

УДК 629.113

**С. Н. Пищов, С. А. Голякевич, С. Е. Арико**  
Белорусский государственный технологический университет

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УСТОЙЧИВОСТИ И ПРОХОДИМОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ-САМОСВАЛОВ MAZ**

Приведены результаты экспериментальных исследований по оценке показателей продольной и поперечной устойчивости, а также опорно-сцепной проходимости автомобилей-самосвалов MAZ-5516W4 и MAZ-4381, анализ которых позволил разработать рекомендации по режимам эксплуатации автомобиля-самосвала при выполнении транспортных и разгрузочных операций.

Установлено, что при эксплуатации в заданных дорожных условиях при движении под уклон определяющими являются показатели тягово-сцепных свойств автомобиля-самосвала, такие как силы сопротивления движению, силы сцепления, коэффициент запаса по проходимости.

По результатам экспериментальных исследований определены силы сопротивления движению и сцепления с учетом угла наклона автомобиля-самосвала в продольной и поперечной плоскостях, что позволило установить режимы эксплуатации в заданных условиях движения при различных значениях угла наклона опорной поверхности движения.

**Ключевые слова:** автомобиль-самосвал, экспериментальные исследования, устойчивость, проходимость.

**S. N. Pischov, S. A. Golyakevich, S. Ye. Ariko**  
Belarusian State Technological University

### **COMPARATIVE ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS IN STABILITY AND PASSABILITY OF DUMPTRUCKS MAZ**

The article presents experimental results in estimation of pitch axis and transverse stability, as well as floatation of dumptrucks MAZ-5516W4 and MAZ-4381. The analysis of these results made it possible to recommend operation modes for dumptrucks fulfilling transporting and uploading operations.

Haulage and towing capacities of dumptruck such as motion resistance force, adhesive force, and assurance passability coefficient are found to be determining while operating in case of angular motion.

According to the results obtained, there have been determined motion resistance and adhesive forces considering vehicle -tilt angle in longitudinal and diametral planes. These resulted in fixing of operation modes under specified criteria of motion at various angles of surface slope motion.

**Key words:** dumptruck, experimental results, stability, passability.

**Актуальность рассматриваемой проблемы.** Устойчивость и проходимость являются одними из важнейших эксплуатационных свойств автомобилей-самосвалов, от которых во многом зависит безопасность эксплуатации при выполнении транспортных и разгрузочных операций.

В зависимости от направления скольжения или опрокидывания различают поперечную и продольную устойчивость. В процессе эксплуатации более вероятна и опасна потеря поперечной устойчивости, возникающая вследствие действия различных боковых сил. Потеря поперечной устойчивости может произойти как при криволинейном, так и при прямолинейном

движении, а также при выполнении разгрузочных операций [1].

С целью оценки показателей устойчивости и проходимости были проведены экспериментальные исследования опытных образцов автомобилей-самосвалов MAZ-5516W4 и MAZ-4381.

**Методика проведения экспериментальных исследований.** Объектами экспериментальных исследований являлись: автомобиль-самосвал MAZ-5516W4 с колесной формулой 6X4 с технически допустимой общей массой 25 т для преимущественного использования в сельском и лесном хозяйстве и автомобиль-самосвал среднетоннажного класса MAZ-4381 с колесной формулой 4X2, грузоподъемностью

6–6,5 т. Экспериментальные исследования выполнены на аттестованном в установленном порядке оборудовании, стендах и приборах. Для определения показателей устойчивости автомобиля-самосвала использовался стенд СУ-40, состоящий из наклонной платформы и механизма управления с гидравлическим приводом. Опорная поверхность стенда имела возможность поворачиваться вокруг собственной продольной оси. Платформа была дополнительно оснащена страховочными приспособлениями в виде цепей и упоров, которые предотвращали опрокидывание автомобиля-самосвала и скольжение его шин в поперечном направлении. Для измерения реакций под колесами автомобиля-самосвала применялись тензометрические датчики вертикальных нагрузок УД-1.

Регистрация измеряемых параметров осуществлялась измерительной аппаратурой в составе многофункционального измерительного комплекса «Spider 8». Угол наклона опорной поверхности определялся при помощи угломера, установленного непосредственно на опорной платформе.

В процессе проведения экспериментальных исследований регистрировались: реакции под всеми колесами автомобилей-самосвалов со снаряженной и полной массами; реакции под колесами мостов автомобилей-самосвалов при изменении угла наклона опорной платформы стенда. Также были определены значения передних и задних свесов, углы въезда и съезда, углы продольной проходимости, дорожный просвет. При проведении экспериментальных исследований соблюдались требования техники безопасности в соответствии с паспортом и руководством по эксплуатации соответствующего измерительного оборудования и стендов.

**Анализ результатов экспериментальных исследований.** При увеличении угла наклона платформы стенда (подъем передней части снаряженного автомобиля-самосвала) наблюдается перераспределение нормальных реакций под колесами автомобилей-самосвалов. Реакция под колесами переднего моста МАЗ-4381 уменьшается с 36 до 31,2 кН (при увеличении угла наклона платформы стенда до 30°). В этих же условиях колеса заднего моста разгружаются с 25 до 21,6 кН. Суммарная нормальная реакция под колесами переднего и заднего мостов уменьшается с 61 до 51,8 кН. В аналогичных условиях реакция под колесами переднего моста автомобиля-самосвала МАЗ-5516W4 уменьшается с 42 до 20,4 кН, реакция под колесами среднего и заднего мостов увеличивается с 33 до 36,6 кН. Суммарная нормальная реакция под колесами автомобиля-самосвала уменьшается с 108 до

93,6 кН. Уменьшение значений нормальных реакций под ведущими колесами приводит к снижению сил сцепления и росту сил сопротивления движению под уклон  $P_i$  (скатывающая сила).

Для оценки устойчивости автомобилей-самосвалов против опрокидывания использован коэффициент запаса устойчивости ( $K_m$ ), который определяется по формуле

$$K_m = 1 - \frac{M_{\text{опр}}}{M_{\text{восст}}}, \quad (1)$$

где  $M_{\text{опр}}$  – опрокидывающие моменты, кН·м,  $M_{\text{восст}}$  – восстанавливающие моменты, кН·м.

При значении  $K_m \geq 0,5$  – устойчивость против опрокидывания хорошая.

При значении угла наклона платформы стенда 30° (в продольной плоскости) коэффициент запаса устойчивости для автомобилей-самосвалов со снаряженной массой находился в пределах 0,6–0,7, что говорит о хорошей продольной устойчивости по опрокидыванию.

При наклоне автомобилей-самосвалов с полной массой минимальное значение  $K_m$  наблюдалось при подъеме передней части (имитация движения под уклон передним ходом). При значениях угла наклона платформы 15–25° значения  $K_m$  находились в пределах 0,1–0,4, что говорит о недостаточной устойчивости против опрокидывания автомобилей-самосвалов.

Также были определены значения  $K_m$  при наклоне автомобилей-самосвалов в поперечной плоскости, которые составили 0,4–0,6 (автомобили-самосвалы со снаряженной массой) и 0,3–0,4 (автомобили-самосвалы с полной массой). Однако определяющим показателем устойчивости в поперечной плоскости при эксплуатации в тяжелых дорожных условиях является угол сползания автомобилей-самосвалов, значения которого составили: для грунтовой дороги – 26°; для песчаной дороги – 21°; для снега укатанного – 11°.

Значительный объем экспериментальных исследований был выполнен для оценки показателей устойчивости автомобиля-самосвала при выполнении разгрузочных операций. Анализ полученных результатов позволил определить максимальные углы наклона опорной поверхности, на которых необходимо производить разгрузку сыпучих материалов без потери устойчивости.

При эксплуатации в тяжелых дорожных условиях определяющими являются тягово-сцепные свойства автомобиля-самосвала. Для определения максимальных углов, которые сможет преодолеть снаряженный автомобиль в тяжелых

дорожных условиях, по результатам испытаний определены силы сопротивления движению и силы сцепления в зависимости от угла наклона опорной поверхности (платформа стенда) и условий движения. При проведении экспериментальных исследований была осуществлена замена движения по дороге с различным уклоном имитацией движения с помощью стенда с наклонной платформой и расчетными значениями сил сопротивления качению и сцепления.

Для определения максимальных углов наклона опорной поверхности, которые смогут преодолевать опытные образцы автомобилей-самосвалов в тяжелых дорожных условиях использован коэффициент запаса проходимости  $\Pi$ , который определялся по формуле:

$$\Pi = 1 - \frac{P_{\text{сопр}}}{P_{\text{сц}}}, \quad (2)$$

где  $P_{\text{сопр}}$  – сила сопротивления движению, кН;  $P_{\text{сц}}$  – сила сцепления, кН.

Существует классификация проходимости машин, согласно которой машины могут быть: хорошей – при  $\Pi > 0,5$ ; удовлетворительной – при  $\Pi = 0,3-0,5$ ; затруднительной – при  $\Pi = 0,1-0,3$  и неудовлетворительной проходимости – при  $\Pi < 0,1$  [2].

Анализ полученных результатов позволил установить максимальные углы уклона опорной поверхности, на которых возможно движение автомобилей-самосвалов со снаряженной и полной массами. Для автомобилей-самосвалов со снаряженной массой максимальные углы уклона опорной поверхности, которые они смогут преодолевать, составили при движении передним ходом в заданных дорожных условиях на уклонах до  $20^\circ$  по грунтовой дороге, до  $10-12^\circ$  – по песчаному влажному грунту, до  $10^\circ$  – по снегу. Из-за низкого сцепного веса, а следовательно, и силы сцепления, максимальный угол уклона опорной поверхности, который смогут преодолеть автомобили-самосвалы со снаряженной массой задним ходом, составили  $15-18^\circ$  для грунтовой дороги,  $5-10^\circ$  для песчаного влажного грунта и снега. Дальнейшее увеличение угла уклона приводит к росту силы сопротивления движению, которая превышает силу сцепления (движение затруднительно или невозможно).

Максимальные углы наклона опорной поверхности, которые смогут преодолевать

автомобили-самосвалы с полной массой, составят: для грунтовой дороги –  $20-25^\circ$  при движении передним ходом ( $10-15^\circ$  при движении задним ходом), для песчаного влажного грунта –  $10-15^\circ$  ( $5-10^\circ$ ), для снега укатанного –  $5-10^\circ$  ( $5-7^\circ$ ). Для обеспечения движения в заданных условиях эксплуатации необходимо использовать полноприводные автомобили-самосвалы. В этом случае наблюдается увеличение максимальных углов уклона опорной поверхности на  $5-10^\circ$ , которые смогут преодолевать автомобили-самосвалы со снаряженной и полной массами.

При проведении экспериментальных исследований были определены показатели опорной проходимости автомобилей-самосвалов, а также значения давлений на опорную поверхность автомобилей-самосвалов со снаряженной и полной массами, которые позволили установить возможность эксплуатации опытных образцов машин на дорогах общего пользования с максимальной загрузкой грузовой платформы.

**Заключение.** Проведенные экспериментальные исследования показателей продольной и поперечной устойчивости позволили определить углы опрокидывания и сползания опытных образцов автомобилей-самосвалов МАЗ-5516W4 и МАЗ-4381 при выполнении транспортных и разгрузочных операций. Для оценки устойчивости определены реакции под колесами мостов опытных образцов автомобилей-самосвалов и коэффициенты запаса против опрокидывания при наклоне платформы стенда на угол до  $30^\circ$  в продольной и поперечной плоскостях.

По результатам экспериментальных исследований определены силы сопротивления движению и сцепления с учетом угла наклона автомобилей-самосвалов в продольной плоскости и дорожных условий, что позволило установить режимы эксплуатации в заданных условиях движения при различных значениях угла наклона опорной поверхности движения. Результаты получены для автомобилей-самосвалов со снаряженной и полной массами при движении передним и задним ходом.

Предложенные методики оценки возможности движения в различных условиях эксплуатации могут быть применены для других видов автомобильной техники и различных условий движения.

## Литература

1. Результаты экспериментальных исследований устойчивости автомобиля МАЗ повышенной проходимости / С. Н. Пишов [и др.] // Труды БГТУ. 2013. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 47–48.

2. Пищов С. Н. Применение движителя комбинированного типа для повышения тягово-сцепных свойств лесных погрузочно-транспортных машин: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2008. 24 с.

### References

1. Pishchov S. N., Ariko S.Ye., Mokhov S. P., Manko A. V. The results of experimental research of stability for off-road capability trucks MAZ. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 47–48 (In Russian).

2. Pishchov S. N. *Primenenie dvizhitelja kombinirovannogo tipa dlja povyshenija tjavovo-scepnyh svojstv lesnyh pogruzochno-transportnyh mashin: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Application of the combined type mover for increase of track-adhesive properties of logging forwarders. Abstract of thesis cand. of techn. sci.]. Minsk, 2008. 21 p.

### Информация об авторах

**Пищов Сергей Николаевич** – кандидат технических наук, доцент, директор Института повышения квалификации и переподготовки. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ipk@belstu.by

**Голякевич Сергей Александрович** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: gsa@belstu.by

**Арико Сергей Евгеньевич** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: lmitlz@belstu.by

### Information about the authors

**Pishchov Sergey Nikolaevich** – PhD (Engineering), Assistant Professor, Director of the Institute for Retraining and Professional Development. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ipk@belstu.by).

**Golyakevich Sergey Aleksandrovich** – PhD (Engineering), Senior Lecturer, of the Department of Logging Machinery and Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gsa@belstu.by).

**Ariko Sergey Yevgen'evich** – PhD (Engineering), Senior Lecturer of the Department of Logging Machinery and Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sergeyariko@mail.ru

Поступила 15.02.2016