

УДК 629.1.04

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-328-339>

# ОБОСНОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ГРУЗОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ И КРАНОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИХ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

О.Н. Мехонин<sup>1</sup>, К.Г. Пугин<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
г. Пермь, Россия;<sup>1,2</sup>Пермский государственный аграрно-технологический университет  
имени академика Д.Н. Прянишникова,  
г. Пермь, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Главным требованием для грузоподъемной техники является строгое соблюдение мер по безопасной эксплуатации, поэтому данному вопросу уделяется особое внимание при проектировании каждой единицы техники. Однако, несмотря на обширный перечень действующей в настоящее время нормативной документации и систематическому контролю, согласно ежегодным официальным отчетам федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору за последние годы объекты, на которых используются подъемные сооружения имеют высокие показатели по количеству аварий и несчастных случаев. Кроме того, особенно актуальным в настоящее время является вопрос изучения определения коэффициента грузовой устойчивости при проектировании автомобильных грузоподъемных кранов и автомобильных кранов-манипуляторов, поскольку широкое развитие новых видов грузоподъемного оборудования, в частности развитие рынка кранов-манипуляторов, повлекло за собой появление новых технических вопросов при проектировании и изготовлении данного вида грузоподъемной техники. В рамках реализации исследовательской работы по повышению точности расчета грузовой устойчивости автомобильных грузоподъемных кранов и автомобильных кранов-манипуляторов, на основе анализа архивных и действующих нормативно-технических документов, было рассмотрено возможное появление причин аварий вследствие несовершенства нормативных инструкций или несоблюдения нормативных указаний при проведении проектных работ предприятием-изготовителем.

**Материалы и методы.** Данная статья посвящена изучению основных положений нормативных документов, регламентирующих проектирование и эксплуатацию автомобильных кранов-манипуляторов и грузоподъемных кранов. Рассмотрены как действующие, так и архивные нормативные документы в сфере грузоподъемного оборудования. Особое внимание уделяется вопросам определения грузовой устойчивости автомобильных грузоподъемных кранов и кранов-манипуляторов.

**Обсуждение и заключение.** Выделены ключевые отличия методики расчета грузовой устойчивости грузоподъемных кранов и автомобильных кранов-манипуляторов. Приведена статистика аварийности грузоподъемных механизмов и подъемных сооружений Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. Выделены основные причины аварий грузоподъемной техники. Предложены пути решения модернизации существующей методики определения грузовой устойчивости автомобильных кранов-манипуляторов за счет включения в расчет ранее не учитываемых факторов, связанных с техническими особенностями применяемого для монтажа крано-манипуляторных установок шасси, способствующих повышению точности получаемых значений коэффициента грузовой устойчивости.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** грузоподъемный кран, автомобильный кран-манипулятор, крано-манипуляторная установка, коэффициент грузовой устойчивости, безопасность эксплуатации грузоподъемной техники.

**БЛАГОДАРНОСТИ.** Авторы статьи выражают благодарность рецензентам, работавшим с данной статьей.

Поступила 05.05.2020, принята к публикации 30.06.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

© Мехонин О.Н., Пугин К.Г.



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: 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; 17 (3): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-328-339>

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-328-339>

## CHANGES JUSTIFICATION IN A CALCULATING METHOD OF LOAD STABILITY OF AUTOMOTIVE HOISTING CRANES AND AUTOMOTIVE MANIPULATOR CRANES BASED ON THE NORMATIVE DOCUMENTS ANALYSIS

O.N. Mekhonin<sup>1</sup>, K.G. Pugin<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
«Perm National Research Polytechnic University»,  
Perm, Russia

<sup>2</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Perm State  
Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov», Perm, Russia

### ABSTRACT

**Introduction.** The main requirement for lifting equipment is a strict compliance with safe operation measures. Therefore, special attention is focused on this issue when designing each unit of the equipment. However, despite the extensive list of the current normative documents and systematic monitoring, according to the annual official reports of the Federal service for environmental, technological and nuclear supervision over recent years the facilities that use lifting structures have high indicators for the number of accidents. In addition, the study of a load stability ratio determining in the design of automotive hoisting cranes and automotive manipulator cranes is particularly relevant at the present time due to a wide development of new lifting equipment as the development of the market for cranes has resulted in the occurrence of new technical issues in design and manufacture this type of lifting equipment. As part of the research work to improve the accuracy of calculating the load stability of automotive hoisting cranes and automotive manipulator cranes based on the analysis of existing normative and technical documents the possible occurrence of the accidents causes due to imperfection of regulatory instructions or non-compliance with regulatory instructions during design manufacturer work was considered.

**Materials and methods.** This article is devoted to the study the fundamental principles of the nominative documents regulating the design and operation of the automotive hoisting cranes and automotive manipulator cranes. Both of the current and archived nominative documents in the field of lifting equipment are considered. Special attention is paid to the issues of determining the load stability of the automotive hoisting cranes and automotive manipulator cranes.

**Discussion and conclusion.** The key differences in the calculating method of the load stability of the automotive hoisting cranes and automotive manipulator cranes are highlighted. The accidents statistics of load-lifting mechanisms and lifting structures of the Federal service for environmental, technological and nuclear supervision are given. The main causes of lifting equipment accidents are highlighted. The ways of solving the modernization of the existing methodology for determining the load stability of automotive hoisting cranes are proposed by including previously unrecorded factors related to the technical features of the chassis which contributes to improving the accuracy of the obtained values of the load stability ratio.

**KEYWORDS:** hoisting crane, automotive manipulator crane, manipulator crane installation, load stability ratio, lifting equipment safety operation.

**ACKNOWLEDGEMENTS.** The authors of the article express their gratitude to the reviewers who worked with the article.

**Submitted 05.06.2020, revised 30.06.2020.**

**The authors have read and approved the final manuscript.**

**Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.**

*For citation:* Mekhonin O.N., Pugin K.G. Changes justification in a calculating method of load stability of automotive hoisting cranes and automotive manipulator cranes based on the normative documents analysis. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (3): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-328-339>

© Mekhonin O.N., Pugin K.G.



Content is available under the license  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

## ВВЕДЕНИЕ

Грузоподъемное оборудование является средством повышенной опасности. Именно поэтому особое внимание уделяется к требованиям по обеспечению безопасного проведения подъемно-транспортных работ как для эксплуатирующего персонала, так и для окружающих лиц. Каждый объект, относящийся к сфере грузоподъемного оборудования попадает под действие нормативных документов, регламентирующих его проектирование и эксплуатацию, на протяжении всего своего жизненного цикла до момента списания. Однако, несмотря на обширный перечень действующей в настоящее время нормативной документации и систематическому контролю, согласно ежегодным официальным отчетам федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору за последние годы объекты, на которых используются подъемные сооружения, занимают первое место по количеству аварий среди всех 14 видов опасных производственных объектов (ОПО). По количеству несчастных случаев со смертельным исходом объекты, на которых используются подъемные сооружения, занимают третье место среди всех 14 видов ОПО.

Согласно внесенным изменениям в ФЗ-116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» в 2013 г. лифты, эскалаторы, подъемные платформы были исключены из списка опасных производственных объектов. Соответственно основной группой повышенной опасности являются грузоподъемные краны, которые могут различаться принципом действия, конструкцией, способом установки и передвижения, а также используемым типом шасси. Наиболее часто аварии в данной группе происходят с башенными кранами (14 случаев в 2017 г. и 9 случаев в 2018 г.). Наименьшее число зафиксированных аварий произошло с кранами-манипуляторами (в 2017 г. аварий не зафиксировано, в 2018 г. произошла одна авария). Однако данные цифры не говорят об абсолютной безопасности эксплуатации кранов-манипуляторов. Так, например, крано-манипуляторные установки (КМУ) с малой грузоподъемностью и КМУ для работы только со специальным оборудованием не требуют официальной постановки на учет, а во-вторых, в отличие от эксплуатации башенных кранов, где зачастую авария не может произойти без тяжких последствий, владельцы кранов-манипуляторов предпочитают скрыть факт происшествия [1]. По этой

причине в настоящее время не удастся получить статистику аварийности, отражающую реальное количество аварий с участием автомобильных кранов-манипуляторов.

Объемы продаж КМУ говорят о большом интересе со стороны потребителей, так, в 2007 г. в России было произведено 1010 кранов-манипуляторов. В 2012 г. общая продажа отечественного и импортного производства КМУ в России составила 14 037 ед. [2]. Основная масса покупателей частные, небольшие компании. Особенность КМУ состоит в том, что сама манипуляторная установка проектируется как самостоятельная единица отдельно от какого-либо шасси. Предприятия, на которых производится разработка технологической документации на монтаж КМУ на шасси, в настоящее время сталкиваются с ситуацией, когда методики расчета грузовой устойчивости для грузоподъемных кранов, определенные в нормативных документах, не дают правильного расчета. Это обусловлено в первую очередь отставанием нормативных документов от изменяющихся условий технической эксплуатации автомобильных шасси, что в свою очередь повышает аварийность при эксплуатации грузоподъемной техники. Ведущие научные центры России и развитых стран совершенствуют методики расчета элементов грузоподъемных кранов и их грузовой устойчивости [3, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13]. Для автоматизации расчетов при проектировании используют математическое моделирование, которое позволяет более точно определить опасные сечения в металлоконструкциях, тем самым снизить риски возникновения аварийных ситуаций [14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25].

По типу возникновения основные причины аварий грузоподъемных кранов можно разделить на две основные группы, представленные на рисунке 1.

В рамках реализации исследовательской работы по повышению точности расчета грузовой устойчивости автомобильных грузоподъемных кранов и автомобильных кранов-манипуляторов, на основе анализа действующих нормативно-технических документов было рассмотрено возможное появление причин аварий вследствие несовершенства нормативных инструкций или несоблюдения нормативных указаний при проведении проектных работ предприятием-изготовителем. Одним из опасных и распространенных аварийных случаев, который может возникнуть, является потеря устойчивости.



Рисунок 1 – Основные причины аварий грузоподъемных кранов

Figure 1 – Main causes of crane accidents

В различное время вопросам исследования устойчивости грузоподъемных кранов и кранов-манипуляторов посвящали свои работы такие ученые, как М. П. Александров, А. В. Редькин, П. А. Сорокин, А. В. Лагереv, И. А. Лагереv, М. С. Корытов, В. С. Щербаков, А. А. Мильто [4, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25].

Ввиду большого разнообразия конструкций автомобильных шасси и их быстрой модернизации, установка на них КМУ требует постоянного уточнения в проводимых расчетах. В настоящее время вопрос изучения определения коэффициента грузовой устойчивости автомобильных грузоподъемных кранов является особенно актуальным, поскольку широкое развитие новых видов грузоподъемного оборудования, а в частности развитие рынка автомобильных кранов-манипуляторов, повлекло за собой появление новых технических вопросов при проектировании и изготовлении данного вида грузоподъемной техники. Таким образом, целью настоящей работы является обоснование необходимости изменений в существующей методике определения коэффициента грузовой устойчивости автомобильных грузоподъемных кранов и кранов-манипуляторов.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи: провести обзор архивных и действующих нормативных документов, регламентирующих проектирование и эксплуатацию автомобильных грузоподъемных кранов и кранов-манипуляторов, на основе обзора выявить возможные причины появления аварий техники и разработать рекомендации по модернизации существующей методики расчета.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУЗОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СОГЛАСНО НОРМАТИВНЫМ ДОКУМЕНТАМ

Изначально основываясь на общей теоретической базе, требования к кранам-манипуляторам и грузоподъемным кранам не были обособлены, однако с массовым распространением в последующие годы в нашей стране автомобильных кранов-манипуляторов для них был создан отдельный нормативный регулирующий документ, который в последствии, с повышением эксплуатационных характеристик изготавливаемой техники также потребовал изменений в своем содержании.



Однако в настоящее время требования к грузоподъемному оборудованию вновь объединены в едином документе, которым являются федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения», принятые в 2013 г.

Хронологическая последовательность появления основных нормативных документов, регламентирующих проектирование и эксплуатацию грузоподъемных кранов и в дальнейшем кранов-манипуляторов, представлена на рисунке 2.

Первым нормативным документом, регулирующим проектирование, эксплуатацию и освидетельствование грузоподъемных кранов, стали «Правила устройства, освидетель-

ствования и эксплуатации кранов, подъемных механизмов и вспомогательных при них приспособлений», введенные в действие 14 февраля 1940 г. и утвержденные инспекцией Котлонадзора НКПТ.

Согласно данным правил все передвижные краны (железнодорожного типа, гусеничные, автомобильные и пр.) должны быть построены с надлежащей устойчивостью, гарантирующей их от опрокидывания. Коэффициент грузовой устойчивости, т.е. отношение момента относительно ребра опрокидывания всех действующих на кран сил с учетом всех возможных нагрузок (ветра, снега, инерционных сил), кроме рабочего груза, к моменту, создаваемому рабочим грузом относительно того же ребра, должен быть не менее указанного в таблице.



Рисунок 2 – Основные нормативные регулирующие документы в сфере проектирования/изготовления автомобильных грузоподъемных кранов и кранов-манипуляторов и даты введения их в официальное действие

Figure 2 – The Main nominative documents in the field of design / manufacture of automotive hoisting cranes and automotive manipulator cranes and the dates of their implementation into official operation

Таблица  
Требования к значению  $K_y$

Table  
Value requirements  $K_y$

Грузоподъемность крана	Значение $K_y$
До 30 т включительно	1,4
Более 30 т	1,3

Просуществовав длительное время, с течением развития технического прогресса данные правила были заменены на «Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов», утвержденные Госгортехнадзором РСФСР 24 апреля 1964 г. Однако данный свод правил являлся актуальным не так долго и уже в 1969 г. был модернизирован и переработан. Таким образом были введены в действие правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов, согласованные с ВЦСПС и Госстроем СССР, утвержденные Госгортехнадзором СССР 30 декабря 1969 г.

Согласно данному документу стреловые самоходные (автомобильные, пневмоколесные, гусеничные, железнодорожные) и прицепные краны, краны-экскаваторы, башенные и порталные краны должны быть устойчивы при работе и в нерабочем состоянии. Грузовая и собственная устойчивость крана должны быть проверены расчетом.

Коэффициент грузовой устойчивости, т.е. отношение момента относительно ребра опрокидывания, создаваемого весом всех частей крана с учетом всех дополнительных нагрузок (ветровая нагрузка, принимаемая по ГОСТ 1451–65 «Краны подъемные. Нагрузка ветровая», для рабочего состояния крана, инерционные силы, возникающие при пуске или торможении механизмов подъема груза, поворота и передвижении крана) и влияния наибольшего допустимого при работе крана уклона, к моменту, создаваемому рабочим грузом относительно того же ребра, должен быть не менее 1,15.

Определение числового значения коэффициента грузовой устойчивости ( $K_y$ ) должно производиться при направлении стрелы перпендикулярно ребру опрокидывания по формуле (1):

$$K_y = \frac{G[(b+c) \cdot \cos \alpha - h_1 \cdot \sin \alpha] - \frac{Q \cdot n^2 \cdot l \cdot h}{900 - n^2 \cdot H}}{Q \cdot (l-b)} + \frac{\frac{Q \cdot V}{g \cdot t} \cdot (l-b)}{Q \cdot (l-b)} + \frac{-\frac{(G_{np}-Q) \cdot V'_2}{g \cdot t_2} \cdot h - \frac{(G_{np}+Q) \cdot V''_2}{g \cdot t_2} \cdot (l-b) - W_{\Delta} - W_1 \cdot p_{o1}}{Q \cdot (l-b)} \geq 1,15 \quad (1)$$

где  $G$  – вес крана, кг;  $G_{np}$  – вес стрелы и стрелового оборудования, приведенный к оголовку стрелы, кг;  $Q$  – вес наибольшего рабочего груза, кг;  $l$  – расстояние от оси вращения крана до центра тяжести подвешенного наибольшего рабочего груза, м;  $b$  – расстояние от оси вращения крана до ребра опрокидывания, м;  $c$  – расстояние от плоскости, проходящей через ось вращения крана параллельно ребру опрокидывания, до центра тяжести крана, м;  $H$  – расстояние от головки стрелы до центра тяжести груза, м;  $h$  – расстояние от головки стрелы до плоскости, проходящей через точки опорного контура, м;  $h_1$  – расстояние от центра тяжести крана до плоскости, проходящей через точки опорного контура, м;  $V$  – скорость подъема груза, м/сек;  $V'_2$  – скорость горизонтального перемещения оголовка стрелы, м/сек;  $V''_2$  – скорость вертикального перемещения оголовка стрелы, м/сек;  $n$  – число оборотов крана в минуту;  $t$  – время неустановившегося режима работы механизма подъема (пуск, торможение), сек;  $t_2$  – время неустановившегося режима работы механизма изменения вылета стрелы (пуск, торможение), сек;  $W$  – сила давления ветра, действующего перпендикулярно ребру опрокидывания и параллельно плоскости, на которой установлен кран, на подветренную площадь крана; принимается по ГОСТ 1451–65 «Краны подъемные. Нагрузка ветровая» для рабочего состояния крана, кгс;  $W_1$  – сила давления ветра, действующего перпендикулярно ребру опрокидывания и параллельно плоскости, на которой установлен кран, на подветренную площадь

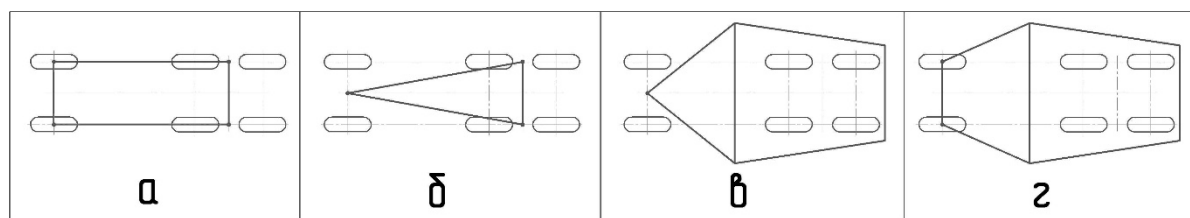


Рисунок 3 – Примеры расположения ребер опрокидывания грузоподъемных кранов:  
а – при жесткой подвеске колес или при включенных механизмах блокировки упругой подвески колес;  
б – при жесткой подвеске колес заднего моста и упругой подвеске переднего моста или опирании на переднюю ось в одной точке;  
в – с выносными опорами и упругой подвеске переднего моста или опирании на переднюю ось в одной точке;  
г – с выносными опорами при жесткой подвеске колес или при включенных механизмах блокировки упругой подвески колес

Figure 3 – Examples of location of the edges tipping over of cranes:  
а – when a hard wheel suspension or with powered locking mechanisms of the elastic suspension;  
б) when a hard wheel suspension rear axle and an elastic suspension of the front axle or the bearing on the front axle at one point,  
in) with external bearings and an elastic suspension of the front axle or the bearing on the front axle at one point;  
г) with external supports with rigid suspension of wheels, or while the locking mechanisms of the elastic suspension of the wheels

груза, для нерабочего состояния крана, кгс;  
 $W_2$  – сила давления ветра, действующего перпендикулярно ребру опрокидывания и параллельно плоскости, на которой установлен кран, на подветренную площадь крана, кгс;  
 $ro, ro_1 = h$  и  $ro_2$  – расстояние от плоскости, проходящей через точки опорного контура до центра приложения ветровой нагрузки, м;  
 $\alpha$  – угол наклона крана (угол пути), град;  
 $g$  – ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/сек.

1 апреля 1986 г. вводится в действие руководящий нормативный документ «Краны стреловые самоходные. Нормы расчета устойчивости против опрокидывания». Данный документ устанавливает нормы проверочного расчета кранов на устойчивость против опрокидывания с целью определения возможности в дальнейшем уточнения действующих правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов Госгортехнадзора СССР.

Согласно данному документу для обеспечения грузовой устойчивости должно выполняться неравенство (2):

$$k \cdot M_o^H \leq m_o \cdot M_y, \quad (2)$$

где  $M_o^H$  – опрокидывающий момент от нормативных составляющих нагрузок, действующих на кран, относительно принятого ребра опрокидывания, кН·м,  $M_y$  – удерживающий момент крана, относительно принятого ребра опрокидывания, кН·м,  $k$  – коэффициент перегрузки,

учитывающий влияние случайных составляющих нагрузок,  $m_o$  – коэффициент условий работы.

Однако данный документ наиболее интересен тем, что в нем впервые указаны графические схемы построения ребер опрокидывания кранов в зависимости от наличия выносных опор и типа подвески шасси. Пример таких схем изображен на рисунке 3.

Построение графического опорного контура грузоподъемного крана является особенно важной составляющей расчета по определению грузовой устойчивости, поскольку от точности расположения ребер устойчивости будет напрямую зависеть достоверность результатов расчета.

В 1993 г. происходит смена действующих правил на «Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов», утвержденных Госгортехнадзором России 30 декабря 1992 г. Данный свод правил впервые включил в себя официальное распространение на краны-манипуляторы. При этом порядок расчета устойчивости остался действующим согласно РД 22-145-85, рассмотренным выше.

Особенно значимым для проектирования и эксплуатации автомобильных кранов-манипуляторов стали «Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов-манипуляторов ПБ 10-257-98», утвержденные Госгортехнадзором 31 декабря 1998 г. Этот свод правил был направлен на то, чтобы наиболее полно отразить характерные технические особенности данного вида техники и

дать определения применяемым терминам в области грузоподъемных кранов-манипуляторов и их основных составных частей. Однако с учетом того, что такие правила создавались впервые и распространялись на многочисленные конструкции и типы кранов-манипуляторов, в том числе на краны-манипуляторы, изготовленные за рубежом, были отображены не все технические отличия от грузоподъемных кранов. В части определения грузовой устойчивости изменений также введено не было.

Для грузоподъемных кранов следующее обновление правил произошло в 2001 г., тогда были введены в действие «Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов ПБ 10-382-00», утвержденные Ростехнадзором 31 декабря 1999 г. Изменений в части определения грузовой устойчивости также не последовало.

По просьбе изготовителей и эксплуатирующих краны-манипуляторы лиц к ПБ 10-257-98 были составлены комментарии, вышедшие в 2010 г. Для обеспечения грузовой устойчивости крана-манипулятора авторами предложено выполнять условие (3):

$$K_y > 1, \quad (3)$$

$$\text{где } K_y = M_y / M_o, \quad (4)$$

здесь  $M_y$  – удерживающий момент;  $M_o$  – опрокидывающий момент.

Удерживающий момент  $M_y$  для крана-манипулятора с КМУ, размещенной между кабиной и кузовом автомобиля, должен вычисляться по формуле

$$M_y = G_a f + G_m (c - a), \quad (5)$$

где  $G_a$  – вес ненагруженного автомобиля без КМУ, водителя и топлива в топливном баке;  $G_m$  – вес КМУ и узлов дооборудования;  $f$  – расстояние от центра тяжести автомобиля до ребра опрокидывания;  $c$  – расстояние от оси колонны КМУ до ребра опрокидывания;  $a$  – расстояние между центром тяжести КМУ и осью колонны.

Опрокидывающий момент  $M_o$  для крана-манипулятора с КМУ, размещенной между кабиной и кузовом автомобиля, должен вычисляться по формуле

$$M_o = (1,25P + 0,1G_c) (b - c), \quad (6)$$

где  $P$  – вес груза;  $G_c$  – вес стрелового оборудования, приведенный к оголовку стрелы;  $b$  – вылет.

Поправочный коэффициент 1,25 используется для машин с КМУ, расположенной за кабиной. В случае установки КМУ на заднем свесе шасси используется коэффициент 1,4, который компенсирует возможные перемещения рамы и надрамника крана.

В данных комментариях наиболее широко отражены технические особенности кранов-манипуляторов. Так, в отличие от стреловых кранов, оснащенных решетчатыми и телескопическими стрелами, краны-манипуляторы имеют шарнирно-сочлененное стреловое оборудование, состоящее из отдельных звеньев переменной длины, установленных на вертикальной колонне КМУ, монтируемой на шасси транспортного средства в различных ее частях, оборудованных одной парой выносных аутригеров.

В 2015 г. были введены в действие ГОСТ 32579.1–2013 «Краны грузоподъемные. Принципы формирования расчетных нагрузок и комбинаций нагрузок. Часть 1. Общие положения» и ГОСТ 32579.2–2013 «Краны грузоподъемные. Принципы формирования расчетных нагрузок и комбинаций нагрузок. Часть 2. Краны стреловые самоходные».

В первой части были определены общие принципы формирования расчетных нагрузок и их комбинации, используемые для проектирования грузоподъемных кранов и их механических элементов, произведено деление расчетных коэффициентов и комбинаций эксплуатационных нагрузок на три группы. В первую группу вошли критерии, связанные с ограничением долговечности отдельных элементов кранового оборудования. Во вторую группу вошли критерии, учитывающие нарушение работоспособности, обусловленные деформацией или разрушением отдельных элементов, потерей устойчивости в пространстве отдельной частью или всего грузоподъемного устройства, превышением максимального момента тормозных механизмов. В третью группу включены критерии, связанные с нарушением нормальной эксплуатации (упругие деформации, колебания груза или всего механизма). Для выполнения расчетов грузоподъемных устройств и его отдельных элементов



по критериям работоспособности была предложена таблица, в которой собраны значимые факторы и определены их комбинации, которые могут возникнуть при эксплуатации.

Во вторую часть вошли дополнительные рекомендации по определению динамических коэффициентов для основных нагрузок для разных типов кранов. В приложении дано четкое определение выбора ребер опрокидывания для автомобильных, пневмоколесных и гусеничных самоходных кранов. Уточняется, что устойчивость должна быть определена для самого критичного ребра опрокидывания. Также в этой части указывается на то, что следует учитывать, что положение центра тяжести при выполнении работ может смещаться, однако не указывается как это смещение зависит от вида шасси и характеристик подвески.

Дополнительно был выпущен ряд нормативных документов, в которых не было существенной информации, относящейся к особенностям проектирования и расчета КМУ. В частности, со временем изменяется терминология, согласно которой термин «автомобильный кран-манипулятор» заменяется на «кран погрузочный» по ГОСТ 33709.1–2015 «Краны грузоподъемные. Словарь». Это еще раз доказывает факт происходящих изменений в нормативной документации.

В настоящее время действующим нормативным документом, объединившим требования к грузоподъемным кранам и кранам-манипуляторам, являются «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения» от 12 ноября 2013 г. В данных правилах требования к расчету грузовой устойчивости для кранов-манипуляторов не были изменены.

Однако некоторые характерные технические особенности до сих пор не описаны в нормативных документах. Так, для определения грузовой устойчивости автомобильных кранов-манипуляторов ключевым отличием является то, что кран-манипулятор в отличие от стрелового крана не вывешивают на дополнительных опорах, а только ограничивают наклон крана-манипулятора с помощью аутригеров, не производя полную разгрузку шасси автомобиля. При работе крана-манипулятора может наблюдаться явление, при котором происходит наклон шасси, а затем и колонны крано-манипуляторной установки в сторону поднимаемого груза. При этом происходит изменение опорного контура крана, ребро опрокидывания смещается к центру шасси,

что может привести к опрокидыванию автомобильного крана-манипулятора.

Авторами настоящего исследования также проведены опубликованные ранее экспериментальные расчеты, отражающие величину погрешности коэффициента грузовой устойчивости при возможном смещении ребра опрокидывания крана.

## ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изначально основываясь на общей теоретической базе, методика определения грузовой устойчивости грузоподъемных кранов является основой и для расчета устойчивости автомобильных кранов-манипуляторов. В результате проведенного анализа архивных и действующих нормативных документов мы можем увидеть, что к моменту появления в нашей стране кранов-манипуляторов требования к расчету грузоподъемных кранов были неоднократно изменены. Это связано с расширением учитываемых технических параметров и снижением теоретического коэффициента запаса.

Однако и на сегодняшний день при проведении расчета остаются неотраженными некоторые из технических особенностей кранов-манипуляторов, в частности, при построении опорного контура не учитывается его возможное смещение при подъема груза вследствие конструктивных особенностей подвески шасси. Включение в расчет дополнительных факторов позволит обеспечить результаты расчета, наиболее точно отражающие технические характеристики изготавливаемой грузоподъемной техники.

Стремление производителей к повышению эффективности изготавливаемой техники обуславливает рост потребности в повышении точности проводимых расчетов, главным принципом которых является прежде всего обеспечение безопасной эксплуатации.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щеткин Р.В., Щербаков И.Ю., Бадурин А.П., Новоселов В.А. Основные проблемы сертификации автомобильных кранов-манипуляторов и пути их решения при организации серийного производства // Промышленность и безопасность. 2015. №2. С. 20–23.
2. Бандурин Р.А. Рынок кранов-манипуляторов в России // Проблемы современной экономики. 2015. № 26. С. 138–142.
3. Бармин И.В., Милютин В.Н., Дерновой В.М. Авария автомобильного грузоподъемного крана // Безопасность труда в промышленности. 2015. № 7. С. 72–74.

4. Александров М.П. Грузоподъемные машины. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 552 с.
5. Kacalak W., Budniak Z., Majewski M. Stability assessment as a criterion of stabilization of the movement trajectory of mobile crane working elements *Int. J. of Applied Mechanics and Engineering*. 2018. vol.23. No.1. pp. 65-77 DOI: 10.1515/ijame-2018-0004.
6. Fujioka D., Rauch A., Singhose W. Tip-Over Stability Analysis of Mobile Boom Cranes with Double-Pendulum Payloads. In *Proceedings of the American Control Conference 2009*, St. Louis, MO, USA, 10–12 June 2009; pp. 3136–3141.
7. Борисов В.А. Сравнительный анализ различных концепций обеспечения устойчивости грузоподъемных кранов // Безопасность труда в промышленности. 2010. № 1. С. 13–16.
8. Kacalak W., Budniak Z. and Majewski M. Crane stability for various load conditions and trajectories of load translocation. *Mechanic*, 2016 No.12. pp. 1820-1823.
9. Posiadala B., Warys P., Cekus D. and Tomala M. The dynamics of the forest crane during the load carrying. – *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, 2013 vol.13, No.7. pp.1340013.
10. Romanello G. Stability analysis of mobile cranes and determination of outriggers loading. *J. Eng. Des. Technol.* 2018. № 16. pp. 938–958.
11. Зорин В.А., Баурова Н.И. Повышение безопасности дорожно-строительных машин и оборудования // Наука и техника в дорожной отрасли, 2009. № 1. С. 39–40.
12. Жадановский Б.В. Организация устойчивости подъемно-транспортных средств в строительном производстве // Вестник МГСУ. 2016. № 5. С. 52–58.
13. Rauch A. Stability analysis of mobile boom cranes / A. Rauch. – Atlanta: Georgia Institute of Technology, 2008. 103 p.
14. Antsev V.Y., Tolokonnikov A.S., Gorynin A.D. and Reutov A.A., A statistical model of operational impacts on the framework of the bridge crane. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017. vol. 10. pp. 012053.
15. Olearczyk J., Bouferguène A., Al-Hussein M. et al. "Automating motion trajectory of crane-lifted loads", *Automation in Construction*. 2014. Vol. 45. Pp. 178.
16. Wu J.; Guzzomi A.L., Hodkiewicz M. Static stability analysis of non-slewing articulated mobile cranes. *Aust. J. Mech. Eng.* 2014. № 12. pp. 60–76.
17. Lei Z., Taghaddos H., Hermann U. 'A methodology for mobile crane lift path checking in heavy industrial projects. *Autom Constr.* 2013. Vol. 31. Pp. 201341–53.
18. Olearczyk J., Lei Z., Ofriim B., Sh. Han and M. Al-Hussein, Intelligent Crane Management Algorithm for Construction Operation. In: *2015 Proceeding of 32nd ISARC*.
19. Корытов М.С., Щербаков В.С., Беляков В.Е. Уменьшение угловых колебаний груза на гибком подвесе при перемещении базового шасси грузоподъемного крана // Строительные и дорожные машины. 2019. № 6. С. 45–51.
20. Лагереv А.В., Кончиц С.В., Блейшмидт Л.И. Оценка риска при эксплуатации самоходных грузоподъемных кранов стрелового типа в условиях недостаточной информации // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2017. № 2. С. 77–94.
21. Редькин А.В., Сорокин П.А. Методы обеспечения устойчивости стреловых самоходных кранов при ненормируемых внешних воздействиях // Строительные и дорожные машины. 2016. № 9. С. 16–19.
22. Сорокин П.А., Редькин А.В., Жильцов А.В. Обеспечение устойчивости стрелового самоходного крана с электрогидравлическим приводом // Подъемно-транспортное дело. 2008. № 6. С. 5–7.
23. Корытов М.С., Щербаков В.С., Беляков В.Е. Анализ влияния диагональных углов наклона опорной платформы грузоподъемного крана на координаты оголовка телескопической стрелы // Строительные и дорожные машины. 2019. № 7. С. 32–39.
24. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Milto A.A. Preliminary Dynamics and Stress Analysis of Articulating Non-Telescoping Boom Cranes Using Finite Element Method // *International Review on Modelling and Simulations*. 2015. Vol. 8. №2. pp. 223-226. DOI: <http://dx.doi.org/10.15866/iremos.v8i2.5713>.
25. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Milto A.A. Tool for Preliminary Dynamics and Stress Analysis of Articulating Cranes // *International Review on Modelling and Simulations (I.R.E.MO.S.)*. 2014. Vol. 7. № 4. pp. 644–652. DOI: <http://dx.doi.org/10.15866/iremos.v7i4.2045>.

## REFERENCES

1. Shchetkin R.V., Scherbakov I.Yu., Badurin A.P., Nowilov V.A. Osnovnye problemy sertifikatsii avtomobil'nyh kranov-manipulyatorov i puti ih resheniya pri organizatsii serijnogo proizvodstva [Main problems of car cranes-manipulators certification and ways of their solution in the serial production organization]. *Promyshlennost' i bezopasnost'*. 2015; 2: 20–23. (in Russian)
2. Bandurin R.A. Rynok kranov-manipulyatorov v Rossii [Manipulator cranesmarket in Russia]. *Problemy sovremennoj jekonomiki*. 2015; 26: 138-142. (in Russian)
3. Barmin I.V., Milyutin, V.N., Dernovoj V.M. Avarija avtomobil'nogo gruzopod'emnogo kрана [Automotive hoisting cranes accident]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2015; 7: 72-74. (in Russian)
4. Alexandrov M. P. *Gruzopod'emnye mashiny* [Load-lifting machines]. Moscow: N.E. Bauman MGTU, 2000: 552 p. (in Russian)
5. Kacalak W., Budniak Z., Majewski M. Stability assessment as a criterion of stabilization of the movement trajectory of mobile crane working elements *Int. J. of Applied Mechanics and Engineering*. 2018; 23, No.1: 65-77 DOI: 10.1515/ijame-2018-0004.
6. Fujioka D., Rauch A., Singhose W. Tip-Over Stability Analysis of Mobile Boom Cranes with Double-Pendulum Payloads. In *Proceedings of the American Control Conference 2009*, St. Louis, MO, USA, 10–12 June 2009: 3136–3141.

7. Borisov V.A. Sravnitel'nyj analiz razlichnykh koncepcij obespechenija ustojchivosti gruzopod'emnykh kranov [Comparative analysis of various concepts of lifting cranes stability]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti* – 2010; 1: 13-16. (in Russian)
8. Kacalak W., Budniak Z. and Majewski M. Crane stability for various load conditions and trajectories of load translocation. *Mechanic*, 2016; 12: 1820-1823.
9. Posiadala B., Warys P., Cekus D. and Tomala M. The dynamics of the forest crane during the load carrying. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*. 2013; 13, No. 7: 1340013.
10. Romanello G. Stability analysis of mobile cranes and determination of outriggers loading. *J. Eng. Des. Technol.* 2018; 16: 938–958.
11. Zorin V.A., Baurova N.I. Povyshenie bezopasnosti dorozhno-stroitel'nykh mashin i oborudovaniya [Improving Safety of Road Construction Machines and Equipment]. *Nauka i tehnika v dorozhnoy otrasli*. 2009; 1: 39–40. (in Russian)
12. Zhadanovsky B.V. Organizatsiya ustojchivosti pod'emno-transportnykh sredstv v stroitel'nom proizvodstve [Organization of lifting and transport vehicles stability in construction production]. *Vestnik MGSU*. 2016; 5: 52-58. (in Russian)
13. Rauch A. Stability analysis of mobile boom cranes. Atlanta: Georgia Institute of Technology, 2008: 103 p.
14. Antsev V.Y., Tolokonnikov A.S., Gorynin A.D. and Reutov A.A., A statistical model of operational impacts on the framework of the bridge crane. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017; 10: 012053.
15. Olearczyk J., Bouferguène A., Al-Hussein M. et al. "Automating motion trajectory of crane-lifted loads", *Automation in Construction*. 2014; 45: 178.
16. Wu J.; Guzzomi A.L.; Hodkiewicz M. Static stability analysis of non-slewing articulated mobile cranes. *Aust. J. Mech. Eng.* 2014; 12: 60–76.
17. Lei Z., Taghaddos H., Hermann U. 'A methodology for mobile crane lift path checking in heavy industrial projects. *Autom Constr.* 2013; 31: 201341–53.
18. Olearczyk J., Lei Z., Ofriim B., Sh. Han and M. Al-Hussein, Intelligent Crane Management Algorithm for Construction Operation. In: 2015 Proceeding of 32nd ISARC.
19. Koritov M. S., Scherbakov V.S., Belyakov V.E. Umen'shenie uglovyykh kolebanij gruzha na gibkom podvese pri peremeshhenii bazovogo shassi gruzopod'emnogo kрана [Reducing angular oscillations of the load on a flexible suspension when moving a base chassis of a crane]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2019; 6: 45-51. (in Russian)
20. Lagerev A.V., Konchitz S.V., Bleishmidt L.I. Ocenka riska pri jekspluatatsii samohodnykh gruzopod'emnykh kranov strelivogo tipa v usloviyakh nedostatochnoy informatsii [Risk assessment during operation of self-propelled jib type crane in conditions of insufficient information] *Nauchno-tehnicheskij vestnik Brjanskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2017; 2: 77-94. (in Russian)
21. Redkin A.V., Sorokin P.A. Metody obespechenija ustojchivosti strelivyykh samohodnykh kranov pri nenormiruemykh vneshnih vozdeystviyakh [Ensuring stability methods of self-propelled jib type cranes under abnormal external impacts]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2016; 9: 16-19. (in Russian)
22. Sorokin P. A., Redkin A. V., Zhil'cov A. V. Obespechenie ustojchivosti strelivogo samohodnogo kрана s jelektrogidravlicheskim privodom [Stability of a self-propelled jib type crane with electro hydraulic drive]. *Pod'jomno-transportnoe delo*. 2008; 6: 5-7. (in Russian)
23. Koritov M.S., Scherbakov V.S., Belyakov V.E. Analiz vliyaniya diagonal'nykh uglov naklona opornoj platformy gruzopod'emnogo kрана na koordinaty ogolovka teleskopicheskoy strely [Analysis of the influence of diagonal angles of a support platform inclination of a lifting crane on the coordinates of a telescopic boom head]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2019; 7: 32-39. (in Russian)
24. Lagerev A.V., Lagerev A.I., Milto A.A. Preliminary Dynamics and Stress Analysis of Articulating Non-Telescoping Boom Cranes Using Finite Element. *International Review on Modelling and Simulations*. 2015; 8. №2: 223-226. <http://dx.doi.org/10.15866/iremos.v8i2.5713>.
25. Lagerev A.V., Lagerev A.I., Milto A.A. Tool for Preliminary Dynamics and Stress Analysis of Articulating. *International Review on Modelling and Simulations (I.R.E.MO.S.)*. 2014; 7. № 4: 644-652. DOI: <http://dx.doi.org/10.15866/iremos.v7i4.2045>.

## ВКЛАД СОАВТОРОВ

Пугин Константин Георгиевич. Формулировка направления и темы исследования. Руководство процессом разработки темы. Выбор методологии и методов исследования.

Мехонин Олег Николаевич. Анализ состояния вопроса и результатов исследования. Оформление статьи.

## CONTRIBUTION OF CO-AUTHORS

Konstantin G. Pugin – the area and themes of research formulating, the theme development process management, research methodology and methods selection.

Oleg N. Mekhonin – the issue state and the results of the study analysis, the article layout.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пугин Константин Георгиевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Автомобили и технологические машины» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ)», ORCID ID: 0000-0002-1768-8177 (614990, г. Пермь, Комсомольский просп., д. 29, e-mail: 123zzz@rambler.ru); проф. кафедры «Технический сервис и ремонт машин» Федерального государственного бюджетного образовательного

го учреждения высшего образования «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова (Пермский ГАТУ)» (614990, г. Пермь, ул. Петropавловская, д.23).

Мехонин Олег Николаевич – аспирант кафедры «Автомобили и технологические машины» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ)», ORCID ID: 0000-0003-2215-0707, (614990, г. Пермь, Комсомольский просп., д. 29, e-mail: onm13@yandex.ru).

#### AUTHOR INFORMATION

Konstantin G. Pugin – Dr. of Sci., Professor of the Automobiles and Technological Machines Department,

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Perm National Research Polytechnic University (PNRPU), ORCID ID: 0000-0002-1768-8177, (614990, Perm, Komsomolsii Ave., 29, e-mail: 123zzz@rambler.ru); Professor of the Technical Service and Machines Repair Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Academician D.N. Prianishnikov Perm State Agrarian and Technological University (614990, Perm, Petropavlovsk Street., 23).

Oleg N. Mekhonin – postgraduate student of the Automobiles and Technological Machines Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Perm National Research Polytechnic University (PNRPU), ORCID ID: 0000-0003-2215-0707, (614990, Perm, Komsomolsii Ave., 29, e-mail: onm13@yandex.ru).