

УДК 629.014.17:629.9

Разработка метода по уменьшению лобового аэродинамического сопротивления капсулы трубопроводного транспорта

К. К. Ким, И. Р. Крон, Я. С. Ватулин, Е. Я. Ватулина

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Ким К. К., Крон И. Р., Ватулин Я. С., Ватулина Е. Я. Разработка метода по уменьшению лобового аэродинамического сопротивления капсулы трубопроводного транспорта // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2019. – Т. 16, вып. 2. – С. 263–267. DOI: 10.20295/1815-588X-2019-2-263-267

Аннотация

Цель: Разработка метода по уменьшению вредного аэродинамического лобового сопротивления при движении капсулы трубопроводного транспорта с высокой скоростью. **Методы:** Используется среда автоматизированного проектирования «SolidWorks», модуль «Flow Simulation». **Результаты:** Качественно подтверждена гипотеза об уменьшении аэродинамического сопротивления при применении перфорированной лобовой части капсулы и расположенной в ее экипажной части системы динамического отвода воздуха. **Практическая значимость:** Разработанный метод позволит существенно снизить аэродинамическое сопротивление в системе трубопроводного транспорта.

Ключевые слова: Трубопроводный транспорт, аэродинамическое сопротивление, высокоскоростные перевозки, отвод воздуха, крыльчатка.

Трубопроводный транспорт является перспективным решением в области высокоскоростных перевозок. Однако он имеет свои недостатки, которые необходимо учитывать при проектировании. К наиболее существенным недостаткам относится относительно высокое аэродинамическое сопротивление, значительно ограничивающее скорость движения капсулы в трубе [1–7].

При движении капсулы на высоких скоростях в трубе в области перед капсулой образуется избыточное воздушное давление, а за ее кузовом – разрежение. Таким образом, имеет место так называемый поршневой эффект, оказывающий тормозящее воздействие на движущуюся капсулу [8]. Для снижения влияния набегающих воздушных потоков на скорость движения капсулы этого вида транспорта проф. К. К. Кимом, заведующим кафедры

«Электротехника и теплоэнергетика» ПГУПС, было предложено изготавливать головную часть капсулы перфорированной [9]. Отверстия, выполненные в головной части, служат своего рода фильтром для воздушных завихрений, возникающих при высоких скоростях движения и переходе ламинарного характера течения воздуха в турбулентный.

Дальнейший анализ показал, что воздухом, захваченным при помощи таких отверстий, можно устранить разность давлений в передней и задней областях, прилежащих к капсуле, тем самым частично компенсировать негативное влияние поршневого эффекта. Для этого необходимо в кузове установить компрессор, шлангами соединенный с отверстиями в лобовой части, который будет откачивать воздух из передней области и по системе воздухопровода перемещать откачанный воздух

к отверстию, выполненному в задней части капсулы, т. е. подавать его в область разреженного воздуха. Схематично данная разработка представлена на рис. 1 [10].

Для подтверждения такой гипотезы в среде SolidWorks была выполнена упрощенная модель капсулы трубопроводного транспорта, представляющая собой цилиндр со сквозным отверстием, конфигурации, учитывающей реальное взаимодействие воздушных потоков с предложенной системой отвода воздуха. Геометрические параметры выполненного цилиндра со сквозным отверстием переменного по продольному сечению диаметра: длина цилиндра – 5 м; наружный диаметр цилиндра – 2,5 м; минимальный диаметр отверстия (в центральной плоскости, перпендикулярной оси цилиндра) – 460 мм. Также была выполнена труба с размерами: наружный диаметр – 2,7 м, внутренний диаметр – 2,68 м, длина – 30 м. Для имитации компрессора был спроектирован вентилятор, представляющий собой крыльчатку. Наибольший диаметр между лопастями – 280 мм, диаметр пилона – 90 мм, расстояние между центральными точками куполов пилона (длина пилона) – 160 мм. В процессе опытов, производимых с использованием модуля «Flow Simulation», крыльчатка устанавливалась в центральной плоскости, перпендикулярной оси цилиндра (капсулы), и приводилась в

движение так, чтобы можно было откачивать воздух из области перед цилиндром, который двигался с крыльчаткой как единая система в трубе с заданными скоростью и частотой вращения вентилятора.

На рис. 2, а показано, как распределяются векторы скорости движения воздушных масс (продольное сечение) при движении модели капсулы без установки крыльчатки в наименьшем по диаметру сечении модели капсулы. На нем видно, что в передней области возникают воздушные завихрения, являющиеся источником аэродинамического сопротивления, и скорость воздушного потока в центре сквозного отверстия цилиндра достаточно велика.

На рис. 2, б представлены результаты второго опыта, здесь в наименьшем по диаметру сечении цилиндра установлена крыльчатка, отводящая воздух из передней области в заднюю. Из него следует, что движение воздуха в области перед цилиндром приобрело ламинарный характер, т. е. благодаря установленному вентилятору устраняется вредная турбулентность. Также значительно уменьшается скорость в центральной области цилиндра, а в задней возникают выталкивающие завихрения.

В обоих опытах угловая скорость вращения вентилятора устанавливалась равной 100 рад/с.

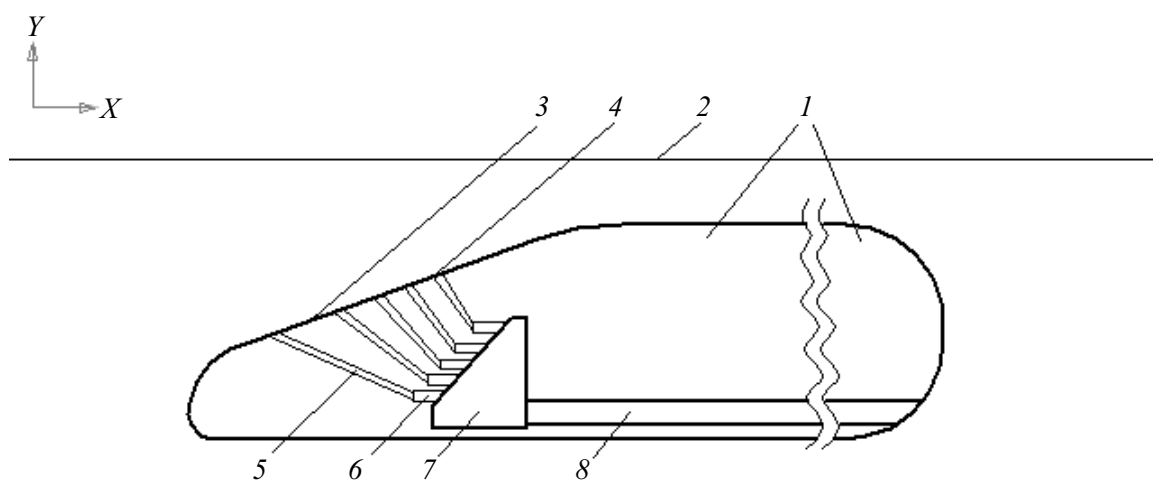
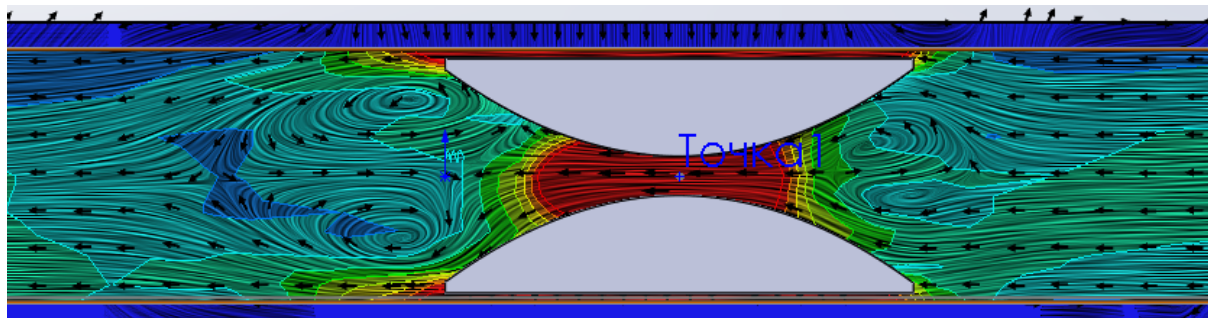


Рис. 1. Схема кузова капсулы трубопроводного транспорта:

1 – корпус; 2 – труба; 3 – лобовая часть; 4 – перфорированные отверстия; 5 – шланги; 6 – входные патрубки; 7 – коллектор с встроенным компрессором; 8 – воздухопровод

а



б

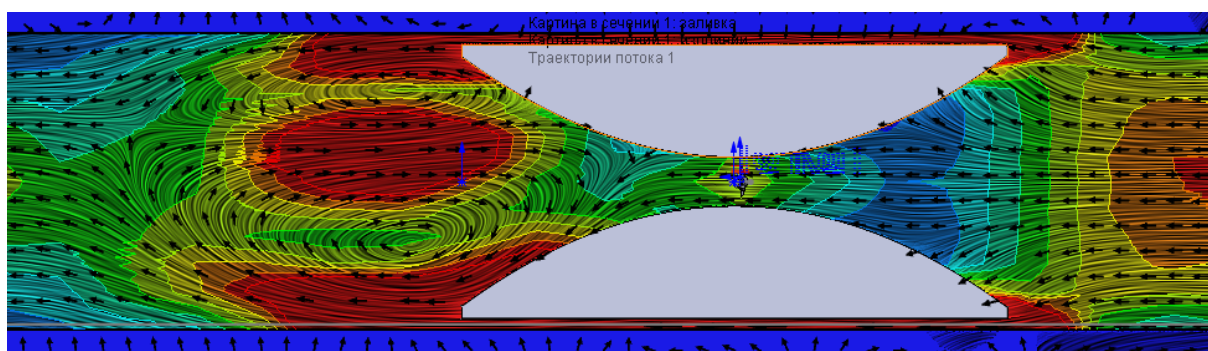


Рис. 2. Первый (без крыльчатки в цилиндре, движение вправо, а) и второй (с установленной крыльчаткой, движение вправо, б) опыты

С помощью серии выполненных экспериментов с различными скоростями вращения вентилятора удалось качественно подтвердить, что при использовании системы отвода воздуха, состоящей из перфорированной лобовой части кузова вагона трубопроводного транспорта, компрессора и воздухопровода, возможно частично избежать негативных последствий, обусловленных проявлением поршневого эффекта. Разработанный метод позволит существенно снизить аэродинамическое сопротивление в системе трубопроводного транспорта, что положительно повлияет на диапазон реализации возможных скоростей движения.

Библиографический список

1. Ким К.К. Система автоматического управления радиального магнитного подшипника / К.К. Ким, Е.Б. Зазыбина // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2015. – № 1. – С. 30–36.
2. Ким К.К. Процессы диффузии магнитного поля в магнитопрод магнитного подшипника / К.К. Ким, Е.Б. Зазыбина // Учен. зап. КнАГТУ. – 2015. – № I-1 (21). – С. 21–29.
3. Ким К.К. Вариант вакуумной транспортной системы / К.К. Ким // Железнодорожный транспорт. – 2016. – № 12. – С. 67–68.
4. Ким К.К. Метрология и техническое регулирование : учеб. пособие / К.К. Ким, В.Ю. Барбарович, Б.Я. Литвинов. – М. : Маршрут, 2006. – 255 с.
5. Антонов А.Ю. Модель взаимодействия токоприемника с контактным проводом / А.Ю. Антонов, К.К. Ким // Наука и техника транспорта. – 2008. – № 4. – С. 9–12.
6. Ким К.К. Электромеханические процессы на стыках секций путевой структуры линейного синхронного двигателя / К.К. Ким, А.В. Корнух // Изв. Петерб. ун-та путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2009. – Вып. 2. – С. 187–196.
7. Ким К.К. Сверхпроводниковые электрические машины с магнитным подвесом : монография / К.К. Ким. – Германия : Lambert Academic Publ., 2012. – 173 с.

8. Ким К. К. Проблемы электромагнитного разгона объектов / К. К. Ким // *Электричество*. – 2007. – № 12. – С. 19–25.

9. Патент № 24670. Российская Федерация, МПК7 В61D17/00, В61D25/00. Кузов головного вагона высокоскоростного поезда / К. К. Ким. – Заявитель и патентообладатель Петерб. гос. ун-т путей сообщения. – № 2001135610/20. – Заявл. 26.12.2001 г. – Оpubл. 20.08.2002 г. – Бюл. № 23.

10. Патент № 2677216. Российская Федерация, МПК7 В60L 13/10, В61В 13/08. Система электродинамического подвеса / К. К. Ким, И. Р. Крон, Я. С. Ватулин. – Патентообладатель Петерб. гос.

ун-т путей сообщения. – № 2018104370. – Заявл. 05.02.2018 г. – Оpubл. 15.01.2019 г. – Бюл. № 2.

Дата поступления: 13.05.2019

Решение о публикации: 31.05.2019

Контактная информация:

КИМ Константин Константинович – доктор техн. наук, профессор, kimkk@inbox.ru

КРОН Игорь Романович – студент, mechenu@icloud.com

ВАТУЛИН Ян Семенович – канд. техн. наук, доцент, yan-goos@yandex.ru

ВАТУЛИНА Екатерина Яновна – аспирант, iglkotik@gmail.com

The development of the method on the reduction of aerodynamic drag of the pipeline transport capsule

K. K. Kim, I. R. Kron, Ya. S. Vatulin, E. Ya. Vatulina

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovskiy pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Kim K. K., Kron I. R., Vatulin Y. S., Vatulina E. Ya. The development of the method on the reduction of aerodynamic drag of the pipeline transport capsule. *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2019, vol. 16, iss. 2, pp. 263–267. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2019-2-263-267

Summary

Objective: To develop the method on the reduction of harmful aerodynamic drag during the movement of high-speed capsule of the pipeline transport. **Methods:** The method was developed by means of “SolidWorks” computer-aided design environment, as well as the “Flow Simulation” module. **Results:** The hypothesis on the aerodynamic drag reduction was qualitatively confirmed by using perforated frontal part of the capsule and the system of dynamic air offtake located in the underframe of the capsule. **Practical importance:** The developed method will significantly reduce aerodynamic drag in the pipeline transportation system.

Keywords: Pipeline transport, aerodynamic drag, high-speed transportation, air exhaust, impeller.

References

1. Kim K. K. & Zazibina E. B. Sistema avtomaticheskogo upravleniya radialnogo magnitnogo podshipnika [Automatic control system of a radial magnetic bearing]. *Elektronika i elektrooborudovanie transporta* [Electronics and transport electrical equipment], 2015, no. 1, pp. 30–36. (In Russian)

2. Kim K. K. & Zazibina E. B. Processy diffuzii magnitnogo polya v magnitoprovod magnitnogo podshipnika [The processes of diffusion of the magnetic field in the magnetic core of the magnetic bearing]. *Uchenye zapiski KnAGTU* [Scientific notes of KnAGTU], 2015, no. I-1 (21), pp. 21–29. (In Russian)

3. Kim K. K. Variant vakuumnoy transportnoy sistemy [The variant of the vacuum transport system].

Zheleznodorozhnyj transport [Railway transport], 2016, no. 12, pp. 67–68. (In Russian)

4. Kim K. K., Barbarovich V. Yu. & Litvinov B. Ya. *Metrologiya i tekhnicheskoe regulirovanie*. Uchebnoe posobie [Metrology and technical regulation. Textbook]. Moscow, Marshrut Publ., 2006, 255 p. (In Russian)

5. Antonov A. Yu. & Kim K. K. Model vzaimodejstviya tokopriemnika s kontaktnym provodom [Interaction model of a current collector with a contact wire]. *Nauka i tekhnika transporta* [The science and equipment of transport], 2008, no 4, pp. 9–12. (In Russian)

6. Kim K. K. & Kornuh A. V. Elektromekhanicheskie protsessy na stykakh seksiy putevoy struktury lineynogo sinkhronnogo dvigatelya [Electromechanical processes at the junctions of sections of the track structure of a linear synchronous motor]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya* [Proceedings of Petersburg State Transport University]. Saint Petersburg, PGUPS Publ., 2009, iss. 2, pp. 187–196. (In Russian)

7. Kim K. K. *Sverkhprovodnikoviye elektricheskiye mashiny s magnitnym podvesom*. Monografiya [Superconducting electrical machines with magnetic suspension. Monograph]. Germany, Lambert Academic Publ., 2012, 173 p. (In Russian)

8. Kim K. K. Problemy elektromagnitnogo razgona ob'ektov [Problems of electromagnetic acceleration

of objects]. *Elektrichestvo* [Electricity], 2007, no. 12, pp. 19–25. (In Russian)

9. Kim K. K. *Kuzov golovnogo vagona vysokoskorostnogo poezda* [The body of the head car of a high-speed train]. Patent RF, no. 24670, 2002. Petersburg State Transport University, no. 2001135610/20. Declare 26.12.2001. Publ. 20.08.2002. Bull. no. 23. (In Russian)

10. Kim K. K., Kron I. R. & Vatulin Ya. S. *Sistema elektrodinamicheskogo podvesa* [Electrodynamic suspension system]. Patent RF, no. 2677216, 2019. Petersburg State Transport University, no. 2018104370. Declare 05.02.2018. Publ. 15.01.2019. Bull. no. 2. (In Russian)

Received: May 13, 2019

Accepted: May 31, 2019

Author's information:

Konstantin K. KIM – D. Sci. in Engineering, Professor, kimkk@inbox.ru

Igor R. KRON – Student, mechenu@icloud.com

Yan S. VATULIN – PhD in Engineering, Associate Professor, yan-roos@yandex.ru

Ekaterina Y. VATULINA – Postgraduate Student, iglkotik@gmail.com