

Г. В. Бойко¹, А. П. Федин¹, И. В. Лесковец², М. Л. Петренко²

**ЗАВИСИМОСТЬ ТОРМОЗНОГО МОМЕНТА ОТ ВРЕМЕНИ
ПРИ ЭКСТРЕННОМ ТОРМОЖЕНИИ АВТОМОБИЛЯ**

¹Волгоградский государственный технический университет

²Белорусско-российский университет

boyko@vstu.ru, falexe2005@yandex.ru, leskovets1966@mail.ru, ghost4511@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Григорий Владимирович Бойко, boyko@vstu.ru

В настоящее время актуальной и важной задачей является развитие автоматизированных систем управления различными агрегатами и системами автомобиля. Одной из таких систем является антиблокировочная система торможения автомобиля (АБС), которая обеспечивает безопасность движения в режиме торможения. Для исследования и оптимизации работы антиблокировочной работы целесообразно использовать методы математического и комплексного моделирования. Протекание процесса торможения зависит от величины тормозного момента, который приложен к колесу, поэтому одной из наиболее значимых зависимостей в такой математической модели является зависимость тормозного момента от времени процесса. В данной статье выполнен обзор и определены возможные варианты зависимостей величины тормозного момента от времени процесса торможения для легкового автомобиля.

Ключевые слова: моделирование движения автомобиля, антиблокировочная система торможения, давление в тормозном приводе, тормозной момент

G. V. Boyko¹, A. P. Fedin¹, I. V. Leskovets², M. L. Petrenko²

**DEPENDENCE OF THE BRAKING TORQUE
ON TIME DURING EMERGENCY BRAKING OF A CAR**

¹Volgograd State Technical University

²Belarusian-Russian University

Currently, an urgent and important task is the development of automated control systems for various units and systems of the car. One of these systems is the antilock braking system of the car (ABS), which ensures traffic safety in braking mode. In order to research and optimize operation of the antilock braking systems, it is advisable to use methods of mathematical and complex modelling. The course of the braking process depends on the value of braking torque that is applied to the wheel, therefore one of the most significant dependencies in such a mathematical model is the dependence of the braking torque on the time of the process. This article provides an overview and identifies possible options for the dependence of the braking torque value on the time of the braking process for a passenger car.

Keywords: automobile motion simulation, antilock braking system, brake actuator pressure, brake torque

Для математического моделирования движения автомобиля при экстренном торможении, в том числе оборудованного антиблокировочной системой (АБС), приходится задаваться скоростью нарастания тормозного момента в начальной фазе торможения. Эта величина связана со скоростью нарастания давления

в тормозной системе, которая, в свою очередь, зависит не только от конструктивных особенностей тормозной системы, но и от динамики воздействия водителя на педаль тормоза. В связи с изложенным представляет интерес обобщение экспериментальных данных о динамике нарастания давления в тормозной системе ав-

томобилей при их экстренном торможении. Такие данные приводятся в ряде работ российских и зарубежных исследователей [1; 2; 3].

На рис. 1 представлены зависимости дав-

ления от времени, приведенные в работе Ahmed M. El-Garhy и др. [1]. Зависимости получены при испытаниях легкового автомобиля с АБС.

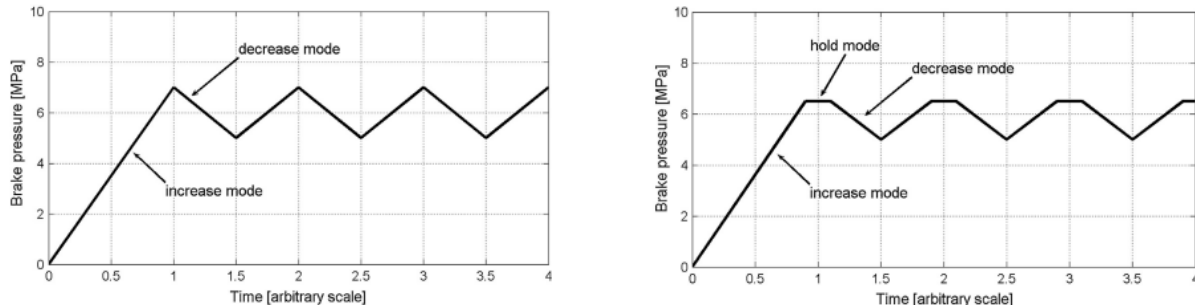


Рис. 1. Зависимость давления в тормозном приводе от времени процесса торможения

Из представленных на рис. 1 зависимостей следует, что зависимость давления в тормозной системе от времени на начальном этапе экстренного торможения является линейной. В данном конкретном случае она имеет вид:

$$p = 7 \cdot t,$$

где p – давление в тормозном приводе, МПа, t – время процесса торможения, с. Темп нарастания давления, как следует из приведенной формулы, равен 7 МПа/с.

Максимальное давление в тормозном приводе в рассматриваемых опытах составило 7 МПа.

В другой серии опытов, рассмотренных в той же работе, темп нарастания давления в тормозной системе был равен 10 МПа/с.

В работе Dr. Biju V. и др. [2] значение темпа нарастания давления в тормозной системе, не оборудованной АБС, составило 4,3 МПа/с, а в системе с АБС – 3,8 МПа/с. Экспериментально полученные зависимости давления в тормозной системе от времени, приведенные в этой работе, представлены на рис. 2. Как видно из графиков на рис. 2, максимальное давление в тормозном приводе достигается через 2,5 с после начала процесса торможения и равно 8 МПа.

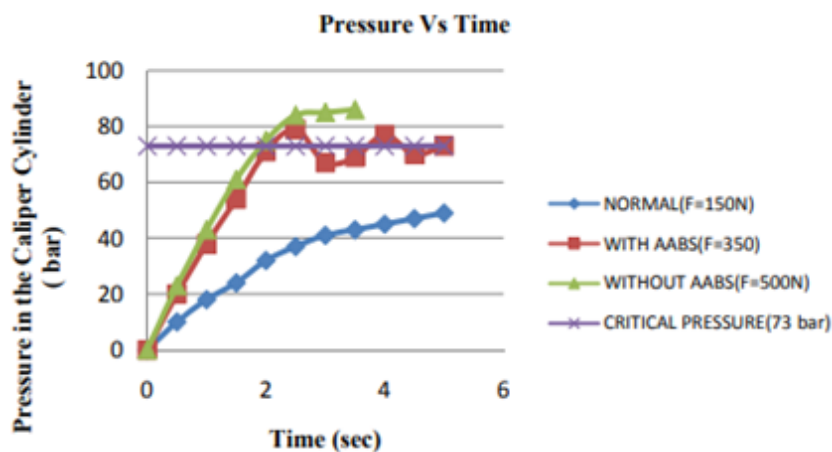


Рис. 2. Зависимость давления в тормозном приводе от времени процесса торможения

В монографии В. Г. Дыгало и А. А. Ревина [3] приведены данные экспериментов, выполненных на виртуально-физическом стенде-тренажере в ВолгГТУ. Согласно этим данным, темп нарастания давления в тормозной системе с АБС может быть принят равным 10,4 МПа/с. Максимальное давление в тормозном приводе

в этих опытах составляло 9 МПа и достигалось примерно через 1 с после начала процесса торможения.

Авторами настоящей статьи из Белорусско-Российского университета были проведены собственные эксперименты по определению темпа нарастания давления и максималь-

ного давления в тормозном приводе легкового автомобиля. Эксперименты проведены на полигоне Белорусско-Российского университета (г. Могилев). Измерения были выполнены на автомобиле «Daewoo Matiz». Манометр для измерения давления был подключен через пе-

реходник к тормозному приводу правого переднего колеса (рис. 3). Воздействие на педаль тормоза производилось максимально резко и сильно. Измерения давления были проведены как с вакуумным усилителем в тормозной системе, так и без него.



а



б

Рис. 3. Оборудование автомобиля для экспериментального определения максимального давления и темпа нарастания давления в тормозном приводе:

а – экспериментальный автомобиль; б – место установки манометра

Полученная в результате выполненных экспериментов осредненная зависимость давления в тормозной системе от времени при экстренном торможении автомобиля приведена на рис. 4.

Из представленных на рис. 4 данных следует, что темп нарастания давления в тормозной системе равен 4,5 МПа/с. Максимальное давле-

ние в тормозном приводе составляет 9,5 МПа и достигается через 2 с после начала процесса торможения.

Приведенные выше данные различных исследователей о значениях темпа нарастания давления и максимального давления в тормозных системах легковых автомобилей при экстренном торможении обобщены в табл. 1.

Зависимость давления в тормозном приводе от времени процесса торможения

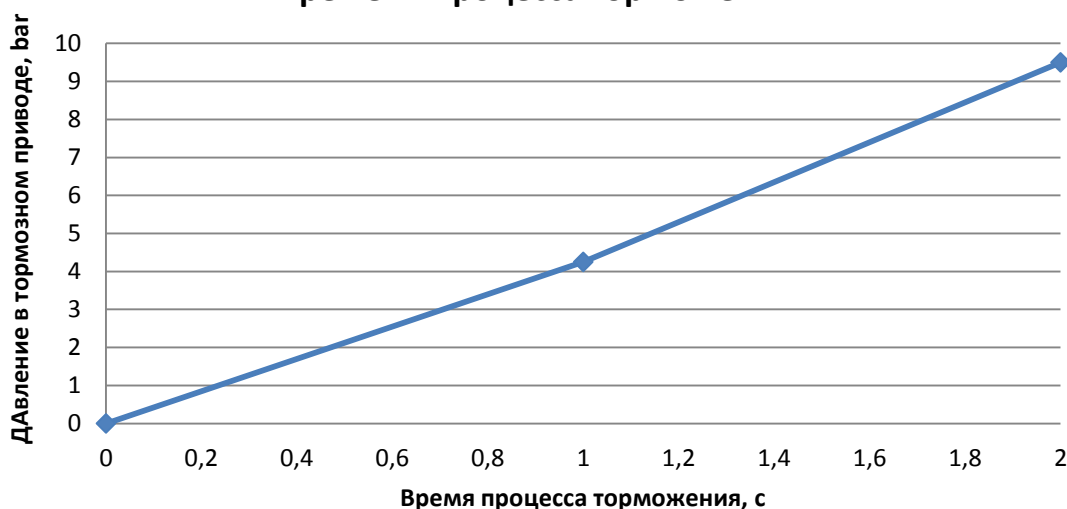


Рис. 4. Зависимость давления в тормозном приводе от времени процесса торможения

Таблица 1

Характеристики давления в тормозном приводе при экстренном торможении

Источник	Темп нарастания давления, МПа/с	Максимальное давление, МПа
Источник [1]	7; 10	10
Источник [2]	3,8	8
Источник [3]	10,4	9
Эксперименты авторов	4,25	9,5

Из представленных в табл. 1 данных можно сделать вывод, что при моделировании экстренного торможения автомобиля с АБС темп нарастания давления в начальной фазе торможения можно принимать в интервале значений от 4 до 10 МПа/с, а максимальное давление равным 9 МПа.

Задавая темп нарастания давления и максимальное давление в тормозной системе, можно определить соответствующие значения для тормозного момента.

Величина тормозного момента, развиваемого односторонним тормозным механизмом, связана с величиной прижимающей силы F_s следующей формулой [4]:

$$M_T = 2 \cdot \mu \cdot F_s \cdot r_s, \quad (1)$$

где r_s – средний радиус приложения сил трения (рис. 6), м; μ – коэффициент трения между тормозным диском и тормозной накладкой; F_s – нормальная сила, с которой тормозная колодка

воздействует на тормозной диск при торможении, Н.

Радиус r_s может быть примерно определен как:

$$r_s = 0,5 \cdot (R + r), \quad (2)$$

где R – наружный радиус тормозной накладки, м; r – внутренний радиус тормозной накладки, м.

Величина нормальной силы, с которой тормозная колодка воздействует на тормозной диск при торможении, зависит от давления в тормозном приводе и может быть определена по формуле:

$$F_s = p \cdot \frac{\pi \cdot D_{ц}^2}{4}, \quad (3)$$

где p – давление в тормозном приводе, МПа; $D_{ц}$ – диаметр колесного тормозного цилиндра, м.

Величину коэффициента трения для тормозных колодок можно определить по справочным данным табл. 2 [4]:

Таблица 2

Коэффициенты трения для тормозных накладок

Тип материала	Коэффициент трения μ
Каучуковая основа	0,44...0,56
Комбинированная основа	0,42...0,50
Все материалы при предварительных расчетах	0,30...0,35

Для большинства тормозных колодок, которые получили широкое распространение в настоящее время, можно, по нашему мнению, использовать усредненное значение коэффициента трения, равное 0,45.

Расчет тормозного момента можно проиллюстрировать, используя параметры тормозного механизма автомобиля «KIA RIO». Для этого механизма прямыми измерениями получены следующие значения $D_{ц} = 0,038$ м, $R = 0,105$ м; $r = 0,065$ м.

Тогда $r_s = 0,085$ м,

$$F_s = p \cdot \pi \cdot D_{ц}^2 / 4 = p \cdot 1,134 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$$

$$\text{и } M_T = 2 \cdot \mu \cdot F_s \cdot r_s = 2 \cdot 0,45 \cdot p \cdot 1,134 \cdot 10^{-3} = p \cdot 8,672 \cdot 10^{-5} \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Подставляя в последнее выражение полученную ранее зависимость давления в тормозном приводе от времени процесса торможения, получим:

$$M_T = (3,8 \dots 10,4) \cdot t \cdot 8,672 \cdot 10^{-5} =$$

$$= (320 \dots 900) \cdot t \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Максимальное значение тормозного момента, соответствующее давлению 9 МПа, равно 780 Н·м.

Таким образом, при моделировании экстренного торможения автомобиля «KIA RIO» расчет изменения тормозного момента в начальной фазе торможения ведем, задаваясь темпом нарастания этого момента в интервале значений от 320 до 900 Н·м/с, и завершаем расчет начальной фазы при достижении тормозным моментом значения 780 Н·м.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ELECTRICAL ENGINEERING Fuzzy Life-Extending Control of Anti-Lock Braking System Ahmed M. El-Garhy, Gamal A. El-Sheikh, Mohamed H. El-Saify Ain Shams Engi-

neering Journal Volume 4, Issue 4, December 2013, Pages 735-751.

2. Design and Testing of Analog Antilock Braking System (AABS) Dr. Biju B., Abhishek P. A., Arshaque M., Don C. P., Salmanul Fariz T. T./ International Journal of Engineering and Technology (IJET) Vol 10 No 4 Aug-Sep 2018 DOI: 10.21817/ijet/2018/v10i4/181004201.

3. Дыгало, В. Г. Виртуально-физическая технология лабораторных испытаний систем активной безопасности автотранспортных средств: монография / В. Г. Дыгало, А. А. Ревин. – М.: Машиностроение, 2012. – 388 с.; ил.

4. Беляев, В. М. Проектирование тормозных систем автомобиля в 2-х частях. Часть I. Тормозная динамика автомобилей. Тормозные механизмы / В. М. Беляев, В. Г. Иванов, Л. А. Молибошко // Учебно-методическое пособие по курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности Т04.06 «Автомобили». Белорусская государственная политехническая академия. – Минск, 2000.