

УДК 629-413-592.112

Д. А. ВОЛЬЧЕНКО¹, А. В. ВОЗНЫЙ¹, М. В. КАШУБА², О. Б. СТАДНЫЙ¹,
В. С. ВИТВИЦКИЙ¹

¹Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина

²Надворнянский колледж Национального транспортного университета, Украина

ЭНЕРГОНАГРУЖЕННОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ДИСКОВ В ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВАХ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН (ЧАСТЬ ВТОРАЯ)

В материалах статьи приведено конструкцию и принцип работы дисково-колодочного тормоза с многоструйной эжекторной системой охлаждения с учетом требований и условий для ее работоспособности.

Ключевые слова: дисково-колодочный тормоз, цельный и самовентилируемый тормозной диск, вынужденное воздушное охлаждение, многоструйная эжекторная система охлаждения, диффузоры.

Введение. В первой части материалов статьи приведены: системный анализ конструкций различных типов тормозных дисков; компоновочные схемы колодок с накладками по отношению к радиусам их расположения на цельном тормозном диске; энергетический баланс потока воздуха, омывающего элементы «начинки» в полости самовентилируемого диска

Состояние проблемы. Безаварийная и безопасная работа подъемно-транспортных машин во многом зависит от надежной работы пар трения тормозных устройств. Опыт эксплуатации последних показал, что износ-фрикционные характеристики материалов пары трения зависят, главным образом, от их теплового режима, и прежде всего, от степени нагревания поверхностных и приповерхностных слоев трущихся материалов. Создание более эффективных подъемно-транспортных машин и обладающих единичной мощностью влечет за собой повышение энергонагруженности пар трения тормозных устройств, установленных на них, а значит, и нагревания элементов фрикционной пары при этом повышается.

Рассмотрим конструктивные особенности систем охлаждения, работающих на эффекте многоструйного эжектора в современных тормозных устройствах. Назначение систем охлаждения – повышение долговечности пар трения путем интенсификации их вынужденного воздушного охлаждения в зависимости от частоты вращения металлического фрикционного элемента.

Известен ленточно-колодочный тормоз, в котором подводящие окружающий воздух к парам трения тормоза трубы установлены на торцах обода и выполнены с открытым и герметичным концами. При этом они имеют переменный профиль, имеющий больший диаметр сечения у открытого конца, а меньший – у герметичного конца, а раздаточные сопла выполнены с постоянным сечением по своей длине. Кроме того, сечения смежных сопел выполнены дискретно увеличивающимися от открытого конца трубы к герметичному концу и направлены на поверхность трения обода шкива [1].

Недостатком данной конструкции системы охлаждения является то, что поверхности трубы не принимают участие в теплообменных процессах.

Известен охлаждаемый барабанно-колодочный тормоз, в котором в колодках установлены многоструйные эжектора, которые снабжены радиальными перего-

родками, расположенными в полости их основания. Система имеет трубопроводы, соединенные с узлами воздушной системы охлаждения; при этом последние выполнены в виде закрепленного в радиальных перегородках многоструйного эжектора с соплами различного диаметра увеличивающегося от входа охлаждающего воздуха в эжектор к выходу, причем сквозные отверстия в основании колодок и фрикционных накладках сообщены с зазорами между соплами, что позволяет производить отсос теплого воздуха из зазора между парами трения тормоза [2].

Недостатком 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:

- требования и условия, обеспечивающие работоспособное состояние многоструйной эжекторной системы охлаждения;
- конструкция и работа многоструйной эжекторной системы охлаждения пар трения дисково-колодочного тормоза.

Цель работы – улучшение износо-фрикционных свойств пар трения дисково-колодочного тормоза путем снижения их энергонагруженности.

Требования и условия, обеспечивающие работоспособное состояние многоструйной эжекторной системы охлаждения. Прежде чем приступить к условиям разработки многоструйной эжекторной системы охлаждения пар трения дисково-колодочного тормоза подъемно-транспортной машины на колесном ходу сформулируем требования, предъявляемые непосредственно к системе:

- конструкция системы должна вписываться в строительный объем серийного тормозного диска;
- тормозной диск должен быть разделен на две части – левый диск и правый диск со ступицей; при этом в теле каждого из них выполнена независимая система воздушного охлаждения;
- левый диск от правого диска должен быть отделен теплоизоляционной прокладкой;
- независимые системы воздушного охлаждения через теплоизоляционную прокладку в верхней и в нижней части дисков соединены между собой сопловыми отверстиями диффузорного типа;
- выполненные в теле тормозных дисков цилиндрических и сопловых отверстий, щелей прямоугольной формы, а также кольцевых каналов, которые должны быть таких конструктивных размеров, чтобы они не снижали прочность и жесткость составного тормозного диска;
- многоструйные эжекторные системы воздушного типа должны иметь такую эффективность, чтобы на беговой дорожке трения составного диска не развивались температуры выше допустимой для материалов фрикционных накладок;
- данная система воздушного типа по наружных поверхностях тормозных дисков должна обеспечить минимальный температурный градиент, и как следствие, минимальные температурные напряжения.

Условия работоспособного состояния многоструйной эжекторной системы оцениваются эффективностью охлаждения беговых дорожек трения составного тормозного диска и ее коэффициентом полезного действия [3], но при этом необходимо учитывать:

– в процессе перехода от предыдущего до последующего элемента многоструйной эжекторной системы охлаждения значения коэффициента инжекции и расход смешанного потока воздуха в зависимости от тормозного режима или свободного вращения составного диска может уменьшаться так и увеличиваться, в результате чего получаем «уменьшение-увеличение» расхода инжектированных потоков воздуха;

– определение расхода воздуха в многоэжекторной системе охлаждения от которого зависит энергонагруженность беговых дорожек трения составного тормозного диска заключается в нахождении взаимной связи между расходами смешанного (инжектированного) потока воздуха в элементах системы и рабочего потока воздуха на входе в нее с учетом количества и конструктивных размеров диффузорно-конфузорных элементов: диаметра минимального сечения и соотношения диаметров входного к выходному сечению;

– нахождение оптимальной зависимости максимального коэффициента полезного действия от основных конструктивных параметров элементов системы и термодинамических параметров инжектированных потоков воздуха.

При разработке методики расчета многоэжекторной системы охлаждения необходимо принять следующие допущения:

– влиянием интерференции элементов системы является несущественным;

– общие гидравлические потери определяются суммой потерь в каждом элементе;

– линейные гидравлические потери в цилиндрических и сопловых отверстиях, в прямоугольных щелях, а также кольцевых каналах переменного сечения, являющиеся своего рода диффузорами и конфузорами, являются незначительными и ими пренебрегаем;

– коэффициент линейного трения равен нулю.

Конструкция и работа многоструйной эжекторной системы охлаждения пар трения дисково-колодочного тормоза. Остановимся на особенностях конструкции и эффективности охлаждения многоструйной эжекторной системы, смонтированной в тормозной диск.

На рис. 1 показан общий вид дисково-колодочного тормоза; на рис. 2 показан продольный вид пары трения тормоза (*a*) и ее поперечный разрез по А–А (*б*); на рис. 3 проиллюстрирован тормозной диск со ступицей (без болтового крепления его составляющих и поперечных щелей на его беговых дорожках трения); на рис. 4 представлен составной тормозной диск; на рис. 5 разрез по Б–Б и В–В продольного вида левой (*a*) и правой (*б*) части составного тормозного диска с окружающими каналами переменного сечения с соплами на их боковых внутренних поверхностях.

На рис. 2 использованы следующие обозначения: 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_0 – толщина диска.

Дисково-колодочный тормоз содержит составной тормозной диск *1* в суппорте *2* которого находятся фрикционные накладки *3* на тормозных колодках (на рис. 1 не показаны). В свою очередь, тормозной диск *1* состоит из левого диска *4* и правого диска со ступицей *5*. Между дисками *4* и *5* расположена

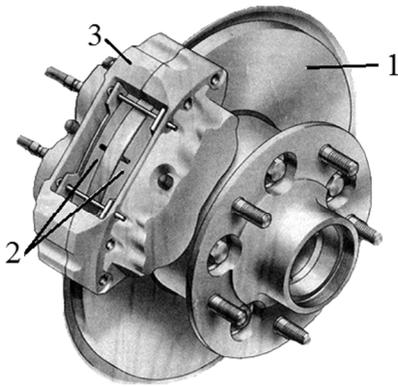


Рис. 1. Дисково-колодочный тормоз подъемно-транспортной машины на колесном ходу:
1 – составной тормозной диск;
2 – суппорт тормоза; 3 – фрикционные накладки тормозных колодок

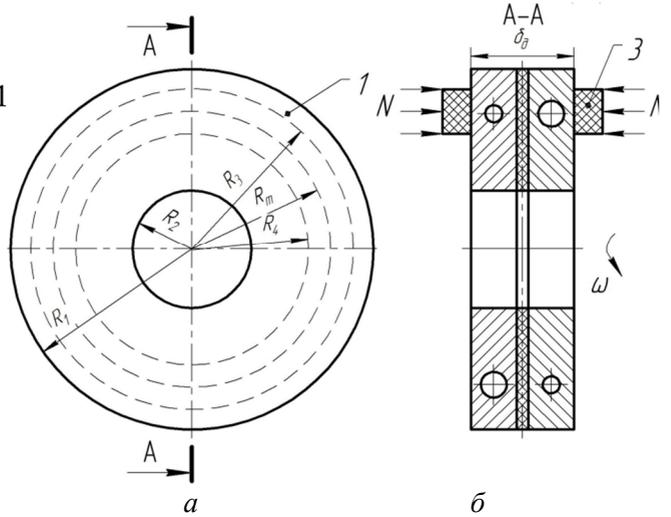


Рис. 2. Продольный вид пары трения тормоза (а) и ее поперечный разрез по А-А (б) с обозначением конструктивных параметров составного тормозного диска

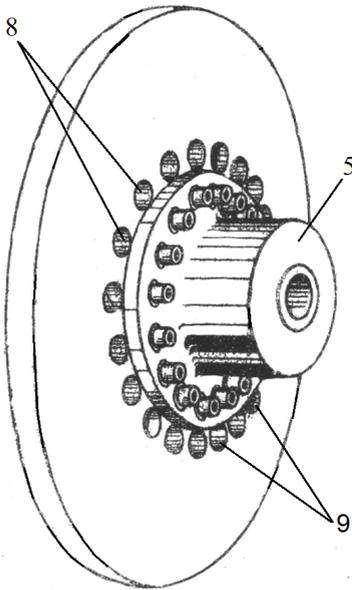


Рис. 3. Составной тормозной диск со ступицей: 5 – ступица диска; 8, 9 – заборные и отводные отверстия для воздуха

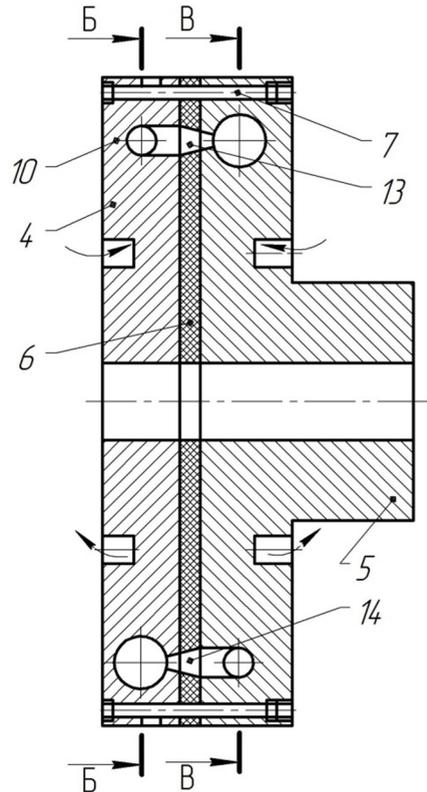


Рис. 4. Продольный разрез составного тормозного диска: 4, 5 – части диска: левая; правая со ступицей; 6 – теплоизоляционная прокладка; 7 – болтовое соединение; 10 – поперечные щели; 13, 14 – сопла диффузорного типа

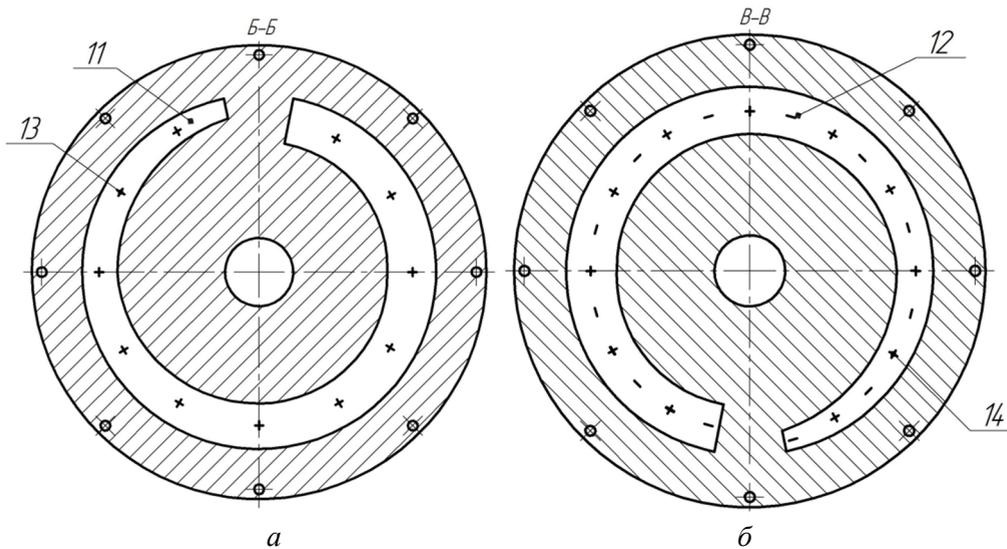


Рис. 5. Поперечные разрезы по *Б-Б* и *В-В* продольного вида составного тормозного диска: 11, 12 – окружные каналы переменного сечения; 13 – сопла диффузорного типа

теплоизоляционная прокладка 6. Диски 4 и 5 через прокладку 6 связаны между собой болтовым соединением 7. В левом 4 и в правом 5 диске над ступицей на одном уровне по окружности выполнены заборные отверстия 8, а под ступицей – отводные отверстия 9. На беговой дорожке трения дисков 4 и 5 выполнены по ее периметру поперечные щели 10 которые с двух сторон соединены с наружными поверхностями окружных каналов 11 и 12 переменного сечения, которые расположены в теле дисков 4 и 5. Каналы 11 и 12 на полуокружности π соединены между собой соплами 13 диффузорного типа, которые проходят через теплоизоляционную прокладку 6. В то же время на полуокружности π каналы 11 и 12 соединены между собой соплами 14 диффузорного типа, простирающихся также через теплоизоляционную прокладку 6. При этом поперечные щели 10 дисков 4 и 5 расположены посередине между соплами 13 и 14 диффузорного типа.

Разделение составного диска 1 на два связано с тем, что быстрее происходит прогрев их тела при одностороннем подводе теплоты при торможении тормозом подъемно-транспортной машины. Это способствует уменьшению поверхностных и глубинных температурных градиентов левого 4 и правого 5 дисков и, как следствие, снижению термонапряжений.

Дисково-колодочный тормоз с системой охлаждения типа «многоструйный эжектор» работает следующим образом. При фрикционном взаимодействии с вращающимся составным тормозным диском 1 с неподвижными рабочими поверхностями накладок 3 тормозных колодок на беговой дорожке трения дисков 4 и 5 под воздействием нормальных прижимных усилий N генерируются электрические и аккумулируются тепловые токи на рабочих поверхностях пар трения тормоза в зависимости от режимов торможения и скорости вращения составного тормозного диска 1. Охлаждение пар трения тормоза, в частности, беговой дорожки трения левого 4 и правого 5 тормозных дисков с помощью эффекта «многоструйного эжектора» позволяет получать холодные слои воздушных потоков с различными термодинамическими параметрами. Охлаждение беговых дорожек трения левого 4 и правого 5 тормозных дисков, а вместе с ними и

пар трения тормоза позволит предотвратить достижение рабочей поверхностью накладки 3 допустимой температуры для ее фрикционных материалов, и как следствие, улучшить износо-фрикционные свойства пар трения.

В устройстве левого тормозного диска 4 входят: заборные отверстия 9, окружной канал 11 переменного сечения (меньшего в верхней части диска и большего в его нижней части), отводные отверстия 9. В устройство правого тормозного диска 5 входят: заборные отверстия 8, окружной канал 12 переменного сечения (большего в верхней части диска и меньшего в его нижней части), отводные отверстия 9. При этом в верхней части дисков 4 и 5 канал 11 соединен с каналом 12 на полуокружности π с помощью сопел 13 диффузионного типа, а в нижней их части канал 12 соединен с каналом 11 на полуокружности π с помощью сопел 14 диффузионного типа. Кроме того, каналы 11 и 12 соединены с окружающим воздухом с помощью поперечных щелей 10, расположенных на беговой дорожке трения дисков 4 и 5. При этом поперечные щели 10 дисков 4 и 5 находятся посередине между соплами 13 и 14 диффузорного типа. В процессе торможения поперечные щели 10 беговых дорожек трения дисков 4 и 5 последовательно перекрываются рабочими поверхностями накладок 3 колодок, уменьшая тем самым приток воздуха окружающей среды в каналы 11 и 12.

Проследим за скоростными токами циркулирующего воздуха в системе охлаждения на пути следования от заборных 8 и до отводных 9 отверстий левого 4 и правого 5 дисков, а также за процессами, которые присущи токам потоков встречного воздуха при движении автотранспортного средства.

Способ охлаждения дисково-колодочного тормоза, осуществляемый с помощью многоструйных эжекторов 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 взаимопротивоположными 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.

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» позволяет снизить энергонагруженность дисково-колодочного тормоза и тем самым улучшить износ-фрикционные свойства пар терния тормоза.

Список литературы

1. 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. – 3с.
2. 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. – 3с.
3. Проектный и проверочный расчет фрикционных узлов барабанно- и дисково-колодочных тормозов транспортных средств / А.Х. Джанахмедов, А.И. Вольченко, А.В. Возный [и др.]. – Баку: Апострофф, 2016. – 366 с.

Стаття надійшла до редакції 07.10.2017

*Д. О. ВОЛЬЧЕНКО, А. В. ВОЗНИЙ, М. В. КАШУБА, О. Б. СТАДНИК,
В. С. ВИТВИЦЬКИЙ*

ЕНЕРГОНАВАНТАЖЕНІСТЬ РІЗНИХ ТИПІВ ДИСКІВ У ГАЛЬМІВНИХ ПРИБОРАХ ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИН (ЧАСТИНА ДРУГА)

У матеріалах статті наведено конструкцію і принцип роботи дисково-колодкового гальма з багатоструменевою ежекторною системою охолодження з урахуванням вимог і умов для її працездатності.

Ключові слова: дисково-колодкові гальма, суцільний і самовентильований гальмівний диск, вимушене повітряне охолодження, багатоструменева ежекторна система охолодження, дифузори.

Вольченко Дмитрій Александрович – доктор техн. наук, професор кафедри розробки і експлуатації нафтегазових местороджень, Ивано-Франковский національний технічний університет нафти і газу, ул. Карпатська, 15, г. Ивано-Франковск, Україна, 76019, тел.: +38 0342 72 71 41, E-mail: vol21@ukr.net.

Возный Андрей Владимирович – канд. техн. наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института нефтегазовой энергетики и экологии, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019, E-mail: anarki1@i.ua.

Кашуба Николай Васильевич – канд. техн. наук, преподаватель высшей категории, Надворнянский колледж Национального транспортного университета, ул. Соборная, 177, г. Надворная, Ивано-Франковская обл., 78400, тел.: +38034752 0322, E-mail: ncntu@ukr.net

Стадник Олег Богданович – аспирант кафедры механики машин, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019, тел.: +38 0342 72 71 47, E-mail: mechmach@nung.edu.ua.

Витвицкий Василий Степанович – аспирант кафедры механики машин, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, 76019, тел.: +38 0342 72 71 47, E-mail: vytvytskyi.v.s@gmail.com.

D. O. VOLCHENKO, A. V. VOZNYI, M. V. KASHUBA, O. B. STADNYK, V. S. VYTVYTSKYI

ENERGYLOADING OF VARIOUS TYPES OF DISCS IN BRAKE DEVICES OF LIFTING AND TRANSPORTING MACHINES (PART TWO)

The accident-free and safe operation of lifting and transporting machines largely depends on the reliable operation of the friction pairs of brake devices. The experience of operating has showed that the wear-friction characteristics of the friction pairs materials depend mainly on their thermal regime, and primarily on the degree of heating of the surface and near-surface layers of the friction materials. The creation of more efficient lifting and transporting machines with unit capacity increase the energyloading of the friction pairs of the brake devices installed on them, which means that the heating of the elements of the friction pair increases at the same time.

In this publication, the following issues are considered in relation to the problem being solved: requirements and conditions that ensure the operable state of a multi-jet ejector cooling system; design and operation of a multi-jet ejector cooling system for friction pairs of the disk brake. The aim of the work was to improve the wear-frictional properties of friction pairs of the disk brakes by reducing their energyloading.

Key words: disk brake, solid and self-ventilated brake disc, forced air cooling, multi-jet ejector cooling system, diffusers.

References

1. A.s. SSSR №1467278 A1. kl. F16D 65/813. Lentochnyy tormoz / A.I. Volchenko, D.A. Volchenko. L.N. Knyazev i dr. zayavitel Ivano-Frankovskiy in-t nefti i gaza. - №4255121/27; zayavl. 23.04.1987; opubl. 23.03.1989. Byul. №11. – 3s.
2. A.s. SSSR №1705640 A1. kl. F16D 65/80. Okhlazhdayemyy barabanno-kolodochnyy tormoz / A.I. Volchenko, D.A. Volchenko, N.T. Maslyak i dr. zayavitel Ivano-Frankovskiy in-t nefti i gaza. - №4777301/27; zayavl. 03.01.1990; opubl. 15.01.1992. Byul. №2. – 3s.
3. Proektnyy i proverochnyy raschet friksionnyih uzlov barabanno- i diskovo-kolodochnyih tormozov transportnyih sredstv / A.H. Dzhanahmedov, A.I. Volchenko, A.V. Voznyiy [i dr.]. – Baku: Apostroff, 2016. – 366 s.