

УДК 625.7

DOI: 10.15393/j2.art.2018.4342

Статья

## Влияние веса лесовозного автопоезда на тормозной путь

Владислав В. Петрухин<sup>1</sup>, Дмитрий В. Акинин<sup>1,\*</sup> и Вячеслав А. Борисов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (Мытищинский филиал), Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1; E-Mails: [petruhin@mgul.ac.ru](mailto:petruhin@mgul.ac.ru) (В. П.); [akinin.dmitrij2013@yandex.ru](mailto:akinin.dmitrij2013@yandex.ru) (Д. А.); [vborisov@bmstu.ru](mailto:vborisov@bmstu.ru) (В. Б.)

\* Автор, с которым следует вести переписку; E-Mail: [vborisov@bmstu.ru](mailto:vborisov@bmstu.ru) (В. Б.); Tel.: +7(910)4201702.

Получена: 25 декабря 2018 / Принята: 16 января 2019 / Опубликовано: 21 января 2019

---

**Аннотация:** С повышением интенсивности движения и общего веса лесотранспортных систем возрастают требования к эффективности и безопасности торможения. Тягово-скоростные и тормозные свойства лесотранспортных машин связаны между собой. Чем выше скорость движения машины, тем эффективнее должны быть её тормозные свойства. Следовательно, безопасность движения и производительность в большей мере зависят от тормозных свойств лесотранспортной машины. Данное исследование посвящено вопросам влияния веса и специфических условий эксплуатации в лесопромышленном комплексе на тормозной путь лесовозного тягача на примере МАЗ-5434 с прицепом роспуском ГКБ-9362. Приведены результаты экспериментального исследования торможения автопоезда на лесовозной дороге с переходным типом покрытия.

**Ключевые слова:** лесовозный автопоезд; тормозной путь; расстояние видимости; гравийное покрытие; лесовозная дорога; условия эксплуатации; рейсовая нагрузка.

---

DOI: 10.15393/j2.art.2018.4342

*Article*

## **Effect of a log truck weight on the braking path length**

**Vladislav Petruhin<sup>1</sup>, Dmitry Akinin<sup>1,\*</sup> and Vyacheslav Borisov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Moscow State Technical University named after N. E. Bauman (Mytishchi branch), Russia, 141005, Moscow region, Mytishchi, ul. 1-I Institutskaya, 1; E-Mails: petruxin@mgul.ac.ru (V. P.); akinin.dmitrij2013@yandex.ru (D. A.); vborisov@bmstu.ru (V. B.)

\* Author to whom correspondence should be addressed; E-Mail: vborisov@bmstu.ru (V. B.); Tel.: +7(910)4201702.

*Received: 25 December 2018 / Accepted: 16 January 2019 / Published: 21 January 2019*

---

**Abstract:** With the increase in the traffic intensity and the overall weight of the timber transport systems the requirements for braking efficiency and safety increase. Traction-speed and braking properties of forest transport machines are interconnected. The higher the speed of a vehicle, the more effective its braking properties should be. Consequently, traffic safety and performance depend to a greater degree on the braking properties of a forest transport machine. This study is focused on the influence of weight and specific operating conditions in the timber industry complex on the breaking path length of a hauling truck through the example of the MAZ 5434 with a timber drag GKB-9362. The experimental results on a log truck braking on a timber road with a transitional type of surface are presented.

**Keywords:** logging truck; braking distance; the distance of visibility; gravel; logging road; operational conditions; the regular load.

---

## 1. Введение

С повышением интенсивности движения и общего веса лесотранспортных систем возрастают требования к эффективности и безопасности торможения. Тягово-скоростные и тормозные свойства лесотранспортных машин связаны между собой. Чем выше скорость движения машины, тем эффективнее должны быть её тормозные свойства. Следовательно, безопасность движения и производительность в большей мере зависят от тормозных свойств лесотранспортной машины [1].

Возможности торможения лесовозных автопоездов были оценены в ряде исследований, проведённых за последние годы. Многие из этих исследователей пришли к выводу, что тормозная эффективность лесовозных автопоездов меньше предполагаемой, обычно сделанных дорожными и транспортными инженерами в принятых дорожных стандартах. Эта статья описывает результаты некоторых анализов возможности торможения лесовозного автопоезда на примере МАЗ-5434 с прицепом роспуском ГКБ-9362, который используется, что называется, «с перегрузом» и «негабаритом» [5], [9].

В статье также обобщаются результаты полевых испытаний процесса торможения с описанными в доступных источниках и специальной литературе, которые, в свою очередь, сравниваются с результатами испытаний и поведением оцениваемых моделей автомобильного лесовозного транспорта.

## 2. Материалы и методы

С увеличением веса и скоростей движения лесовозных автопоездов всё большее значение приобретают вопросы совершенствования тормозных систем и методов решения задач, связанных с торможением поезда [2]. Одной из таких задач является расчёт тормозного пути в зависимости от эксплуатационных условий [4]. Этому вопросу посвящены многочисленные исследования, как в нашей стране, так и за рубежом. Полученные в результате этих исследований формулы для расчёта тормозного пути страдают известными недостатками [7].

В основу подавляющего большинства формул положено предположение о полном использовании сцепления тормозящих колёс с дорогой, что возможно только в исключительных условиях. Кроме того, в них не учитывается влияние веса автопоезда на его тормозной путь; между тем такое влияние подтверждено многочисленными экспериментами. Попытку учесть влияние веса автомобиля на тормозной путь сделал кандидат технических наук В. М. Геслер [1], предложивший для этого следующую формулу:

$$S_a = \frac{v_a}{3.6} t_0 + \frac{G_a v_a^2}{254 \frac{Mm}{r_k} \lambda + G_a \varphi (1-\lambda)},$$

где  $S_a$  — полный тормозной путь, м;  $V_a$  — начальная скорость, км/ч.;  $t_0$  — время подготовки действия тормоза до полного включения, с.;  $G_a$  — вес автомобиля, кг;  $M_m$  — суммарный тормозной момент, кг·м;  $r_k$  — радиус колеса, м;  $\varphi$  — коэффициент сцепления;  $\lambda$  — отношение окружной скорости колеса к скорости движения автомобиля.

Недостаток этой формулы состоит в том, что в основу её положено предположение о мгновенном нарастании суммарной тормозной силы в момент полного срабатывания тормозов [3]. При этом не учитывается снижение скорости в период нарастания замедлений. Например, при замедлении, равном  $7 \text{ м/с}^2$ , нарастающем за 0.5 с, погрешность в скорости автопоезда к моменту полного включения тормозов достигнет 6,3 км/ч. Если полная тормозная сила  $[\frac{M_m}{r_k} \lambda + G_a \varphi (1 - \lambda)]$  соответствует действующей силе, то погрешность в тормозном пути из-за неточности в определении скорости в момент полного включения тормозов составит от 2 до 6 м.

Другим недостатком формулы Геслера является трудность точного определения коэффициента  $\lambda$ . Автор рекомендует выбирать его в зависимости от отношения тормозной силы к весу автопоезда, в то время как коэффициент  $\lambda$  введён для расчёта этой силы. Это делает расчёт эмпирическим, а результаты не всегда достаточно точными.

Рассматривая тормозную диаграмму, характеризующую процесс торможения, приходим к выводу, что с некоторыми погрешностями она может быть представлена линейным графиком. В период нарастания тормозных сил замедление нарастает по зависимости, близкой к линейной, до величины, которая ограничивается сцеплением или тормозным моментом.

После ограничения тормозных сил, в период торможения с полной интенсивностью, замедление изменяется незначительно, т. е. практически имеет постоянную установившуюся величину ( $j_y$ ). В этом случае для расчёта тормозного пути достаточно знать величину установившегося замедления, продолжительность его нарастания и начальную скорость торможения [5].

Для периода нарастания замедления уравнение движения может быть выражено следующим образом:

$$\frac{dv}{dt} = -j = -\frac{j_y}{t_2} t;$$

где  $t_2$  — положительность нарастания замедлений;  $t$  — текущее время.

Интегрируя это уравнение, получим уравнение скорости:

$$v = v_a - \frac{j_y}{2t_2} t^2;$$

скорость в конце нарастания замедления:

$$v_2 = v_a - \frac{j_y t_2}{2};$$

тормозной путь за период нарастания замедления

$$S_{\tau 2} = v_a t_2 - \frac{1}{6} j_y t_2^2.$$

За период торможения с полной интенсивностью скорость снижается при постоянном замедлении до остановки по уравнению  $v = v_2 - j_y t$ , а тормозной путь

$$S_{\tau 3} = \frac{v_2^2}{2j_y}.$$

Сложив тормозные пути за оба периода, выразив  $v_2$  через  $v_a$  и скорость в м/с. через скорость в км/ч., получим после преобразований:

$$S_{\tau} = \frac{v_a^2}{26j_y} + \frac{v_a t_2}{7.2} - \frac{j_y t_2^2}{24} \quad (1)$$

При нормальной продолжительности нарастания замедлений  $t_2 < 1$  с, а при максимально возможных величинах замедлений ( $7\text{--}8$  м/с<sup>2</sup>) последний член даёт составляющую тормозного пути не более 20—25 см, поэтому его можно не учитывать.

Поскольку начальная скорость является исходной величиной, то для пользования формулой (1) необходимо предварительно определить установившееся замедление и продолжительность его нарастания.

При ограничении тормозной силы по тормозному моменту продолжительность её нарастания всегда равна продолжительности срабатывания привода. Тормозная сила, ограниченная по сцеплению, меньше тормозной силы, ограничиваемой тормозным моментом. При ограничении тормозной силы по сцеплению продолжительность её нарастания можно определить по формуле

$$t_2' = t_2 \frac{P_{\tau \text{ сцеп}}}{P_{\tau \text{ м}}}, \quad (2)$$

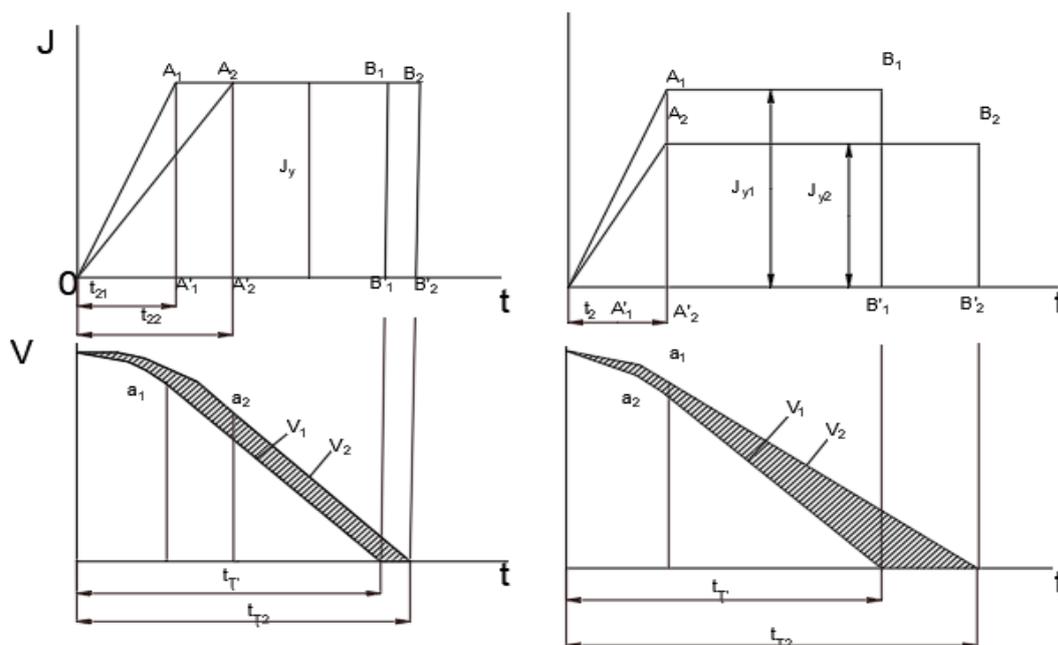
где  $t_2'$  — продолжительность нарастания замедления при ограничении тормозных сил по сцеплению;  $t_2$  — продолжительность срабатывания привода;  $P_{\tau \text{ сцеп}}$  — тормозная сила по сцеплению;  $P_{\tau \text{ м}}$  — тормозная сила по тормозному моменту.

Поскольку  $P_{т\text{сц}} = Z\varphi =$ , то продолжительность нарастания замедлений зависит от коэффициента сцепления и нормальной нагрузки ( $Z$ ).

Рассмотрим, каким образом вес автопоезда влияет на элементы тормозной диаграммы. Прежде всего, от его веса зависит характер ограничения тормозных сил. При малом весе наиболее вероятно ограничение по сцеплению. В этом случае установившееся замедление не зависит от веса и равно  $j_y = \varphi \cdot g$ , но с увеличением веса величина тормозной силы возрастает, а следовательно, возрастает и продолжительность нарастания тормозной силы (замедления).

На рис. 1 показано, как изменяется тормозная диаграмма при увеличении веса автопоезда от  $G_1$  до  $G_2$ , когда тормозные силы ограничиваются по сцеплению, а начальная скорость торможения постоянна. Площадь тормозной диаграммы  $jdt$  равна начальной скорости торможения, т. е. при том и другом весе она одинакова. Следовательно, площадь  $OA_1A_2$  равна площади  $B'_1, B_1, B_2, B'_2$ . Поэтому очевидно, что с увеличением веса автопоезда полная продолжительность торможения возрастёт.

Также на рис. 1 представлен график, показывающий, как изменяется тормозная диаграмма при ограничении тормозных сил по тормозному моменту. В этом случае продолжительность нарастания тормозных сил замедления постоянна и равна продолжительности срабатывания привода, но с увеличением веса уменьшается установившееся замедление. Поэтому продолжительность торможения до остановки при ограничении тормозных сил по тормозному моменту также увеличится.



**Рисунок 1.** Влияние веса автопоезда на элементы тормозной диаграммы, скорость и тормозной путь

В период нарастания замедления скорость уменьшается по параболической зависимости до точки  $a_1$ , а затем в период торможения с полной интенсивностью — по линейной зависимости. Площадь, ограниченная осями координат и кривой скорости ( $vdt$ ), равна тормозному пути. Следовательно, приращение этой площади, вызванное увеличением веса автопоезда (на рис. 1 заштрихована), характеризует увеличение тормозного пути. Из графиков следует, что в обоих случаях тормозной путь при увеличении веса автопоезда возрастает. Причём эта зависимость появляется наиболее значительно при ограничении тормозных сил по тормозному моменту, т. к. в этом случае установившееся замедление оказывает большое влияние на величину тормозного пути, чем продолжительность нарастания замедления.

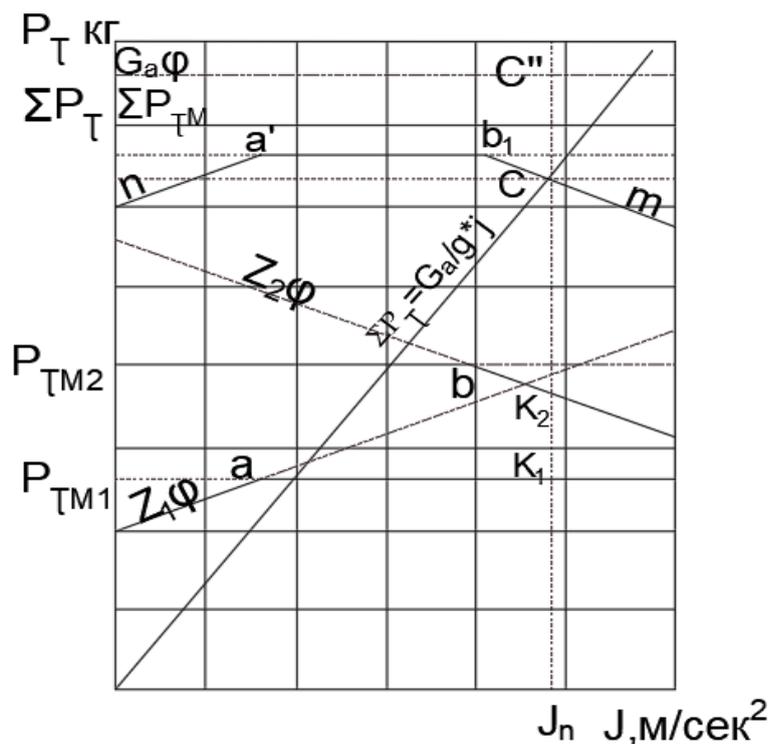
При определённых условиях торможения и конкретном весе возможно смешанное ограничение тормозных сил — по сцеплению и тормозному моменту (на разных осях). При этом продолжительность нарастания замедления изменяется так же, как при ограничении по сцеплению, а установившееся замедление — таким же образом, как при ограничении по тормозному моменту. Для расчёта установившегося замедления и продолжительности его нарастания, зависящих от веса автопоезда, необходимо сопоставить тормозные силы по сцеплению и тормозному моменту с учётом перераспределения нормальных реакций при торможении. Для этого построим график (рис. 2) тормозных сил по сцеплению двухосного автомобиля и зависимости от замедления по известным формулам:

$$P_{\tau 1} = Z_1 \varphi = \frac{G_a a \varphi}{B} + \frac{G_a h_g \varphi}{g B} j; \quad (3)$$

$$P_{\tau 2} = Z_2 \varphi = \frac{G_a (B-a)}{B} + \frac{G_a h_g \varphi}{g B} j; \quad (4)$$

где  $Z_1$  и  $Z_2$  — нормальные реакции на осях;  $B$  — база автомобиля, м;  $a$  — координата центра тяжести от задней оси, м;  $h_g$  — высота расположения центра тяжести.

Нанеся на график (рис. 2) тормозные силы  $P_{\tau M} = \frac{M_m}{r_k}$  по тормозному моменту, получим предельные величины тормозных сил на передней и задней осях. График показывает, что в зависимости от замедления соотношение тормозных сил по сцеплению и тормозному моменту изменяется. На передней оси с увеличением замедления до точки «а» тормозная сила ограничивается по сцеплению, после чего становится постоянной. На задней оси до точки «б» тормозная сила ограничивается тормозным моментом и постоянна, после точки «б» она ограничивается сцеплением и уменьшается с увеличением замедления.



**Рисунок 2.** Графический расчёт суммарной силы и установившегося замедления двухосного автомобиля

Сложив предельные величины тормозных сил передней и задней осей, получим пределы суммарной тормозной силы в зависимости от замедления, ограничиваемые линией  $na'b'm$ . Нарастание замедления связано с тормозной силой зависимостью  $P_T = \frac{G_a}{g} j$ . Нанеся эту зависимость на графике, заметим, что тормозная сила может расти до величины, которая определяется точкой пересечения этой зависимости с пределами суммарной тормозной силы (точкой «с»). Ордината точки «с» определяет действующую суммарную тормозную силу, а абсцисса — установившееся замедление. Ордината точки  $K_1$  характеризует тормозную силу на передней оси, а ордината  $K_2$  — задней. Ординаты дают возможность судить о степени использования тормозных сил на осях по сцеплению. Если нанести на график полную тормозную силу по сцеплению  $G_a \cdot \varphi$ , то появится степень её использования для всего автомобиля или автопоезда. Определив суммарную тормозную силу и замедление, можно рассчитать продолжительность нарастания замедления по формуле (2), а затем — и тормозной путь по формуле (1).

Для определения тормозных сил и установившегося замедления на уклоне в уравнениях (3) и (4) вес автомобиля необходимо заменить составляющей веса, перпендикулярной дороге  $G_a \cos \alpha$ , к силам инерции  $\frac{G_a}{g} j$  добавить составляющую веса  $G_a \sin \alpha$ , параллельную дороге, а суммарную тормозную силу по сцеплению рассчитать по уравнению

$$P_{\tau} = \frac{G_a}{g} j - G_a \sin \alpha .$$

Для расчёта показателей процесса торможения необходимо знать продолжительность срабатывания тормозного привода, величину тормозных моментов на осях, динамический радиус колеса, вес автомобиля и распределение его по осям в зависимости от замедления, коэффициент сцепления и величину уклона. Указанные величины, кроме тормозных моментов, известны из характеристики автомобиля и условий его эксплуатации. При правильно отрегулированных и исправных тормозах тормозные моменты могут быть определены достаточно точно, тем более что, по мнению многих исследователей, они являются основным критерием для контроля технического состояния тормозов и должны систематически замеряться при обслуживании автомобиля.

По данным автора, распределение веса лесовозного автопоезда по осям при торможении определяется следующими зависимостями:

$$Z_1 = \frac{G_a C_a}{B} + \frac{G_{гр} l_0 - C_{гр} b}{l_0 B} + \frac{G_{гр} h_{гр} b}{g l_0 B} j + \frac{G_a h_a}{g B} j + \frac{G_{гр} H}{g B} j + \frac{G_p h_p}{g B} j;$$

$$Z_2 = \frac{G_a (B - C_a)}{B} + \frac{G_{гр} l_0 - C_{гр} (B - b)}{l_0 B} + \frac{G_{гр} h_{гр} (B - b)}{g l_0 B} j - \frac{G_a h_a}{g B} j - \frac{G_{гр} H}{g B} j - \frac{G_p h_p}{g B} j;$$

$$Z_3 = G_p + \frac{G_{гр} C_{гр}}{l_0} - \frac{G_{гр} h_{гр}}{g l_0} j;$$

где  $G_a, G_{гр}, G_p$  — веса автомобиля, груза и роспуска, кг;  $l_0$  — расстояние между кониками, м;  $G_a$  — координата центра тяжести автомобиля от задней оси, м;  $H$  — высота коника от дороги, м;  $b$  — смещение коника автомобиля, м; — высота центра тяжести автомобиля, груза и роспуска, м; — координата центра тяжести груза от коника автомобиля, м;  $Z_1, Z_2, Z_3$  — нормальные реакции дороги на осях (для трёхосных автомобилей и двухосных роспуска  $Z_2$  и  $Z_3$  — суммарные реакции дороги на спаренных осях).

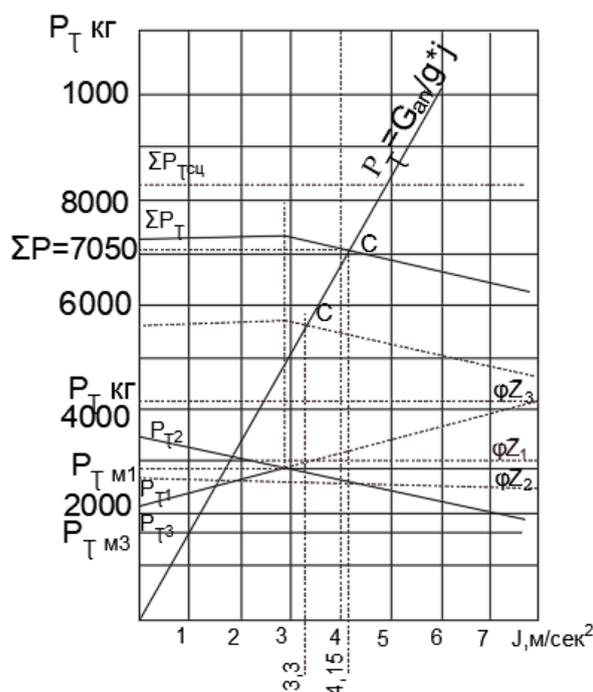
На рис. 3 приведена номограмма для расчёта суммарной тормозной силы и установившегося замедления автомобиля МАЗ-5434 с роспуском ГКБ-9362 (нагрузка 6560 кг, общий вес 16640 кг, дорога горизонтальная гравийная с коэффициентом сцепления 0,5).

Графический расчёт показывает, что при данных эксплуатационных условиях торможения и состоянии тормозной системы (по тормозному моменту) происходит смешанное ограничение тормозных сил. На передней оси автомобиля и оси роспуска тормозные силы ограничиваются по тормозному моменту, а на задней оси автомобиля — по сцеплению, т. е. колёса блокируются (юз). Максимально возможная тормозная сила по сцеплению

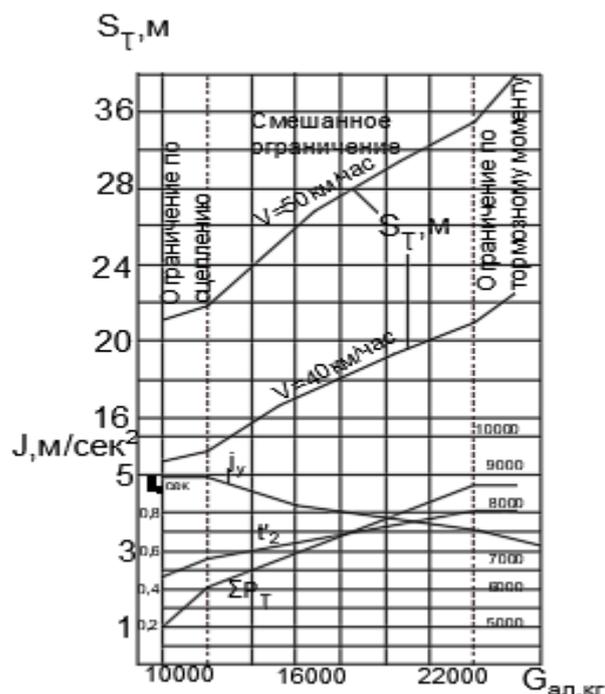
реализуется не полностью. Неиспользование тормозной силы по сцеплению, главным образом на оси роспуска, обусловлено пониженным давлением воздуха в тормозных камерах роспуска. Расчёт выполнен применительно к условиям испытаний автомобиля МАЗ-5434 с роспуском ГКБ-9362 в Медыньском лесничестве Калужской области. Экспериментальное определение установившегося замедления дало  $4,28 \text{ м/с}^2$  против расчётных  $4,15$ ; погрешность расчёта составила 3 %.

На том же графике условным пунктиром приведён расчёт для того же автопоезда с выключенными тормозами роспуска. В этом случае замедление составляет  $3,3 \text{ м/с}^2$  против фактических  $3,5 \text{ м/с}^2$  (погрешность 5,5 %). Приведённые данные свидетельствуют о достаточной точности расчёта.

На рис. 4 показаны результаты расчёта зависимости тормозного пути, суммарной тормозной силы, установившегося замедления и продолжительности его нарастания от веса автомобиля МАЗ-5434 с тормозным роспуском ГКБ-9362. Они свидетельствуют о том, что при увеличении веса автопоезда суммарная тормозная сила и продолжительность её нарастания возрастают до тех пор, пока на всех осях тормозные силы не будут ограничены моментами. В то же время установившееся замедление вначале постоянно (ограничение по сцеплению), а затем уменьшается с увеличением веса.



**Рисунок 3.** Расчёт тормозных сил и замедления автомобиля МАЗ-5434 с роспуском ГКБ-9362 ( $G_a = 16640 \text{ кг}$ ,  $\varphi = 0,5$ ,  $i = 0$ )



**Рисунок 4.** Зависимости тормозной силы, тормозного пути установившегося замедления и продолжительности его нарастания от веса автомобиля МАЗ-5434 с роспуском ГKB-9362

Расчёты показывают также, что увеличение веса автопоезда на 1 т при начальной скорости торможения, равной 40 км/ч., приводит к следующему изменению тормозного пути:

- при ограничении по сцеплению — 0,28 м/т;
- при смешанном ограничении — 0,6—0,7 м/т;
- при ограничении по тормозному моменту — 0,83 м/т.

Чем выше начальная скорость торможения, тем больше влияет вес автопоезда на тормозной путь.

Экспериментальные исследования процесса торможения автомобиля МАЗ-5434 с роспуском ГKB-9362 подтвердили достоверность произведённых расчётов: установившегося замедления с точностью до 0,1—0,4 м/с<sup>2</sup>, или 3—8,6 %, и тормозного пути с точность 0,1—1,4 м, или 1,5—8,5 %.

На графике показаны экспериментальные зависимости и ограничения по сцеплению с дорожным покрытием и ограничение по тормозному моменту и определяется смешанное ограничение. Предлагаемый метод для определения суммарной силы установившегося замедления и полного тормозного пути даёт высокую точность. Особенность этого метода заключается в том, что он позволяет рассчитать показатели процесса торможения в зависимости от веса автопоезда, дорожных условий и состояния тормозной системы [7], [8].

## Список литературы

1. *Геслер, В. М.* Исследование процесса торможения автомобиля / В. М. Геслер. — Алма-Ата, 1958.
2. *Бухарин, Н. А.* Тормозной путь автомобиля и автопоезда / Н. А. Бухарин // Автотракторная промышленность. — 1953. — № 1.
3. Проектирование лесовозных и лесохозяйственных дорог : учебное пособие / В. В. Никитин, В. А. Борисов, Д. В. Акинин, М. А. Сорокин ; под ред. А. А. Камусина. — Красноярск, 2018.
4. Программа оценки динамического взаимодействия звеньев лесовозного автопоезда в режиме экстренного или служебного торможения : свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS 2014618419 26.06.2014 / А. А. Камусин, А. В. Скрынников, В. А. Борисов, С. В. Дорохин.
5. Некоторые вопросы зависимости грузоподъёмности лесовозных автопоездов от типа покрытия лесной дороги / В. А. Борисов, Д. В. Акинин, С. А. Чернов, Д. П. Попутчиков // International Journal of Advanced Studies in Computer Engineering. — 2018. — № 1. — С. 9—13.
6. Анализ влияния проходов лесовозного автопоезда на уплотнение песчаного слоя основания лесной автодороги с переходным типом покрытия / В. В. Никитин, Д. В. Акинин, В. А. Борисов, Н. И. Казначеева // ЛЕСА РОССИИ В XXI ВЕКЕ : сборник научных трудов по итогам международной научно-технической интернет-конференции, 2015. — С. 126—130.
7. Некоторые критерии устойчивости автопоезда / А. А. Камусин, Д. В. Акинин, Н. И. Казначеева, В. А. Борисов // Вестник Московского государственного университета леса — Лесной вестник. — 2014. — № S2. — С. 122—126.
8. Устойчивость движения прицепов лесовозных автопоездов / А. А. Камусин, Д. В. Акинин, Н. И. Казначеева, В. А. Борисов // Вестник Московского государственного университета леса — Лесной вестник. — 2014. — № S2. — С. 143—145.
9. Влияние скорости движения лесовозного автопоезда на величину возникающих напряжений в дорожной конструкции / В. А. Борисов, Д. В. Акинин, В. В. Кирей, Е. А. Фокина // Resources and Technology. — 2018. — № 15 (3). — С. 43—51.

## References

1. *Gesler, V. M.* Issledovanie processa tormozheniya avtomobilya / V. M. Gesler. — Alma-Ata, 1958.
2. *Buxarin, N. A.* Tormoznoj put` avtomobilya i avtopoezda / N. A. Buxarin // Avtotraktornaya promy`shlennost`. — 1953. — № 1.
3. Proektirovanie lesovozny`x i lesoxozyajstvenny`x dorog : uchebnoe posobie / V. V. Nikitin, V. A. Borisov, D. V. Akinin, M. A. Sorokin ; pod red. A. A. Kamusina. — Krasnoyarsk, 2018.
4. Programma ocenki dinamicheskogo vzaimodejstviya zven`ev lesovoznogo avtopoezda v rezhime e`kstretnogo ili sluzhebnoego tormozheniya : svidetel`stvo o registracii programmy` dlya E`VM RUS 2014618419 26.06.2014 / A. A. Kamusin, A. V. Skry`nnikov, V. A. Borisov, S. V. Doroxin.

5. Nekotory`e voprosy` zavisimosti gruzopod`yomnosti lesovozny`x avtopoezdov ot tipa pokry`tiya lesnoj dorogi / V. A. Borisov, D. V. Akinin, S. A. Chernov, D. P. Poputchikov // International Journal of Advanced Studies in Computer Engineering. — 2018. — № 1. — S. 9—13.
6. Analiz vliyaniya proxodov lesovoznogo avtopoezda na uplotnenie peschanogo sloya osnovaniya lesnoj avtodorogi s perexodny`m tipom pokry`tiya / V. V. Nikitin, D. V. Akinin, V. A. Borisov, N. I. Kaznacheeva // LESA ROSSII V XXI VEKE : sbornik nauchny`x trudov po itogam mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj internet-konferencii, 2015. — S. 126—130.
7. Nekotory`e kriterii ustojchivosti avtopoezda / A. A. Kamusin, D. V. Akinin, N. I. Kaznacheeva, V. A. Borisov // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa — Lesnoj vestnik. — 2014. — № S2. — S. 122—126.
8. Ustojchivost` dvizheniya pricepov lesovozny`x avtopoezdov / A. A. Kamusin, D. V. Akinin, N. I. Kaznacheeva, V. A. Borisov // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa — Lesnoj vestnik. — 2014. — № S2. — S. 143—145.
9. Vliyanie skorosti dvizheniya lesovoznogo avtopoezda na velichinu vznikayushhix napryazhenij v dorozhnoj konstrukcii / V. A. Borisov, D. V. Akinin, V. V. Kirej, E. A. Fokina // Resources and Technology. — 2018. — № 15 (3). — S. 43—51.