

Научная статья

DOI: 10.15593/24111678/2022.04.04

УДК 629.1.04

О.Н. Мехонин¹, К.Г. Пугин^{1,2}, Р.В. Щеткин¹

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

²Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика
Д.Н. Прянишникова, Пермь, Россия

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЫНОСНЫХ ОПОР АВТОМОБИЛЬНОГО КРАНА-МАНИПУЛЯТОРА НА КОЭФФИЦИЕНТ ГРУЗОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Несмотря на эффективность своего использования, прежде всего, автомобильный кран-манипулятор представляет собой средство повышенной опасности, а это значит, что теме его безопасного использования уделяется особое внимание как на стадии проектирования, так и в последующих приемных испытаниях.

Ввиду непрерывного совершенствования конструкций используемых шасси, монтаж на них крано-манипуляторных установок обуславливает необходимость повышения точности в проводимых расчетах для гарантированного обеспечения безопасности конструкции машины. На сегодняшний день изучение факторов для определения коэффициента грузовой устойчивости автомобильных грузоподъемных кранов является особенно важным, поскольку широкое развитие новых видов грузоподъемного оборудования, в частности рост рынка автомобильных крано-манипуляторов, повлекло за собой необходимость учета характерных технических факторов крано-манипуляторов при проектировании и изготовлении данного вида грузоподъемной техники.

Одним из таких факторов является использование выносных опор на автомобильном кране-манипуляторе. Выносные опоры являются механическим устройством, с помощью которого значительно увеличивается опорный контур крана-манипулятора, а следовательно, и повышается безопасность эксплуатации при подъеме груза. Однако для того, чтобы гарантированно обеспечивать требуемые технические параметры безопасного использования крана, на стадии проектирования необходимо владеть максимальным количеством конструктивных параметров выносной опоры.

В рамках проведения научно-исследовательской работы по повышению точности расчета грузовой устойчивости автомобильных грузоподъемных кранов и автомобильных крано-манипуляторов в настоящей статье рассматриваются возможные отклонения в размерной цепи сопряженных деталей конструкции выносной опоры, а также влияние данных отклонений на коэффициент грузовой устойчивости автомобильного крана-манипулятора.

Ключевые слова: автомобильный кран-манипулятор, крано-манипуляторная установка, выносная опора, коэффициент грузовой устойчивости.

O.N. Mekhonin¹, K.G. Pugin^{1,2}, R.V. Shchetkin¹

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

²Perm State Agrarian and Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov,
Perm, Russian Federation

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF STRUCTURAL FEATURES OF THE OUTRIGGERS OF AN AUTOMOBILE CRANE MANIPULATOR ON THE COEFFICIENT OF LOAD STABILITY

The main requirement for lifting equipment is strict compliance with measures for safe operation. Therefore, special attention is paid to this issue when designing each piece of equipment of this type.

Due to the wide variety of car chassis designs and their rapid modernization, the installation of crane-manipulators on them requires constant refinement in the calculations carried out to ensure subsequent safe operation. At present, the issue of studying the determination of the coefficient of load stability of automobile lifting cranes is particularly relevant, since the widespread development of new types of lifting equipment, and in particular the development of the market of automobile cranes-manipulators entailed the need to take into account characteristic technical factors in the design and manufacture of this type of lifting equipment.

One of these factors is the use of outriggers in a car crane manipulator. Outriggers are a mechanical device that significantly increases the supporting contour of the crane, and consequently increases the safety of operation when lifting cargo. However, in order to guarantee the required technical parameters for the safe use of the crane, at the design stage it is necessary to know the maximum number of structural parameters of the outrigger.

As part of the implementation of research work to improve the accuracy of calculating the load stability of automobile lifting cranes and automobile crane-manipulators, based on the analysis of archival and current regulatory and technical documents, the possible occurrence of causes of accidents due to imperfection of regulatory instructions or non-compliance with regulatory guidelines during design work by the manufacturer was considered. In this article, possible deviations in the dimensional chain of the mating parts of the outrigger structure are examined, as well as the influence of these deviations on the coefficient of load stability of an automobile crane manipulator.

Keywords: truck crane, crane-manipulator, outrigger, load stability coefficient.

Транспортные средства, оснащенные крано-манипуляторной установкой (КМУ), получили широкое распространение благодаря высокой эффективности использования и своей универсальности, поскольку позволяют эксплуатировать КМУ как для решения общих, так и узкоспециализированных задач за счет установки сменного навесного оборудования [1].

Однако, прежде всего, автомобильные краны-манипуляторы являются средством повышенной опасности, что обуславливает особые требования к их проектированию и обеспечению безопасной эксплуатации. Устойчивость крана должна быть подтверждена теоретическими расчетами, а также последующими натурными статическими и динамическими испытаниями. Значительную роль для обеспечения устойчивости крана выполняют выносные опоры [2; 3].

Выносная опора автомобильного крана-манипулятора представляет собой устройство, с помощью которого можно значительно повысить устойчивость крана при подъеме груза. При этом подъем груза краном без использования выносных опор строго запрещается. Для соблюдения этого условия в систему управления крана устанавливаются датчики контроля использования выносных опор. Таким образом, для обеспечения безопасной эксплуатации крана на стадии проектирования выбирается количество выносных опор и определяется их расположение (рис. 1) [4].



Рис. 1. Пример расположения выносных опор автомобильного крана-манипулятора

Первоначальный расчет устойчивости производится из условия использования основных выдвижных опор крано-манипуляторной установки. При получении недостаточного значения коэффициента грузовой устойчивости рассматривается замена основных опор на опоры с большей шириной вылета либо применение дополнительных опор. В том случае, когда вариативная замена основных выносных гидравлических опор запрещена заводом-изготовителем КМУ, либо невозможна по ряду технических требований, установка дополнительных опор является одним из самых распространенных и эффективных способов увеличения коэффициента грузовой устойчивости проектируемого грузоподъемного крана.

Это значит, что именно на стадии проектирования необходимо учесть все конструкционные особенности выносных опор при расчете грузовой устойчивости крана [5; 6].

На сегодняшний день основным нормативным документом являются Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных произ-

водственных объектов, на которых используются подъемные сооружения» от 26.11.2020. В данном документе отсутствуют рекомендации по построению опорного контура крана-манипулятора, но в архивных нормативных документах согласно методике расчета грузовой устойчивости при построении опорного контура выдвижные опоры рассматриваются как абсолютно жесткие системы [7–9]. Однако в действительности секция подъема и секция выдвижения выносной опоры представляют собой пары сопрягающихся деталей, которые имеют конструкционные допуски даже на новом оборудовании (рис. 2).



Рис. 2. Секция выдвижения выносной опоры, где X – зазор между сопрягающимися деталями в миллиметрах

Это значит, что при использовании опоры на неровной поверхности или вследствие дальнейшего износа сопрягающихся деталей фактическая точка опоры с грунтом будет отличаться от теоретической схемы опорного контура теоретического расчета. Следовательно, изменится и фактический опорный контур крана, что может негативно отразиться на безопасности его использования. Цель данного исследования состоит в оценке влияния возможных отклонений в конструкции секции подъема выносной опоры на коэффициент грузовой устойчивости.

Теоретический эксперимент предлагается провести на основе усредненных технических показателей современного двухосного грузового автомобиля, оснащенного КМУ (рис. 3).

Исходя из указанных в табл. 1 технических параметров, предлагается провести оценку возможных максимальных перемещений подпятника опоры относительно оси выдвижения опоры при подъеме автомобиля из-за отклонений в паре сопрягающихся деталей «корпус – гидроцилиндр» (рис. 4). Данные отклонения могут быть вызваны как конструктивными допусками, так и естественным износом сопрягающихся деталей.

Полученные значения перемещения X предлагается оценить на примере расчетов грузовой устойчивости двухосного шасси с КМУ средней грузоподъемности. Результаты полученных расчетов представлены в табл. 2.

По результатам расчетов можно сделать вывод, что возможные отклонения при эксплуатации секции подъема выдвижных опор могут оказывать отрицательное влияние на изменение коэффициента грузовой устойчивости, а следовательно, и на общую безопасность машины [10–15]. Также нужно отметить, что для грузовых шасси, рама которых находится на высоте от земли более чем на 1000 мм, данный фактор будет оказывать значительное влияние. Примером этому может являться использование КМУ на вездеходных грузовых шасси.

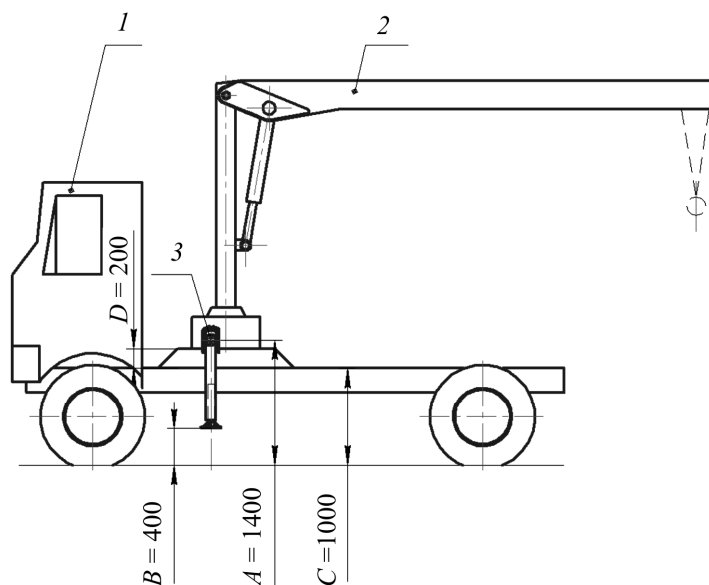


Рис. 3. Автомобиль, оснащенный КМУ, где:
1 – базовое шасси, 2 – КМУ, 3 – выносная телескопическая опора

Таблица 1

Технические характеристики

Параметр	Значение, мм
Расстояние от оси выдвижения до опорной поверхности (А)	1400
Расстояние от опоры до опорной поверхности (В)	400
Расстояние от рамы шасси до опорной поверхности (С)	1000
Высота надрамника для монтажа КМУ (D)	200

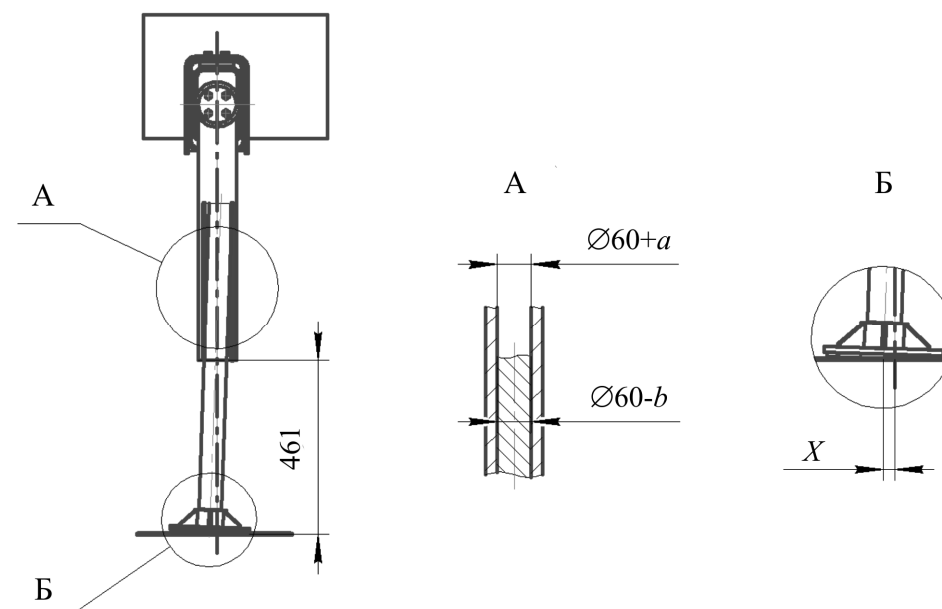


Рис. 4. Рассматриваемое смещение выносной опоры, где: X – перемещение оси подпятника относительно оси выдвижения опоры, a – размерное отклонение диаметра корпуса гидроцилиндра, b – размерное отклонение диаметра гидроцилиндра

Результаты расчетов

Отклонение «a» [мм]	Отклонение «b» [мм]	Суммарное отклонение [мм]	Смещение X, [мм]	Изменение коэффициента устойчивости [%]
+0,1	-0,1	0,2	0,313	0,003
+0,25	-0,25	0,5	0,783	0,008
+0,5	-0,5	1	1,567	0,017
+1	-1	2	3,135	0,034
+2	-2	4	6,27	0,068
+5	-5	10	15,675	0,17
+10	-10	20	31,35	0,34
+15	-15	30	47,025	0,51

Заключение

Таким образом, доказывается необходимость учета дополнительных технических факторов в настоящей методике расчета грузовой устойчивости с помощью введения новых поправочных коэффициентов, учитывающих данное явление. Величина коэффициента зависит от результатов фактических замеров элементов конструкции опор. Это позволит не только повысить безопасность эксплуатации, но и эффективнее использовать технический потенциал грузоподъемной установки. Данный фактор предлагается учитывать не только при проектировании грузоподъемной машины. Также результаты полученного эксперимента могут быть учтены при эксплуатации грузоподъемного крана и прохождения им необходимых проверок со стороны Ростехнадзора.

Список литературы

1. Бандурин Р.А. Рынок кранов-манипуляторов в России // Проблемы современной экономики. – 2015. – № 26. – С. 138–142.
2. Зорин В.А., Баурова Н.И. Повышение безопасности дорожно-строительных машин и оборудования // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2009. – № 1. – С. 39–40.
3. Жадановский Б.В. Организация устойчивости подъемно-транспортных средств в строительном производстве // Вестник МГСУ. – 2016. – № 5. – С. 52–58.
4. Мандровский К.П., Тюрин Я.И. Оптимизация опорного контура колёсной машины, оснащённой манипуляторным оборудованием, для повышения её устойчивости // Вестник машиностроения. – 2017. – № 10. – С. 33–34.
5. Jeng S.L., Yang C.F. and Chieng W.C. Outrigger force measure for mobile crane safety based on linear programming optimization [Электронный ресурс] // Mechanics Based Design of Structures and Machines. – 2010. – Vol. 38, no. 2. – P. 145–170. DOI: 10.1080/15397730903482702. – URL: https://www.researchgate.net/publication/245329177_Outrigger_Force_Measure_for_Mobile_Crane_Safety_Based_on_Linear_Programming_Optimization (дата обращения: 25.01.2022).
6. Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъёмные сооружения: Федеральные нормы и правила / утв. приказом Ростехнадзора № 461 от 26.11.2020. – М., 2020.
7. Щеткин Р.В., Основные проблемы сертификации автомобильных кранов-манипуляторов и пути их решения при организации серийного производства // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2010. – № 2. – С. 46–60.
8. Mekhonin O.N., Shchetkin R.V., Pugin K.G. Influence of the tilt of the sprung elements of the construction of car cranes on cargo stability [Электронный ресурс] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 786. – Art. 012026. 6 p. DOI:

10.1088/1757-899X/786/1/012026. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/786/1/012026/pdf> (дата обращения: 10.11.2022).

9. Мехонин О.Н., Пугин К.Г. Обоснование изменения методики расчета грузовой устойчивости автомобильных грузоподъемных кранов и кранов-манипуляторов на основе анализа регламентирующих нормативных документов // Вестник СибАДИ. – 2020. – Т. 17, № 3. – С. 328–339.

10. Мехонин О.Н., Пугин К.Г., Щеткин Р.В. Влияние смещения зависимой подвески на шасси автомобильных кранов-манипуляторов при подъеме груза на значение коэффициента грузовой устойчивости // Химия. Экология. Урбанистика. – 2019. – Т. 2. – С. 139–143.

11. Simulation model of a mobile crane with ensuring its stability (in Polish) [Электронный ресурс] / Kacalak, Wojciech & Budniak, Zbigniew & Majewski, Maciej // Modelowanie Inzynierskie – Modelling in Engineering. – 2016. – Vol 29. – P. 35–43. – URL: https://www.researchgate.net/publication/312590802_Simulation_model_of_a_mobile_crane_with_ensuring_its_stability_in_Polish (дата обращения: 25.01.2022).

12. Anezirisa O.N., Papazoglou I.A., Mud M.L. Towards risk assessment for crane activities [Электронный ресурс] // Safety Science. – 2008. – Vol. 46, no. 6. – P. 872–884. – URL: https://www.researchgate.net/publication/229350415_Towards_risk_assessment_for_crane_activities (дата обращения: 15.01.2022).

13. A Review of Crane Safety in the Construction Industry / Richard L. Neitzel, Noah S. Seixa, Kyle K. Ren // Applied Occupational and Environmental Hygiene. – 2001. – Vol. 16 (12). – P. 1106–1117. DOI: 10.1080/10473220127411

14. Oladiran, Olatunji J. Control measures of Accidents: Nigerian Building Projects Case [Электронный ресурс] // Proceedings of CIB-2008-Transformation through Construction, 15–17 November, Dubai. – URL: https://www.researchgate.net/publication/329787114_Control_measures_of_accidents (дата обращения: 20.01.2022).

15. Romanello G. Stability analysis of mobile cranes and determination of outriggers loading // J. Eng. Des. Technol. – 2018. – № 16. – P. 938–958.

References

1. Bandurin R.A. Rinok kranov_manipulyatorov v Rossii / R.A. Bandurin // Problemi sovremennoi ekonomiki. – 2015. _ № 26. – С. 138–142.

2. Zorin V.A., Baurova N.I. Povishenie bezopasnosti dorozhno_stroitelnykh mashin i oborudovaniya // Nauka i tehnika v dorozhnoi otrasli_2009. № 1. С. 39–40.

3. Jadanovskii B.V. Organizatsiya ustoichivosti podemno_transportnykh sredstv v stroitelnom proizvodstve // Vestnik MGSU. _2016. _ № 5. С. 52–58.

4. Mandrovskii K.P. Optimizatsiya opornogo kontura kolesnoi mashini_ osnaschennoi manipulyatornim oborudovaniem_ dlya povsheniya ee ustoichivosti / K.P. Mandrovskii_ Ya.I. Tyurin // Vestnik mashinostroeniya. – 2017. – № 10 – S. 33–34.

5. Jeng S.L., Yang C.F. and Chieng W.C. Outrigger force measure for mobile crane safety based on linear programming optimization. – Mechanics Based Design of Structures and Machines, 2010. vol. 38, No. 2, pp. 145–170. DOI: 10.1080/15397730903482702 URL: https://www.researchgate.net/publication/245329177_Outrigger_Force_Measure_for_Mobile_Crane_Safety_Based_on_Linear_Programming_Optimization (date of application 25.01.2022).

6. Federal norms and Rules "Rules of industrial safety of hazardous production facilities where lifting structures are used". Approved by Rostekhnadzor Order No. 461 dated 26.11.2020.

7. Schetkin R.V. Osnovnye problemi sertifikatsii avtomobilnykh kranov_manipulyatorov i puti ih resheniya pri organizatsii seriinogo proizvodstva. Transport. Transportnie sooruzheniya. Ekologiya. 2010. № 2. S. 46_60.

8. Mekhonin O.N. Influence of the tilt of the sprung elements of the construction of car cranes on cargo stability / O.N. Mekhonin, R.V. Shchetkin, K.G. Pugin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering [Electronic resource]. – 2020. – Vol. 786. – Art. 012026. 6 p. – Mode of access: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/786/1/012026/pdf>. – Title from screen. – DOI: 10.1088/1757-899X/786/1/012026.

9. Mekhonin O.N. Obosnovanie izmeneniya metodiki rascheta gruzovoi ustoichivosti avtomobilnykh gruzopodemnykh kranov i kranov manipulyatorov na osnove analiza reglamentiruyuschiykh normativnykh dokumentov / O.N. Mekhonin, K.G. Pugin // Vestnik SibADI. _2020. _ T. 17_ № 3. _ S. 328_339.

10. Mekhonin O.N. Vliyaniye smescheniya zavisimoi podveski na shassi avtomobilnykh kranov manipulyatorov pri podeme gruzha na znachenie koeffitsienta gruzovoi ustoichivosti / Mekhonin O.N._ Pugin K.G._ Schetkin R.V. // Himiya. Ekologiya. Urbanistika. 2019. T. 2. S. 139_143.

11. Kacalak, Wojciech & Budniak, Zbigniew & Majewski, Maciej. Simulation model of a mobile crane with ensuring its stability (in Polish). Modelowanie Inżynierskie – Modelling in Engineering. 2016. Vol 29, pp. 35–43. URL: https://www.researchgate.net/publication/312590802_Simulation_model_of_a_mobile_crane_with_ensuring_its_stability_in_Polish (дата обращения: 25.01.2022).
12. Anezirisa O.N. Towards risk assessment for crane activities. / Anezirisa O.N, Papazoglou I.A., Mud M.L. // Safety Science, 2008. vol. 46, No. 6, pp. 872–884. URL: https://www.researchgate.net/publication/229350415_Towards_risk_assessment_for_crane_activities (date of application 25.01.2022).
13. Richard L. Neitzel, Noah S. Seixá, Kyle K. Ren A Review of Crane Safety in the Construction Industry, Applied Occupational and Environmental Hygiene, 2001, 16: 12, pp 1106–1117, DOI: 10.1080/10473220127411.
14. Oladiran, Olatunji Joseph Control measures of Accidents: Nigerian Building Projects Case: Proceedings of CIB-2008-Transformation through Construction, 15–17 November, Dubai. URL: https://www.researchgate.net/publication/329787114_Control_measures_of_accidents (дата обращения: 20.01.2022).
15. Romanello G. Stability analysis of mobile cranes and determination of outriggers loading. *J. Eng. Des. Technol.* – 2018, № 16, pp. 938–958.

Об авторах

Мехонин Олег Николаевич (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Автомобили и технологические машины» Пермского национального исследовательского политехнического университета (Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: onm13@yandex.ru).

Пугин Константин Георгиевич (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобили и технологические машины» Пермского национального исследовательского политехнического университета (Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: 123zzz@rambler.ru); доктор технических наук, профессор кафедры «Сервис и ремонт технологических машин» Пермского государственного аграрно-технологического университета имени академика Д.Н. Прянишникова» (Россия, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23).

Щеткин Роман Викторович (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры «Автомобили и технологические машины» Пермского национального исследовательского политехнического университета (Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: rv59@mail.ru).

About the authors

Oleg N. Mekhonin (Perm, Russian Federation) – Postgraduate student of the Department "Cars and Technological Machines" of Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Ave., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: onm13@yandex.ru).

Konstantin G. Pugin (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department "Automobiles and Technological Machines" of Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Ave., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: 123zzz@rambler.ru); Doctor of Technical Sciences, Professor of the department "Service and repair of technological machines" Perm State Agrarian and Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov" (23, Petropavlovsk str., Perm, Russian Federation).

Roman V. Shchetkin (Perm, Russian Federation) – Senior Lecturer of the Department "Cars and Technological Machines" of Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Ave., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: rv59@mail.ru).

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Вклад авторов равноценен.

Поступила: 01.11.2022

Одобрена: 18.11.2022

Принята к публикации: 28.11.2022

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Мехонин, О.Н. Анализ влияния конструктивных особенностей выносных опор автомобильного крана-манипулятора на коэффициент грузовой устойчивости / О.Н. Мехонин, К.Г. Пугин, Р.В. Щеткин // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2022. – № 4. – С. 37–43. DOI: 10.15593/24111678/2022.04.04

Please cite this article in English as: Mekhonin O.N., Pugin K.G., Shchetkin R.V. Analysis of the influence of structural features of the outriggers of an automobile crane manipulator on the coefficient of load stability. *Transport. Transport facilities. Ecology*, 2022, no. 4, pp. 37-43. DOI: 10.15593/24111678/2022.04.04