- и ленточно-колодочного тормоза. В дисково-колодочном тормозе многоструйная система охлаждения может быть установлена непосредственно в тормозном диске.

Многэжекторная система охлаждения состоит из сопел Лавалля, которые являются расширяющимися. При этом давление сжатого воздуха на входе (P_1) и выходе (P_2) из сопла будет различным. Поэтому необходимо так организовать истечение сжатого воздуха через каждый эжектор, чтобы указанный перепад давлений был максимально использован для увеличения кинетической энергии истекающей струи, а потери на образование вихрей отсутствовали даже в тех случаях, когда $P_2/P_1 < \beta$, где β – коэффициент, величина которого определяется экспериментальным путем.

Размер наиболее узкого сечения сопла выбирается таким, чтобы для него при заданном начальном давлении требуемый расход (G , м³/с) являлся максимальным. За наиболее узким сечением сопло выполняют в виде расширяющегося конуса. Это обеспечивает постепенное расширение протекающего через него потока сжатого воздуха до тех пор, пока его давление не станет равным давлению сжатого воздуха, подпитанного дополнительным потоком из зазора между парами трения тормоза.

В основу расчета эжектора заложен принцип неразрывности потока сжатого воздуха, протекающего по каждому соплу. Соблюдение такого условия позволяет констатировать, что количество сжатого воздуха, протекающего через самое узкое сечение I–I (рис. 1), равно количеству воздуха, протекающего через самое широкое сечение II–II. Данное условие выражается следующим уравнением:

$$G = f_{\min} \omega_{\min} / v_{\min} = f \omega / v, \text{ м}^3/\text{с},$$

где f_{\min} , f – площади сечения эжектора в наиболее узком и широком месте; ω_{\min} , ω – скорости потока сжатого воздуха на входе и выходе из сопла; v_{\min} , v – удельный объем сжатого воздуха в минимальном сечении и на выходе из сопла.

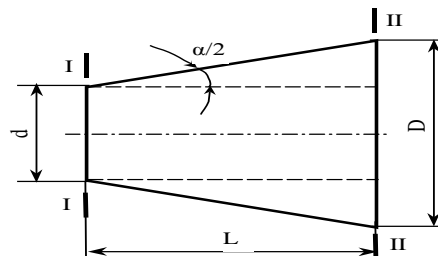


Рисунок 1 – Расчетная схема сопла

После определения f_{\min} и f можно найти соответствующие им диаметры

$$d = \sqrt{4f_{\min} / \pi}, \text{ м}; \quad D = \sqrt{4f / \pi}, \text{ м}.$$

Длина сопла L (см. рис. 1) определяется из условия $L = D - d / (2 \operatorname{tg} \alpha / 2)$, м.

При этом угол α , т. е. угол между образующими конуса выбирают так, чтобы он во избежание отрыва струи от стенок сопла не превышал 12°.

Что касается величины зазоров между многоструйными эжекторами системы, то они должны быть такими, чтобы исключить непроизводительные количественные потери сжатого воздуха и одновременно обеспечить эффективный подсос воздуха из зазора между парами трения тормоза через щелевые отверстия в его фрикционных узлах.

Конструкция и работа многоструйной эжекторной системы охлаждения тормоза.

Многоструйная эжекторная система охлаждения дисково-колодочного тормоза имеет свои особенности в конструктивном плане, а также в реализуемом способе охлаждения внутренних полостей тормозных дисков. Система охлаждения типа «многоструйный эжектор» узлов трения дисково-колодочного тормоза осуществляется эжектированием циркулирующего воздуха в левых и правых окружных каналах переменного сечения, выполненных в теле дисков с взаимно противоположными конструктивными параметрами, и соединенных через теплоизоляционную прокладку с помощью сопел диффузорного типа, а наружные поверхности окружных каналов соединены с поперечными щелями беговых дорожек трения, которая реализуется способом охлаждения дисково-колодочного тормоза, осуществляемым с помощью многоструйных эжекторов и заключается в том, что скоростные потоки циркулирующего воздуха с переменными термодинамическими параметрами на пути следования от заборных до выпускных отверстий левого и правого тормозных дисков при прохождении потоков воздуха через заборные отверстия попадают в окружные каналы переменного сечения левого и правого тормозных дисков, соединенных между собой соплами диффузорного типа с помощью мгновенных процессов «расширение – сжатие» и «сжатие – расширение», а также за счет подсоса потоков воздуха через поперечные щели беговых дорожек трения дисков, что способствует резкому «увеличению – уменьшению» скорости движения потоков воздуха за счет перепада давления по длине окружных каналов, что вызывает интенсификацию вынужденного охлаждения тела левого и правого дисков, а следовательно, пар трения тормоза; после чего омывающий теплый воздух выходит через отводные отверстия в окружающую среду.

Способ охлаждения дисково-колодочного тормоза, осуществляемый с помощью многоструйных эжекторов (см. рис. 2 а, б, в, г, д) осуществляется двумя режимами.

Первый режим охлаждения реализуется следующим образом. Для интенсивного рассеивания аккумулируемой теплоты в поверхностных и приповерхностных слоях беговой дорожки трения тормозных дисков 4 и 5 при фрикционном взаимодействии с рабочими поверхностями накладок 3 колодок при вращении составного диска 1, воздух захватываемый заборными отверстиями 8 попадает в окружные каналы 11 и 12 переменного сечения, в частях которых он расширяется и сжимается. Выполнение окружных каналов 11 и 12 переменного сечения с взаимно противоположными конструктивными параметрами способствует увеличению скорости движения воздуха в них за счет перепада давления по их длине. При этом каналы 11 и 12 соединены между собой по их периметру соплами 13 и 14 диффузорного типа, которые вызывают мгновенные процессы «расширение – сжатие» и «сжатие – расширение». Последовательное перекрытие рабочей поверхностью накладок 3 щелей 10 беговых дорожек трения дисков 4 и 5 способствует пульсации скорости движущего воздуха на данном участке каналов 11 и 12. В это время происходит подсос воздуха окружающей среды через неперекрываемые щели 10 беговых дорожек трения левого 4 и правого 5 дисков в каналы 11 и 12.

Второй режим охлаждения реализуется при разомкнутых парах трения тормоза, когда все щели 10 беговых дорожек трения левого 4 и правого 5 дисков открыты и большее количество объема воздуха попадает в каналы 11 и 12, способствуя тем самым вынужденному охлаждению их тел.

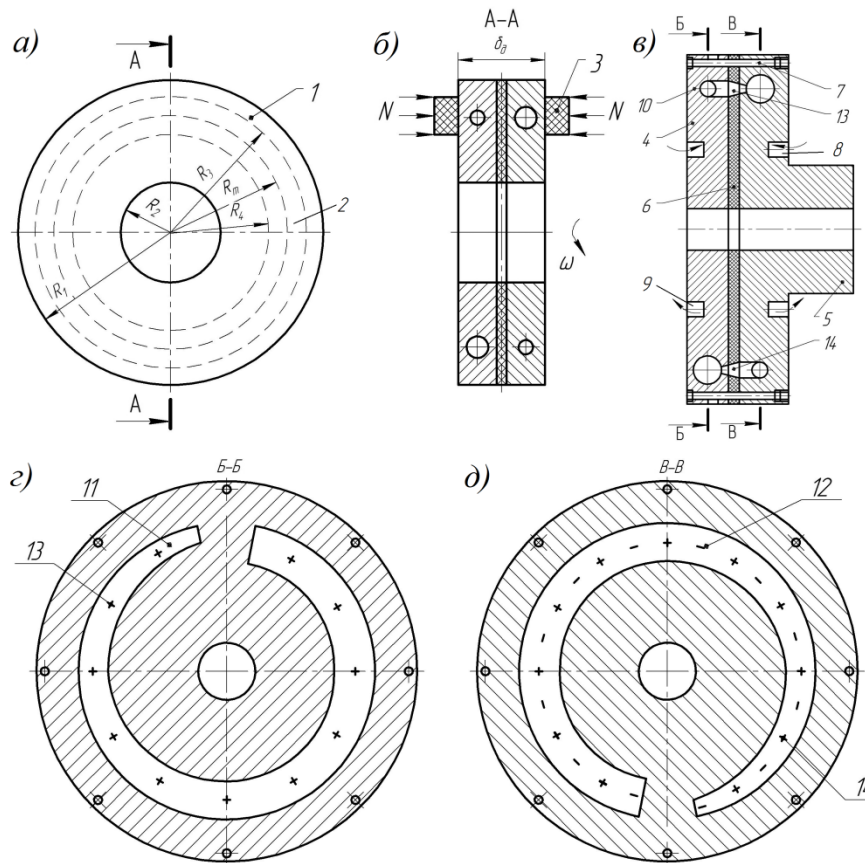


Рисунок 2 а, б, в, г, д – Продольный вид пары трения дисково-колодочного тормоза (а) и ее поперечный разрез по А-А (б); тормозной диск с системой охлаждения многоструйных эжекторов со ступицей (без болтового крепления его составляющих и поперечных щелей на его беговых дорожках трения) (в) и его поперечные разрезы по Б-Б (г) и В-В (д), соответственно, левого и правого тормозных дисков с окружным каналом переменного сечения с соплами на их боковых внутренних поверхностях: 1, 2, 3 – тормозной диск с беговой дорожкой трения и фрикционными накладками; 4, 5, 6 – левый и правый тормозные диски с теплоизоляционной прокладкой; 7 – болтовые соединения; 8, 9 – заборные и отводные отверстия; 10, 11, 12 – поперечные щели и окружные каналы левого и правого дисков; 13, 14 – сопла диффузорного типа; N – нормальное прижимное усилие; ω – угловая скорость диска; R_1 , R_2 – внешний и внутренний радиусы тормозного диска; R_3 , R_4 , R_m – радиусы беговой дорожки трения диска: максимальный, минимальный и средний; δ_d – толщина диска

При этом на первом и втором режимах охлаждения, соответственно, при замкнутом, так и при разомкнутом тормозе происходит интенсификация вынужденного снижения объемной температуры левого 4 и правого 5 дисков за счет циркуляции воздуха в каналах 11 и 12 и его подсоса через щели 1 в их полости. После чего омывающий теплый воздух выходит через отводные отверстия 9 дисков 4 и 5.

Выводы. Таким образом, интенсивность вынужденного воздушного охлаждения с помощью эффекта «многоструйного эжектора», которая пропорциональна частоте вращения составного диска тормоза, позволяет снизить его энергонагруженность и повысить долговечность пар трения тормоза.

Литература:

1. Проектный и проверочный расчет фрикционных узлов барабанно- и дисково-колодочных тормозов транспортных средств. Стандарт / А. И. Вольченко, Н. А. Вольченко, А. В. Возный и др. – Баку: Апострофф. 2016. – С. 36-37.
2. А.с. СССР № 1467278 А1, кл. F16D 65/813. Ленточный тормоз / А. И. Вольченко, Д. А. Вольченко, Л. Н. Князев и др.; заявитель Ивано-Франковский ин-т нефти и газа. - №4255121/27; заявл. 23.04.1987; опубл. 23.03.1989. Бюл. №11. – 3 с.
3. А.с. СССР № 1705640 А1, кл. F16D 65/80. Охлаждаемый барабанно-колодочный тормоз / А. И. Вольченко, Д. А. Вольченко, Н. Т. Масляк и др.; заявитель Ивано-Франковский ин-т нефти и газа. - №4777301/27; заявл. 03.01.1990; опубл. 15.01.1992. Бюл. №2. – 3 с.