

УДК 629.4.077 : 629.4.087

## Железнодорожный дисковый тормоз с термоизолированными узлами трения, содержащими материалы с различными фрикционными свойствами

Д. С. Кривошея

Донецкий институт железнодорожного транспорта, Донецкая Народная Республика, 283018, Донецк, ул. Горная, 6

**Для цитирования:** *Кривошея Д. С.* Железнодорожный дисковый тормоз с термоизолированными узлами трения, содержащими материалы с различными фрикционными свойствами // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2023. — Т. 20. — Вып. 2. — С. 457–462. DOI: 10.20295/1815-588X-2023-2-457-462

### Аннотация

**Цель:** Описание конструкции дискового тормоза с термоизолированными узлами трения и особенностей его изготовления. **Методы:** Анализ свойств фрикционных материалов для узлов трения железнодорожного дискового тормоза. **Результаты:** Предложена конструкция дискового тормоза с термоизолированными узлами трения, характерной особенностью которого является термоизоляция узлов трения А и В друг от друга. Кроме того, в узлах трения — тормозных дисках и тормозных накладках — используются разные фрикционные материалы. Основной принцип функционирования дискового тормоза заключается в компенсации силы трения узла трения А в условиях низких температур, в котором размещен фрикционный материал на основе углерода. Приведены особенности изготовления тормоза. Отмечается, что рекомендованным материалом для термоизолированных рабочих деталей дискового тормоза является хризотил-асбест. Этот материал имеет низкую теплопроводность и приемлемую стоимость. Клеевые соединения при термоизоляции тормозных дисков рекомендуется осуществлять на основе клея АВРО ТМ-185. **Практическая значимость:** Описаны конструкция и особенности изготовления дискового тормоза с термоизолированными узлами трения, а также определены наилучшие фрикционные материалы для него. Результаты исследования могут быть использованы в специализированных и локомотивостроительных предприятиях с целью устранения существующих недостатков, касающихся характеристик трения применяемых фрикционных материалов, а также сокращения издержек на изготовление дискового тормоза на основе углерода.

**Ключевые слова:** Дисковый тормоз, узел трения, термоизолирующий элемент, фрикционные материалы, коэффициент трения, углерод, асбест, теплопроводность, температура применения.

### Введение

В настоящее время еще не решен вопрос оптимального соотношения цены и конструктивных особенностей углеродного дискового тормоза для железнодорожного подвижного состава. Главный недостаток углеродного тормоза — его стоимость. Углерод является дорогим фрикционным материалом. Стоимость одного комплекта тормозного оборудования для автомобиля составляет до 16

тысяч евро [1], а технология его изготовления имеет продолжительность более 7 месяцев.

Кроме стоимости, еще одним недостатком углерода является низкий коэффициент трения в условиях холодного времени года, когда коэффициент трения становится на уровне 0,1 и ниже [2].

Одним из путей снижения стоимости углеродного тормоза является сокращение расхода углерода на единицу тормозного оборудования.

Такую возможность реализует дисковый тормоз с термоизолированными узлами трения при сохранении достаточно высоких тормозных качеств дискового тормоза.

### Описание конструкции нового тормоза

Конструкция углеродного тормоза с двумя термоизолированными узлами трения, содержащими материалы с различными фрикционными свойствами, представлена на рис. 1 [3].

Тормозной диск 4 и тормозная накладка 2 образуют узел трения *A*. Тормозной диск 6 и тормозная накладка 3 образуют узел трения *B*. Узлы трения *A* и *B* изолированы между собой термоизоляционным элементом 5. Тормозные диски 4 и 6 обладают разными фрикционными свойствами (изготовлены из разных материалов) и присоединяются к ступице с помощью болтового соединения, которое также термоизолируется.

Материалы для узлов трения *A* и *B* подбираются по принципу физической совместимости материалов [4], которая определяется по критериям максимального коэффициента трения и минимальной интенсивности изнашивания.

Главный принцип определения фрикционных материалов для узлов трения дискового тормоза состоит в следующем. Для одного узла трения (например, *A*) определяют углеродные фрикционные материалы, которые обладают высокими характеристиками трения при высоких рабочих температурах торможения (углерод), а для другого узла трения (*B*) — фрикционные материалы, имеющие высокие характеристики при более низких температурах (например, чугун, сталь и т. п.).

В условиях, когда рабочая температура узла трения может превысить уровень температуры, обусловленный природными свойствами материалов, предусмотрена возможность корректировать температуру (на стадии конструирования дискового тормоза) за счет коэффициента взаимного перекрытия согласно известной закономерности,

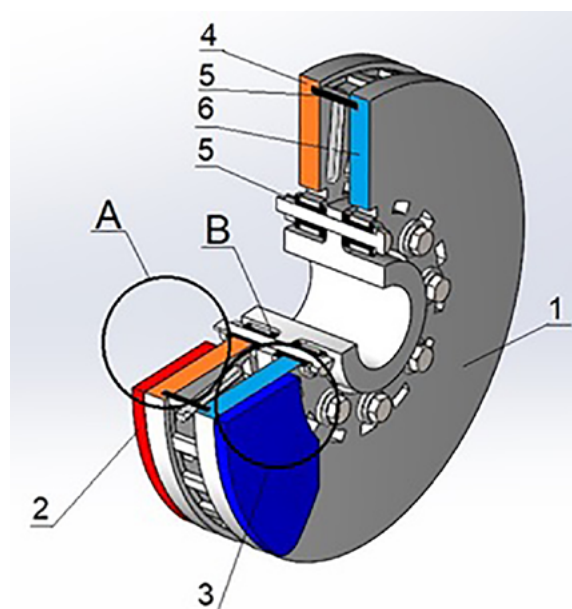


Рис. 1. Общий вид дискового тормоза с термоизолированными узлами трения, содержащими материалы с различными фрикционными свойствами:

- A* — первый узел трения; *B* — второй узел трения; 1 — рабочая поверхность тормозного диска (узел трения *B*);
- 2 — тормозная накладка (узел трения *A*);
- 3 — тормозная накладка (узел трения *B*);
- 4 — тормозной диск (узел трения *A*);
- 5 — термоизоляционный элемент;
- 6 — тормозной диск (узел трения *B*)

ности, по которой уменьшение коэффициента взаимного перекрытия приводит к соответствующему уменьшению температуры [5].

Дисковый тормоз работает следующим образом [3]. При торможении элементы узлов трения *A* и *B* начинают одновременно взаимодействовать. Узел трения *A*, сформированный из материалов на основе углерода, который обладает высокими характеристиками трения при высоких температурах (300 °С и более), работает в режиме разогрева и постепенно увеличивает силу трения. Узел трения *B*, сформированный из фрикционных материалов, обладающих высокими характеристиками трения при более низких температурах по сравнению с узлом трения *A*, реализует максимальную силу трения. При достижении

температуры 300 °С и выше наблюдается перераспределение участия узлов трения в процессе торможения. Узел трения *A* реализует максимальную силу трения при торможении, а узел трения *B* уменьшает свое участие в торможении, и поэтому дальнейший рост температуры замедляется и становится адекватной той части работы, которую выполняет узел трения *B*.

Предлагаемая конструкция и принцип определения фрикционных материалов дискового тормоза позволяют устранить недостатки фрикционных материалов на основе композиций из углерода, обладающих высокими характеристиками трения при торможении в условиях высоких температур (300–1000 °С), но имеющих неприемлемые значения при более низких температурах.

### Особенности изготовления нового тормоза

При изготовлении дискового тормоза с термоизолированными узлами трения используются детали, широко применяющиеся в машиностроении. Исключением является тормозной диск на основе углерода, который изготавливается на специализированном предприятии.

Если фрикционный материал не обладает достаточной жесткостью для того, чтобы из него можно было изготовить тормозной диск, тогда по периметру тормозного диска прокладываются специальные элементы, которые обладают термоизоляционной способностью и достаточной механической прочностью. На рис. 2. представлен термоизолирующий элемент.

Определенную проблему представляет собой термоизоляция узлов трения. Высокая температура, которая реализуется при торможении подвижного состава (до 1000 и более °С), требует применения современных материалов. Термоизоляция внутренней вентилируемой поверхности дискового тормоза осуществляется за счет атмосферного воздуха. Поток воздуха, проходящий между тормозными дисками, термоизолирует их. В

случае недостаточного термоизоляции на внутреннюю поверхность тормозного диска приклеивают слой термоизоляционного материала.

Термоизоляция контактирующих поверхностей осуществляется за счет асбеста. Асбест относится к группе минералов неметаллического типа и является хорошим термоизоляционным материалом, широко применяющимся в машиностроении и строительстве. Асбест — это общее название ряда тонковолокнистых минералов из класса силикатов. Различают два вида основных асбестов: амфиболовый и хризотилвый [6].

Химическая формула амфибол-асбеста  $(\text{Na}_2\text{Fe}_3^{2+}\text{Fe}_2^{3+})\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ . Амфибол-асбест является кислотостойким силикатом железа, канцерогеном, на субмикроруровне имеет форму острых иголок, которые, попадая в легкие, травмируют ткани и практически не выводятся из организма. Поэтому был принят запрет на использование амфибол-асбеста в машиностроении и строительстве. Строение амфибол-асбеста приведено на рис. 3 [6].

Химическая формула хризотил-асбеста  $3\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Хризотил-асбест является сили-

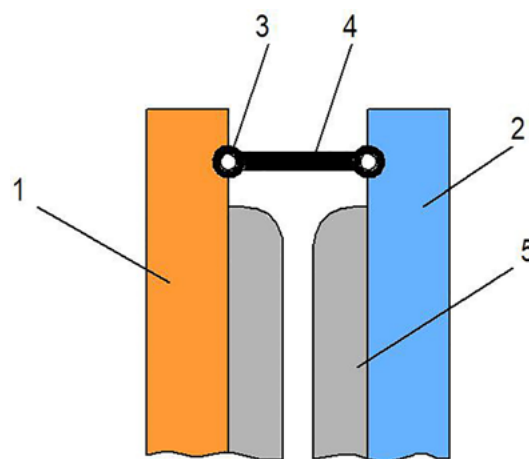


Рис. 2. Термоизолирующий элемент:  
 1 — тормозной диск узла трения *A*;  
 2 — тормозной диск узла трения *B*;  
 3 — термоизоляционный слой;  
 4 — термоизолирующий элемент;  
 5 — направляющие для организации вентилирования внутренней полости тормоза

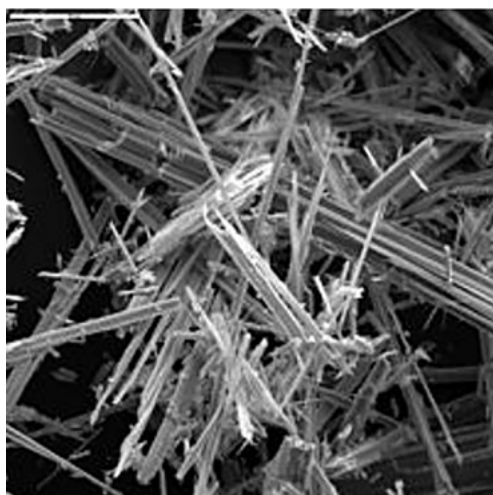


Рис. 3. Строение амфибол-асбеста на субмикрорурвне

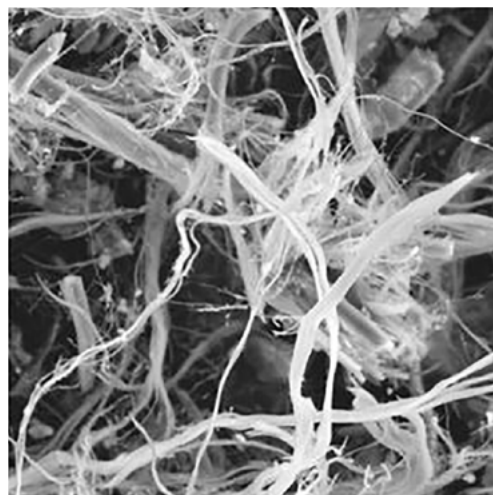


Рис. 4. Строение хризотил-асбеста на субмикрорурвне

ТАБЛИЦА 1. Свойства лучших термоизолирующих материалов

Наименование характеристики	Хризотил-асбест	isoGLAS 550	isoTherm 800	isoTherm 1000
Наличие вредных веществ	+	–	–	–
Температура применения, °С	1450–1500	550	800	1000-1050
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К)	0,05–0,07	0,13	0,09	0,092
Прочность на разрыв, Н	3000	1300	3000	3200
Масса 1 м <sup>2</sup> при толщине 1,8 мм	1050	1050	1150	1180
Потеря массы при прокаливании, %	27,0	7,0	7,0	5,0
Наличие горючих веществ	13,5	–	–	–

катом магния и на субмикрорурвне имеет форму мягких шелковистых волокон. Согласно последним исследованиям хризотил-асбест не наносит вред здоровью при контролируемом его использовании и выводится из организма в течение месяца. Строение хризотил-асбеста приведено на рис. 4 [6, 7].

Хризотил-асбест обладает минимальной теплопроводностью, высокой прочностью на разрыв волокон, не выделяет при нагревании опасных для организма человека веществ и, что не мало-важно, имеет приемлемую стоимость. Хризотил-асбест является композиционным материалом: на 90 % он состоит из портландцемента и 10 % приходится на долю хризотил-асбеста.

В табл. 1 сведены свойства лучших по теплопроводности современных теплоизоляционных материалов [6–8].

Из приведенной таблицы следует, что лучшим термоизоляционным материалом является хризотил-асбест. По характеристикам теплопроводности и температуры применения этот материал не имеет себе равных. Однако по наличию относительно вредных и горючих веществ он уступает многим материалам.

Альтернативой применения хризотил-асбеста как термоизолирующего материала являются материалы на основе стекловолокна isoGLAS 550, isoTherm 800 и isoTherm 1000 производства немецкой фирмы Frenzelit [9, 10]. Эти материалы имеют различную температуру применения и теплопроводность, которая уступает хризотил-асбесту. Тем не менее материал isoTherm 1000 вполне может быть заменой хризотил-асбесту в дисковом тормозе с двумя термоизолированными узлами трения.

При сборке деталей дискового тормоза может быть применено клеевое соединение. В частности, для дополнительного термоизоляции тормозного диска с внутренней его стороны наклеивается слой термоизолирующего материала. Это соединение может быть осуществлено на основе клея ABRO TM-185 [10].

## Заключение

Предложена конструкция дискового тормоза с термоизолированными узлами трения. Дисковый тормоз обеспечивает компенсирование низкого коэффициента трения его рабочих элементов на основе углерода в условиях холодного времени года.

Характерной особенностью конструкции нового дискового тормоза является использование нескольких фрикционных материалов с различными фрикционными свойствами.

Предложено в качестве термоизоляционного материала использовать хризотил-асбест, который имеет самую низкую теплопроводность среди современных материалов и приемлемую стоимость.

## Библиографический список

1. Тормозные системы D2: Карбон-керамические. — 2013. — URL: <https://b-fast.ru/shop/tormoznye-sistemy/karbon-keramicheskie/> (дата обращения: 17.02.2023).
2. Каковы преимущества карбон-керамических тормозов? — 2015. — URL: <https://auto.today/bok/4559-kakovy-preimuschestva-karbono-keramicheskikh-tormozov-toit-li-ih-pokupat.html> (дата обращения: 17.02.2023).

3. Патент № 150103 Украина, МПК (2006): F16D 25/00. Дисковый тормоз: № u202105230: заявл. 15.09.2021: опубл. 29.12.2021 / Осенин Ю. И., Кривошея Д. С., Кривошея Ю. В. и др.

4. Крагельский И. В. Узлы трения машин: Справочник / И. В. Крагельский, Н. М. Михин. — М.: Машиностроение, 1984. — 280 с.

5. Чичинадзе А. В. Основы трибологии (трение, износ, смазка): учебн. для техн. вузов. 2-е изд., перераб. и доп. / А. В. Чичинадзе, Э. Д. Браун, Н. А. Буше и др.; под общ. ред. А. В. Чичинадзе. — М.: Машиностроение. 2001. — 663 с.

6. Асбест. — URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Асбест> (дата обращения: 18.02.2023)

7. Термостійкі технічні тканини з скловолокна — сучасна альтернатива асботканям ГОСТ 6102—78 // Економі інженерний центр. — URL: <https://gasket.kiev.ua/ua/a339489-termostojkie-tehnicheskie-tkani.html> (дата обращения: 02.03.2023).

8. Insulation. Isolationsmaterialien. isotherm // Frenzelit. — URL: <https://www.frenzelit.com/en/products/insulation/insulation-materials/isotherm> (дата обращения: 02.03.2023).

9. Асбест: вред, свойства, характеристики, применение асбеста в Украине // Политех. Инженерная компания. — 2014. — URL: <https://politeh.biz/ru/asbest-vred-svoystva-kharakteristiki-primenenie-asbesta-v-ukraine/> (дата обращения: 25.02.2023).

10. Термометалл ABRO // ABRO. — 2023, ООО «АБРО Индастрис». — URL: <https://abro-ind.ru/catalog/auto/glue/item-2095/> (дата обращения: 03.03.2023).

Дата поступления: 29.03.2023

Решение о публикации: 19.04.2023

## Контактная информация:

КРИВОШЕЯ Дарья Сергеевна — соискатель;  
goncharova\_ds@mail.ru

## Railway Disc Brake with Thermally Insulated Friction Assemblies Containing Materials with Different Friction Properties

D. S. Krivosheya

Donetsk Railway Transport Institute, 6, Gornaya st., Donetsk, 283018, Donetsk People's Republic

**For citation:** Krivosheya D. S. Railway Disc Brake with Thermally Insulated Friction Assemblies Containing Materials with Different Friction Properties // *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2023, vol. 20, iss. 2, pp. 457–462. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2023-2-457-462

## Summary

**Purpose:** Description of the design of the disc brake with thermally insulated friction units and the peculiarities of its manufacture. **Methods:** Analysis of the properties of friction materials for friction units of the railway disc brake. **Results:** The design of disc brake with thermally insulated friction units is proposed, a characteristic feature of which is thermal insulation of friction units A and B from each other. In addition, different friction materials are used in friction units – brake discs and brake linings. The basic principle of the disc brake is to compensate for the friction force of the friction assembly A in low temperature conditions where the carbon-based friction material is placed. Features of brake manufacturing are given. It is noted that the recommended material for thermally insulated working parts of the disc brake is chrysotile-asbestos. This material has a low thermal conductivity and an acceptable cost. It is recommended to use adhesive joints based on ABRO TM-185 glue by thermal insulation of brake discs. **Practical significance:** The design and features of the manufacture of a disc brake with thermally insulated friction units are described, as well as the best friction materials for it are determined. The results of the study can be used in specialized and locomotive manufacturing enterprises in order to eliminate the existing drawbacks regarding the friction characteristics of the friction materials used, as well as to reduce the cost of manufacturing a carbon-based disc brake.

**Keywords:** Disc brake, friction unit, heat-insulating element, friction materials, friction coefficient, carbon, asbestos, thermal conductivity, application temperature.

## References

1. *Tormoznye sistemy D2: Karbon-keramicheskie* [Brake systems D2: Carbon-ceramic]. 2013. Available at: <https://b-fast.ru/shop/tormoznye-sistemy/karbon-keramicheskie/> (accessed: February 17, 2023). (In Russian)
2. *Kakovy preimushchestva karbono-keramicheskikh tormozov?* [What are the benefits of carbon ceramic brakes?]. 2015. Available at: <https://auto.today/bok/4559-kakovy-preimushchestva-karbono-keramicheskikh-tormozov-stoit-li-ih-pokupat.html> (accessed: February 17, 2023). (In Russian)
3. Osenin Yu. I., Krivosheya D. S., Krivosheya Yu. V. et al. *Diskovyy tormoz* [Disc brake]. Patent of Ukraine, no. u202105230, 2021. (In Ukrainian)
4. Kragel'skiy I. V., Mikhin N. M. *Uzly treniya mashin: Spravochnik* [Friction units of machines: a Handbook]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1984, 280 p. (In Russian)
5. Chichinadze A. V., Braun E. D., Bushe N. A. et al. *Osnovy tribologii (trenie, iznos, smazka): uchebn. dlya tekhn. vuzov. 2-e izd., pererab. i dop.* [Fundamentals of tribology (friction, wear, lubrication): textbook. for tech. universities. 2nd ed., revised and additional]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 2001, 663 p. (In Russian)
6. *Asbest* [Asbestos]. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Asbest> (accessed: February 18, 2023). (In Russian)
7. *Termostiynki tekhnichni tkanini z skvolovlokna — suchasna al'ternativa asbotkanyam GOST 6102—78* [Heat-resistant technical fabrics from fiberglass — a modern alternative to asbestos fabrics GOST 6102—78]. *Ekonomi inzhenerniy tsentr* [Economy engineering center]. Available at: <https://gasket.kiev.ua/ua/a339489-termostojkie-tehnicheskie-tkani.htmlssylka> (accessed: March 02, 2023). (In Ukrainian)
8. *Insulation. Isolationsmaterialien. isotherm.* Frenzelit. Available at: <https://www.frenzelit.com/en/products/insulation/insulation-materials/isotherm> (accessed: March 02, 2023). (In German)
9. *Asbest: vred, svoystva, kharakteristiki, primenenie asbesta v Ukraine* [Asbestos: harm, properties, characteristics, use of asbestos in Ukraine]. *Politekhn. Inzhenernaya kompaniya* [Polytech. Engineering company]. 2014. Available at: <https://politeh.biz/ru/asbest-vred-svoystva-kharakteristiki-primenenie-asbesta-v-ukraine/> (accessed: February 25, 2023). (In Russian)
10. *Termometall ABRO* [Thermometal ABRO]. *ABRO* [ABRO]. 2023, OOO “ABRO Indaistris”. Available at: <https://abro-ind.ru/catalog/auto/glue/item-2095/> (accessed: March 03, 2023). (In Russian)

Received: March 29, 2023

Accepted: April 19, 2023

### Author's information:

Darya S. KRIVOSHEYA — Applicant;  
goncharova\_ds@mail.ru