

лять конкурентную среду государственному оператору подвижного состава, а также участвовать в рынке подвижного состава ЕАЭС и пространстве железнодорожных администраций колеи 1520.

Целевая модель деятельности на рынке оперирования вагонов должна предусматривать различные формы консолидации оперативного управления парком вагонов на основе централизованной системы обеспечения заявок на перевозку ГО «Белорусская железная дорога» и создание стимулов для консолидации парков грузовых вагонов разных собственников, а также привлечения вагонов иных железнодорожных администраций.

Развитие рынка операторов подвижного состава, создание самостоятельного государственного оператора подвижного состава на рынке транспортных услуг РБ следует рассматривать в системе мер, направленных на достижение стратегической цели развития грузовых железнодорожных перевозок – обеспечение потребностей экономики РБ в грузовых перевозках на основе интегрированной экономической целесообразности (по конкурентным ценам) и обеспечение конкурентоспособности железнодорожного транспорта на внутрисреспубликанском и международном рынке железнодорожных транспортных услуг.

Формируемая государством модель рынка оперирования грузовыми вагонами при этом должна обладать двумя безусловными качествами – быть технологичной и конкурентной.

Технологичность модели предусматривает ее формирование на основе цифровой системы управления погрузочными ресурсами с целью их максимально эффективного использования, минимизации порожних пробегов и нагрузки на инфраструктуру.

Для экономики страны важным является дальнейшее развитие рынка оперирования универсальными вагонами, прежде всего наиболее массовым и востребованным типом подвижного состава (полувагоны, цистерны). Рынок оперирования специализированным подвижным составом в основном является конкурентным по всем типам вагонов и номенклатуре перевозимых грузов.

#### Список литературы

- 1 О железнодорожном транспорте : закон Респ. Беларусь от 06 янв. 1999 № 237-3 : с изм. и доп. – Минск, 1999. – 15 с.
- 2 Гражданский кодекс Республики Беларусь : закон Республики Беларусь от 07.12.1998 г., № 218-3.
- 3 О естественных монополиях : закон Республики Беларусь от 16.12.2002 г., № 162-3.
- 4 Елисеев, С. Ю. Управление парками транспортных компаний – логистические принципы / С. Ю. Елисеев, А. А. Шатохин // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 10. – С. 62–65.
- 5 Еловой, И. А. Современные тенденции рынка железнодорожных грузовых перевозок : [монография] / И. А. Еловой, В. В. Ясинский, М. М. Колос. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 210 с.

УДК 62-592.635:629.067

## ВИХРЕТОКОВОЕ ТОРМОЖЕНИЕ В СИСТЕМЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ КОМПЛЕКСОВ

*А. Э. ЮНИЦКИЙ, С. В. АРТИШЕВСКИЙ, Г. А. КУРИНСКАЯ*  
*Закрытое акционерное общество «Струнные технологии», г. Минск*

В мировой экономике потребность в грузопассажирских перевозках растёт из года в год, а вместе с ней – и требования к качеству этих услуг, которые должны быть более экологичными, безопасными, быстрыми и менее шумными.

В обеспечении безопасности транспортных комплексов отдельная важная роль отводится системам торможения. В традиционных видах транспорта используются механические тормозные системы, которые из-за наличия трущихся поверхностей, выходят из строя и становятся небезопасными при высоких скоростях движения. Рост скоростей транспортных средств актуализирует проблему обеспечения безопасности их движения, залогом которой является соответствие сил тяги и торможения. Увеличение мощности последних требует отхода от классических схем (систем) замедления к новым типам тормозов, к числу которых относится система вихретокового торможения, применяющаяся в линейном и вращающемся исполнении.

Исследования по разработке тормозной системы на вихревых токах начаты в 60-х годах XX столетия при создании поезда для скоростной линии Токайдо (Япония). В 1969 г. во Франции для скоростного поезда TGV (Trains Grande Vitesse – высокоскоростной поезд) при участии компании Knorr-Bremse AG (ФРГ) проведены обширные исследования по данному типу тормозной системы [1, 2].

Несмотря на факт изобретения конструкции вихретоковых тормозов более 50 лет назад, до настоящего времени они не получили массового применения в транспортных комплексах. Как показывает практика, такие системы используются, по большей части, в составе высокоскоростных электропоездов (немецкий «InterCity Express», японский «Shinkansen» и др.).

В этой связи, отдельного внимания заслуживает ряд преимуществ использования системы вихретокового торможения по сравнению с иными, более традиционными.

Во-первых, из-за увеличения скорости движения транспортных средств значительно увеличивается объём преобразованной кинетической энергии, что приводит к быстрому износу и риску полного отказа фрикционных тормозов. Для снижения нагрузки и её распределения используют электродинамическое торможение, уменьшающее износ, однако оно требует наличие нагрузки – потребителя выработанной энергии. В этой связи использование вихретоковых систем торможения по сравнению с иными является наиболее предпочтительным, т. к. в них вся вырабатываемая электрическая энергия преобразуется непосредственно в тепло, без участия сил трения и механических посредников. А поскольку преобразование энергии происходит без механического контакта, коммуникационных линий и пр. элементов, то подобные системы гораздо более надёжны, чем традиционные аналоги.

Во-вторых, состояние поверхности транспортного полотна (наледь, загрязнения и т.д.) не оказывает влияния на эффективность работы системы вихретокового торможения, которая показывает высокие и стабильные характеристики работы при различного рода неблагоприятных погодных условиях.

В-третьих, из-за отсутствия продуктов износа, вихретоковые тормоза более экономичны и экологичны по сравнению с фрикционными. Это делает вихретоковую концепцию особенно актуальной и представляющей интерес с научной точки зрения для высокоскоростного движения.

В-четвёртых, применение вихретоковых тормозов на постоянных магнитах не требует использования внешних источников питания, что делает систему энергонезависимой и повышает её надёжность.

Теоретическое обоснование использования тормозящих сил, возникающих в переменном магнитном поле, в тормозных механизмах и замедлителях представлено в ряде источников тематической научной литературы [3, 4].

В этой связи, учитывая ряд обозначенных преимуществ системы вихретокового торможения и необходимости применения (внедрения) инновационных решений в рамках развития уникальных транспортно-инфраструктурных комплексов Unitsky String Technologies (uST, Республика Беларусь [5]), авторами проведено комплексное исследование, связанное с разработкой перспективного опытного образца секции вихретокового замедлителя на постоянных магнитах с оценкой его эффективности [6].

Благодаря результатом исследований тормозящих сил, возникающих в переменном магнитном поле, установлены многофакторные зависимости величины тормозящей силы от используемых материалов, компоновочных решений, относительных скоростей движения, воздушных зазоров, температуры и других параметров, позволяющих определить конструктивные характеристики секций. Отдельные из них приведены на рисунке 1.

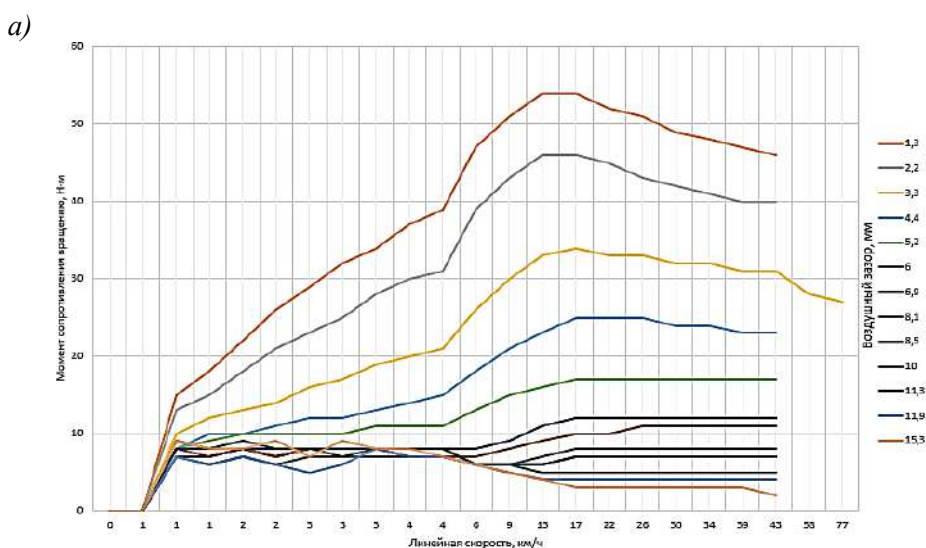


Рисунок 1 (начало) – Графики зависимости тормозящего момента от линейной скорости секции вихретокового замедлителя с магнитопроводом:

a – медным

б)

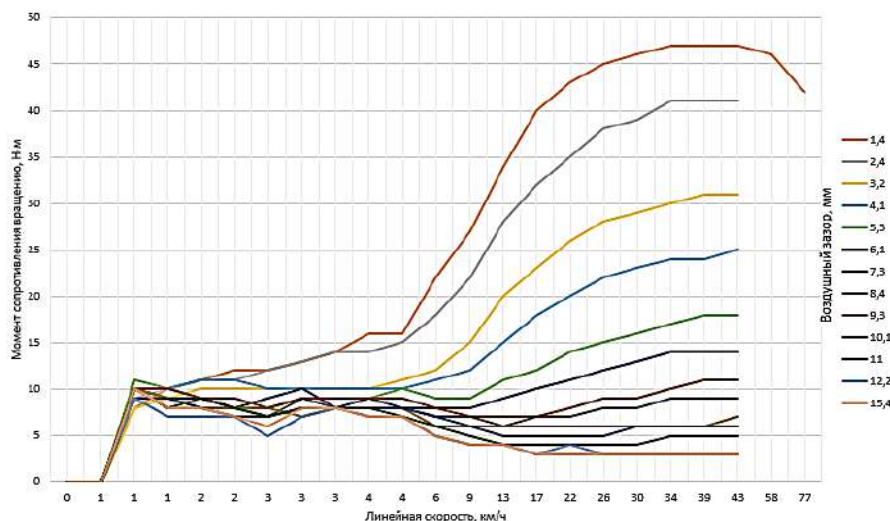


Рисунок 1 (окончание) – Графики зависимости тормозящего момента от линейной скорости секции вихретокового замедлителя с магнитопроводом:  
 $b$  – алюминиевым

В результате, разработаны два опытных образца секции вихретокового замедлителя:

- образец № 1, в конструкции которого все магниты одновременно участвуют в процессе создания тормозящего усилия на всём тормозном участке;
- образец № 2, в конструкции которого при создания тормозящего усилия участвует более половины магнитов, последовательно замещаемых вдоль магнитной сборки.

Разработанные образцы отличаются невысокой трудоёмкостью изготовления, рядом положительных характеристик от применения (снижение степени риска при торможении, возможность точного контроля при торможении, бесшумность). Вместе с тем, сравнительный анализ образцов показал более высокую эффективность первого образца, т.к. при таком варианте все магниты постоянно участвуют в процессе создания тормозящего усилия на всём тормозном участке.

Таким образом, системы вихретокового торможения целесообразно применять для обеспечения замедления транспортных средств (их частей на примере рельсовых транспортных средств) совместно с существующими решениями в качестве энергонезависимого замедлителя. При этом применение систем вихретокового торможения в транспортных комплексах представляет значительный интерес как для науки, так и экономики, энергосбережения, экологии, безопасности человека.

#### Список литературы

- 1 **Kröger, U.** Prinzip, Entwicklung und Konstruktion der linearen Wirbelstrombremsen / U. Kröger // ZEV Glasers Annalen. – 1985. – Vol. 109, no. 9. – P. 368–374.
- 2 Вихретоковые тормоза рельсового транспорта [Электронный ресурс] // Независимый научно-исследовательский центр. – Режим доступа : [http://www.ipem.ru/files/files/tzd\\_web\\_versions/tzd\\_32\\_web\\_full.pdf](http://www.ipem.ru/files/files/tzd_web_versions/tzd_32_web_full.pdf). – Дата доступа : 19.10.2021.
- 3 **Форристер, Т.** Вихретоковые тормозные системы как способ избавления от трения рельсового транспорта / Т. Форристер [Электронный ресурс] // Блог Comsol. – Режим доступа : <https://www.comsol.ru/blogs/how-eddy-current-braking-technology-is-freeing-us-from-friction/>. – Дата доступа : 16.10.2021.
- 4 Linear Magnetic Brakes [Electronic resource] // H2WTechnologies. – Mode of access : <https://www.h2wtech.com/page/linear-magnetic-brakes> – Date of access : 15.10.2021.
- 5 Создаём экологичный, безопасный и комфортный транспорт [Электронный ресурс] : сайт ЗАО «Струнные технологии». – Режим доступа : <https://unitsky.com/>. – Дата доступа : 25.10.2021.
- 6 Исследование тормозящих сил, возникающих в переменном магнитном поле, и разработка перспективного опытного образца секции вихретокового замедлителя для его применения в транспортных комплексах UST: отчет о НИР (заключ.) / ЗАО «Струнные технологии»; рук. С. В. Артюшевский. – Минск, 2021. – 72 с. – № ГР 20210148.