

И.А. ЛАГЕРЕВ, А.В. ЛАГЕРЕВ

---

**СОВРЕМЕННАЯ ТЕОРИЯ  
МАНИПУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ  
МОБИЛЬНЫХ МНОГОЦЕЛЕВЫХ  
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
МАШИН И КОМПЛЕКСОВ.  
КОНСТРУКЦИИ И УСЛОВИЯ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Брянск  
РИО БГУ  
2018

УДК 621.86, 55.30  
ББК 34.4, 39.9

**Лагерев, И.А.** Современная теория манипуляционных систем мобильных многоцелевых транспортно-технологических машин и комплексов. Конструкции и условия эксплуатации: монография / И.А. Лагерев, А.В. Лагерев. – Брянск: РИО БГУ, 2018. – 190 с.: ил. – ISBN 978-5-9734-0295-2.

**ISBN 978-5-9734-0295-2**

Рассмотрен широкий круг вопросов, касающихся особенностей конструкции и условий функционирования современных манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин. Проанализированы типовые условия и режимы эксплуатации, способы их учета при проектировании и моделировании рабочих процессов. Изучены предпосылки создания манипуляционных систем с автоматизированным управлением с целью обеспечения высокой точности обработки груза, предотвращения аварийных ситуаций.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-79-10274).

Для научных работников и аспирантов, занимающихся вопросами исследования динамики и прочности подъемно-транспортных машин, а также инженерно-технических работников машиностроения, транспорта и других отраслей промышленности.

Ил. 88. Табл. 5. Библиогр. 163 назв.

Рецензенты: Общество с ограниченной ответственностью  
«Промбезопасность»;  
доктор технических наук, проф. И.А. Полянин.

**ISBN 978-5-9734-0295-2**

© И.А. Лагерев, А.В. Лагерев, 2018  
© РИО БГУ, 2018

*Посвящается светлой памяти  
доктора технических наук, профессора  
Виктора Фёдоровича Ковальского*

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В связи со сложившейся геополитической обстановкой в Российской Федерации взят курс на импортозамещение во всех отраслях экономики. Поэтому перед отечественными производителями стоит задача разработки и производства современных конкурентоспособных манипуляционных систем с высокими потребительскими свойствами, надежностью, низкой стоимостью эксплуатации.

Манипуляционные системы устанавливаются на мобильные транспортно-технологические машины, которые эксплуатируются в различных отраслях экономики: строительстве, добывающих отраслях, лесной и металлообрабатывающей промышленности, сельском хозяйстве, дорожном строительстве, на морском и железнодорожном транспорте, в оборонно-промышленном комплексе [5; 14; 15; 27; 28; 50; 105]. Манипуляционные системы могут служить в качестве исполнительных механизмов для перемещения в пространстве рабочих органов специальных машин [33; 37; 118]. Еще одно актуальное направление их использования – преодоление последствий чрезвычайных ситуаций природного или техногенного характера (расчистка территории, разборка завалов, строительство быстровозводимых зданий и сооружений, дамб, плотин и др.) [152].

Наибольшее распространение получили гидравлические манипуляторы общего назначения, предназначенные для выполнения широкого спектра погрузочно-разгрузочных, перегрузочных, транспортных и складских работ [15; 18; 30; 35; 36; 86; 141].

Данная монография начинает цикл изданий, ориентированных на всестороннее освещение фундаментальных и прикладных исследований научно-технических проблем в области компьютерного и физического моделирования рабочих процессов, конструирования, расчета и оптимизации манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин различного конструктивного исполнения и функционального назначения. Она посвящена вопросам обзора конструкций и условий эксплуатации манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин.

В первой главе рассматриваются современные конструкции манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин и их основных узлов.

Во второй главе рассмотрены условия и режимы работы манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин, в том числе вопросы общей устойчивости и пути ее повышения, моделирования нагруженности несущей металлоконструкции, влияния установленной манипуляционной системы на нагруженность базового шасси, моделирования микронеровности опорной поверхности.

В третьей главе рассмотрены предпосылки создания манипуляционных систем с автоматизированным управлением для установки на новые мобильные транспортно-технологические машины различного назначения. Уровень автоматизации рабочих процессов существующих манипуляционных систем оставляет желать лучшего, так как управление осуществляется вручную. Это не позволяет достичь высокой точности обработки и обеспечить необходимую траекторию движения груза. Кроме того, невозможно реализовать систему мер, предотвращающих аварийные ситуации (автовыравнивание мобильных транспортно-технологических машин, предупреждение и противодействие проседанию поверхности под опорными элементами и аутригерами, лимитирование ударных воздействий на опасный или хрупкий груз, предотвращение попадания манипулятора в опасную зону и т.д.).

Публикуемый материал будет интересен и полезен научным работникам, аспирантам и докторантам, занимающимся вопросами исследования динамики и прочности грузоподъемных машин, а также инженерно-техническим работникам сферы машиностроения, транспорта, строительства и других отраслей промышленности.

Исследование поддержано грантом Российского научного фонда (проект №17-79-10274).

Замечания и предложения читателей просим направлять по адресу: 241036, г. Брянск, ул. Бежицкая, д. 14, Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского или по электронной почте [lagerev-bgu@yandex.ru](mailto:lagerev-bgu@yandex.ru).



## ВВЕДЕНИЕ

Начало века в России было отмечено стремительным ростом рынка манипуляционных систем с гидравлическим приводом, предназначенных для установки в качестве навесного оборудования на различные транспортно-технологические машины. Грузовой автомобиль с краном-манипулятором стал «золотым» стандартом механизации различных транспортных и строительно-монтажных работ. Сегодня такие манипуляторы остаются востребованными [10; 86; 105]. Изменение объема российского рынка гидравлических кранов-манипуляторов с 2005 по 2015 годы показано на рис. 1.



Рис. 1. Объем рынка гидравлических кранов-манипуляторов в России, штук [86; 105]

Наибольшее количество манипуляторов было продано в 2007 году. По итогам экономического кризиса 2008-2009 годов объемы продаж манипуляторов сократились на 50...60%, однако уже в 2012 году вышли на докризисные показатели. Следует отметить, что с 2011 года отчетливо проявилась тенденция увеличения числа закупок импортных манипуляторов (в первую очередь, бывших в употреблении) по сравнению с отечественными. Даже сегодня, когда в условиях экономических санкций произошло заметное ослабление национальной валюты, отечественные производители не смогли изменить эту негативную статистику. При этом общий объем рынка в 2014 году сократился на 50...60%. [86; 105].

Российские производители представлены на рынке манипуляционных системами таких предприятий, как ЗАО «Подъемные машины», ЗАО «Златоустский машиностроительный завод», «АЗМ-Стройдормаш», ООО «Майкопский машиностроительный завод», ООО «Савеловский машиностроительный завод», ЗАО «БАКМ» и рядом мелких предприятий, не играющих большой роли в масштабах страны, выпускающих единичные образцы манипуляторов для решения утилитарных задач [86; 105].

Российский рынок насыщен импортными моделями манипуляторов [136], доля которых составляет 63%. При этом 32% приходится на новые манипуляторы, 31% – на бывшие в употреблении. Бывшие в употреблении манипуляторы, в основном, импортируются из Японии. В качестве инструмента захвата рынка иностранными производителями используется поглощение отечественных производителей (например, австрийский Palfinger поглотил ЗАО «Инман»). По результатам 2013 г. упрочилось лидерство манипуляторов производства Palfinger и Epsilon, суммарная доля которых на российском рынке составила 20% [86; 105].

С целью анализа конкурентных особенностей отечественных и зарубежных образцов, выявления причин отмеченного выше увеличения доли импорта и определения перспективных направлений научных исследований проведен сравнительный анализ конструкций манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин. В рамках анализа были рассмотрены различные виды манипуляционных систем, в том числе, краны-манипуляторы общего назначения, грейферные манипуляторы, ковшовые манипуляторы, манипуляторы для эвакуации машин, манипуляторы лесных машин, манипуляторы транспортно-заряжающих и инженерных машин, предназначенные для установки на грузовики, колесные и гусеничные тракторы, железнодорожные машины, стационарные конструкции [86; 94].

В качестве источника информации использовались официальные сайты в сети Интернет следующих производителей: Amco Veba (Италия), Atlas (Германия), Auto Crane (США), Bigmax (Канада), Binderberger (Австрия), Corma (Италия), Cranab (Швеция), Donghe (Китай), DongYang (Китай), Effer (Италия), Epsilon (Австрия), FASSI (Италия), HIAВ (Швеция), HMF (Дания), IMT (США), Kanglim (Корея), Kato (Япония), Palfinger (Австрия), Penny Hydraulics (Великобритания), Soosan (Корея), Tadano (Корея), Tirex (США), Unic (Япония), XCMG (Китай), ЗАО «БАКМ», ООО «Велмаш С», АО «Дизель-Ремонт»,

ЗАО «ЗМЗ», ЗАО «Инман», ЗАО «Стройдормаш», ЗАО «Подъемные машины», ООО «МайМЗ», ООО «МозМЗ», ООО «СМЗ». Общее количество рассмотренных моделей манипуляционных систем – 1580 [86; 94].

Учитывались следующие технические параметры: максимальный и минимальный вылет стрелы манипуляционной системы, грузоподъемность на максимальном и минимальном вылете, грузовой момент, собственная масса, рабочее давление и подача насоса гидропривода, база аутригеров.

После сбора и обработки технической информации получены следующие результаты [94].

Максимальный вылет стрелы большинства (80% от общего числа) отечественных манипуляционных систем лежит в диапазоне 6...10 м (рис. 2, а). Только незначительное число моделей (4,5%) имеет вылет 15...20 м. Величина максимального вылета импортных образцов распределена более равномерно: для 45% она равна 6...10 м, для 21,4% – 15...20 м. Отдельные модели (1,6%) имеют вылет до 40 м и позволяют выполнять широкий круг задач [94].



Рис. 2. Распределение величин вылета манипуляционных систем [94]:

а – максимальный; б – минимальный

Минимальные вылеты стрел отечественных и зарубежных манипуляционных систем сопоставимы между собой и лежат в пределах 1...6 м (рис. 2, б). В целом, можно сказать, что данный параметр практически не влияет на потребительские свойства данного оборудования [94].

Из рис. 3 видно, что 72,7% отечественных манипуляционных систем рассчитаны на грузовой момент 50...125 кН·м, а только 0,9% из них – выше 300 кН·м. В то же время, для 78,2% иностранных ма-

нипуляционных систем наблюдается более равномерное распределение грузового момента в диапазоне 25...250 кН·м, 18,8% из них рассчитаны на грузовой момент свыше 300 кН·м, а 2,8% – свыше 1000 кН·м [94].

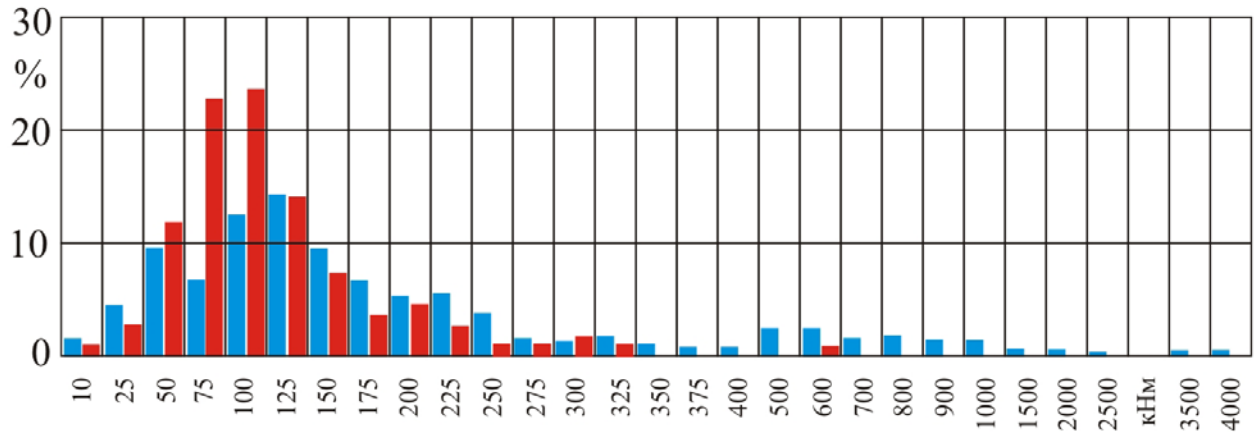


Рис. 3. Распределение грузовых моментов манипуляционных систем [94]

Такая же ситуация характерна и для грузоподъемности (рис. 4). Максимальная грузоподъемность отечественных манипуляционных систем не превышает 10 т. Большая часть 75% – 5 т [94].

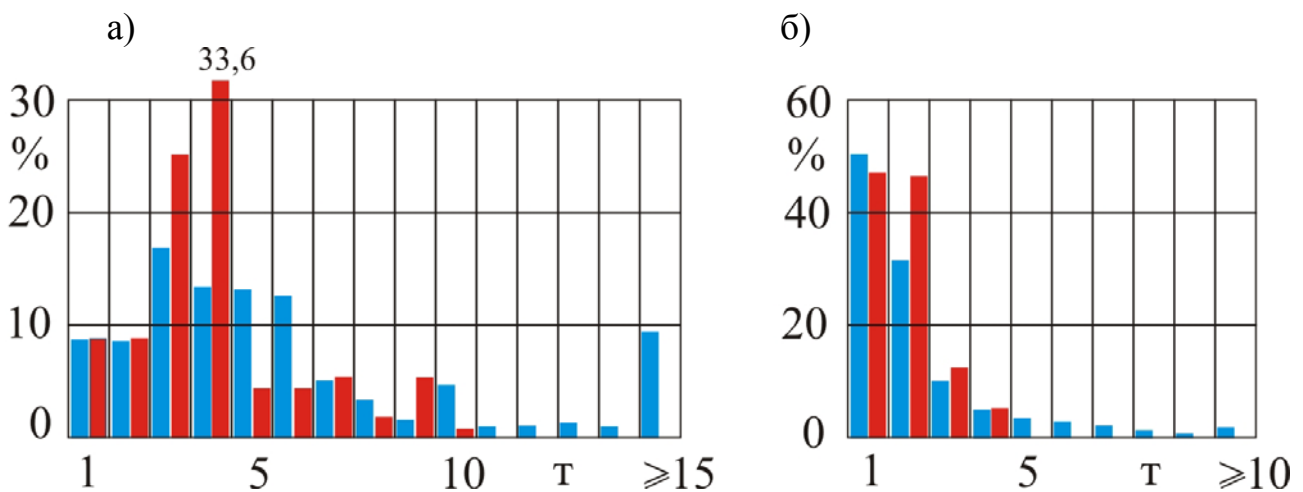


Рис. 4. Распределение грузоподъемности манипуляционных систем [94]:

а – максимальной; б – минимальной

Отечественная промышленность выпускает манипуляционные системы, предназначенные для выполнения незначительных погрузочно-разгрузочных работ. В то же время, манипуляционные системы иностранного производства позволяют решать более широкий круг задач: от разгрузки тары массой несколько десятков килограмм до монтажных работ на сложных инженерных объектах, строительстве зданий и сооружений [94].

Такое положение дел можно объяснить следующими причинами. На отечественном рынке в настоящий момент более востребованы легкие манипуляционные системы. Кроме того, манипуляционные системы с высоким грузовым моментом и вылетом стрелы более сложны в изготовлении и эксплуатации, требуют более тщательных инженерных расчетов, более чувствительны к ошибкам в проектировании. Для решения данной проблемы необходима разработка математических моделей, методов и реализующих их компьютерных программ, с помощью которых инженеры машиностроительных предприятий могли бы эффективно и в кратчайший срок осуществлять проектирование современных конкурентоспособных манипуляционных систем [94].

Следует также отметить, что ведущие мировые производители разрабатывают не единичные конструкции, а серии манипуляционных систем с примерно одинаковым грузовым моментом. Каждая последующая модификация в серии отличается от предыдущей, как правило, дополнительным звеном стрелы, за счет которого увеличивается вылет. Например, манипулятор Palfinger PK 26002 имеет 21 модификацию с вылетом от 7,9 до 29 м; манипулятор Сорпа 230 имеет 8 модификаций с вылетом от 16 до 24 м. Такой подход позволяет удовлетворить нужды потребителя, что повышает конкурентоспособность производителя. В свою очередь, отечественные производители обычно выпускают 1-2 модификации [94].

Рабочее давление в гидросистемах отечественных манипуляционных системах лежит в диапазоне 18...30 МПа, импортных – 16...40 МПа. При этом единичные манипуляционные системы иностранного производства работают при давлении 50..53 МПа. Подача рабочей жидкости большинства манипуляционных систем колеблется в пределах 10...100 л/мин. Параметры гидропривода отечественных и зарубежных манипуляционных систем, в целом, идентичны [94].

Согласно рис. 5 собственная масса большей части отечественных и импортных манипуляционных систем лежит в диапазоне 1,1...4,0 т. Собственная масса свыше 6 т характерна для ряда иностранных манипуляционных систем, рассчитанных на высокий грузовой момент [94].

Подводя итоги сравнительного анализа конструкций манипуляционных систем отечественного и зарубежного производства, можно предложить следующие актуальные научно-технические проблемы, требующие дальнейшей проработки.

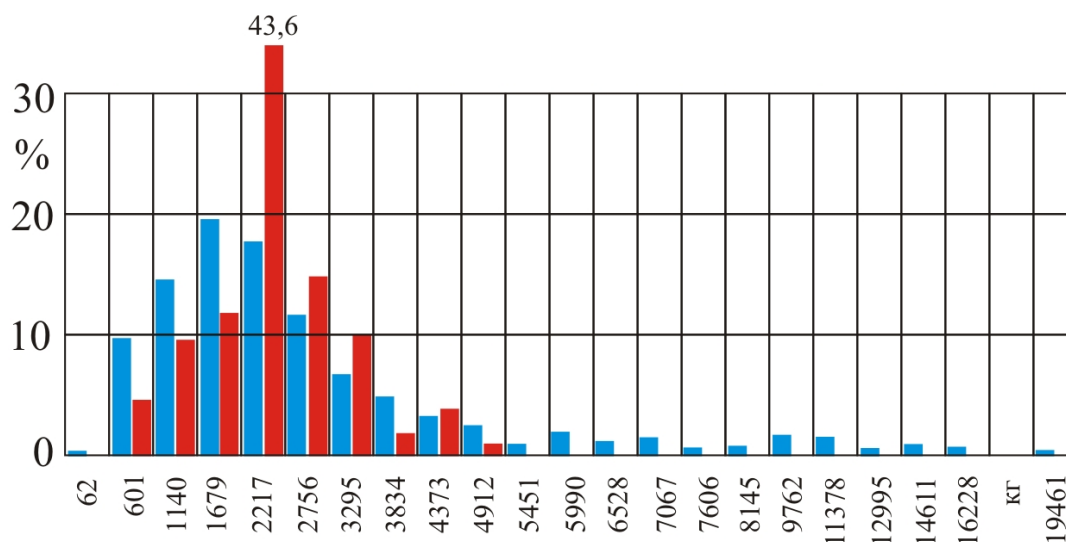


Рис. 5. Распределение собственных масс манипуляционных систем [94]

1. Для снижения издержек на проектирование и изготовление следует создавать серии унифицированных манипуляционных систем с одинаковым грузовым моментом, но разным количеством звеньев шарнирно-сочлененной стрелы. Для достижения этой цели необходимо разрабатывать методики и реализующие их компьютерные программы, позволяющие в значительной степени автоматизировать инженерные расчеты множества конструкций.

2. Для расширения спектра задач, решаемых манипуляционными системами, необходимо создание моделей с высоким грузовым моментом (более 500 кН·м) и вылетом стрелы (более 30 м), что требует совершенных инженерных методик расчета, позволяющих учесть особенности работы конструкции манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины.

3. Необходимо развивать и внедрять методы оптимального проектирования несущих металлоконструкций, позволяющих повысить эффективность манипуляционных систем по критерию минимума собственной массы конструкции при заданных грузо-высотных характеристиках. Также следует развивать методы многокритериального оптимального проектирования, позволяющего получать эффективные конструкции манипуляционных систем не только минимального веса (в настоящее время это преимущественно используемый критерий оптимизации), но и минимальной мощности или максимального коэффициента полезного действия силового привода, максимальной точности позиционирования или отработки необходимой траектории перемещения рабочего органа, минимизация технического риска при эксплуатации и др. [73; 76; 90].

4. Для повышения технических характеристик отечественных кранов-манипуляторов и обеспечения соответствия отечественной продукции лучшим мировым образцам подъемно-транспортной техники, повышения конкурентоспособности и реализации требований по импортозамещению необходимо совершенствовать методы расчета и моделирования рабочих процессов в манипуляционных системах мобильных транспортно-технологических машин в направлении максимального учета особенностей конструкции, режимов эксплуатации и протекающих во времени деструктивных процессов в их металлоконструкциях, узлах соединения, механизмах и системах (изнашивание шарниров шарнирно-сочлененных стрел, податливость звеньев, влияние ветровых нагрузок, рельефа местности, подвижность базового шасси и др. [61; 62; 71; 72; 85; 86; 92]).

5. Для повышения надежности и безопасности эксплуатации манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин, в том числе, при работе в экстремальных условиях или в процессе ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций природного или техногенного характера, необходимо развивать методы риск-анализа [76; 77] и методы расчета грузовой устойчивости против опрокидывания.

Большая группа грузоподъемных машин не передвигается с грузом. Автомобильным кранам категорически запрещено передвигаться с подвешенным грузом из-за высокой вероятности опрокидывания [116; 125]. Все манипуляции с грузом осуществляются за счет поворота основания крана, изменения вылета стрелы и изменения отвеса грузового каната. Краны-манипуляторы, установленные на автомобилях и лесовозах, также работают только на дополнительных опорах и не перемещаются вместе с грузом [50; 126; 147].

Однако известны транспортно-технологические машины отечественного производства, оснащенные манипуляционными системами, передвигающиеся с грузом:

- машины для сварки трубопроводов АСТ-4-А, АСТ-4-0, АСТ-4-С, АСТ-72В [57];
- машины для лесозаготовки МЛ-72-01, ТЛ-60Ф-4, ЛП-19, ВМ-4Б, TimberPro 810-В, TimberPro 735-С [50; 149; 163];
- транспортно-заряжающие машины [6; 70];
- инженерные машины разграждения ИМР-1, ИМР-2.

Лесные машины и экскаваторы в ряде случаев не только не оборудуются аутригерами, но при их нормальной работе допускается частич-

ный отрыв двигателя от опорного основания, а нагруженный манипулятор в этом случае выступает дополнительной точкой опоры [163].

В США распространены манипуляционные системы общего назначения, устанавливаемые на автомобили, которые не предусматривают применение аутригеров, например, краны фирмы Terex и некоторые модели манипуляторов фирмы Auto Crane. Манипуляторы Terex выпускаются на пневмоколесном шасси с сочлененной рамой и рассчитаны на движение с грузом (параметрами грузовой диаграммы являются не только вылет стрелы и соответствующая ему грузоподъемность, но и скорость движения шасси) [157; 162].

Кроме того, в процессе эксплуатации могут возникать ситуации, когда по каким-либо причинам использование выносных опор невозможно. Например, когда недостаточно места для их установки или грунт не способен выдержать нагрузку со стороны опор, но необходимо срочно провести работы. Особенно это важно при ликвидации чрезвычайных ситуаций, когда промедление может привести к гибели людей или катастрофическому развитию обстановки.

Нельзя также считать, что аутригеры полностью исключают влияние шасси базовой машины на динамику манипуляционной системы. Базовая машина не всегда полностью вывешивается на выносных опорах. Многие манипуляционные системы имеют только 1-2 опоры, поэтому во время работы машина продолжает опираться колесами одной оси (рис. 6) [153].

Известны случаи, когда в процессе изменения конфигурации манипуляционной системы опорное основание под аутригерами проседает, поэтому шасси может включаться в работу [154]. Иногда это приводит к авариям. Статистика отмечает увеличение случаев опрокидывания автомобильных манипуляторов в результате проседания почвы, а до 65% аварий связано с неправильным использованием выносных опор [65]. Нормативные документы прямо требуют прекращения работы манипуляционных систем при начале просадки опорной поверхности [125; 150]. Однако для повышения безопасности работы необходимо не бороться с последствиями, а предотвращать подобные опасные ситуации. Поэтому требуется разработка моделей, позволяющих оценить безопасность работы мобильных транспортно-технологических машин с манипуляционными системами на том или ином опорном основании.

Манипуляционные системы входят в состав военной и специальной техники [9]. Они используются не только на специальных



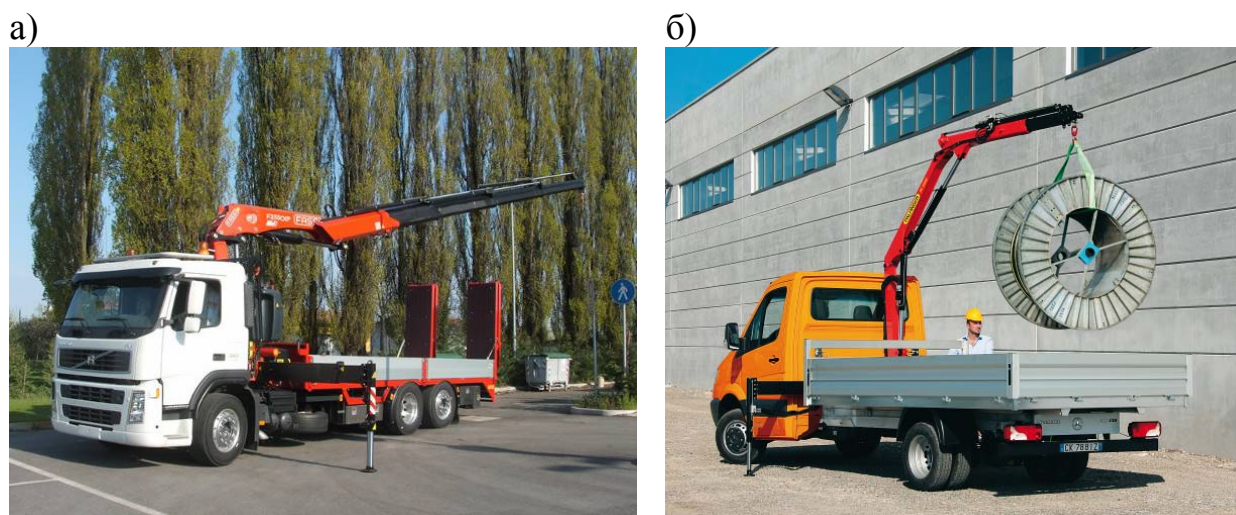


Рис. 6. Использование манипуляционной системы с неполной установкой базовой машины на выносные опоры: а – манипулятор FASSI F235XP (видна просадка кузова назад под весом манипулятора); б – манипулятор Palfinger PK-2900

машинах для выполнения погрузочно-разгрузочных и строительных работ, но и на различных боевых машинах и установках, обеспечивающих работу сложных оружейных комплексов (например, транспортно-заряжающие машины комплексов противовоздушной обороны и систем залпового огня). В будущем предполагается широкое развитие беспилотных роботизированных наземных машин. Рабочее оборудование такого робота должно быть установлено на подвижном основании, которое обеспечит нужное направление на цель. В качестве такого основания хорошо подходит манипуляционная система. При ведении огня необходимо обеспечить высокую надежность манипуляционной системы во всех рабочих режимах боевой машины. Для решения этих задач требуется совершенствование расчетных методов манипуляционных систем с целью учета реальных условий работы боевой машины (экстремальные нагрузки, отдача от оружейного огня, необходимость обеспечения устойчивости и проходимости машины на пересеченной местности с нестабильными грунтами, необходимость быстрого развертывания за счет отказа от ряда стабилизирующих мероприятий, существенные ветровые, взрывные, сейсмические воздействия, наличие повреждений и т.д.).

Беспилотные роботизированные наземные машины также перспективны для их использования в труднопроходимых и малонаселенных местностях прибрежных зон российской Арктики, Чукотки, Сахалина, Курильских островов. Уже сейчас разрабатываются и испытываются опытные образцы таких мобильных транспортно-техно-

логических машин, предназначенные для мониторинга экологической обстановки материковой и островной береговой территории и прибрежной зоны Дальнего Востока [16]. Укомплектование таких машин навесными манипуляционными системами существенно расширит их функциональные возможности, так как даст возможность выполнять различные погрузочно-разгрузочные операции в местах временных стоянок специализированных партий геологов, метеорологов, военных и др.

Мобильные транспортно-технологические машины, оснащенные манипуляционными системами, являются достаточно опасным видом грузоподъемного оборудования. Согласно данным Ростехнадзора в 2014 году на долю стреловых автомобильных, пневмоколесных и на спецшасси кранов, в число которых при статистических наблюдениях включаются краны-манипуляторы, пришлось до 41 % от общего числа случаев со смертельным исходом среди кранов всех типов (рис. 7) [25].

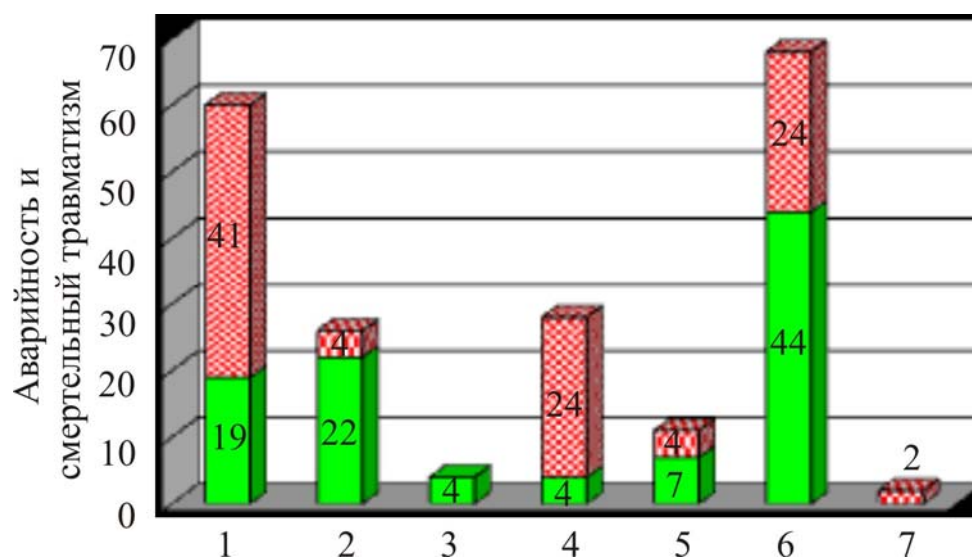


Рис. 7. Аварийность и смертельный травматизм по типам грузоподъемных кранов в России в 2014 году [25]:

1 – автомобильные; 2 – гусеничные; 3 – порталные; 4 – мостовые;  
5 – козловые; 6 – башенные; 7 – краны-манипуляторы

Таким образом, тема исследований, проводимых в рамках подержанного Российским научным фондом проекта №17-79-10274, является актуальной.

## ГЛАВА 1

## КОНСТРУКЦИИ СОВРЕМЕННЫХ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ МОБИЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Манипуляционные системы (крано-манипуляторные установки) устанавливаются на мобильных транспортно-технологических машинах, которые эксплуатируются в различных отраслях экономики: строительстве, добывающих отраслях, лесной и металлообрабатывающей промышленности, сельском хозяйстве, дорожном строительстве, на морском и железнодорожном транспорте, в оборонно-промышленном комплексе [86].

Основными параметрами манипуляционных систем являются грузоподъемность и вылет стрелы. Грузоподъемность нормируется ГОСТ 1575-87 [42]. Однако сегодня для оснащения специализированных мобильных машин или комплексов производители выпускают манипуляционные системы с произвольной грузоподъемностью, определяемой назначением и особенностями эксплуатации [82; 86].

Манипуляционные системы имеют переменную грузоподъемность, зависящую от вылета. На рис. 8 показана рабочая зона крана-манипулятора НИАВ, в пределах которой построены кривые нагрузки [111; 160]. Кран-манипулятор может поместить грузозахватный орган в любую точку рабочей зоны. Кран-манипулятор – это стреловая грузоподъемная машина, используемая для погрузочно-разгрузочных работ, как правило, установленная на мобильную платформу [5; 15; 27; 119]. Они предназначены для работы в стеснённых условиях, при необходимости быстрой переустановки или там, где невозможно применение кранов других типов.

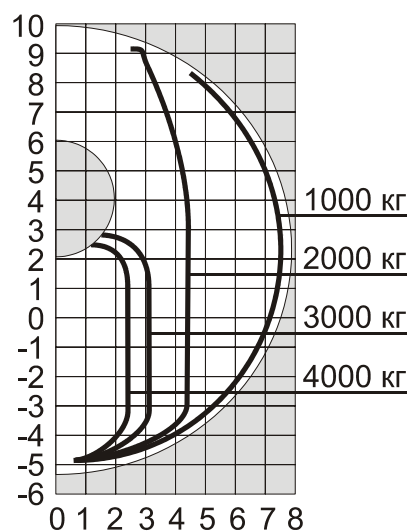


Рис. 8. Графики грузоподъемности крана НИАВ [86; 160]

### 1.1. Конструкции манипуляционных систем

В связи с широким распространением и обилием выполняемых задач существует большое количество типовых вариантов конструк-

ций манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин.

Были проанализированы конструкции кранов-манипуляторов, выпускаемых ведущими отечественными и зарубежными производителями [3; 51-53; 66; 82; 94; 110-112; 114; 135; 137; 159; 160]. Среди них Amco Veba (Италия), Dongyang (Корея), FASSI (Италия), HIAV (Швеция), Fisher (США), HMF (Германия), MKG (Германия), Palfinger (Австрия), UNIC (Япония), XCMG (Китай), ЗАО «Инман» (Россия), АЗ «Чайка-Сервис» (Россия), ЗАО «Дизель-Ремонт» (Россия), ЗАО «НефтеГазТехника» (Россия). Основные конструкции показаны на рис. 9.

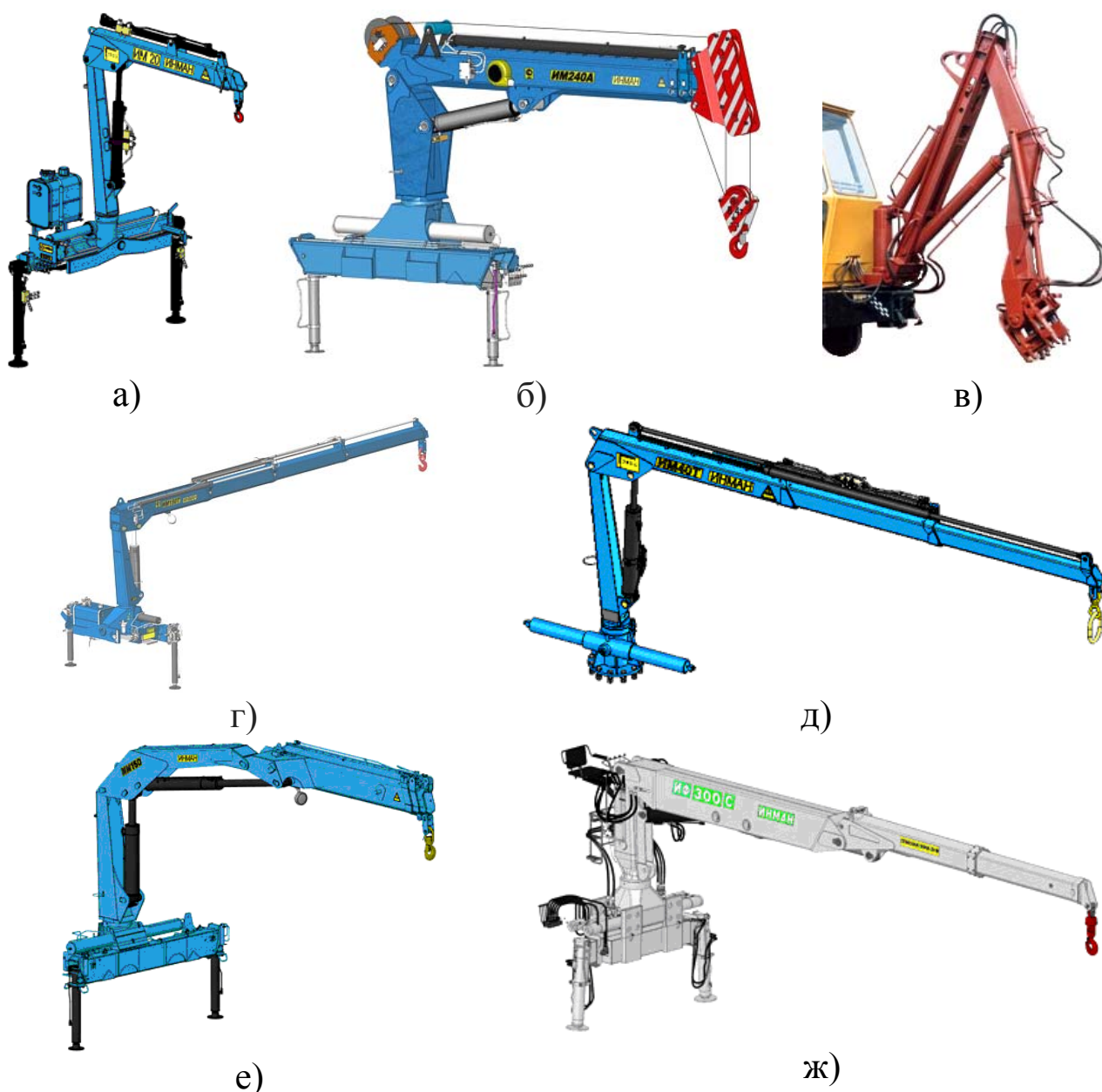


Рис. 9. Конструкции кранов-манипуляторов [82; 94]:  
а-д – двухзвенные; е-ж – трёхзвенные



Краны-манипуляторы устанавливаются на различные базы (рис. 10). Они могут быть установлены на стационарное основание. Однако в большинстве случаев краны-манипуляторы располагаются на транспортных средствах (грузовых автомобилях, гусеничных машинах, железнодорожном подвижном составе, кораблях и судах, специальных транспортных средствах) [5; 15; 27; 82; 118; 119].

а)



б)



в)



г)



д)



е)



Рис. 10. Базы для установки кранов-манипуляторов [82; 94]:  
 а – грузовой автомобиль; б – гусеничное шасси; в, г – гусеничная машина; д – железнодорожная техника; е – плавучее средство

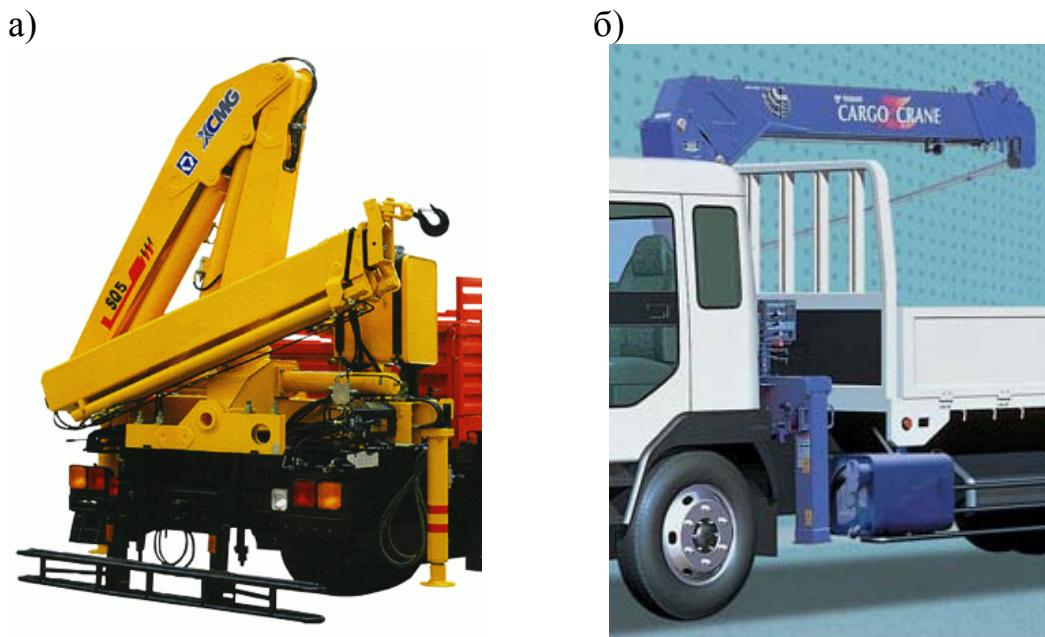


Рис. 11. Кран-манипулятор в транспортном положении [82; 86; 94; 110; 112]:  
а – с Z-образным складыванием; б – с Т-образным складыванием

В транспортном положении кран-манипулятор может принимать различную конфигурацию. Наиболее распространены краны с Z- и Т (Г)-образным складыванием стрелы (рис. 11) [82; 94; 110; 112].

Существуют краны манипуляторы с канатной (гибкой) подвеской, когда грузозахватный орган оснащается грузовой лебедкой; и краны-манипуляторы с шарнирной (жесткой) подвеской грузозахватного органа, который в таких случаях закрепляется на оголовке стрелы [28; 82; 86; 94; 122].

Для выполнения грузоподъемных работ на кране-манипуляторе устанавливается различное навесное оборудование. Чаще всего используются один или несколько крюков. Главный крюк наибольшей грузоподъемности крепится на выдвижной секции стрелы и служит для работы с большими грузами в пределах грузовых характеристик подъемного крана. На концевых секциях удлинителей стрел крана-манипулятора могут быть установлены дополнительные крюки для работы с малыми грузами и на больших вылетах. Кроме того, применяются разборные траверсы, грузовые захваты (для брёвен, поддонов, кирпича, многолепестковые, сеточные, вилочные, челюстные, электромагнитные и т.д.), люльки для подъема людей. Для выполнения строительно-монтажных работ на стреле крана-манипулятора устанавливаются ковши или буры [82; 86; 94].

Также были проанализированы конструкции специальных манипуляторов путевых машин железных дорог, которые оснащаются

манипуляторами для работы с различным навесным оборудованием [2; 86; 97; 106-108].

В общем случае рабочее пространство манипулятора, установленного на путевой машине, с закреплённым на его конце навесным рабочим органом, как правило, можно представить в виде сферы, центр которой совпадает с центром вращения поворотной платформы манипулятора (рис. 12) [121].



Рис. 12. Сферическое рабочее пространство манипуляторных машин в полосе отвода железных дорог [121]

Машина для локальной выправки пути МЛП производства ОАО «Кировский машзавод 1 Мая» (рис. 13) предназначена для ликвидации внезапно появляющихся и требующих неотложного устранения отступлений в состоянии железнодорожного пути. Машина может быть оснащена грузовым манипулятором грузоподъемностью 3,5 т с комплектом сменного оборудования: лесозахватом, крюком и грейфером [86; 106].

Автомотриса АГД-1А производства ОАО «Муромтепловоз» (рис. 14, а) оснащена манипуляционной стрелой для навесного оборудования и предназначена для текущего содержания и восстановления контактной сети на станциях и перегонах, бурения котлованов под установку опор контактной сети, технического обслуживания устройств электроснабжения, восстановления контактной сети и воздушных электролиний. Автомотриса АГС-1Ш (рис. 14, б) используется для технического обслуживания и ремонта в полевых условиях устройств сигнализации, централизации и блокировки. Ее стрела схожа со стрелой автомотрисы АГД-1А. Мотовоз МГМ-3 (рис. 14, в) оснащен





Рис. 13. Машина МЛП производства ОАО «Кировский машзавод 1 Мая» [106]

трехзвенным гидравлическим краном-манипулятором. Модуль одиночной замены шпал МПШ (рис. 14, г) предназначен для производства работ, связанных с заменой вышедших из строя деревянных или железобетонных шпал оснащен специальной стрелой [107].

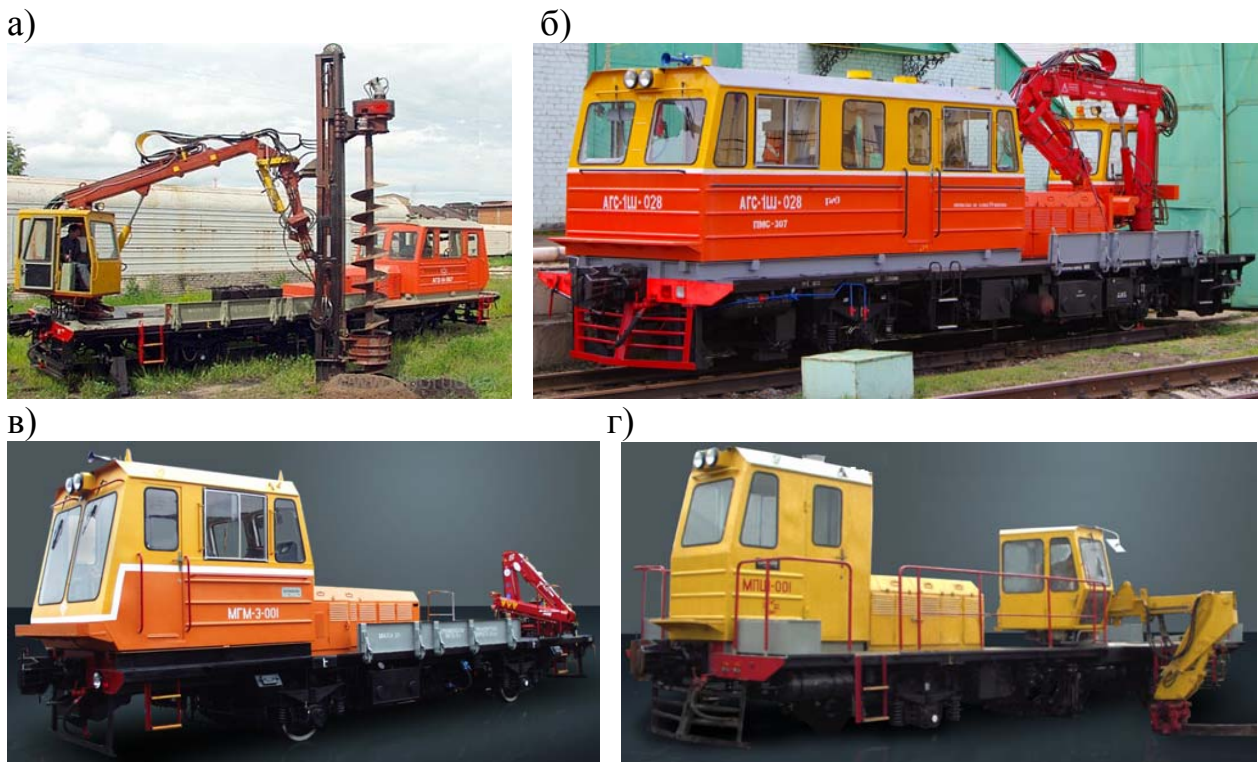


Рис. 14. Путьевая техника производства ОАО «Муромтепловоз» [86; 107]:  
а – автомотриса АГД-1А с буровым оборудованием; б – автомотриса АГС-1Ш;  
в – мотовоз МГМ-3; г – модуль одиночной замены шпал МПШ



Автомотриса АСГ-30 производства ОАО «Свердловский путевой ремонтно-механический завод «Ремпутьмаш» (рис. 15) является более совершенной версией автомотрисы АГД-1А [86; 108].



Рис. 15. Автомотриса АСГ-30 с установленным на манипулятор «Имманн» грейферным захватом [108]

На задней консоли автомотрисы монтажной АДМ-1.5ЭЛ производства ОАО «Тихорецкий машиностроительный завод им. В.В. Воровского» (рис. 16, а) смонтирована крано-манипуляторная установка, способная выполнять монтаж и демонтаж опор контактной сети, погрузку и выгрузку различных грузов. Грузоподъемный телескопический кран автомотрисы 1АДМ-1.5 (рис. 16, б) выполняет монтаж и демонтаж опор контактной сети, погрузку и выгрузку различных грузов [86; 109].

а)



б)



Рис. 16. Автомотрисы производства ОАО «Тихорецкий машиностроительный завод им. В.В. Воровского» [109]: а – автомотриса АДМ-1.5ЭЛ; б – автомотриса 1АДМ-1.5

Машина для смены шпал универсальная (МСШУ) производства ОАО «Истинский машиностроительный завод» (рис. 17) выполняет операции по одиночной замене деревянных и железобетонных шпал, подъём пути и стрелочных переводов, выправку пути в плане и в профиле. Машина оснащена манипулятором [86; 97].



Рис. 17. Машина для смены шпал универсальная [97]



Рис. 18. Автомотриса монтажная АМЗМ [2]

Автомотриса монтажная АМЗМ производства ООО «Камбарский машиностроительный завод» (рис. 18) предназначена для выполнения монтажных, восстановительных и ремонтных работ по обслуживанию контактной сети на электрифицированных железных дорогах под напряжением 3000 В, выполнения погрузочно-разгрузочных работ. Машина оснащена краном-манипулятором и установленной на подвижной стреле подъемной платформой [2; 86].

Проведенный анализ конструкций выпускаемых ведущими российскими предприятиями путевых машин показал, что они оснащаются трехзвенными гидравлическими кранами-манипуляторами с Z-образным складыванием стрелы, последняя секция которой имеет 2-3 телескопические звена. Эти манипуляторы идентичны рассмотренным выше кранам-манипуляторам общего назначения, но в большей степени ориентированы на использования различных навесных приспособлений для проведения путевых работ. При этом манипулятор используется не только для подъема и перемещения груза, но и для позиционирования рабочего органа в заданной точке.

В ряде случаев отмечается необычная для кранов-манипуляторов форма секций стрелы, например, как у машины автомотрисы АГД-1А (рис. 14, а), МСШУ (рис. 17), дрезины ТУ8Г (рис. 19) и ряда других. Однако с точки зрения математического моделирования рабо-



чих процессов, протекающих при работе манипуляционных систем этих машин, указанное обстоятельство не является существенным.



Рис. 19. Дрезина ТУ8Г, оснащенная краном-манипулятором с нестандартной формой звеньев стрелы [143]

Анализ конструкций специальных манипуляторов лесных машин показывает, что гидравлические манипуляторы нашли широкое применение в машинах для лесозаготовки [50; 86; 149]. Они устанавливаются на автопоездах для перевозки леса и лесозаготовительных машинах. За рубежом наиболее активные работы по комплексной механизации лесозаготовительных работ ведутся в США, Канаде, Финляндии и Швеции [50; 86]. Кинематические схемы большинства названных манипуляторов соответствуют конструкциям, показанным на рис. 9, е, ж.

Первый отечественный автопоезд ЛТГ-95 с гидроманипулятором и грузочным устройством создан в 1960-х годах. Он состоял из тягача ЗИЛ-157 и полуприцепа КАЗ-717 (рис. 20). До этого использовались автопоезда с канатно-лебедочными системами погрузки древесины [50; 86].

В 1980-х годах в нашей стране началась активная разработка оборудования для сортиментной заготовки леса. Тогда был создан навесной гидроманипулятор ЛВ-185 (рис. 21). Он предназначен для обслуживания различных технологических операций на предприятиях лесной промышленности. Манипулятор состоит из опорной конструкции, поворотной колонны, стрелы, рукояти с выдвижным удлинителем. Манипулятор ЛВ-185 используется и сегодня [50].



Рис. 20. Автопоезд ЛТГ-95 [86; 87]



Рис. 21. Форвардер с манипулятором ЛВ-185 [87]

Позже были разработаны гидроманипуляторы МГМ-40 (рис. 22) и МУГ-70В (рис. 23). Они могут устанавливаться на шасси автомобилей ЗИЛ, ГАЗ, Урал, КамАЗ, КрАЗ, МАЗ [50]. Манипуляторами МГМ-40 и МУГ-70В также оснащаются мобильные машины для сварки трубопроводов [86; 149].



Рис. 22. Автопоезд-сортиментовоз с манипулятором МГМ-40 [87]



Рис. 23. Автопоезд-сортиментовоз с манипулятором МУГ-70В [87]

В настоящее время на лесозаготовках широко применяются автопоезд-сортиментовоз на базе автомобиля КамАЗ-53213 с прицепом ГКБ-8352 с гидроманипулятором F-65S производства Финляндии; автопоезд ТМ-22 с гидроманипулятором F-65S на базе автомобиля МАЗ-5434 с прицепом-ропуском ГКБ-9362. Применение таких автопоездов эффективно на небольших лесосеках и выборочных рубках, когда вырубленная древесина небольшими объемами рассредоточена вдоль грунтовых дорог [50; 86].

Гидроманипуляторы используются и в лесозаготовительных машинах (рис. 24 - 27). В этом случае на конце стрелы вместо грузозахватного органа устанавливается специализированное навесное оборудование [50; 149].



Рис. 24. Валочно-пакетирующая машина ЛП-19 [87]

а)



Рис. 25. Валочно-трелевоочная машина ВМ-4Б [87]

б)



Рис. 26. Валочно-сучкорезно-раскряжевочные машины (харвестеры) [87]:  
а – МЛ-72; б – ТЛК-4-15

а)



б)



Рис. 27. Сортиментовозы (форвардеры) [87]:  
а – МЛ-72-01; б – ТЛ-60Ф-4

Таким образом, по аналогии с манипуляторами путевых машин конструкции манипуляторов лесных машин идентичны рассмотренным выше конструкциям кранов-манипуляторов общего назначения. Однако на конце стрелы вместо крюка могут устанавливаться специальные грузовые захваты или навесное оборудование для валки и первичной обработки леса [82; 86].



Мобильные транспортно-технологические машины, оснащенные манипуляционными системами, являются машинами двойного назначения [118]. Они предназначены как для транспортировки грузов в рамках решения инженерных задач (разгрузки боеприпасов и предметов снабжения, разграждения, оперативного строительства долговременных сооружений, разбора завалов, эвакуации поврежденных боевых машин) (рис. 28), так и для обслуживания боевых комплексов (систем залпового огня, комплексов противовоздушной обороны, проведения транспортно-стыковочных операций и т.д.) (рис. 29).



Рис. 28. Инженерные машины [23; 54; 55]:

а – инженерная машина разграждения ИМР-1; б – инженерная машина разграждения ИМР-2; в – ремонтная гусеничная машина РМ-Г; г – военный кран-манипулятор на шасси Брянского машиностроительного завода

Управление манипуляционными системами мобильных транспортно-технологических машин может осуществляться одним из способов [82; 86; 94]:

- установленными сбоку мобильной машины;
- со стойки оператора на уровне платформы;



Рис. 29. Заряжающая машина комплекса ПВО С-300 [23; 156]

- с кресла оператора на верху поворотной колонны;
- с пульта дистанционного управления.

## 1.2. Конструкции и работоспособность основных узлов манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин

Кинематические схемы манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин являются незамкнутыми и имеют структуру типа дерева, вследствие чего для их символического описания удобно использовать единый алгоритм кодирования механических систем со структурой дерева методом графов [102]. На рис. 30 показаны наиболее часто встречаемые типы кинематических схем крано-манипуляторных установок, реализуемые в моделях кранов-манипуляторов зарубежных фирм-производителей [93]. Их можно рассматривать в качестве базовых кинематических схем, так как зачастую конструкции манипуляционных систем позволяют наращивать базовую кинематическую схему за счет добавления одной или нескольких дополнительных секций [71; 93]. Базовая кинематическая схема манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины в процессе эксплуатации может неоднократно видоизменяться с целью обеспечения при выполнении конкретных производственных работ необходимых грузо-высотных характеристик, т.е. в общем случае является дискретно переменной во времени.

Основные движения звеньев крано-манипуляторных установок, как это видно из приведенных на рис. 30 характерных структурных схем кранов-манипуляторов, соответствуют практически одному виду систем координат – полярной сферической [93].

В конструкции манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин используются низшие кинематические па-

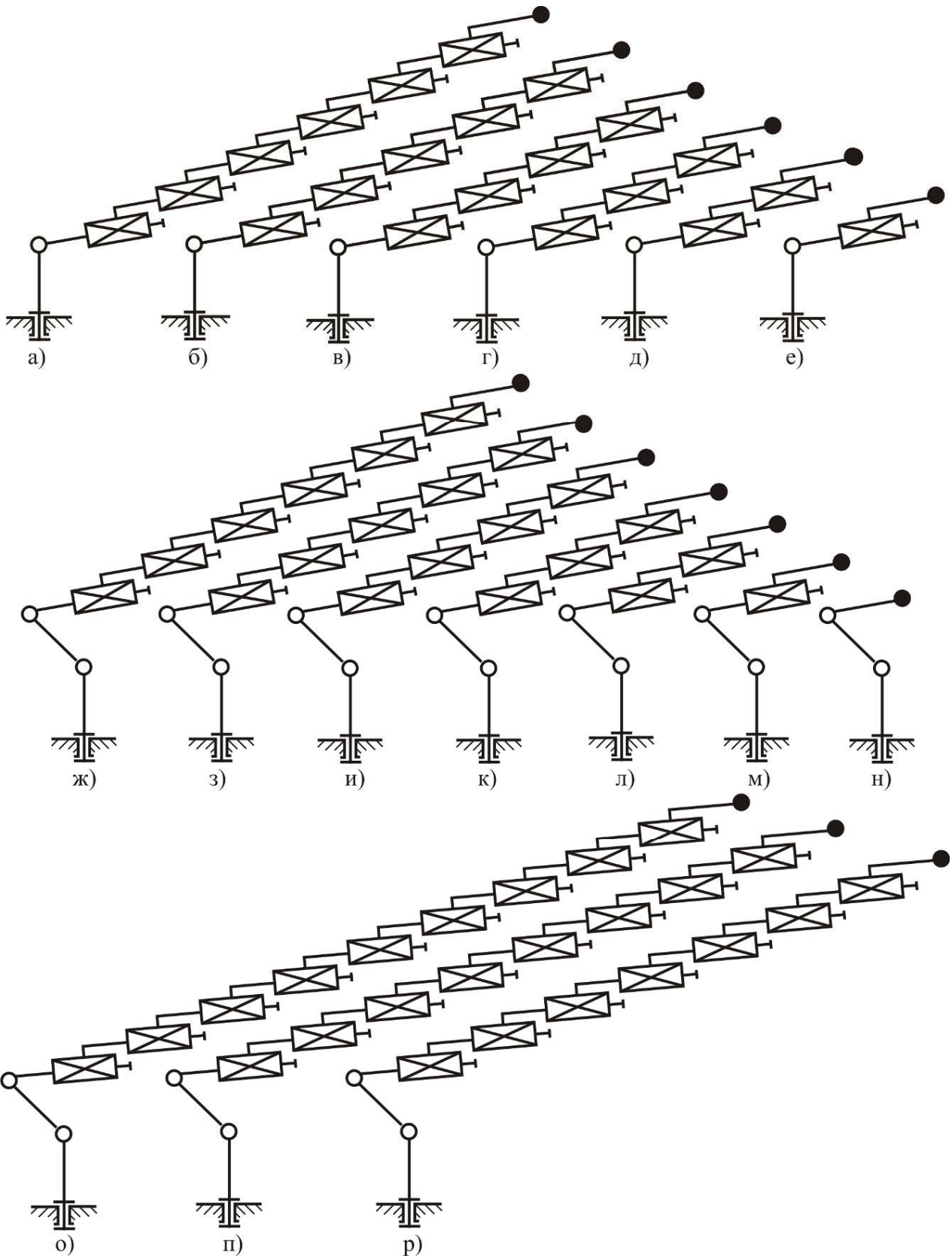


Рис. 30. Часто встречаемые кинематические схемы ряда моделей манипуляционных систем зарубежных фирм-производителей [93]:  
 а – Unic UR-W546C; б – HMF 1910-T5; в – Kato A605; г – Palfinger PFD 99;  
 д – IMT 1.5/11; е – Tadano TM-20; ж – IMT 14/98SL K6; з – PM 12025;  
 и – IMT 10/72SL K4; к – HMF 1800-K3; л – IMT 10/72SL K2; м – PM 12021;  
 н – Barco 295ML; о – PM 65029 SP; п – HMF 6020-K8; р – HMF 1800-K7



ры V класса – вращательные на основе цилиндрических шарниров, обеспечивающие вращательное движение относительно продольной оси звена или поворотное относительное движение смежных звеньев, и поступательные на основе призматических шарниров, обеспечивающие телескопирование ряда последовательно сопряженных звеньев кинематической цепи [28; 122].

В крано-манипуляторных установках призматические шарниры формируются за счет опирания подвижного звена на свободно вращающиеся роликовые опорные устройства [28], а цилиндрические шарниры – за счет соединения двух пар проушин, имеющих соосные отверстия, цилиндрическим шарнирным пальцем [95]. Узлы присоединения приводных гидроцилиндров к звеньям вращательных кинематических пар, представляющие собой цилиндрические шарниры, также формируются за счет соединения пары проушин, приваренных к наружной поверхности звеньев, и хвостовика гидроцилиндра и его штока, имеющих соосные отверстия, цилиндрическим шарнирным пальцем. В отверстия проушин могут дополнительно устанавливаться втулки, выполняемые из стали, бронзы или пластмассы [49; 86]. Характерные примеры конструктивного исполнения цилиндрических шарниров узлов соединения смежных звеньев шарнирно сочлененных стрел и узлов присоединения силовых гидроцилиндров приведены на рис. 31 [28; 49; 86; 122].

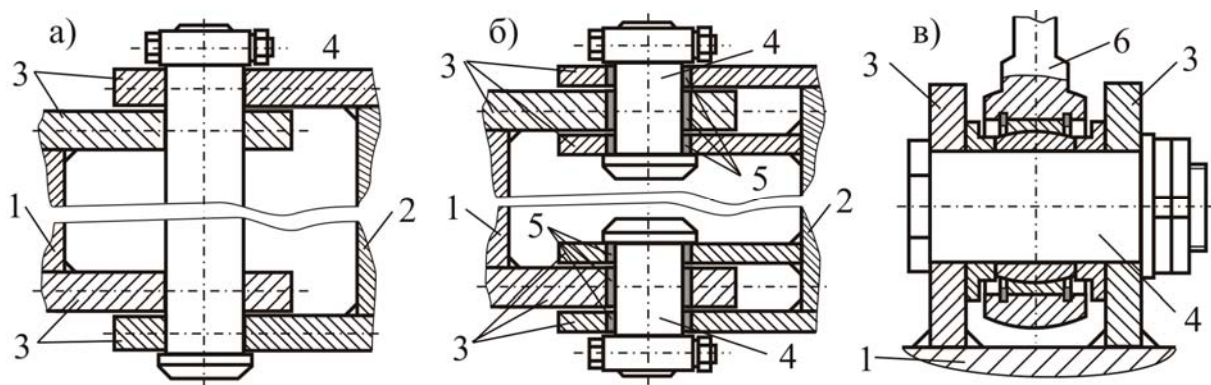


Рис. 31. Конструкции цилиндрических шарниров манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин [28; 49; 122]:

а, б – соединение смежных звеньев; в – присоединение гидроцилиндра (1, 2 – звенья стрелы; 3 – проушина; 4 – шарнирный палец; 5 – втулка; 6 – хвостовик штока или корпуса гидроцилиндра)

Стальные втулки невысокой твердости наиболее широко применяются в манипуляционных системах с небольшими скоростями поворотного движения. Применение втулок из бронзы (антифрикцион-

ного материала) рекомендуется при повышенных скоростях поворота. Хотя среднее давление в шарнирах манипуляционных систем превышает (до 30%) допустимое давление для бронзы, однако произведение среднего значения давления на скорость поворота значительно меньше допустимого, что благоприятно сказывается на износостойкости шарнира [49]. Ресурсные испытания подтвердили высокую надежность узлов с бронзовыми втулками, однако у них имеются и серьезные недостатки: высокая себестоимость бронзовых втулок, необходимость устройства в шарнирных пальцах и втулках каналов для смазки, трудоемкость эксплуатационного обслуживания. Частично устранить недостатки шарнирных соединений с бронзовыми втулками позволяет применение пластмассовых втулок, выполненных из угленаполненных полиамидов ПА-66-1-Л-У40 по ТУ 6-06-25-06 и УПА 6-40 по ТУ 6-13-31-654-89 [49; 86].

Конструктивные элементы цилиндрических шарниров являются одними из наиболее нагруженных деталей манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин, так как в них действуют переменные во времени напряжения от статических и инерционных усилий, обусловленные весом, неравномерным и реверсивным движением груза и части звеньев грузоподъемной стрелы [133]. В перемычках проушин наблюдается появление и последующее развитие усталостных трещин (рис. 32, а) [86; 96; 89].

Однако основная причина отказов шарниров заключается в малой площади контактной поверхности пары «проушина – ось шарни-

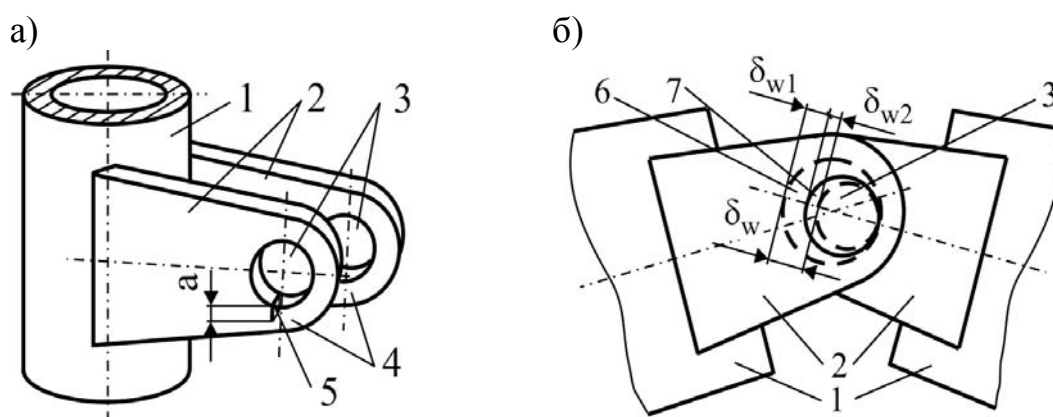


Рис. 32. Характерные эксплуатационные дефекты элементов цилиндрических шарниров: а – усталостная трещина в перемычке проушины;

б – износ материала проушины и шарнирного пальца

(1 – звено стрелы; 2 – проушина; 3 – отверстие проушины; 4 – перемычка проушины; 5 – трещина; 6 – контур изношенного отверстия проушины; 7 – контур изношенного шарнирного пальца)

ра» [139]. Это обуславливает фрикционно-абразивное изнашивание материала проушин с прогрессирующим во времени увеличением диаметра их отверстий на величину  $\delta_{w1}$  относительно своего номинального значения и изнашивания шарнирного пальца с уменьшением его номинального диаметра на величину  $\delta_{w2}$  (рис. 32, б) [69; 92; 96]. Выработка отверстий в проушинах является характерной чертой цилиндрического шарнирного соединения смежных элементов металлоконструкции не только мобильных транспортно-технологических машин, но других видов грузоподъемных машин – металлургических кранов [100], порталных кранов (в частности, типа «Альбатрос», «Сокол» и «Кондор» производства «Kranbau Eberswalde») [101] и др. В манипуляторах лесопромышленных машин уже при наработке до 3000 моточасов цилиндрические шарниры выходят из строя вследствие выработки отверстий, хотя ресурс остальной металлоконструкции составляет ~10...12 тыс. моточасов [148]. По другим данным ресурс шарнирных соединений манипуляторов составляет 2000 моточасов при ресурсе металлоконструкции (до капитального ремонта трактора) 4500...5000 моточасов [129].

Согласно требованиям Ростехнадзора России [56; 99], регламентирующим порядок проведения технического освидетельствования и экспертного обследования стреловых кранов и кранов-манипуляторов, следует обращать особое внимание на наличие такого дефекта, как люфт шарнирных соединений  $\delta_w = \delta_{w1} + \delta_{w2}$ , связанный преимущественно с выработкой отверстий. Предельно допустимое увеличение диаметра отверстий относительно своего номинального размера по чертежу, при достижении которого необходим ремонт и восстановление шарниров, составляет [71; 86; 92; 99]:

- 2 мм – при номинальном диаметре отверстия до 50 мм включительно;
- 3 мм – при номинальном диаметре от 50 до 100 мм включительно;
- 4 мм – при номинальном диаметре более 100 мм.

Звенья кинематической цепи манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин проектируются в виде тонкостенных деталей замкнутого поперечного сечения коробчатого типа (рис. 33) [28; 32; 71; 122; 135]. Для обеспечения геометрической стабильности геометрии сечения и обеспечения местной устойчивости листовых элементов, в которых действуют сжимающие напряжения, внутри звеньев могут устанавливаться продольные и поперечные

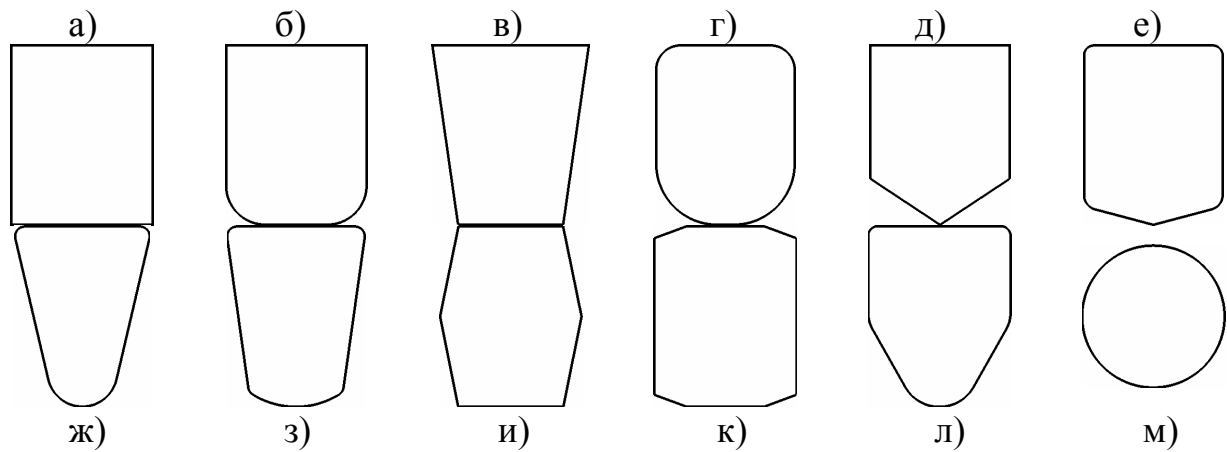


Рис. 33. Профили, используемые в конструкциях секций стрел и поворотных колонн гидравлических кранов-манипуляторов [71]

ребра жесткости (диафрагмы) [28; 32; 71; 82; 86; 94; 122; 135]. Часть кинематической цепи, представляющая несколько последовательно расположенных поступательных кинематических пар V класса, выполняется в виде телескопической конструкции, когда последующее звено имеет меньшие габаритные размеры поперечного сечения и заходит вовнутрь предыдущего звена [28]. При этом гидроцилиндры, обеспечивающие относительное поворотное движение смежных звеньев, образующих вращательную кинематическую пару V класса, являются самостоятельным элементом металлоконструкции крано-манипуляторной установки. Необходимость их присоединения к обоим звеньям кинематической пары и представления в виде поступательной пары V класса на основе призматического шарнира приводит к усложнению кинематической схемы за счет появления в ней одного или нескольких замкнутых контуров [79] и, таким образом, к несоответствию ее структуры графу типа дерева.

Часто последнее звено манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин состоит из нескольких телескопических звеньев (секций). Секции приводятся в движение различными способами [15; 28; 82; 86; 94; 122]:

- силовыми гидроцилиндрами;
- с помощью канатно-блочной системы;
- по комбинированной схеме (силовым гидроцилиндром, соединенным с канатно-блочной системой);
- с помощью стержневой фермы.

До 1980-х годов металлоконструкции кранов, в основном, изготавливались из углеродистых сталей обычной прочности Ст3 по ГОСТ 380-71 различной степени раскисления (спокойная ВСт3сп5, полуспо-

койная ВСтЗпс5 и кипящая ВСтЗкп2 стали). В настоящее время краны изготавливают из низколегированных сталей 09Г2, 09Г2С, 15ХСНД, 17Г1С, 10ХСНД и 14Г2АФ (по ГОСТ 19281-89 [43]), а также сталей повышенной прочности 16Г2АФ и 18Г2АФПС [86; 135].

Для изготовления манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин используют листовой и широкополосный прокат, из которого вырезаются заготовки [47; 68]. Для несущих металлоконструкций используется прокат толщиной не менее 4 мм [86; 135].

Для изготовления манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин применяют электродуговую ручную сварку, а также полуавтоматическую и автоматическую сварку под слоем флюса или в защитной газовой среде [47; 68]. Механические характеристики металла сварного шва и основного металла не должны отличаться. При изготовлении сварных крановых металлоконструкций применяются стыковые и угловые сварные швы [135].

Использование в металлоконструкциях звеньев манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин тонкостенных профилей (рис. 33) является источником достаточно распространенных дефектов – общих и локальных отклонений стенок и поясов звеньев от исходной плоскости в результате потери устойчивости или внешних ударных воздействий [138]. Появление указанных дефектов в процессе эксплуатации грузоподъемного оборудования приводит к повышению общего уровня напряженно-деформированного состояния и перераспределению напряжений по сечению замкнутого профиля в угловые зоны (перегрузка до 50...60% относительно номинальных значений) [44], к существенному снижению критических нагрузок при потере устойчивости и к изменению частот собственных колебаний по сравнению с исходными значениями [59]. В [69; 99] приведены нормированные значения этих дефектов, при достижении которых дальнейшая эксплуатация крано-манипуляторных установок запрещена и требуется проведение ремонтных мероприятий. Как показывает проведенный в [80] анализ, в наиболее нагруженных элементах конструкции, таких как звенья, которые испытывают напряжения в пределах не менее 50...80% величины предела текучести материала, локальные дефекты типа вмятин недопустимы по условию прочности.

Движение звеньев манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин, как правило, осуществляется с по-

мощью гидравлического привода. Анализ гидравлических схем манипуляционных систем различных типов мобильных транспортно-технологических машин отечественного производства [18; 30; 35; 36; 78] показал, что наиболее широкое применение получили следующие гидроустройства:

- насосы шестеренные типа Г11-2, БГ-11-2 и НШ серии 3 и 4 (с номинальным давлением на выходе  $p_n \leq 20$  МПа), радиально-поршневые типа ( $p_n \leq 35$  МПа), аксиально-поршневые типа Г13-3М, 2Г15-1, НА, серий 200, 300 и 400 ( $p_n \leq 32$  МПа);

- гидроцилиндры поршневые двухстороннего действия с односторонним штоком общего назначения ( $p_n = 10, 16, 25$  и  $32$  МПа, ход поршня  $X_{шц} \leq 2240$  мм) и специальные для самоходных кранов типа Ц21, Ц22, Ц31, Ц41 и Ц51 ( $p_n = 16$  МПа), телескопические;

- гидродвигатели поворотные поршневые и шиберные;

- насос-моторы аксиально-поршневые типа 207, 210 и 311 ( $p_n \leq 32$  МПа);

- гидромоторы высокомоментные типа МР (с номинальным крутящим моментом  $M_n \leq 30$  кН·м), 11М и НМШ;

- гидроаппараты управления расходом: дроссели, делители потока;

- клапаны давления напорные: предохранительные типа ПГ52 (с давлением настройки до 100 МПа), переливные типа Г52 ( $p_n \leq 20$  МПа);

- направляющие гидрораспределители золотниковые моноблочные типа Р ( $p_n = 18$  МПа) и секционные ( $p_n \leq 50$  МПа) с рычажным управлением, с электрическим управлением типа ЗСУ-8 ( $p_n = 16$  МПа) и электрогидравлическим управлением типа ЗСУ-5 ( $p_n = 10$  МПа);

- гидрозамки типа КУ и КУ-С ( $p_n = 32$  МПа);

- обратные клапаны типа Г-51-2 ( $p_n = 20$  МПа) и ( $p_n = 61$  МПа);

- фильтры напорные и сливные;

- гидробаки и гидроаккумуляторы.

В конструкциях гидроприводов манипуляционных систем зарубежного производства используются аналогичные типы гидроустройств [30; 86; 132].

В качестве приводящего двигателя насоса широко используется двигатель внутреннего сгорания базовой машины, соединенный посредством редуктора отбора мощности с валом насоса [49]. В конструкциях самоходных кранов большой грузоподъемности зарубежного

производства с целью повышения экономичности их работы для привода насосов гидравлических систем манипуляционных установок используются специальные двигатели внутреннего сгорания, установленные на раме крано-манипуляторных установок и равные по мощности ~50 % мощности двигателю базовой машины [36]. Для манипуляционных систем самоходных кранов, лесных и путевых машин, использующих в качестве приводящего двигателя базовой машины, характерно применение более дешевых нерегулируемых насосов [18; 30; 35; 36; 49]. Поэтому управление гидроприводом, как правило, реализуется на основе дроссельного регулирования [78]. В специальных мобильных транспортно-технологических машинах, имеющих отдельный двигатель для работы манипуляционной системы, а также при использовании регулируемого электропривода насоса возможно управление изменением частоты вращения выходного вала приводящего двигателя [86].

За редким исключением, манипуляционные системы мобильных транспортно-технологических машин эксплуатируются на открытом воздухе и подвержены длительному негативному воздействию таких атмосферных явлений, как низкая или высокая температура воздуха, резкие суточные колебания его температуры, атмосферные осадки, обледенение, ветер. Такие условия эксплуатации обуславливают проявление коррозионных процессов в местах нарушения защитного лакокрасочного покрытия, что вызывает с течением времени общую, локальную или язвенную потерю материала с наружной или внутренней поверхности тонкостенных металлоконструкций звеньев [69; 130; 134]. Особую опасность имеют коррозионные повреждения внутренних полостей звеньев коробчатого поперечного сечения, мест резкого изменения конфигурации конструктивных элементов, узлов сопряжения нескольких элементов с образованием труднодоступных полостей и углублений, поверхностей зазоров и щелей при неплотном прилегании сопрягаемых элементов, сварных соединений с прерывистыми швами [131]. Мониторинг состояния крановых металлоконструкций показывает, что линейная (по толщине конструктивного элемента) скорость распространения коррозионных повреждений в нормальных условиях эксплуатации составляет 0,03...0,2 мм/год [67]. В слабо- и среднеагрессивных условиях эксплуатации (химические производства, морской климат, повышенные температура и влажность) скорость коррозии может быть заметно выше. Коррозионное утонение поперечных сечений металлоконструкций звеньев вызывает

постепенный рост уровня напряжений и деформаций в конструкциях, снижение их сопротивления общей и местной потере устойчивости и трещиностойкости, уменьшение частот собственных колебаний [46; 130]. Язвенная коррозия приводит к значительной локальной концентрации напряжений в зоне повреждения материала (коэффициент концентрации напряжений доходит до 2,5...3), поэтому дефекты типа коррозионных язвин поверхности недопустимы в таких нагруженных элементах конструкций, которые испытывают напряжения в пределах не менее 50...80% величины предела текучести материала [80]. Уменьшение частот собственных колебаний из-за коррозии может оказаться опасным, так как согласно результатам моделирования динамики манипуляционных систем с учетом упругой податливости их звеньев [62], это приводит к сближению частоты колебаний звеньев при движении с низшей собственной частотой металлоконструкции, причем изначальная разница частот и так невелика – частоты имеют один порядок значений.

Достаточно высокий уровень напряженного состояния в несущих металлоконструкциях манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин, близкий к уровню несущей способности конструкции, весьма разнообразные и зачастую недостаточно качественные условия эксплуатации обуславливают обязательное возникновение и развитие во времени повреждений и дефектов различной природы – общей и местной потери устойчивости, хрупкого и усталостного разрушения, остаточных пластических деформаций, коррозии, изнашивания. Как результат, значительную часть своего нормативного срока эксплуатации манипуляционные системы мобильных машин функционируют в условиях присутствия значительного числа указанных повреждений, характерные размеры которых с течением времени могут приближаться к предельно допустимым значениям по условиям обеспечения работоспособности конструкции, что приводит к нарастающему несоответствию реальных и паспортных характеристик установок. Учет этого явления требует проведения специального анализа влияния повреждений на количественные показатели манипуляционных систем и оценки их изменения во времени. На этапе проектирования грузоподъемного оборудования подобный анализ позволяет оценить степень возможного воздействия наиболее опасных повреждений на показатели надежности конструкции и разработать адекватные защитные конструкторско-технологические мероприятия. На этапе эксплуатации транспортно-технологиче-



ческих машин при проведении технических и экспертных обследований подобный анализ позволяет провести оценку текущего функционального состояния крано-манипуляторных установок и величины их остаточного ресурса, а также определить объем и содержание необходимых ремонтно-восстановительных мероприятий, скорректировать при необходимости график планово-предупредительных ремонтов.

Очевидно, присутствие в металлоконструкциях значительного числа развивающихся с течением времени дефектов значительных размеров способно оказывать воздействие на изменение количественных характеристик динамического и напряженно-деформированного состояния манипуляционных систем по сравнению с их исходным, бездефектным состоянием. Для повышения достоверности результатов расчета и моделирования кранов-манипуляторов требуется учет влияния наиболее значимых дефектов [93].

Вследствие высокой значимости влияния эксплуатационных дефектов на уровень технического состояния и безопасной эксплуатации манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин нормативно-распорядительными документами Ростехнадзора России широкий круг указанного оборудования отнесен к опасным техническим устройствам. Контроль за их безопасной эксплуатацией осуществляется на основе единой многоуровневой федеральной системы государственного надзора и производственного контроля. Она предусматривает периодическое проведение экспертных обследований кранов-манипуляторов, исчерпавших нормативный срок эксплуатации, в ходе которых предусмотрен комплексный визуальный и инструментальный контроль металлоконструкции, механизмов и систем кранов, а также оценка остаточного ресурса [99; 131].

### **1.3. Сравнительный анализ конструкций и технических характеристик манипуляционных роботов и манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин**

Манипуляционные системы мобильных транспортно-технологических машин имеют значительное конструктивное сходство с промышленными манипуляционными роботами. Промышленный манипуляционный робот представляет собой автоматическую машину, исполнительным органом которой является манипулятор, перемещающий грузовой захват в пространстве по заданной траектории (плоской или пространственной) [64; 127]. Данные роботы широко использу-

ются в машиностроении для автоматизации производственных процессов [17; 29; 64]. Однако условия и режимы работы манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин и манипуляционных роботов существенно различны, что обуславливает наличие характерных конструктивных особенностей [86; 93].

По сравнению с манипуляционными системами мобильных транспортно-технологических машин структурные кинематические схемы манипуляторов роботов характеризуются большим разнообразием взаимных относительных движений сопряженных звеньев металлоконструкции, так как в них используются кинематические пары нескольких классов – поступательные, вращательные и поступательно-вращательные пары V класса, цилиндрические и вращательные пары IV класса, вращательные (шаровые) пары III класса, хотя, естественно, преобладают более простые для технологической реализации низшие кинематические пары V класса, обеспечивающие одну степень свободы [64; 93; 128]. В конструкциях манипуляторов мобильных машин используются только низшие кинематические пары V класса – вращательные на основе цилиндрических шарниров и поступательные на основе призматических шарниров [28; 86; 93].

Основные технические характеристики манипуляционных систем транспортно-технологических машин и манипуляторов промышленных роботов, отражающие их грузовые и геометрические свойства, выражаются аналогичными физическими показателями. Однако нельзя говорить об их количественном соответствии. Абсолютные и относительные значения основных технических характеристик манипуляторов, определяющих грузовые и грузо-моментные параметры кранов и роботов, значительно отличаются по величине, причем отличия составляют, как правило, 2...3 порядка [86; 93].

На рис. 34 приведены функции  $P(G_n)$  распределения числа типоразмеров манипуляторов, выпускаемых отечественной и зарубежной промышленностью, по номинальной грузоподъемности  $G_n$ . Необходимо отметить, что верхняя часть кривых 2 и 3, соответствующая области тяжелых и сверхтяжелых манипуляторов по классификации [29], формируется промышленными роботами преимущественно подвесного (портального) исполнения, т.е. конструктивно существенно отличающимися от кранов-манипуляторов. Видно, что медианное значение номинальной грузоподъемности  $G_n$  числа типоразмеров кранов-манипуляторов составляет ~40 кН, гидравлических манипуляторов промышленных роботов - ~0,3 кН, т.е. на 2 порядка меньше.

При этом манипуляторы роботов с гидравлическим приводом являются более грузоподъемными, чем с другими типами приводов (пневматическим, электрическим и комбинированным). Менее 10% типоразмеров гидравлических кранов-манипуляторов имеют номинальную грузоподъемность свыше 110 кН, менее 5% - свыше 200 кН. Для гидравлических манипуляторов роботов эти значения составляют соответственно 1 и 4 кН.

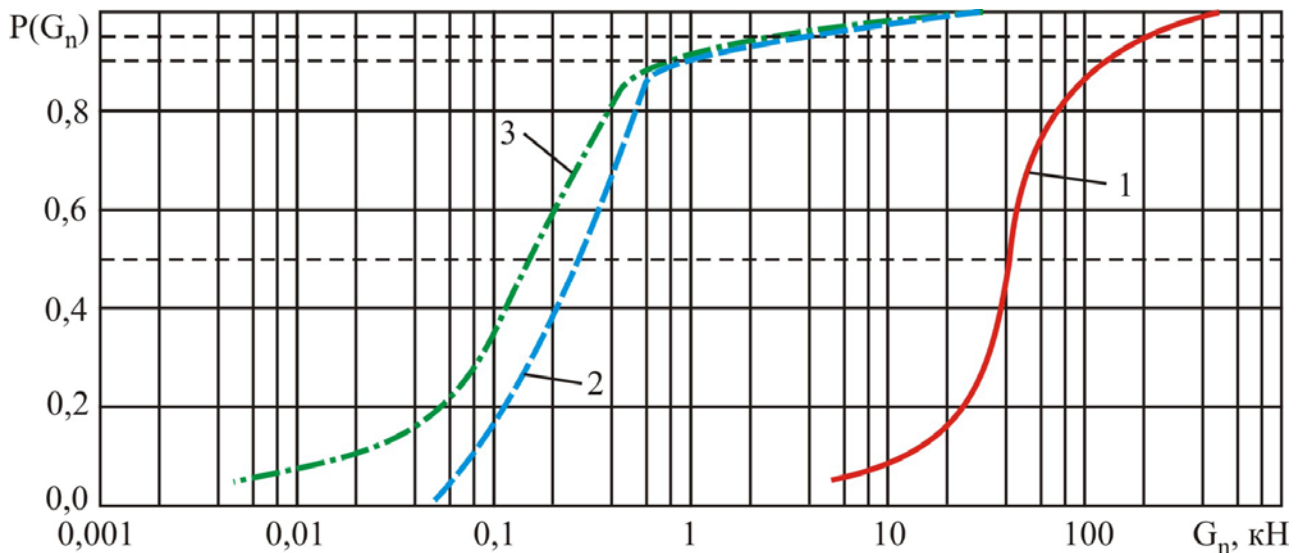


Рис. 34. Распределение числа типоразмеров манипуляторов по номинальной грузоподъемности [86; 93]:

- 1 – гидравлические краны-манипуляторы;
- 2 – гидравлические манипуляторы промышленных роботов;
- 3 – манипуляторы всех типов привода промышленных роботов

На рис. 35 приведены функции  $P(G_m)$  распределения числа типоразмеров манипуляторов по величине собственного веса  $G_m$ . Его медианное значение для кранов-манипуляторов составляет  $\sim 18$  кН, для гидравлических манипуляторов промышленных роботов -  $\sim 7$  кН, т.е. в 2,5 раза меньше. Менее 10% типоразмеров гидравлических кранов-манипуляторов имеют собственный вес свыше 50 кН, менее 5% - свыше 80 кН. Для гидравлических манипуляторов роботов эти значения составляют соответственно 20 и 28 кН, т.е. также в 2,5 раза меньше. Для манипуляторов роботов характерен большой диапазон разброса их собственного веса - от  $\sim 0,2$  до  $\sim 40$  кН, т.е. величины  $G_m$  для разных типоразмеров роботов могут отличаться до 200 раз, тогда как у кранов-манипуляторов – от  $\sim 2$  до  $\sim 200$  кН, т.е. до 100 раз. Сравнивая данные на рис. 34 и 35 видно, что при приблизительно сопоставимом собственном весе манипуляторы промышленных роботов

имеют значительно меньшую номинальную грузоподъемность  $G_n$ , чем гидравлические манипуляционные системы мобильных транспортно-технологических машин, - до 2 порядков.

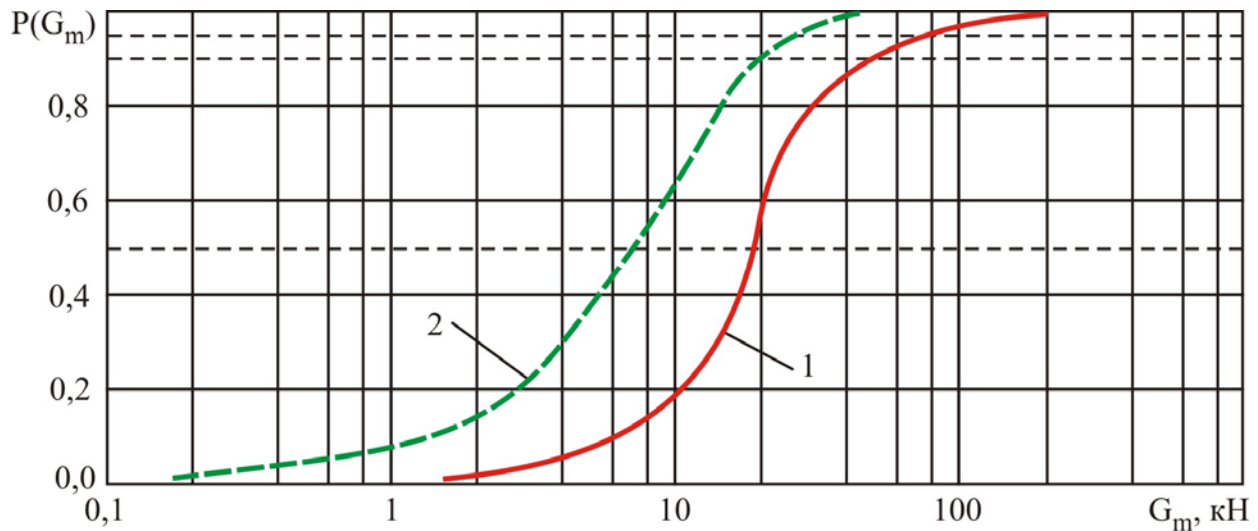


Рис. 35. Распределение числа типоразмеров манипуляторов по собственному весу [86; 93]: 1 – гидравлические краны-манипуляторы; 2 – манипуляторы промышленных роботов

Важной характеристикой манипуляторов как кранов, так и роботов является величина максимального грузового момента  $M_G$ . Этот показатель комплексно характеризует взаимозависимость между весом перемещаемого груза  $G$ , величина которого меняется в пределах до номинальной грузоподъемности  $G_n$ , и предельным радиальным размером зоны безопасного манипулирования этим грузом  $r_G$ . Он служит основой для построения диаграмм грузовых характеристик манипуляторов (графиков вида  $G \sim r_G$ ):

$$r_G = M_G / G,$$

а также диаграмм высотных характеристик манипуляторов (графиков вида  $h_G \sim r$  для нескольких значений веса груза  $G$ ):

$$h_G = \sqrt{L_{\max}^2 - r^2},$$

где  $L_{\max}$  - максимальный вылет манипулятора, допускаемый его кинематической схемой и длинами отдельных звеньев;  $r$  - вылет манипулятора в пределах от минимального конструктивного значения до максимального значения  $r_G$ , соответствующего грузу заданного веса  $G$ .

На рис. 36 приведены функции  $P(M_G)$  распределения числа типоразмеров манипуляторов кранов и роботов по величине макси-

мального грузового момента  $M_G$  [86; 93]. Его медианное значение для кранов-манипуляторов составляет  $\sim 120$  кН·м, гидравлических манипуляторов промышленных роботов -  $\sim 0,5$  кН·м, т.е. более, чем на 2 порядка меньше. Менее 10% типоразмеров гидравлических кранов-манипуляторов имеют максимальный грузовой момент свыше 500 кН·м, менее 5% - свыше 800 кН·м. Для гидравлических манипуляторов роботов эти значения составляют соответственно 7 и 11 кН·м, т.е. примерно на 2 порядка меньше. Для манипуляторов роботов характерна существенно большая ширина диапазона изменения максимального грузового момента - от  $\sim 0,0001$  до  $\sim 25$  кН·м, т.е. величины  $M_w$  для разных типоразмеров роботов могут отличаться до  $2,5 \cdot 10^5$  раз, тогда как у кранов-манипуляторов – от  $\sim 6$  до  $\sim 4000$  кН·м, т.е. лишь до 700 раз. Примерно каждая вторая манипуляционная система мобильной машины имеет грузовой момент в достаточно узком диапазоне от 80 до 200 кН·м.

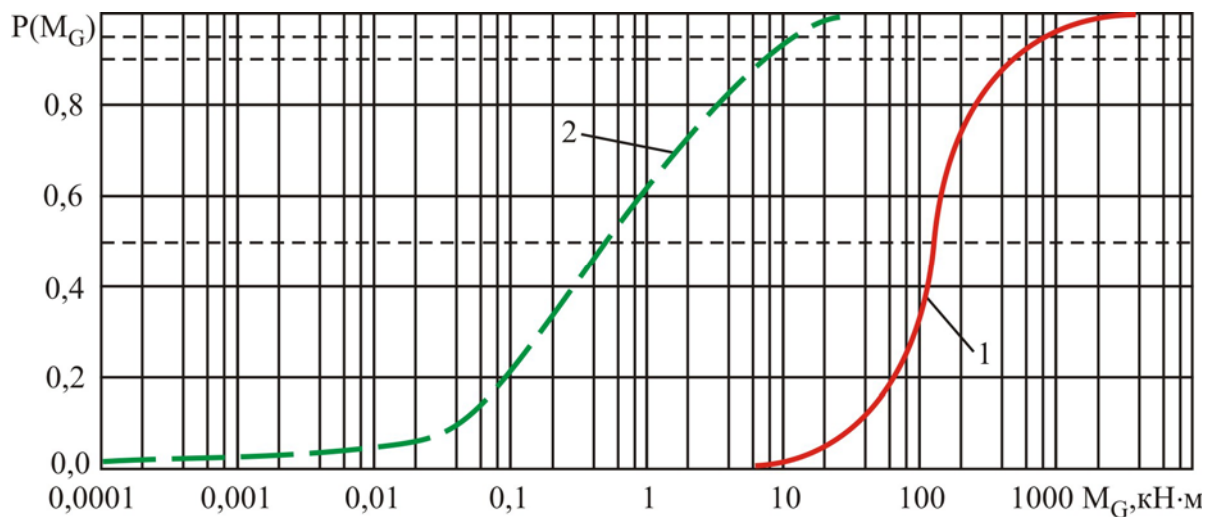


Рис. 36. Распределение числа типоразмеров манипуляторов по величине грузового момента [86; 93]: 1 – краны-манипуляторы; 2 – промышленные роботы

Для целей сравнительного анализа представляет интерес такая техническая характеристика манипуляторов, как объем рабочей зоны  $V_w$ , в пределах которого возможно безопасное манипулирование перемещаемым грузом. На рис. 37 приведены функции  $P(V_w)$  распределения числа типоразмеров манипуляторов кранов и роботов в зависимости от объема их рабочей зоны [86; 93]. Медианное значение  $V_w$  для кранов-манипуляторов составляет  $\sim 2000$  м<sup>3</sup>, гидравлических манипуляторов промышленных роботов -  $\sim 1,2$  м<sup>3</sup>, т.е. на 3 порядка меньше. Менее 10% типоразмеров гидравлических кранов-манипу-

ляторов имеют объем рабочей зоны свыше  $12000 \text{ м}^3$ , менее 5% - свыше  $18000 \text{ м}^3$ . Для гидравлических манипуляторов роботов эти значения составляют соответственно 12 и  $21 \text{ м}^3$ , т.е. также на 3 порядка меньше. Для манипуляторов кранов и роботов характерна примерно одинаковая ширина диапазона изменения объема рабочей зоны. Для разных типоразмеров роботов величины  $V_w$  лежат в диапазоне от менее чем  $0,01$  до  $\sim 70 \text{ м}^3$ , т.е. могут отличаться до 7000 раз, а у кранов-манипуляторов – в диапазоне от  $\sim 3$  до  $\sim 40000 \text{ м}^3$ , т.е. могут отличаться до 10000 раз.

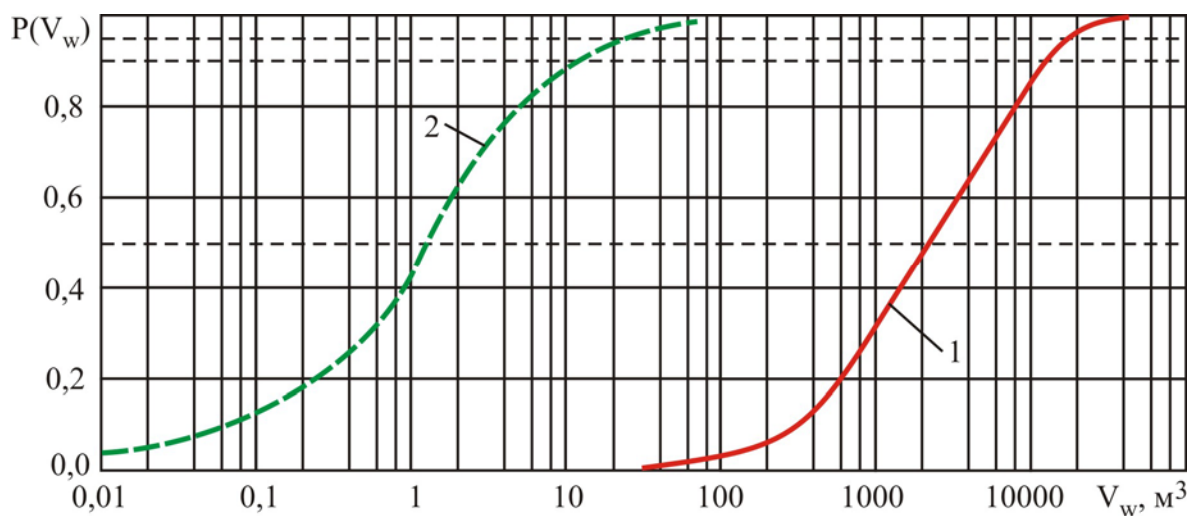


Рис. 37. Распределение числа типоразмеров манипуляторов по объему рабочей зоны [86; 93]: 1 – краны-манипуляторы; 2 – промышленные роботы

На рис. 38 приведены функции  $P(L)$  распределения числа типоразмеров манипуляторов кранов и роботов в зависимости от величины хода звеньев  $L$  [86; 93]. Этот показатель характеризует линейный размер рабочей зоны манипуляторов. Применительно к промышленным роботам рассматриваются величины хода модуля выдвижения руки и модуля подъема, применительно к кранам-манипуляторам - максимальный вылет грузоподъемного органа (уникальные крано-манипуляторные установки, имеющие существенно высокие значения максимального вылета стрелы, в объем статистической выборки не были включены). Медианное значение  $L$  для кранов составляет  $\sim 10$  м, гидравлических манипуляторов промышленных роботов -  $\sim 0,6$  м (выдвижение руки) и  $\sim 0,4$  м (подъем), т.е. в 15...25 раз меньше. Менее 10% типоразмеров гидравлических кранов-манипуляторов имеют максимальный вылет свыше 18 м, менее 5% - свыше 20 м. Для гидравлических манипуляторов роботов эти значения составляют соответственно 1,1 и 1,2 м (выдвижение руки) и 0,8 и 1,0 м (подъем), т.е.



также на 1 порядок меньше. Ширина диапазона изменения хода рабочих звеньев как для манипуляторов кранов, так и манипуляторов роботов практически одинакова. Для разных типоразмеров роботов величины  $L$  лежат в диапазоне от менее, чем 0,02 до  $\sim 1,5$  м, т.е. могут отличаться до 70 раз, а у кранов-манипуляторов – в диапазоне от  $\sim 2$  до  $\sim 30$  м, т.е. могут отличаться в 15 раз. Примерно каждая вторая манипуляционная система мобильной транспортно-технологической машины имеет максимальный вылет в диапазоне 8...12 м.

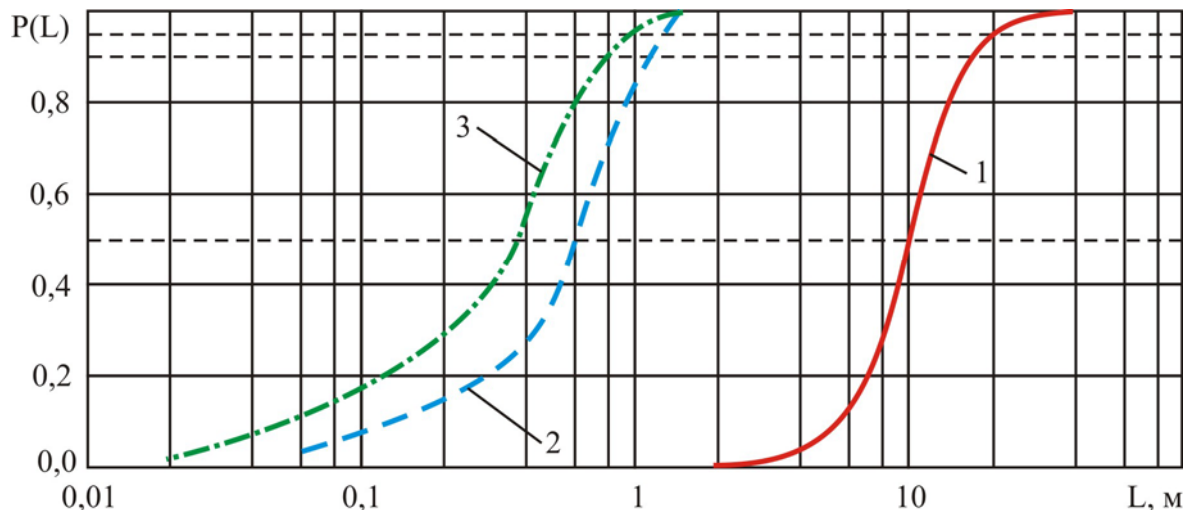


Рис. 38. Распределение числа типоразмеров манипуляторов по величине хода звеньев [86; 93]: 1 – максимальный вылет крана-манипулятора; 2 – ход выдвижения руки манипуляторов промышленных роботов; 3 – ход модуля подъема манипуляторов промышленных роботов

Важной технической характеристикой манипуляторов промышленных роботов является погрешность позиционирования объекта манипулирования в конечной точке траектории, а также точность отработки заданной траектории в процессе перемещения объекта манипулирования. Погрешность позиционирования для роботов лежит, в основном, в интервале до  $\pm 5$  мм, причем приблизительно каждый второй робот имеет погрешность позиционирования менее  $\pm 0,5$  мм, а погрешность свыше  $\pm 5$  мм имеют лишь менее 2% роботов. Абсолютная погрешность отработки траектории для промышленных роботов составляет  $\pm 0,02 \dots \pm 4$  мм, причем более чем у  $2/3$  всех роботов она не превышает  $\pm 1$  мм [29]. Такие высокие требования по точности диктуются необходимостью обеспечения нужных параметров качества выполнения тех технологических процессов, которые обслуживают современные промышленные роботы. Они могут быть реализованы лишь с помощью входящих в структуру промышленных роботов ав-

томатизированных систем программного управления, определяющих и контролирующих функционирование автоматизированного привода механизмов движения звеньев манипуляторов, а также с помощью повышенных характеристик жесткости элементов механической системы – звеньев кинематической цепи, шарнирных соединений и передаточных механизмов. Для крано-манипуляторных установок общего назначения, составляющих основную долю эксплуатирующегося грузоподъемного оборудования, погрешности позиционирования и отработки траектории как таковые не представляют практического интереса и потому не фиксируются в эксплуатационных документах. Это обусловлено спецификой процесса манипулирования перемещаемым грузом с помощью манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин, который предусматривает как ручное управление механизмами движения звеньев манипулятора, так и ручную ориентацию и установку груза в конечной точке траектории. Исключения могут составлять только специализированные манипуляционные системы мобильных машин специального назначения.

Кроме рассмотренных паспортных технических характеристик кранов и промышленных роботов дополнительно представляет интерес сравнительный анализ ряда относительных характеристик, выражающих грузовые свойства манипуляторов.

Данные, приведенные на рис. 39, дают представление об относительных значениях грузовой характеристики манипуляторов – относительной грузоподъемности

$$\bar{K}_{Gn} = G_n / G_m.$$

На рис. 39 приведены функции  $P(\bar{K}_{Gn})$  распределения числа типоразмеров манипуляторов кранов и роботов по относительной грузоподъемности  $\bar{K}_{Gn}$  [86; 93]. При этом для крано-манипуляторных установок рассматриваются согласно техническим требованиям к данному виду машин две разновидности грузоподъемности – максимальная  $G_{n,max}$  и минимальная  $G_{n,min}$ . Медианное значение относительной грузоподъемности  $\bar{K}_{Gn,max} = G_{n,max} / G_m$  для кранов составляет  $\sim 2,4$ , а  $\bar{K}_{Gn,min} = G_{n,min} / G_m$  –  $\sim 0,65$ , тогда как для гидравлических манипуляторов промышленных роботов –  $\bar{K}_{Gn} \sim 0,045$ , т.е. соответственно примерно на 2 и 1 порядок меньше. Менее 10% типоразмеров гидравлических крано-манипуляторов имеют относительную грузоподъемность  $\bar{K}_{Gn,max}$  ( $K_{Gn,min}$ ) свыше 4,2 (1,5), менее 5% –

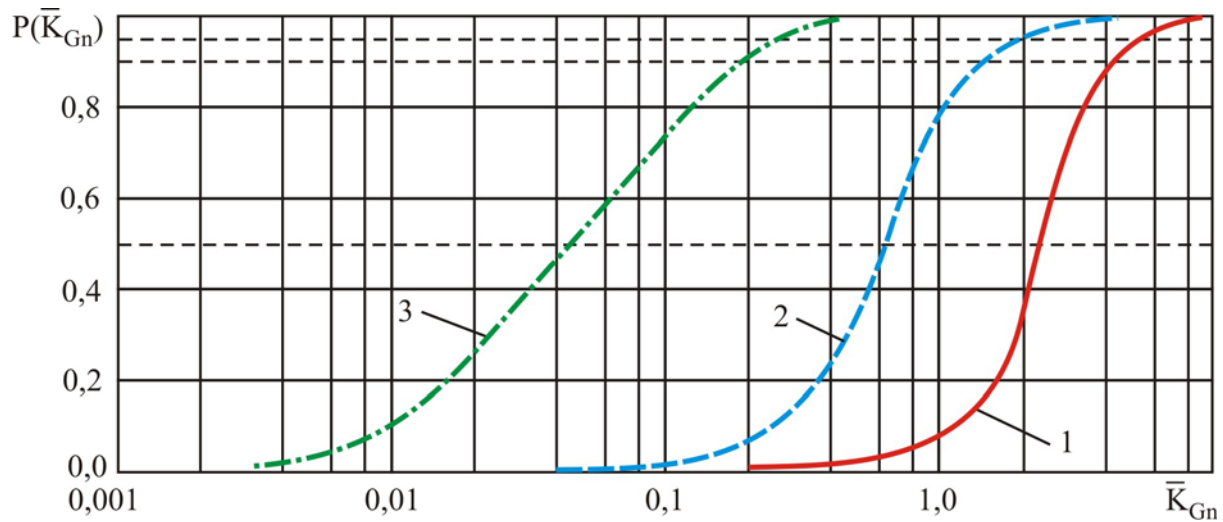


Рис. 39. Распределение числа типоразмеров манипуляторов по относительной грузоподъемности [86; 93]: 1 – краны-манипуляторы (для максимальной грузоподъемности); 2 – краны-манипуляторы (для минимальной грузоподъемности); 3 – промышленные роботы

свыше 5,2 (2,0). Для гидравлических манипуляторов роботов эти значения составляют соответственно 0,2 и 0,25, т.е. разница по сравнению с медианными значениями уменьшается, составляя менее 1 порядка. Только приблизительно у 2% кранов-манипуляторов значения  $\bar{K}_{Gn,max}$  соответствуют значениям  $\bar{K}_{Gn}$  манипуляторов промышленных роботов. Для манипуляторов роботов характерен более широкий интервал изменения  $\bar{K}_{Gn}$  - 0,003...0,4 (в пределах 2 порядков), тогда как для  $\bar{K}_{Gn,max}$  он составляет 0,2...9, а для  $K_{Gn,min}$  - 0,04...4.

Для сравнительного анализа технических характеристик манипуляторов интерес представляет и такой параметр, как относительная собственная масса манипулятора, приведенная к номинальной грузоподъемности  $\bar{K}_{Gm} = G_m / G_n$ . Его можно рассматривать как меру эффективности использования конструкционных материалов (степени удельной материалоемкости металлоконструкции манипулятора), а также как показатель нагруженности и показатель жесткости (способности к сопротивлению деформированию) металлоконструкции манипуляторов под действием перемещаемого груза номинального веса. Относительные параметры  $\bar{K}_{Gm}$  и  $\bar{K}_{Gn}$  связаны очевидным соотношением  $\bar{K}_{Gm} = \bar{K}_{Gn}^{-1}$ .

На рис. 40 приведены функции  $P(\bar{K}_{Gm})$  распределения числа типоразмеров манипуляторов кранов и роботов по относительному собственному весу  $\bar{K}_{Gm}$  [86; 93]. Медианное значение относитель-

го собственного веса крано-манипуляторной установки составляет  $\sim 0,4$ , тогда как манипуляторов промышленных роботов -  $\sim 20$ , т.е. примерно в 50 раз больше. Менее 10% типоразмеров гидравлических кранов-манипуляторов имеют относительный собственный вес крано-манипуляторной установки свыше 0,7, менее 5% - свыше 1,0. Для гидравлических манипуляторов роботов эти значения составляют соответственно 95 и 150, т.е. разница по сравнению с медианными значениями возрастает, составляя более 2 порядков. Только приблизительно у 2% кранов-манипуляторов значения  $\bar{K}_{Gm}$  соответствуют значениям  $\bar{K}_{Gm}$  манипуляторов промышленных роботов. Для манипуляторов роботов характерен более широкий интервал изменения их относительного собственного веса - 2...400 (в пределах 2 порядков), тогда как для крано-манипуляторных установок он составляет 0,1...6 (в пределах 1 порядка). Примерно каждая вторая крано-манипуляторная установка имеет относительный собственный вес, лежащий в достаточно узком диапазоне – 0,3...0,5.

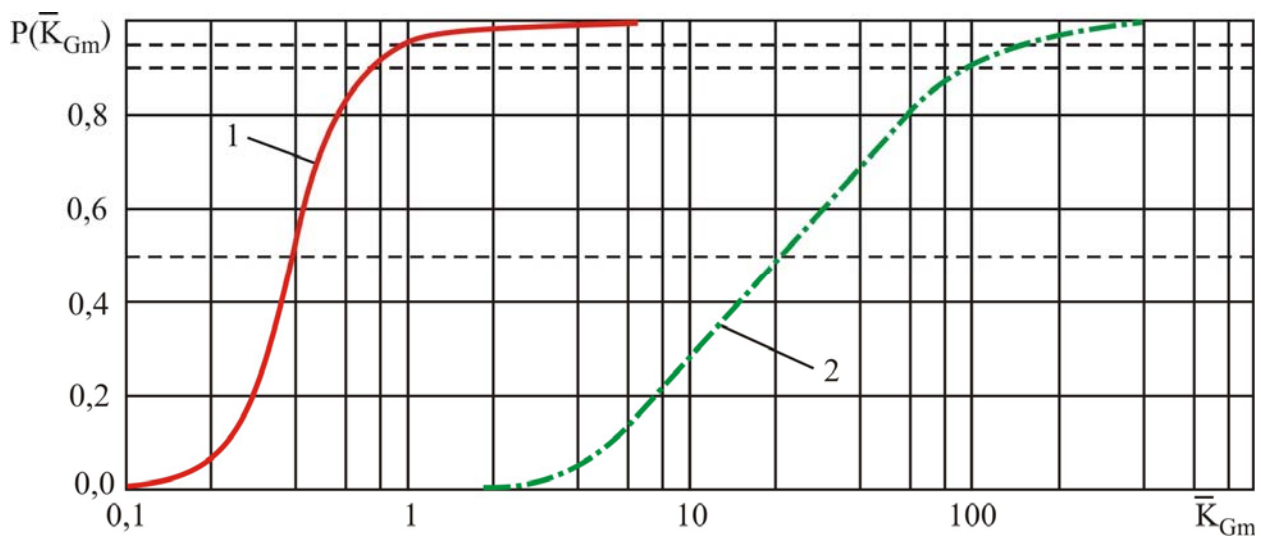


Рис. 40. Распределение числа типоразмеров манипуляторов по относительной собственной массе [86; 93]:

1 – краны-манипуляторы; 2 – промышленные роботы

Представленные на рис. 40 результаты свидетельствуют, что показатель  $\bar{K}_{Gm}$  для промышленных роботов существенно превышает данный показатель для крано-манипуляторных установок. Таким образом, в конструкции манипуляторов роботов на каждую единицу номинальной грузоподъемности затрачивается значительно больше конструкционных материалов (больше удельная материалоемкость), что обуславливает существенное утяжеление подвижных звеньев их

металлоконструкции по сравнению со звеньями крано-манипуляторных установок.

В качестве относительных параметров, характеризующих грузомоментные свойства манипуляторов, целесообразно использовать такие, как [86; 93]:

- относительный грузовой момент

$$\bar{K}_{MG} = \frac{M_G}{M_r} \approx \frac{2M_G}{(G_m + G_{sh})B_a};$$

- относительный опрокидывающий момент

$$\bar{K}_{Mo} = \frac{M_o}{M_r} \approx \frac{2M_G(L_{\max} - 0,5B_a)}{(G_m + G_{sh})L_{\max}B_a},$$

где  $M_r$ ,  $M_o$  - восстанавливающий и опрокидывающий моменты соответственно;  $G_{sh}$  - вес шасси, на котором установлен манипулятор (для промышленных роботов  $G_{sh} = 0$ );  $B_a$  - минимальное расстояние между параллельными ребрами опрокидывания (для крано-манипуляторных установок  $B_a$  - база установки аутригеров, для манипуляторов роботов  $B_a$  - минимальный размер опорного контура).

Относительные моменты  $\bar{K}_{MG}$  и  $\bar{K}_{Mo}$  характеризуют меру общей устойчивости манипуляторов против их опрокидывания в процессе эксплуатации.

На рис. 41 приведены функции  $P(\bar{K}_{MG})$  и  $P(\bar{K}_{Mo})$  распределения числа типоразмеров манипуляторов кранов и роботов по относительным грузовому  $\bar{K}_{MG}$  и опрокидывающему  $\bar{K}_{Mo}$  моментам [86; 93]. Медианные значения относительных моментов  $\bar{K}_{MG}$  и  $\bar{K}_{Mo}$  для крано-манипуляторных установок составляют  $\sim 1,2$  и  $\sim 0,8$  соответственно, для манипуляторов промышленных роботов -  $\sim 0,16$  и  $\sim 0,12$  или примерно в 7...8 раз меньше. Таким образом, манипуляционные системы мобильных транспортно-технологических машин имеют существенно меньший запас общей устойчивости против опрокидывания в процессе манипулирования транспортируемым грузом, чем манипуляторы промышленных роботов, и требуют разработки и применения специальных конструкторских и организационных мероприятий, направленных на повышение их общей устойчивости.

Наблюдаются существенные различия в условиях и количественных характеристиках опирания манипуляторов промышленных роботов и манипуляционных систем мобильных транспортно-техно-



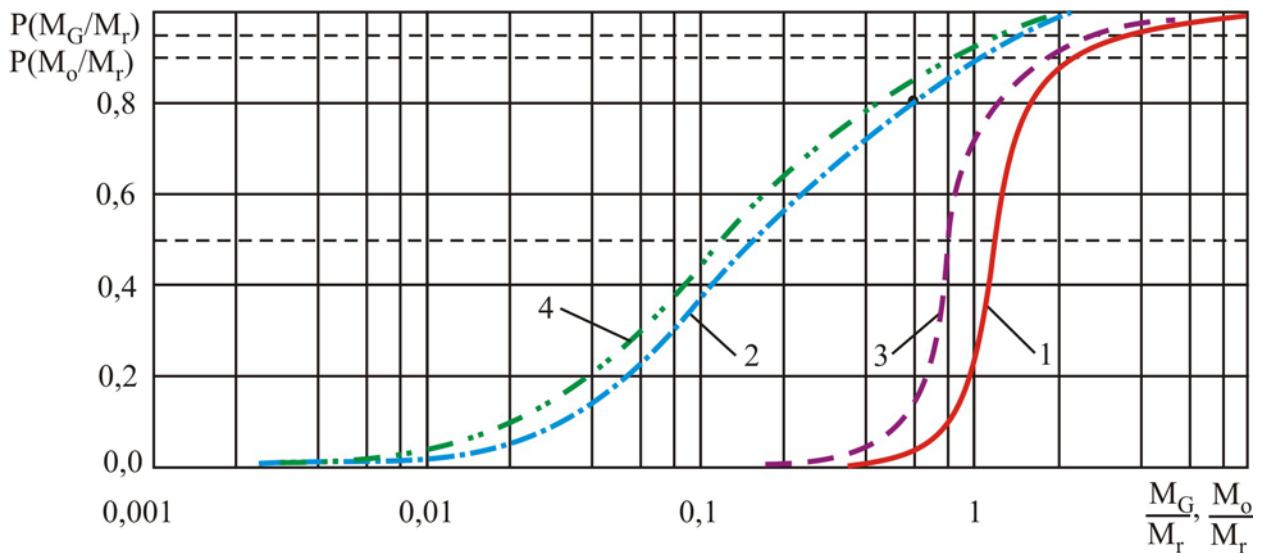


Рис. 41. Распределение числа типоразмеров манипуляторов по относительному грузовому и опрокидывающему моментам [86; 93]: 1 – относительный грузовой момент крана-манипулятора; 2 – относительный грузовой момент робота; 3 – относительный опрокидывающий момент крана-манипулятора; 4 – относительный опрокидывающий момент робота

логических машин, а также в реализующих их опорных конструкциях. На рис. 42 приведена функция  $P(p_c)$  распределения числа типоразмеров манипуляторов роботов в зависимости от величины номинального контактного давления на опорную поверхность  $p_c$  и область значений номинального контактного давления  $p_c$  на грунт для крано-манипуляторных установок мобильных машин на пневмоколесном, гусеничном и специальном шасси [86; 93]. Давление  $p_c$  определялось для манипуляторов роботов по зависимостям

$$p_c = \frac{G_m + G_n}{AB} \quad \text{или} \quad p_c = \frac{4(G_m + G_n)}{\pi D},$$

а для крано-манипуляторных установок – по зависимостям

$$p_c = \frac{G_m + G_n + G_c}{n_a S_a} \quad \text{или} \quad p_c = \frac{G_m + G_n + G_c}{2B_t L_t},$$

где  $A, B$  - габаритные размеры прямоугольного основания робота;  $D$  - диаметр основания робота;  $G_c$  - вес мобильного шасси;  $n_a$  - число аутригеров;  $S_a$  - площадь опорной поверхности аутригера;  $B_t, L_t$  - ширина и длина гусеницы.

Номинальное контактное давление  $p_c$  характеризует меру возможного влияния физико-механических характеристик, в первую очередь, податливости опорного основания на количественные пара-

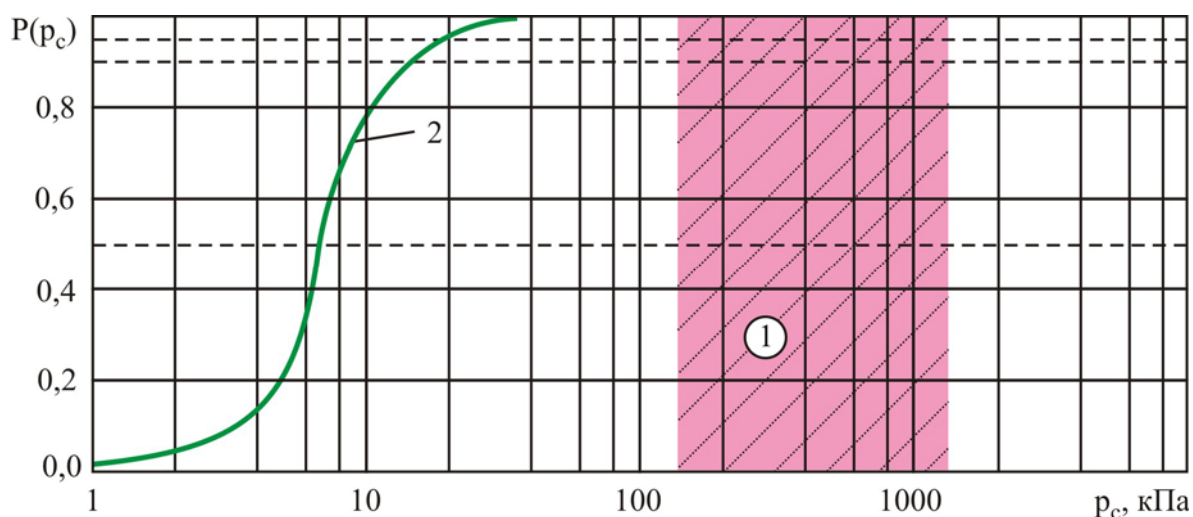


Рис. 42. Распределение числа типоразмеров манипуляторов по величине давления на опорное основание [86; 93]: 1 – область давлений, создаваемых аутригерами кранов-манипуляторов; 2 – давление, создаваемое промышленными роботами

метры динамических процессов при эксплуатации манипуляторов. Медианное значение  $p_c$  для манипуляторов промышленных роботов составляет  $\sim 7$  кПа. Менее 10% типоразмеров манипуляторов роботов имеют номинальное контактное давление свыше 15 кПа, менее 5% – свыше 19 кПа. Ширина диапазона изменения  $p_c$  не превышает 35 кПа. Для мобильных машин с расположенными на них манипуляционными системами давление  $p_c$  лежит в диапазоне 150...1500 кПа, хотя для отечественных машин наиболее часто оно соответствует диапазону 200...400 кПа. Следует отметить, что приведенные зависимости для расчета  $p_c$  применительно к мобильным машинам определяют контактное давление из условия равномерного распределения весовой нагрузки на все опорные аутригеры или гусеницы. В реальной ситуации вследствие несимметричного расположения груза относительно центра тяжести шасси весовая нагрузка распределяется по опорным элементам неодинаково, причем максимальное значение контактного давления  $p_{c,max}$  может превышать номинальное значение  $p_c$  не более, чем в 2 раза. Поэтому приближенно можно считать, что наиболее вероятный диапазон контактных давлений при работе крано-манипуляторных установок составляет 300...700 кПа. Таким образом, разница в величинах контактного давления для манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин и промышленных роботов составляет 2 порядка, т.е. опорное основание может оказывать существенно большее воздействие на количествен-

ные параметры динамических процессов при эксплуатации крано-манипуляторных установок, чем промышленных роботов.

Анализ приведенных на рис. 34 - 42 абсолютных и относительных значений основных технических характеристик манипуляторов, определяющих грузовые и грузо-моментные параметры манипуляционных систем мобильных машин и роботов, с полным основанием позволяет сделать вывод [93], что по аналогии с влиянием размеров машиностроительных конструкций на механические свойства конструкционных материалов и их прочностные характеристики, выражаемым так называемым «масштабным фактором», следует ввести понятие масштабного фактора применительно к техническим характеристикам манипуляционных систем. Его необходимо принимать во внимание при проектировании и моделировании манипуляционных систем транспортно-технологических машин [93].

Следствием наличия масштабного фактора является необходимость учета при проектировании металлоконструкций манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин существенно меньшей удельной материалоемкости, что, как следствие, обуславливает необходимость проведения их более детального прочностного анализа с привлечением методов статистического моделирования нагруженности, расчета тонкостенных конструкций, оценки общей устойчивости, прогнозирования живучести, многокритериальной оптимизации, определения остаточного ресурса [11; 19; 20; 22; 32; 58; 60; 93; 115; 120; 130; 135]. Использование указанных методов при проектировании манипуляторов промышленных роботов также выполняется в достаточном объеме, однако основную роль играют расчеты на жесткость с учетом динамических эффектов от перемещения звеньев и транспортируемого груза с целью обеспечения требуемой точности отработки пространственной траектории движения груза и получения требуемой точности позиционирования [24; 86; 93; 103; 123; 146].

Еще одним следствием наличия масштабного фактора, связанного с конструктивными размерами манипуляционных систем и широким спектром возможных условий их эксплуатации, является необходимость учета при проектировании металлоконструкций манипуляционных систем мобильных машин ряда внешних эксплуатационных нагрузок, как правило, не представляющих существенного значения для небольших по размерам звеньев манипуляторов промышленных роботов. В их число входят нагрузки от подвижного основа-

ния, ветровые, сейсмические, температурные, технологические, испытательные и специальные нагрузки на элементы металлоконструкции и груз [32; 75; 135]. Вследствие значительной длины и площади поверхности звеньев манипуляционных систем они могут достигать значительных величин, сравнимых с величиной нагрузок от веса транспортируемого груза и собственного веса элементов металлоконструкции, а также инерционных весовых нагрузок. Необходимость учета достаточно большого числа эксплуатационных нагрузок, отличающихся характером изменения во времени, величиной, условиями возникновения и приложения, обуславливает необходимость проведения при проектировании манипуляторов мобильных машин прочностных и деформационных расчетов для нескольких различных расчетных сочетаний нагрузок с рассмотрением нескольких предельных состояний [86; 93].

Отмеченные различия в конструкции и существенные количественные различия основных технических характеристик манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин и промышленных манипуляционных роботов обуславливают необходимость использования различающихся методик конструирования и расчета напряженно-деформированного состояния элементов металлоконструкций, а также использования различающихся подходов к постановке задачи оптимального проектирования указанных манипуляционных систем [86; 93].

В отличие от промышленных роботов, для манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин не является критичным обеспечение требований по быстродействию и согласованности во времени выполнения смежных технологических операций, а также точности позиционирования груза в конечной точке и в промежуточных точках вдоль требуемой траектории манипулирования. Это обуславливает ряд отличий в конструктивном исполнении механических систем манипуляторов, системах управления и подходах к моделированию кинематики, динамики и прочности [93]. Как следствие, для манипуляторов мобильных машин характерно:

- изготовление звеньев стрелы из стальных тонкостенных профилей, имеющих поперечные сечения с малыми площадями и большими моментами инерции [28];
- допущение образования и развития в металлоконструкциях эксплуатационных дефектов достаточно значительной величины, снижающих исходные прочностные характеристики [56; 99];

- применение более простых систем ручного управления;
- необходимость учета при моделировании кинематики и динамики реальных конструктивных, технологических и режимных свойств взаимосвязанной системы «опорная поверхность – шасси машины – манипулятор»;
- необходимость выполнения большего комплекса проверочных прочностных расчетов [86; 93].



## ГЛАВА 2

## УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ МОБИЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Важной особенностью работы манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин является зависимость грузоподъемности шарнирно-сочлененной стрелы от ее вылета  $l_c$  (рис. 43).

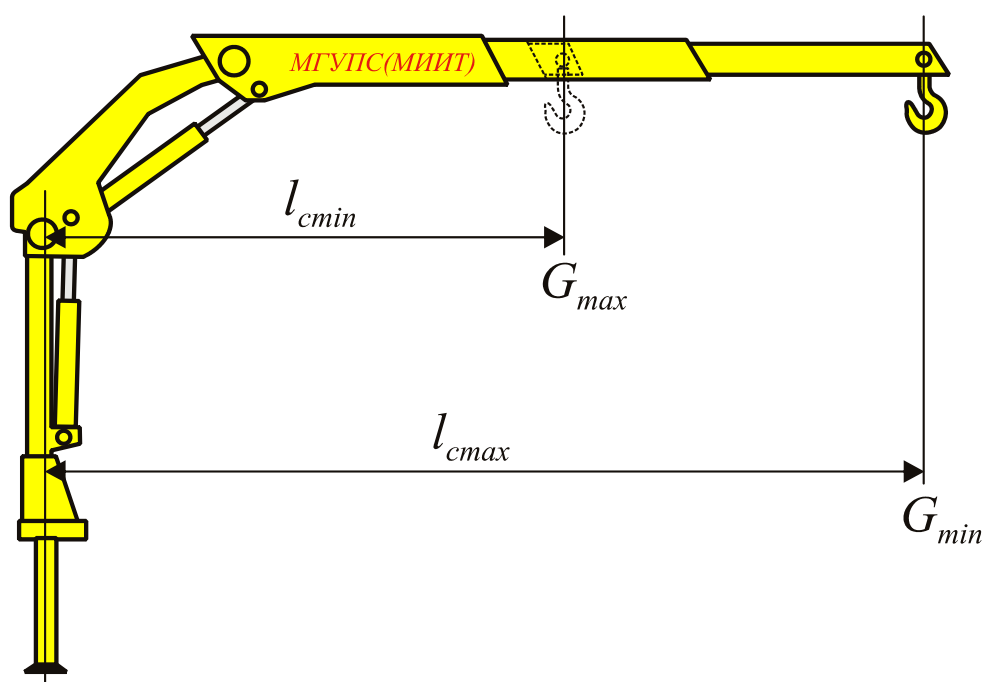


Рис. 43. Основные параметры манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины

Согласно условию обеспечения общей устойчивости установки, чем больше вылет стрелы, тем груз меньшей массы может поднять манипуляционная система. Таким образом, грузоподъемность  $G$  манипуляционной системы лежит в пределах

$$G \in [G_{\min}, G_{\max}],$$

где  $G_{\max}$  – грузоподъемность манипуляционной системы при минимальном вылете  $l_{c\min}$ ;  $G_{\min}$  – грузоподъемность манипуляционной системы при максимальном вылете  $l_{c\max}$ .

На корневом звене манипуляционной системы иногда устанавливается дополнительный грузозахватный орган. В пределах каждой

грузовой операции поднимаемый груз может иметь массу  $G_i$  ниже номинальной. Это может позволить в экстренных ситуациях отказаться от использования выносных опор.

## **2.1. Общая устойчивость оснащенных манипуляционными системами мобильных транспортно-технологических машин**

Общая устойчивость оснащенной манипуляционной системой мобильной транспортно-технологической машины определяется соотношением опрокидывающего момента, создаваемого весовым воздействием груза, и удерживающего момента, создаваемого собственным весом машины [34; 48; 98]. Выпускаемые промышленностью манипуляционные системы имеют высокий грузовой момент  $M_G$ , который выводит машину из устойчивого положения. Грузовой момент вычисляется как произведение массы груза на вылет стрелы манипуляционной системы при работе с этим грузом.

Для манипуляционных систем, оснащенных навесными рабочими органами (лесопильная головка, фреза, буровая головка и т.д.), также необходимо обеспечить устойчивость во всех рабочих режимах с учетом условий взаимодействия рабочего органа и предмета труда. В этом случае грузовой момент рассчитывается с учетом усилия, создаваемого рабочим органом [6; 38].

С целью повышения запаса общей устойчивости манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин применяются выносные опоры (аутригеры) [5; 14; 15; 27; 28; 122], на которые устанавливается машина до начала работы.

Передвижение с грузом транспортно-технологических машин, оснащенных манипуляционными системами, манипуляторами для эвакуации автомобилей, манипуляторами для погрузки лома, запрещено или допускается со значительными ограничениями. Однако существует ряд оснащенных манипуляционными системами машин, которые либо передвигаются с грузом, либо не оснащаются выносными опорами [50; 149; 157; 162; 163].

Вопросы расчетной оценки безопасности колесных и гусеничных мобильных машин, оснащенных манипуляционными системами, по опрокидыванию нашли отражение в [4; 5; 98; 104; 137]. В настоящее время нормативный документ [104] не является действующим.

Расчет устойчивости самоходного стрелового крана согласно [5; 98] должен проводиться для следующих условий:

- при действии испытательной нагрузки;
- при действии груза (грузовая устойчивость);
- при отсутствии груза (собственная устойчивость);
- при внезапном снятии груза.

Дополнительно расчет устойчивости может выполняться при монтаже (демонтаже) [5].

В расчетах должны быть учтены нормативные и случайные составляющие нагрузок, определяемые согласно [5; 98] в сочетаниях, установленных в табл. 1.

Таблица 1

Сочетания нагрузок при расчете мобильной транспортно-технологической машины на устойчивость по опрокидыванию [5; 98]

Наименование нагрузки	Нагрузки для номеров сочетаний							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Испытательная:	Н							
- вес крана	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н
- вес груза		Н+С	Н+С	Н+С				
Ветровая:								
- в рабочем состоянии		Н+С	Н	Н+С	Н+С	Н+С		Н
- в нерабочем состоянии							Н+С	
Динамическая:								
- при подъеме и опускании груза			С					
- при подъеме и опускании стрелы или ее телескопировании		С			С			
- при повороте		С	Н					
- при передвижении				С		С		
- при внезапном снятии груза								Н

Примечание: Н – нормативная нагрузка; С – случайная нагрузка

Устойчивость против опрокидывания мобильной транспортно-технологической машины, оснащенной манипуляционной системой, определяется, исходя из сравнения величин двух действующих на нее моментов сил:

1) момента  $M_{opr}$  от действующих на крано-манипуляторную установку нормативных составляющих нагрузок, выводящего мобильную машину из устойчивого положения относительно принятого ребра опрокидывания (опрокидывающий момент);

2) момента  $M_e$  от действующих на крано-манипуляторную установку нормативных составляющих нагрузок, препятствующего потери мобильной машиной устойчивого положения относительно принятого ребра опрокидывания (удерживающий момент).

Ребром опрокидывания служат крайние точки опорных элементов базовой машины – колеса, гусеницы, аутригеры и т.д. Выбор расположения ребра опрокидывания в зависимости от типа мобильного шасси и наличия/отсутствия аутригеров регламентируется [98]. При повороте манипуляционной системы ребро опрокидывания может изменять свое положение.

Опрокидывающий момент  $M_{opr}$  вычисляется, исходя из рассматриваемых условий расчета на устойчивость. В наиболее общем случае (расчет на грузовую устойчивость) он должен определяться [98] с учетом момента от нормативной нагрузки веса транспортируемого груза  $M_Q$ , момента от нормативной составляющей ветровых нагрузок на кран  $M_{wk}$  [41; 75], момента от нормативной составляющей ветровой нагрузки на груз  $M_{wz}$  [41; 75] и момента от нормативной составляющей динамической нагрузки при повороте манипуляционной системы (момента от центробежных сил)  $M_n$  [98]:

$$M_{opr} = M_Q + M_{wk} + M_{wz} + M_n. \quad (1)$$

При проектировании манипуляционной системы величина момента  $M_Q$ , являющаяся наибольшим слагаемым в выражении (1), определяется как

$$M_Q = Gb_G, \quad (2)$$

где  $G$  - наибольший вес груза при вылете рабочего органа относительно ребра опрокидывания (с учетом угла  $\alpha$  отклонения опорной площадки мобильной машины от горизонтальной поверхности)  $b_G$ .

В формулу (2) либо подставляется максимальная грузоподъемность  $G_{max}$ , а при расчете  $b_G$  используется минимальный вылет  $l_{cmin}$ , либо минимальная грузоподъемность  $G_{min}$  и максимальный вылет  $l_{cmax}$ . Однако, так как грузоподъемность манипуляционной системы зависит от вылета, то при исследовании ее устойчивости целесообразно использовать грузовой момент  $M_G$ , который является паспортной характеристикой. В таком случае

$$M_Q = M'_G, \quad (3)$$

где  $M'_G$  – грузовой момент, приведенный к ребру опрокидывания.

Удерживающий момент  $M_g$  зависит от ряда факторов, однако основным является вес мобильной машины  $Q_{mob}$ , включающей вес базового шасси и вес металлоконструкции манипуляционной системы:

$$M_g = Q_{mob} b_k, \quad (4)$$

где расстояние от центра тяжести мобильной машины до вертикальной плоскости, проходящей через ребро опрокидывания, определенное с учетом угла  $\alpha$  отклонения опорной площадки мобильной машины от горизонтальной поверхности и изменения положения центра тяжести [98].

Устойчивость против опрокидывания мобильной транспортно-технологической машины, оснащенной манипуляционной системой, достигается при выполнении условия [98]

$$m_0 M_g \geq k M_{opr}, \quad (5)$$

где  $k$  – коэффициент перегрузки, учитывающий влияние случайных составляющих нагрузок, действующих на кран (принимается согласно [98] в диапазоне 1,15...1,35 в зависимости от режима работы крана, его номинальной грузоподъемности и номера сочетания нагрузок при расчете на устойчивость);  $m_0 = m_1 m_2$  – коэффициент условий работы;  $m_1$  – коэффициент вовлечения веса крана в создание удерживающего момента;  $m_2$  – коэффициент однородности, учитывающий отклонения масс отдельных частей крана от их номинальных значений.

Очевидно, что чем больше вес мобильной машины  $Q_{mob}$  по отношению к максимальной грузоподъемности манипуляционной системы  $G_{max}$  (больше удерживающий момент по отношению к грузовому моменту), тем, при прочих равных условиях, устойчивее работа крано-манипуляторной установки. Указанное отношение зависит от конструкции исследуемой машины, связанной с ее назначением.

Ранее были рассмотрены случаи, когда тяжелые базовые машины оснащаются манипуляционными системами с небольшим грузовым моментом, но не оснащаются выносными опорами, так как большой вес базовой машины заведомо гарантирует устойчивость работы.

Поэтому для классификации конструкций базовых машин с точки зрения устойчивости работы (в том числе без применения выносных опор) предлагается следующий количественный показатель [94]

$$k_{11} = M'_G / M_0, \quad (6)$$



где  $M_0$  - масса базовой машины.

Для удобства сравнения различных конструкций числитель и знаменатель в данном выражении выбран таким образом, чтобы критерий обычно принимал значение большее 1.

Для сравнительной экспресс-оценки нескольких вариантов установки манипуляционных систем на различные базовые шасси по устойчивости от опрокидывания или нескольких вариантов применения различных мобильных машин для выполнения конкретных погрузочно-разгрузочных работ может использоваться следующий количественный показатель:

$$\bar{k}_{st} = \frac{Q_{mob}}{G_{max}} = \frac{Q_m + Q_s}{G_{max}},$$

где  $Q_m, Q_s$  - вес металлоконструкции манипуляционной системы и базового шасси соответственно.

Мобильные машины, характеризующиеся большим значением показателя  $\bar{k}_{st}$ , как правило, будут обладать большей устойчивостью против опрокидывания.

Ведущие производители комплектуют мобильные транспортно-технологические машины, оснащенные манипуляционными системами, выносными опорами – аутригерами в виде поворотных (откидных) или выдвигаемых кронштейнов с опорными винтовыми или гидравлическими домкратами [5; 14; 15; 27; 8; 122]. Большинство современных мобильных транспортно-технологических машин оснащены гидрофицированными аутригерами, конструктивно совмещенными с подключенными в общую гидравлическую систему машины гидроцилиндрами [35; 36].

Для одной и той же модели манипулятора могут быть предусмотрены различные варианты выносных опор. Выбор того или иного варианта определяется массой базовой машины. Например, краны-манипуляторы фирмы РМ (Италия) оснащаются следующими видами опор: 2 стандартных аутригера; 2 удлиненных аутригера; 4 аутригера (устанавливаются как возле места установки манипулятора, так и на заднем свесе базового шасси) [48].

Наиболее распространенная конструкция выносной опоры мобильной транспортно-технологической машины представляет собой устанавливаемую на опорную поверхность плоскую плиту, на которую через систему перемещаемых гидроприводом рычагов свободно опирается рама машины [15; 27; 27; 122]. Для повышения сцепных

свойств опоры с опорной поверхностью (особенно на слабых грунтах и в стесненных условиях работы мобильной транспортно-технологической машины) предложен ряд технических решений, основанных на включении в конструкцию аутригера различных анкерных устройств [7; 115; 116].

Аутригеры снижают нагрузки на опорные элементы мобильных транспортно-технологических машин, увеличивают опорную базу и общую устойчивость манипуляционных систем. При работе без выносных опор грузоподъемность манипуляционных систем резко снижается и составляет 40...50% от номинальной [14].

В выражениях (1)-(5), регламентированных нормативным документом [98], в явном виде отсутствует учет угла наклона опорной площадки мобильной машины или возможность изменения наклона при деформации грунта под аутригерами. Этого недостатка лишен бывший ранее нормативным документ [104]. Уточненные зависимости (7)-(10) для расчета устойчивости против опрокидывания мобильных машин, оснащенных манипуляционными установками, могут быть взяты из [104].

Угол устойчивости, соответствующий предельному углу наклона опорной площадки, на которой может стоять манипулятор не опрокидываясь [104]:

$$\alpha_{уст} = \arctg\left(\frac{M_{\epsilon}}{M_0 h_k}\right) = \arctg\left(\frac{b_k}{h_k}\right), \quad (7)$$

где  $h_k$  – высота точки приложения веса машины (центра тяжести) над опорной поверхностью.

Момент запаса устойчивости составляет [104]

$$M_{зан} = M_{\epsilon} \cos \alpha - M_0 h_k \sin \alpha, \quad (8)$$

где  $\alpha$  – текущий угол наклона рабочей площадки ( $\alpha \leq \alpha_{уст}$ ).

Угол запаса устойчивости составляет [104]

$$\alpha_{зан} = \alpha_{уст} - \alpha = \arctg\left(\frac{M_{зан}}{M_0 h_k} \cdot \frac{\cos \alpha_{уст}}{\cos(\alpha_{уст} - \alpha)}\right). \quad (9)$$

Деформация грунта под выносными опорами вызывает появление дополнительного крена с углом

$$\alpha_n = \frac{M_0 \cos \alpha}{C_1 Z} - \frac{M_{зан}}{Z^2} \cdot \frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2}, \quad (10)$$

где  $Z$  – база шасси при определении продольного крена, колея шасси при определении бокового крена;  $C_1$  – жесткость выносных опор или

приведенная жесткость опорного основания и опор, находящихся со стороны оси опрокидывания;  $C_2$  – жесткость выносных опор или приведенная жесткость опорного основания и опор, находящихся с противоположной стороны от оси опрокидывания [104].

В работе [104] приведены зависимости для вычисления значений коэффициентов  $C_1$  и  $C_2$ . Современные руководящие документы [98] допускают отсутствие у стреловых кранов выносных опор. В таком случае при оценке устойчивости необходимо учитывать деформации ходового устройства (шасси).

Обобщая представленную выше информацию, можно выделить зоны безопасной (устойчивой) работы манипуляционных систем (рис. 44).

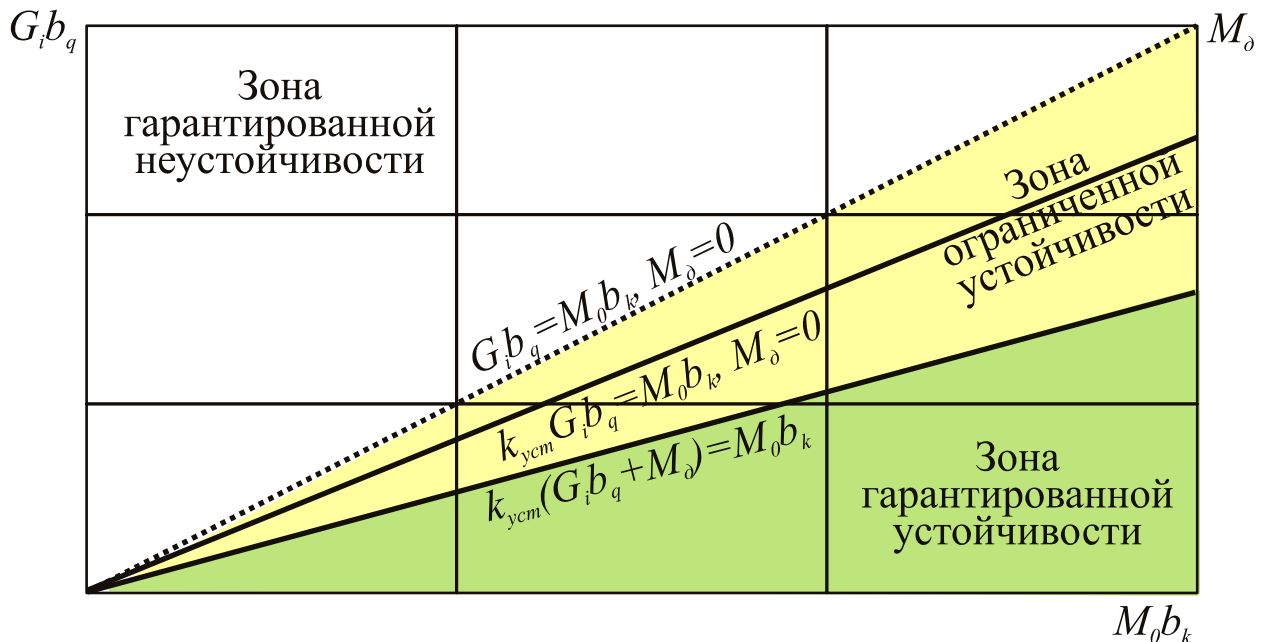


Рис. 44. Зоны общей устойчивости манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин

Для повышения общей устойчивости манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин на нестабильных грунтах предложены различные технические решения. В частности адаптивная опора железнодорожного крана (рис. 45) [12].

Конструктивное устройство адаптивной опоры представляет собой шарнирно-сочлененный четырехзвенный механизм с гидроприводом поступательного действия (рис. 45). Опорная плита 7 связана с неповоротной рамой крана 1 посредством опорной стойки 4. Наличие в узле соединения опорной плиты 7 и стойки 4 цилиндрического шарнира позволяет свободно поворачиваться вокруг точки соедине-

ния, занимая различные угловые положения относительно рамы крана 1. Тем самым, осуществляя функцию адаптации выносной опоры при работе машины в условия профиля земляного полотна железнодорожного пути. Одним из требований ТУ 24.04.270-83 к подвижному составу является вписывание в регламентируемый габарит. Принимая во внимание наличие достаточно малого объема для размещения устройств выносной опоры в транспортном положении, элемент 7 опорная плита выполнена телескопической [12].

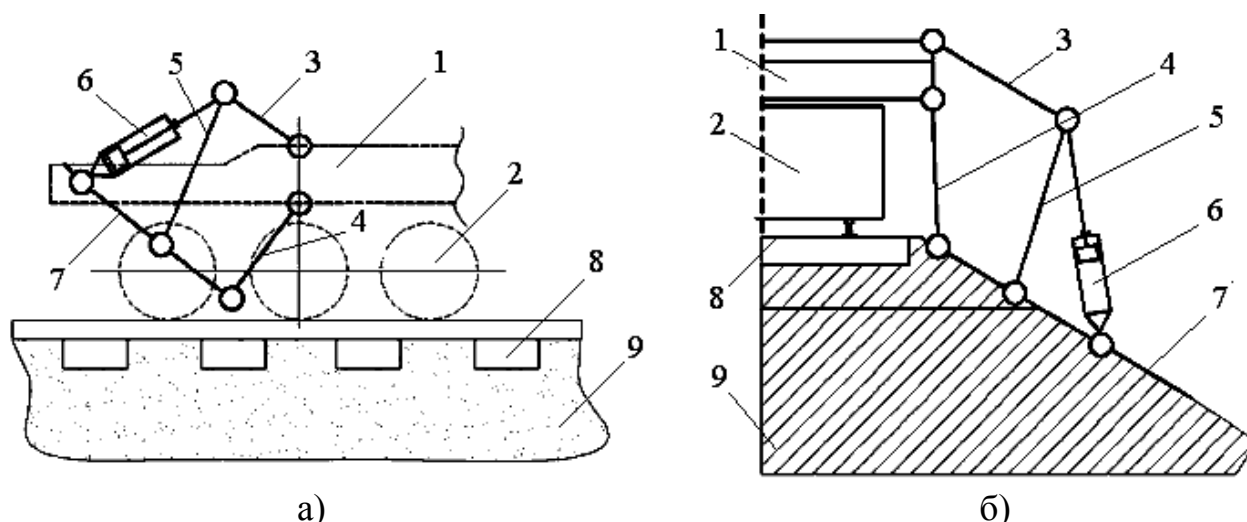


Рис. 45. Адаптивная выносная опора для железнодорожного крана [12]:  
 а – транспортное положение; б – рабочее положение  
 (1 – неповоротная рама крана; 2 – тележка крана; 3 – верхняя стойка;  
 4 – опорная стойка; 5 – средняя стойка; 6 – гидроцилиндр опоры;  
 7 – опорная телескопическая плита; 8 – шпала; 9 – земляное полотно)

Для опирания и анкеровки (закрепления) на грунтовой опорной поверхности при эксплуатации мобильных транспортно-технологических машин с грузоподъемными манипуляционными системами разработаны конструкции выносных опор, конструктивно объединенных с дополнительными анкерными устройствами [7; 115; 116]. Использование таких опор позволяет:

- повысить общую устойчивость мобильной транспортно-технологической машины при работе в условиях действия значительных опрокидывающих и сдвигающих эксплуатационных нагрузок, особенно на слабых грунтах и не строго горизонтальных поверхностях;
- повысить грузо-высотные характеристики манипуляционной системы, т.е. перемещать грузы большего веса в пределах большей по размерам рабочей зоны;
- уменьшить размеры опорного контура в стесненных условиях проведения работ.

К настоящему времени предложено несколько конструкций выносных опор, оснащенных дополнительными анкерными устройствами. В зависимости от конструктивного исполнения рабочего элемента анкерного устройства и вида совершаемого им движения при внедрении в грунт их можно разделить на две группы:

- рабочий элемент в виде винтового якоря, совершающего возвратно-поступательное вращательное движение (ввинчивающийся рабочий элемент);
- рабочий элемент в виде плоского ножа, совершающего возвратно-поступательное прямолинейное движение (прокалывающий рабочий элемент).

На рис. 46 показана установка мобильной транспортно-технологической машины со стреловой крано-манипуляторной установкой на выносные опоры, оснащенные анкерным устройством с рабочим элементом в виде винтового якоря [7; 26; 115]. Внедрение рабочего элемента в грунт и его извлечение в обратном направлении осуществляется с помощью приводного гидроцилиндра, включенного в общую гидравлическую систему мобильной машины, и передаточного зубчатого механизма, преобразующего возвратно-поступательное прямолинейное движение штока гидроцилиндра в возвратно-поступательное вращательное движение рабочего элемента.

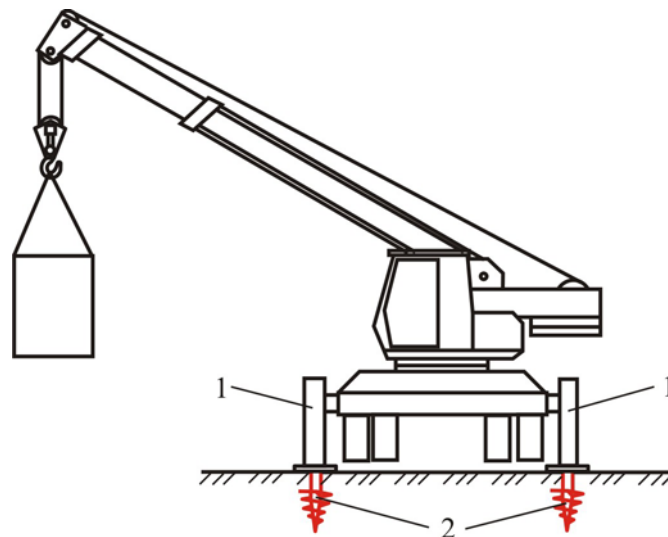


Рис. 46. Выносная опора с возможностью анкеровки типа [7; 26; 115]:  
1 – выносная опора; 2 – дополнительное анкерное устройство

Общий вид конструкции мобильной транспортно-технологической машины с выносной опорной, оснащенной анкерным устройством с рабочим элементом в виде плоского ножа, показан на рис. 47 [116].



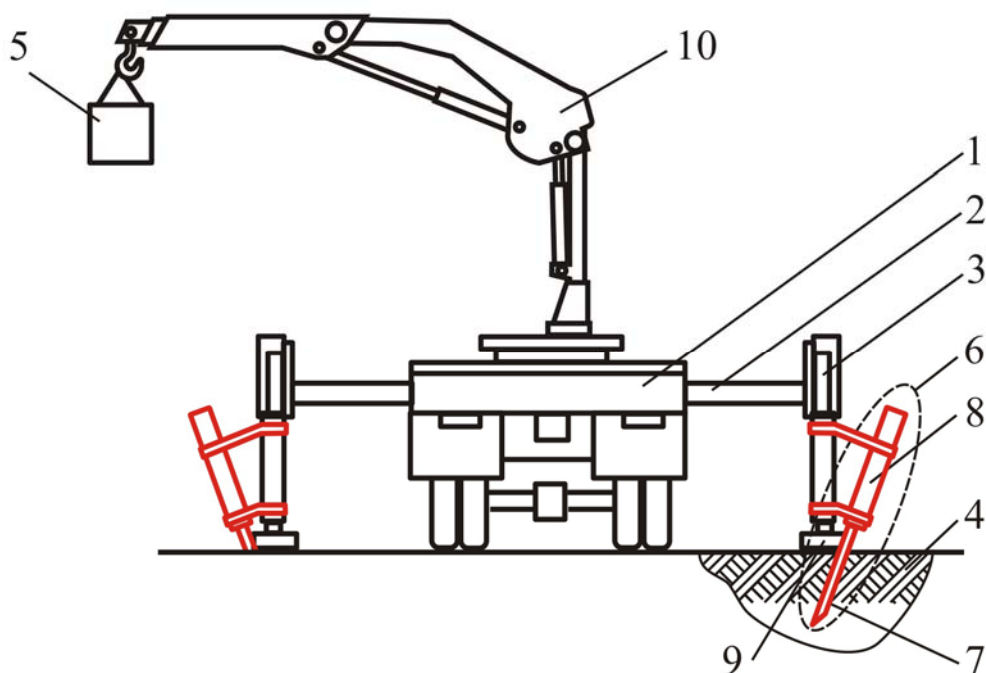


Рис. 47. Выносная опора с возможностью анкеровки [116]:

- 1 – рама мобильной транспортно-технологической машины; 2 – кронштейн;  
 3 – опорное устройство с гидроприводом; 4 – грунт; 5 – транспортируемый груз;  
 6 – анкерное устройство; 7 – рабочий элемент анкерного устройства;  
 8 – гидропривод рабочего элемента анкерного устройства; 9 – опорная плита;  
 10 – манипуляционная система

Как и в стандартной конструкции, на раме 1 машины закреплен кронштейн 2, снабженный подъемно-опускным с помощью гидропривода опорным устройством 3 для передачи на грунт 4 нагрузки от машины и транспортируемого груза 5 (рис. 47). Опорное устройство дополнено анкерным устройством 6 (рис. 48) для восприятия действующих на машину опрокидывающих и сдвиговых эксплуатационных нагрузок. Рабочий элемент анкерного устройства выполнен в виде плоского ножа 7 с прямолинейной продольной осью, который для установки в свое рабочее положение совершает прокалывающее поступательное движение вдоль линии *ДЕ* в грунте при помощи приводного гидроцилиндра 8, причем плоскость рабочего элемента наклонна по отношению к поверхности грунта и в рабочем положении (рис. 48, б) рабочий элемент находится под опорной плитой 9, т.е. под площадкой контакта опорного устройства с поверхностью грунта [116].

Принцип действия конструкции заключается в следующем (рис. 49). При работе мобильной транспортно-технологической машины

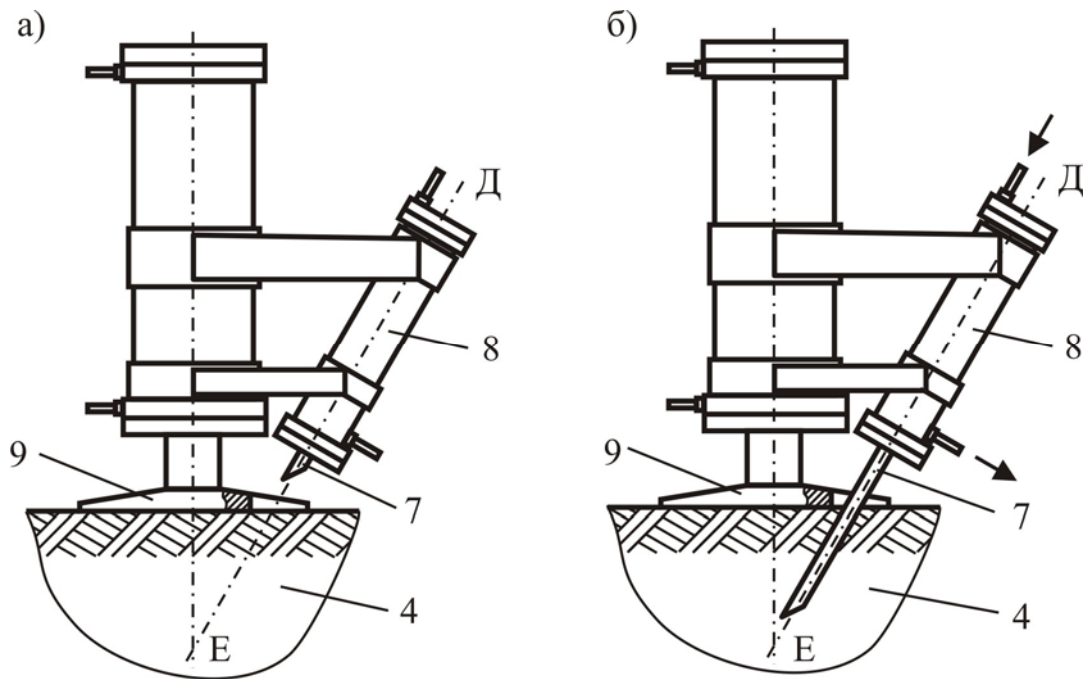


Рис. 48. Анкерное устройство выносной опоры [116]:  
а – в нерабочем положении; б – в рабочем положении

транспортируемый груз вызывает появление опрокидывающего момента  $M_{опр,G}$ , который преимущественно обуславливает снижение общей устойчивости и может привести к опрокидыванию машины относительно ребра опрокидывания (точка  $F$ ). Дополнительное негативное воздействие может оказать ветровая нагрузка рабочего состояния на транспортируемый груз  $W_G$ , металлоконструкцию манипуляционной системы  $W_m$  и шасси мобильной машины  $W_s$ . Она приводит к появлению дополнительных опрокидывающих моментов, которые суммируются с  $M_{опр,G}$ . Дополнительные опрокидывающие моменты также появляются при перемещении груза с ускорением и связаны они с действующими на груз и манипуляционную систему инерционными нагрузками. Таким образом, суммарный опрокидывающий момент составляет:

$$M_{опр} = M_{опр,G} + M_{опр,W_G} + M_{опр,W_m} + M_{опр,W_s} + \sum_i M_{опр,F_i}, \quad (11)$$

где  $M_{опр,W_G}$ ,  $M_{опр,W_m}$ ,  $M_{опр,W_s}$  - опрокидывающий момент от ветровой нагрузки, действующей на груз, металлоконструкцию манипуляционной системы и базовое шасси соответственно;  $M_{опр,F_i}$  - опрокидывающий момент, вызываемый  $i$ -й инерционной силой  $F_i$ .

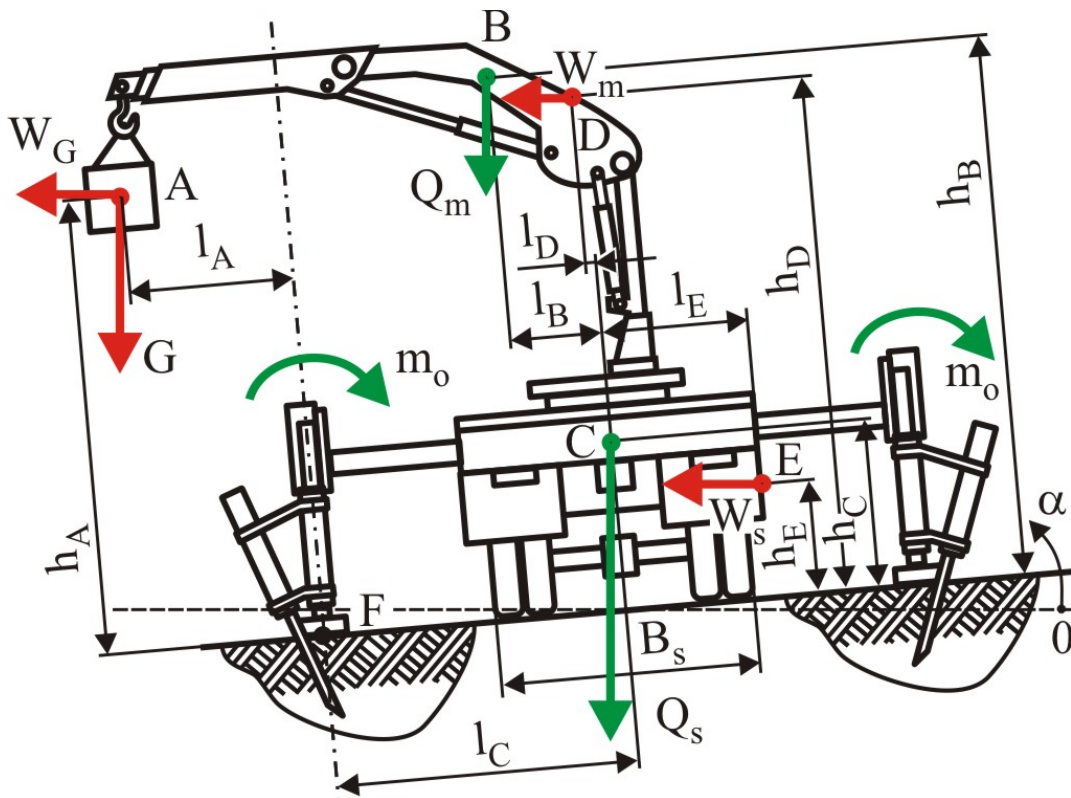


Рис. 49. Расчетная схема мобильной машины с выносной опорой типа [116] при расчете грузовой устойчивости по опрокидыванию

Негативное влияние опрокидывающего момента нейтрализуется действием удерживающего момента  $M_{вос}$ , который в случае использования в конструкции мобильной машины опорных устройств без возможности анкеровки формируется лишь весом металлоконструкции манипуляционной системы  $Q_m$  и базового шасси  $Q_s$  [86; 116]:

$$M_{вос} = M_{вос, Q_m} + M_{вос, Q_s},$$

где  $M_{вос, Q_m}$ ,  $M_{вос, Q_s}$  - удерживающий момент, вызываемый весом металлоконструкции манипуляционной системы и базового шасси соответственно.

При использовании выносных опор с анкеровкой удерживающий момент повышается за счет добавления удерживающих моментов  $m_o$  от всех используемых выносных опор с анкеровкой и составляет:

$$M_{вос, o} = M_{вос, Q_m} + M_{вос, Q_s} + 0,5n_o(m_{o,1} + m_{o,2}),$$

где  $n_o$  - число используемых выносных опор с анкеровкой;  $m_{o,1}$ ,  $m_{o,2}$  - удерживающие моменты выносных опор с анкеровкой, расположенных у противоположного ребра опорного контура мобильной машины и вдоль ребра опрокидывания соответственно.

Механизмы возникновения удерживающих моментов  $m_{o,1}$  и  $m_{o,2}$  различны, вследствие чего они неодинаковы по величине и требуют применения разных расчетных методик.

При выполнении условия  $M_{опр} < M_{вос}$  необходимость в дополнительной анкерровке отсутствует и поэтому анкерное устройство не участвует в обеспечении общей устойчивости мобильной транспортно-технологической машины. Оно вступает в работу, когда опрокидывающий момент начинает превышать удерживающий момент, т.е. когда  $M_{опр} > M_{вос}$ . На рабочий элемент анкерного устройства начинают действовать вырывающие силы

$$F_{o,1} = \Psi_1 \{M_{опр} - M_{вос}\} \quad \text{и} \quad F_{o,2} = \Psi_2 \{M_{опр} - M_{вос}\},$$

где  $\Psi_j \{\Delta M\}$  - передаточная функция, связывающая силовые факторы  $F_{o,j}$  и  $\Delta M = M_{опр} - M_{вос}$  (определяется конструкцией и размерами узла крепления выносной опоры с анкерным устройством к раме базового шасси).

Рис. 50 поясняет механизмы возникновения удерживающих моментов  $m_{o,1}$  и  $m_{o,2}$  при разрушении грунта в процессе вырывания рабочего элемента анкерного устройства.

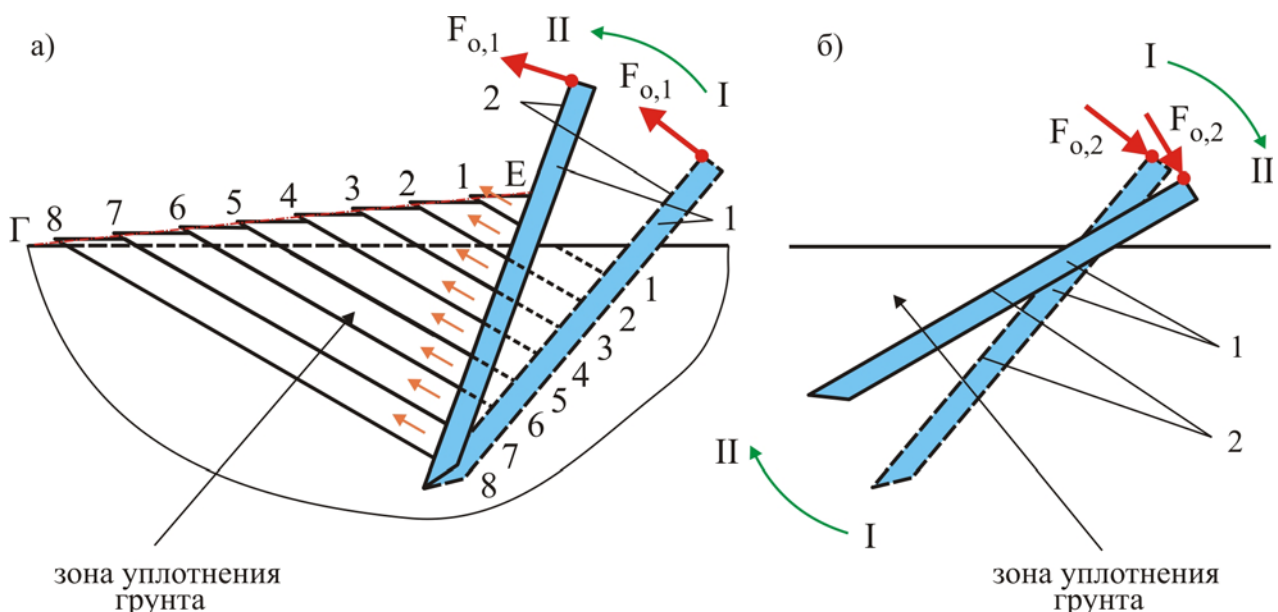


Рис. 50. Схема разрушения грунта при наличии анкеровки [86; 116]:

- а – опора вне ребра опрокидывания; б – опора вдоль ребра опрокидывания
- 1 – рабочий элемент; 2 – передняя поверхность рабочего элемента

У выносных опор, расположенных у противоположного ребра опорного контура мобильной машины, сила  $F_{o,1}$  монотонно возрастает

ет с ростом разности моментов  $\Delta M$  (рис. 50, а). Она достигает своего максимального значения  $F_{o,1}^{\max}$  в тот момент, когда происходит исчерпание способности грунта сопротивляться давлению со стороны передней поверхности рабочего элемента анкерного устройства, вызываемого действием вырывающей силы  $F_{o,1}$ , и рабочий элемент начинает поворотное перемещение в объеме грунта из положения I в положение II. При его движении происходит последовательное разрушение грунта путем поочередного смещения его смежных слоев вдоль линий сдвига 1-1, 2-2, ..., 8-8 (рис. 50, а) с образованием характерного выпучивания первоначально ровной поверхности перед передней поверхностью рабочего элемента (линия  $ГЕ$ ). Угол наклона линий сдвига, приблизительно равный углу внутреннего трения в различных грунтах, и сила сопротивления сдвигу слоев грунта зависят от прочностных свойств грунта [86; 116].

При нахождении рабочего элемента под опорным устройством показанная на рис. 50, а схема разрушения изменяется, так как расположенная на площадке контакта опорная плита препятствует свободному смещению соседних слоев грунта вдоль линий сдвига 1-1, 2-2, ..., 8-8 и выпучиванию грунта по линии  $ГЕ$ . Как результат, плоский механизм свободного разрушения грунта путем смещения его слоев только вдоль одной совокупности линий сдвига изменяется на более энергозатратный объемный механизм стесненного разрушения, так как параллельно во времени происходит также сложное пространственное смещение слоев грунта вдоль второй совокупности линий сдвига, расположенных приблизительно перпендикулярно к первой. Это обуславливает повышение величины вырывающей силы  $F_{o,1}^{\max}$ , создаваемой анкерным устройством [86; 116]. Величина силы  $F_{o,1}^{\max}$  зависит от прочностных свойств грунта и условий его разрушения при вырывании рабочего элемента под действием опрокидывающего момента, поэтому она может несколько отличаться для разных выносных опор одной мобильной машины.

У выносных опор, расположенных вдоль ребра опрокидывания, сила  $F_{o,2}$  также монотонно возрастает с ростом разности моментов  $\Delta M$  (рис. 50, б). Поворотное перемещение рабочего элемента в объеме грунта из положения I в положение II начинается при начале опрокидывания мобильной машины. При этом рабочий элемент воздействует на грунт своей тыльной поверхностью, уплотняя его, что и приводит к



возникновению силы сопротивления со стороны уплотняющегося грунта. Величина силы сопротивления грунта и, в конечном итоге, величина удерживающего момента  $m_{o,2}$  также определяются прочностными свойствами грунта.

Расчетный удерживающий момент  $m_{o,j}$ , развиваемый одной выносной опорой с анкерровкой, определяется значением силы  $F_{o,j}^{\max}$  и составляет:

$$m_{o,j} = \Delta M_{\max} = (M_{\text{опр}} - M_{\text{вос}})_{\max} = \Psi_j^{-1} \{F_{o,j}^{\max}\},$$

где  $\Psi_j^{-1} \{F_{o,j}\}$  - передаточная функция, обратная по отношению к передаточной функции  $\Psi_j \{\Delta M\}$ .

Условие общей устойчивости мобильной машины, установленной на негоризонтальной поверхности с помощью аутригеров с дополнительными анкерными устройствами, в общем случае имеет вид (для сочетаний 2-6 табл. 1):

$$M_{\text{опр},G} + M_{\text{опр},W_G} + M_{\text{опр},W_m} + M_{\text{опр},W_s} + \sum_i M_{\text{опр},F_i} < \\ < M_{\text{вос},Q_m} + M_{\text{вос},Q_s} + 0,5n_o(m_{o,1} + m_{o,2}).$$

Применительно к расчетной схеме мобильной транспортно-технологической машины, оснащенной манипуляционной системой (рис. 49), данное условие примет вид:

$$k_G G_{\max} (l_A + h_A \sin \alpha) + W_G (h_A \cos \alpha - l_A \sin \alpha) + \\ + W_m [h_D \cos \alpha + (l_C - l_D) \sin \alpha] + W_s [h_E \cos \alpha + (l_C + B_s / 2) \sin \alpha] = (12) \\ = Q_s (l_C \cos \alpha - h_C \sin \alpha) + Q_m [(l_C - l_B) \cos \alpha - h_B \sin \alpha] + \sum_{i=1}^{i=n_o} m_{o,i},$$

где  $k_G$  - коэффициент перегрузки, учитывающий негативное влияние случайных и инерционных нагрузок;  $G_{\max}$  - наибольший допустимый вес груза на максимальном вылете манипуляционной системы;  $Q_m, Q_s$  - вес металлоконструкции манипуляционной системы и базового шасси соответственно;  $l_A$  - вылет манипуляционной системы за ребро опрокидывания;  $l_C$  - полуширина опорного контура;  $h_A, h_B, h_C, h_D, h_E$  - высотные координаты характерных точек мобильной машины (рис. 49);  $l_B, l_D$  - горизонтальные координаты характерных точек мобильной машины (рис. 49);  $B_s$  - база базового шасси;  $\alpha$  - угол отклонения опорной поверхности грунта от горизонтальной плоскости.

Соотношение (12) позволяет произвести приближенную оценку эффективности использования выносных опор с анкеровкой.

Согласно (12) наибольший допустимый вес груза на максимальном вылете манипуляционной системы может быть определен на основании зависимости

$$G_{\max(o)} = \{M_o + Q_s(l_C \cos \alpha - h_C \sin \alpha) + Q_m[(l_C - l_B) \cos \alpha - h_B \sin \alpha] - W_G(h_A \cos \alpha - l_A \sin \alpha) - W_m[h_D \cos \alpha + (l_C - l_D) \sin \alpha] \cos \alpha - W_s[h_E \cos \alpha + (l_C + B_s / 2) \sin \alpha] \cos \alpha\} / [k_G(l_A + h_A \sin \alpha)], \quad (13)$$

где  $M_o = \sum_{i=1}^{i=n_o} m_{o,i}$  – суммарный удерживающий момент выносных опор с анкеровкой.

Наибольший допустимый вес транспортируемого груза на максимальном вылете манипуляционной системы при сохранении исходного значения ее вылета за ребро опрокидывания  $l_A$  и полуширины опорного контура  $l_C$  может быть повышен в  $\bar{G}$  раз:

$$\begin{aligned} \bar{G} &= G_{\max(o)} / G_{\max(b)} = \\ &= 1 + \frac{M_o}{Q_s(l_C \cos \alpha - h_C \sin \alpha) + Q_m[(l_C - l_B) \cos \alpha - h_B \sin \alpha] - W} \end{aligned}$$

или на величину:

$$\begin{aligned} \Delta G_{\max} &= G_{\max(o)} - G_{\max(b)} = \\ &= (\bar{G} - 1) \frac{Q_s(l_C \cos \alpha - h_C \sin \alpha) + Q_m[(l_C - l_B) \cos \alpha - h_B \sin \alpha] - W}{k_G(l_A + h_A \sin \alpha)}, \end{aligned}$$

где  $G_{\max(b)}$ ,  $G_{\max(o)}$  – допустимый вес транспортируемого груза при использовании выносных опор без дополнительной анкеровки и с дополнительной анкеровкой соответственно;  $W$  – полная ветровая нагрузка, равная:

$$W = W_G(h_A \cos \alpha - l_A \sin \alpha) + W_m[h_D \cos \alpha + (l_C - l_D) \sin \alpha] \cos \alpha + W_s[h_E \cos \alpha + (l_C + B_s / 2) \sin \alpha] \cos \alpha.$$

Допустимый вылет манипуляционной системы за ребро опрокидывания  $l_A$  при сохранении исходного значения наибольшего допустимого веса транспортируемого груза на максимальном вылете манипуляционной системы  $G_{\max}$  и полуширины опорного контура  $l_C$  может быть повышен до значения

$$l_{A(o)} = \frac{M_o + Q_s(l_C \cos \alpha - h_C \sin \alpha) + Q_m[(l_C - l_B) \cos \alpha - h_B \sin \alpha] - k_G G_{\max} h_A \sin \alpha - W_1}{k_G G_{\max} - W_G \sin \alpha},$$

т.е. в  $\bar{l}_A$  раз:

$$\bar{l}_A = l_{A(o)} / l_{A(b)} =$$

$$= 1 + \frac{M_o}{Q_s(l_C \cos \alpha - h_C \sin \alpha) + Q_m[(l_C - l_B) \cos \alpha - h_B \sin \alpha] - k_G G_{\max} h_A \sin \alpha - W_1}$$

или на величину:

$$\Delta l_A = l_{A(o)} - l_{A(b)} =$$

$$= (\bar{l}_A - 1) \frac{Q_s(l_C \cos \alpha - h_C \sin \alpha) + Q_m[(l_C - l_B) \cos \alpha - h_B \sin \alpha] - k_G G_{\max} h_A \sin \alpha - W_1}{k_G G_{\max} - W_G \sin \alpha},$$

где  $l_{A(b)}$ ,  $l_{A(o)}$  - допустимый вылет манипуляционной системы за ребро опрокидывания при использовании выносных опор без дополнительной анкеровки и с дополнительной анкеровкой соответственно;  $W_1$  - часть ветровой нагрузки, равная:

$$W_1 = W_G h_A \cos \alpha + W_m [h_D \cos \alpha + (l_C - l_D) \sin \alpha] \cos \alpha +$$

$$+ W_s [h_E \cos \alpha + (l_C + B_s / 2) \sin \alpha] \cos \alpha.$$

Допустимая полуширина опорного контура  $l_C$  при сохранении исходных значений наибольшего допустимого веса груза на максимальном вылете манипуляционной системы  $G_{\max}$  и ее допустимого вылета за ребро опрокидывания  $l_A$  может быть уменьшена до значения

$$l_{C(o)} = \frac{-M_o + k_G G_{\max} (l_A + h_A \sin \alpha) + Q_s h_C \sin \alpha + Q_m (l_B + h_B \sin \alpha) + W_2}{[Q_m + Q_s - (W_m + W_s) \sin \alpha] \cos \alpha},$$

т.е. в  $\bar{l}_C$  раз:

$$\bar{l}_C = l_{C(o)} / l_{C(b)} =$$

$$= 1 - \frac{M_o}{k_G G_{\max} (l_A + h_A \sin \alpha) + Q_s h_C \sin \alpha + Q_m (l_B + h_B \sin \alpha) + W_2}$$

или на величину:

$$\Delta l_C = l_{C(b)} - l_{C(o)} =$$

$$= (1 - \bar{l}_C) \frac{k_G G_{\max} (l_A + h_A \sin \alpha) + Q_s h_C \sin \alpha + Q_m (l_B + h_B \sin \alpha) + W_2}{[Q_m + Q_s - (W_m + W_s) \sin \alpha] \cos \alpha},$$

где  $l_{C(b)}$ ,  $l_{C(o)}$  - допустимая полуширина опорного контура при использовании выносных опор без дополнительной анкеровки и с дополнительной анкеровкой соответственно;  $W_2$  - часть ветровой нагрузки, равная:

$$W_2 = W_G (h_A \cos \alpha - l_A \sin \alpha) + [W_m (h_D \cos \alpha - l_D \sin \alpha) + W_s (h_E \cos \alpha + 0,5 B_s \sin \alpha)] \cos \alpha .$$

Приведенные выше зависимости позволяют оценить эффективность дополнительной анкеровки выносных опор мобильных транспортно-технологических машин в зависимости от создаваемого суммарного удерживающего момента  $M_o$ , ветровой нагрузки  $W$  и отклонения опорной площадки от горизонтальной плоскости. Для количественной оценки эффективности были рассмотрены 4 варианта эксплуатирующихся мобильных машин, оснащенных манипуляционными системами, отличающихся различными значениями максимальных грузовых моментов (табл. 2). При задании величины ветровой нагрузки на элементы мобильных машин в рабочем состоянии принимались условия их использования на промышленных, транспортных и строительных объектах (ветровое давление принимается равным 125 Па [135]). Значения  $W_G$ ,  $W_m$ ,  $W_s$  рассчитывались согласно [75].

Таблица 2

Технические характеристики мобильных машин для различных вариантов оценки эффективности дополнительной анкеровки

Техническая характеристика	Вариант расчета			
	1	2	3	4
Тип манипуляционной системы	Fassi M30A.13	Fassi F65A.0.22	Soosan SCS 333	Kanglim KS 1256 GII
Тип базовой машины	GAZ-Next	Hyundai HD-120 Extra Long	Hyundai HD-78	Isuzu FVR-34UL-QDUS
Грузоподъемность манипуляционной системы, кН	9,95	29,2	32,0	70,0
Максимальный вылет манипуляционной системы, м	4,7	7,1	7,5	18,7
Максимальный вылет манипуляционной системы за ребро опрокидывания, м	3,3	4,8	5,4	15,95
Максимальный грузовой момент, кН·м	30,6	60,5	82,0	150,0
Вес металлоконструкции манипуляционной системы, кН	2,6	8,2	10,56	30,0
Снаряженный вес базового шасси, кН	27,0	65,4	46,5	93,0
Ширина опорного контура, м	2,8	4,6	4,2	5,7
База базового шасси, м	2,0	2,4	2,1	2,4

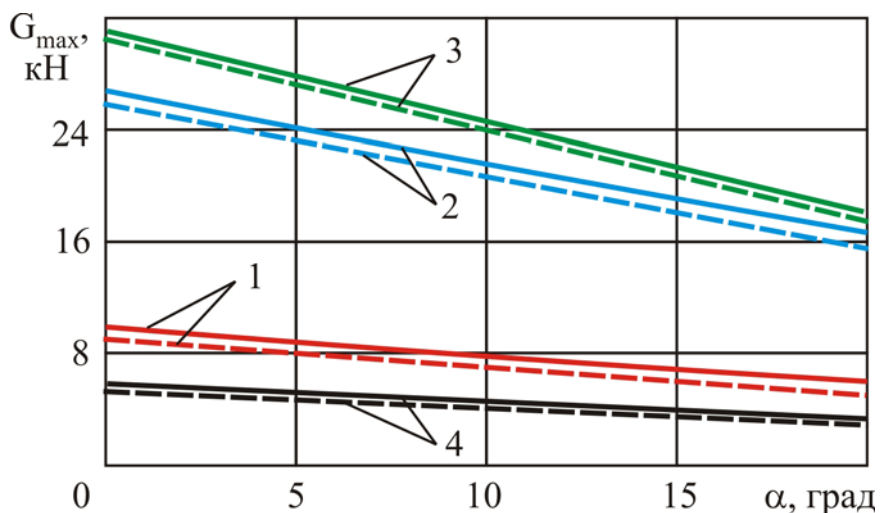


Рис. 51. Влияние угла отклонения опорной площадки от горизонтальной плоскости и ветровой нагрузки на величину наибольшего допустимого веса груза на максимальном вылете манипуляционной системы: ———— – ветровая нагрузка отсутствует; - - - - - – ветровая нагрузка присутствует (номера графиков соответствуют вариантам расчета)

На рис. 51 приведены графики, характеризующие влияние угла отклонения опорной площадки от горизонтальной плоскости  $\alpha$  и ветровой нагрузки на величину наибольшего допустимого веса груза на максимальном вылете манипуляционной системы  $G_{\max}$  для расчетных вариантов эксплуатирующихся машин. Учет ветровых нагрузок приводит к снижению величины  $G_{\max}$ , однако не изменяет качественный характер зависимостей  $G_{\max}(\alpha)$ . В исследованном интервале значений  $\alpha \in [0; 20^\circ]$  и ветровых нагрузок, соответствующих рекомендуемым условиям эксплуатации мобильных машин с манипуляционными системами, зависимости  $G_{\max}(\alpha)$  являются линейными и могут быть выражены в виде

$$G_{\max}(\alpha) = G_{\max}(0) - v_G \alpha, \quad (14)$$

где  $G_{\max}(0)$ ,  $v_G$  - расчетные коэффициенты, значения которых приведены в табл. 3.

На рис. 52 приведены графики, характеризующие величину и направленность влияния дополнительной анкеровки выносных опор мобильных машин на основные параметры их устойчивости против опрокидывания. Относительная степень дополнительной анкеровки выражается безразмерным коэффициентом

$$\bar{M}_o = M_o / M_G,$$

где  $M_G$  - грузовой момент манипуляционной системы (крана-манипулятора).

Таблица 3

Значения расчетных коэффициентов в зависимостях (14) и (16) для исследованных вариантов мобильных машин

Коэффициент	Значение коэффициента для варианта				
	1	2	3	4	
$G_{\max}(0)$ , кН	9,74 / 8,90	26,8 / 25,8	31,1 / 30,4	5,74 / 5,33	
$\nu_G$	Н/град	11,2/11,1	29,4 / 29,6	37,1 / 37,1	6,8 / 6,9
	Н/рад	196,0 / 193,8	513,3 / 516,5	647,3 / 648,3	119,1 / 119,7
$\alpha_{\lim}(0)$ , град	57,4 / 55,4	59,8 / 58,6	52,3 / 51,7	47,4 / 45,7	
$\nu_{\alpha_{\lim}}$ , град	39,0 / 44,3	19,3 / 20,8	18,5 / 19,3	59,3 / 63,5	

Примечание: В числителе – при отсутствии ветровой нагрузки, в знаменателе – при наличии ветровой нагрузки

Для каждого сочетания типа базовой машины и типа манипуляционной системы характерны свои количественно различные зависимости основных параметров устойчивости мобильной машины против опрокидывания  $G_{\max(o)}(\bar{M}_o)$ ,  $\bar{G}(\bar{M}_o)$ ,  $\Delta G_{\max}(\bar{M}_o)$ ,  $l_{A(o)}(\bar{M}_o)$ ,  $\bar{l}_A(\bar{M}_o)$ ,  $\Delta l_A(\bar{M}_o)$ ,  $l_{C(o)}(\bar{M}_o)$ ,  $\bar{l}_C(\bar{M}_o)$  и  $\Delta l_C(\bar{M}_o)$ . Однако качественно их вид сходен: в исследованном интервале значений  $\bar{M}_o \in [0; 0,4]$  и ветровых нагрузок, соответствующих рекомендуемым условиям эксплуатации мобильных машин с манипуляционными системами, эти зависимости при  $\alpha = const$  являются линейными и могут быть выражены в виде

$$Y(M_o) = Y(0) - \nu_Y \bar{M}_o,$$

где  $Y(0)$  – значение параметра  $Y$  при  $\bar{M}_o = 0$ ;  $\nu_Y$  – угловой коэффициент прямой  $Y(M_o)$ .

Зависимости основных параметров устойчивости мобильной машины против опрокидывания  $Y(\alpha)$  при  $\bar{M}_o = const$  имеют незначительно нелинейный характер. На рис. 53 показаны графики наибольшего допустимого веса груза на максимальном вылете манипуляционной системы  $G_{\max}(\alpha, \bar{M}_o = const)$  при двух уровнях дополнительной анкеровки для расчетных вариантов эксплуатирующихся машин и наличия ветровой нагрузки.

В результате, обобщенные зависимости  $Y(\bar{M}_o, \alpha)$  при графическом представлении приближенно характеризуются плоской поверхностью. Как пример, рис. 54 для одного из расчетных вариантов оценки эффективности дополнительной анкеровки (манипуляционная сис-



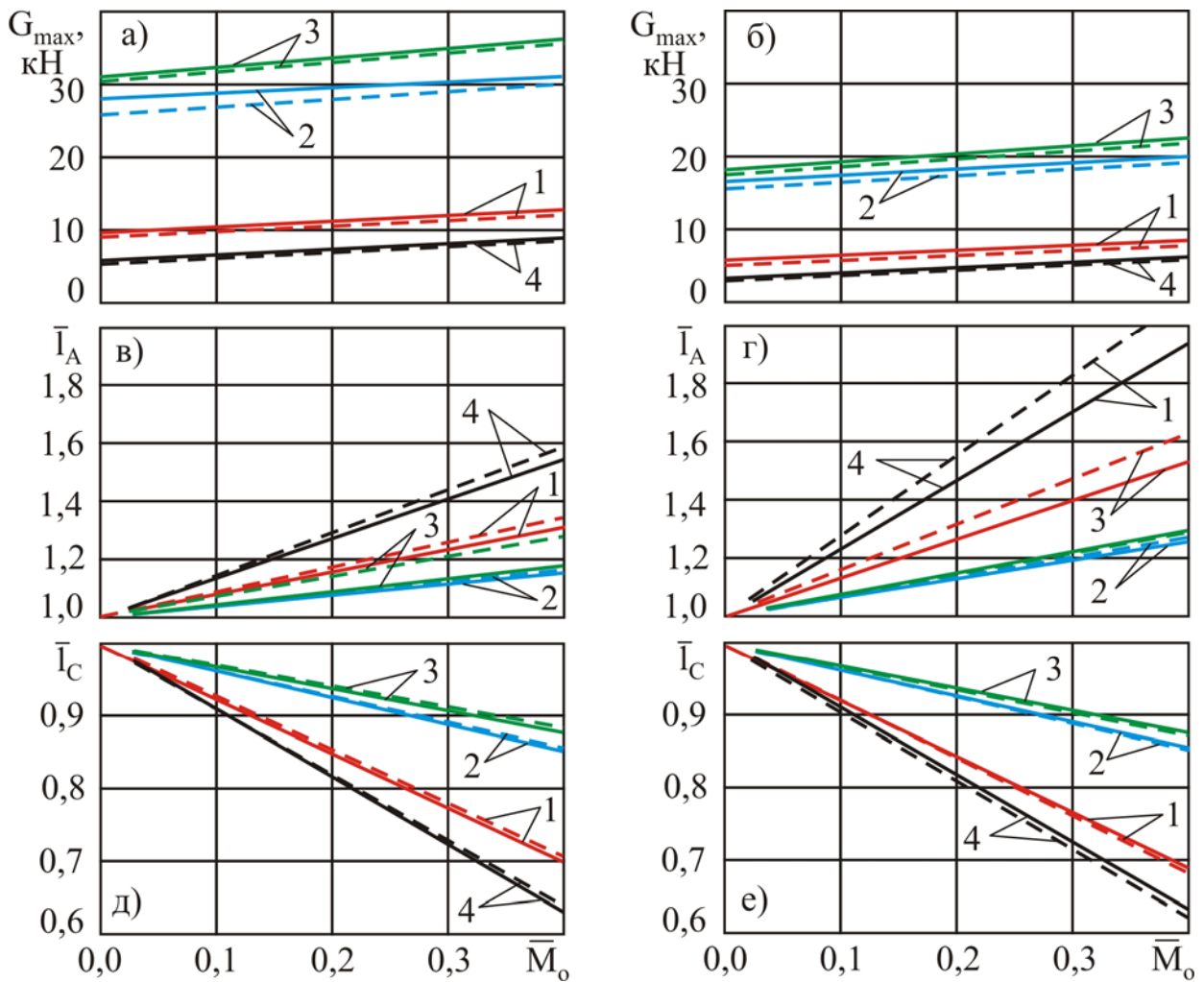


Рис. 52. Влияние дополнительной анкеровки выносных опор мобильных машин на основные параметры их устойчивости против опрокидывания: а, б – допустимый вес груза на максимальном вылете манипуляционной системы; в, г – допустимый вылет манипуляционной системы за ребро опрокидывания; д, е – допустимая полуширина опорного контура; а, в, д –  $\alpha = 0^\circ$ ; б, г, е –  $\alpha = 20^\circ$  (———— – ветровая нагрузка отсутствует; - - - - - ветровая нагрузка присутствует; номера графиков соответствуют вариантам расчета)

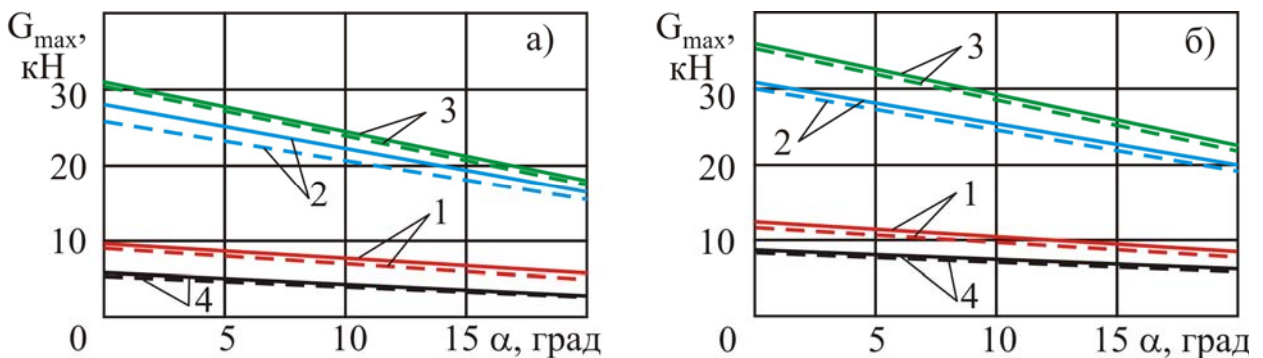


Рис. 53. Влияние дополнительной анкеровки выносных опор мобильных машин на величину допустимого веса груза на максимальном вылете манипуляционной системы: а –  $\bar{M}_0 = 0$ ; б –  $\bar{M}_0 = 0,4$  (———— – ветровая нагрузка отсутствует; - - - - - ветровая нагрузка присутствует)

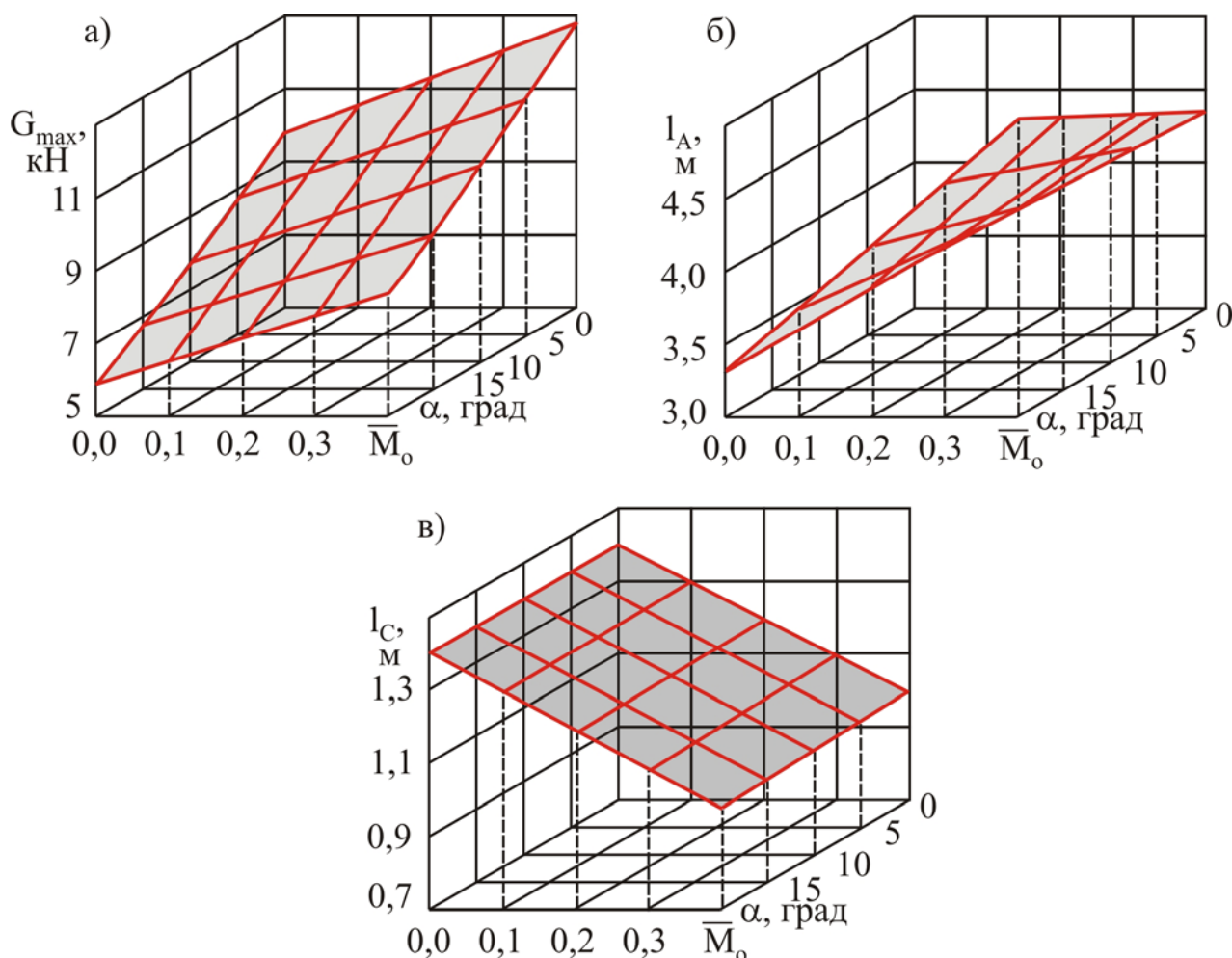


Рис. 54. Изменение основных параметров устойчивости против опрокидывания мобильных машин в зависимости от угла отклонения опорной площадки от горизонтальной плоскости и степени дополнительной анкеровки выносных опор: а – допустимый вес груза на максимальном вылете манипуляционной системы; б – допустимый вылет манипуляционной системы за ребро опрокидывания; в – допустимая полуширина опорного контура

тема - Fassi M30A.13; базовая машина – GAZ-Next) показаны графики зависимостей изменения основных параметров устойчивости от опрокидывания данной мобильной машины при совместном учете двух исследованных характеристик – угла отклонения опорной площадки от горизонтальной плоскости  $\alpha$  и степени дополнительной анкеровки выносных опор  $\bar{M}_o$ .

Для практических расчетов поверхность  $Y(\bar{M}_o, \alpha)$  допустимо аппроксимировать плоскостью вида

$$A_Y \alpha + B_Y \bar{M}_o + C_Y \hat{Y} + D_Y = 0.$$

Поэтому приближенная оценка рассмотренных выше параметров устойчивости от опрокидывания мобильной транспортно-технологической машины может быть выполнена по зависимости

$$\hat{Y}(\alpha; \bar{M}_o) = \frac{D_Y - A_Y \alpha - B_Y \bar{M}_o}{C_Y}. \quad (15)$$

Расчетные зависимости для определения коэффициентов  $A_Y, B_Y, C_Y, D_Y$  в выражении (15) зависят от выбранного множества из трех опорных точек, которые используются для проведения аппроксимации. Целесообразно ориентироваться на один из четырех вариантов выбора точек аппроксимации:

- вариант 1: используется множество опорных точек  $P_1, P_2, P_3$  с координатами

$$\begin{cases} P_1(\alpha_1 = 0; \bar{M}_{o,1} = 0; Y_1); \\ P_2(\alpha_2 = 0; \bar{M}_{o,2} = \bar{M}_{o,\max}; Y_2); \\ P_3(\alpha_3 = \alpha_{\max}; \bar{M}_{o,3} = 0; Y_3), \end{cases}$$

- вариант 2: используется множество опорных точек  $P_1, P_2, P_3$  с координатами

$$\begin{cases} P_1(\alpha_1 = \alpha_{\max}; \bar{M}_{o,1} = 0; Y_1); \\ P_2(\alpha_2 = 0; \bar{M}_{o,2} = \bar{M}_{o,\max}; Y_2); \\ P_3(\alpha_3 = \alpha_{\max}; \bar{M}_{o,3} = \bar{M}_{o,\max}; Y_3), \end{cases}$$

- вариант 3: используется множество опорных точек  $P_1, P_2, P_3$  с координатами

$$\begin{cases} P_1(\alpha_1 = 0; \bar{M}_{o,1} = 0; Y_1); \\ P_2(\alpha_2 = \alpha_{\max}; \bar{M}_{o,2} = 0; Y_2); \\ P_3(\alpha_3 = \alpha_{\max}; \bar{M}_{o,3} = \bar{M}_{o,\max}; Y_3), \end{cases}$$

- вариант 4: используется множество опорных точек  $P_1, P_2, P_3$  с координатами

$$\begin{cases} P_1(\alpha_1 = 0; \bar{M}_{o,1} = 0; Y_1); \\ P_2(\alpha_2 = 0; \bar{M}_{o,2} = \bar{M}_o; Y_2); \\ P_3(\alpha_3 = \alpha_{\max}; \bar{M}_{o,3} = \bar{M}_{o,\max}; Y_3), \end{cases}$$

где  $\alpha_{\max}, \bar{M}_{o,\max}$  - верхние значения интервалов изменения параметров  $\alpha$  и  $\bar{M}_o$  соответственно, в пределах которых выполняется аппроксимация функции двух переменных  $Y(\bar{M}_o, \alpha)$ .

Входящие в выражение (15) коэффициенты  $A_Y, B_Y, C_Y, D_Y$  выражаются следующими зависимостями:

- вариант 1

$$A_Y = \bar{M}_{o,\max}[Y_3(\alpha = \alpha_{\max}; \bar{M}_o = 0) - Y_1(\alpha = 0; \bar{M}_o = 0)];$$

$$B_Y = \alpha_{\max}[Y_2(\alpha = 0; \bar{M}_o = \bar{M}_{o,\max}) - Y_1(\alpha = 0; \bar{M}_o = 0)];$$

$$C_Y = -\alpha_{\max}\bar{M}_{o,\max};$$

$$D_Y = -\alpha_{\max}\bar{M}_{o,\max}Y_1(\alpha = 0; \bar{M}_o = 0),$$

- вариант 2

$$A_Y = \bar{M}_{o,\max}[Y_2(\alpha = 0; \bar{M}_o = \bar{M}_{o,\max}) - Y_3(\alpha = \alpha_{\max}; \bar{M}_o = \bar{M}_{o,\max})];$$

$$B_Y = \alpha_{\max}[Y_1(\alpha = \alpha_{\max}; \bar{M}_o = 0) - Y_3(\alpha = \alpha_{\max}; \bar{M}_o = \bar{M}_{o,\max})];$$

$$C_Y = -\alpha_{\max}\bar{M}_{o,\max};$$

$$D_Y = -\alpha_{\max}\bar{M}_{o,\max}[Y_1(\alpha = \alpha_{\max}; \bar{M}_o = 0) + Y_2(\alpha = 0; \bar{M}_o = \bar{M}_{o,\max}) - Y_3(\alpha = \alpha_{\max}; \bar{M}_o = \bar{M}_{o,\max})],$$

- вариант 3

$$A_Y = -\bar{M}_{o,\max}[Y_2(\alpha = \alpha_{\max}; \bar{M}_o = 0) - Y_1(\alpha = 0; \bar{M}_o = 0)];$$

$$B_Y = -\alpha_{\max}[Y_3(\alpha = \alpha_{\max}; \bar{M}_o = \bar{M}_{o,\max}) - Y_2(\alpha = \alpha_{\max}; \bar{M}_o = 0)];$$

$$C_Y = -\alpha_{\max}\bar{M}_{o,\max};$$

$$D_Y = -\alpha_{\max}\bar{M}_{o,\max}Y_1(\alpha = 0; \bar{M}_o = 0),$$

- вариант 4

$$A_Y = \bar{M}_{o,\max}[Y_3(\alpha = \alpha_{\max}; \bar{M}_o = \bar{M}_{o,\max}) - Y_2(\alpha = 0; \bar{M}_o = \bar{M}_{o,\max})];$$

$$B_Y = \alpha_{\max}[Y_2(\alpha = 0; \bar{M}_o = \bar{M}_{o,\max}) - Y_1(\alpha = 0; \bar{M}_o = 0)];$$

$$C_Y = -\alpha_{\max}\bar{M}_{o,\max};$$

$$D_Y = -\alpha_{\max}\bar{M}_{o,\max}Y_1(\alpha = 0; \bar{M}_o = 0).$$

Вследствие отмеченной ранее незначительной нелинейности функции  $Y(\alpha; \bar{M}_o = const)$  для аппроксимации (15) характерна некоторая погрешность расчета параметра устойчивости  $Y$ , причем она зависит от выбранного варианта аппроксимации. В опорных точках аппроксимации данная погрешность равна 0, а максимума она достигает в угловой точке области  $[0 \leq \alpha \leq \alpha_{\max}; 0 \leq \bar{M}_o \leq \bar{M}_{o,\max}]$ , не совпадающей ни с одной из опорных точек.

Анализ точности аппроксимационной зависимости (15) был выполнен на примере манипуляционной системы Fassi M30A.13, установленной на шасси мобильной машины GAZ-Next (вариант 1, табл. 2). Применительно к данной мобильной машине в зависимости от

возможного варианта выбора точек аппроксимации выражение (15) в области  $[0 \leq \alpha \leq \alpha_{\max}; 0 \leq \bar{M}_o \leq \bar{M}_{o,\max}]$  принимает следующий вид:

- для варианта 1

$$\hat{G}_{\max}(\alpha, \bar{M}_o) = 9742 - 196\alpha + 7727,5\bar{M}_o;$$

- для варианта 2

$$\hat{G}_{\max}(\alpha, \bar{M}_o) = 10273 - 222,6\alpha + 6400\bar{M}_o;$$

- для варианта 3

$$\hat{G}_{\max}(\alpha, \bar{M}_o) = 9742 - 196\alpha + 6400\bar{M}_o;$$

- для варианта 4

$$\hat{G}_{\max}(\alpha, \bar{M}_o) = 9742 - 222,6\alpha + 7727,5\bar{M}_o.$$

В качестве исследуемой погрешности рассматривалась относительная погрешность аппроксимации параметра устойчивости (наибольший допустимый вес груза на максимальном вылете манипуляционной системы)  $G_{\max}(\alpha, \bar{M}_o)$ :

$$\delta_{G_{\max}} = \left( \frac{\hat{G}_{\max}}{G_{\max}} - 1 \right) \cdot 100\%,$$

где  $\hat{G}_{\max}$  - приближенная оценка параметра устойчивости  $G_{\max}$  в соответствии с выражением (15).

Результаты расчетов погрешности  $\delta_{G_{\max}}$  приведены на рис. 55. Аппроксимация на основе опорных точек согласно вариантам 1 и 2 во всей области  $[0 \leq \alpha \leq \alpha_{\max}; 0 \leq \bar{M}_o \leq \bar{M}_{o,\max}]$  приводит к завышенным оценкам наибольшего допустимого веса груза на максимальном вылете манипуляционной системы  $\hat{G}(\alpha; \bar{M}_o)$ , что недопустимо с точки зрения обеспечения безопасности при эксплуатации мобильной машины. Варианты 3 и 4 являются более предпочтительными, так как для них характерны как завышенные, так и заниженные оценки аппроксимации параметра устойчивости  $\hat{G}(\alpha; \bar{M}_o)$ . Последние оценки следует считать благоприятными, так как они обеспечивают большую безопасность при эксплуатации мобильной машины. Кроме того, для этих вариантов наблюдается невысокий в среднем уровень погрешности в пределах всей области  $[0 \leq \alpha \leq \alpha_{\max}; 0 \leq \bar{M}_o \leq \bar{M}_{o,\max}]$ . Можно рекомендовать использовать аппроксимацию параметров устойчивости мобильных машин по варианту 3 для случая, когда машина работает при сравнительно небольших уклонах опорной поверхности  $\alpha$  и значительной дополнительной анкерровке выносных опор. Вариант 4 наиболее подхо-

дит для случая, когда мобильная машина работает при значительных уклонах опорной поверхности  $\alpha$  и практически любой дополнительной анкеровке выносных опор.

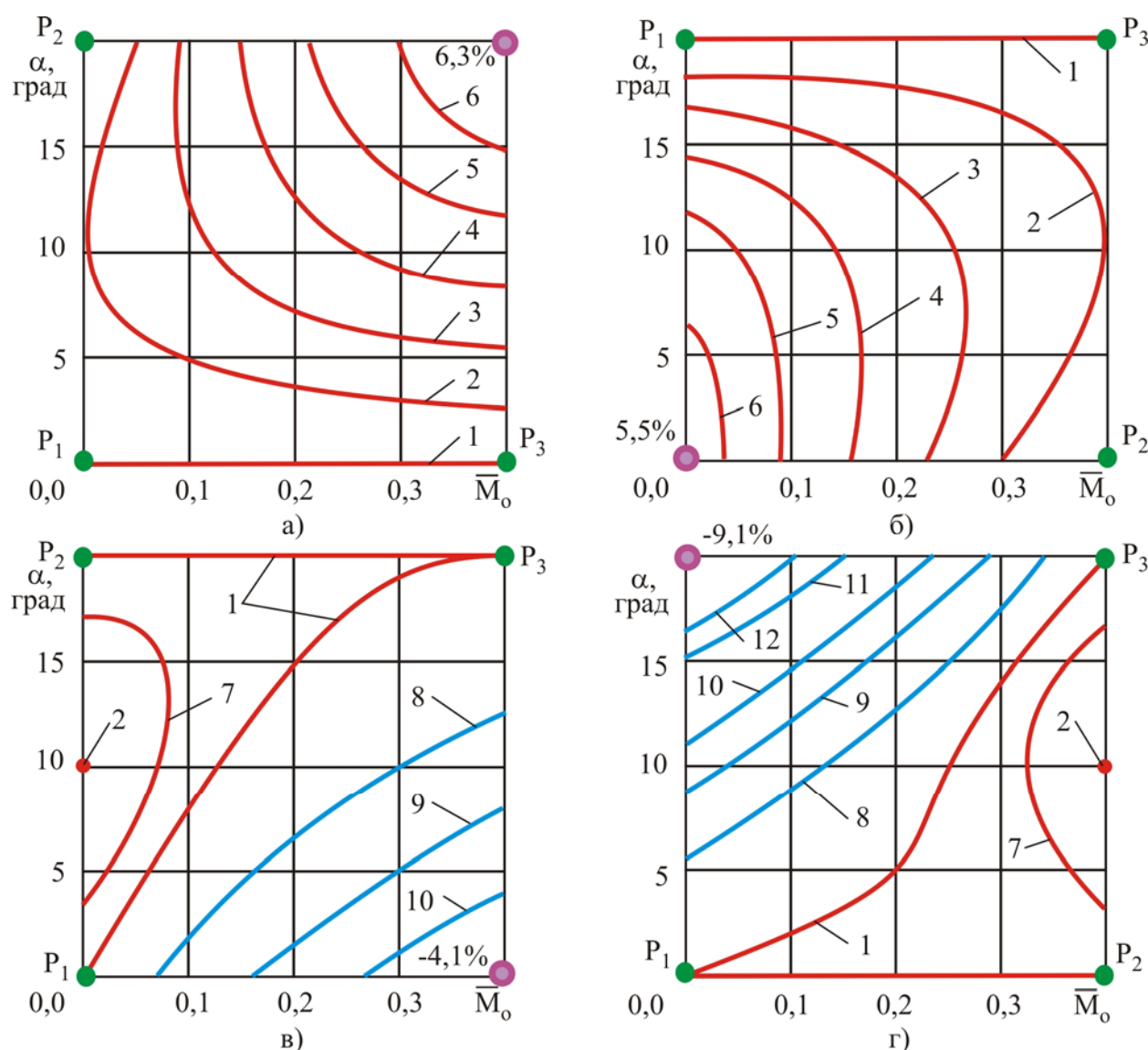


Рис. 55. Линии равных значений относительной погрешности аппроксимации наибольшего допустимого веса груза на максимальном вылете манипуляционной системы для разных вариантов выбора точек аппроксимации:

а – вариант 1; б – вариант 2; в – вариант 3; г – вариант 4

(значение погрешности для кривых: 1 – 0%; 2 – 1%; 3 – 2%; 4 – 3%; 5 – 4%; 6 – 5%; 7 – 0,5%; 8 – -1%; 9 – -2%; 10 – -3%; 11 – -4%; 12 – -5%)

На основании зависимости (13) можно определить предельный угол наклона опорной площадки  $\alpha_{lim}$ , при достижении которого наибольший допустимый вес груза на максимальном вылете манипуляционной системы становится равным 0:

$$G_{max}(\alpha_{lim}) = 0.$$



В этом случае мобильная машина теряет устойчивость и опрокидывается под действием лишь собственного веса – веса металлоконструкции манипуляционной системы  $Q_m$  и базового шасси  $Q_s$ .

Рис. 56 дает представление о влиянии дополнительной анкеровки выносных опор на величину угла  $\alpha_{lim}$ . Видно, что для рассмотренных реальных вариантов мобильных машин этот угол является значительным, существенно превышающим имеющиеся паспортные рекомендации заводов-изготовителей по безопасной эксплуатации мобильных кранов-манипуляторов даже при отсутствии дополнительной анкеровки выносных опор. Поэтому он не представляет большого практического интереса при нормальных условиях эксплуатации кранов-манипуляторов.

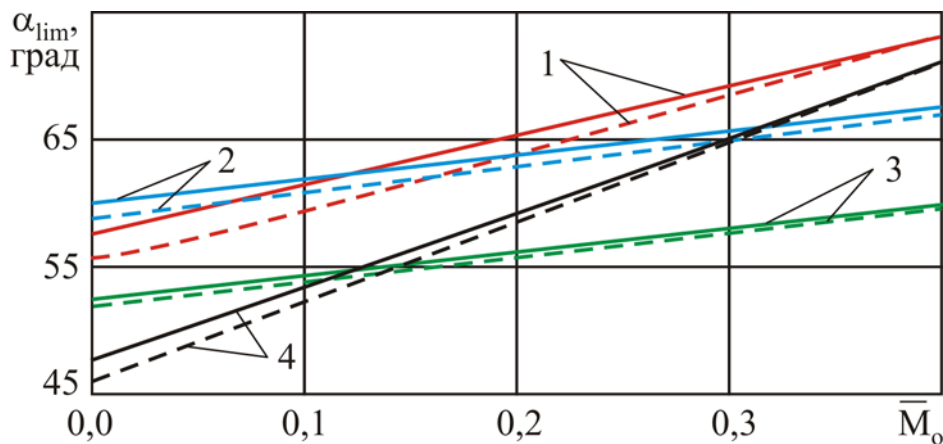


Рис. 56. Влияние дополнительной анкеровки выносных опор на величину предельного угла наклона опорной площадки мобильной машины: ———— – ветровая нагрузка отсутствует; - - - - - – ветровая нагрузка присутствует (номера графиков соответствуют вариантам расчета)

Угол  $\alpha_{lim}$  может быть приближенно определен в результате решения упрощенного нелинейного алгебраического уравнения вида  $M_o + Q_s(l_C \cos \alpha_{lim} - h_C \sin \alpha_{lim}) + Q_m[(l_C - l_B) \cos \alpha_{lim} - h_B \sin \alpha_{lim}] = 0$ , в котором не учитываются слагаемые, связанные с ветровыми нагрузками на транспортируемый груз, манипуляционную систему и базовую машину. При отсутствии дополнительной анкеровки выносных опор предельный угол наклона опорной площадки  $\alpha_{lim}$  определяется как

$$\alpha_{lim} = \arctg \left[ \frac{Q_s l_C + Q_m (l_C - l_B)}{Q_s h_C + Q_m h_B} \right].$$

Значения угла  $\alpha_{\text{lim}}$ , рассчитанные по данным упрощенным зависимостям, являются завышенными на  $1 \dots 3^\circ$ . В исследованном интервале значений  $\bar{M}_o \in [0; 0,4]$  и ветровых нагрузок, соответствующих рекомендуемым условиям эксплуатации мобильных машин с манипуляционными системами, зависимости  $\alpha_{\text{lim}}(\bar{M}_o)$  являются линейными и могут быть выражены в виде

$$\alpha_{\text{lim}}(\bar{M}_o) = \alpha_{\text{lim}}(0) - v_{\alpha_{\text{lim}}} \bar{M}_o, \quad (16)$$

где  $\alpha_{\text{lim}}(0)$ ,  $v_{\alpha_{\text{lim}}}$  – расчетные коэффициенты, значения которых приведены в табл. 3.

Предельный угол наклона опорной площадки  $\alpha_{\text{lim}}$  может приниматься во внимание при возможных экстремальных условиях эксплуатации кранов-манипуляторов, связанных с их использованием в чрезвычайных ситуациях. Анализ данных на рис. 56 показывает, что дополнительная анкеровка выносных опор мобильных транспортно-технологических машин способна существенно повысить величину предельного угла наклона опорной площадки, при котором еще возможна эксплуатация машин в чрезвычайных условиях.

Для количественной оценки диапазона величин удерживающих моментов  $m_o$ , которые практически можно получить при использовании выносных опор с дополнительной анкеровкой на основе конструкции [116] (рис. 47, 48) для реальных грунтов, были проведены нелинейные конечноэлементные расчеты системы «мобильная машина – выносная опора – анкер – грунт». Базовая твердотельная модель показана на рис. 57. Расчетная конечноэлементная схема для угла накло-

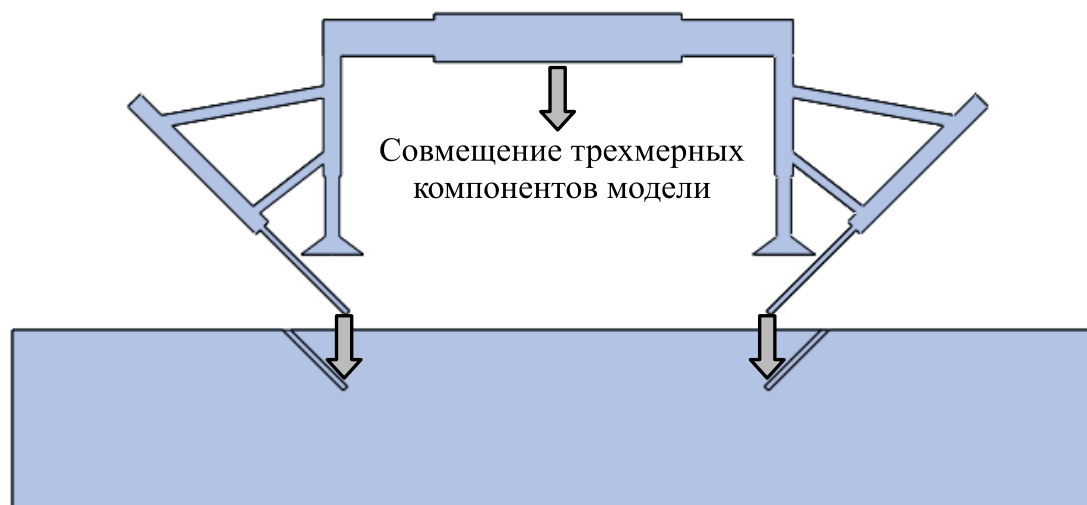


Рис. 57. Базовая твердотельная модель системы «мобильная машина-выносная опора-анкер-грунт» [86; 88]

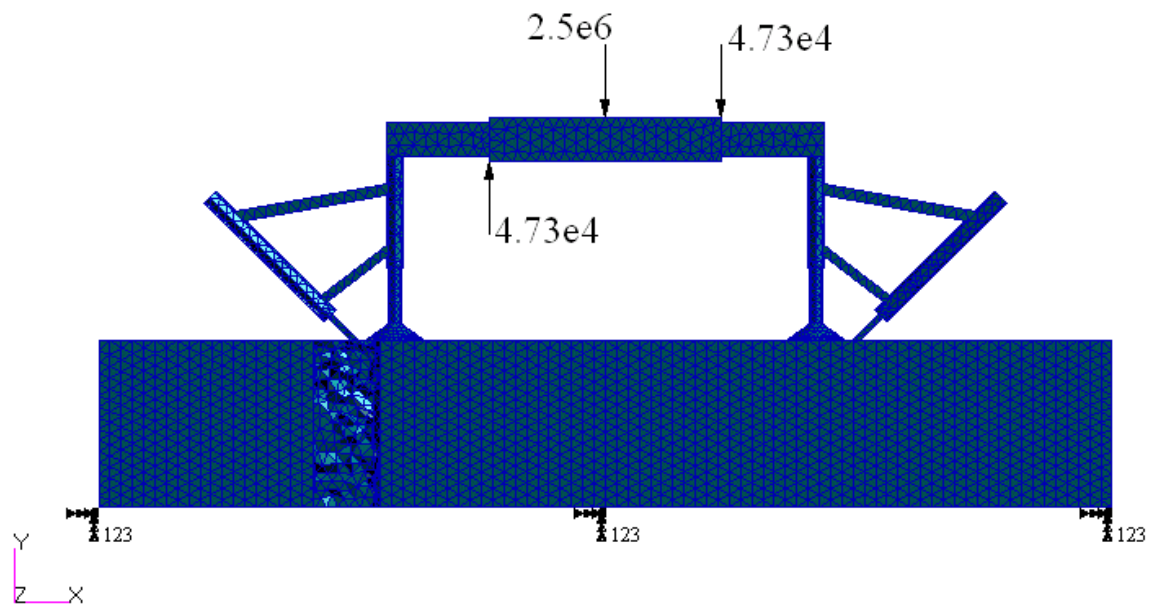


Рис. 58. Расчетная конечноэлементная модель системы «мобильная машина-выносная опора-анкер-грунт» [86; 88]

на рабочего элемента анкерного устройства  $45^\circ$  к горизонту показана на рис. 58 [86; 88].

Расчет выполнен для манипулятора ОТМЛ-97 на базе шасси КамАЗ-65117. Масса базовой машины – 24 т, масса манипулятора 2,26 т, грузовой момент манипулятора 97 кН·м, максимальный вылет 7,3 м, ширина базы выносных опор 3,85 м (1,925 м на одну опору), расстояние от плоскости установки манипулятора до опорной поверхности 1,5 м. Влияние манипуляционной системы учитывалось с помощью приложенного к центру тяжести системы опрокидывающего момента 97 кН·м. Нижняя плоскость объема грунта закреплена по всем направлениям. В центре тяжести модели вертикально вниз приложен вес базовой машины и манипулятора 257,6 кН. Выполнены расчеты для угла наклона рабочего элемента анкерного устройства в  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  и  $60^\circ$  к горизонту [86; 88].

Упруго-пластические характеристики опорной поверхности в зоне установки выносной опоры с анкерным устройством задаются с помощью модели упрочняющегося грунта [45]. Расчеты выполнены для двух типов опорных оснований: песчаного и глинистого. Параметры модели грунта для использования в расчетных моделях анкерного устройства приведены в [45]. Так как глубина заглубления рабочего элемента анкерного устройства не превышает 1 м, то изменением жесткости по глубине можно пренебречь [40]. С использованием данных параметров построена и задана в программном комплексе диаграмма деформирования материала [86].

Результаты расчета суммарных перемещений в системе с глинистым основанием для угла наклона рабочего элемента анкерного устройства в  $30^\circ$  к горизонту после полного окончания алгоритма нелинейного расчета показаны на рис. 59. Видно, что опоры углубляются в грунт. При этом опора, на которую приходится основное воздействие манипуляционной системы, углубляется в 2 раза больше [86; 88].

Результаты расчета различных вариантов сведены в табл. 4.

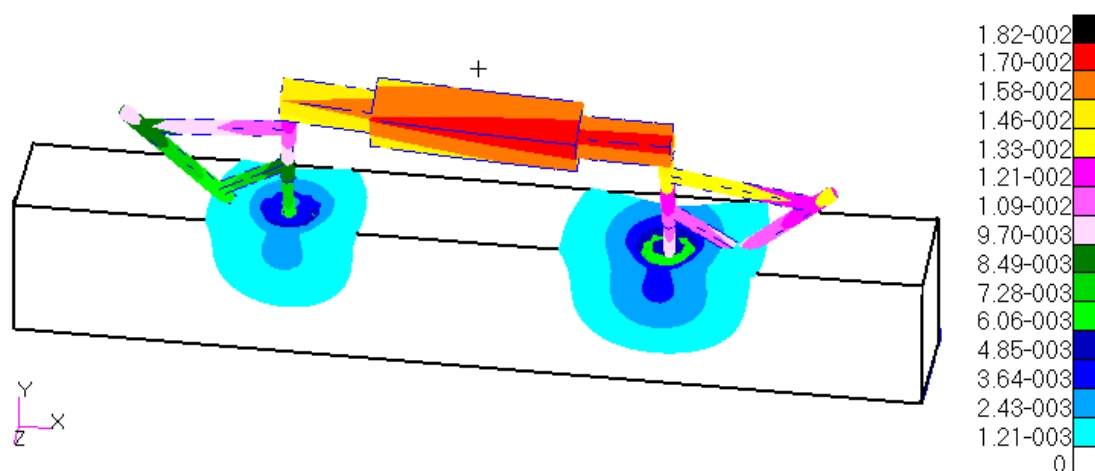


Рис. 59. Суммарные перемещения, м (рабочий элемент анкерного устройства под  $45^\circ$  к горизонту, глинистое основание) [86; 88]

Таблица 4

Результаты расчета анкерного устройства [86; 88]

Тип основания	Глинистое основание			Песчаное основание		
	30°	45°	60°	30°	45°	60°
Угол наклона рабочего элемента анкерного устройства	30°	45°	60°	30°	45°	60°
Давление в рабочей зоне анкерного устройства, МПа	3,0	2,0	0,5	2,5	1,6	0,3
Сила $F$ , кН	170,4	113,6	28,4	142,0	90,88	17,04
$M_{вос.дон}$ , кН·м	255,6	170,4	42,6	213,0	136,32	25,56

Величина дополнительной удерживающей силы, создаваемой анкерным устройством, зависит от угла его ориентации по отношению к опорной поверхности. Расчеты показали, что рабочий элемент анкерного устройства следует размещать под углом  $30...45^\circ$  к поверхности опорного основания. Для манипулятора ОТМЛ-97 на базе шасси КамАЗ-65117 удерживающий момент увеличивается на 12 % (с 1983,5 кН·м до 2239,1 кН·м). Следует отметить, что исследуемый манипулятор может устанавливаться на шасси с более низкой собственной мас-

сой, чем КамАЗ-65117. В этом случае анкерное устройство вносит более существенный вклад в обеспечение общей устойчивости (увеличение удерживающего момента составляет 30...40 %) [86; 88].

## **2.2. Нагруженность манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин**

Под нагруженностью понимается состояние объекта, вызванное внешними воздействиями и условиями функционирования. Для элементов металлоконструкции манипуляционных систем основными характеристиками нагруженности являются внешние нагрузки или напряжения в опасных зонах, вызванные протекающими в процессе их работы нестационарными процессами [75; 87; 135; 151]. Параметры, оказывающие влияние на характеристики нагруженности, называются факторами нагруженности.

Эксплуатационные нагрузки, исходя из характера изменения во времени их величины, условно можно разделить на [75]:

- постоянные;
- переменные регулярные;
- переменные случайные;
- переменные кратковременные.

Однако большая часть манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин эксплуатируется в нестационарных условиях при воздействии на них переменных нагрузок различного происхождения со случайно меняющимися во времени количественными характеристиками [75; 87; 135].

Манипуляционные системы мобильных транспортно-технологических машин, как правило, эксплуатируются в нормальных условиях при умеренных нагрузках и интенсивности работы, без воздействия экстремальных внешних факторов (сильный ветер, агрессивная среда, высокоэнергетические процессы). При обслуживании неквалифицированным персоналом на общехозяйственных гражданских работах возможны ситуации, когда манипулятор может работать с перегрузкой или в нештатной конфигурации (без установки выносных опор, с повышенным наклоном базового шасси и т.д.). Однако их можно отнести к исключительным случаям, которые являются нарушением норм и правил безопасной эксплуатации подъемных сооружений [125]. Отказы или повреждения металлоконструкций манипуляционных систем приводят к их выводу из эксплуатации для проведения необходимых ремонтных работ [56; 69; 99; 130].

Однако манипуляционные системы мобильных транспортно-технологических машин специального назначения могут подвергаться запредельным нагрузкам и внешним воздействиям (высокая температура, радиация, агрессивная среда, воздействие ударной волны и т.д.). Для таких машин частичное разрушение или повреждение манипуляционной системы, в идеальном случае, не должно приводить к ее выводу из эксплуатации [37].

Таким образом, при проектировании и моделировании эксплуатационных процессов манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин необходимо учитывать указанные выше особенности работы.

Процесс изменения характеристики нагруженности во времени  $Q(t)$  является случайным процессом, который можно представить в виде случайной реализации или совокупности случайных реализаций (рис. 60) [75]. Для его количественного анализа используются известные методы теории вероятности и случайных процессов [31], хотя развитие современных методов компьютерных расчетов позволяет использовать результаты моделирования в исходном виде.

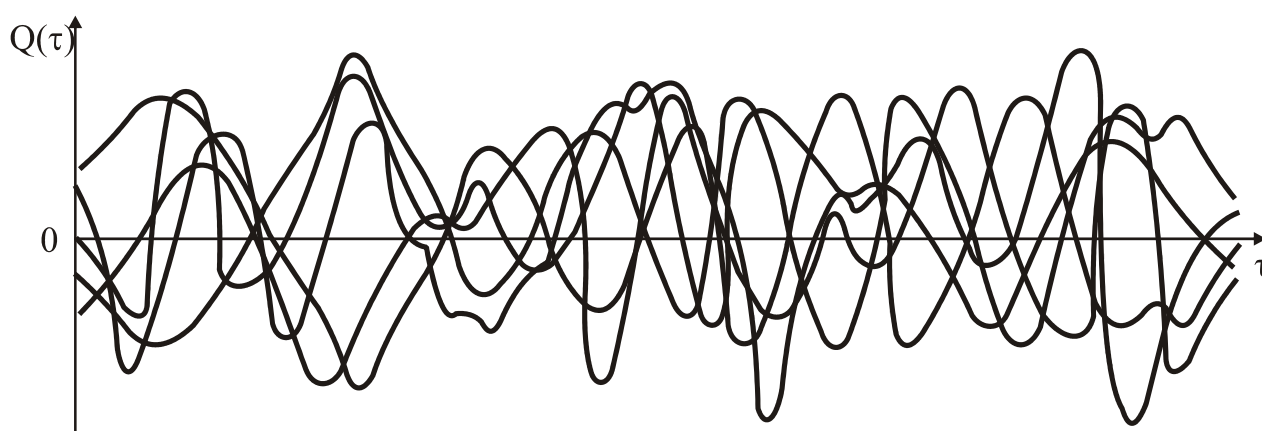


Рис. 60. Реализации процесса нагруженности

Для представления нагруженности в компактной форме, удобной для проведения дальнейших проектных и проверочных расчетов манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины, производится одним из известных методов [75; 135] схематизация случайного процесса  $Q(t)$ , позволяющая построить графики нагруженности.

Можно выделить несколько вариантов компактного представления параметров распределения факторов и характеристик нагруженности [75; 84]:



- блок распределения (рис. 61, а);
- набор частот распределения (рис. 61, б);
- смешанное блочно-частотное распределения (рис. 61, в).

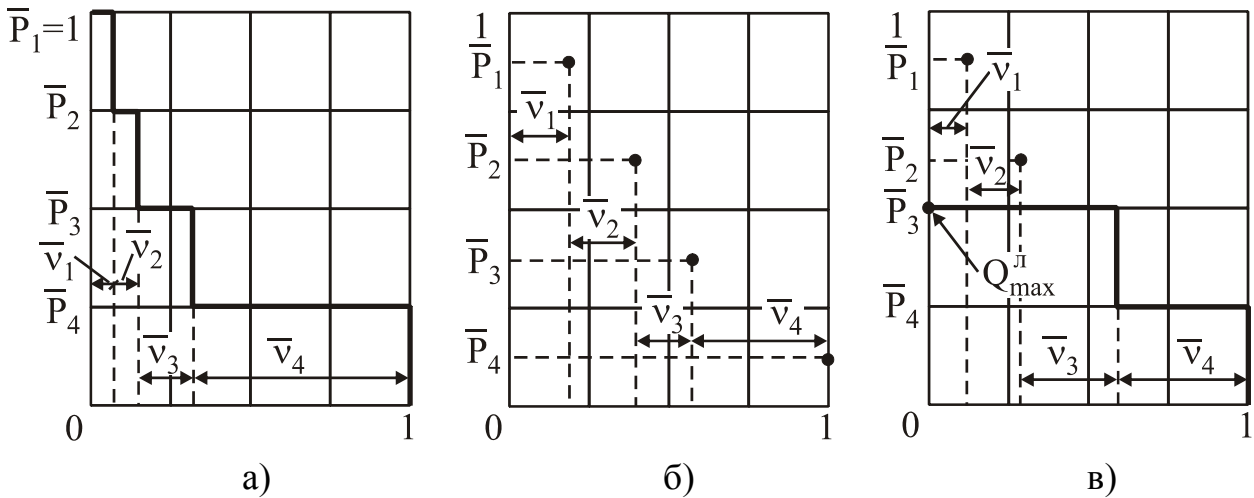


Рис. 61. Компактное представление данных о нагруженности [75; 84]:  
 а – блок распределения; б – частотное распределение;  
 в – смешанное распределение

Блок распределения является наиболее универсальным и используемым вариантом представления нагружения механизмов и металлоконструкций кранов. При его построении весь интервал описываемой величины  $Q \in [0; Q_{ном}]$  разбивается на  $N$  подынтервалов шириной  $\Delta Q = Q_{ном} / N$ . Для нагрузок, величина которых попадает в  $i$ -й подынтервал (т.е. составляет  $(i - 1)\Delta Q < Q \leq i\Delta Q$ ), определяется их общая продолжительность действия или число рабочих циклов  $v_i$  и нормированное значение  $\bar{v}_i = v_i / v_{нэ}$  [75; 84].

Частотное распределение целесообразно использовать, если исследуемая величина принимает несколько фиксированных значений. Тогда для каждого  $i$ -го значения  $Q_i$  (из дискретного множества  $Q_1, Q_2, \dots, Q_i, \dots, Q_N$ ) определяется общая продолжительность действия или число рабочих циклов  $v_i$ , а затем – нормированное значение  $\bar{v}_i = v_i / v_{нэ}$  [75; 84].

Для большинства манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин большое разнообразие графиков нагружения, так как даже последовательные во времени циклы перемещения груза могут существенно отличаться как по его весу, так и по параметрам цикла манипулирования этим грузом. Исключение могут

составлять лишь манипуляционные системы узко специализированных мобильных транспортно-технологических машин. Поэтому графики нагружения грузоподъемных кранов носят выраженный стохастический характер и весьма значительно отличаются как для различных типов грузоподъемного оборудования, так и для кранов аналогичной конструкции в разных условиях эксплуатации. При проектировании манипуляционных систем, как правило, используются типовые графики нагружения [32; 75], которые различны для различных режимов работы грузоподъемного оборудования. Например, обобщенный шестиступенчатый график нагружения (относительной нагрузки на крюке) автомобильных стреловых кранов с номинальной грузоподъемностью 4; 6,3; 10 и 16 т приведен в [32]. Режимы работы (1К...8К) определяются классом нагружения (Q0...Q4) и классом использования (C0...C9) [5; 135].

В связи с развитием экспериментальной базы автоматизированного мониторинга нагружения натуральных конструкций и компьютерной базы имитационного моделирования их работы с практически максимально возможным учетом специфики выполнения конкретных транспортно-технологических операций находит подход к проектированию ответственного грузоподъемного оборудования на основе индивидуальных графиков нагружения [75]. Модели и методики построения таких графиков на основе имитационного компьютерного моделирования представлены, в частности, в [21; 75; 84; 87].

Графики нагружения используются в дальнейшем для решения следующих задач проектирования: для установления группы режима работы; сравнительной оценки процессов нагружения однотипных элементов при выявлении наиболее нагруженных; количественной оценки эксплуатационных режимов машин по их повреждающему воздействию; расчетной оценки долговечности элементов машин по критериям накопления усталостных повреждений; моделирования реального процесса нагружения при стендовых испытаниях натуральных элементов конструкций и моделей машин на усталость [75].

При оценке нагруженности металлоконструкции манипуляционной системы нецелесообразно учитывать все характерные для конкретного расчетного случая нагрузки, так как вероятность их одновременного действия в условиях эксплуатации практически равна нулю. Поэтому в рамках каждого расчетного случая выделяются типовые последовательности движений [75; 15; 158].

Для расчета манипуляционных систем на прочность необходимо определить непосредственно действующие на нее нагрузки и величины соответствующих напряжений в опасных точках, сечениях, элементах. Оценка динамической нагруженности проводится после построения вероятностного семейства реализаций процесса изменения напряжений в опасных местах металлоконструкции манипуляционной системы. Общий алгоритм оценки динамической нагруженности состоит из следующих этапов (рис. 62) [82; 86; 87].

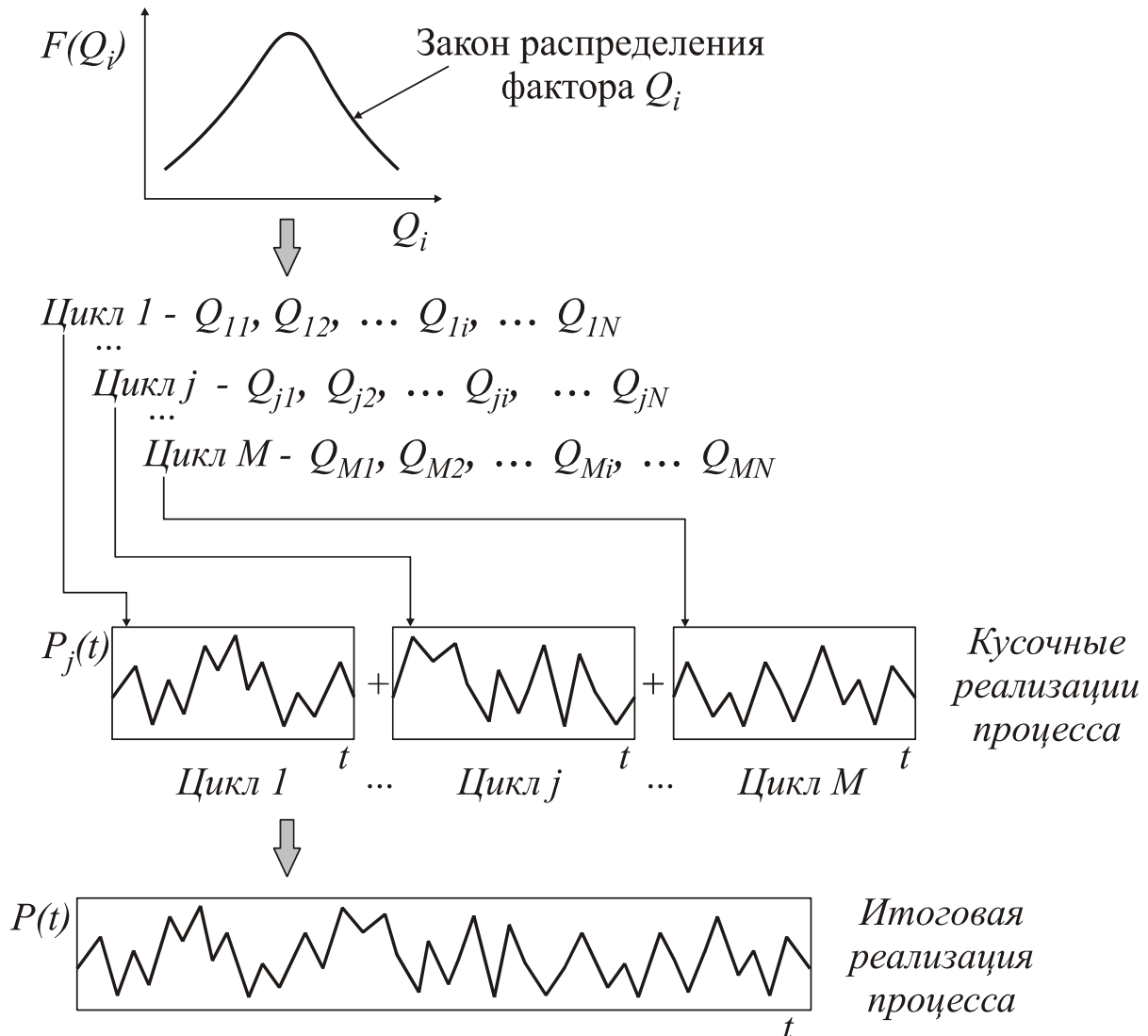


Рис. 62. Методика моделирования нагруженности манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины

1. В ходе имитационного моделирования определяются точные значения случайных факторов нагруженности  $Q_i$  для каждого цикла работы манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины в течение исследуемого периода работы [82; 86; 87].

2. Моделируются динамические процессы в манипуляционной системе с использованием детерминированной комплексной динамической модели [86]. Смоделированные значения факторов нагруженности служат исходными параметрами этих моделей. Результат моделирования представляет собой кусочную реализацию процесса  $P_j(t)$  изменения характеристик нагруженности манипуляционной системы [82; 86; 87].

3. В результате из кусочных реализаций, соответствующих различным сочетаниям факторов нагруженности, складывается итоговая реализация  $P(t)$  процесса изменения характеристики нагруженности (динамических усилий или напряжений в металлоконструкции) [82; 86; 87].

4. Данный процесс многократно повторяется, после чего оказывается сформированным вероятностное семейство реализаций. При необходимости выполняется схематизация результатов моделирования нагруженности (строятся блоки или определяются законы распределения) [82; 86; 87].

### **2.3. Изменение нагруженности подвески базового шасси мобильной машины после установки манипуляционной системы**

Манипуляционные системы устанавливаются на различные виды шасси и оказывают значительное влияние на нагруженность базовой мобильной транспортно-технологической машины [86]. Однако собственный вес некоторых манипуляционных систем может достигать десятков тонн, поэтому сама по себе их установка приводит к изменению нагруженности подвески базовой машины [81].

Обычно установка манипуляционных систем осуществляется их производителями или специализированными организациями, а не производителями базовых мобильных машин [81; 86]. Таким образом, параметры базового шасси входят в число исходных данных для проектирования крана-манипулятора или разработки проекта по его установке [86].

С другой стороны, низкая квалификация сотрудников небольшой организации в ряде случаев не позволяет создать надежную конструкцию, отвечающую всем требованиям [81]. Типичной ошибкой является неправильная установка тяжелой манипуляционной системы (Г-образного крана-манипулятора) большой грузоподъемности на се-

рийный грузовой автомобиль. При этом конструкция предполагает, что в транспортном положении стрела манипуляционной системы должна быть ориентирована вперед по направлению движения автомобиля. Это создает большой дополнительный грузовой момент, который приводит к повышению нагрузки на передний мост и, соответственно, снижению нагрузки на задний мост (рис. 63). Если подвеска автомобиля не рассчитана на такие нагрузки, то подвеска переднего моста может полностью выбрать свой ход, что приведет к ее быстрому отказу [81; 113].

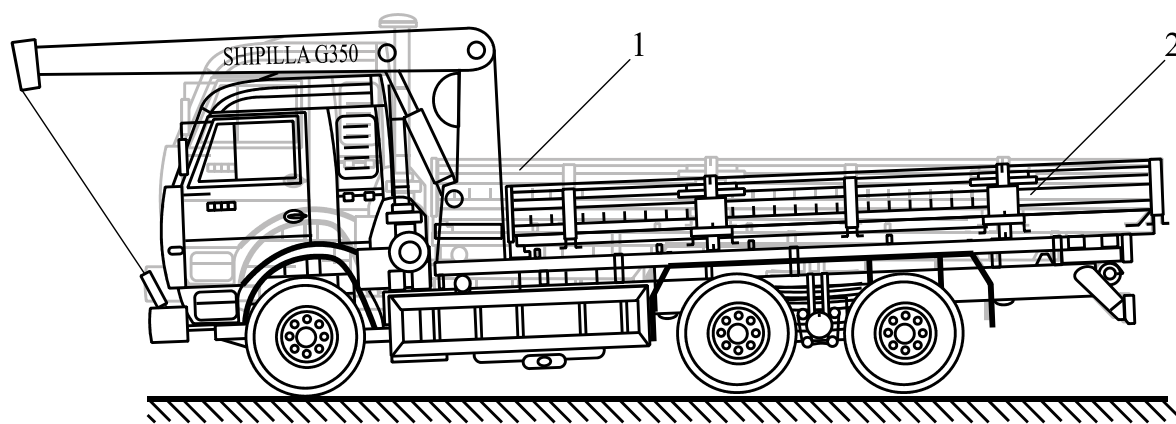


Рис. 63. Неправильная транспортная конфигурация манипуляционной системы [81]: 1 – исходный грузовой автомобиль; 2 – грузовой автомобиль с краном-манипулятором

В этом случае более предпочтительно транспортное положение, когда стрела манипуляционной системы ориентирована назад. Однако это приводит к ограничению максимальной высоты перевозимого в кузове груза. Таким образом, задача разработки научно обоснованных расчетных методик и расчетных программ для ЭВМ, позволяющих конструктору при проектировании быстро выбрать правильную транспортную конфигурацию манипуляционной системы, является актуальной [81].

Рассмотрим расчетную схему динамики исследуемой конструкции (рис. 64). При построении модели сделаны следующие допущения: при движении стрела крана-манипулятора ориентирована строго вдоль продольной оси грузового автомобиля, а масса системы симметрично распределена относительно этой оси, поэтому можно использовать плоскую расчетную схему; так как передвижение рассматриваемых мобильных транспортно-технологических машин в транспортном режиме осуществляется по подготовленным дорогам,

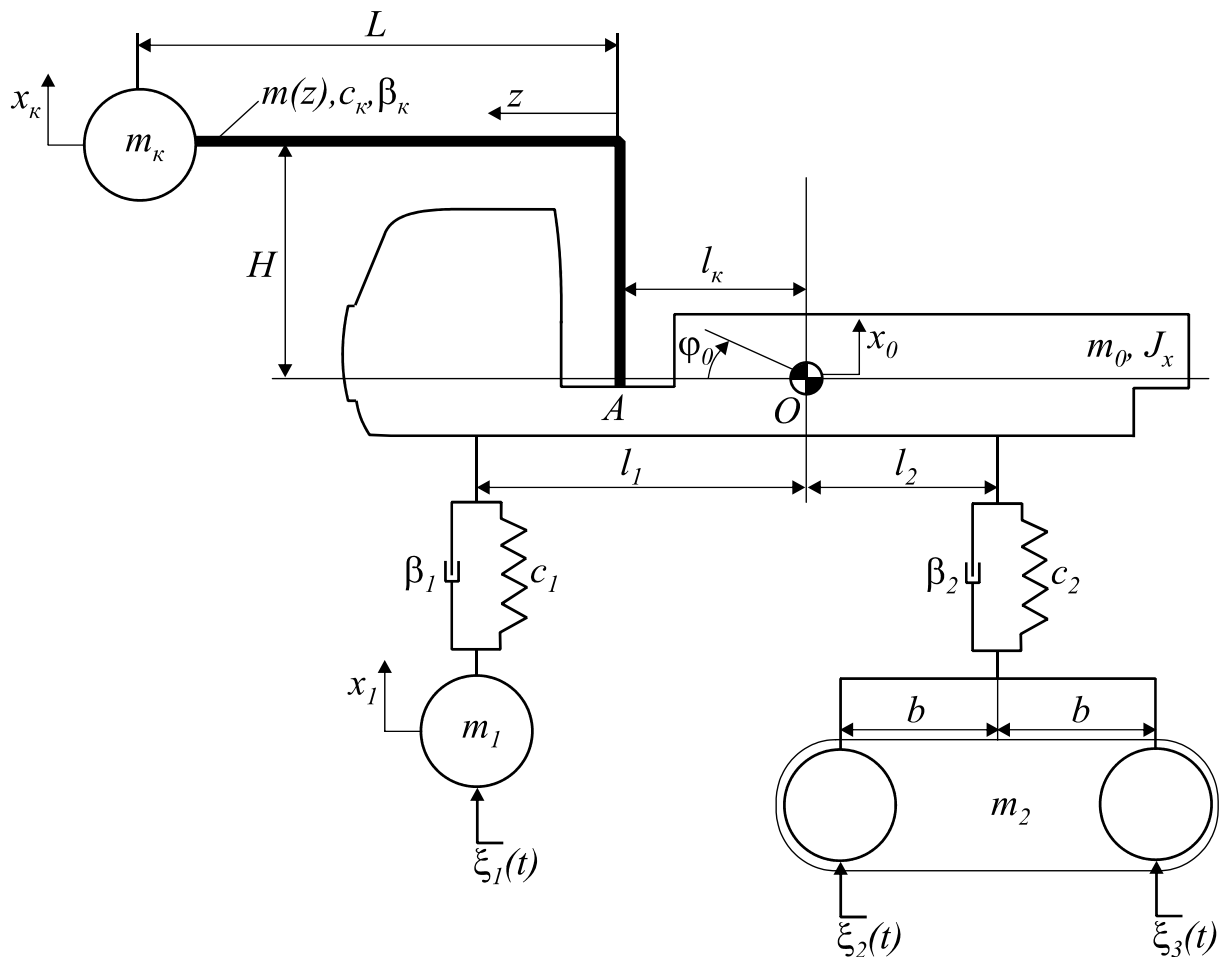


Рис. 64. Расчетная исследуемой машины, оборудованной манипуляционной системой

чаще всего, по асфальтобетонным, то опорное основание можно считать недеформируемым, имеющим микронеровность [81].

Статический грузовой момент, действующий на шасси со стороны крана-манипулятора определяется следующим образом:

$$M_k = g \left[ m_{z0} l_k + \int_0^L m(z) (l_k + z) dz \right], \quad (17)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения;  $z$  – координата вдоль длины стрелы;  $L$  – длина стрелы в транспортном состоянии;  $m(z)$  – функция распределения массы стрелы;  $m_{z0}$  – масса поворотной колонны, базовой конструкции, гидронасоса, лебедки, т.е. крана-манипулятора без элементов горизонтальной части стрелы и крюковой подвески [81].

Статические значения деформаций передней и задней подвески базового шасси при воздействии статического грузового момента  $M_k$  определяется следующим образом:

- расчетный случай 1 (стрела вперед):



$$x_{1cm} = \frac{(m_k + m_0)gl_2 + M_\kappa}{(l_1 + l_2)c_1}, \quad x_{2cm} = \frac{(m_k + m_0)gl_1 - M_\kappa}{(l_1 + l_2)c_2}; \quad (18)$$

- расчетный случай 2 (стрела назад):

$$x_{1cm} = \frac{(m_k + m_0)gl_2 - M_\kappa}{(l_1 + l_2)c_1}, \quad x_{2cm} = \frac{(m_k + m_0)gl_1 + M_\kappa}{(l_1 + l_2)c_2}, \quad (19)$$

где  $m_\kappa$  – паспортная масса крана-манипулятора;  $m_0$  – масса базового шасси;  $c_1$  – жесткость передней подвески;  $c_2, c_3$  – жесткость элементов задней подвески;  $l_1$  – расстояние от центра тяжести базового шасси до первой оси;  $l_2$  – расстояние от центра тяжести базового шасси до заднего двухосного моста [81].

Статическое значение угла перекоса базового шасси при воздействии статического грузового момента  $M_\kappa$  со стороны манипуляционной системы определяется следующим образом:

$$\varphi_{0cm} = \arctg \left[ \frac{x_{2cm} - x_{1cm}}{l_1 + l_2} \right]. \quad (20)$$

Анализ выражений (18) – (20) показывает, что в первом случае более нагружена моментом  $M_\kappa$  передняя подвеска, а во втором – задняя подвеска, которая предназначена для восприятия основных усилий, вызванных перевозимым грузом. Однако это не означает, транспортное положение крана-манипулятора, соответствующее первому случаю однозначно оказывает отрицательное влияние на нагруженность подвески базового шасси. Для этого необходимо исследовать динамические нагрузки в исследуемой системе с использованием следующих уравнений движения:

$$\begin{cases} m_0 \ddot{x}_0 + F_1 + F_2 + F_\kappa = 0; \\ J_0 \ddot{\varphi}_0 + F_1 l_1 + F_2 l_2 + F_\kappa l_k = 0; \\ m_1 \ddot{x}_1 - F_1 = 0; \\ m_2 \ddot{x}_2 - F_2 = 0; \\ m_k \ddot{x}_k - F_\kappa = 0, \end{cases} \quad (21)$$

где  $m_0, J_0$  – масса и момент инерции подрессоренной части базового шасси;  $m_1$  – приведенная масса неподрессоренной части переднего шасси;  $m_1, m_2$  – приведенная масса неподрессоренной части заднего шасси;  $m_k$  – приведенная к точке повеса груза масса крана-манипулятора;  $x_0, \varphi_0, x_1, x_2, x_k$  – обобщенные координаты системы;  $l_k$  – расстояние от центра тяжести базового шасси до точки установ-

ки крана-манипулятора;  $F_1, F_2, F_k$  – действующие в системе динамические усилия: в передней подвеске, в задней подвеске, в кране-манипуляторе (соответственно) [81].

Усилия в элементах исследуемой системы равны

$$\begin{aligned} F_1 &= c_1(x_0 - l_1 \sin \varphi_0 - x_1 - \xi_1) + \beta_1(\dot{x}_0 - l_1 \cos \dot{\varphi}_0 - \dot{x}_1); \\ F_2 &= c_2(x_0 + l_2 \sin \varphi_0 - x_2 - 0,5(\xi_2 + \xi_3)) + \beta_2(\dot{x}_0 + l_2 \cos \dot{\varphi}_0 - \dot{x}_2); \\ F_k &= c_k(x_0 - l_k \sin \varphi_0 - x_k - \xi_1) + \beta_k(\dot{x}_0 - l_k \cos \dot{\varphi}_0 - \dot{x}_k), \end{aligned}$$

где  $c_1, c_2$  – коэффициенты жесткости передней и задней подвески;  $\beta_1, \beta_2$  – коэффициенты диссипации передней и задней подвески;  $c_k, \beta_k$  – коэффициенты жесткости и диссипации металлоконструкции крана-манипулятора;  $\xi_i$  – координаты микронеровности опорной поверхности ( $i=1,2,3$ ) [81].

Начальные условия в момент модельного времени  $t=0$  с для интегрирования системы уравнений (21) – нулевые, кроме следующих:  $x_1(t=0) = x_{1cm}, x_2(t=0) = x_{2cm}, \varphi(t=0) = \varphi_{0cm}$  [81].

Микронеровность опорной поверхности моделируются с использованием известного алгоритма [86]. При моделировании используется одна реализация микронеровности для всех осей базового шасси. Для определения нужных точек реализации в произвольный момент времени  $t^*$  используются следующие выражения:

$$\begin{aligned} \xi_2(t^*) &= \xi_1(t^* - \Delta 1); \\ \xi_3(t^*) &= \xi_1(t^* - \Delta 3), \end{aligned}$$

где  $\Delta 1$  и  $\Delta 2$  – параметры, обозначающие время, за которое вторая и третья оси (соответственно) достигнут одной и той же точки реализации микронеровности, которую ранее прошла первая ось [81].

Параметры микронеровности вычисляются следующим образом:

$$\Delta 1 = \frac{l_1 + l_2 - b}{v_0}; \quad \Delta 2 = \frac{l_1 + l_2 + b}{v_0},$$

где  $b$  – база заднего двухосного моста базового шасси;  $v_0$  – скорость движения базового шасси (при моделировании принимается постоянной) [81].

С использованием предложенной математической модели выполнен анализ нагруженности подвески порожнего грузового автомобиля КамАЗ 53215 с тяжелым краном-манипулятором Kanglim KS3105. Для данной конструкции приняты следующие параметры модели:  $m_0 = 8500$  кг;  $m_1 = 160$  кг;  $m_2 = 820$  кг;  $c_1 = 1040$  кН/м;  $c_2 = 1956$  кН/м;  $c_k = 740$  кН/м;  $\beta_1 = 8$  кНс/м;  $\beta_2 = 8$  кНс/м;  $\beta_k = 1$  кНс/м;

$b = 0,66$  м;  $l_1 = 2,05$  м;  $l_2 = 1,935$  м;  $l_k = 1,05$  м;  $L = 3,5$  м;  $H = 2,2$  м;  $m_k = 6400$  кг;  $m_{z0} = 4000$  кг;  $v_0 = 10$  м/с; тип опорной поверхности – асфальто-бетонное покрытие в хорошем состоянии [81].

На рис. 65 приведены результаты расчета усилий в передней и задней подвеске исследуемого грузового автомобиля.

Анализ рис. 65 позволяет сделать следующие выводы:

- при передвижении базового грузового автомобиля после разворота манипуляционной системы стрелой вперед (расчетный случай 1) динамическая составляющая нагрузки на переднюю подвеску выше на 10...15%, чем при развороте манипуляционной системы стрелой назад (расчетный случай 2), в свою очередь, нагрузка на заднюю подвеску ниже на 8...9%;

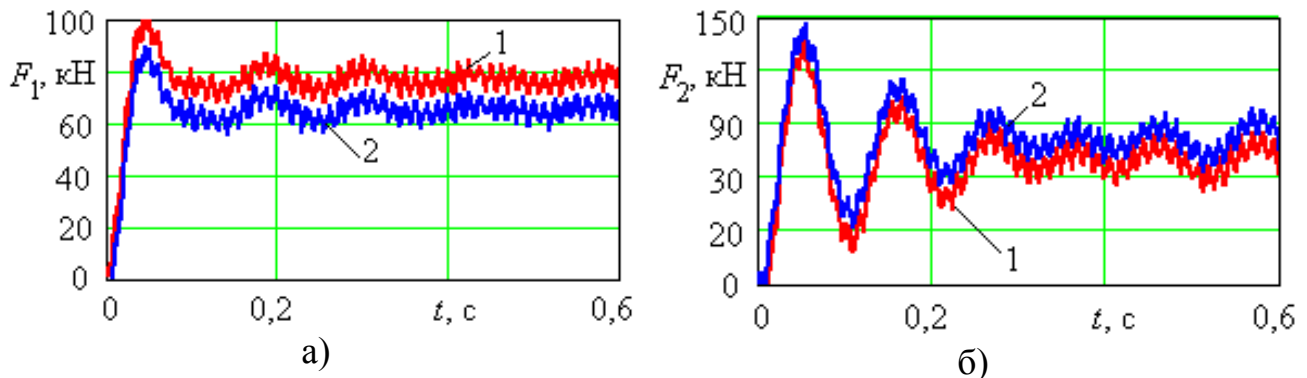


Рис. 65. Суммарные усилия в подвеске порожнего базового автомобиля, Н [81]: а – в передней подвеске; б – в задней подвеске (1 – расчетный случай 1; 2 – расчетный случай 2)

- после окончания переходного процесса в начале движения динамический процесс изменения усилий в подвеске базового грузового автомобиля определяется колебаниями крана-манипулятора (амплитуда изменения усилия в передней подвеске составляет 14 кН, в задней – 35 кН) и воздействием микронеровности опорной поверхности (амплитуда изменения усилия в передней подвеске составляет 6 кН, в задней – 13 кН);

- для грузового автомобиля без крана-манипулятора статическая составляющая нагрузки на переднюю подвеску составляет 71 кН, на заднюю – 75 кН; при ориентации манипуляционной системы стрелой вперед (расчетный случай 1) эти нагрузки равны 77 и 69 кН соответственно; при ориентации манипуляционной системы стрелой назад (расчетный случай 2) – 65 и 81 кН. Таким образом, расположение манипуляционной системы стрелой вперед приводит к значительной перегрузке передней подвески. Расположение манипуляци-

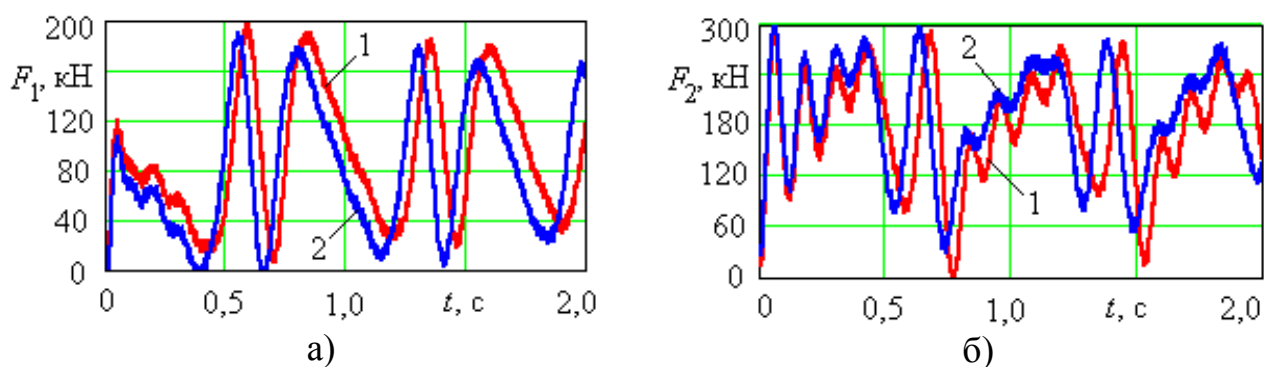


Рис. 66. Суммарные усилия в подвеске базового автомобиля в загруженном состоянии, Н [81]: а – в передней подвеске; б – в задней подвеске (1 – расчетный случай 1; 2 – расчетный случай 2)

онной системы стрелой назад приводит к разгрузке передней подвески. В то же время перегрузка задней подвески оказывается значительно ниже, так как она в большей степени рассчитана на восприятие веса груза [81].

Аналогичным образом выполнен анализ нагруженности подвески грузового автомобиля в загруженном состоянии, для которого приняты иные параметры модели:  $m_0 = 19650$  кг;  $l_1 = 2,69$  м;  $l_2 = 1,295$  м;  $l_k = 1,69$  м [81].

На рис. 66 приведены результаты расчета усилий в передней и задней подвеске исследуемого грузового автомобиля [81].

Анализ рис. 66 позволяет сделать вывод, что высокая инерционность основного груза в полностью загруженном автомобиле меняет характер динамического процесса – колебания манипуляционной системы уже не оказывают существенного влияния на величины действующих в подвеске усилий. Однако установленные выше общие закономерности влияния различных транспортных положений крана-манипулятора на нагруженность подвески остаются в силе [81].

В заключение необходимо отметить, что разработанная математическая модель и расчетная методика должны применяться для рационального выбора транспортной конфигурации манипуляционной системы при заданных в каждом конкретном случае характеристиках базового грузового автомобиля [81].

#### 2.4. Влияние микронеровности опорной поверхности базовой транспортно-технологической машины на нагруженность манипуляционной системы

При моделировании нагруженности манипуляционной системы при линейном движении мобильной транспортно-технологической

машины требуются данные об эквивалентной геометрической неровности опорной поверхности со спектральной плотностью  $G_\eta(\omega)$  [82]. Микронеровность опорной поверхности действует на базовую машину, а через нее - на манипуляционную систему и груз. Аналитическое выражение (22) для спектральной плотности неровностей пути соответствует случайному процессу:

$$G_\eta(\omega, v) = \frac{S_\eta^2}{2\sqrt{\pi}} \sum_{j=1}^n \frac{a_j}{\alpha_j v} \left[ \exp\left(-\frac{(\omega + \beta_j v)^2}{4\alpha_j^2 v^2}\right) + \exp\left(-\frac{(\omega - \beta_j v)^2}{4\alpha_j^2 v^2}\right) \right], \quad (22)$$

где  $S_\eta^2$  – дисперсия эквивалентной геометрической неровности;  $\omega$  – частота;  $\beta_j$  – частота  $j$ -го максимума спектральной плотности эквивалентной геометрической неровности;  $a_j$  – доля дисперсии, приходящейся на  $j$ -й максимум спектральной плотности эквивалентной геометрической неровности;  $\alpha_j$  – половина ширины  $j$ -го максимума спектральной плотности на половине его высоты [82; 145].

Параметры аналитического выражения спектральной плотности эквивалентной геометрической неровности при единичной скорости подбираются по данным экспериментальных исследований в зависимости от типа движителя (колесный, пневмоколесный, гусеничный, железнодорожный путь) и опорной поверхности (асфальто-бетонное покрытие, песок, глина, пересеченная местность, грунтовая дорога и т.д.) [82; 86; 140; 145]. Для мобильных транспортно-технологических машин, передвигающихся по грунту могут быть использованы следующие параметры спектральной плотности (табл. 5) [140].

Таблица 5

Параметры корреляционных функций [140]

Тип покрытия	Параметры					
	$S_\eta, \text{ м}$	$A_1$	$A_2$	$\alpha_1, \text{ м}^{-1}$	$\alpha_2, \text{ м}^{-1}$	$\beta, \text{ м}^{-1}$
Асфальтированное	0,008...0,012	0,85	0,15	0,200	0,05	0,600
Цементобетонное	0,005...0,012	1,00	–	0,150	–	–
Ровное булыжное	0,012...0,022	1,00	–	0,450	–	–
Разбитое булыжное	0,025...0,033	–	1,00	–	0,10	0,238
Изношенное бетонное	0,013...0,025	0,85	0,15	0,500	0,20	2,000
Крупнобулыжное	0,030...0,045	0,67	0,33	1,100	10,6	19,710
Грунтовая дорога	0,100...0,140	0,55	0,45	0,085	0,08	0,235

Случайный процесс, заданный функцией спектральной плотности, должен содержать  $M$  гармонических составляющих с частотами от  $f_{\min}$  до  $f_{\max}$  [82; 145]:

$$x(t) = \sum_{k=1}^M a_k \cos(2\pi f_k t) + b_k \sin(2\pi f_k t). \quad (23)$$

Формула (23) представляет собой спектральное разложение случайного процесса с ограниченным набором частот. Перейдем от непрерывного времени к дискретному [82; 145]:

$$x_i = \sum_{k=1}^M a_k \cos(2\pi \Delta t i) + b_k \sin(2\pi \Delta t i). \quad (24)$$

В соответствии с теоремой В.А. Котельникова [13] максимальная частота гармонической составляющей в реализации случайного процесса, формируемого с шагом по времени  $\Delta t$ , не может быть выше частоты Найквиста:

$$f_{\max} = F = \frac{1}{2\Delta t},$$

откуда шаг дискретизации

$$\Delta t = \frac{1}{2f_{\max}},$$

а число точек в реализации

$$N = \frac{T}{\Delta t} = 2T_0 2f_{\max},$$

где  $T_0$  – длительность формируемой реализации случайного процесса (24) [82; 145].

Максимальная разрешающая способность спектра моделируемого процесса при заданном  $\Delta t$  определяется числом точек реализации

$$\Delta f = \frac{1}{\Delta t N}$$

и частота  $k$ -й гармоники в (24) составляет

$$f_k = f_0 + k\Delta f = \frac{m+k}{N\Delta t},$$

где  $m = \frac{f_0}{\Delta f}$  [82; 145].

Теперь выражение (24) можно записать в виде

$$x_i = \sum_{k=1}^M a_k \cos \frac{2\pi(k+m)i}{N} + b_k \sin \frac{2\pi(k+m)i}{N}. \quad (25)$$



Максимальная разрешающая способность спектра (23), а, следовательно, и точность моделирования случайного процесса будет обеспечена при  $M = \frac{N}{2} - m$  [82; 145].

Выражение (25) можно представить в виде

$$x_i = \sum_{k=1}^M A_k \sin\left(2\pi \frac{(k+m)i}{N} + \varphi_k\right). \quad (26)$$

Выражение (26) представляет собой разложение случайного процесса  $x(t)$  в ряд Фурье на конечном интервале времени [82; 145].

Рассмотрим одну гармонику разложения (26)

$$x_{ik} = A_k \sin\left(2\pi \frac{(k+m)i}{N} + \varphi_k\right). \quad (27)$$

Можно считать, что выражение (27) представляет собой случайный процесс, у которого амплитуда и частота постоянны, а фаза  $\varphi_k$  – равномерно распределенная случайная величина в диапазоне  $\varphi_k \in [0; 2\pi]$  [82; 145].

Определим дисперсию процесса (26) [82; 145]

$$D_{x_k} = \frac{1}{T} \int_0^T \left[ A_k \sin\left(\frac{2\pi(k+m)i}{N} + \varphi_k\right) \right]^2 dt = f_k \int_0^{f_k} \left[ A_k \sin(2\pi f_k t + \varphi_k) \right]^2 dt = \frac{A_k^2}{2},$$

где  $T_k$  - период  $k$ -й гармоники.

Учитывая, что дисперсия  $k$ -й гармоники разложения (26) определяет ординату спектра процесса на частоте  $f_k$ , получим:

$$\frac{A_k^2}{2} = D_{x_k} = G_k \Delta f,$$

где  $A_k = \sqrt{2G_k \Delta f}$  [82; 145].

Теперь разложение (26) можно записать в виде [82; 145]:

$$x_i = \sum_{k=1}^M \sqrt{\frac{2G_k}{N\Delta t}} \sin\left(\frac{2\pi(k+m)i}{N} + \varphi_k\right), \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (28)$$

Если в выражении (28)  $\varphi_k$  являются независимыми случайными величинами, то все  $k$ -е составляющие процесса (28) также статистически независимы, и дисперсия процесса может быть определена как сумма дисперсий составляющих, т.е.

$$D_x = \sum_{k=1}^M D_{x_k} = \sum_{k=1}^M \frac{1}{2} \left( \sqrt{\frac{2G_k}{N\Delta t}} \right)^2 = \sum_{k=1}^M \frac{G_k}{N\Delta t} = \sum_{k=1}^M G_k \Delta f, \quad (29)$$

что соответствует исходному заданию дисперсии моделируемого процесса [82; 145].

При равномерном законе распределения фазы  $\varphi_k$  в диапазоне  $\varphi_k \in [0; 2\pi]$  закон распределения ординат  $k$ -й гармоники имеет вид:

$$p(x_k) = \begin{cases} \left(\pi \sqrt{X_k^2 - x_k^2}\right)^{-1}, & \text{при } |x_k| < X_k; \\ 0, & \text{при } |x_k| \geq X_k, \end{cases} \quad (30)$$

где  $X_k = \sqrt{\frac{2G_k}{N\Delta t}}$  – амплитуда  $k$ -й гармоники [8; 145].

Поскольку моделируемый процесс при каждом фиксированном моменте времени представляет собой сумму большого числа случайных величин, то, несмотря на то, что каждое из слагаемых имеет закон распределения (30), на основании центральной предельной теоремы [39; 161] можно утверждать, что закон распределения  $x_i$  при фиксированном  $i$  будет близок к нормальному с дисперсией, определяемой выражением (29) и нулевым средним [82; 145].

Программный код для генерации реализаций микронеровности опорной поверхности приведен в Приложении 2.

Для сравнения характеристик нагруженности при различных условиях движения динамика мобильной транспортно-технологической машины моделируется на тестовой трассе. Геометрическая неровность опорной поверхности вдоль трассы моделировалась с использованием выражения (26). При этом считается, что опорная поверхность под мобильной машиной не деформируется. Тестовая трасса состоит из 10 равных участков протяженностью 100 м. Продольный и поперечный профиль дороги (макронеровность) меняется от участка к участку (рис. 67). Продольный профиль состоит из горизонтальных участков, подъемов и спусков под углом  $5^\circ$ . Участок №10 имеет профиль синусоиды амплитудой 1 м, при этом на длине участка вмещается ее 10 периодов. Поперечный профиль состоит из горизонтальных участков и участков, наклоненных в одну сторону машины (на левый или правый борт) под углом  $5^\circ$ .

Микронеровность  $j$  дороги накладывается на макронеровность и соответствует асфальтобетонному покрытию ( $j=1$ ), грунтовой дороге ( $j=2$ ). Грунт опорного основания  $i$  соответствует абсолютно жесткой среде ( $j=1$ ), глинистому основанию ( $j=2$ ), песчаному основанию ( $j=3$ ).

Результаты моделирования процесса движения по тестовой трассе мобильной энергетической машины для сварки магистральных тру-

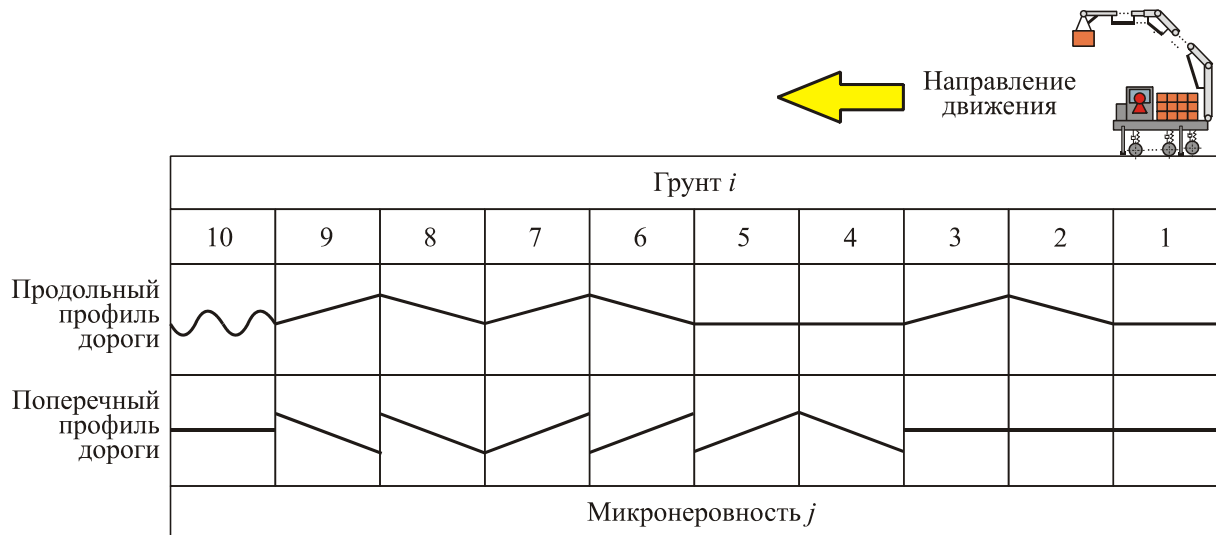


Рис. 67. Тестовая трасса для моделирования динамики мобильной транспортно-технологической машины

бопроводов АСТ-4-А [57; 74] со скоростью 1,4 м/с приведены на рис. 68 - 70. Звенья манипуляционной системы мобильной машины считаются упругими. Стрела манипуляционной системы ориентирована по направлению движения машины ( $\varphi_G = 0^\circ$ ).

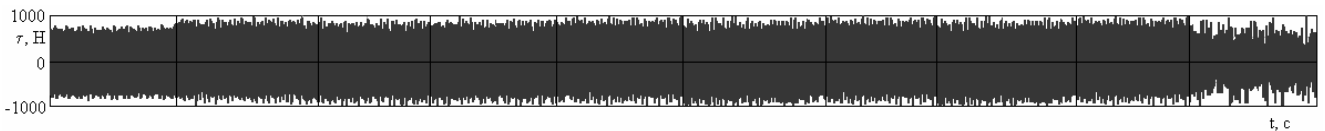


Рис. 68. Динамическая составляющая нагрузки в месте крепления крюка к рукояти при движении мобильной машины АСТ-4-А при движении по тестовой трассе с асфальтобетонным покрытием (общий вид)

Для сравнения динамической нагруженности манипуляционной системы при установке на колесное и гусеничное шасси была смоделирована динамика манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины АСТ-4-А, установленная на базовом шасси КамАЗ-65117. Результаты моделирования данной конструкции приведены на рис. 70.

Из рис. 69 и 70 видно, что нагруженность манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины при движении с грузом определяется влиянием микронеровности опорной поверхности и воздействием груза (рабочего органа).

Следует отметить, что колебания груза на грузозахватном органе также провоцируются колебаниями мобильной транспортно-технологической машины на микро- и макронеровностях. Геометричес-

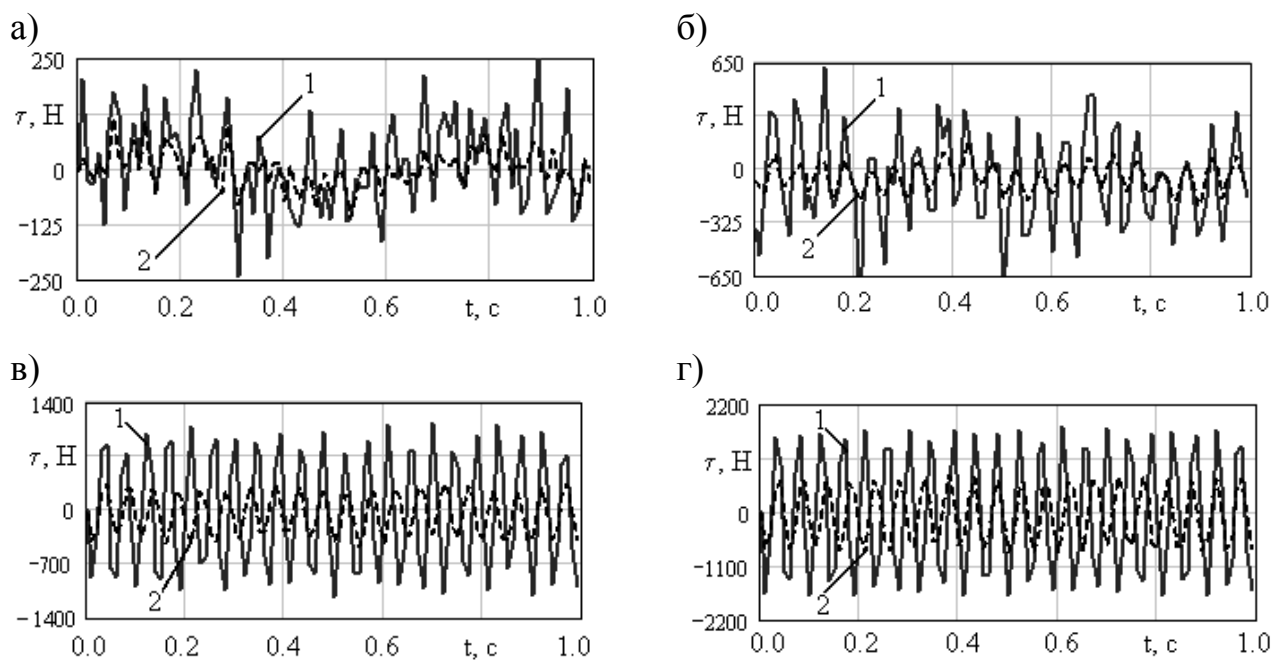


Рис. 69. Динамическая составляющая нагрузки при движении машины АСТ-4-А: а – в поворотной колонне; б – в стреле; в – в рукояти; г – месте крепления крюка к рукояти (1 – движение по грунтовой дороге; 2 – движение по асфальтобетонному покрытию)

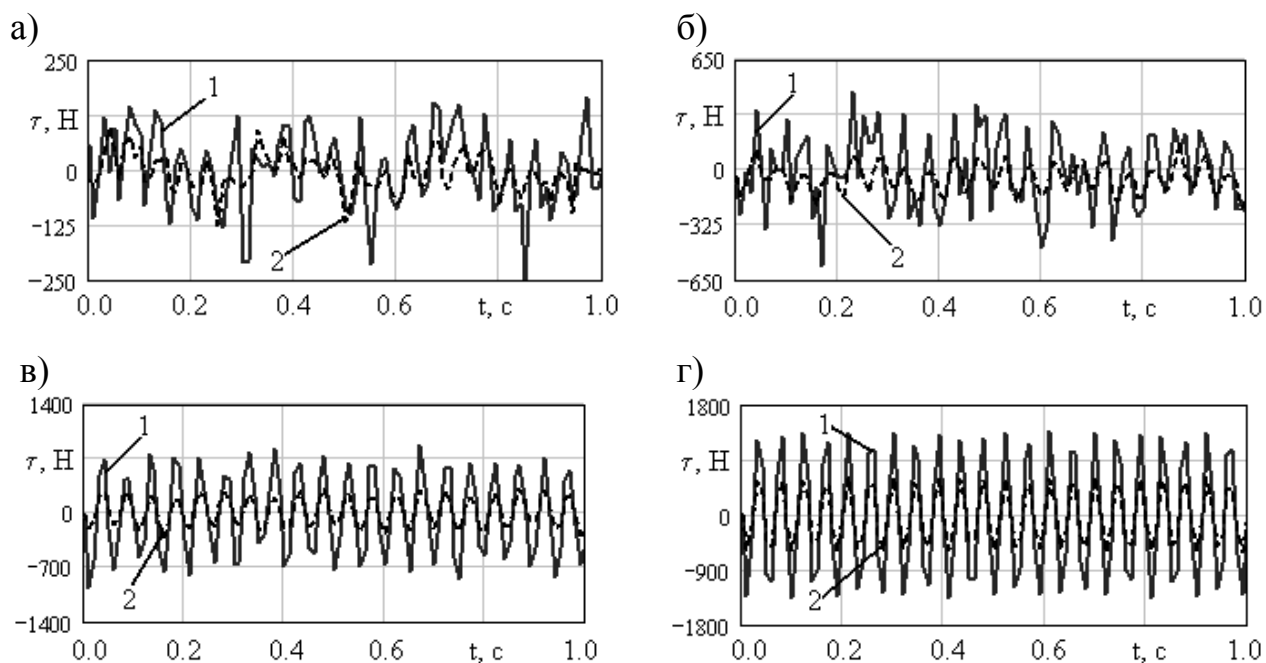


Рис. 70. Динамическая составляющая нагрузки при движении базового шасси КамАЗ-65117 с манипуляционной системой мобильной машины АСТ-4-А: а – в поворотной колонне; б – в стреле; в – в рукояти; г – месте крепления крюка к рукояти (1 – движение по грунтовой дороге; 2 – движение по асфальтобетонному покрытию)

кая неровность оказывает наибольшее влияние на нагруженность манипуляционной системы мобильной машины в элементах конструкции, наиболее приближенных к базовому шасси, это влияние снижается по мере приближения к грузозахватному органу. Противоположная ситуация наблюдается для влияния колебаний груза на грузозахватном органе (влияния вибронагрузки со стороны рабочего органа).

Максимальная амплитуда динамических усилий в несущей металлоконструкции манипуляционной системы, установленной на гусеничном шасси (трактор ТТ-4М), на 15...30 % выше, чем при установке на колесном шасси (КамАЗ-65117). В том числе, в поворотной колонне выше на 28% (215 Н и 276 Н); в стреле – на 17% (572 Н и 667Н); в рукояти – на 22% (970 Н и 1190 Н); месте крепления крюка к рукояти – на 26% (1350 Н и 1708 Н). Частоты колебаний манипуляционной системы, установленной на гусеничном шасси, также выше на 5...25 %.

При моделировании микронеровности трассы используется ее спектральная плотность. Результаты моделирования динамических характеристик (динамических усилий, виброперемещений и виброускорений) манипуляционной системы мобильной машины при движении с грузом могут быть представлены в виде совокупности реализаций, блоков нагружения, спектральной плотности.

На рис. 71 приведены графики спектральной плотности динамической составляющей нагрузки в манипуляционной системе при движении мобильной транспортно-технологической машины АСТ-4-А со скоростью 1,4 м/с, полученные на основе обработки результатов моделирования 100 тыс. проходов по тестовой трассе.

На рис. 72 приведены графики спектральной плотности динамической составляющей нагрузки в манипуляционной системе мобильной машины АСТ-4-А, установленной не на гусеничный трактор ТТ-4М, а на пневмоколесное шасси КамАЗ-65117, при движении со скоростью 1,4 м/с, полученные на основе обработки результатов моделирования 100 тыс. проходов по тестовой трассе.

Изменение динамической нагруженности манипуляционной системы мобильной машины при изменении скорости движения мобильной машины показано на рис. 73. Исследовалось движение на номинальной для машины АСТ-4-А скорости 1,4 м/с, на уменьшенной скорости 0,8 м/с и повышенной скорости 2,0 м/с.

С ростом скорости движения мобильной машины растет частота возмущения, так как за заданное время мобильная машина проходит

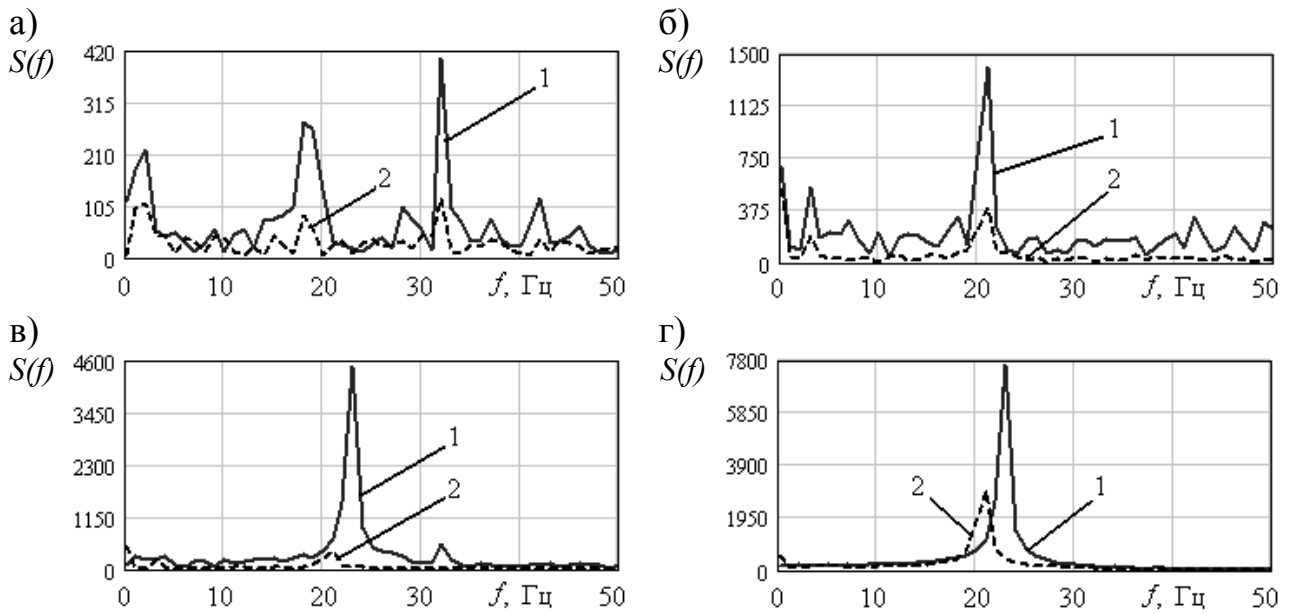


Рис. 71. Спектральная плотность динамической составляющей нагрузки при движении мобильной машины АСТ-4-А: а – в поворотной колонне; б – в стреле; в – в рукояти; г – месте крепления крюка к рукояти (1 – движение по грунтовой дороге; 2 – движение по асфальтобетонному покрытию)

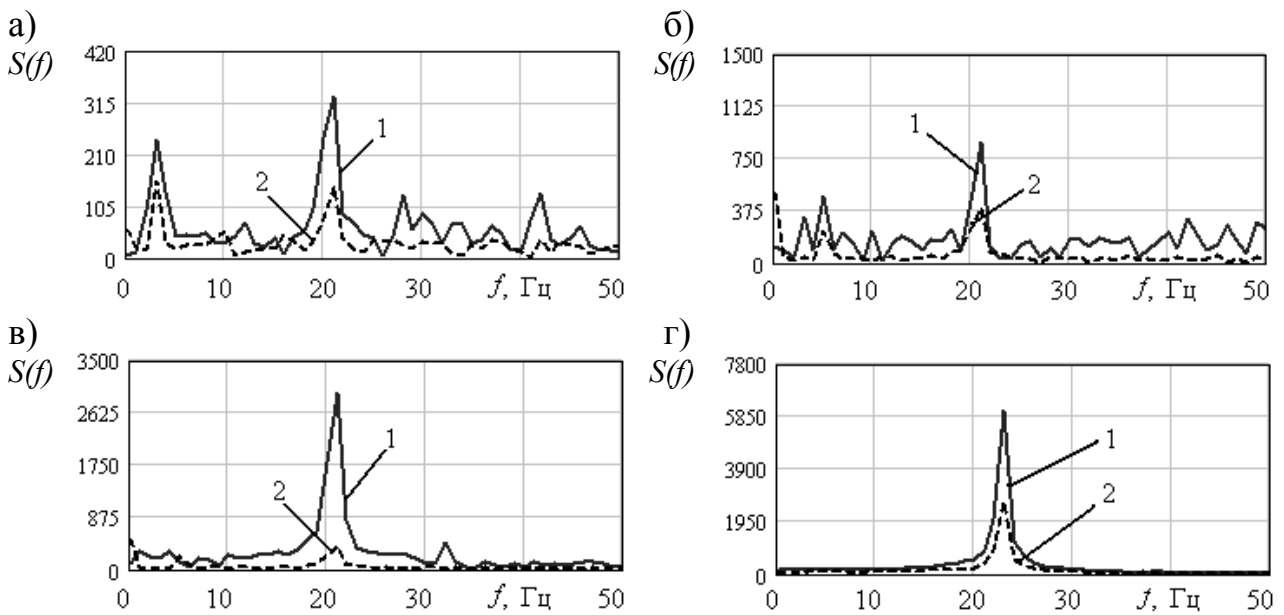


Рис. 72. Спектральная плотность динамической составляющей нагрузки при движении пневмоколесного шасси КамАЗ-65117 с манипуляционной системой мобильной машины АСТ-4-А: а – в поворотной колонне шарнирно-сочлененной стрелы; б – в стреле; в – в рукояти; г – месте крепления крюка к рукояти (1 – движение по грунтовой дороге; 2 – движение по асфальтобетонному покрытию)



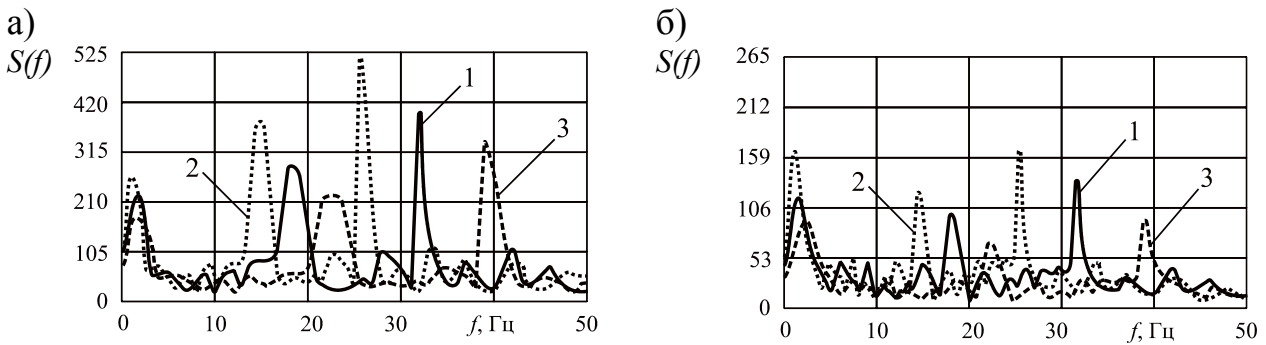


Рис. 73. Спектральная плотность динамической составляющей нагрузки в поворотной колонне шарнирно-сочлененной стрелы при движении мобильной транспортно-технологической машины АСТ-4-А: а – движение по грунтовой дороге; б – движение по асфальтобетонному покрытию (1 – со скоростью 1,4 м/с; 2 – со скоростью 0,8 м/с; 3 – со скоростью 2,0 м/с)

по микронеровности большее расстояние. Кроме этого, уменьшается амплитуда микронеровности, так как при повышении скорости опорные элементы движителя не успевают отработать физическую микронеровность. Таким образом, координаты вершин микронеровности существенно зависят от текущей скорости движения мобильной транспортно-технологической машины. В свою очередь, ее скорость влияет на нагруженность манипуляционной системы.

## 2.5. Совместное движение звеньев манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины

Звенья манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин могут двигаться одновременно [86]. Однако в ранних работах с целью упрощения решений предполагается, что все технологические операции выполняются манипулятором независимо друг от друга в различные моменты времени. Такая ситуация имеет место для некоторых манипуляторов [82]. С другой стороны, совмещение движений позволяет повысить эффективность использования кранов-манипуляторов за счет уменьшения времени выполнения цикла. Например, совмещение подъема и поворота манипулятора позволяет сократить время цикла в 1,5...1,8 раза [49; 86; 142].

В силу отмеченных вариантов кинематической схемы манипуляционной системы мобильной машины с точки зрения особенностей динамических процессов следует отличать совместное движение нескольких поворотных звеньев (звеньев, присоединенных к предыдущим звеньям с помощью цилиндрических шарниров) и движение по-

воротного звена с одновременным движением телескопического звена (звена, присоединенного к предыдущему звену с помощью призматического шарнира) [86].

Гидропривод манипуляционной системы мобильной энергетической машины АСТ-4-А для сварки магистральных трубопроводов допускает одновременное движение рукояти и шарнирно-сочлененной стрелы. При этом подача насоса гидросистемы распределяется между гидроцилиндрами через делитель расхода МКДС 20/32П-I УХЛ 1 [57; 86].

График изменения вертикальной координаты точки подвеса груза манипуляционной системы мобильной машины АСТ-4-А при совместном движении стрелы и рукояти показан на рис. 74. Через 15...16 с рукоять достигает крайнего положения и ее привод отключается. Это вызывает временное увеличение амплитуды колебаний (переходный процесс). Остальное время работает только привод стрелы. Как только стрела достигает крайнего положения, гидропривод манипуляционной системы полностью отключается. Совмещение движений приводит к сокращению времени цикла на 40% [91].

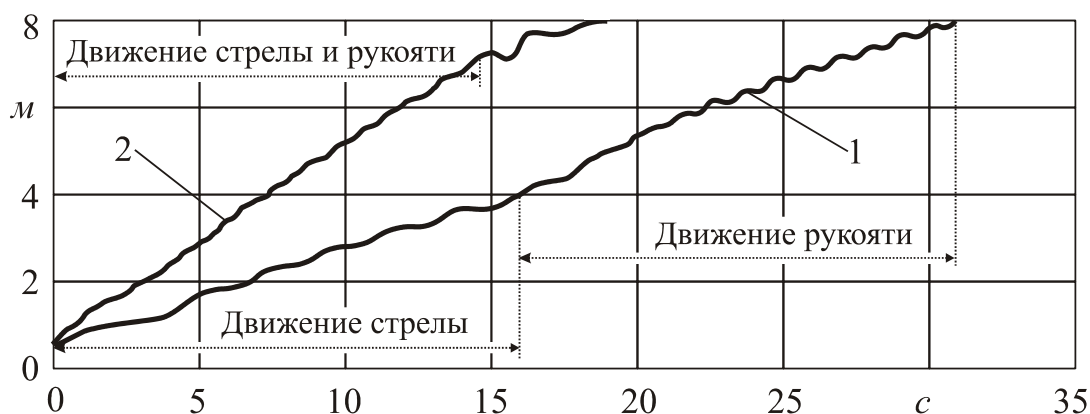


Рис. 74. График изменения вертикальной координаты точки подвеса груза манипуляционной системы мобильной машины АСТ-4-А: 1 – при раздельном движении (сначала движется стрела, потом – рукоять); 2 – при совместном движении [91]

График изменения усилий в гидроцилиндрах манипуляционной системы мобильной машины АСТ-4-А при совместном движении стрелы и рукояти показан на рис. 75. Совмещение движений приводит к уменьшению усилий на 25...30 %.

Манипуляционная система мобильной машины АСТ-4-А содержит только поворотные звенья, поэтому совместное движение поворотного и призматического звена изучено применительно к крану-ма-

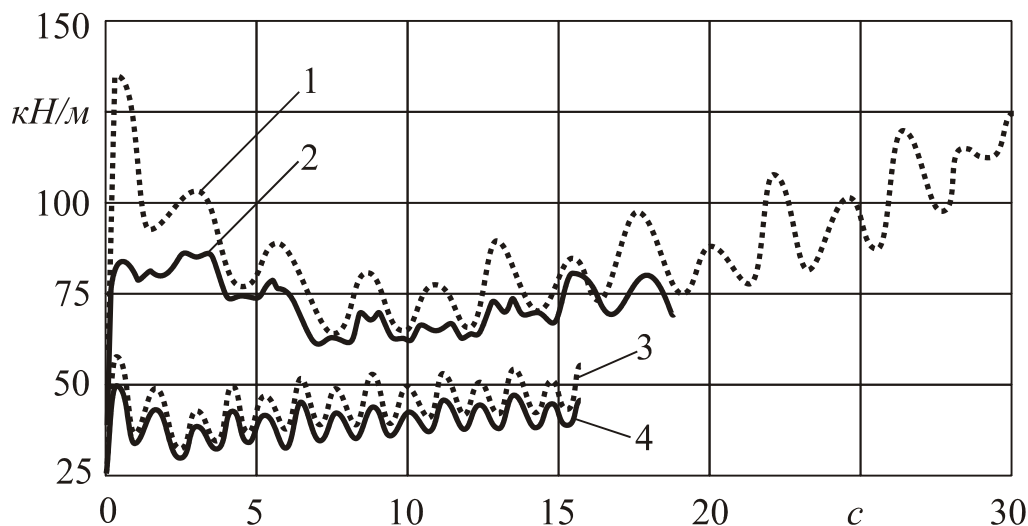


Рис. 75. График изменения усилий в гидроцилиндрах манипуляционной системы мобильной машины АСТ-4-А [91]:

- 1, 2 – гидроцилиндр привода стрелы; 3, 4 – гидроцилиндр привода рукояти;  
 1, 3 – при раздельном движении (сначала движется стрела, потом – рукоять);  
 2, 4 – при совместном движении

манипулятору FASSI F290, размещенного на базе грузового автомобиля Mercedes Atego 1823. В ходе исследования выполнялась работа с грузом массой 3,3 т [91].

Изменение конфигурации стрелы манипуляционной системы показано на рис. 76. Начальная конфигурация: третье поворотное звено ориентировано под углом  $\varphi = -13,5^\circ$  к горизонту, первая телескопическая секция выдвинута на 0,4 м. В процессе работы третье поворотное звено движется до того момента, пока угол его ориентации не достигнет значения  $\varphi = 42,5^\circ$  к горизонту (через 18 с после начала движения). При этом через 6 с после начала движения первая телескопическая секция выдвигается на 0,1 м, а через 16 с – задвигается на 0,3 м и стрела приходит к конечной конфигурации [91].

Сравнение результатов компьютерного моделирования и результатов экспериментальных исследований по методике [86] приведено на рис. 77 и 78.

На графике (рис. 77) видно, что первое телескопическое звено начинает выдвигаться не строго через 6 с после начала цикла, а через 5,5...6,2 с; задвигаться – через 16,5...18,0 с. В свою очередь, это приводит к разбросу времени цикла работы манипуляционной системы в диапазоне 19,0...22,0 с [91].

Указанный разброс параметров связан с ручным управлением манипуляционной системой. Оператор в силу физических ограничений не может строго выдерживать заданную траекторию движения

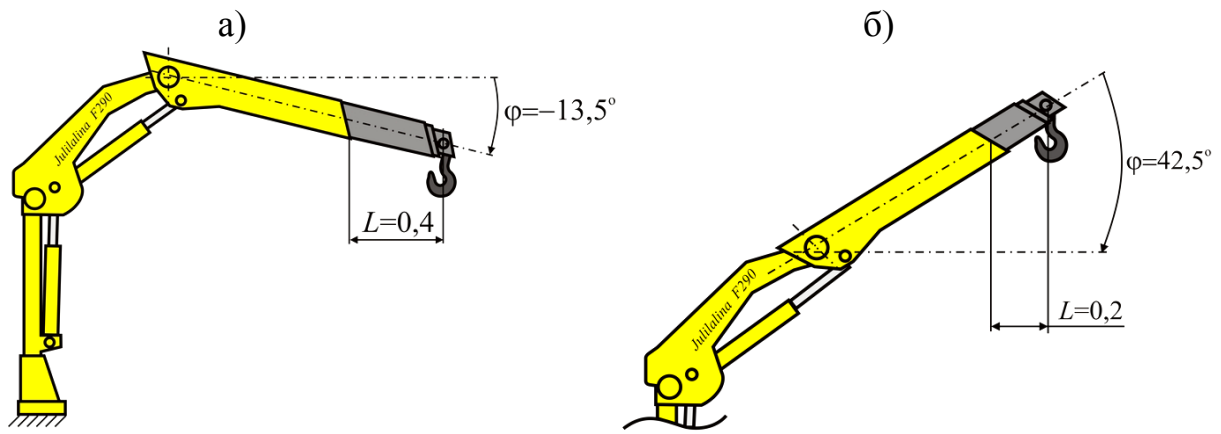


Рис. 76. Изменение конфигурации стрелы исследуемого крана-манипулятора:  
а – начальная конфигурация; б – конечная конфигурация [91]

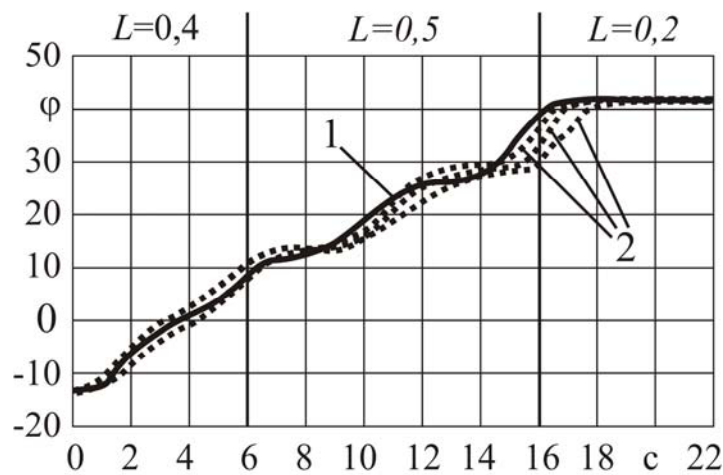


Рис. 77. Изменение угла ориентации третьего поворотного звена [91]:  
1 – результат расчета; 2 – результаты эксперимента

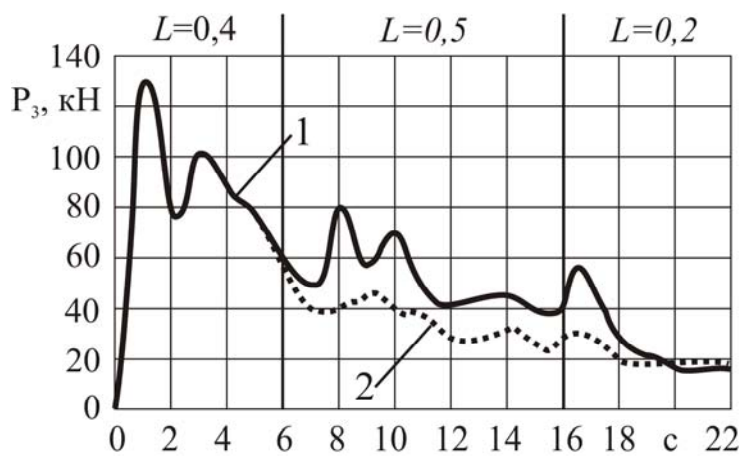


Рис. 78. Усилие  $P_3$  в гидроцилиндре привода третьего поворотного звена [91]:  
1 – совместное движение; 2 – раздельное движение

груза, от цикла к циклу идентично управлять движением отдельных звеньев (включать и выключать гидроцилиндры в одно и то же время). Это подтверждает рассуждения, что современные манипуляционные системы мобильных транспортно-технологических машин имеют особенности по сравнению с промышленными манипуляционными роботами [91; 93].

Выше показано, что совмещение движений поворотных звеньев позволяет снизить преодолеваемые гидроцилиндрами усилия. Совмещение движения поворотных и телескопических звеньев приводит к изменению усилий, преодолеваемых гидроцилиндрами, на 30...40% (рис. 78). Причем в этом случае усилия могут как снизиться, так и возрасти. Это объясняется изменением инерционных нагрузок, зависящих от текущих значений мгновенных скоростей звеньев, и изменением момента инерции движущейся части стрелы относительно цилиндрического шарнира. В рассмотренном случае сначала происходит поворот третьего поворотного звена, а потом выполняется выдвижение телескопического звена, поэтому совмещение движений приводит к увеличению усилий [91].

## **2.6. Совместное движение манипуляционной системы и базовой машины**

Мобильные транспортно-технологические машины специального назначения во время движения могут изменять конфигурацию манипуляционной системы при работе с грузом. На рис. 79 и 80 приведены результаты моделирования движения элементов манипуляционной системы при движении мобильной машины АСТ-4-А по тестовой трассе со скоростью 1,4 м/с. При моделировании звенья шарнирно-сочлененной стрелы манипуляционной системы считались упругими.

Результаты моделирования показывают, что при начале работы манипуляционной системы наибольший вклад в нагруженность вносит движение звеньев, а вклад микронеровности пути в общую нагруженность конструкции не превышает 10%. Наибольшая составляющая энергии колебаний сосредоточена на основной частоте колебаний манипуляционной системы при повороте звена (в данном случае  $\approx 12$  Гц).

Таким образом, для моделирования работы манипуляционной системы при движении мобильной транспортно-технологической машины возможно использовать модель неподвижной мобильной ма-

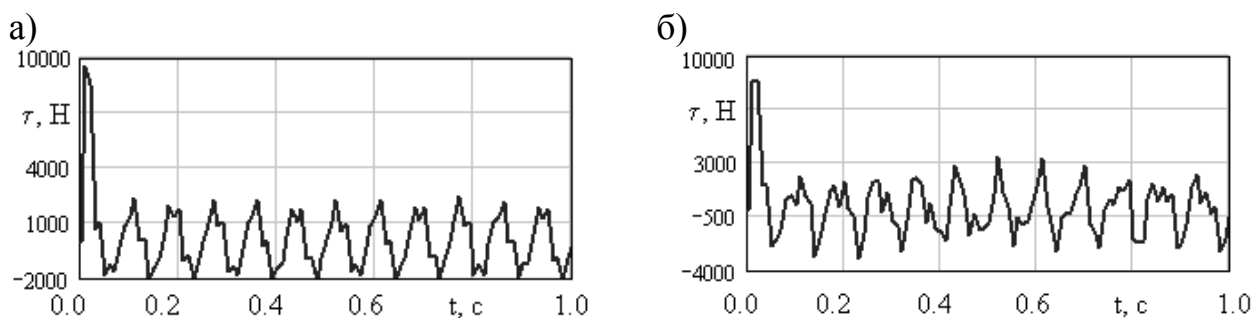


Рис. 79. Динамическая составляющая нагрузки при повороте рукояти манипуляционной системы мобильной машины АСТ-4-А при движении базовой машины по асфальтобетонному покрытию: а – в поворотной колонне; б – месте крепления крюка к рукояти

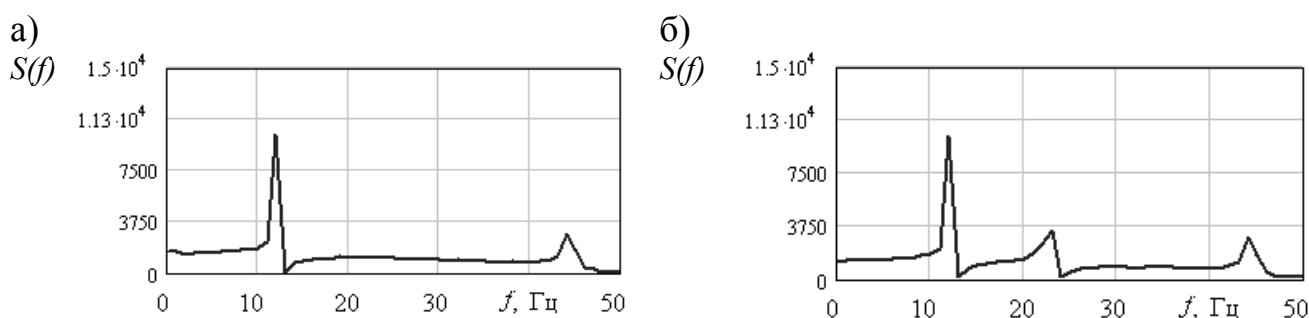


Рис. 80. Спектральная плотность динамической составляющей нагрузки: а – в поворотной колонне; б – месте крепления крюка к рукояти при повороте рукояти манипуляционной системы мобильной машины АСТ-4-А при движении базовой машины по асфальтобетонному покрытию

шины с учетом углов крена базового шасси (с учетом макронеровности). Однако при анализе нагруженности неподвижной манипуляционной системы при движении мобильной машины необходимо использовать комплексную модель манипуляционной системы [86], учитывающую влияние опорной поверхности и базового шасси.

## 2.7. Рабочие процессы в гидроприводе манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины

Требуемое повышение автоматизации управления невозможно без более широкого применения возможностей гидропривода в управлении рабочими процессами манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин. Для исследования рабочих процессов гидропривода манипуляционных систем с несколькими гидродвигателями предложены следующие математические модели [86].

Методической особенностью построения математической модели гидропривода манипулятора является то, что для манипуляционных



систем мобильных транспортно-технологических машин характерно большое разнообразие конструктивного исполнения силового гидропривода, включая вид гидравлических схем, перечень и количество входящих в них структурных элементов [32; 86]. Это вызвано рядом причин [86]:

- различным числом движений, для выполнения каждого из которых требуется отдельный или два параллельно работающих гидродвигателя соответствующего виду движения типа с набором обеспечивающих их работу гидроустройств и гидролиний;

- широким диапазоном преодолеваемых гидроприводом эксплуатационных нагрузок, для реализации которого требуется использование значительного числа типоразмеров гидроустройств.

В то же время, совпадение функционального назначения силового гидропривода в различных мобильных транспортно-технологических машинах обуславливает общность подходов к его проектированию и, как следствие, принципиальную схожесть гидравлических схем и использование схожих типов гидроустройств [86].

Поэтому построение математической модели силового гидропривода, ориентированной на ее включение в структуру комплексной математической модели многоцелевой мобильной транспортно-технологической машины, рассмотрим применительно к гидравлической схеме и составу гидроустройств гидропривода (рис. 80) [86].

На рис. 81 указаны необходимые количественные параметры модели, включая как данные о внешних воздействиях на гидропривод, так и данные о внутренних свойствах самого гидропривода. Для иного конструктивного исполнения гидропривода принцип построения математической модели сохранится, однако потребуются коррекция значений параметров модели [86].

При построении математической модели гидропривода манипуляционной системы были использованы допущения о несжимаемости рабочей жидкости.

Для математической модели гидропривода манипуляционной системы входной информацией о внешних воздействиях, являются:

- движущий момент  $M_{Дн}$  и скорость вращения  $\omega_n$  приводного вала насоса;

- усилия  $F_{C,зци}$  (моменты сил  $M_{C,зци}$ ) со стороны звеньев манипуляционной системы, приведенные к штоку гидроцилиндров (выходному валу поворотных двигателей или гидромоторов);

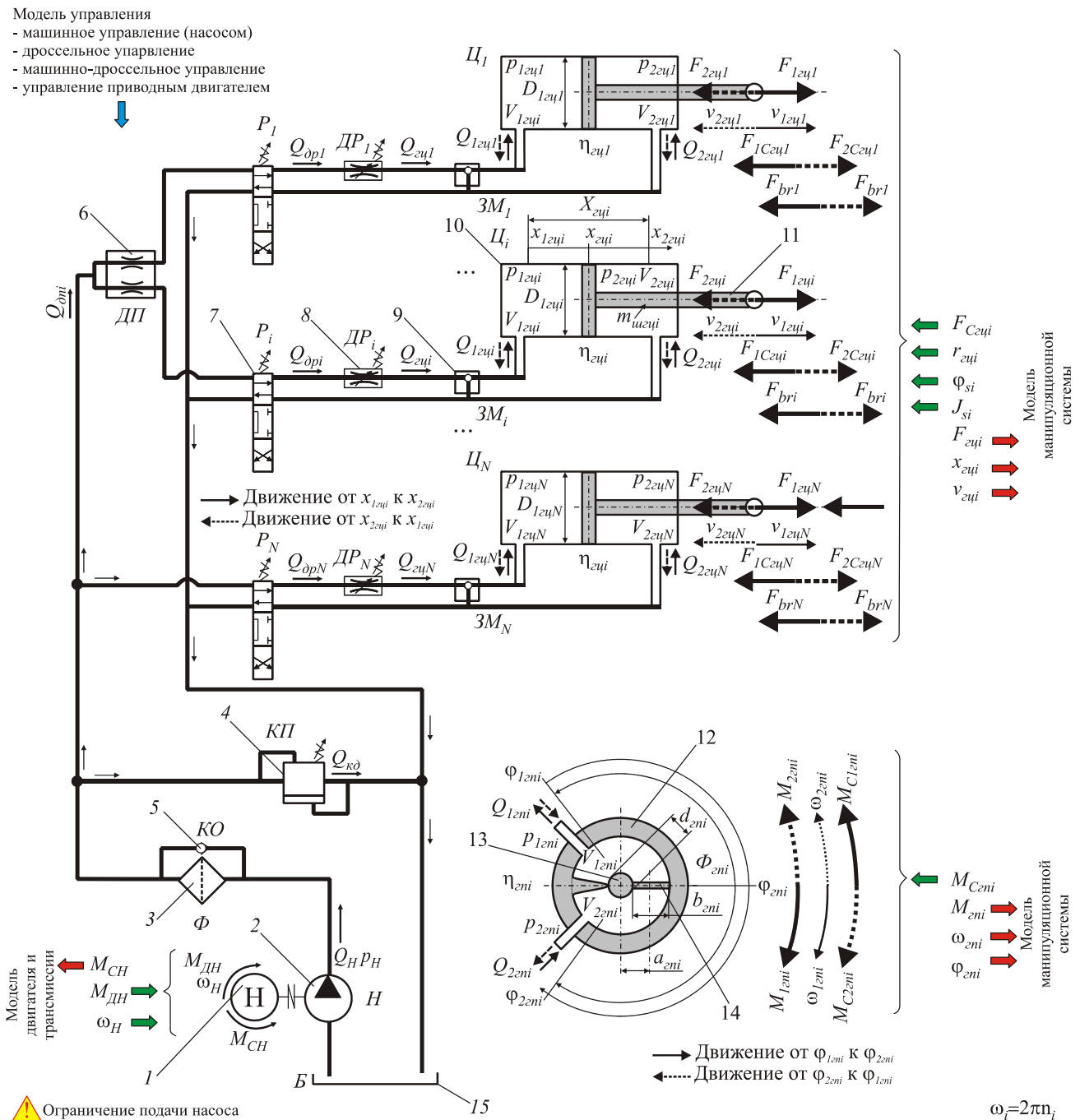


Рис. 81. Модель гидропривода манипуляционной системы [86]:

1 – приводящий двигатель; 2 – насос; 3 – фильтр; 4 – клапан давления (предохранительный или переливной); 5 – обратный клапан; 6 – делитель потока; 7 – гидрораспределитель; 8 – дроссель; 9 – гидрозамок; 10 – гидроцилиндр; 11 – шток гидроцилиндра; 12 – поворотный гидродвигатель; 13 – вал поворотного гидродвигателя; 14 – шибер поворотного гидродвигателя; 15 – гидробак

- графики изменения перепада давлений на регулируемых гидродросселях и усилия (момента) торможения выходного звена гидродвигателя, производимые оператором при выполнении движения  $i$ -м звеном манипуляционной системы и составляющие модель управле-

ния, исходя из реализованного в конструкции мобильной транспортно-технологической машины типа управления гидроприводом [86].

При проведении работ гидрофицированными мобильными транспортно-технологическими машинами одновременно могут работать один или два гидродвигателя, так как допустимо совмещение операций, перечень которых устанавливается в паспорте крана. Например, операции подъема-опускания груза или стрелы могут совмещаться с поворотом крано-манипуляторной установки или с выдвижением-втягиванием телескопических звеньев. Поэтому математическая модель гидропривода манипуляционной системы структурно складывается из нескольких подмоделей общим числом

$$n_{nm} = n_{pd} + 2n_{cd},$$

где  $n_{pd}$ ,  $n_{cd}$  – количество отдельных и разрешенных совмещенных движений манипуляционной системы [86].

Каждая из подмоделей характеризует гидравлические процессы, протекающие в гидроприводе манипуляционной системы при прямом и обратном перемещениях выходного звена гидродвигателя (случай отдельного выполнения движений) или при возможных сочетаниях прямого и обратного перемещений выходных звеньев двух гидродвигателей (случай совмещенного выполнения движений) при различных способах управления. Структурные схемы указанных подмоделей приведены на рис. 82 [86].

В структурных схемах подмоделей с машинным управлением (рис. 82, а, б) цифрами обозначены характерные точки по пути напорного течения рабочей жидкости от выхода насоса (точка 1) до входа в рабочую полость гидродвигателя ГД (точка 3) или совместно работающих гидродвигателей ГД<sub>1</sub> (точка 4) и ГД<sub>2</sub> (точка 6), а также по пути сливного течения рабочей жидкости от выхода из холостой полости гидродвигателя ГД (точка 4) или совместно работающих гидродвигателей ГД<sub>1</sub> (точка 5) и ГД<sub>2</sub> (точка 7) до гидробака (точка 0). Точка 2 соответствует месту установки предохранительного клапана давления, при открытии которого часть жидкости объемным расходом  $\Delta Q_k$  сливается в гидробак, минуя гидродвигатели. Структурные схемы подмоделей с дроссельным управлением (рис. 82, в, г) имеют похожий вид, однако в них отдельно учитываются регулируемые гидродроссели, установленные на входе и выходе из гидродвигателя [86].

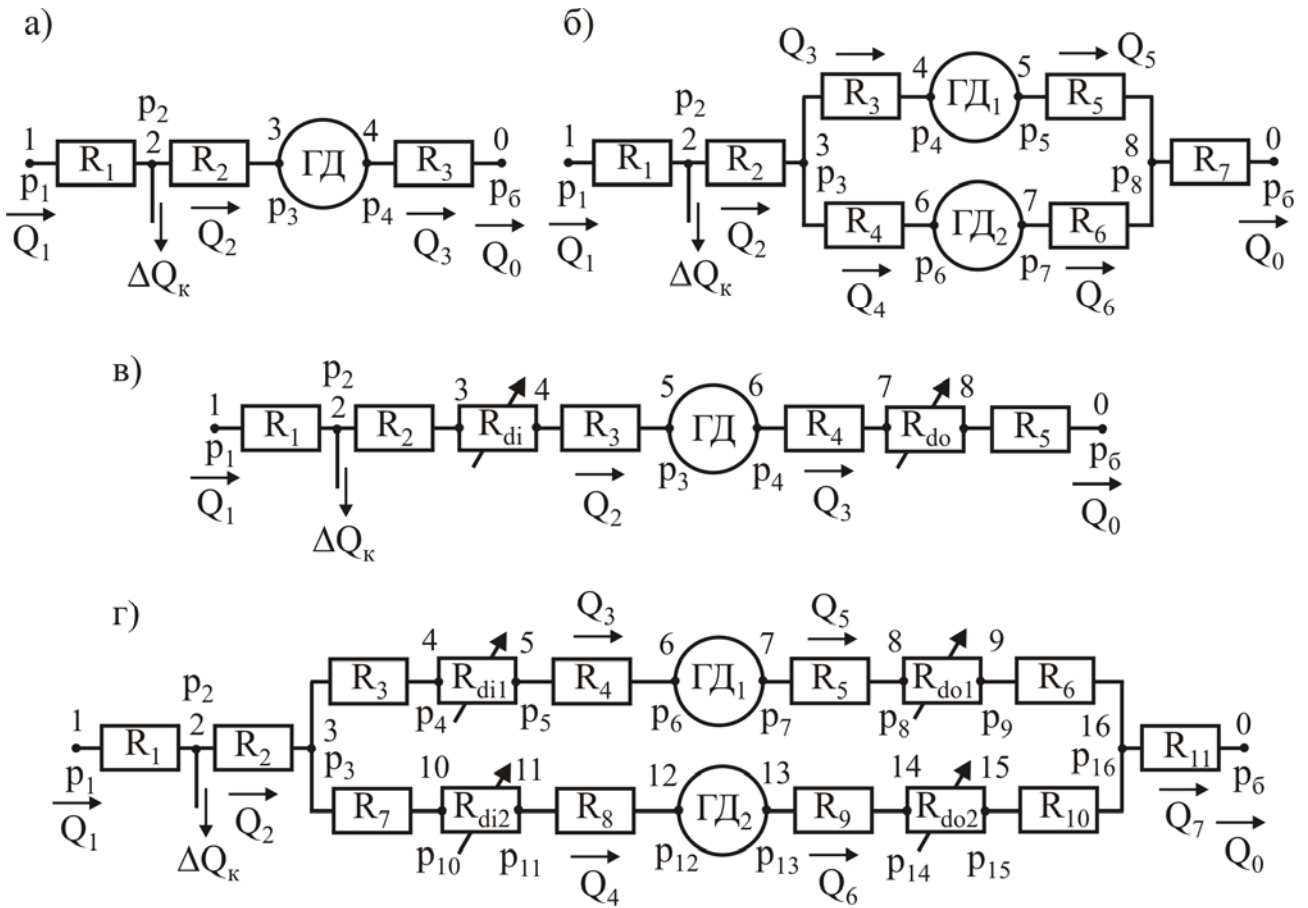


Рис. 82. Структурные схемы подмоделей математической модели гидропривода манипуляционной системы [86]: а, в – раздельное движение; б, г – совмещенное движение; а, б – машинное управление; в, г – дроссельное управление

В процессе моделирования в каждой характерной  $i$ -й точке структурной схемы подлежат определению значения давления  $p_i$ , а на участке гидросистемы – значения объемных расходов  $Q_j$  [86].

Для приведенных на рис. 82 структурных моделей системы из дифференциальных и алгебраических уравнений относительно искомым неизвестных  $p_i$  и  $Q_j$  применительно к гидродвигателям-гидроцилиндрам имеют следующий вид [86]:

- раздельное движение, машинное управление (рис. 82, а)

$$\left( \frac{m_{np, \text{cy}1}}{A_{1, \text{cy}1}} \right) \dot{Q}_2 = (A_{1, \text{cy}1} p_3 - A_{2, \text{cy}1} p_4) \eta_{\text{cy}1} - F_{1C, \text{cy}1} - F_{br, \text{cy}1} ;$$

$$p_1 = f(Q_1); \quad p_2 = p_1 - R_1; \quad p_3 = p_2 - R_2; \quad (31)$$

$$p_4 = p_6 + R_3; \quad Q_1 = (Q_2 / \zeta_2 + \Delta Q_k) / \zeta_1; \quad Q_3 = (A_{2, \text{cy}1} / A_{1, \text{cy}1}) Q_2;$$

$$Q_0 = \zeta_3 Q_3 \quad \Delta Q_k = f(p_2),$$

- совмещенное движение, машинное управление (рис. 82, б)

$$\left( \frac{m_{np, \varepsilon y1}}{A_{1, \varepsilon y1}} \right) \dot{Q}_3 = (A_{1, \varepsilon y1} p_4 - A_{2, \varepsilon y1} p_5) \eta_{\varepsilon y1} - F_{1C, \varepsilon y1} - F_{br, \varepsilon y1} ;$$

$$\left( \frac{m_{np, \varepsilon y2}}{A_{1, \varepsilon y2}} \right) \dot{Q}_4 = (A_{1, \varepsilon y2} p_6 - A_{2, \varepsilon y2} p_7) \eta_{\varepsilon y2} - F_{1C, \varepsilon y2} - F_{br, \varepsilon y2} ;$$

$$p_1 = f(Q_1) ; \quad p_2 = p_1 - R_1 ; \quad p_3 = p_2 - R_2 ;$$

$$p_4 = p_3 - R_3 ; \quad p_5 = p_8 + R_5 ; \quad p_6 = p_3 - R_4 ;$$

$$p_7 = p_8 + R_6 ; \quad p_8 = p_6 + R_7 ;$$

$$Q_1 = (Q_2 / \zeta_2 + \Delta Q_\kappa) / \zeta_1 ; \quad Q_2 = Q_3 / \zeta_3 + Q_4 / \zeta_4 ;$$

$$Q_5 = (A_{2, \varepsilon y1} / A_{1, \varepsilon y1}) Q_3 ; \quad Q_6 = (A_{2, \varepsilon y2} / A_{1, \varepsilon y2}) Q_4 ;$$

$$Q_0 = (\zeta_5 Q_5 + \zeta_6 Q_6) \zeta_7 ; \quad \Delta Q_\kappa = f(p_2) ,$$

- раздельное движение, дроссельное управление (рис. 82, в)

$$\left( \frac{m_{np, \varepsilon y1}}{A_{1, \varepsilon y1}} \right) \dot{Q}_2 = (A_{1, \varepsilon y1} p_5 - A_{2, \varepsilon y1} p_6) \eta_{\varepsilon y1} - F_{1C, \varepsilon y1} - F_{br, \varepsilon y1} ;$$

$$p_1 = f(Q_1) ; \quad p_2 = p_1 - R_1 ; \quad p_3 = p_2 - R_2 ;$$

$$p_4 = p_3 - \Delta p_{di1} ; \quad p_5 = p_4 - R_3 ; \quad p_6 = p_7 + R_4 ;$$

$$p_7 = p_8 + \Delta p_{do1} ; \quad p_8 = p_6 + R_5 ; \quad Q_1 = (Q_2 / \zeta_2 \zeta_3 + \Delta Q_\kappa) / \zeta_1 ;$$

$$Q_3 = (A_{2, \varepsilon y1} / A_{1, \varepsilon y1}) Q_2 ; \quad Q_0 = \zeta_3 Q_{4-5} \quad \Delta Q_\kappa = f(p_2) ,$$

- совмещенное движение, дроссельное управление (рис. 82, г)

$$\left( \frac{m_{np, \varepsilon y1}}{A_{1, \varepsilon y1}} \right) \dot{Q}_3 = (A_{1, \varepsilon y1} p_6 - A_{2, \varepsilon y1} p_7) \eta_{\varepsilon y1} - F_{1C, \varepsilon y1} - F_{br, \varepsilon y1} ;$$

$$\left( \frac{m_{np, \varepsilon y2}}{A_{1, \varepsilon y2}} \right) \dot{Q}_4 = (A_{1, \varepsilon y2} p_{12} - A_{2, \varepsilon y2} p_{13}) \eta_{\varepsilon y2} - F_{1C, \varepsilon y2} - F_{br, \varepsilon y2} ;$$

$$p_1 = f(Q_1) ; \quad p_2 = p_1 - R_1 ; \quad p_3 = p_2 - R_2 ;$$

$$p_4 = p_3 - R_3 ; \quad p_5 = p_4 - \Delta p_{di1} ; \quad p_6 = p_5 - R_4 ;$$

$$p_7 = p_8 + R_5 ; \quad p_8 = p_9 + \Delta p_{do1} ; \quad p_9 = p_{16} + R_6 ;$$

$$p_{10} = p_3 - R_7 ; \quad p_{11} = p_{10} - \Delta p_{di2} ; \quad p_{12} = p_{11} - R_8 ;$$

$$p_{13} = p_{14} + R_0 ; \quad p_{14} = p_{15} + \Delta p_{do2} ; \quad p_{15} = p_{16} + R_{10} ;$$

$$p_{16} = p_6 + R_{11} ; \quad \Delta Q_\kappa = f(p_2) ; \quad Q_0 = (\zeta_5 Q_5 + \zeta_6 Q_6) \zeta_7 ;$$

$$Q_1 = (Q_2 / \zeta_2 + \Delta Q_\kappa) / \zeta_1 ; \quad Q_2 = Q_3 / \zeta_3 \zeta_4 + Q_4 / \zeta_7 \zeta_8 ;$$

$$Q_5 = (A_{2, \varepsilon y1} / A_{1, \varepsilon y1}) Q_3 ; \quad Q_6 = (A_{2, \varepsilon y2} / A_{1, \varepsilon y2}) Q_4 ,$$

где  $m_{np,зци}$  – приведенная к штоку  $i$ -го гидроцилиндра масса движущихся частей гидроцилиндра, звеньев манипуляционной системы и груза;  $A_{j,зци}$  – площадь поршня  $i$ -го гидроцилиндра со стороны  $j$ -й полости;  $F_{1C,зци}$  – эксплуатационная нагрузка при движении штока  $i$ -го гидроцилиндра в  $j$ -м направлении;  $F_{br,зци}$  – внешнее тормозное усилие, прикладываемое к штоку  $i$ -го гидроцилиндра;  $f(Q_1)$  – зависимость вида  $Q \sim p$ , (паспортная характеристика насоса);  $R_m, \zeta_m$  – потеря давления и коэффициент внешних утечек рабочей жидкости на  $m$ -м участке гидросистемы между двумя последовательными характерными точками;  $\Delta Q_k$  – расход жидкости, проходящей через клапан давления;  $f(p_2)$  – статическая характеристика клапана давления;  $\Delta p_{dij}, \Delta p_{doj}$  – регулируемый перепад давления на гидродросселях на входе и выходе из  $j$ -го гидродвигателя;  $\eta_{зци}$  – механический коэффициент полезного действия  $i$ -го гидроцилиндра.

В случае раздельного движения начальные условия для интегрирования дифференциального уравнения движения штока гидроцилиндра в момент времени  $\tau = 0$  имеют вид:

$$Q_2(\tau = 0) = Q_n / \zeta_1 \zeta_2; \quad p_3(\tau = 0) = p_n; \quad p_4(\tau = 0) = p_{4,0} \\ \text{(или } p_5(\tau = 0) = p_n; \quad p_6(\tau = 0) = p_{6,0}), \quad (35)$$

где  $p_{4,0}$  ( $p_{6,0}$ ) – начальное давление в точке 4 (6), т.е. в полости гидродвигателя после выполнения им предыдущего движения [86].

В случае совмещенного движения начальные условия для интегрирования уравнения движения штока первого включенного гидроцилиндра ( $ГД_1$ ) аналогичны зависимостям (35):

$$Q_3(\tau = 0) = Q_n / \zeta_1 \zeta_2 \zeta_3;$$

$$p_4(\tau = 0) = p_n; \quad p_5(\tau = 0) = p_{5,0} \quad \text{(или } p_6(\tau = 0) = p_n; \quad p_7(\tau = 0) = p_{7,0}),$$

а для второго гидроцилиндра ( $ГД_2$ ), включаемого с запаздыванием на величину  $\Delta \tau$ , начальные условия имеют вид:

$$Q_4(\tau = \Delta \tau) = 0;$$

$$p_6(\tau = \Delta \tau) = p_3(\tau = \Delta \tau); \quad p_7(\tau = \Delta \tau) = p_8(\tau = \Delta \tau)$$

$$\text{(или } p_{12}(\tau = \Delta \tau) = p_3(\tau = \Delta \tau); \quad p_{13}(\tau = \Delta \tau) = p_{16}(\tau = \Delta \tau) ),$$

При этом в течение всего времени должно соблюдаться ограничение на величину подачи насоса, т.е.  $Q_1 \leq Q_{\max}$  [86].



Для поворотного гидродвигателя в системах уравнений (31)-(34) дифференциальное уравнение движения должно быть записано в следующем виде:

$$\left( \frac{J_{np,zni}}{V_{1,zni}} \right) \dot{Q}_2 = [M_{1,zni}(p_3) - M_{2,zni}(p_4)] \eta_{zni} - M_{1C,zni} - M_{br,zni},$$

а уравнение для определения расхода из холостой полости – в виде

$$Q_3 = (V_{2,zn1} / V_{1,zn1}) Q_2;$$

$$Q_5 = (V_{2,zn1} / V_{1,zn1}) Q_3;$$

$$Q_6 = (M_{2,zn2} / V_{1,zn2}) Q_4,$$

где  $J_{np,zni}$  – приведенный к выходному валу  $i$ -го гидродвигателя момент инерции движущихся частей гидродвигателя, звеньев манипуляционной системы и груза;  $V_{j,zni}$  – объем  $i$ -го гидродвигателя, соответствующий повороту выходного звена на 1 рад в  $j$ -м направлении;  $M_{j,zni}$  – крутящий момент, создаваемый в  $i$ -м гидродвигателе давлением рабочей жидкости в  $j$ -й полости;  $\eta_{zni}$  – механический коэффициент полезного действия  $i$ -го гидродвигателя;  $M_{1C,zni}$  – крутящий момент, создаваемый эксплуатационной нагрузкой при повороте выходного вала  $i$ -го гидродвигателя в  $j$ -м направлении;  $M_{br,zni}$  – внешний тормозной момент, прикладываемый к выходному валу  $i$ -го гидродвигателя [86].

Паспортная характеристика насоса  $p_1 = f(Q_1)$  может быть представлена зависимостью [86]

$$p_1 = \frac{p_n}{1 - \eta_{он}} \left( 1 - \frac{Q_1 \eta_{он}}{Q_n} \right),$$

где  $p_n$ ,  $Q_n$ ,  $\eta_{он}$  – давление на выходе насоса, подача насоса и объемный коэффициент полезного действия насоса на номинальном режиме (являются паспортными характеристиками).

Статическая характеристика клапана давления в общем виде может быть представлена как:

- при прямом ходе (открытии) клапана

$$\Delta Q_k = \begin{cases} 0, & p_2 \leq p_{ко}; \\ f(p_2 - p_{ко}), & p_{ко} < p_2 < p_k, \end{cases}$$

- при обратном ходе (закрытии) клапана

$$\Delta Q_{\kappa} = \begin{cases} 0, & p_2 \leq p_{\kappa 3}; \\ f(p_2 - p_{\kappa 3}), & p_{\kappa 3} < p_2 < p_{\kappa}, \end{cases}$$

где  $p_{\kappa 0}$ ,  $p_{\kappa 3}$  – давления открытия и закрытия клапана ( $p_{\kappa 0} > p_{\kappa 3}$ );  $p_{\kappa}$  – давление максимального открытия клапана [86].

Величина потерь давления на  $m$ -м участке гидросистемы между двумя последовательными характерными точками  $R_m$  складывается из потерь давления в гидроустройствах, местных сопротивлениях и по длине трубопроводов, которые зависят от объемного расхода рабочей жидкости  $Q_m$ :

$$\begin{aligned} R_m &= \sum_{k=1}^{k=N_{\text{гв}},m} R_{\text{гв},k} + R_{\text{зр}} + \sum_{l=1}^{l=N_{\text{мс}},m} R_{\text{мс},l} + \sum_{n=1}^{n=N_{\text{мп}},m} R_{\text{мп},n} = \\ &= Q_m^2 \left( \sum_{k=1}^{k=N_{\text{гв}},m} \frac{\Delta p_{\text{н},k}}{Q_{\text{н},k}^2} + \frac{8\rho_{\text{ж}}}{\pi^2} \sum_{l=1}^{l=N_{\text{мс}},m} \frac{\xi_{\text{мс},l}}{d_l^4} + \frac{0,4\rho_{\text{ж}}}{\pi} \sum_{n=1}^{n=N_{\text{мп}}^{(m)},m} \frac{l_n}{d_n^5} \right) + R_{\text{зр}}(Q_m) + \\ &\quad + \frac{128\rho_{\text{ж}}\mu_{\text{ж}}}{\pi} Q_m \sum_{n=1}^{n=N_{\text{мп}}^{(л)},m} \frac{l_n}{d_n^4}, \end{aligned}$$

где  $R_{\text{гв},k}$ ,  $R_{\text{зр}}$ ,  $R_{\text{мс},l}$ ,  $R_{\text{мп},n}$  – потери давления в гидроустройствах, гидрораспределителе, местных сопротивлениях, по длине трубопроводов соответственно;  $N_{\text{гв},m}$ ,  $N_{\text{мс},m}$ ,  $N_{\text{мп},m}$ ,  $N_{\text{мп},m}^{(m)}$ ,  $N_{\text{мп},m}^{(л)}$  – число гидроустройств, местных сопротивлений, трубопроводов, трубопроводов с турбулентным режимом течения, трубопроводов с ламинарным режимом течения на  $m$ -м участке гидросистемы ( $N_{\text{мп},m} = N_{\text{мп},m}^{(m)} + N_{\text{мп},m}^{(л)}$ );  $\Delta p_{\text{н},k}$ ,  $Q_{\text{н},k}$  – потери давления и объемный расход для  $k$ -го гидроустройства на номинальном режиме;  $\xi_{\text{мс},l}$  – коэффициент  $l$ -го местного сопротивления;  $d$ ,  $l$  – диаметр и длина трубопровода [86].

Итоговой информацией, получение которой составляет цель построения указанной модели, являются данные о величинах давления  $p_{1,\text{згв}}(p_{1,\text{згв}})$  и  $p_{2,\text{згв}}(p_{2,\text{згв}})$  и объемного расхода  $Q_{1,\text{згв}}(Q_{1,\text{згв}})$  и  $Q_{2,\text{згв}}(Q_{2,\text{згв}})$  рабочей жидкости в гидродвигателях в процессе отработки ими соответствующих движений, на основании которых определяются величины развиваемых гидродвигателями усилий  $F_{1,\text{згв}}$  и  $F_{2,\text{згв}}$  (моментов  $M_{1,\text{згв}}$  и  $M_{2,\text{згв}}$ ) [86]:

$$F_{1,зци} = (A_{1,зци} p_{1,зци} - A_{2,зци} p_{2,зци}) \eta_{зци};$$

$$F_{2,зци} = (A_{2,зци} p_{2,зци} - A_{1,зци} p_{1,зци}) \eta_{зци}$$

$$M_{1,эни} = (A_{1,эни} p_{1,эни} - A_{2,эни} p_{2,эни}) \eta_{эни};$$

$$M_{2,эни} = (A_{2,эни} p_{2,эни} - A_{1,эни} p_{1,эни}) \eta_{эни}$$

и скорости движения выходных звеньев гидродвигателей – линейные  $v_{1,зци}$  и  $v_{2,зци}$  или угловые  $\varphi_{1,эни}$  и  $\varphi_{2,эни}$ :

$$v_{1,зци} = Q_{1,зци} / A_{1,зци};$$

$$v_{2,зци} = Q_{2,зци} / A_{2,зци}$$

$$\varphi_{1,эни} = Q_{1,эни} / V_{1,эни};$$

$$\varphi_{2,эни} = Q_{2,эни} / V_{2,эни}.$$

## ГЛАВА 3

### ПРЕДПОСЫЛКИ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ МОБИЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Внедрение автоматизированных систем управления грузоподъемными машинами является одной из задач КНТП «Комплексное развитие интеллектуальных транспортных систем России» в рамках реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642. При этом предполагается использование беспроводной связи, когнитивных и иных технологий [144].

Полностью автоматизировать работу грузоподъемной машины, в том числе манипуляционной системы, можно только при полной автоматизации обслуживаемого ею производственного процесса. Однако для исследуемых грузоподъемных машин характерна работа с разнообразными грузами в неизвестных заранее условиях и при весьма частой переустановке мобильной машины на другие рабочие площадки.

Тем не менее, перспективным является разработка и внедрение автоматизированных систем управления, позволяющих повысить производительность манипуляционных систем и минимизировать риск возникновения внештатных ситуаций.

В настоящее время в рамках реализации гранта Российского научного фонда (проект №17-79-10274) на базе ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского» ведутся работы по разработке следующих систем автоматизированного управления:

- системы обеспечения устойчивости при различных режимах работы манипуляционной системы, позволяющей управлять перемещениями штоков гидроцилиндров выносных опор (в том числе, оборудованных встроенными анкерными устройствами) с целью сохранения горизонтального положения и повышения грузовой устойчивости против опрокидывания мобильной транспортно-технологической машины при любых сочетаниях текущих параметров состояния манипуляционной системы и опорной поверхности;
- системы автоматического позиционирования рабочего органа манипуляционной системы по заданной оператором траектории с за-

данной точностью (по аналогии с системами управления манипуляционными роботами).

### **3.1. Автоматизированная система обеспечения устойчивости на основе адаптивного управления выносными опорами мобильной транспортно-технологической машины**

Обеспечение устойчивости грузоподъемных машин является важнейшим условием при разработке систем управления их рабочими операциями. Это связано, во-первых, с тем, что около половины всех аварий мобильных грузоподъемных машин связано с их опрокидыванием, во-вторых, с тем, что потеря устойчивости приводит, как правило, к разрушению самой машины без возможности ее дальнейшего восстановления, а также возможным вторичным разрушениям и человеческим жертвам. Особенно это важно, когда по тем или иным причинам грузоподъемная машина в процессе эксплуатации испытывает на себе ненормируемые внешние воздействия, представляющие собой просадку почвы под выносными опорами, ветровые нагрузки, ошибки оператора-крановщика.

В настоящее время наиболее распространенным устройством, позволяющим контролировать устойчивость установки, является ограничитель грузового момента, работающий в индикаторном режиме, и не влияющий на управление машиной до момента достижения критического значения устойчивости. Использование такой системы может привести вследствие значительного роста динамических нагрузок при резком трогании груза в худшем случае – к опрокидыванию, в лучшем – к остановке работы с грузом, который мог бы быть поднят при более плавном разгоне. В то же время, ручное регулирование скорости может привести к тому, что более легкий груз будет перемещаться медленней, чем того требуют условия безопасности. При большом числе рабочих циклов с однородным грузом это может привести к значительным потерям рабочего времени, которых можно было бы избежать при автоматическом регулировании силы, приложенной к грузу со стороны рабочих механизмов [63].

Таким образом, является актуальной задача создания автоматизированной (с сохранением за оператором функции принятия решения) или автоматической системы управления, обеспечивающей максимум эксплуатационной производительности при сохранении условий устойчивости.

Такая система должна выполнять следующие функции:

- постоянный контроль параметров грузоподъемной машины и внешних факторов, влияющих на грузовую устойчивость против опрокидывания;
- определение текущего значения предельно допустимой нагрузки на грузозахватном органе (зависящей от конфигурации стрелы манипуляционной системы, положения выносных опор, состояния опорной поверхности);
- выработка управляющих сигналов на исполнительные механизмы грузоподъемной машины (посредством электрогидродинамических усилителей для управления расходом рабочей жидкости через гидрораспределители) на основе реализации принципа обратной связи, обеспечивающих сохранение устойчивости против опрокидывания;
- адаптация алгоритмов управления к изменяющимся внешним условиям (изменение конфигурации рабочей поверхности, скорости и направления ветра);
- прогнозирование возможной просадки грунта под опорами грузоподъемной машины и заключение о возможности продолжения данного вида работ на данной площадке;
- аварийное отключение исполнительных механизмов и коррекция положения опорного контура и параметров грузоподъемной машины [63].

Известен способ контроля грузовой устойчивости мобильных грузоподъемных средств, преимущественно стреловых самоходных кранов [117]. Способ заключается в том, что осуществляется вычисление грузового момента и производится его сравнение с предельно допустимым грузовым моментом. В зависимости от полученных данных формируется управляющий сигнал на включение тех исполнительных механизмов, которые обеспечивают уменьшение грузового момента.

Реализующее данный способ техническое устройство [117] содержит гидрелинию выносных опор, механизм поворота стрелы, аналого-цифровой преобразователь, бортовой микропроцессор. В память бортового микропроцессора введена математическая модель оценки устойчивости мобильного грузоподъемного крана, выполненная с возможностью изменения в зависимости от типа грузоподъемного крана. В гидрелинию выносных опор дополнительно включены датчики давления, которые имеют связь с бортовым микропроцессором.



Дополнительно с помощью датчиков обратной связи измеряются скорости изменения давления в гидроцилиндрах выносных опор (рис. 83) и определяется их знак, а также составляются контрольные комбинации скоростей изменения давления, которые сравниваются с эталонными [117].

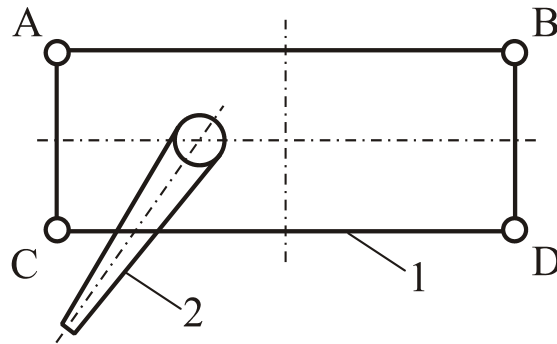


Рис. 83. Опорный контур манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины [117]: 1 – опорный контур; 2 – стрела манипуляционной системы

Для указанного на рис. 83 положения стрелы грузовая устойчивость против опрокидывания мобильной транспортно-технологической машины положение будет обеспечиваться при условии [117]:

$$\frac{dP_A}{dt} > 0, \quad \frac{dP_C}{dt} > 0; \quad \frac{dP_D}{dt} < 0,$$

где  $P_i$  – давление в гидролинии  $i$ -й опоры;  $t$  – время.

Если будут выполнено одно из следующих условий:

$$\begin{aligned} \frac{dP_A}{dt} < 0; \quad \frac{dP_C}{dt} > 0; \quad \frac{dP_D}{dt} < 0; \\ \frac{dP_A}{dt} < 0; \quad \frac{dP_C}{dt} > 0; \quad \frac{dP_D}{dt} = 0, \end{aligned}$$

то существует риск возникновения аварийной ситуации (потери устойчивости). Для ее предотвращения подается сигнал машинисту и если не последовало никакой реакции, то система управления медленно останавливает поворот, блокирует возможность движения в эту сторону [117].

В ходе исследования предложено оснащение мобильной транспортно-технологической машины выносными опорами с анкерными устройствами (гл. 2). В этом случае автоматизированная система также управляет глубиной внедрения рабочих элементов анкерных устройств в опорную поверхность. Гидравлическая схема каждой выносной опоры выглядит следующим образом (рис. 84). Управляемые

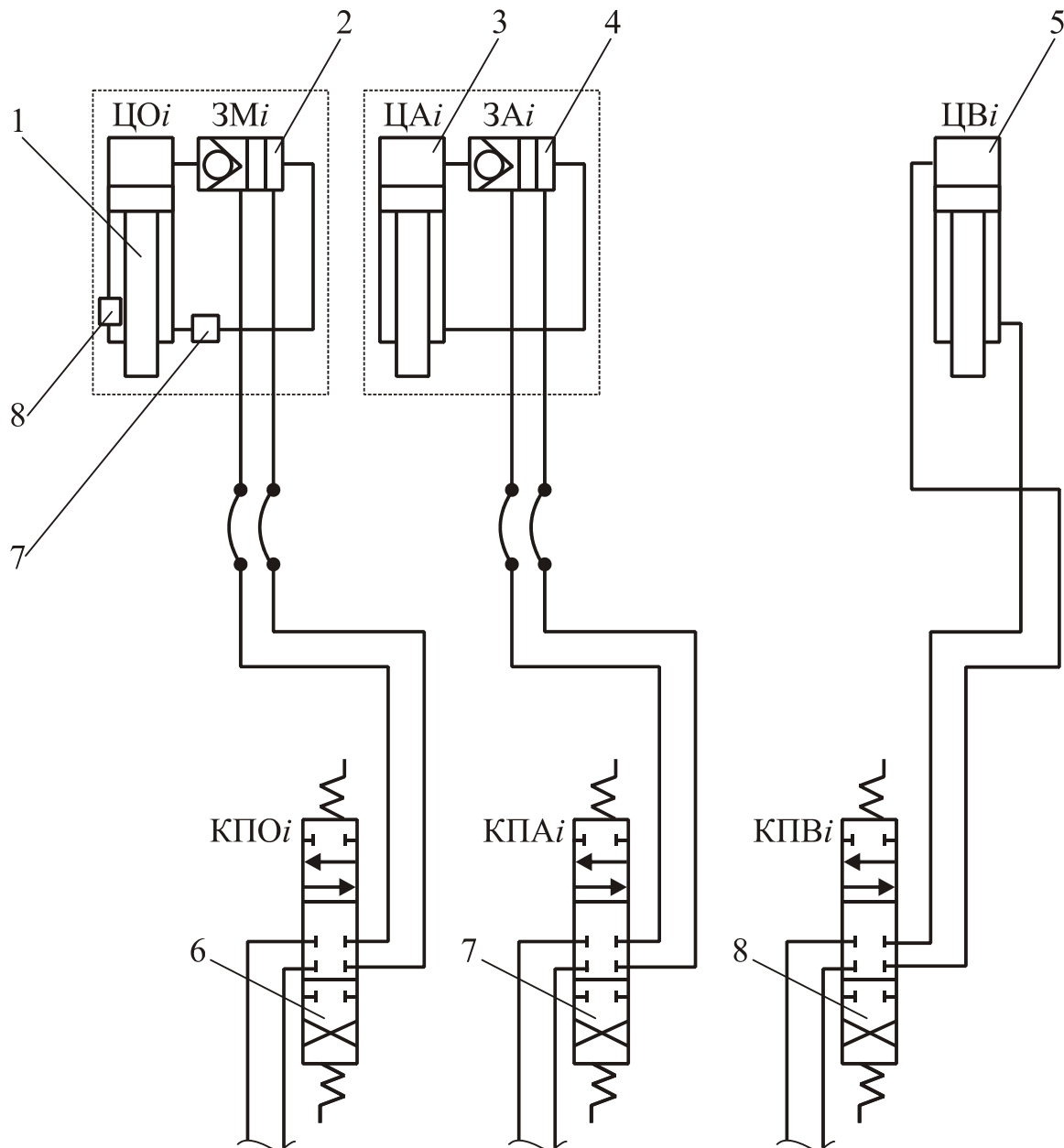


Рис. 84. Гидравлическая схема  $i$ -выносной опоры манипулятора, оснащенной системой автоматизированного обеспечения устойчивости:  
 1 – гидроцилиндр опоры; 2 – гидрозамок опоры; 3 – гидроцилиндр анкерного устройства; 4 – гидрозамок анкерного устройства; 5 – гидроцилиндр выдвижения выносной опоры; 6 – гидрораспределитель опоры; 7 – гидрораспределитель анкерного устройства; 8 – гидрораспределитель выдвижения опоры; 9 – датчики давления и расхода рабочей жидкости; 10 – датчик скорости штока гидроцилиндра

гидрораспределители 6 и 7 являются исполнительными механизмами системы управления.

В качестве входных сигналов для системы управления могут выступать давление и расход рабочей жидкости в гидроцилиндрах. Рациональный выбор состава таких сигналов является одной из задач разработки систем автоматического управления устойчивостью.

В автоматической системе управления принятие решения о продолжении или прекращении работы манипуляционной системы в случае угрозы потери устойчивости может выполняться не только на основе четких выражений, но и с помощью нейросети.

### 3.2. Основы разработки автоматической системы управления манипуляционной системой мобильной транспортно-технологической машины

В настоящее время повсеместно используется ручное управление манипуляционными системами мобильных транспортно-технологических машин [94]. Таким образом, система управления является разомкнутой [1]. Это повышает ее устойчивость, но снижает точность позиционирования и приводит к случайному разбросу траектории движения [91], что усложняет работу с опасными грузами, а также работу в стесненных условиях, когда возможно случайное касание или столкновение с объектами внешней среды. Также становится невозможным использование манипуляционных систем в экстремальных условиях, в которых работа для операторов не желательна или опасна.

В связи с этим актуальна разработка концепции автоматизированной системы управления манипуляционной системой мобильной транспортно-технологической машины. Подобная система также может быть использована для дистанционного управления крано-манипуляторной установкой, расположенной на беспилотной роботизированной мобильной транспортно-технологической машине типа [16].

Основной задачей данной автоматизированной системы является позиционирование рабочего органа манипуляционной системы по заданной оператором траектории с заданной точностью (по аналогии с системами управления манипуляционными роботами).

В общем виде структурная схема системы управления манипуляционной системой мобильной транспортно-технологической машины показана на рис. 85.

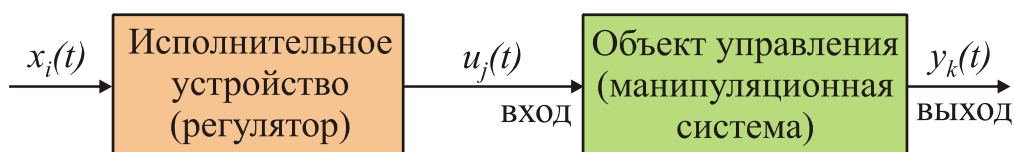


Рис. 85. Структурная схема системы управления манипуляционной системой мобильной транспортно-технологической машины

Оператор машины, управляя по своему усмотрению положением органов управления, задает переменные состояния  $x_i(t)$ . Переменные состояния – такие переменные, которые определяют будущее поведение системы. В данном случае в качестве переменных состояния могут выступать значения положений рукояток гидрораспределителей, текущие расходы или давления рабочей жидкости в напорных гидрелиниях и т.д.

В соответствии с текущими значениями переменных состояния исполнительные устройства (гидродвигатели) оказывают воздействие  $u_j(t)$  на объект управления – манипуляционную систему мобильной транспортно-технологической машины. Воздействия  $u(t)$  являются входными переменными объекта управления.

Под воздействием исполнительных устройств изменяется текущее состояние объекта управления и оказываемое им воздействие на окружающую среду, что математически описывается изменением выходных переменных  $y_k(t)$  объекта управления.

Для реализации принципа автоматического управления манипуляционной системой необходимо ввести в представленную структурную схему обратные связи, позволяющие связывать переменные состояния, входные и выходные сигналы объекта управления. Это также позволяет учесть взаимное влияние выходных сигналов [1]. Данный принцип реализован в системах автоматического управления манипуляционных роботов [155].

В общем виде структурная схема замкнутой (с обратными связями) системы управления манипуляционной системой мобильной транспортно-технологической машины показана на рис. 86.

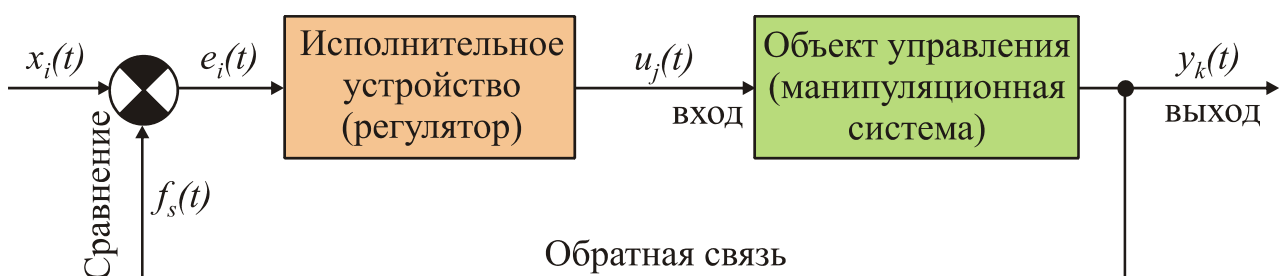


Рис. 86. Структурная схема замкнутой системы управления манипуляционной системой мобильной транспортно-технологической машины

Сигнал обратной связи  $f_s(t)$  сравнивается с эталонным значением  $x_i(t)$ , после чего определяется ошибка  $e_i(t)$ , в соответствии с которой регулятор оказывает входное воздействие на объект управления. В рас-

смаатриваемом случае эталонным может являться движение грузозахватного органа манипуляционной системы по заданной траектории, а ошибкой – отклонение грузозахватного органа от этой траектории.

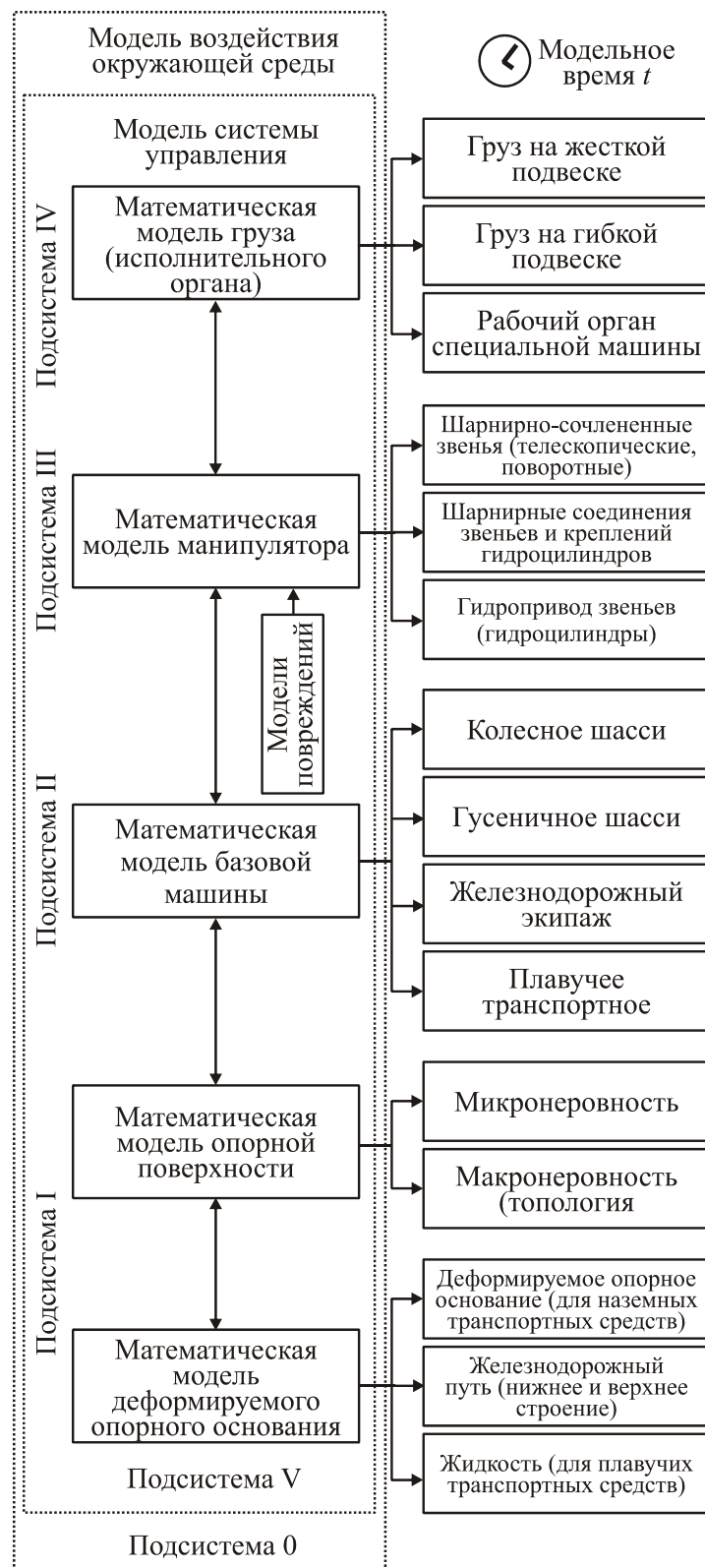


Рис. 87. Структурная комплексной математической модели мобильной транспортно-технологической машины при наличии системы автоматического управления

Для создания систем автоматического управления необходимо создание цифрового аналога объекта управления – математической модели [1; 155]. Математическое описание манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины и ее отдельных подсистем подробно приведено в [62; 71; 86; 87]. При наличии системы автоматического управления структура комплексной математической модели мобильной транспортно-технологической машины выглядит следующим образом (рис. 87).

С учетом данного подхода структурную схему системы автоматического управления манипуляционной системой мобильной транспортно-технологической машины можно изобразить следующим образом (рис. 88). Следует также учесть влияние внешней среды  $G_{ij}$  (деформации опорной поверхности, ветровые, ударные воздействия, и т.д.) на объект управления. Эталонные значения переменных состояния задаются для всей системы.

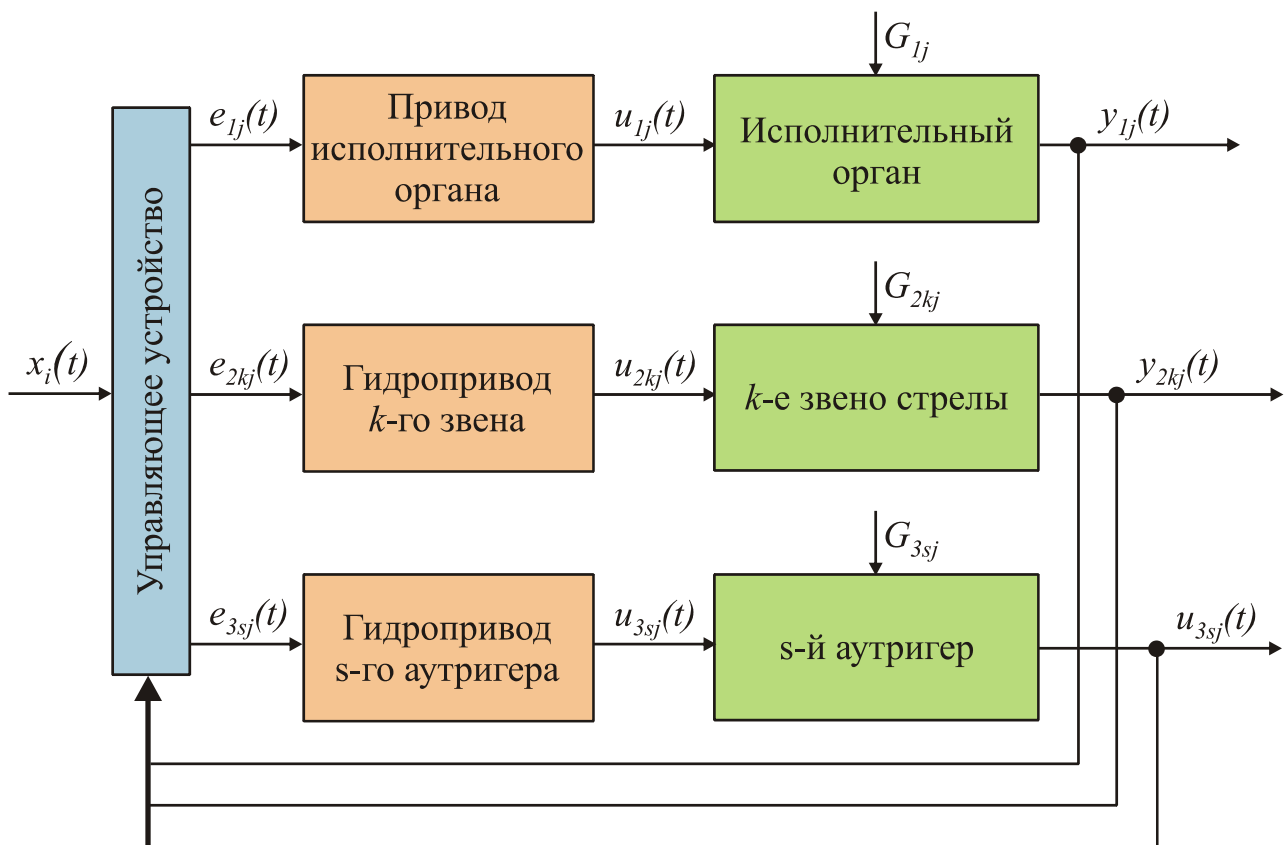


Рис. 88. Структурная схема системы управления манипуляционной системой мобильной транспортно-технологической машины при использовании комплексной математической модели [62; 71; 86; 87]

В качестве управляющего устройства служит микроэлектронный контроллер или бортовой компьютер мобильной машины. Перспек-



тивным является применение CAN-шин для передачи сигналов в системе управления [1]. В ходе дальнейших исследований будет предложена конструкция и алгоритмы работы системы автоматического управления манипуляционной системой мобильной транспортно-технологической машины.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ типовых конструкций, отечественной и зарубежной научно-технической литературы, посвященной проблемам моделирования и проектирования манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин, а также тенденций развития современного российского рынка данного вида техники позволяет сделать следующие выводы.

1. Манипуляционные системы, которыми оснащаются мобильные транспортно-технологические машины, являются востребованным видом технологического оборудования общего и специального назначения. Начиная с 2011 года, отчетливо проявляется тенденция увеличения числа закупок импортных манипуляторов по сравнению с отечественными. Для повышения конкурентоспособности отечественных производителей манипуляторов требуется проектирование более совершенных (эффективных) конструкций, расширение модельного ряда манипуляторов.

2. Сравнительный анализ конструкций отечественных и зарубежных производителей манипуляционных систем позволяет сделать следующие выводы.

- Для снижения издержек на проектирование и изготовление следует создавать серии унифицированных манипуляторов с одинаковым грузовым моментом, но разным количеством элементов стрелы. Для достижения этой цели необходимо разрабатывать методики и реализующие их компьютерные программы, позволяющие в значительной степени автоматизировать инженерные расчеты множества конструкций.

- Материал несущей металлоконструкции отечественных манипуляционных систем используется менее рационально. Необходимо развивать и внедрять методы оптимального проектирования несущих металлоконструкций, позволяющих повысить эффективность манипуляционных систем по критерию минимума собственной массы конструкции при заданных грузовых характеристиках. Целевым показателем может служить приближение рассмотренных в работе коэффициентов эффективности к зарубежным аналогам. Однако разнообразие взаимоисключающих критериев эффективности манипуляционных систем требует решения задач многокритериальной оптимизации. Целью оптимизации должно быть повышение конкурентоспособности отечественных манипуляторов.

- Для расширения спектра задач, решаемых манипуляторами, необходимо создание моделей с высоким грузовым моментом (более 500 кН·м) и вылетом стрелы (более 30 м), что требует усовершенствованных инженерных методик расчета, позволяющих в максимальной степени учесть особенности режимов и условий работы манипуляционных систем.

- Для повышения технических характеристик отечественных кранов-манипуляторов и обеспечения соответствия отечественной продукции лучшим мировым образцам подъемно-транспортной техники, повышения конкурентоспособности и реализации требований по импортозамещению необходимо совершенствовать методы расчета и моделирования рабочих процессов в манипуляционных системах мобильных транспортно-технологических машин в направлении максимального учета особенностей конструкции, режимов эксплуатации и протекающих во времени деструктивных процессов в их металлоконструкциях, узлах соединения, механизмах и системах (изнашивание шарниров шарнирно-сочлененных стрел, податливость звеньев, влияние ветровых нагрузок, рельефа местности, подвижность базового шасси и др.

- Для повышения надежности и безопасности эксплуатации манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин, в том числе, при работе в экстремальных условиях или в процессе ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций природного или техногенного характера, необходимо развивать методы риск-анализа и методы расчета общей устойчивости против опрокидывания.

3. Манипуляционные системы мобильных транспортно-технологических машин различного назначения сходны по конструкции, что позволяет использовать для их исследования схожие подходы и методы расчета, моделирования и оптимизации. Однако базовые шасси различных машин имеют принципиальные отличия как с точки зрения конструкции, так и с точки зрения характерного для данного типа шасси опорного основания (среды). Следовательно, математическая модель каждого типа машины должна учитывать эти отличия. Например, модель оснащенной манипулятором путевой машины должна учитывать свойства рельсового пути, а динамическая модель должна учитывать особенности железнодорожного экипажа и воздействия, возникающие при движении по рельсам. В то же время, модель крана-манипулятора, установленного на грузовом автомобиле, долж-

на учитывать особенности пневмоколесного шасси и влияние движения по пересеченной местности или асфальтобетонной дороге.

4. Большая часть манипуляционных систем мобильных многоцелевых транспортно-технологических машин эксплуатируется в нестационарных условиях при воздействии на них переменных нагрузок различного происхождения со случайно меняющимися во времени количественными характеристиками. Машины специального назначения могут работать при повреждении или частичном разрушении элементов конструкции, в условиях воздействия экстремальных факторов (неправильная конфигурация манипулятора при работе, воздействие взрыва, повышенной температуры и т.д.).

5. Дополнительная анкеровка выносных опор, оснащенных встроенными анкерными устройствами на основе рабочих элементов ввинчивающегося или прокалывающего типов, является эффективным техническим решением для повышения величины наибольшего допустимого веса транспортируемого груза на максимальном вылете манипуляционной системы и величины допустимого вылета манипуляционной системы за ребро опрокидывания, а также уменьшения допустимой ширины опорного контура мобильной машины. Данные положительные эффекты от дополнительной анкеровки выносных опор имеют важное значение при эксплуатации специальных мобильных машин и производстве погрузочно-разгрузочных работ в экстремальных условиях или при проведении аварийно-спасательных работ при ликвидации последствий природных и техногенных аварий и катастроф.

6. Большая группа грузоподъемных машин не передвигается с грузом. Автомобильным кранам категорически запрещено передвигаться с подвешенным грузом из-за высокой вероятности опрокидывания. Краны-манипуляторы, установленные на автомобилях и лесовозах, также работают только на дополнительных опорах и не перемещаются вместе с грузом. Однако известны транспортно-технологические машины, оснащенные манипуляционными системами, передвигающиеся с грузом: машины для сварки трубопроводов АСТ-4-А, АСТ-4-0, АСТ-4-С, АСТ-72В; машины для лесозаготовки МЛ-72-01, ТЛ-60Ф-4, ЛП-19, ВМ-4Б, TimberPro 810-В, TimberPro 735-С; транспортно-заряжающие машины; инженерные машины разграждения ИМР-1, ИМР-2 и др. Лесные машины в ряде случаев не только не оборудуются аутригерами, но при их нормальной работе допускается частичный отрыв движителя от опорного основания, а нагруженный

манипулятор в этом случае выступает дополнительной точкой опоры. В США распространены манипуляторы общего назначения, устанавливаемые на автомобили, которые не предусматривают применение аутригеров, например, краны фирмы Tigex и некоторые модели манипуляторов фирмы Auto Crane.

7. В процессе эксплуатации могут возникать ситуации, когда по каким-либо причинам использование выносных опор невозможно. Например, когда недостаточно места для их установки или грунт не способен выдержать нагрузку со стороны опор, но необходимо срочно провести работы. Особенно это важно при ликвидации чрезвычайных ситуаций, когда промедление может привести к гибели людей или катастрофическому развитию обстановки. Нельзя также считать, что аутригеры полностью исключают влияние шасси базовой машины на динамику манипуляционной системы. Базовая машина не всегда полностью вывешивается на выносных опорах. Многие манипуляторы имеют только 1-2 опоры, поэтому во время работы манипуляционной системы машина продолжает опираться колесами одной оси.

8. Известны случаи, когда в процессе изменения конфигурации манипуляционной системы опорное основание под аутригерами может проседать, поэтому шасси может включаться в работу. Это приводит к авариям. Статистика отмечает увеличение случаев опрокидывания автомобильных манипуляторов в результате проседания почвы, а до 65% аварий связано с неправильным использованием выносных опор. Нормативные документы прямо требуют прекращения работы манипулятора при начале просадки опорной поверхности. Однако для повышения безопасности работы необходимо не бороться с последствиями, а предотвращать подобные опасные ситуации. Поэтому требуется разработка моделей, позволяющих оценить безопасность работы мобильной машины с манипуляционной системой на том или ином опорном основании.

9. Конструктивные элементы цилиндрических шарниров являются одними из наиболее нагруженных деталей манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин, так как в них действуют переменные во времени напряжения от статических и инерционных усилий. Возникающие в условиях эксплуатации трещины являются потенциальным источником усталостного разрушения шарнирного соединения в целом и возникновения аварийной ситуации. Повышенные зазоры (люфт) в отверстиях цилиндрических шарниров вследствие абразивно-фрикционного изнашивания – источник

дополнительных ударных динамических нагрузок высокой интенсивности, оказывающих негативное воздействие на импульсное повышение уровня напряженно-деформированного состояния всей металлоконструкции манипуляционной системы и транспортируемый груз. Повышенные зазоры в сочетании с неравномерным износом отверстий проушин и шарнирных пальцев также приводят к нарушению кинематической точности шарнирно-сочлененных грузоподъемных стрел и снижают точность позиционирования грузозахватного органа манипуляционной системы. Возникающие при этом значительные инерционные силы непрогнозируемого направления могут являться одной из основных причин трещин в сварных швах и основном материале металлоконструкции. Со стороны отечественных и зарубежных исследователей вопросу влияния повышенных (относительно номинальных значений) зазоров в цилиндрических шарнирных соединениях стреловых систем на нагруженность их металлоконструкции до настоящего времени было уделено недостаточно внимания.

10. В отличие от промышленных роботов, для манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин не является критичным обеспечение требований по быстродействию и согласованности во времени выполнения смежных технологических операций, а также точности позиционирования груза в конечной точке и в промежуточных точках вдоль требуемой траектории манипулирования. Это обуславливает ряд отличий в конструктивном исполнении механических систем манипуляторов, системах управления и подходах к моделированию кинематики, динамики и прочности. Как следствие, для манипуляционных систем мобильных машин характерно изготовление звеньев стрелы из стальных тонкостенных профилей, имеющих поперечные сечения с малыми площадями и большими моментами инерции; допущение образования и развития в металлоконструкциях эксплуатационных дефектов достаточно значительной величины, снижающих исходные прочностные характеристики; применение более простых систем ручного управления; необходимость выполнения большего комплекса проверочных прочностных расчетов.

11. Для робототехники также характерно решение прямых и обратных задач кинематики и динамики. Решение обратной задачи направлено на построение алгоритмов управления манипуляционным роботом, с помощью которых достигается четкое движение рабочего органа по заданной траектории. Система управления манипуляционными системами мобильных транспортно-технологических машин не

позволяет реализовать такой подход. Управление манипулятором осуществляется оператором вручную со стационарного или дистанционного пульта управления. Поэтому большой интерес представляет прямая задача динамики, позволяющая вычислить максимальные динамические нагрузки с целью оценки прочности при проектировании. Не связанные с робототехникой исследователи оснащенных манипуляционными системами специализированных машин (лесных машин, экскаваторов, сельскохозяйственных машин и т.д.) не рассматривают обратные задачи, а строят уравнения движения, связывающие инерционные характеристики и действующие усилия.

12. Нагруженность манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин при движении с грузом определяется влиянием микронеровности опорной поверхности и воздействием груза (рабочего органа). Следует отметить, что колебания груза на грузозахватном органе также провоцируются колебаниями мобильных транспортно-технологических машин на микро- и макронеровностях. Геометрическая неровность оказывает наибольшее влияние на нагруженность манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин в элементах конструкции, наиболее приближенных к базовому шасси, это влияние снижается по мере приближения к грузозахватному органу. Противоположная ситуация наблюдается для влияния колебаний груза на грузозахватном органе (влияния вибронагрузки со стороны рабочего органа);

13. Максимальная амплитуда динамических усилий в металлоконструкции исследуемой манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины АСТ-4-А, установленной на гусеничном шасси (трактор ТТ-4М), на 15...30% выше, чем при установке на колесном шасси (КамАЗ-65117). В том числе в поворотной колонне выше на 28 % (215 Н и 276 Н); в стреле – на 17 % (572 Н и 667Н); в рукояти – на 22 % (970 Н и 1190 Н); месте крепления крюка к рукояти – на 26 % (1350 Н и 1708 Н) . Частоты колебаний манипуляционной системы, установленной на гусеничном шасси также выше на 5...25 %. Следовательно, если не требуется повышенная проходимость, следует использовать колесное шасси для установки манипуляционных систем.

14. С ростом скорости движения мобильных транспортно-технологических машин растет частота возмущения, так как за заданное время машина проходит по микронеровности большее расстояние. Кроме того, уменьшается амплитуда микронеровности, так как



при повышении скорости опорные элементы движителя не успевают отработать физическую микронеровность. Таким образом, координаты вершин микронеровности, построенные с использованием выражения, существенно зависят от текущей скорости движения мобильных машин. В свою очередь, скорость влияет на нагруженность манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин.

15. Мобильные транспортно-технологические машины специального назначения во время движения могут изменять конфигурацию манипуляционных систем при работе с грузом. Результаты моделирования показывают, что при начале работы манипуляционной системы наибольший вклад в нагруженность вносит движение звеньев, а вклад микронеровности пути в общую нагруженность конструкции не превышает 10%. Наибольшая составляющая энергии колебаний сосредоточена на основной частоте колебаний манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин при повороте звена. Таким образом, для моделирования работы манипуляционных систем при движении мобильных транспортно-технологических машин возможно использовать модель неподвижной мобильной транспортно-технологической машины с учетом углов крена базового шасси (с учетом макронеровности). Однако при анализе нагруженности неподвижной манипуляционной системы при движении машины необходимо использовать комплексную модель манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин [86].

16. При многократном повторении наблюдается случайное несовпадение траекторий совместного движения звеньев манипуляционной системы и графиков изменения во времени динамических параметров, а также случайный разброс их количественных характеристик. В свою очередь, это приводит к разбросу времени цикла работы манипуляционной системы, т.е. продолжительность цикла выполнения технологической операции увеличивается на ~6...22 % относительно требуемого значения. Указанный разброс количественных характеристик динамических параметров обусловлен ручной системой управления манипуляционной системой. Оператор в силу физических ограничений не в состоянии строго выдерживать заданную траекторию движения груза, от цикла к циклу идентично управлять движением отдельных звеньев (включать и выключать гидродвигатели в одно и то же время). Это определяет существенное отличие условий эксплуатации манипуляционных систем мобильных транспортно-

технологических машин от условий эксплуатации промышленных манипуляционных роботов с программным управлением по заданной программе.

17. В работе [8] показано, что совмещение движений поворотных звеньев позволяет снизить усилия, преодолеваемые гидродвигателями, в 3...8 раз. Совмещение движений поворотных звеньев позволяет снизить преодолеваемые гидроцилиндрами усилия. Совмещение движения поворотных и телескопических звеньев приводит к изменению усилий, преодолеваемых гидроцилиндрами, на 30...40 %. Причем в этом случае усилия могут как снизиться, так и возрасти. Это объясняется изменением инерционных нагрузок, зависящих от текущих значений мгновенных скоростей звеньев, и изменением момента инерции движущейся части стрелы относительно цилиндрического шарнира.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Автоматические и интеллектуальные системы транспортных средств. Автомобили и тракторы, многоцелевые колесные и гусеничные машины, наземные транспортно-технологические комплексы, мобильные роботы и планетоходы / под общ. ред. В.В. Белякова и Л. Палковича. – Н. Новгород: НГТУ, 2013. – 475 с.
2. Автомотриса монтажная АМЗМ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://13.prodom.z8.ru/?p=163> (дата обращения: 16.06.18).
3. АЗ «Чайка-Сервис» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.amcoveba.ru> (дата обращения: 16.06.18).
4. Александров, М.П. Грузоподъемные машины / М.П. Александров, Л.Н. Колобов, Н.А. Лобов, Т.А. Никольская, В.С. Полковников. – М.: Машиностроение, 1973. – 400 с.
5. Александров, М.П. Грузоподъемные машины / М.П. Александров. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – Высшая школа, 2000. – 552 с.
6. Анисимов, Г.М. Основы научных исследований лесных машин / Г.М. Анисимов, А.М. Кочнев. – М.: Лань, 2010. – 526 с.
7. А.с. 606804 СССР: МПИ2 В66С 23/78. Выносная опора грузоподъемной машины / Пенчук В.А., Прилепский Р.К., Баранчиков А.В.; заявитель и патентообладатель Макеевский инженерно-строительный институт и комбинат «Донецктяжстрой». – № 2421965/27; заявл. 18.11.76; опубл. 15.05.78. Бюл. 18.
8. Багаутдинов, И.Н. Совершенствование опорно-поворотного устройства лесозаготовительных машин манипуляторного типа: автореферат дис. ... канд. техн. наук / Багаутдинов Ильдар Нургаязович. – Йошкар-Ола, 2002. – 18 с.
9. Балакин, П.Д. Математическое моделирование динамики движения многоцелевых гусеничных машин / П.Д. Балакин, Э.А. Кузнецов, Д.А. Скрипниченко // Омский научный вестник. – 2012. – №3. – С. 40-44.
10. Бандурин, Р.А. Рынок кранов-манипуляторов в России / Р.А. Бандурин // Проблемы современной экономики. – 2015. - № 26. – С. 138-142.
11. Барановская, Л.В. Оптимальное проектирование металлоконструкций тяжелых козловых кранов градиентными методами: автореферат дис. ... канд. техн. наук / Барановская Лариса Вакифовна. – Орел: ОГТУ. – 2010. – 16 с.

12. Бардышев, О.А. Адаптивная выносная опора для кранов на железнодорожном ходу / О.А. Бардышев, Д.Е. Попов, Я.С. Ватулин, В.А. Попов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2004. – №2. – С. 157-162.
13. Басараб, М.А., Зелкин Е.Г., Кравченко В.Ф., Яковлев В.П. Цифровая обработка сигналов на основе теоремы Уиттекера-Котельникова-Шеннона / М.А. Басараб, Е.Г. Зелкин, В.Ф. Кравченко, В.П. Яковлев. - М.: Радиотехника, 2004. – 72 с.
14. Белецкий, Б.Ф. Технология и механизация строительного производства / Б.Ф. Белецкий. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2004. – 752 с.
15. Белецкий, Б.Ф. Строительные машины и оборудование / Б.Ф. Белецкий, И.Г. Булгакова. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2005. – 608 с.
16. Беляков, В.В. Подвижные комплексы мониторинга прибрежных зон / В.В. Беляков, У.Ш. Вахидов, Д.В. Зезюлин, В.Е. Колотилин, А.А. Куркин, В.С. Макаров, А.В. Тумасов, Д.Ю. Тюгин. – Н.Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2017. – 326 с.
17. Белянин, П.Н. Робототехнические системы для машиностроения / П.Н. Белянин. – М.: Машиностроение, 1986. – 256 с.
18. Берестов, Е.И. Гидропривод строительных и дорожных машин / Е.И. Берестов. – Могилев: БРУ, 2007. – 214 с.
19. Бояркина, И.В. Развитие механики рабочих процессов одноковшовых фронтальных погрузчиков: автореферат дис. ... докт. техн. наук / Бояркина Ирина Владимировна. – Омск.: СибАДИ, 2013. – 33 с.
20. Брауде, В.И. Вероятностные методы расчета грузоподъемных машин / В.И. Брауде. – Л.: Машиностроение, 1978. – 232 с.
21. Брауде, В.И. Надежность подъемно-транспортных машин / В.И. Брауде. – Л.: Машиностроение, 1986. – 182 с.
22. Брауде, В.И. Системные методы расчета грузоподъемных машин / В.И. Брауде, М.С. Тер-Мхитаров. – Л.: Машиностроение, 1985. – 181 с.
23. Брянский автомобильный завод [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://baz32.ru> (дата обращения: 16.06.18).
24. Бурдаков, С.Ф. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов / С.Ф. Бурдаков, В.А. Дяченко, А.Н. Тимофеев. – М.: Высшая школа, – 1986. – 264 с.
25. Бурлуцкий, В.С. Парк грузоподъемных кранов России: федеральная, региональная и территориальная компоненты / В.С. Бурлуцкий, К.П. Позынич, Е.К. Позынич // Современное машиностроение.

Наука и образование. 2016. - № 5. – С. 785-809. – DOI 10.1872/MMF-2016-72.

26. Бычков, И.С. Оценка устойчивости грузоподъемного крана, оборудованного грунтовыми якорями / И.С. Бычков // Вестник СибАДИ. – 2017. - № 3 (55). – С. 7-11.

27. Вайнсон, А.А. Подъемно-транспортные машины / А.А. Вайнсон. – М.: Машиностроение, 1989. – 536 с.

28. Вайнсон, А.А. Подъемно-транспортные машины строительной промышленности: атлас конструкций / А.А. Вайнсон. – М.: Машиностроение, 1976. – 152 с.

29. Василенко, Н.В. Основы робототехники / Н.В. Василенко, К.Д. Никитин, В.П. Пономарев. – Томск: МГП «Раско», 1993. – 475 с.

30. Васильченко, В.А. Гидравлический привод строительных, дорожных, коммунальных и других мобильных машин (производства России и стран СНГ): каталог-справочник / В.А. Васильченко. – М.: АО «Машмир» и ЗАО «Гидрокомплект», 1997. – 271 с.

31. Вентцель, Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1991. – 384 с.

32. Вершинский, А.В. Строительная механика и металлические конструкции / А.В. Вершинский, М.М. Гохберг, В.П. Семенов. – Л.: Машиностроение, 1984. – 231 с.

33. Вихров, А.В. Несущие системы транспортных средств специального назначения / А.В. Вихров. – М.: МАДИ, 2015. – 112 с.

34. Вопросы теории и расчета подъемно-транспортных машин / Под общ. ред. А.И. Дукельского. – М.-Л.: Машгиз, 1957. – 181 с.

35. Галдин, Н.С. Атлас гидравлических схем мобильных машин и оборудования / Н.С. Галдин, А.В. Кукин. – Омск: СибАДИ, 2010. – 91 с.

36. Галдин, Н.С. Гидравлические схемы мобильных машин / Н.С. Галдин, И.А. Семенова. – Омск: СибАДИ, 2013. – 203 с.

37. Ганин, А.А. Мобильные робототехнические системы военного назначения / А.А. Ганин, К.И. Домкин, М.Ф. Исхаков // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – 2014. – Т.1. – С. 99-101.

38. Герасимов, Ю.Ю. Повышение качества и надежности манипуляторов лесных машин: автореферат дис. ... докт. техн. наук / Герасимов Юрий Юрьевич. – Воронеж: ВГЛА, 1995. – 33 с.

39. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 2009. – 478 с.

40. Голубев, А.И. Выбор модели грунта и её параметров в расчетах геотехнических объектов. – Режим доступа: [www.noipifor.ru/publications/10063](http://www.noipifor.ru/publications/10063) (дата обращения: 16.06.18).
41. ГОСТ 1451-77. Краны грузоподъемные. Нагрузка ветровая. Нормы и метод расчета. Введ. 1978-01-01. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 15 с.
42. ГОСТ 1575-87. Краны грузоподъемные. Ряды основных параметров. Введ. 1988-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 5 с.
43. ГОСТ 19281-89. Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия. Введ. 1991-01-01. – М.: Стандартинформ, 2009. – 14 с.
44. Грачев, А.А. Устойчивость тонкостенных элементов крановых конструкций: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / Грачев Алексей Андреевич. – СПб., 2013. – 21 с.
45. Далматов, Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты / Б.И. Далматов. - Л.: Стройиздат, 1988. – 415 с.
46. Данилов, А.С. Диагностика повреждаемости металлических конструкций грузоподъемных машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / Данилов Александр Сергеевич. – Тула, 2010. – 160 с.
47. Долгополов, Б.П. Технология машиностроения, производство и ремонт подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин / Б.П. Долгополов, Г.Н. Доценко, В.А. Зорин, С.К. Лосавио, Н.Н. Митрохин, А.П. Павлов, А.А. Пегачков, В.М. Приходько, А.Ф. Синельников, А.Я. Суриков, Ю.Л. Штоль. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 576 с.
48. Долин, П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
49. Емтыль, З.К. Совершенствование кинематики, динамики и конструкции лесопромышленных гидроманипуляторов: автореферат дис. ... докт. техн. наук / Емтыль Зауркан Камболетович. – Воронеж: ВГЛТА, 2002. – 35 с.
50. Жаденов, В.С. Технология и оборудование лесозаготовок (этапы развития) / В.С. Жаденов, А.Н. Заикин, Ю.В. Шелгунов. – Брянск: БГИТА, 2002. – 592 с.
51. ЗАО «Дизель-Ремонт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dizel-remont.ru> (дата обращения: 16.06.18).
52. ЗАО «Инман» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.inman.ru> (дата обращения: 16.06.18).

53. ЗАО «Инман». Каталог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.inman.ru/xcat/product/1.html> (дата обращения: 16.06.18).
54. ИМП-1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Инженерная\\_машина\\_разграждения](https://ru.wikipedia.org/wiki/Инженерная_машина_разграждения) (дата обращения: 16.06.18).
55. ИМП-2: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ИМП-2> (дата обращения: 16.06.18).
56. Инструкция по проведению технического освидетельствования грузоподъемных кранов: ИТОс 22-01-01: утв. ГУП «СКТБ БК» 19.09.01 г. – М.: ЗАО «НТЦ ИППБ», 2009. – 236 с.
57. Инструкция по эксплуатации самоходной энергетической машины АСТ-4-А. – Брянск: [б.и.], 2010. – 26 с.
58. Казак, С.А. Статистическая динамика нагружения подъемно-транспортных машин / С.А. Казак. – Свердловск: УПИ, 1988. – 88 с.
59. Калинин, В.С. Устойчивость, прочность и колебания элементов судовых конструкций / В.С. Калинин. – Л.: Судостроение, 1987. – 304 с.
60. Кобзев, А.П. Оптимальное проектирование тяжелых козловых кранов / А.П. Кобзев. – Саратов: СГУ, 1991. – 160 с.
61. Ковальский, В.Ф. Влияние ветровых воздействий на нагруженность гидравлических крано-манипуляторных установок с шарнирно-сочлененными стрелами / В.Ф. Ковальский, И.А. Лагерев // Известия МГТУ «МАМИ». – 2016. - № 2. – С. 13-19.
62. Ковальский, В.Ф. Математическое моделирование динамики манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины с учетом упругости звеньев / В.Ф. Ковальский, И.А. Лагерев // Известия МГТУ «МАМИ». – 2016. – № 3. – С. 9-15.
63. Козлов, М.В. Устойчивость мобильных грузоподъемных машин при ненормируемых внешних воздействиях: автореферат дис. ... канд. техн. наук / Козлов Максим Владимирович. – Тула, 2006. – 18 с.
64. Козырев, Ю.Г. Применение промышленных роботов / Ю.Г. Козырев. – М.: КноРус, 2011. – 488 с.
65. Компания «СД Групп». Журнал «СтройПромЭксперт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sdexpert.ru/stats/1015> (дата обращения: 16.06.18).
66. Компания РМ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pm-group.eu/web/pmgrouphome> (дата обращения: 16.06.18).



67. Концевой, Е.М. Ремонт крановых металлоконструкций / Е.М. Концевой, М.А. Розенштейн. – М.: Машиностроение, 1979. – 206 с.
68. Косилова, А.Г. Технология производства подъемно-транспортных машин / А.Г. Косилова, М.Ф. Сухов. – М.: Машиностроение, 1982. – 301 с.
69. Котельников, В.С. Справочник по техническому обслуживанию, ремонту и диагностированию грузоподъемных кранов: в 2-х т. / В.С. Котельников, Н.А. Шишков, А.С. Липатов. – М.: Госгортехнадзор России, 1996. – Т.1. – 392 с.
70. Кочнев, Е.Д. Секретные автомобили советской армии / Е.Д. Кочнев. – М.: ЭКСМО, 2011. – 300 с.
71. Лагерев, А.В. Динамико-прочностной анализ гидравлических крано-манипуляторных установок мобильных машин / А.В. Лагерев, А.А. Мильто, И.А. Лагерев. – Брянск: БГУ, 2015. – 196 с. – DOI: 10.5281/zenodo.1199651.
72. Лагерев, А.В. Исследование динамики и прочности гидравлических крано-манипуляторных установок на подвижном шасси / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев, А.А. Мильто // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2015. – №1. – С. 43-48. DOI: 10.5281/zenodo.1196634.
73. Лагерев, А.В. Многокритериальная оптимизация основных конструктивных параметров гидравлических крано-манипуляторных установок мобильных машин / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев // Вестник СиБАДИ. – 2017. - № 3. – С. 32-40 DOI: 10.26518/2071-7296-2017-3(55)-32-40.
74. Лагерев, А.В. Модернизация крана-манипулятора самоходной энергетической машины АСТ-4-А / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев, В.В. Говоров В.В. // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2010. – № 4. – С. 59-66.
75. Лагерев, А.В. Нагруженность подъемно-транспортной техники / А.В. Лагерев. – Брянск: БГТУ, 2010. – С. 125-143.
76. Лагерев, А.В. Оптимальное управление техническим риском при проектировании гидропривода грузоподъемных машин / А.В. Лагерев, Е.А. Лагерева // Известия МГТУ «МАМИ». – 2015. – Т.1. – № 3 (25). – С. 60-66.
77. Лагерев, А.В. Оценка риска при эксплуатации самоходных грузоподъемных кранов стрелового типа в условиях недостаточной информации / А.В. Лагерев, С.В. Кончиц, Л.И. Блейшмидт // Научно-

- технический вестник Брянского государственного университета. – 2017. – №2. – С. 203-220. DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-203-220
78. Лагерев, А.В. Проектирование насосных гидроприводов подъемно-транспортной техники / А.В. Лагерев. – Брянск: Изд-во БГТУ, 2006. – 232 с.
79. Лагерев, А.В. Универсальная методика динамического анализа гидравлических кранов-манипуляторов / А.В. Лагерев, А.А. Мильто, И.А. Лагерев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2013. – № 3. – С. 24-31.
80. Лагерев, А.В. Характеристики прочности стержней ферменных металлоконструкций кранов типа КБ-572 с дефектами вмятины и язвенной коррозии / А.В. Лагерев, Н.С. Парфенов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2011. – № 3. – С. 47-55.
81. Лагерев, И.А. Влияние транспортной конфигурации крана-манипулятора на нагруженность подвески базового шасси / И.А. Лагерев, А.В. Лагерев // Известия МГТУ «МАМИ». – 2017. – № 4 (34). – С. 32-38.
82. Лагерев, И.А. Динамика трехзвенных гидравлических кранов-манипуляторов / И.А. Лагерев, А.В. Лагерев. – Брянск: Изд-во БГТУ, 2012. – 196 с. – DOI: 10.5281/zenodo.1202224
83. Лагерев, И.А. Динамическая нагруженность крана-манипулятора машины для сварки трубопроводов при движении с грузом / И.А. Лагерев // Подъемно-транспортное дело. – 2011. – №3. – С. 7-9.
84. Лагерев, И.А. Имитационное моделирование факторов нагруженности металлоконструкции мостового крана / И.А. Лагерев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2009. – №4. – С. 65-70.
85. Лагерев, И.А. Моделирование поворотного движения крано-манипуляторной установки при повышенных зазорах в шарнирных соединениях звеньев / И.А. Лагерев, А.А. Мильто, А.В. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. – №2. – С. 71-80. DOI: 10.5281/zenodo.1198756
86. Лагерев, И.А. Моделирование рабочих процессов манипуляционных систем мобильных многоцелевых транспортно-технологических машин и комплексов / И.А. Лагерев. – Брянск: РИО БГУ, 2016. – 371 с. DOI: 10.5281/zenodo.1198980

87. Лагерев, И.А. Оценка динамической нагруженности и оптимизация трехзвенных гидравлических кранов-манипуляторов транспортно-технологических машин для сварки трубопроводов: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / Лагерев Игорь Александрович. – Брянск, 2011. – 197 с.

88. Лагерев, И.А. Повышение безопасности эксплуатации мобильных транспортно-технологических машин с манипуляционными системами при работе с аутригерами / И.А. Лагерев, А.В. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2017. – №3. – С. 296-302. DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-03-296-302

89. Лагерев, И.А. Повышение трещиностойкости и живучести элементов узлов соединений секций грузоподъемных стрел крано-манипуляторных установок мобильных машин / И.А. Лагерев / Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2015. – №2. – С. 16-22. – DOI: 10.5281/zenodo.1198318.

90. Лагерев, И.А. Развитие элементов теории проектирования и моделирования манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин автореферат дис. ... докт. техн. наук / Лагерев Игорь Александрович. – М.: МИИТ, 2017. – 36 с.

91. Лагерев, И.А. Расчетно-экспериментальное исследование динамики манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины при совместном движении звеньев / И.А. Лагерев // Известия Тульского государственного университета. – 2016. – №11. – Т. 2. – С. 21-25.

92. Лагерев, И.А. Снижение ударной нагрузки, вызываемой люфтом в шарнирных соединениях звеньев крано-манипуляторных установок / И.А. Лагерев, А.А. Мильто, А.В. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2015. – № 2. – С. 37-43. DOI: 10.5281/zenodo.1198382.

93. Лагерев, И.А. Сравнительный анализ гидравлических кранов-манипуляторов транспортно-технологических машин и гидравлических манипуляторов промышленных роботов / И.А. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. – №3. – С. 16-43. DOI: 10.5281/zenodo.1198767.

94. Лагерев, И.А. Сравнительный анализ характеристик крано-манипуляторов отечественных и зарубежных производителей / И.А. Лагерев // Подъемно-транспортное дело. – 2016. – №1-2. – С. 7-10.

95. Лагерев, И.А. Эффективность упругого демпфирования в шарнирных соединениях стрел крано-манипуляторных установок при повышенных зазорах / И.А. Лагерев, А.А. Мильто, А.В. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. – №1. – С. 18-36. DOI: 10.5281/zenodo.1198446.
96. Максименко, А.Н. Диагностика строительных, дорожных и подъемно-транспортных машин / А.Н. Максименко, Г.Л. Антипенко, Г.С. Лягушев. – С.-Пб: БХВ-Петербург, 2008. – 302 с.
97. Машина для смены шпал универсальная [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.istmz.ru/mshu5/index.html> (дата обращения: 16.06.2018).
98. Методические рекомендации. Краны стреловые самоходные. Нормы расчета устойчивости против опрокидывания: РД НИИК-05-07. – Утв. Ростехнадзором 01.03.07 г. – введ. в действие 15.03.07 г.
99. Методические рекомендации по экспертному обследованию грузоподъемных машин. Часть 2. Краны стреловые общего назначения и краны-манипуляторы грузоподъемные: РД 10-112-2-09. – Введ. в действие с 01.05.09.
100. Методические указания по обследованию специальных металлургических кранов: РД 10-112-6-03. – Утв. ЗАО «Уральский экспертный центр» 15.05. 03 г. – Введ. в действие 08.09.03 г.
101. Методические указания по проведению обследования порталных кранов с целью определения возможности их дальнейшей эксплуатации: РД 10-112-4-98. – Утв. ОАО «ВНИИПТМАШ» 24.04.1998 г. – Введ. в действие 01.09.1998 г.
102. Механика промышленных роботов: В 3 кн. / Под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. Кн. 1: Кинематика и динамика / Е.И. Воробьев, С.А. Попов, Г.И. Шевелева. – М.: Высшая школа, 1988. – 304 с.
103. Механика промышленных роботов: в 3 т. / Под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. – М.: Высшая школа, 1989. – Т.3. – 383 с.
104. Надежность в технике. Оценка параметров безопасности колесных и гусеничных машин по опрокидыванию. Характеристики динамической и статической устойчивости: РД 50-233-81. – Утв. Госкомитет по стандартам 01.01.1982 г. – Введ. в действие 01.01.82 г.
105. Новоселов, В. Время перемен. Российский рынок гидроманипуляторов / В. Новоселов // Строительная техника и технологии. – 2013. – №4. – С. 98-110.
106. ОАО «Кировский машзавод 1 Мая» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://crane-kirov.ru> (дата обращения: 16.06.2018).

107. ОАО «Муромтепловоз» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://muromteplovoz.ru> (дата обращения: 16.06.2018).
108. ОАО «Свердловский путевой ремонтно-механический завод «Ремпутьмаш» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rempm.ru/ekaterinburg> (дата обращения: 16.06.2018).
109. ОАО «Тихорецкий машиностроительный завод им. В.В. Воровского» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tmvz.ru> (дата обращения: 16.06.2018).
110. ООО «Мега Драйв [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.unicmega.ru> (дата обращения: 16.06.2018).
111. ООО «Палфингер Кран Рус» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.palfinger.ru> (дата обращения: 16.06.2018).
112. ООО «Технополис» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.isuzu-unic.ru> (дата обращения: 16.06.2018).
113. ООО «Уралспецтранс» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.uralst.ru> (дата обращения: 16.06.2018).
114. ООО «Фасси Рус»: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fassi.ru> (дата обращения: 16.06.2018).
115. Павлов, В.П. Автоматизация проектирования стрелоподъемного гидромеханизма / В.П. Павлов // Подъемно-транспортное дело. – 2008. – №3. – С. 2-4.
116. Панасенко, Н.Н. Исследование процесса движения автомобильных стреловых самоходных кранов / Н.Н. Панасенко, А.А. Хахов // Тяжелое машиностроение. – 2008. – №12. – С. 29-31.
115. Пат. 61699 Рос. Федерация: МПК5 В 66 С 23/78. Выносная опора землеройно-транспортной машины / Левченко С.А., Миркин С.Н., Егоров К.Д.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова». – № 2006133490/22; заявл. 18.09.2006; опубл. 10.03.2007, Бюл. 7.
116. Пат. 165312 Рос. Федерация: МПК7 В66С23/64. Выносная опора подъемно-транспортной машины / Лагерев И.А., Ковальский В.Ф., Толкачев Е.Н., Шатунова Е.А., Лагерев А.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «БГУ им. ак. И.Г. Петровского». – №2016116467; заявл. 26.04.16; опубл. 10.10.2016, Бюл. 28.
117. Пат. 2349536 Рос. Федерация: МПК5 В 66 С 15 00, В 66 С 23 90. Способ управления грузовой устойчивостью мобильного грузоподъемного крана и устройство для его осуществления / Сорокин П.А., Чернов А.В., Редькин А.В., Жильцов А.В.; заявитель и патенто-

обладатель ФГОУ ВПО «Тульский государственный технический университет». – №2007118310/11; заявл. 16.05.2007; опубл. 10.03.2009, Бюл. № 7. – 2 с.

118. Петренко, А.М. Грузовые манипуляторы специальных транспортных средств / А.М. Петренко, А.Т. Звекон. – М.: МАДИ(ГТУ), 2009. – 90 с.

119. Петухов, П.З. Специальные краны / П.З. Петухов, Г.П. Ксюнин, Л.Г. Серлин. – М.: Машиностроение, 1985. – 248 с.

120. Пискунов, В.А. Расчет крановых конструкций методом конечных элементов / В.А. Пискунов, И.М.Бузун, А.С. Городецкий. – М.: Машиностроение, 1991. – 240 с.

121. Платонов, А.А. Элементы математической модели образования сферического рабочего пространства манипуляторными машинами / А.А. Платонов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2018. – № 1. – С. 48-55. – DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-01-48-55

122. Подъемно-транспортные машины: атлас конструкций / Под ред. М.П. Александрова, Д.Н. Решетова. – М.: Машиностроение, 1987. – 122 с.

123. Попов, Е.П. Манипуляционные роботы: динамика и алгоритмы / Е.П. Попов, А.Ф. Верещагин, С.Л. Зенкевич. – М.: Наука, 1980. – 400 с.

124. Постановление Правительства Российской Федерации от 15.04.2014 №328 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности».

125. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения: утв. приказом Ростехнадзора России 12.11.2013 № 533.

126. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов-манипуляторов: ПБ 10-257-98: утв. Ростехнадзором России 31.12.98 № 79. – М.: НПО ОБТ, 2003. – 89 с.

127. Промышленный робот [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Промышленный\\_робот](https://ru.wikipedia.org/wiki/Промышленный_робот) (дата обращения: 16.06.2018).

128. Промышленные роботы в машиностроении: Альбом схем и чертежей / Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Машиностроение, 1986. – 140 с.

129. Прохоров, В.Ю. Повышение износостойкости шарнирных сопряжений манипуляторов лесозаготовительных машин / В.Ю. Прохоров // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – 2011. – Т. 2. – «НИИ-Краностроения», 2009. – 120 с.

130. Пустовой, В.Н. Metalлоконструкции грузоподъемных машин. Разрушение и прогнозирование остаточного ресурса / В.Н. Пустовой. – М.: Транспорт, 1992. – 256 с.

131. Рекомендации по экспертному обследованию грузоподъемных машин. Общие положения: РД 10-112-1-04. – Одобрены Федеральной службой по технологическому надзору, протокол от 26.04.2004.

132. Свешников, В.К. Гидрооборудование: Международный справочник: в 3 кн. / В.К. Свешников. – М.: «Техинформ» МАИ, 2001.

133. Серебрянский, А.И. Силовой анализ работы шарнира манипулятора / А.И. Серебрянский, М.А. Мижевич // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2. – № 3. – Ч. 3. – С. 238-241.

134. Сероштан, В.И. Диагностирование грузоподъемных машин / В.И. Сероштан, Ю.С. Огарь, А.И. Головин, А.И. Глазун, М.И. Селиванов, В.В. Рахаев; Под ред. В.И. Сероштана, Ю.С. Огаря. – М.: Машиностроение, 1992. – 192 с.

135. Соколов, С.А. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин / С.А. Соколов. – СПб.: Политехника, 2005. – 423 с.

136. Состоянии рынка спецтехники в России 2010-2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.saphireavto.ru/novosti/53-sostoyanii-rynka-spetstekhniki-v-rossii-2010-2015> (дата обращения: 16.06.2018).

137. Справочник по кранам: в 2-х т. / Под ред. М.М. Гохберга. – Л.: Машиностроение, 1987. – Т. 1. – 536 с.

138. Справочное пособие по ремонту металлоконструкций грузоподъемных кранов / А.А. Короткий, М.Н. Хальфин, Б.Ф. Иванов, А.С. Логвинов. – Новочеркасск: НГТУ, 1994. – 180 с.

139. Суглобов, В.В. Повышение эксплуатационной надежности и расширение технологических возможностей перегрузочных машин морских портов / В.В. Суглобов, В.А. Михеев, И.А. Нефедов, П.В. Шиков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2009. – № 2. – С. 253-259.



140. Тарасик, В.П. Теория движения автомобиля / В.П. Тарасик. – СПб.: БВХ-Петербург, 2006. – 478 с.
141. Тарукин, Е.М. Обзор грузовых автомобилей / Е.М. Тарукин // Вестник НГИЭИ. – 2013. – №2. – С. 66-84.
142. Татаренко, А.П. Совершенствование конструкции лесопромышленных манипуляторов на основе математического моделирования рабочих процессов: автореферат дис. ... канд. техн. наук / Татаренко Александр Петрович. – Воронеж, 2000. – 19 с.
143. ТУ8Г [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.wikipedia/ТУ8Г> (дата обращения: 16.06.2018).
144. Указ Президента Российской Федерации «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» от 01.12.2016 № 642.
145. Ушкалов, В.Ф. Статистическая динамика рельсовых экипажей / В.Ф. Ушкалов, Л.М. Резников, С.Ф. Редько. – Киев: Наукова думка, 1982. – 360 с.
146. Черноусько, Ф.Л. Манипуляционные роботы: динамика, управление, оптимизация / Ф.Л. Черноусько, Н.Н. Болотник, В.Г. Градецкий. – М.: Наука, 1989. – 368 с.
147. Чудаков, Д.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля / Д.А. Чудаков. – М.: Колос, 1982. – 384 с.
148. Шевченко, В.П. Восстановление шарнирных соединений лесосечных машин электродуговой металлизацией: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Шевченко Василий Павлович. – Химки, 1986. – 20 с.
149. Шелгунов, Ю.В. Машины и оборудование лесозаготовок, лесосплава и лесного хозяйства / Ю.В. Шелгунов. – М.: Лесная промышленность, 1982. – 520 с.
150. Шишков, Н.А. Пособие для крановщиков (машинистов) по безопасной эксплуатации стреловых кранов / Н.А. Шишков. – М.: ПИО ОБТ, 2002. – 51 с.
151. Шлюшенков, А.П. Механика многоциклового усталостного разрушения / А.П. Шлюшенков. – Брянск: БИТМ, 1990. – 156 с.
152. Шойгу, С.К. Учебник спасателя / С.К. Шойгу М.И. Фалеев Г.Н. Кириллов В.И. Сычев В.О. Капканщиков А.Ю. Виноградов С.М. Кудинов С.А. Ножевой А.Ф. Неживой. – Краснодар: Советская Кубань, 2002. – 528 с.
153. Щербаков, В.Г. Комплексная математическая модель электровоза / В.Г. Щербаков // Транспорт: Наука, техника, управление: сб. обзорн. информ. – М.: ВИНТИ, 1998. – № 10. – С. 2-12.

154. Щербаков, В.С. Метод автоматического подъема, выравнивания опорной платформы строительной машины в горизонтальной плоскости и контроля отрыва выносных опор от грунта / В.С. Щербаков, М.С. Корытов, М.Г. Григорьев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. – 2010. – №1. – С. 146-154.
155. Юревич, Е.И. Управление роботами и робототехническими системами / Е.И. Юревич. – С.-Пб.: СПбГУ, 2000. – 171 с.
156. 5Т99/22Т6 – заряжающая машина ЗРС семейства С-300П, С-400 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.russianarms.ru/forum/index.php?topic=8368.0> (дата обращения: 16.06.2018).
157. Autocrane Company [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.autocrane.com> (дата обращения: 16.06.2018).
158. EN 12999:2002. Cranes-Loader cranes. – Bruxelles, 2002. – 96 p.
159. Furukawa Unic Corporation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://furukawaunic.co.jp> (дата обращения: 16.06.2018).
160. HIAB [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.hiab.com> (дата обращения: 16.06.2018).
161. Rouaud, M. Probability, Statistics and Estimation. Propagation of Uncertainties in Experimental Measurement / M. Rouaud. – 2013. – 181 p.
162. Terex Cranes [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.terex.com/cranes/ru/products/pickcarrycranes/index.htm> (дата обращения: 16.06.2018).
163. Timbco, TimberPro and Pat Crawford Companies [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://timberpro.com> (дата обращения: 16.06.2018).

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

## ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ МОБИЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
			максимальный	минимальный	максимальная	минимальная					
ЗАО "БАКМ"	БАКМ 460-1	КМУ	4.85	1.6	2500	890	47000	780	25	25	3.5
ЗАО "БАКМ"	БАКМ 460-2	КМУ	6.3	1.6	2500	680	46000	850	25	25	3.5
ЗАО "БАКМ"	БАКМ 890 2	КМУ	5.4	2.4	4000	1550	89000	1120	25	30	3.5
ЗАО "БАКМ"	БАКМ 891 3	КМУ	7.1	2.4	4000	1180	87000	1235	25	30	4.6
ЗАО "БАКМ"	БАКМ 1200-1	КМУ	5.9	2.4	5000	2080	120000	1900	25	35	3.5
ЗАО "БАКМ"	БАКМ 1200-2	КМУ	7.6	2.4	4000	1500	114000	1200	25	35	3.5
ЗАО "БАКМ"	БАКМ 1200-3	КМУ	9.3	2.4	4000	1150	110000	1210	25	35	3.5
ЗАО "БАКМ"	БАКМ 1200-4	КМУ	11	2.4	4000	900	106000	2200	25	35	3.5
ЗАО "БАКМ"	БАКМ 1600-1	КМУ	5.9	2.4	6000	1840	160000	2200	25	40	3.5
ЗАО "БАКМ"	БАКМ 1600-2	КМУ	7.6	2.4	5900	1400	154000	2300	25	40	3.5
ЗАО "БАКМ"	БАКМ 1600-3	КМУ	9.3	2.4	5700	1100	151000	2400	25	40	3.5
ЗАО "БАКМ"	БАКМ 1600-4	КМУ	11	2.4	5500	900	143000	2500	25	40	5
ЗАО "БАКМ"	МКС-10313	КМУ	3.25	1.1	910	750	10000	800	17	25	5
ЗАО "БАКМ"	МКС-5531А	КМУ	17.4	1.6	10000	1000	103500	2100	20	25	4.95
ЗАО "ИНМАН"	IM-15	КМУ	3.1	0.5	990	420	14000	194	20	6	0.89
ЗАО "ИНМАН"	IM-20	КМУ	3.57	1.47	990	505	18300	425	20	11	2.7
ЗАО "ИНМАН"	IM-25	КМУ	6.78	1.25	990	350	25200	630	28	15	3.16
ЗАО "ИНМАН"	IM-40Т	СКМУ	3.58	0.9	990	990	35500	300	28	15	-
ЗАО "ИНМАН"	IM-50	КМУ	6	1.6	2000	740	44000	1016	28.5	20	2.2
ЗАО "ИНМАН"	IM-55	КМУ	6.78	1.6	2815	730	51200	980	28.5	15	4.234
ЗАО "ИНМАН"	IM-77	КМУ	6.8	1.8	3000	1100	75000	1020	28	25	3.16
ЗАО "ИНМАН"	IM-95	КМУ	8.25	2	4000	950	85000	1500	28	25	4.85
ЗАО "ИНМАН"	IM-100	КМУ	6.8	2.5	3830	1415	95000	1100	28.5	15	4.234
ЗАО "ИНМАН"	IM-150	КМУ	8.4	4	6050	1320	121000	2120	28	32	5.4
ЗАО "ИНМАН"	IM-150N	КМУ	6.1	4.4	6100	2250	143000	1769	30	40-60	5.6
ЗАО "ИНМАН"	IM-150Т	КМУ	7	2	4310	1810	129300	1500	30	40-60	4.83
ЗАО "ИНМАН"	IM-180	КМУ	8	3	8800	2200	179000	2650	28	40	5.66
ЗАО "ИНМАН"	IM-180-05	КМУ	14.6	3	5730	870	172000	3155	28	40	5.84
ЗАО "ИНМАН"	IM-240	КМУ	7.58	3	7300	2900	219000	3000	25	50	2.48
ЗАО "ИНМАН"	IM-240-04	КМУ	11.7	3	7000	1630	210000	3350	25	50	5.89
ЗАО "ИНМАН"	IM-240А	КМУ	9	3.88	8400	2200	233000	2430	25	50	5.89
ЗАО "ИНМАН"	IF-300	КМУ	8	4	9000	3300	270000	3900	30	50	5.89
ЗАО "ИНМАН"	IM-320	КМУ	8.1	3	8500	3840	304000	2792	30	55-80	6.616
ЗАО "ИНМАН"	IM-320-05	КМУ	14.2	3	6700	1790	288000	3514	30	55-80	6.616
ЗАО "ИНМАН"	IM-240УПО	СКМУ	8.83	3	8050	3020	285000	3100	25	50	-
ЗАО "ИНМАН"	IM-600	СКМУ	12.2	4	9000	3780	558000	3250	25	50	-
ЗАО "ИНМАН"	IT-80	КМУ	7.53	4	3050	790	82000	1190	25.5	27	3.164
ЗАО "ИНМАН"	IT-150	КМУ	19	4.5	6600	300	150000	2900	24	60	5.63
ЗАО "ИНМАН"	IT-180	КМУ	18.8	3.8	7200	400	180000	3200	23	60	5.66
ЗАО "Велмаш"	ОМТЛ-70-02С	СКМУ	7.3	1.8	2050	900	70000	1890	x	x	-
ЗАО "Велмаш"	ОМТЛ-70-04С	СКМУ	8.5	2	2080	790	70000	2100	x	x	-
ЗАО "Велмаш"	ОМТЛ-97С	СКМУ	7.3	1.8	3170	1270	73000	2000	x	x	-

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
ЗАО "Велмаш"	ОМТЛ-97-04С	СКМУ	8.5	2	3070	1075	85000	2140	х	х	-
ЗАО "Велмаш"	ОМТ-97МС	СКМУ	7.3	1.8	3170	1270	97000	2000	х	х	-
ЗАО "Велмаш"	ОМТ-97М-04С	СКМУ	8.5	2	3070	1075	97000	2140	х	х	-
ЗАО "Велмаш"	ОМТЛ-200	СКМУ	12.5	2	6880	1650	200000	3900	х	х	-
ЗАО "Велмаш"	ОМТ-200МКС	СКМУ	12.5	2	3600	1650	200000	4200	х	х	-
ЗАО "Велмаш"	ОМТ-97М	ГКМУ	7.3	1.8	3300	1360	97000	2260	х	х	3.85
ЗАО "Велмаш"	ОМТ-120М	ГКМУ	8.5	2	3060	1440	120000	2500	х	х	4
ЗАО "Велмаш"	ОМТ-200МС	ГКМУ	12.5	2	3600	1500	200000	4200	х	х	4
ЗАО "Велмаш"	ОМТЛ-30-02	ЛКМУ	4.8	1.8	1360	880	40000	1480	х	х	3.85
ЗАО "Велмаш"	ОМТЛ-50	ЛКМУ	7.3	1.8	1785	788	50000	2100	х	х	3.85
ЗАО "Велмаш"	ОМТЛ-70-01	ЛКМУ	7.3	1.8	1480	980	70000	2100	х	х	3.85
ЗАО "Велмаш"	ОМТЛ-70-02	ЛКМУ	7.3	1.8	2090	940	70000	2100	х	х	3.85
ЗАО "Велмаш"	ОМТЛ-70-03	ЛКМУ	7.3	1.8	2090	940	70000	2100	х	х	3.85
ЗАО "Велмаш"	ОМТЛ-70-04	ЛКМУ	8.5	2	2040	750	70000	2240	х	х	3.85
ЗАО "Велмаш"	ОМТЛ-70-05	ЛКМУ	7.3	1.8	2040	940	70000	1450	х	х	3.85
ЗАО "Велмаш"	ОМТЛ-97 GREAT	ЛКМУ	7.3	1.8	3200	1315	97000	2260	х	х	4
ЗАО "Велмаш"	ОМТЛ-97-04	ЛКМУ	8.5	2	3100	1120	97000	2300	х	х	4
ЗАО "Велмаш"	ОМТЛ-120-01	ЛКМУ	8.5	2	2970	1350	120000	2500	х	х	4
ЗАО "Велмаш"	КМУ-90Э	ЭКМУ	7.23	4.5	3680	1270	90000	2160	х	х	4
ЗАО "Велмаш"	АКСП	ЧСКМУ	7.5	2.5	3680	1200	90000	1650	х	х	4
АО "ЗМЗ"	Синегорец-75	КМУ	7.8	2.5	2400	1200	75000	1960	х	х	3.85
АО "ЗМЗ"	Синегорец-75	ЛКМУ	7.8	2.5	2400	1200	75000	1960	х	х	3.85
АО "ЗМЗ"	Синегорец-75	ГКМУ	7.8	2.5	2400	1200	75000	1960	х	х	3.85
АО "ЗМЗ"	Синегорец-110	КМУ	7.8	2.5	3600	1400	110000	2100	х	х	4
АО "ЗМЗ"	Синегорец-110	ЛКМУ	7.8	2.5	3600	1400	110000	2100	х	х	4
АО "ЗМЗ"	Синегорец-110	ГКМУ	7.8	2.5	3600	1400	110000	2100	х	х	4
АО "ЗМЗ"	ПР-14-2М-0	ТЗМ	8.6	5.6	2800	1250	105000	1960	х	х	3.85
ООО "МайМЗ"	АТЛАНТ-С 120-00 КС	КМУ	8.8	3	4000	1300	120000	2000	23	40-60	5.35
ООО "МайМЗ"	АТЛАНТ-С 92 КС	КМУ	10.8	4.88	4600	750	92000	1960	23	40-60	3.8
ООО "МайМЗ"	АТЛАНТ-С 150-06 К	КМУ	7.5	3.3	4500	1870	150000	2340	20	40	5.35
ООО "МайМЗ"	АТЛАНТ – С 220-02	КМУ	12.8	3	4000	950	220000	2250	23	40-60	5.35
ООО "МайМЗ"	АТЛАНТ-С 90-12 К	КМУ	7.8	3.4	3000	1150	90000	1700	20	80	3.8
ООО "МайМЗ"	АТЛАНТ-С 75-04 К	КМУ	7.3	2.47	2470	1000	75000	1650	21	80	3.5
ООО "МайМЗ"	ЛВ-210-02	КМУ	5.4	1.6	2000	650	35000	600	21	80	1
ООО "МайМЗ"	ЛВ-210	КМУ	3.8	1.6	1250	520	20000	330	21	80	1
ООО "МайМЗ"	АТЛАНТ-С 100-16	ЛКМУ	7.8	3	3000	1150	90000	1770	20	80	3.8
ООО "МайМЗ"	АТЛАНТ-С 90-15	ЛКМУ	7.8	3	3300	1300	100000	1930	20	80	3.8
ООО "МайМЗ"	МАЙМАН-90S	ЛКМУ	7.8	3	3000	1150	90000	1720	20	80	3.8
ООО "МайМЗ"	МАЙМАН-100S	ЛКМУ	7.8	3	3300	1300	100000	1930	20	80	3.8
ООО "МайМЗ"	АТЛАНТ С 100Z-01	ЛКМУ	8	3	4000	1400	100000	2310	23	80	3.8
ООО "МайМЗ"	АТЛАНТ-С 100Z	ЛКМУ	7.8	3	4000	1400	100000	2150	23	80	3.8
ООО "МайМЗ"	АТЛАНТ-С 70-10	ЛКМУ	7.4	3.5	2400	950	70000	1480	21.5	80	3.8
ООО "МайМЗ"	АТЛАНТ-С 70-10-01	ЛКМУ	7.4	3.5	2400	950	70000	1190	21.5	80	3.8
ООО "МайМЗ"	АТЛАНТ-С 90-08	ЛКМУ	9	3	3000	1000	90000	1870	22	80	3.8
ООО "МайМЗ"	АТЛАНТ-С 140-05	ЛКМУ	7.5	3.5	4500	1870	140000	2300	22.5	80	3.9
ООО "МайМЗ"	ЛВ-185-21	ЛКМУ	10	3	3000	1000	100000	2000	23	80	4.9
ООО "МайМЗ"	ЛВ-220 (судовой)	СКМУ	8	3	4000	1400	100000	2310	23	80	5.9

# Приложения

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
ООО "СМЗ"	СФ-62	ЛКМУ	7	3	2000	900	62000	1730	17	80	3.57
ООО "СМЗ"	СФ-65С	ЛКМУ	7	3	2000	900	65000	1800	17	80	3.57
ООО "СМЗ"	СФ-65Л (трактор)	ЛКМУ	7	3	2000	900	65000	1134	17	80	-
ООО "СМЗ"	СФ-75С	ЛКМУ	8.7	3	2850	880	75000	1950	20	80	3.325
ООО "СМЗ"	СФ-75Л (трактор)	ЛКМУ	8.7	3	2850	880	75000	1950	20	80	-
ООО "СМЗ"	СФ-85С	ЛКМУ	8.1	3	3770	1070	85000	2080	21	80	3.325
ООО "СМЗ"	СФ-85СТ	ЛКМУ	9.3	3	3770	935	85000	2200	21	80	3.325
ООО "СМЗ"	СФ-140С	ЛКМУ	9	5	3100	1600	40000	3220	20	80	3.42
ООО "СМЗ"	СФ-140Л (трактор)	ЛКМУ	9	5	3100	1600	120000	3280	20	80	-
ООО «СМЗ»	СФ-140СТ	ЛКМУ	10	5	2400	1200	140000	2920	20	80	3.42
ООО «СМЗ»	СФ-140ЛТ	ЛКМУ	10	5	2400	1200	120000	2920	20	80	-
ООО «БЭМ»	ДЭМ-151 (трактор)	КМУ	9.81	3.41	3030	480	60000	1800	20.6	80	3.5
ООО «МозМЗ»	Ломовоз	ГКМУ	8.5	3	3060	1440	120000	2100	20.6	80	3.5
ООО «МозМЗ»	Вышка (трактор)	ВКМУ	7.8	5	2250	300	49000	6400	20.6	80	2
АО «Стройдор-маш»	МКМ-200	КМУ	9.6	5	4000	1200	148000	1800	20	60	2.5
БАЗ	ТЗМ 9Т234	ТЗМ	9	3	850	850	50000	1500	20	80	-
АО «Уралвагонзавод»	ТЗМ-Т (танк)	ТЗМ	3.35	2	1750	1000	35000	2000	х	х	-
ЗАО «Дизель-Ремонт»	АСТ-4-А (трактор)	ТКМУ	5.8	1.5	1000	750	65000	2100	20	68.6	-
ЗАО «Дизель-Ремонт»	АСТ-4-С (трактор)	ТКМУ	5.8	1.5	1000	750	65000	2100	20	68.7	-
ЗАО «Дизель-Ремонт»	АСТ-4-Ч (трактор)	ТКМУ	5.8	1.5	1000	750	65000	2100	20	68.8	-
ЗАО «Дизель-Ремонт»	АСТ-72В (трактор)	ТКМУ	5.8	1.5	500	350	35000	2000	20	68.8	-
Tadano	TM-ZR504XL	КМУ	10.67	3	4535	521	50000	1500	20.1	68	3.5
Tadano	TM-ZR506XL	КМУ	18.29	3	4535	204	50000	2000	20.1	68	4
Tadano	400E1	КМУ	4.95	1.9	1950	800	47000	690	26	14	3.155
Tadano	400E2	КМУ	6.6	1.85	1850	565	47000	740	26	14	3.155
Tadano	400E3	КМУ	8.4	1.83	1830	400	47000	810	26	14	3.155
Tadano	680E1	КМУ	4.95	2	2820	1200	68000	920	27.5	14	4.495
Tadano	680E2	КМУ	6.6	2	2760	870	68000	985	27.5	14	4.495
Tadano	680E3	КМУ	8.3	2	2860	800	68000	1060	27.5	14	4.495
Tadano	870E1	КМУ	5.77	2.5	2880	1300	87300	1080	27.5	18	4.5
Tadano	870E2	КМУ	7.63	2.5	2800	930	87300	1164	27.5	18	4.5
Tadano	870E3	КМУ	7.7	2.5	2740	660	87300	1232	27.5	18	4.5
Tadano	870E4	КМУ	9.53	2.5	2890	470	87300	1310	27.5	18	4.5
Tadano	980E2	КМУ	6.3	2	4350	1370	105000	1595	27	25	4.85
Tadano	980E3	КМУ	7.6	2	4350	1100	105000	1630	27	25	4.85
Tadano	1200E1	КМУ	5.64	2.54	3860	1750	123000	1520	27.5	25	4.85
Tadano	1200E2	КМУ	7.69	2.54	3750	1260	123000	1635	27.5	25	4.85
Tadano	1200E3	КМУ	9.58	2.54	3650	940	123000	1740	27.5	25	4.85
Tadano	1200E4	КМУ	11.51	2.54	3570	730	123000	1830	27.5	25	4.85
Tadano	1200T2	КМУ	6.37	2.43	4400	1700	127000	1540	24	25	4.85
Tadano	1200T3	КМУ	8.5	2.49	4200	1200	127000	1660	24	25	4.85
Tadano	13500T2	КМУ	6.38	2.44	5500	2150	157000	1640	28	30	4.476
Tadano	13500T3	КМУ	8.44	2.6	4960	1400	157000	1750	28	30	4.476
Tadano	13500T4	КМУ	10.6	2.57	4230	900	157000	1870	28	30	4.476
Tadano	1550E1	КМУ	6.16	2	6700	2320	156000	1830	27	35	4.476
Tadano	1550E2	КМУ	8.23	2	6500	1660	156000	1950	27	35	4.476
Tadano	1550E3	КМУ	10.27	2	6400	1230	156000	2100	27	35	4.476
Tadano	1550E4	КМУ	12.23	2	6200	1130	156000	2270	27	35	4.476

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
Tadano	1550EF	КМУ	18.6	5.5	1900	350	156000	2580	27	35	5.83
Tadano	1790S	КМУ	15.24	2	7500	500	179000	2100	27	60	4.476
Tadano	1800E2	КМУ	8.23	2	7200	1820	180000	1950	27	35	4.476
Tadano	1800E3	КМУ	12.38	2	7100	1070	180000	2100	27	35	4.476
Tadano	1800E4	КМУ	14.29	2	6900	840	180000	2270	27	35	4.476
Tadano	1800EF	КМУ	18.6	6.1	1900	350	180000	2580	27	35	5.83
Tadano	2250E1	КМУ	5.72	2	9300	3430	230000	2340	30	45	5.83
Tadano	2250E2	КМУ	7.56	2	9160	2530	230000	2480	30	45	5.83
Tadano	2250E3	КМУ	9.56	2	9060	1930	230000	2620	30	45	5.83
Tadano	2250E4	КМУ	11.56	2	8490	1430	230000	2740	30	45	5.83
Tadano	2250E5	КМУ	13.7	2	8400	1330	230000	2840	30	45	5.83
Tadano	2250E6	КМУ	15.84	2	8300	890	230000	2940	30	45	5.83
Tadano	2770S2	КМУ	5.64	2	12350	4260	285000	2850	31	55	5.838
Tadano	2770S4	КМУ	9.52	2	12000	2350	285000	3180	31	55	5.838
Tadano	2770S6	КМУ	13.76	2	10900	1310	285000	3490	30	55	5.838
Tadano	2770S8	КМУ	18.21	2	10660	810	285000	3720	30	55	5.838
Tadano	2820E8	КМУ	19.7	2	9400	700	282000	3560	31	45	5.838
Tadano	2550E8	КМУ	20	2	8000	540	271500	3510	30	44-45	5.838
Tadano	2750E8	КМУ	20	2	9250	650	280000	3610	30	55	5.838
Tadano	10000E2	КМУ	7.44	2	30000	10480	2100000	10000	30	60	7.598
Tadano	4040E8	КМУ	18.74	2	15000	255	418000	5640	27.5	80	5.85
Tadano	6020E6	КМУ	16.5	2.3	20000	2420	602000	6630	28.8	80	7.598
Tadano	6020EF	КМУ	31.61	8.1	4770	380	602000	7360	28.8	80	7.598
Unic	UR-V232	КМУ	4.4	2.5	2330	930	40000	1826	20.6	45	3.4
Unic	UR-V233	КМУ	6.4	2.59	2330	630	40000	1826	20.6	45	3.4
Unic	UR-V234	КМУ	8.43	2.87	2330	290	40000	1849	20.6	45	3.4
Unic	UR-V293	КМУ	7.6	2.79	3030	580	50000	1800	20.6	53	3.4
Unic	UR-V294	КМУ	9.8	3.17	3030	330	50000	1800	20.6	53	3.4
Unic	UR-V295	КМУ	11.7	3.15	3030	180	50000	1800	20.6	53	3.4
Unic	UR-V296	КМУ	13.6	3.25	3030	100	50000	1800	20.6	53	3.4
Unic	UR-V373	КМУ	9.2	3.31	3030	680	50000	2000	20.6	53	4.2
Unic	UR-V374	КМУ	11.4	3.41	3030	480	50000	2000	20.6	53	4.2
Unic	UR-V375	КМУ	13.7	3.54	3030	250	50000	2000	20.6	53	4.2
Unic	UR-V376	КМУ	15.9	3.63	3030	130	50000	2000	20.6	80	4.2
Unic	UR-603	КМУ	9.5	4.2	6000	1000	120000	2420	20.6	80	3.9
Unic	UR-604	КМУ	12.8	4.3	6000	600	120000	2650	20.6	80	4.8
Unic	UR-605	КМУ	15.9	4.4	6000	350	120000	2940	20.6	80	4.8
Unic	UR-1504	КМУ	25	1.2	13620	6500	2100000	5496	19.61	100	5.7
Donghe	DHC870	БКМУ	5	2	200	200	10000	550	20	8.4	2.7
Donghe	DHS433	КМУ	7	2	850	100	10000	750	20	8.4	2.5
Kanglim	KS1256G-II	КМУ	18.7	2	7000	300	150000	3000	23	60	5.7
Kanglim	KS2056H	КМУ	20.3	2.4	7100	350	180000	3200	23	60	5.7
DongYang	1926	КМУ	19.8	2.7	7000	400	190000	3572	23	60	5.7
HMF	50-T	CKМУ	2	1.15	430	250	5000	62	18.5	12	-
HMF	150-T1	КМУ	2.1	1.2	830	360	10000	160	18.5	2.5-4.0	0.265
HMF	150-T2	КМУ	2.9	1.2	830	340	10000	170	18.5	2.5-3.0	0.265
HMF	150-P1	КМУ	2.1	1.2	830	360	10000	162	18.5	2.5-2.0	0.265
HMF	150-P2	КМУ	2.9	1.2	830	340	10000	174	18.5	2.5-3.0	0.265
HMF	200-T1	КМУ	2.1	1.2	1200	720	15000	185	15.5	4.0-8.0	0.45
HMF	200-T	КМУ	2.91	1.2	1200	480	15000	200	15.5	4.0-9.0	0.45
HMF	250-T2	КМУ	3.2	1.2	1670	600	20000	240	18	6.0-8.0	0.61
HMF	260-T2	КМУ	3.5	1.5	1760	730	26000	275	18.5	12	0.875



# Приложения

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
HMF	270-K2	КМУ	5.6	3.1	790	410	25000	386	19	12	1.56
HMF	270-K3	КМУ	7	3.2	775	325	24000	421	19	10	1.56
HMF	340-K1	КМУ	4.4	3.1	995	650	32000	418	22	15	3.9
HMF	340-K2	КМУ	5.7	3.1	995	565	32000	468	24	15	3.9
HMF	340-K3	КМУ	7.1	3.2	995	435	32000	508	24	12	3.9
HMF	535-K1	КМУ	4.8	3.3	1350	940	45000	569	27	25	3.025
HMF	535-K2	КМУ	6.4	3.4	1280	670	44000	624	27	25	3.025
HMF	535-K3	КМУ	7.9	3.5	1200	500	42000	669	27	20	3.025
HMF	535-K4	КМУ	9.5	3.6	1140	375	41000	705	27	20	3.025
HMF	635-K1	КМУ	5.1	3.4	1600	1075	54000	740	27.5	25	3.025
HMF	635-K2	КМУ	6.9	3.5	1500	1000	52000	815	27.5	25	3.025
HMF	635-K3	КМУ	8.6	3.5	1425	525	51000	880	27.5	20	3.025
HMF	635-K4	КМУ	10.4	3.6	1325	400	48000	940	27.5	20	3.025
HMF	735-K1	КМУ	5.1	3.4	1950	1325	67000	865	27.5	30	3.4
HMF	735-K2	КМУ	6.9	3.5	1850	925	65000	940	27.5	30	3.4
HMF	735-K3	КМУ	8.6	3.5	1775	700	63000	1005	27.5	25	3.4
HMF	735-K4	КМУ	10.4	3.6	1675	520	61000	1065	27.5	25	3.4
HMF	900-K1	КМУ	5.4	3.8	2310	1610	88000	1000	30	40	2.94
HMF	900-K2	КМУ	7.5	3.9	2190	1100	85000	1105	30	40	2.84
HMF	900-K3	КМУ	9.6	3.9	2080	780	82000	1205	30	40	2.74
HMF	900-K4	КМУ	11.8	3.9	1970	560	80000	1295	30	40	2.64
HMF	900-K5	КМУ	13.9	4.1	1880	410	77000	1375	30	40	2.54
HMF	910-K1	КМУ	5.4	3.8	2390	1660	90000	975	30	40	2.94
HMF	910-K2	КМУ	7.5	3.8	2270	1140	87000	1080	30	40	2.84
HMF	910-K3	КМУ	9.8	3.9	2150	810	85000	1180	30	40	2.74
HMF	910-K4	КМУ	11.7	4	2050	580	82000	1270	30	40	2.64
HMF	910-K5	КМУ	13.9	4.1	1950	430	80000	1350	30	40	2.54
HMF	1020-K1	КМУ	5.4	3.8	2560	1790	97000	1010	33	40	2.94
HMF	1020-K2	КМУ	7.5	3.9	2440	1230	95000	1115	33	40	2.84
HMF	1020-K3	КМУ	9.6	3.9	2320	880	92000	1215	33	40	2.74
HMF	1020-K4	КМУ	11.8	4	2210	650	89000	1305	33	40	2.64
HMF	1020-K5	КМУ	13.9	4.1	2110	490	87000	1385	33	40	2.54
HMF	1030-K1	КМУ	5.4	3.8	2650	1840	100000	985	33	40	2.94
HMF	1030-K2	КМУ	7.5	3.8	2520	1270	97000	1090	33	40	2.84
HMF	1030-K3	КМУ	9.6	3.9	2400	910	94000	1190	33	40	2.74
HMF	1030-K4	КМУ	11.7	4	2290	670	92000	1280	33	40	2.64
HMF	1030-K5	КМУ	13.9	4.1	2190	500	90000	1360	33	40	2.54
HMF	1100-K1	КМУ	6	4.1	2540	1760	106000	1105	30	40	2.78
HMF	1100-K2	КМУ	8.2	4.2	2410	1210	102000	1230	30	40	2.7
HMF	1100-K3	КМУ	10.4	4.3	2280	850	99000	1340	30	40	2.6
HMF	1100-K4	КМУ	12.7	4.4	2180	620	96000	1435	30	40	2.51
HMF	1100-K5	КМУ	14.9	4.5	2080	460	93000	1520	30	40	2.41
HMF	1100-KS1	КМУ	5.2	3.8	2980	2055	107000	1055	30	40	3.3
HMF	1100-KS2	КМУ	7.4	3.8	2720	1360	104000	1180	30	40	3.18
HMF	1100-KS3	КМУ	9.7	3.9	2585	905	101000	1290	30	40	3.07
HMF	1110-K1	КМУ	6	4.1	2590	1790	107000	1070	30	40	2.78
HMF	1110-K2	КМУ	8.2	4.2	2450	1230	103000	1195	30	40	2.7
HMF	1110-K3	КМУ	10.4	4.3	2330	870	100000	1305	30	40	2.6
HMF	1110-K4	КМУ	12.6	4.4	2220	630	97000	1400	30	40	2.51
HMF	1110-K5	КМУ	14.9	4.4	2120	480	94000	1485	30	40	2.41
HMF	1110-KS1	КМУ	5.2	3.8	2980	2055	107000	1055	30	40	3.3

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
HMF	1110-KS2	КМУ	7.4	3.8	2720	1380	104000	1180	30	40	3.18
HMF	1110-KS3	КМУ	9.7	3.9	2585	965	101000	1290	30	40	3.07
HMF	1120-K1	КМУ	5.4	3.8	2690	1880	102000	1010	34.5	70-100	2.94
HMF	1120-K2	КМУ	7.5	3.9	2570	1300	99000	1115	34.5	70-101	2.84
HMF	1120-K3	КМУ	9.6	3.9	2450	930	97000	1215	34.5	70-102	2.74
HMF	1120-K4	КМУ	11.8	4	2340	690	94000	1305	34.5	70-103	2.64
HMF	1120-K5	КМУ	13.9	4.1	2240	510	92000	1385	34.5	70-104	2.54
HMF	1130-K1	КМУ	5.4	3.8	2780	1940	105000	985	34.5	70-104	2.94
HMF	1130-K2	КМУ	7.5	3.8	2660	1340	102000	1090	34.5	70-104	2.84
HMF	1130-K3	КМУ	9.6	3.9	2530	970	99000	1190	34.5	70-104	2.74
HMF	1130-K4	КМУ	11.7	4	2420	720	97000	1280	34.5	70-104	2.64
HMF	1130-K5	КМУ	13.9	4.1	2320	540	95000	1360	34.5	70-104	2.54
HMF	1220-K1	КМУ	6	4.1	2830	1960	117000	1115	33	40	2.94
HMF	1220-K2	КМУ	8.2	4.2	2690	1360	114000	1240	33	40	2.84
HMF	1220-K3	КМУ	10.4	4.3	2560	970	110000	1350	33	40	2.74
HMF	1220-K4	КМУ	12.7	4.4	2440	720	107000	1445	33	40	2.64
HMF	1220-K5	КМУ	14.9	4.5	2340	540	105000	1530	33	40	2.54
HMF	1220-KS1	КМУ	5.3	3.8	3115	2250	118000	1100	33	40	3.3
HMF	1220-KS2	КМУ	7.4	3.9	2970	1520	115000	1225	33	40	3.18
HMF	1220-KS3	КМУ	9.7	3.9	2835	1075	112000	1335	33	40	3.07
HMF	1230-K1	КМУ	6	4.1	2870	1990	119000	1080	33	40	2.94
HMF	1230-K2	КМУ	8.2	4.2	2730	1370	115000	1205	33	40	2.84
HMF	1230-K3	КМУ	10.4	4.3	2600	980	111000	1315	33	40	2.74
HMF	1230-K4	КМУ	12.6	4.4	2490	730	109000	1410	33	40	2.64
HMF	1230-K5	КМУ	14.9	4.4	2380	550	106000	1495	33	40	2.54
HMF	1230-KS1	КМУ	5.2	3.8	3170	2280	119000	1055	33	40	3.3
HMF	1230-KS2	КМУ	7.4	3.8	3025	1545	116000	1180	33	40	3.18
HMF	1230-KS3	КМУ	9.7	3.9	2885	1390	113000	1290	33	40	3.07
HMF	1010K-RC1	КМУ	5.4	3.5	2650	1840	100000	985	33	40-70	2.94
HMF	1010K-RC2	КМУ	7.5	3.8	2520	1270	97000	1090	33	40-70	2.84
HMF	1010K-RC3	КМУ	9.6	3.9	2400	910	94000	1190	33	40-70	2.74
HMF	1010K-RC4	КМУ	11.7	4	2290	670	92000	1280	33	40-70	2.64
HMF	1010K-RC5	КМУ	13.9	4.1	2190	500	90000	1350	33	40-70	2.54
HMF	1020K-RC1	КМУ	5.4	3.8	2560	1790	97000	1010	33	40-70	2.94
HMF	1020K-RC2	КМУ	7.5	3.9	2440	1230	95000	1115	33	40-70	2.84
HMF	1020K-RC3	КМУ	9.6	3.9	2320	880	92000	1215	33	40-70	2.74
HMF	1020K-RC4	КМУ	11.8	4	2210	650	89000	1305	33	40-70	2.64
HMF	1020K-RC5	КМУ	13.9	4.1	2110	480	97000	1385	33	40-70	2.54
HMF	1210K-RC1	КМУ	6	4.1	2870	1960	119000	1080	33	40-70	2.94
HMF	1210K-RC2	КМУ	8.2	4.2	2730	1370	115000	1205	33	40-70	2.84
HMF	1210K-RC3	КМУ	10.4	4.3	2600	960	111000	1315	33	40-70	2.74
HMF	1210K-RC4	КМУ	12.6	4.4	2480	730	109000	1410	33	40-70	2.64
HMF	1210K-RC5	КМУ	14.9	4.5	2390	550	106000	1495	33	40-70	2.54
HMF	1220K-RC1	КМУ	6	4.1	2830	1960	117000	1115	33	40-70	2.94
HMF	1220K-RC2	КМУ	8.2	4.2	2690	1360	114000	1240	33	40-70	2.84
HMF	1220K-RC3	КМУ	10.4	4.3	2560	970	110000	1350	33	40-70	2.74
HMF	1220K-RC4	КМУ	12.6	4.4	2440	720	107000	1445	33	40-70	2.64
HMF	1220K-RC5	КМУ	14.9	4.5	2340	540	105000	1530	33	40-70	2.54
HMF	1410K-RC1	КМУ	6.2	4.3	3150	2170	135000	1310	33	45-70	2.8
HMF	1410K-RC2	КМУ	8.3	4.3	3020	1540	130000	1450	33	45-70	2.7
HMF	1410K-RC3	КМУ	10.4	4.4	2870	1110	126000	1590	33	45-70	2.6
HMF	1410K-RC4	КМУ	12.7	4.5	3730	800	122000	1725	33	45-70	2.5

# Приложения

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
HMF	1410K-RC5	КМУ	14.9	4.6	2600	580	118000	1845	33	45-70	2.4
HMF	1410K-RC6	КМУ	17.2	4.6	2490	490	115000	1940	33	45-70	2.4
HMF	1420K-RC1	КМУ	6.2	4.3	3140	2170	135000	1360	33	45-70	2.8
HMF	1420K-RC2	КМУ	8.3	4.3	3010	1530	130000	1500	33	45-70	2.7
HMF	1420K-RC3	КМУ	10.4	4.4	2860	1100	126000	1640	33	45-70	2.6
HMF	1420K-RC4	КМУ	12.7	4.5	2720	800	122000	1775	33	45-70	2.5
HMF	1420K-RC5	КМУ	14.9	4.6	2590	580	118000	1895	33	45-70	2.4
HMF	1420K-RC6	КМУ	17.2	4.6	2480	490	115000	1990	33	45-70	2.4
HMF	1710K-RC1	КМУ	6.2	4.3	3750	2590	161000	1370	33	50-70	2.8
HMF	1710K-RC2	КМУ	8.3	4.3	3610	1850	156000	1510	33	50-70	2.7
HMF	1710K-RC3	КМУ	10.4	4.4	3450	1360	152000	1650	33	50-70	2.6
HMF	1710K-RC4	КМУ	12.7	4.5	3300	1010	148000	1785	33	50-70	2.5
HMF	1710K-RC5	КМУ	14.9	4.6	3160	760	144000	1905	33	50-70	2.4
HMF	1710K-RC6	КМУ	17.2	4.6	3040	580	141000	2000	33	50-70	2.4
HMF	1720K-RC1	КМУ	6.2	4.3	3740	2590	160000	1420	33	50-70	2.8
HMF	1720K-RC2	КМУ	8.3	4.3	3610	1850	156000	1560	33	50-70	2.7
HMF	1720K-RC3	КМУ	10.4	4.4	3440	1360	151000	1700	33	50-70	2.6
HMF	1720K-RC4	КМУ	12.7	4.5	3290	1000	147000	1835	33	50-70	2.5
HMF	1720K-RC5	КМУ	14.9	4.6	3160	760	144000	1955	33	50-70	2.4
HMF	1720K-RC6	КМУ	17.2	4.6	3030	570	140000	2050	33	50-70	2.4
HMF	2010K-RC2	КМУ	6.2	4.3	4250	2210	184000	1770	33	55-70	2.7
HMF	2010K-RC3	КМУ	10.2	4.4	4070	1650	179000	1925	33	55-70	2.7
HMF	2010K-RC4	КМУ	12.4	4.5	3900	1230	175000	2080	33	55-70	2.6
HMF	2010K-RC5	КМУ	14.7	4.6	3730	920	170000	2220	33	55-70	2.5
HMF	2010K-RC6	КМУ	17.1	4.6	3580	680	166000	2345	33	55-70	2.4
HMF	2020K-RC2	КМУ	6.2	4.3	4269	2220	184000	1840	33	55-70	2.7
HMF	2020K-RC3	КМУ	10.2	4.4	4080	1650	180000	1995	33	55-70	2.7
HMF	2020K-RC4	КМУ	12.4	4.5	3910	1240	175000	2180	33	55-70	2.6
HMF	2020K-RC5	КМУ	14.7	4.6	3740	930	171000	2320	33	55-70	2.5
HMF	2020K-RC6	КМУ	17.1	4.6	3590	690	166000	2445	33	55-70	2.4
HMF	2410K-RC2	КМУ	6.2	4.3	5270	2760	228000	1895	33	60-70	2.7
HMF	2410K-RC3	КМУ	10.2	4.4	5060	2070	223000	2065	33	60-70	2.7
HMF	2410K-RC4	КМУ	12.4	4.5	4850	1570	217000	2265	33	60-70	2.6
HMF	2410K-RC5	КМУ	14.7	4.6	4660	1180	213000	2415	33	60-70	2.5
HMF	2410K-RC6	КМУ	17.1	4.6	4500	870	208000	2555	33	60-70	2.4
HMF	2420K-RC2	КМУ	6.2	4.3	5280	2760	229000	1980	33	60-70	2.7
HMF	2420K-RC3	КМУ	10.2	4.4	5070	2070	224000	2150	33	60-70	2.7
HMF	2420K-RC4	КМУ	12.4	4.5	4870	1570	218000	2350	33	60-70	2.6
HMF	2420K-RC5	КМУ	14.7	4.6	4630	1180	214000	2500	33	60-70	2.5
HMF	2420K-RC6	КМУ	17.1	4.6	4510	870	209000	2640	33	60-70	2.4
HMF	1244-Z1	ККМУ	6.5	5	2130	1630	107000	1530	28	50-60	2.5
FASSI	F100AT.12	ЭКМУ	5.85	2.15	4430	1665	97900	1100	29.5	40	3.925
FASSI	F100AT.13	ЭКМУ	8	2.3	4070	1135	95800	1180	29.5	40	3.925
FASSI	F120ATXP.12	ЭКМУ	5.85	2.15	4750	1830	107000	1080	32.5	40	3.925
FASSI	F120ATXP.13	ЭКМУ	8	2.3	4450	1260	104000	1180	32.5	40	3.925
FASSI	F130AT.13	ЭКМУ	8	2.3	5365	1470	123300	1585	27	40	4.6
FASSI	F130AT.14	ЭКМУ	10.05	2.35	5125	1055	120300	1720	27	40	4.6
FASSI	F150ATXP.13	ЭКМУ	8	2.3	5400	1615	132500	1585	29.5	40	6.62
FASSI	F150ATXP.14	ЭКМУ	10.05	2.35	5400	1480	127400	1720	29.5	40	6.62
FASSI	F170AT.13	ЭКМУ	8	2.3	6050	1815	148800	1630	31.5	40	6.62
FASSI	F170AT.14	ЭКМУ	10.05	2.35	5830	1310	142700	1795	31.5	40	6.62

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
FASSI	F190ZTXP.13	ЭКМУ	8	2.3	6280	1955	159000	1630	33.5	40	6.62
FASSI	F190ZTXP.14	ЭКМУ	10.05	2.35	6060	1425	153900	1795	33.5	40	6.62
FASSI	F145AZ.0.22	ГКМУ	8.16	3.2	2790	1700	139700	1800	28	50	4.6
FASSI	F165AZ.0.22	ГКМУ	8.15	3.2	3135	1920	157000	1800	31	50	4.6
FASSI	F65AK.0.21	ККМУ	9.75	2	3015	470	63000	740	26	60	3.925
FASSI	F65AK.0.22	ККМУ	11.45	2	2920	325	60500	820	26	60	3.925
FASSI	F80AK.0.21	ККМУ	10.7	2	3990	590	80500	906	30	60	3.925
FASSI	F80AK.0.22	ККМУ	12.4	2	3840	370	78500	1011	30	60	3.925
FASSI	F95AK.0.21	ККМУ	11.1	2	4540	555	95000	1066	29	60	3.925
FASSI	F95AK.0.22	ККМУ	13.1	2	4435	390	91500	1190	29	60	3.925
FASSI	F110AK.0.21	ККМУ	11.8	2	5400	705	115000	1420	30	70	4.6
FASSI	F110AK.0.22	ККМУ	13.85	2	5400	490	115000	1549	30	70	4.6
FASSI	F110AK.0.23	ККМУ	15.85	2	5290	235	118000	1670	30	70	4.6
FASSI	F135AK.0.21	ККМУ	11.55	2.15	5995	885	133000	1617	28.5	90	4.6
FASSI	F135AK.0.22	ККМУ	13.65	2.15	5845	660	129000	1766	28.5	90	4.6
FASSI	F135AK.0.23	ККМУ	15.8	2.15	5700	490	124000	1912	28.5	90	4.6
FASSI	F155AK.0.21	ККМУ	11.55	2.15	6000	990	146500	1625	29	90	4.6
FASSI	F155AK.0.22	ККМУ	13.65	2.15	5900	740	142500	1774	29	90	4.6
FASSI	F155AK.0.23	ККМУ	15.8	2.15	5750	560	137500	1920	29	90	4.6
FASSI	F145AS.21	КМУ	6.9	3.8	3600	1990	137600	1950	29.5	80	4.6
FASSI	F145AS.22	КМУ	9.05	3.8	3400	1400	131500	2075	29.5	80	4.6
FASSI	F145AS.23	КМУ	11.15	3.95	3200	1020	126400	2200	29.5	80	4.6
FASSI	F160ASXP.21	КМУ	6.9	4.1	3600	2155	148800	1950	31.5	80	6.62
FASSI	F160ASXP.22	КМУ	9.05	4.1	3400	1525	142700	2075	31.5	80	6.62
FASSI	F160ASXP.23	КМУ	11.15	4.25	3200	1120	137600	2200	31.5	80	6.62
FASSI	F195AS.22	КМУ	10.85	4	4500	1600	184500	2720	27	100	6.62
FASSI	F195AS.23	КМУ	13.4	3.4	4350	1130	176400	2920	27	100	6.62
FASSI	F195AS.24	КМУ	15.9	4	4150	800	168200	3120	27	100	6.62
FASSI	F210ASXP.22	КМУ	10.85	4.4	4500	1770	185500	2720	30	100	6.62
FASSI	F210ASXP.23	КМУ	13.4	4.4	4350	1265	177400	2920	30	100	6.62
FASSI	F210ASXP.24	КМУ	15.9	4.4	4200	925	177400	3120	30	100	6.62
FASSI	F215AS.22	КМУ	10.9	4	5300	1930	220200	2860	30.5	100	6.62
FASSI	F215AS.23	КМУ	13.45	4	5150	1400	211000	3060	30.5	100	6.62
FASSI	F215AS.24	КМУ	16	4	5000	1000	203900	3260	30.5	100	6.62
FASSI	F240ASXP.22	КМУ	10.9	4.4	5300	2100	238500	2860	32.5	100	6.62
FASSI	F240ASXP.23	КМУ	13.45	4.4	5150	1540	230400	3060	32.5	100	6.62
FASSI	F240ASXP.24	КМУ	16	4.4	5000	1100	222200	3260	32.5	100	6.62
FASSI	F95AXS.0.21	ККМУ	5.9	2	4420	1210	71400	1130	23.5	50	4.6
FASSI	F95AXS.0.22	ККМУ	7.9	2	4310	790	68300	1250	23.5	50	4.6
FASSI	F110AXS.0.21	ККМУ	5.9	2	5400	1545	90700	1390	25	50	4.6
FASSI	F110AXS.0.22	ККМУ	7.9	2	5280	980	86600	1525	25	50	4.6
FASSI	F135AXS.0.21	ККМУ	6.2	2.15	5730	1695	105000	1640	23.5	50	4.6
FASSI	F135AXS.0.22	ККМУ	8	2.15	5580	1160	98900	1780	23.5	50	4.6
FASSI	F155AXS.0.21	ККМУ	6.2	2.15	6310	1885	117200	1680	24	50	4.6
FASSI	F155AXS.0.22	ККМУ	8	2.15	6160	1310	110100	1820	24	50	4.6
FASSI	M10A.11	КМУ	1.9	1.1	995	585	11200	145	18	6	0.5
FASSI	M10A.12	КМУ	3.55	1.1	995	300	11200	155	18	6	0.5
FASSI	M15A.11	КМУ	2.1	1.6	990	740	15300	170	18	6	1.5
FASSI	M15A.12	КМУ	3	1.6	990	515	15300	180	18	6	1.5
FASSI	M20A.11	КМУ	2.2	1.3	995	995	21400	195	18	8	1.5
FASSI	M20A.12	КМУ	3.1	1.3	995	700	21400	210	18	8	1.5
FASSI	M20A.13	КМУ	4.05	1.35	995	515	21400	240	18	8	1.5

# Приложения

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
FASSI	M30A.11	КМУ	5.75	1.45	995	480	30600	215	18	8	2
FASSI	M30A.12	КМУ	6.8	1.45	995	360	30600	230	18	8	2
FASSI	M30A.13	КМУ	6.8	1.5	995	360	30600	260	18	8	2
FASSI	M40A.1.12	КМУ	3.6	1.5	2665	1110	40000	470	23	10	2
FASSI	M40A.1.13	КМУ	4.75	1.55	2580	820	40000	505	23	10	2
FASSI	M40A.1.14	КМУ	6.85	1.6	2500	630	40000	535	23	10	2
FASSI	F22A.0.21	КМУ	4.25	1.95	995	480	20400	360	20.5	10	1.5
FASSI	F22A.0.22	КМУ	5.6	1.85	995	330	19400	400	20.5	10	1.5
FASSI	F40A.0.21	КМУ	4.9	4	995	815	39900	615	22.5	16	3.925
FASSI	F40A.0.22	КМУ	6.3	4	995	590	38700	665	22.5	16	3.925
FASSI	F40A.0.23	КМУ	7.75	3.8	995	325	37700	715	22.5	16	3.925
FASSI	F40A.0.24	КМУ	10.8	3.75	975	305	36700	750	22.5	16	3.925
FASSI	F50A.0.21	КМУ	4.9	2	2270	960	46900	665	25.5	16	3.925
FASSI	F50A.0.22	КМУ	6.3	2	2220	680	45900	665	25.5	16	3.925
FASSI	F50A.0.23	КМУ	7.75	2	2165	480	43800	715	25.5	16	3.925
FASSI	F50A.0.24	КМУ	10.8	2	2125	210	42800	750	25.5	16	3.925
FASSI	F65A.0.21	КМУ	5.4	2	3000	1160	66300	800	26	20	4.6
FASSI	F65A.0.22	КМУ	7.1	2	2785	835	65200	850	26	20	4.6
FASSI	F65A.0.23	КМУ	8.75	2	2710	585	62200	920	26	20	4.6
FASSI	F65A.0.24	КМУ	10.15	2	2650	445	57100	980	26	20	4.6
FASSI	F65AC.0.22	КМУ	11.45	2	2920	325	60100	890	26	20	4.6
FASSI	F65AC.0.23	КМУ	11.45	2	2870	330	59100	920	26	20	4.6
FASSI	F80A.0.21	КМУ	5.4	2	3800	1460	78500	960	30	20	5.654
FASSI	F80A.0.22	КМУ	7.25	2	3650	1010	77500	1052	30	20	5.654
FASSI	F80A.0.23	КМУ	9.1	2	3600	705	75400	1110	30	20	5.654
FASSI	F80A.0.24	КМУ	10.95	2	3550	515	73400	990	30	20	5.654
FASSI	F80AC.0.22	КМУ	5.55	2.25	3335	1000	82600	990	27	20	5.654
FASSI	F80AC.0.23	КМУ	7.4	2.25	3335	1000	77500	1075	27	20	5.654
FASSI	F80AC.0.24	КМУ	9.25	2.25	2880	620	67300	1114	27	20	5.654
FASSI	F85B.0.21	КМУ	5.55	2	4000	1535	85600	890	31	30-40	5.654
FASSI	F85B.0.22	КМУ	7.5	2	3920	1045	82600	970	31	30-41	5.654
FASSI	F85B.0.23	КМУ	9.4	2	3800	725	79500	1045	31	30-42	5.654
FASSI	F85B.0.24	КМУ	11.3	2	3750	515	78500	1120	31	30-43	5.654
FASSI	F95.A.0.21	КМУ	5.9	2	4420	1545	90700	1110	29	25	5.654
FASSI	F95.A.0.22	КМУ	7.9	2	4310	1085	87700	1215	29	25	5.654
FASSI	F95.A.0.23	КМУ	9.95	2	4200	770	84600	1315	29	25	5.654
FASSI	F95.A.0.24	КМУ	12	2	4120	545	82600	1400	29	25	5.654
FASSI	F95.AC.0.22	КМУ	6.15	2	4360	1470	90700	1170	29	25	5.654
FASSI	F95.AC.0.23	КМУ	8.25	2	4260	960	86600	1265	29	25	5.654
FASSI	F95.AC.0.24	КМУ	10.3	2	3910	575	80500	1350	27	25	5.654
FASSI	F110.A.0.21	КМУ	6.05	2	5400	1840	111100	1390	30	30	4.42
FASSI	F110.A.0.22	КМУ	7.9	2	5280	1325	107000	1520	30	30	4.42
FASSI	F110.A.0.23	КМУ	9.95	2	5140	945	103000	1640	30	30	4.42
FASSI	F110.A.0.24	КМУ	12.05	2	5015	675	99900	1760	30	30	4.42
FASSI	F110.AC.0.22	КМУ	6.1	2	5185	1730	106000	1450	28.5	30	4.42
FASSI	F110.AC.0.23	КМУ	8.15	2	5050	1065	104000	1515	28.5	30	4.42
FASSI	F110.AC.0.24	КМУ	10.35	2	4900	705	99900	1720	28.5	30	4.42
FASSI	F120.B.0.21	КМУ	5.5	2.3	4605	2005	110100	1110	33.5	90	5.654
FASSI	F120.B.0.22	КМУ	7.5	2.3	4485	1935	105000	1220	33.5	90	5.654
FASSI	F120.B.0.23	КМУ	9.65	2.3	4370	940	103000	1325	33.5	90	5.654
FASSI	F120.B.0.24	КМУ	11.8	2.3	1255	660	100900	1420	33.5	90	5.654

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
FASSI	F120.B.0.25	КМУ	13.9	2.3	4160	580	98900	1510	33.5	90	5.654
Soosan	SCS263	КМУ	8	1.9	2200	540	40200	880	20	37	3.12
Soosan	SCS323	КМУ	9.5	2.6	3200	850	82000	1045	20	50	3.12
Soosan	SCS324	КМУ	11.8	2.6	3200	600	80000	1298	20	50	3.12
Soosan	SCS333	КМУ	9.6	2.6	3200	850	82000	1056	20	50	4.09
Soosan	SCS334	КМУ	11.9	2.6	3200	600	80000	1309	20	50	4.09
Soosan	SCS335	КМУ	14.2	2.5	3200	290	77000	1562	20	50	4.09
Soosan	SCS513	КМУ	10.1	2	5200	1200	11000	1111	19	65	4
Soosan	SCS505	КМУ	15.4	2.5	5100	820	141000	1694	20	66	5.3
Soosan	SCS506	КМУ	17.7	2.5	5000	620	139000	1947	20	66	5.3
Soosan	SCS736	КМУ	15.4	2.6	6000	610	150000	1694	20	65	5.35
Soosan	SCS736LII	КМУ	18.8	2.5	6000	350	150000	2068	20	65	5.35
Soosan	SCS744L	КМУ	13.8	2.7	7000	950	200000	1518	20	65	5.6
Soosan	SCS746L	КМУ	19.6	2.4	7000	400	175000	2156	20	65	5.6
Soosan	SCS747L	КМУ	22.3	2.4	7000	210	175000	2453	20	65	6
Soosan	SCS866LS	КМУ	19.6	2.4	7000	435	175000	2156	20	65	6
Soosan	SCS867LS	КМУ	22.3	2.4	7000	240	175000	2453	20	65	6
Soosan	SCS886	КМУ	19.6	2	7600	600	210000	2156	21	65	6
Soosan	SCS887	КМУ	22.3	2	7600	440	210000	2453	21	65	6
Soosan	SCS1015LS	КМУ	20.7	3	10000	1030	360000	2277	21	100	6.18
Soosan	SCS1024LS	КМУ	16.9	3	10000	1780	360000	1859	21	100	6.18
Soosan	SCS1616	КМУ	27.3	2	15000	1250	538000	3003	21	100	7.4
Soosan	SCS2016	КМУ	30.2	2	15000	1320	650000	3322	21	100	7.4
Soosan	SCK1213	КМУ	8	2	4700	280	116000	880	26	75	5.6
Soosan	SCK1613	КМУ	9.2	2	8600	520	160000	1012	26	95	5.6
Penny Hydraulics	PH50	CKМУ	2.47	0.98	500	200	5000	74	17	4.0-6.0	-
Penny Hydraulics	PH110.1	CKМУ	2.8	1.05	990	370	10000	105	20	4.0-6.0	-
Penny Hydraulics	PH110.2	CKМУ	3.73	1.05	990	250	10000	125	20	4.0-6.0	-
Penny Hydraulics	PH110.3	CKМУ	4.5	1.1	990	200	10000	155	20	4.0-6.0	-
Penny Hydraulics	PH150.1	КМУ	5	1.16	1300	250	15000	165	21	6.0-8.0	1.92
Penny Hydraulics	PH150.2	КМУ	5	1.16	1300	250	15000	175	21	6.0-8.1	1.92
Penny Hydraulics	PH150.3	КМУ	5	1.21	1230	250	15000	185	21	6.0-8.2	1.92
Penny Hydraulics	PH180.2	КМУ	4	1.16	1600	420	18000	180	21	6.0-8.2	2.8
Penny Hydraulics	PH180.3	КМУ	5	1.21	1450	280	18000	190	21	6.0-8.2	2.8
Penny Hydraulics	PH230.2	КМУ	4.2	1.2	1800	500	23000	225	20	8.0-10.0	2.8
Penny Hydraulics	PH230.3	КМУ	5.2	1.26	1800	350	23000	255	20	8.0-10.0	2.8
Penny Hydraulics	PH270.2	КМУ	4.2	1.2	2150	600	27000	225	22	10.0-12.0	2.8
Penny Hydraulics	PH270.3	КМУ	5.2	1.26	2030	400	27000	255	22	10.0-12.0	2.8
Penny Hydraulics	PH270L.2	КМУ	5	1.4	1870	500	27000	235	22	10.0-12.0	2.8
Penny Hydraulics	PH270L.3	КМУ	6	1.46	1770	350	27000	270	22	10.0-12.0	2.8
Penny Hydraulics	PH330.2	КМУ	4.36	1.3	2500	700	33000	270	22	10.0-12.0	3.2
Penny Hydraulics	PH330.3	КМУ	5.36	1.36	2350	550	33000	295	22	10.0-12.0	3.2
Penny Hydraulics	PH330.4	КМУ	6.36	1.43	2200	420	33000	325	22	10.0-12.0	3.2
Penny Hydraulics	PH380.2	КМУ	5	1.45	2650	760	38000	310	22	12.0-15.0	3.5
Penny Hydraulics	PH380.3	КМУ	0.79	1.52	2550	630	38000	345	22	12.0-15.0	3.5
Penny Hydraulics	PH380.4	КМУ	6.79	1.59	2400	500	38000	375	22	12.0-15.0	3.5
Penny Hydraulics	PH400.2	CKМУ	5.7	1.44	2650	700	40000	460	23	15-18	-
Penny Hydraulics	PH400.3	CKМУ	6.7	1.5	2650	500	40000	500	23	15-18	-
Penny Hydraulics	PH400L.2	CKМУ	5.75	1.69	2350	700	40000	490	23	15-18	-
Penny Hydraulics	PH400L.3	CKМУ	6.75	1.75	2350	600	40000	540	23	15-18	-
Penny Hydraulics	PH500.2	CKМУ	5.7	1.44	3300	800	50000	470	23	15-18	-
Penny Hydraulics	PH500.3	CKМУ	6.7	1.5	3300	580	50000	510	23	15-18	-

# Приложения

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
Penny Hydraulics	PH500L.2	СКМУ	5.75	1.69	2900	850	50000	500	23	15-18	-
Penny Hydraulics	PH500L.3	СКМУ	6.75	1.75	2900	700	50000	550	23	15-18	-
Penny Hydraulics	PH510.2	СКМУ	5.7	1.44	3300	800	51000	465	23	15-18	-
Penny Hydraulics	PH510.3	СКМУ	6.7	1.5	3300	580	51000	500	23	15-18	-
Penny Hydraulics	PH510L.2	СКМУ	5.75	1.69	2900	850	51000	485	23	15-18	-
Penny Hydraulics	PH510L.3	СКМУ	6.75	1.75	2900	700	51000	530	23	15-18	-
Сорма	35.1	КМУ	4.34	3.11	995	710	30360	455	23.5	10	3.71
Сорма	35.2	КМУ	5.72	2.8	995	475	27470	490	23.5	10	3.71
Сорма	35.3	КМУ	8.45	2.75	995	250	27000	515	23.5	10	3.71
Сорма	37.1	КМУ	4.34	3.11	995	710	31400	455	23.5	10	3.71
Сорма	37.2	КМУ	5.72	2.1	1350	475	27800	490	23.5	10	3.71
Сорма	37.3	КМУ	8.45	2.1	1310	250	27010	515	23.5	10	3.71
Сорма	42.1	КМУ	4.7	3.85	995	810	37600	512	29	10	4.3
Сорма	42.1J1	КМУ	8.4	6.9	995	300	37600	512	29	10	4.3
Сорма	42.2	КМУ	9.16	3.75	995	580	36600	550	29	10	4.3
Сорма	42.3	КМУ	7.7	3.5	995	410	34200	585	29	10	4.3
Сорма	42.4	КМУ	9.19	3.4	995	315	33200	620	29	10	4.3
Сорма	44.1	КМУ	4.7	2.5	1560	810	38300	512	29	10	4
Сорма	44.1J1	КМУ	8.4	6.9	360	300	38300	512	29	10	4
Сорма	44.2	КМУ	6.19	2.5	1500	580	36800	550	29	10	4
Сорма	44.3	КМУ	7.7	2.5	1410	410	34600	585	29	10	4
Сорма	44.4	КМУ	9.19	2.5	1365	315	33700	620	29	10	4
Сорма	55.1	КМУ	8	2.1	2500	1030	53200	775	24	30	4.2
Сорма	55.2	КМУ	6.55	2.1	2420	750	51000	825	24	30	4.2
Сорма	55.2J1	КМУ	10.3	8.9	400	310	51000	955	24	30	4.2
Сорма	55.2J2	КМУ	11.85	8.9	400	200	51300	990	24	30	4.2
Сорма	55.3	КМУ	8	2.1	2350	570	50300	892	24	30	4.2
Сорма	55.4	КМУ	9.5	2.1	2300	420	48500	920	24	30	4.2
Сорма	55R.2	КМУ	6.05	2.1	2420	800	52000	830	24	30	4.2
Сорма	60.1	КМУ	4.36	2	2540	1210	52000	630	25.5	15	3.7
Сорма	60.2	КМУ	6.1	2	2470	815	50200	690	25.5	15	3.7
Сорма	60.3	КМУ	7.8	2	2260	535	46000	745	25.5	15	3.7
Сорма	60.4	КМУ	9.59	2	2200	400	45000	795	25.5	15	3.7
Сорма	65B.1	КМУ	5.25	2	3100	1165	59800	760	26.5	20	5.1
Сорма	65B.2	КМУ	7.2	2	3000	800	57300	840	26.5	20	5.1
Сорма	65B.3	КМУ	9.2	2	2750	570	55700	900	26.5	20	5.1
Сорма	65B.3J1	КМУ	12.9	11.41	355	280	55700	1040	26.5	20	5.1
Сорма	65B.3J2	КМУ	14.3	11.41	325	150	54000	1070	26.5	20	5.1
Сорма	65B.4	КМУ	11.1	2	2790	425	54000	960	26.5	20	5.1
Сорма	78B.1	КМУ	5.3	2	3450	1310	70600	800	29	20	5.1
Сорма	78B.2	КМУ	7.25	2	3380	920	68930	870	29	20	5.1
Сорма	78B.3	КМУ	9.2	2	3280	670	64250	930	29	20	5.1
Сорма	78B.3J1	КМУ	12.9	11.4	410	310	64250	970	29	20	5.1
Сорма	78B.3J2	КМУ	14.3	11.4	370	170	64250	1070	29	20	5.1
Сорма	78B.4	КМУ	11.1	2	3150	500	61700	960	29	20	5.1
Сорма	80.1	КМУ	5.15	2.2	3460	1490	75760	1010	26	25	4.426
Сорма	80.2	КМУ	6.9	2.2	3380	1065	74090	1080	26	25	4.426
Сорма	80.3	КМУ	8.45	2.2	3290	795	71540	1140	26	25	4.426
Сорма	80.4	КМУ	10.15	2.2	3210	590	70260	1195	26	25	4.426
Сорма	80L.1	КМУ	5.55	2.2	3430	1360	71040	1040	27	25	4.426
Сорма	80L.2	КМУ	7.2	2.2	3350	990	69700	1110	27	25	4.426



Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
Сорта	80L.3	КМУ	8.9	2.2	3250	740	68460	1170	27	25	4.426
Сорта	80L.4	КМУ	10.65	2.2	3170	565	65450	1220	27	25	4.426
Сорта	100.1	КМУ	5.75	1.9	4950	1600	95200	1130	29	30	4.9
Сорта	100.2	КМУ	7.7	1.9	4800	1100	95200	1210	29	30	4.9
Сорта	100.3	КМУ	9.7	1.9	4630	720	89400	1300	29	30	4.9
Сорта	100.4	КМУ	11.75	1.95	4700	580	86200	1395	29	30	4.9
Сорта	110.1	КМУ	5.8	1.95	5100	1680	100000	1250	27	30	4.9
Сорта	110.2	КМУ	7.75	1.95	4970	1170	99600	1430	27	30	4.9
Сорта	110.3	КМУ	9.75	1.95	4800	830	96200	1420	27	30	4.9
Сорта	110.3J1	КМУ	15	12	500	230	96200	1685	27	30	4.9
Сорта	110.4	КМУ	11.75	1.95	4700	580	93700	1490	27	30	4.9
Сорта	110.4J1	КМУ	17	14.05	300	150	93700	1755	27	30	4.9
Сорта	128.1	КМУ	5.9	2	6500	2200	128000	1330	31	30	5.2
Сорта	128.2	КМУ	7.7	2	6300	1560	123000	1420	31	30	5.2
Сорта	128.3	КМУ	9.7	2	5250	985	102000	1526	31	30	5.2
Сорта	128.4	КМУ	11.8	2	5060	730	99300	1623	31	30	5.2
Сорта	128.5	КМУ	13.9	2	4850	550	97000	1700	31	30	5.2
Сорта	128.6	КМУ	16	2	4850	350	94300	1781	31	30	5.2
Сорта	130A.1	КМУ	5.95	2	6600	2000	130000	1520	28	40	5.6
Сорта	130A.2	КМУ	8.05	2	6100	1430	120000	1630	28	40	5.6
Сорта	130A.3	КМУ	10.15	2	5700	960	112000	1730	28	40	5.6
Сорта	130A.3J1	КМУ	14	12.65	650	520	112000	1950	28	40	5.6
Сорта	130A.3J2	КМУ	15.4	12.65	600	340	112000	1990	28	40	5.6
Сорта	130A.4	КМУ	12.45	2	5550	700	109000	1830	28	40	5.6
Сорта	130A.4J1	КМУ	16.3	14.9	450	390	109000	1970	28	40	5.6
Сорта	130A.4J2	КМУ	17.7	14.9	400	315	109000	2010	28	40	5.6
Сорта	130A.5	КМУ	14.8	2	5410	510	105000	1920	28	40	5.6
Сорта	130A.6	КМУ	17.1	2	5280	370	101000	2000	28	40	5.6
Сорта	140.1	КМУ	11.95	1.8	7200	900	136000	1700	30	40	5.437
Сорта	140.2	КМУ	13.9	1.8	7200	650	133000	1825	30	40	5.437
Сорта	140.3	КМУ	14.2	1.8	6800	600	134000	1750	30	40	5.437
Сорта	140.4	КМУ	16.4	1.8	6600	300	130000	2125	30	40	5.437
Сорта	140.5	КМУ	16.7	1.8	6400	280	126000	2235	30	40	5.437
Сорта	150.1	КМУ	6.25	2.35	6100	2350	151300	1785	30	40	5.4
Сорта	150.2	КМУ	8.25	2.35	5940	1650	146200	1920	30	40	5.4
Сорта	150.3	КМУ	10.35	2.35	5750	1200	142600	2055	30	40	5.4
Сорта	150.3J2	КМУ	16.9	13.25	590	350	142600	2520	30	40	5.4
Сорта	150.4	КМУ	16.5	2.35	5600	520	138600	2185	30	40	5.4
Сорта	150.4J2	КМУ	18.95	15.35	350	230	138600	2650	30	40	5.4
Сорта	150.5	КМУ	16.8	2.35	5450	470	133900	2305	30	40	5.4
Сорта	160.2	КМУ	16.35	2	7500	580	154400	2180	29	45	5.4
Сорта	160.3	КМУ	16.5	2	7350	550	147000	2315	29	45	5.4
Сорта	160.3J2	КМУ	20.85	13.4	650	170	147000	2780	29	45	5.4
Сорта	160.4	КМУ	16.8	2	7210	520	145000	2448	29	45	5.4
Сорта	140.4J2	КМУ	23	15.55	430	160	145000	2913	29	45	5.4
Сорта	160.5	КМУ	18.85	2	7040	280	144100	2565	29	45	5.4
Сорта	170.1	КМУ	11.95	1.8	8700	990	168000	1785	30	40	5.437
Сорта	170.2	КМУ	13.9	1.8	8500	750	165000	1985	30	40	5.437
Сорта	170.3	КМУ	14.2	1.8	8300	710	162000	2120	30	40	5.437
Сорта	170.4	КМУ	16.4	1.8	8100	520	157000	2250	30	40	5.437
Сорта	170.5	КМУ	16.7	1.8	7900	470	153000	2370	30	40	5.437
Сорта	210.2	КМУ	16.15	2.05	8850	590	190000	2570	31	50	5.43

# Приложения

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
Сорта	210.2J2	КМУ	18.7	11.3	1320	300	190000	3058	31	50	5.43
Сорта	210.3	КМУ	18.15	2.05	8770	280	190000	2730	31	50	5.43
Сорта	210.4	КМУ	18.45	2.06	8580	280	186500	2900	31	50	5.43
Сорта	210.4J2	КМУ	22.6	15.25	710	220	186500	3380	31	50	5.43
Сорта	210.4J3	КМУ	24.85	15.35	610	180	186500	3465	31	50	5.43
Сорта	210.5	КМУ	18.65	2.06	8360	310	180880	3055	31	50	5.4
Сорта	220.2	КМУ	7.75	2.05	9900	2680	214000	2900	28	40	6.4
Сорта	220.3	КМУ	9.8	2.05	9600	1960	208500	3050	28	40	6.4
Сорта	220.4	КМУ	11.9	2.05	9400	1440	203600	3200	28	40	6.4
Сорта	220.4J2	КМУ	18	14.9	820	635	203600	3630	28	40	6.4
Сорта	220.4J3	КМУ	19.7	15	780	520	203600	3695	28	40	6.4
Сорта	220.4J4	КМУ	21.45	15.05	730	400	203600	3745	28	40	6.4
Сорта	220.5	КМУ	14.15	2.05	9100	1060	197820	3320	28	40	6.4
Сорта	220.5J3	КМУ	21	16.9	530	380	197820	3815	28	40	6.4
Сорта	220.5J4	КМУ	22.5	16.95	500	310	197820	3865	28	40	6.4
Сорта	220.6	КМУ	16.45	2.05	8900	770	192440	3430	28	40	6.4
Сорта	220.6J3	КМУ	23.3	19.2	360	235	192440	3885	28	40	6.4
Сорта	220.7	КМУ	18.7	2.05	8600	560	188450	3530	28	40	6.4
Сорта	230.2	КМУ	16.15	2.05	9500	650	208000	2570	29	50	5.43
Сорта	230.2J2	КМУ	18.7	11.3	1460	330	208000	3058	29	50	5.43
Сорта	230.3	КМУ	18.15	2.05	9300	300	204000	2730	29	50	5.43
Сорта	230.3J2	КМУ	20.55	13.2	1100	330	204000	3211	29	50	5.43
Сорта	230.4	КМУ	18.45	2.05	9200	310	202000	2900	29	50	5.43
Сорта	230.4J2	КМУ	22.6	15.25	780	240	202000	3380	29	50	5.43
Сорта	230.4J3	КМУ	24.65	15.35	670	170	202000	3465	29	50	5.43
Сорта	230.5	КМУ	18.65	2.06	9000	340	298000	3055	29	50	5.43
Сорта	240.2	КМУ	7.75	2.05	10100	2900	224000	2920	28	40	6.4
Сорта	240.3	КМУ	9.8	2.05	9900	2150	219000	3070	28	40	6.4
Сорта	240.4	КМУ	11.95	2.05	9600	1620	213000	3220	28	40	6.4
Сорта	240.4J2	КМУ	18	14.9	955	720	213000	3660	28	40	6.4
Сорта	240.4J3	КМУ	19.7	15	825	580	213000	3715	28	40	6.4
Сорта	240.4J4	КМУ	21.45	15.05	750	460	213000	3765	28	40	6.4
Сорта	240.5	КМУ	14.15	2.05	9400	1220	207000	3340	28	40	6.4
Сорта	240.5J3	КМУ	21	16.9	630	440	207000	3835	28	40	6.4
Сорта	240.5J4	КМУ	22.5	16.95	600	350	207000	3885	28	40	6.4
Сорта	240.6	КМУ	16.45	2.05	9100	890	207000	3450	28	40	6.4
Сорта	240.6J3	КМУ	23.3	19.2	450	300	201000	3945	28	40	6.4
Сорта	240.7	КМУ	18.7	2.05	8900	660	198000	3550	28	40	6.4
Сорта	280B.3	КМУ	10.33	2.05	12850	2420	261000	3600	31	50	7.8
Сорта	280B.8	КМУ	21.55	2.05	11600	640	244000	4330	31	50	7.8
Сорта	300.3	КМУ	10.33	2.05	13300	2580	273000	3620	31	50	7.8
Сорта	300.4	КМУ	12.33	2.05	13000	2020	273000	3800	31	50	7.8
Сорта	340.3	КМУ	10	2.05	15800	3120	319170	3960	29	60	7.8
Сорта	340.4	КМУ	12	2.05	15250	2370	307700	4160	29	60	7.8
Сорта	340.7	КМУ	18.6	2.05	14300	1100	294960	4610	29	60	7.8
Сорта	340.8	КМУ	20.9	2.05	13700	840	281960	4720	29	60	7.8
Сорта	360.3	КМУ	10	2.05	16240	3290	328880	3990	30	60	7.8
Сорта	510.3	КМУ	10.01	2.05	21600	4435	442800	4500	30	60	7.8
Сорта	510.4	КМУ	12.1	2.05	21120	3510	432960	4600	30	60	7.8
Сорта	2160.5	КМУ	14.3	2.05	20830	2790	427015	4700	30	60	7.8
Сорта	510.6	КМУ	16.6	2.05	20200	2240	414100	4800	30	60	7.8

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
Сопма	210.6J4	КМУ	25.8	19.75	1180	750	233050	4900	30	60	7.8
Сопма	510.7	КМУ	19.01	2.05	20080	1825	411640	5000	30	60	7.8
Сопма	510.8	КМУ	21.31	2.05	20300	1520	416150	5100	30	60	7.8
Сопма	1100.4SC	КМУ	10.1	2.2	38200	9110	888100	8900	33	100	9.5
Сопма	1100.6SC	КМУ	14.8	2.2	37500	5665	864200	9500	33	100	9.5
Сопма	1100.7SC	КМУ	17.15	2.2	37000	4470	853730	9920	33	100	9.5
Сопма	1600.4	КМУ	10.9	2.8	40000	10940	1170000	12750	34.5	150	9.1
Сопма	1600.6	КМУ	14.8	2.78	40000	7200	1149000	13425	34.5	150	9.1
Сопма	1600.8	КМУ	19.1	2.72	40000	5100	1135600	13975	34.5	150	9.1
Сопма	1600.8J7	КМУ	33.85	22.2	3300	1200	1135600	13975	34.5	150	9.1
Сопма	1600.9	КМУ	21.2	2.68	40000	4100	1125000	14800	34.5	150	9.1
Сопма	1600.9J7	КМУ	36	24.3	2285	575	1125000	14800	34.5	150	9.1
Сопма	160.6P	КМУ	15.8	2.95	4140	590	122130	2500	30	60	5.4
Сопма	210.6P	КМУ	19.85	3.25	4990	300	162175	3100	30	60	7.8
Cranab	FC6	ЛКМУ	7.2	3	1400	550	67000	1235	23.5	90-150	-
Cranab	FC6	ЛКМУ	9.2	3	1240	340	67000	1350	23.5	90-150	-
Cranab	FC6	ЛКМУ	10	3	1190	270	67000	1400	23.5	90-150	-
Cranab	FC8	ЛКМУ	7.2	3	1940	760	87000	1255	23.5	90-150	-
Cranab	FC8	ЛКМУ	9.2	3	1770	540	87000	1350	23.5	90-150	-
Cranab	FC8	ЛКМУ	10	3	1720	460	87000	1400	23.5	90-150	-
Cranab	FC10	ЛКМУ	8	3	2130	720	100000	1610	23.5	120-200	-
Cranab	FC10	ЛКМУ	8.5	3	2100	650	100000	1630	23.5	120-200	-
Cranab	FC10	ЛКМУ	9.8	3	2020	510	100000	1735	23.5	120-200	-
Cranab	FC10	ЛКМУ	10	3	1980	480	100000	1745	23.5	120-200	-
Cranab	FC12	ЛКМУ	8	3	2750	970	120000	1630	24.5	130-220	-
Cranab	FC12	ЛКМУ	8.5	3	2730	880	120000	1650	24.5	130-220	-
Cranab	FC12	ЛКМУ	9.8	3	2650	710	120000	1755	24.5	130-220	-
Cranab	FC12	ЛКМУ	10	3	2620	670	120000	1765	24.5	130-220	-
Cranab	FC16	ЛКМУ	8.5	3	12800	3600	165000	2200	23.5	180-300	-
Cranab	FC16	ЛКМУ	10	3	3470	980	165000	2385	23.5	180-300	-
Cranab	FC45	ЛКМУ	6.1	6.1	570	570	45600	650	19	40-80	-
Cranab	FC45	ЛКМУ	8	8	360	360	45600	795	19	40-80	-
Cranab	FC53	ЛКМУ	6.5	3	632	632	53000	720	18.5	40-80	-
Cranab	FC53	ЛКМУ	8.5	3	418	418	53000	870	18.5	40-80	-
Cranab	HC155	ЛКМУ	10.1	4.3	3240	1020	39000	2480	23	160-230	-
Cranab	HC155	ЛКМУ	11.1	4.3	3130	805	39000	2675	23	160-230	-
Cranab	HC185	ЛКМУ	8.6	6.3	2460	1610	46000	2465	24	200-280	-
Cranab	HC185	ЛКМУ	10.1	4.3	3925	1550	46000	2565	24	200-280	-
Cranab	HC185	ЛКМУ	11.1	4.3	3840	1315	46000	2695	24	200-280	-
Tirex	AT-15-3	ТКМУ	17.9	1.6	15000	1550	24000	1969	21	125	-
Tirex	AT-22	ТКМУ	17.9	1.6	22000	2350	35200	1969	21	125	-
Tirex	MAC 25-4	ТКМУ	18.4	1.6	25000	2560	40000	2024	21	125	-
Auto Crane	Econoton II/IIR 5'	СКМУ	1.82	0.91	907	528	9000	104	-	-	-
Auto Crane	Econoton II/IIR 7'	СКМУ	2.44	1.22	907	639	9000	115	-	-	-
Auto Crane	2003	СКМУ	2.74	0.9	907	303	8000	175	-	-	-
Auto Crane	3203EH	СКМУ	4.57	2.13	619	294	13800	390	-	-	-
Auto Crane	4004EH 16'	СКМУ	4.88	2.44	938	453	22000	403	-	-	-
Auto Crane	4004EH 20'	СКМУ	6.1	3.05	707	367	22000	489	-	-	-
Auto Crane	5005EH	СКМУ	6.1	3.05	1095	556	35000	627	-	-	-
Auto Crane	6006EH	СКМУ	6.1	3.05	1578	803	36000	757	-	-	-
Auto Crane	3203H	СКМУ	4.57	2.13	619	295	13800	290	19	15.1	-

# Приложения

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
Auto Crane	HC-6	СКМУ	6.1	3.05	1536	620	48400	680	30	18.9	-
Auto Crane	HC-7	СКМУ	6.1	3.05	1661	840	53100	773	30	18.9	-
Auto Crane	HC-8	СКМУ	6.1	3.05	2086	1023	67700	773	30	18.9	-
Auto Crane	8406H	СКМУ	6.1	3.05	2208	1062	69700	759	49	18.9	-
Auto Crane	HC-9	СКМУ	6.1	3.05	2710	1316	81500	680	49	18.9	-
Auto Crane	HC-10	СКМУ	7.62	3.66	2328	1054	83000	862	20.7	26.8	-
Auto Crane	HC-12	СКМУ	9.14	3.96	2474	913	96800	1451	19.3	56.8	-
Auto Crane	HC-14	СКМУ	9.14	3.96	2474	913	96800	1451	19.3	56.8	-
Atlas	TC13C SF2	КМУ	2.66	1.01	990	430	12000	165	19	6	2.76
Atlas	TC13C SF3	КМУ	3.46	1.01	990	300	12000	187	19	6	2.76
Atlas	TC23C SF2	КМУ	3.03	1.29	1820	715	23480	230	19	6	2.76
Atlas	TC23C SF3	КМУ	4.03	1.29	1700	530	23480	260	19	6	2.76
Atlas	TC33C SF2	КМУ	3.85	1.65	2150	850	31000	315	18	8	3.635
Atlas	TC33C SF3	КМУ	4.78	1.65	2130	510	31000	345	18	8	3.635
Atlas	35.1	КМУ	4.34	3.11	995	710	30360	420	10	26	3.71
Atlas	35.2	КМУ	5.72	2.8	995	475	24700	455	10	26	3.71
Atlas	35.3	КМУ	7.1	2.75	995	355	27000	490	10	26	3.71
Atlas	37.1	КМУ	4.34	2.1	1525	710	31400	420	10	26	3.37
Atlas	37.2	КМУ	5.72	2.1	1350	475	27800	455	10	26	3.37
Atlas	37.3	КМУ	7.1	2.1	1310	355	27000	490	10	26	3.37
Atlas	42.1	КМУ	4.7	3.85	995	810	37600	520	10	29	4.3
Atlas	42.2	КМУ	6.19	3.75	995	580	36600	550	10	29	4.3
Atlas	42.3	КМУ	7.7	3.5	995	410	34200	585	10	29	4.3
Atlas	42.4	КМУ	9.19	3.4	995	315	33200	610	10	29	4.3
Atlas	44.1	КМУ	4.7	2.5	1560	810	38300	520	10	29	3.635
Atlas	44.2	КМУ	6.19	2.5	1500	580	36800	550	10	29	3.635
Atlas	44.3	КМУ	7.7	2.5	1410	410	34600	585	10	29	3.635
Atlas	44.4	КМУ	9.19	2.5	1375	315	33700	610	10	29	3.635
Atlas	55.1	КМУ	5.1	2.1	2500	1030	52500	775	25	25	4.204
Atlas	55.2j1	КМУ	38.1	2.1	2420	230	50800	825	25	25	4.204
Atlas	55.3	КМУ	7.9	2.1	2350	570	49300	892	25	25	4.204
Atlas	55.4	КМУ	9.5	2.1	2300	420	48300	920	25	25	4.204
Atlas	35.2 A1	КМУ	5.12	3.03	990	650	33600	460	25	15	5.615
Atlas	35.2 A2	КМУ	5.1	3.1	990	640	33600	490	25	15	5.615
Atlas	57.3 A1	КМУ	6.25	1.74	2450	840	55400	763	30	25	5.615
Atlas	57.3 A2	КМУ	7.83	1.74	2400	600	54100	829	30	25	5.615
Atlas	57.3 A1L	КМУ	6.96	1.74	2400	750	55400	774	30	25	5.615
Atlas	57.3 A2L	КМУ	8.83	1.74	2380	530	53400	844	30	25	5.615
Atlas	57.3 A3L	КМУ	10.81	1.74	2350	370	25300	912	30	25	5.615
Atlas	57.3 A4L	КМУ	10.96	1.74	2300	360	51400	974	30	25	5.615
Atlas	65 A1	КМУ	6.44	1.91	3100	930	59800	800	27	30	5.615
Atlas	65 A2	КМУ	6.41	1.9	3050	900	58900	860	27	30	5.615
Atlas	65 A1L	КМУ	5.38	1.9	3100	780	61800	830	27	30	5.615
Atlas	65 A2L	КМУ	7.16	1.9	3050	750	58900	920	27	30	5.615
Atlas	65 A3L	КМУ	8.89	1.84	3000	550	55800	990	27	30	5.615
Atlas	75 A1	КМУ	7.1	1.9	3800	1000	73900	880	27	30	5.79
Atlas	75 A2	КМУ	7.15	1.9	3750	1000	71700	970	27	30	5.79
Atlas	75 A3	КМУ	9	1.9	3700	730	69500	1045	27	30	5.79
Atlas	75 A4L	КМУ	10.96	1.9	3600	500	65700	1210	27	30	5.79
Atlas	75 A5L	КМУ	12.74	1.9	3500	360	62700	1280	27	30	5.79
Atlas	88 A1	КМУ	6.9	1.91	4500	1270	90400	1292	28	35	5.79

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
Atlas	88 A2	КМУ	8.65	1.91	4400	950	88200	1392	28	35	5.79
Atlas	88 A3	КМУ	10.4	1.91	4300	670	85500	1475	28	35	5.79
Atlas	88 A1SL	КМУ	8.79	1.91	4500	1530	91400	1227	28	35	5.79
Atlas	88 A2SL	КМУ	7.57	1.91	4400	1150	90200	1324	28	35	5.79
Atlas	88 A3SL	КМУ	9.32	1.91	4300	880	98900	1415	28	35	5.79
Atlas	88 A1L	КМУ	8.11	1.91	4420	1020	89200	1330	28	35	5.79
Atlas	88 A2L	КМУ	10.08	1.91	4210	720	85600	1449	28	35	5.79
Atlas	88 A3L	КМУ	12.16	1.91	4080	520	82400	1567	28	35	5.79
Atlas	88 A4L	КМУ	14.34	1.91	4200	390	79200	1667	28	35	5.79
Atlas	88 A5L	КМУ	16.3	1.91	4100	300	77400	1752	28	35	5.79
Atlas	95.2 A12	КМУ	7.03	4.02	2350	1280	92700	1415	23	50	5.79
Atlas	95.2 A14	КМУ	6.51	5.01	1840	1410	90500	1510	23	50	5.79
Atlas	95.2 A15	КМУ	8.01	6.51	1300	1040	83000	1525	23	50	5.79
Atlas	95.2 A17	КМУ	7.01	5.51	1660	1280	89300	1485	23	50	5.79
Atlas	96 A1	КМУ	6.9	1.91	4700	1380	97900	1220	30	35	5.79
Atlas	96 A2	КМУ	8.65	1.91	4600	1040	95700	1315	30	35	5.79
Atlas	96 A3	КМУ	10.4	1.91	4500	800	93000	1401	30	35	5.79
Atlas	96 A1SL	КМУ	5.79	1.91	4700	1650	98600	1153	30	35	5.79
Atlas	96 A2SL	КМУ	7.57	1.91	4600	1210	96600	1251	30	35	5.79
Atlas	96 A3SL	КМУ	9.32	1.91	4500	930	98900	1340	30	35	5.79
Atlas	96 A1L	КМУ	8.11	1.91	4650	1130	94500	1256	30	35	5.79
Atlas	96 A2L	КМУ	10.08	1.91	4420	830	92800	1375	30	35	5.79
Atlas	96 A3L	КМУ	12.16	1.91	4340	620	89800	1493	30	35	5.79
Atlas	96 A4L	КМУ	14.24	1.91	4300	450	86800	1593	30	35	5.79
Atlas	96 A5L	КМУ	16.3	1.91	4200	350	85000	1678	30	35	5.79
Atlas	104.3V A11	КМУ	7.68	4.32	2340	1250	101000	1230	29	35	5.79
Atlas	104.3V A12	КМУ	9.47	4.43	2220	970	99000	1310	29	35	5.79
Atlas	104.3VE A11	КМУ	7.68	4.32	2550	7370	110000	1250	29	35	5.79
Atlas	105 A1	КМУ	5.33	1.98	5200	2100	109200	1310	27	45	5.79
Atlas	105 A2	КМУ	7.11	1.98	5050	1490	106000	1420	27	45	5.79
Atlas	105 A3	КМУ	8.91	1.98	4920	1110	104000	1530	27	45	5.79
Atlas	105 A1L	КМУ	6.09	1.98	5150	1790	106900	1350	27	45	5.79
Atlas	105 A2L	КМУ	8.1	1.98	5050	1250	103000	1490	27	45	5.79
Atlas	105 A3L	КМУ	10.14	1.98	4900	880	99100	1620	27	45	5.79
Atlas	105 A4L	КМУ	12.3	1.98	4750	640	95200	1710	27	45	5.79
Atlas	105 A5L	КМУ	14.35	1.98	4920	430	90300	1870	27	45	5.79
Atlas	105.2V A11	КМУ	8.25	4.54	2720	1390	121100	1275	27	45	5.79
Atlas	105.2V A12	КМУ	10.63	4.62	2600	1020	117800	1505	27	45	5.79
Atlas	105.2T A26	КМУ	3.66	1.95	5300	3000	101000	1040	30	45	5.79
Atlas	105.2T A27	КМУ	7.14	2.05	5000	1430	100000	1150	30	45	5.79
Atlas	105.2T A28	КМУ	8.94	2.17	4900	1080	105000	1240	30	45	5.79
Atlas	116 A1	КМУ	7.02	1.98	5410	1600	116400	1357	29	45	5.79
Atlas	116 A2	КМУ	8.77	1.98	5290	1200	113800	1452	29	45	5.79
Atlas	116 A3	КМУ	10.56	1.98	5150	900	110800	1538	29	45	5.79
Atlas	116 A1SL	КМУ	5.85	1.98	5410	1900	117500	1290	29	45	5.79
Atlas	116 A2SL	КМУ	7.59	1.98	5290	1400	114000	1388	29	45	5.79
Atlas	116 A3SL	КМУ	9.37	1.98	5150	1000	112500	1477	29	45	5.79
Atlas	116 A1L	КМУ	8.12	1.98	5370	1300	114100	1393	29	45	5.79
Atlas	116 A2L	КМУ	10.14	1.98	5240	960	110600	1512	29	45	5.79
Atlas	116 A3L	КМУ	12.21	1.98	5100	720	135800	1630	29	45	5.79
Atlas	116 A4L	КМУ	14.29	1.98	4950	520	100100	1730	29	45	5.79
Atlas	116 A5L	КМУ	16.38	1.98	4770	430	98900	1815	29	45	5.79

# Приложения

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
Atlas	116.3T	КМУ	8.02	2.23	4540	1260	99400	1220	30	40	5.79
Atlas	118.2VGL A12	КМУ	7.01	4.04	2610	1460	104000	1784	25	10	5.79
Atlas	118.2VGL A12L	КМУ	7.6	4.6	2350	1350	106000	1829	25	10	5.79
Atlas	118.2VGL A14	КМУ	6.7	5.2	2100	1600	107000	1691	25	10	5.79
Atlas	118.2VGL A15	КМУ	6.47	4.97	2190	1650	107000	1682	25	10	5.79
Atlas	118.2VGL A17	КМУ	8.3	5.2	1900	1160	97000	1761	25	10	5.79
Atlas	118.2VGL A18	КМУ	7.2	5.7	1880	1460	97000	1752	25	10	5.79
Atlas	118.2VGL A14K	КМУ	7.97	4.97	1980	1190	105000	1736	25	10	5.79
Atlas	118.2VGL A15K	КМУ	8.7	5.7	1750	1100	98000	1806	25	10	5.79
Atlas	120 A1	КМУ	7.02	1.98	5720	1740	122500	1310	30	45	5.79
Atlas	120 A2	КМУ	7.11	1.98	5550	1680	118600	1420	30	45	5.79
Atlas	120 A3	КМУ	8.91	1.98	4920	1260	117400	1530	30	45	5.79
Atlas	120 A1L	КМУ	8.07	1.98	5660	1420	117600	1350	30	45	5.79
Atlas	120 A2L	КМУ	8.06	1.98	5550	1380	114100	1490	30	45	5.79
Atlas	120 A3L	КМУ	10.14	1.98	5390	1010	112400	1620	30	45	5.79
Atlas	120 A4L	КМУ	12.26	1.98	5250	750	108200	1710	30	45	5.79
Atlas	120 A5L	КМУ	14.35	1.98	5060	500	103300	1870	30	45	5.79
Atlas	125 A1	КМУ	8.05	1.93	5600	1380	117800	1410	27	45	6.8
Atlas	125 A2	КМУ	8.04	1.93	5500	1350	113600	1540	27	45	6.8
Atlas	125 A3	КМУ	10.12	1.93	5400	1000	111000	1660	27	45	6.8
Atlas	125 A4	КМУ	12.24	1.93	5300	720	108100	1760	27	45	6.8
Atlas	125 A5	КМУ	14.33	1.93	5150	500	103300	1890	27	45	6.8
Atlas	125V A11	КМУ	9.38	5.05	2500	1220	123900	1550	27	45	6.8
Atlas	125V A12	КМУ	9.82	5.12	2370	1150	119000	1690	27	45	6.8
Atlas	126 A1	КМУ	7	1.98	5780	1720	123800	1371	32	45	6.8
Atlas	126 A2	КМУ	8.77	1.98	5660	1320	122000	1518	32	45	6.8
Atlas	126 A3	КМУ	10.56	1.98	5600	1050	120000	1611	32	45	6.8
Atlas	126 A1SL	КМУ	5.85	1.98	5780	2090	124000	1290	32	45	6.8
Atlas	126 A2SL	КМУ	7.59	1.98	5660	1560	122000	1437	32	45	6.8
Atlas	126 A3SL	КМУ	9.37	1.98	5600	1230	120000	1530	32	45	6.8
Atlas	126 A1L	КМУ	8.16	1.98	5740	1450	123000	1393	32	45	6.8
Atlas	126 A2L	КМУ	10.14	1.98	5610	1100	119000	1546	32	45	6.8
Atlas	126 A3L	КМУ	12.51	1.98	5550	830	116000	1681	32	45	6.8
Atlas	126 A4L	КМУ	14.29	1.98	5350	620	109000	1796	32	45	6.8
Atlas	126 A5L	КМУ	16.38	1.98	5170	490	107000	1921	32	45	6.8
Atlas	126 A3/Z2	КМУ	16.51	13.03	400	300	105000	2081	32	45	6.8
Atlas	129 VA11	КМУ	7.4	5.32	2420	1270	131000	1360	29	45	6.8
Atlas	129 VA12	КМУ	11.4	5.63	2250	1020	124000	1480	29	45	6.8
Atlas	130.2VGL	КМУ	8.4	5.2	1920	1140	97900	1761	25	100	6.8
Atlas	135 A1	КМУ	6.1	1.9	5900	2100	126800	1430	30	12-45,0	6.8
Atlas	135 A2	КМУ	8	1.9	5800	1500	124400	1560	30	12-45,1	6.8
Atlas	135 A3	КМУ	10.1	1.9	5700	1130	123300	1660	30	12-45,2	6.8
Atlas	135 A4	КМУ	12.2	1.9	5600	800	118900	1780	30	12-45,3	6.8
Atlas	135 A5	КМУ	14.3	1.9	5450	570	113400	1910	30	12-45,4	6.8
Atlas	145 A1	КМУ	7.98	4.26	3470	1730	145000	1310	27	45	6.8
Atlas	145 A2	КМУ	8.15	4.35	3250	1680	142100	1740	27	45	6.8
Atlas	145 A3	КМУ	10.25	4.45	3100	1230	135300	1860	27	45	6.8
Atlas	145 A4	КМУ	12.34	4.54	2950	950	131400	1970	27	45	6.8
Atlas	145 A5L	КМУ	14.46	4.66	2770	660	126600	2270	27	45	6.8
Atlas	145 A6L	КМУ	16.56	4.76	2650	490	123700	2370	27	45	6.8
Atlas	125.2D A1	КМУ	7.72	4.22	3380	1800	136600	1530	27	45	6.8

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
Atlas	125.2D A2	КМУ	7.86	4.31	3200	1720	135000	1680	27	45	6.8
Atlas	125.2D A3	КМУ	9.96	4.41	3050	1280	131900	1800	27	45	6.8
Atlas	125.2D A4	КМУ	12	4.5	2920	960	128900	2040	27	45	6.8
Atlas	145.2V A18	КМУ	7.6	5.9	2580	1990	149300	1960	27	45	6.8
Atlas	145.2V A19	КМУ	9.4	6	2450	1510	144200	1740	27	45	6.8
Atlas	165 A1	КМУ	7.98	4.26	3750	1820	156700	1620	30	56	6.8
Atlas	165 A2	КМУ	8.15	4.35	3600	1860	153600	1740	30	56	6.8
Atlas	165 A3	КМУ	10.25	4.45	3420	1360	149300	1870	30	56	6.8
Atlas	165 A4	КМУ	12.34	4.54	3250	1050	144700	1980	30	56	6.8
Atlas	165 A5L	КМУ	14.46	4.66	3050	770	139400	2280	30	56	6.8
Atlas	165 A6L	КМУ	16.56	4.76	2900	560	135400	2380	30	56	6.8
Atlas	170 A2	КМУ	10.21	1.99	7000	1480	160600	2230	27	45	6.8
Atlas	170 A3	КМУ	12.3	1.99	6750	1140	155800	2390	27	45	6.8
Atlas	170 A4	КМУ	14.4	2	6550	860	151200	2490	27	45	6.8
Atlas	170 A5	КМУ	16.4	2	6350	640	145700	2610	27	45	6.8
Atlas	170 A6	КМУ	18.53	1.99	6250	490	139400	2710	27	45	6.8
Atlas	170 A7	КМУ	20.69	1.99	6150	360	132200	2860	27	45	6.8
Atlas	172 A1	КМУ	6.12	2	6700	2740	163900	1610	31	45	6.8
Atlas	172 A2	КМУ	10.1	2	6500	1520	159000	1740	31	45	6.8
Atlas	172 A3	КМУ	12.2	2	6350	11170	154700	1860	31	45	6.8
Atlas	172 A4	КМУ	14.3	2	6120	920	150900	1970	31	45	6.8
Atlas	172 A5	КМУ	16.4	2	6050	640	144200	2190	31	45	6.8
Atlas	172 A6	КМУ	18.6	2	5980	500	143000	2285	31	45	6.8
Atlas	186 A1	КМУ	6.16	1.98	7600	2900	175000	2074	28	45	6.8
Atlas	186 A2	КМУ	8.14	1.98	7300	2080	170000	2254	28	45	6.8
Atlas	186 A3	КМУ	12.13	1.98	7000	1240	166000	2374	28	45	6.8
Atlas	186 A4	КМУ	14.21	1.98	6800	950	161000	2570	28	45	6.8
Atlas	186.2V A11L	КМУ	10.8	6.2	3070	1600	189000	2010	28	45	6.8
Atlas	186.2V A12K	КМУ	13.2	5.9	3200	1250	181000	2200	28	45	6.8
Atlas	186.2V A12L	КМУ	13.6	6.3	2890	1200	191000	2200	28	45	6.8
Atlas	186.2V A13L	КМУ	16.3	6.4	2750	850	176000	2350	28	45	6.8
Atlas	190 A2	КМУ	10.21	1.99	7790	1670	180400	2230	30	45	6.8
Atlas	190 A3	КМУ	121.3	1.99	7540	1270	175700	2390	30	45	6.8
Atlas	190 A4	КМУ	14.4	2	1340	1000	167900	2490	30	45	6.8
Atlas	190 A5	КМУ	16.4	2	7140	760	165100	2610	30	45	6.8
Atlas	190 A6	КМУ	18.53	1.99	7030	610	160100	2710	30	45	6.8
Atlas	190 A7	КМУ	20.69	1.99	6900	420	153300	2860	30	45	6.8
Atlas	190 A4Z3	КМУ	20.2	15.1	430	270	50300	2990	30	45	6.8
Atlas	190 A5Z3	КМУ	22.4	17.3	330	210	55900	3110	30	45	6.8
Atlas	206 A1	КМУ	6.16	1.98	8300	3230	195000	2295	31	45	6.8
Atlas	206 A2	КМУ	10.14	1.98	8000	1800	170000	2462	31	45	6.8
Atlas	206 A3	КМУ	12.13	1.98	7700	1400	166000	2611	31	45	6.8
Atlas	206 A4	КМУ	14.21	1.98	7500	1040	161000	2738	31	45	6.8
Atlas	210 A2	КМУ	8.13	4.33	4450	2300	189000	2300	28	45	6.8
Atlas	210 A3	КМУ	10.22	4.42	4350	1750	188600	2460	28	45	6.8
Atlas	210 A4	КМУ	12.31	4.51	4100	1310	181400	2600	28	45	6.8
Atlas	210 A5	КМУ	14.4	4.6	3960	980	178700	2720	28	45	6.8
Atlas	210 A6	КМУ	16.5	4.7	3760	730	173400	2830	28	45	6.8
Atlas	210 A7	КМУ	18.69	4.79	3600	560	169200	2950	28	45	6.8
Atlas	210 A8	КМУ	20.68	4.86	3600	400	167600	3050	28	45	6.8
Atlas	210 A12	КМУ	13.03	5.75	3470	1350	195700	2950	26	45	6.8
Atlas	210 A13	КМУ	15.8	5.85	3300	980	189400	3130	26	45	6.8

# Приложения

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
Atlas	210 A14	КМУ	16.49	5.92	3160	830	183500	3310	26	45	6.8
Atlas	210 A15	КМУ	9.46	6.06	3520	2220	209300	2670	26	45	6.8
Atlas	210 A20	КМУ	16.08	8.75	2100	940	180300	3200	26	45	6.8
Atlas	210 A21	КМУ	18.76	8.81	1890	680	163300	3310	26	45	6.8
Atlas	240 A2	КМУ	8.13	4.33	5300	2760	225100	2320	21	45	6.8
Atlas	240 A3	КМУ	10.22	4.42	5000	2040	216800	2480	21	45	6.8
Atlas	240 A4	КМУ	10.31	4.51	4780	1560	211500	2620	21	45	6.8
Atlas	240 A5	КМУ	14.4	4.6	4520	1180	204000	2740	21	45	6.8
Atlas	240 A6	КМУ	16.5	4.7	4320	900	199200	2850	21	45	6.8
Atlas	240 A7	КМУ	18.52	4.79	4220	690	198300	2970	21	45	6.8
Atlas	240 A8	КМУ	20.68	4.88	4120	520	197200	3050	21	45	6.8
Atlas	250 A12	КМУ	10.35	4	5500	2310	246000	2690	25	50	6.8
Atlas	250 A16	КМУ	15.47	6.4	3000	1140	198000	3210	25	50	6.8
Atlas	250 A21	КМУ	21.63	11.72	1350	570	146000	3470	25	50	6.8
Atlas	250 A27	КМУ	11.5	5.5	4200	1550	192000	2980	25	50	6.8
Atlas	260 A2	КМУ	8.15	4.34	5640	2950	261100	2865	28	60	6.8
Atlas	260 A3	КМУ	10.25	4.45	5360	2180	261000	3065	28	60	6.8
Atlas	260 A4	КМУ	12.34	4.54	5120	1650	249900	3240	28	60	6.8
Atlas	260 A5	КМУ	14.45	4.65	4890	1270	249900	3400	28	60	6.8
Atlas	260 A6	КМУ	16.55	4.75	4690	910	249900	3540	28	60	6.8
Atlas	260 A7	КМУ	18.54	4.84	4480	730	237700	3660	28	60	6.8
Atlas	260 A8	КМУ	20.74	4.96	4410	570	231500	3765	28	60	6.8
Atlas	265 3S	КМУ	10.2	2.95	8000	2900	243900	2985	35	80	6.8
Atlas	265 4S	КМУ	10.3	2.95	7815	2090	238550	3150	35	80	6.8
Atlas	265 5S	КМУ	12.45	2.95	7600	1560	232400	3330	35	80	6.8
Atlas	265 6S	КМУ	14.75	2.95	7475	1175	228700	3445	35	80	6.8
Atlas	290 A2	КМУ	8.45	4.34	5900	3150	261100	2865	28	60	6.8
Atlas	290 A3	КМУ	10.25	4.45	5700	2350	261100	3065	28	60	6.8
Atlas	290 A4	КМУ	12.34	4.54	5400	1780	249900	3240	28	60	6.8
Atlas	290 A5	КМУ	14.45	4.65	5200	1380	249900	3400	28	60	6.8
Atlas	290 A6	КМУ	16.55	4.75	5150	1080	249900	3540	28	60	6.8
Atlas	290 A7	КМУ	18.54	4.84	4810	830	237700	3660	28	60	6.8
Atlas	290 A8	КМУ	20.74	4.94	4600	620	231500	3765	28	60	6.8
Atlas	330 A12	КМУ	10.34	4	7300	2840	309000	2890	30	60	6.8
Atlas	330 A16	КМУ	18.84	7	3800	1100	229000	3465	30	60	6.8
Atlas	220 A20	КМУ	19.21	12.48	1751	921	218000	3470	30	60	6.8
Atlas	330 A21	КМУ	22.5	12.54	1530	640	192000	3670	30	60	6.8
Atlas	330 A24	КМУ	18.81	8.6	2650	940	228000	3835	30	60	6.8
Atlas	345 250	КМУ	15.47	6.4	3000	1140	207000	3210	25	50	6.8
Atlas	345 300	КМУ	18.81	8.61	2650	940	196800	3290	25	50	6.8
Atlas	345 345	КМУ	19.6	10.6	2200	1000	228600	3350	25	50	6.8
Atlas	380 A2	КМУ	7.98	4.48	8300	4550	355100	3790	32	120	7.4
Atlas	380 A3	КМУ	9.96	4.56	7910	3400	353100	4090	32	120	7.4
Atlas	380 A4	КМУ	12.05	3.63	7740	2600	351200	4250	32	120	7.4
Atlas	380 A5	КМУ	14.15	4.65	7560	2050	335500	4450	32	120	7.4
Atlas	380 A6	КМУ	16.4	4.7	7340	1620	332500	4650	32	120	7.4
Atlas	380 A7	КМУ	18.66	4.75	7150	1260	330600	4810	32	120	7.4
Atlas	380 A8	КМУ	20.95	4.85	6800	1000	322700	4950	32	120	7.4
Atlas	440	КМУ	22.25	2.69	2200	1000	215800	4800	30	50	7.58
Atlas	600 A27	КМУ	134.4	6.4	9200	4000	588000	5250	28	80	7.58
Atlas	600 A27z3	КМУ	26.7	19.7	1070	640	210000	7320	28	80	7.58



Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
Atlas	620 A5	КМУ	15.4	4.4	12300	3050	530900	5700	35	120	7.58
Atlas	620 A6	КМУ	17.5	4.5	11880	2450	524400	6000	35	120	7.58
Atlas	620 A7	КМУ	19.8	4.6	11490	2000	518500	6200	35	120	7.58
Atlas	620 A8	КМУ	22.1	4.7	11185	1700	214100	6440	35	120	7.58
Atlas	620 A9	КМУ	24.2	2	10900	1400	513200	6600	35	120	7.58
Atlas	630.4	КМУ	11.26	2	27460	4750	538000	5850	31	70	7.58
Atlas	630.5	КМУ	13.46	2	27060	3780	532000	6100	31	70	7.58
Atlas	630.6	КМУ	15.6	4.3	26700	3060	524000	6340	31	70	7.58
Atlas	630.7	КМУ	17.9	4.4	26100	2440	517000	6560	31	70	7.58
Atlas	630.8	КМУ	20.16	4.46	25940	2040	514000	6750	31	70	7.58
Atlas	650.4	КМУ	11.26	2	13600	4900	555000	5850	33	70	7.58
Atlas	650.5	КМУ	13.46	2	27900	3900	548000	6100	33	70	7.58
Atlas	650.6	КМУ	15.6	4.3	12800	3160	540000	6340	33	70	7.58
Atlas	650.7	КМУ	17.9	4.4	12360	2540	533000	6650	33	70	7.58
Atlas	650.8	КМУ	20.16	4.46	12120	2130	530000	6750	33	70	7.58
Atlas	800 A4	КМУ	11.08	2.9	24000	6160	727000	7790	31.5	80	7.58
Atlas	800 A5	КМУ	13.15	2.9	23125	4810	716000	8085	31.5	80	7.58
Atlas	800 A6	КМУ	15.17	2.9	23300	3950	705000	8347	31.5	80	7.58
Atlas	800 A7	КМУ	17.45	2.9	23000	3220	700000	3581	31.5	80	7.58
Atlas	800 A8	КМУ	19.65	2.9	22800	2670	693000	8810	31.5	80	7.58
Atlas	800 A9	КМУ	21.6	2.9	22620	2040	681000	8990	31.5	80	7.58
Atlas	955 A6	КМУ	13.88	2.9	24350	4290	734000	7820	39	130	10
Atlas	955 A7	КМУ	18.26	2.9	24055	3450	728000	8085	39	130	10
Atlas	955 A8	КМУ	18.32	2.9	23840	2820	723000	8370	39	130	10
Atlas	955 A9	КМУ	22.94	2.9	23620	2310	718000	8600	39	130	10
Atlas	990.4	КМУ	11.35	2.2	34500	7000	906400	8800	31	100	10
Atlas	990.6	КМУ	15.8	2.2	32000	4400	869400	9630	31	100	10
Atlas	990.7	КМУ	18.25	2.2	31000	3500	850250	10000	31	100	10
Atlas	4L	ГКМУ	6.02	2	1550	590	36400	970	19	30	3.49
Atlas	4Z	ГКМУ	7	2	1900	505	40700	920	22	30	4.095
Atlas	6L	ГКМУ	9.18	3	1780	510	59000	1335	21	60	4.259
Atlas	6Z	ГКМУ	8	3	1700	535	55000	1220	20.5	50	4.853
Atlas	9L	ГКМУ	9	3	2500	750	78000	1880	21.5	80	4.49
Atlas	9Z	ГКМУ	9	3	2700	710	80000	1745	27	80	3.745
Atlas	10Z.1	ГКМУ	7.7	3	3900	1626	102000	2060	25.8	80	3.745
Atlas	10Z.2	ГКМУ	9	3	3810	1610	102000	2060	25.8	80	3.745
Atlas	10Z.3	ГКМУ	8.65	3	3715	1405	102000	2060	25.8	80	3.745
Atlas	10Z.4	ГКМУ	9.4	3	3560	1370	102000	2060	25.8	80	3.745
Atlas	11L	ГКМУ	10	3	3400	1120	106000	2018	26.5	80	3.745
Atlas	14L	ГКМУ	10.1	3	4500	1290	136000	2606	23	65	4.49
Atlas	14Z	ГКМУ	9.4	3	4200	1510	134000	2240	26	100	3.745
Atlas	17L	ГКМУ	10	3	5640	1840	171000	2765	24	65	4.5
Atlas	17Z	ГКМУ	9	3	4590	1790	154900	2930	25.5	75	4.728
Atlas	25L	ГКМУ	10	3	7290	2160	218400	2620	22	80	5.144
Atlas	25Z	ГКМУ	9	3	7575	2525	234000	3065	26	140	4.73
Atlas	17ZR	ГКМУ	9	3	4590	1790	159400	2930	25.5	75	4.728
Atlas	18LR	ГКМУ	9	3	5640	1340	175000	2765	24	65	4.66
Atlas	25LR	ГКМУ	10	3	7290	2160	218400	2620	22	80	5.185
Atlas	25ZR	ГКМУ	9	3	7575	2525	234000	3065	26	140	4.73
Atlas	4LR	ГКМУ	6	3	1220	590	36400	970	29	30	3.49
Atlas	4ZR	ГКМУ	5	2	1935	800	40700	920	22	30	4.095
Atlas	6LR	ГКМУ	8	3	1780	570	59000	1335	21	60	4.259

# Приложения

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
Atlas	6ZR	ГКМУ	8	3	1700	535	55000	1220	20.5	50	4.853
Atlas	9LR	ГКМУ	9	3	2500	770	78000	1880	21.5	80	4.49
Atlas	9ZR	ГКМУ	9	3	2700	710	80000	1745	27	80	3.745
Atlas	10ZR	ГКМУ	9.4	3	3000	922	94000	2160	25.8	80	3.745
Atlas	11LR	ГКМУ	10	3	3400	1120	106000	2018	26.5	80	4.49
Atlas	12ZR	ГКМУ	9	3	3810	1180	112000	2060	25.5	80	3.745
Atlas	12ZRT	ГКМУ	8	3	3750	1360	112000	2210	25.5	80	3.745
Atlas	15LR	ГКМУ	10	3	4500	1290	136000	2605	23	65	4.49
Atlas	15ZR	ГКМУ	9.4	3	4200	1510	134000	2550	26	100	4.72
Atlas	15ZRT	ГКМУ	8	3	4560	1640	134000	2550	26	100	4.72
HIAB	008T	КМУ	3.8	1.1	840	320	9000	145	17.5	5	-
HIAB	X-CL 8-1	КМУ	8.9	3.7	2200	1460	10700	800	31.5	40	2.445
HIAB	X-CL 8-2	КМУ	7.1	3.7	2020	1040	10700	900	31.5	40	2.445
HIAB	X-CL 8-3	КМУ	5.4	3.8	2060	760	10700	980	31.5	40	2.445
HIAB	X-CL 12-1	КМУ	5.8	2.3	4700	1920	14100	1100	30.5	40	2.785
HIAB	X-CL 12-2	КМУ	7.6	2.6	3800	1360	14100	1220	30.5	40	2.785
HIAB	X-CL 12-3	КМУ	9.4	3.1	3350	1000	14100	1330	30.5	40	2.785
HIAB	T-CLX 013-1	КМУ	2	1.2	995	590	11940	132	17.5	5	1.826
HIAB	T-CLX 013-2	КМУ	3.1	1.3	920	360	11960	162	17.5	5	1.826
HIAB	T-CLX 013-3	КМУ	4.2	1.4	840	250	11760	192	17.5	5	1.826
HIAB	DUO 013-1	КМУ	2	1.2	995	590	11940	132	17.5	5	1.826
HIAB	DUO 013-2	КМУ	3.1	1.3	360	92	4680	162	17.5	5	1.826
HIAB	DUO 013-3	КМУ	4.2	1.4	840	250	11760	192	17.5	5	1.826
HIAB	017 T-1	КМУ	2.15	1.25	1320	770	17000	190	17.5	5	1.826
HIAB	017 T-2	КМУ	3.15	1.25	1320	525	17000	210	17.5	10	1.826
HIAB	T-CLX 023-2 CE	КМУ	3.4	1.5	995	700	23000	260	17.5	10	1.999
HIAB	T-CLX 023-3 CE	КМУ	4.4	1.5	995	520	23000	298	17.5	10	1.999
HIAB	T-CLX 023-2	КМУ	3.4	1.5	1620	700	23000	260	17.5	10	1.999
HIAB	T-CLX 023-3 CE	КМУ	4.4	1.5	1600	520	23000	298	17.5	10	1.999
HIAB	T-CLX 029-2 CE	КМУ	3.4	1.5	995	800	29000	265	17.5	18	1.826
HIAB	T-CLX 029-3 CE	КМУ	4.4	1.5	995	600	29000	303	17.5	18	1.826
HIAB	T-CLX 029-4 CE	КМУ	5.5	1.6	995	440	29000	341	17.5	18	1.826
HIAB	T-CLX 029-2	КМУ	3.4	1.5	1860	800	29000	265	17.5	18	1.826
HIAB	T-CLX 029-3	КМУ	4.4	1.5	1840	600	29000	303	17.5	18	1.826
HIAB	T-CLX 029-4	КМУ	5.5	1.6	1660	440	29000	341	17.5	18	1.826
HIAB	T-CLX 038-2 CE	КМУ	3.6	1.5	995	970	38000	290	17.5	18	1.826
HIAB	T-CLX 038-3 CE	КМУ	4.8	1.6	995	700	38000	330	17.5	18	1.826
HIAB	T-CLX 038-4 CE	КМУ	6	1.7	995	530	38000	370	17.5	18	1.826
HIAB	T-CLX 038-2	КМУ	3.6	1.5	2360	970	38000	290	17.5	18	1.826
HIAB	T-CLX 038-3	КМУ	4.8	1.6	2200	700	38000	330	17.5	18	1.826
HIAB	T-CLX 038-4	КМУ	6	1.7	2040	530	38000	370	17.5	20	1.826
HIAB	XS 055 B-1 CL	КМУ	5.4	2.3	1980	840	45000	730	17.5	20	2
HIAB	XS 055 B-2 Duo	КМУ	7.2	2.7	1760	620	42000	810	17.5	20	2
HIAB	XS 056 D-3HiDuo	КМУ	9.3	2.9	1720	490	46000	880	17.5	20	2
HIAB	XS 057 D-4HiDuo	КМУ	11.2	3.1	1560	350	43000	950	17.5	20	2
HIAB	XS 077 B-3 CL	КМУ	9.2	2.9	2050	580	58000	1060	17.5	20	2.4
HIAB	XS 077 E-2 Duo	КМУ	7.4	2	3100	860	60000	970	17.5	20	2.4
HIAB	XS 077 B-2 HiDuo	КМУ	7.2	2.8	2600	980	65000	970	17.5	20	2.4
HIAB	XS 077 E-4 HiDuo	КМУ	9.5	2.2	2900	580	60000	1140	17.5	20	2.4
HIAB	XS 088 B-3 CL	КМУ	9.2	3.1	2300	660	65000	1170	20	25	2.4
HIAB	XS 088 B-2 Duo	КМУ	7.3	2.9	2700	1020	69000	1080	20	25	2.4

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
HIAB	XS 088 E-4 HiDuo	КМУ	9.6	2.2	3500	700	71000	1260	20	25	2.4
HIAB	XS 088 E-5 HiDuo	КМУ	9.7	2.2	3250	600	68000	1340	20	25	2.4
HIAB	XS 099 B-3 CL	КМУ	9.5	3	2640	760	77000	1230	20	40	2.4
HIAB	XS 099 B-2 Duo	КМУ	7.6	2.7	3250	1140	80000	1140	20	40	2.4
HIAB	XS 099 B-3 Duo	КМУ	9.5	3	2860	840	77000	1230	20	40	2.4
HIAB	XS 099 E-4 HiDuo	КМУ	9.9	2.5	3650	780	81000	1480	20	40	2.4
HIAB	XS 099 E-5 HiDuo	КМУ	10	2.6	3400	680	78000	1580	20	40	2.4
HIAB	XS 144 B-3 CL	КМУ	10.3	3	3900	1080	120000	1660	25	60	3.5
HIAB	XS 144 B-3 Duo	КМУ	10.3	3.1	4300	1200	131000	1660	25	60	3.5
HIAB	XS 144 E-5 HiDuo	КМУ	15	2.6	5000	680	128000	2130	25	60	3.5
HIAB	XS 144 ES-3 HiPro	КМУ	10.1	2.2	6000	1340	139000	1960	25	60	3.5
HIAB	XS 144 E-4 HiPro	КМУ	12.7	2.5	5300	940	138000	2080	25	60	3.5
HIAB	XS 144 E-5 HiPro	КМУ	15	2.6	5000	720	132000	2190	25	60	3.5
HIAB	Z-PRO 171	КМУ	8	2	4800	1480	160000	2200	25	60	4
HIAB	XS 192 ES-2	КМУ	8.2	3.1	5800	2180	177500	1935	25	60	4
HIAB	XS 192 E-3	КМУ	10.6	3.3	5300	1540	171700	2095	25	60	4
HIAB	XS 192 E-5	КМУ	15	3.4	4900	880	163200	2375	25	60	4
HIAB	XS 192 E-6	КМУ	17.4	3.4	4800	650	160000	2495	25	60	4
HIAB	XS 255 K-2 CLX	КМУ	12.8	8	2840	1680	226000	3445	25	60	4
HIAB	XS 255 K-2 HiPro	КМУ	12.8	8	3050	1840	245000	3475	25	60	4
HIAB	XS 255 K-2 Pro	КМУ	12.8	8	2840	1680	226000	3640	25	60	4
HIAB	XS 255 K-3 CLX	КМУ	15.1	8	2700	1260	212000	3670	25	60	4
HIAB	XS 255 K-3 HiPro	КМУ	15.1	8	2920	1380	231000	3700	25	60	4
HIAB	XS 255 K-3 Pro	КМУ	15.1	8	2700	1260	212000	3865	25	60	4
HIAB	XS 335 K-4 CLX	КМУ	17.3	7.7	3400	1250	261000	4646	25	80	4
HIAB	XS 335 K-4 HiPro	КМУ	17.3	7.7	3750	1380	283000	1674	25	80	4
HIAB	XS 335 K-4 Pro	КМУ	17.3	7.7	3400	1250	261000	4630	25	80	4
HIAB	XS 435 K	КМУ	23.2	8.4	4500	800	380000	6050	25	100	5
HIAB	XS 477 EP-5 Duo	КМУ	15.4	3.1	12000	2240	377000	4420	25	100	5
HIAB	XS 477 EP-5 HiDuo	КМУ	15.4	3.3	12000	2380	398000	4430	25	100	5
HIAB	XS 477 E-6 HiPro	КМУ	16.5	3.3	12000	2080	402000	4590	25	100	5
HIAB	XS 477 E-8 HiDuo	КМУ	20.8	3.1	12000	1300	377000	4880	25	100	5
HIAB	X-HIPRO 548 E-9	КМУ	21.7	4.7	9600	1380	444000	5488	25	100	5
HIAB	X-HIPRO 548 E-8	КМУ	19.6	4.6	9900	1720	449000	5307	25	100	5
HIAB	X-HIPRO 638 E-9	КМУ	22.2	5.1	10100	1580	507000	6262	25	100	5
HIAB	X-HIPRO 638 E-8	КМУ	20	5	10400	1940	513000	6063	25	100	5
HIAB	XS 658 EP-6	КМУ	16.1	5.1	10900	2820	544000	5545	25	100	5
HIAB	X-HIPRO 858 EP-6	КМУ	16.3	3.9	18000	4100	725000	6662	25	100	6
HIAB	X-HIPRO 858 E-10	КМУ	23.8	3.6	18000	2060	692000	7770	25	100	6
HIAB	X-HIPRO 858 E-8	КМУ	19.4	3.8	18000	2900	701000	7408	25	100	6
HIAB	X-HIPRO 1058 EP-6	КМУ	16.3	4.7	18000	4700	825000	7119	25	100	6
HIAB	X-HIPRO 1058 E-10	КМУ	23.6	4.4	18000	2480	794000	8224	25	100	6
HIAB	X-HIPRO 1058 E-8	КМУ	19.4	4.4	18000	3450	803000	7833	25	100	6
Palfinger	PC 900	КМУ	1.6	0.8	450	450	7100	72	19	6	2
Palfinger	PC 1300 CE	КМУ	2.7	1.2	990	430	12000	165	19	6	2
Palfinger	PC 1300 A	КМУ	3.5	1.2	990	300	12000	165	19	6	2
Palfinger	PC 2300 A	КМУ	5.1	2.2	990	380	23000	230	18.5	6	2
Palfinger	PC 3300 A	КМУ	6.7	1.6	2150	380	31000	315	18	8	2.5
Palfinger	PC 3300 B	КМУ	6.7	1.6	2090	350	31000	315	18	8	2.5

# Приложения

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
Palfinger	PK 4200 A	КМУ	6.5	3	990	550	38300	521	25	15	4
Palfinger	PK 4200 C	КМУ	10	3	990	350	38300	521	25	15	4
Palfinger	PK 4501 A	КМУ	7	3	1240	580	43200	698	32	25	5
Palfinger	PK 4501 C	КМУ	11	3	1100	280	43200	698	32	25	5
Palfinger	PK 5001 A	КМУ	7	3	1380	650	48100	708	35	30	5
Palfinger	PK 5001 C	КМУ	11	3	1240	330	48100	708	35	30	5
Palfinger	PK 6501 A	КМУ	7	3	1600	770	57900	754	32	30	5
Palfinger	PK 6501 C	КМУ	11	3	1440	410	57900	754	32	30	5
Palfinger	PK 7001 A	КМУ	7	3	1780	860	64700	779	35	40	5
Palfinger	PK 7001 C	КМУ	11	3	1620	470	64700	779	35	40	5
Palfinger	PK 7001 K A	ККМУ	7	3	1780	860	64700	779	35	40	5
Palfinger	PK 7001 K C	ККМУ	11	3	1620	470	64700	779	35	40	5
Palfinger	PK 8501 A	КМУ	7	3	2100	1000	76500	1022	32	35	5.6
Palfinger	PK 8501 D	КМУ	13	3	1700	320	76500	1022	32	35	5.6
Palfinger	PK 8501 K A	ККМУ	5	2	3330	1520	80400	988	32	35	5.6
Palfinger	PK 8501 K D	ККМУ	7	2	3300	1060	80400	988	32	35	5.6
Palfinger	PK 8502 A	КМУ	7	1.2	5580	1020	80400	1044	32	35	5.6
Palfinger	PK 8502 D	КМУ	14	1.2	5260	410	80400	1044	32	35	5.6
Palfinger	PK 9001A	КМУ	7	1.5	5200	1120	85300	1047	35	50	5.6
Palfinger	PK 9001 D	КМУ	14	1.5	4800	380	85300	1047	35	50	5.6
Palfinger	PK 9002 A	КМУ	7	1.5	5580	1140	89300	1069	35	50	5.6
Palfinger	PK 9002 D	КМУ	14	1.5	5260	410	89300	1069	35	50	5.6
Palfinger	PK 11001 A	КМУ	7	1.7	5580	1240	98100	1115	32	45	5.6
Palfinger	PK 11001 D	КМУ	14	1.7	2560	450	98100	1115	32	45	5.6
Palfinger	PK 11001 K A	ККМУ	5.5	3	3300	1880	99100	1072	32	45	5.6
Palfinger	PK 11001 K D	ККМУ	7	3	3300	1340	99100	1072	32	45	5.6
Palfinger	PK 11002 A	КМУ	7	1.5	5580	1240	98100	1133	32	45	5.6
Palfinger	PK 11002 D	КМУ	14	1.5	5260	460	98100	1133	32	45	5.6
Palfinger	PK 12001 A	КМУ	7	1.8	5580	1380	108900	1140	35	60	5.6
Palfinger	PK 12001 D	КМУ	14	1.8	5260	530	108900	1140	35	60	5.6
Palfinger	PK 12002 A	КМУ	7	1.8	5580	1380	107900	1258	35	60	5.6
Palfinger	PK 12002 D	КМУ	14	1.8	5260	530	107900	1258	35	60	5.6
Palfinger	PK 12502	КМУ	5.9	1.6	6200	2030	119000	1581	33	70	4.6
Palfinger	PK 12502 A	КМУ	7.9	1.8	6100	1400	119000	1600	33	70	4.6
Palfinger	PK 12502 B	КМУ	10.2	1.8	6000	990	119000	1640	33	70	4.6
Palfinger	PK 12502 C	КМУ	12.4	1.8	5850	720	119000	1680	33	70	4.6
Palfinger	PK 12502 D	КМУ	14.6	1.8	5750	520	119000	1720	33	70	4.6
Palfinger	PK 12502 E	КМУ	16.9	1.8	5650	360	119000	1760	33	70	4.6
Palfinger	PK 15002	КМУ	5.9	1.6	6200	2350	136400	1647	30	80	4.6
Palfinger	PK 15002 A	КМУ	7.9	2	6100	1640	136400	1680	30	80	4.6
Palfinger	PK 15002 B	КМУ	10.2	2	6000	1180	136400	1720	30	80	4.6
Palfinger	PK 15002 C	КМУ	12.4	2	5850	860	136400	1760	30	80	4.6
Palfinger	PK 15002 D	КМУ	14.6	2	5750	630	136400	1800	30	80	4.6
Palfinger	PK 15002 E	КМУ	16.6	2	5650	450	136400	1820	30	80	4.6
Palfinger	PK 15500	КМУ	6.1	2.3	6200	2380	143200	1619	30	60	4.6
Palfinger	PK 15500 A	КМУ	8	2.3	6100	1690	143200	1660	30	60	4.6
Palfinger	PK 15500 B	КМУ	16.5	2.2	6000	1230	143200	1700	30	60	4.6
Palfinger	PK 15500 C	КМУ	12.2	2.2	5850	910	143200	1730	30	60	4.6
Palfinger	PK 15500 D	КМУ	14.3	2	5750	650	143200	1760	30	60	4.6
Palfinger	PK 15500 Adv	КМУ	5.5	2.2	6200	2710	145000	1509	30	60	4.6
Palfinger	PK 15500 Adv A	КМУ	7.2	2.2	6100	1940	145000	1550	30	60	4.6

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
Palfinger	PK 15500 Adv B	КМУ	9.8	2.2	6000	1420	145000	1600	30	60	4.6
Palfinger	PK 16502	КМУ	5.9	1.7	3200	2610	152100	1672	33	80	4.6
Palfinger	PK 16502 A	КМУ	7.9	2.2	6100	1840	152100	1700	33	80	4.6
Palfinger	PK 16502 B	КМУ	10.2	2.2	6000	1330	152100	1740	33	80	4.6
Palfinger	PK 16502 C	КМУ	12.4	2.2	5850	540	152100	1780	33	80	4.6
Palfinger	PK 16502 D	КМУ	14.6	2.2	5750	510	152100	1810	33	80	4.6
Palfinger	PK 16502 E	КМУ	16.9	2.2	5650	550	152100	1840	33	80	4.6
Palfinger	PK 17502 A	КМУ	8.1	4.1	4100	2010	167200	2255	30	80	4.8
Palfinger	PK 17502 B	КМУ	14.1	4.1	3900	1440	167200	2300	30	80	4.8
Palfinger	PK 17502 C	КМУ	12.5	4.1	3730	1070	167200	2350	30	80	4.8
Palfinger	PK 17502 D	КМУ	14.7	4.1	3560	800	167200	2400	30	80	4.8
Palfinger	PK 17502 E	КМУ	16.9	4.1	3420	580	167200	2440	30	80	4.8
Palfinger	PK 18500 A	КМУ	8	3	6100	2170	180000	2117	30	65	4.8
Palfinger	PK 18500 B	КМУ	12	3	5850	1720	180000	2150	30	65	4.8
Palfinger	PK 18500 C	КМУ	14	3	5750	945	180000	2200	30	65	4.8
Palfinger	PK 22002 C	КМУ	12	4	4650	1380	205000	2391	35	90	7.4
Palfinger	PK 22002 E	КМУ	17	4	4300	830	205000	2440	35	90	7.4
Palfinger	PK 20001 K B	ККМУ	10	4	4800	1800	198000	2271	32	65	7.4
Palfinger	PK 20001 K C	ККМУ	12	4	4650	1380	198000	2300	32	65	7.4
Palfinger	PK 23502 A	КМУ	7.9	4.4	5300	2750	219700	2583	32	70	7.4
Palfinger	PK 23502 B	КМУ	10.1	4.2	5100	2000	219700	2620	32	70	7.4
Palfinger	PK 23502 C	КМУ	16.6	4.2	4900	960	219700	2660	32	70	7.4
Palfinger	PK 23502 D	КМУ	18.8	4.3	4650	730	219700	2700	32	70	7.4
Palfinger	PK 23502 E	КМУ	21	4.4	4500	570	219700	2740	32	70	7.4
Palfinger	PK 23502 F	КМУ	23.1	4.5	4300	450	219700	2780	32	70	7.4
Palfinger	PK 23502 G	КМУ	23.1	4.6	4150	400	219700	2820	32	70	7.4
Palfinger	PK 26002 A	КМУ	7.9	4.1	5900	3050	244000	2583	35	100	7.4
Palfinger	PK 26002 B	КМУ	10.1	4.2	5700	2250	244000	2620	35	100	7.4
Palfinger	PK 26002 C	КМУ	16.6	4.2	5500	1120	244000	2660	35	100	7.4
Palfinger	PK 26002 D	КМУ	18.8	4.3	5200	870	244000	2700	35	100	7.4
Palfinger	PK 26002 E	КМУ	21	4.4	5000	690	244000	2740	35	100	7.4
Palfinger	PK 26002 F	КМУ	23.1	4.5	4850	560	244000	2780	35	100	7.4
Palfinger	PK 26002 G	КМУ	23.1	4.6	4700	510	244000	2820	35	100	7.4
Palfinger	PK 30002 K B	ККМУ	10	4	6600	2550	277000	2790	32	80	7.4
Palfinger	PK 30002 K C	ККМУ	12	4	6350	2000	277000	2790	32	80	7.4
Palfinger	PK 30002 A	КМУ	7.9	4.1	6700	3450	275000	2876	32	80	7.4
Palfinger	PK 30002 B	КМУ	10.1	4.2	6400	2550	275000	2320	32	80	7.4
Palfinger	PK 30002 C	КМУ	16.6	4.2	6100	1260	275000	2360	32	80	7.4
Palfinger	PK 30002 D	КМУ	18.8	4.3	5900	1000	275000	2400	32	80	7.4
Palfinger	PK 30002 E	КМУ	21	4.4	5700	810	275000	2440	32	80	7.4
Palfinger	PK 30002 F	КМУ	23.1	4.5	5500	570	275000	2480	32	80	7.4
Palfinger	PK 30002 G	КМУ	23.1	4.6	5300	570	275000	2520	32	80	7.4
Palfinger	PK 33002 A	КМУ	7.9	4.1	7400	3800	305000	2876	35	100	7.4
Palfinger	PK 33002 B	КМУ	10.1	4.2	7100	2850	305000	2320	35	100	7.4
Palfinger	PK 33002 C	КМУ	16.6	4.2	6800	1460	305000	2360	35	100	7.4
Palfinger	PK 33002 D	КМУ	18.8	4.3	6600	1160	305000	2400	35	100	7.4
Palfinger	PK 33002 E	КМУ	21	4.4	6400	960	305000	2440	35	100	7.4
Palfinger	PK 33002 F	КМУ	23.1	4.5	6200	570	305000	2480	35	100	7.4
Palfinger	PK 33002 G	КМУ	23.1	4.6	6000	570	305000	2520	35	100	7.4
Palfinger	PK 38502 A	КМУ	7.8	4.4	8390	4760	375000	3970	30	80	6.6
Palfinger	PK 38502 B	КМУ	9.9	4.4	8220	3610	375000	4040	30	80	6.6
Palfinger	PK 38502 C	КМУ	12	4.4	8040	2780	375000	4090	30	80	6.6

# Приложения

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
Palfinger	PK 38502 D	КМУ	14.3	4.4	7900	2140	375000	4140	30	80	6.6
Palfinger	PK 38502 E	КМУ	16.6	4.4	7810	1650	375000	4180	30	80	6.6
Palfinger	PK 40002 C	КМУ	12	4	8400	2900	375700	4175	30	100	7.4
Palfinger	PK 40002 E	КМУ	16	4	6300	1700	375700	4220	30	100	7.4
Palfinger	PK 40002 G	КМУ	21.2	4	6000	1000	375700	4260	30	100	7.4
Palfinger	PK 43502 A	КМУ	7.8	4.4	9310	5300	415000	3970	33	100	6.6
Palfinger	PK 43502 B	КМУ	9.9	4.4	9140	4040	415000	4050	33	100	6.6
Palfinger	PK 43502 C	КМУ	12	4.4	8960	3140	415000	4100	33	100	6.6
Palfinger	PK 43502 D	КМУ	14.3	4.4	8820	2440	415000	4150	33	100	6.6
Palfinger	PK 43502 E	КМУ	16.6	4.4	8700	1910	415000	4200	33	100	6.6
Palfinger	PK 44002 A	КМУ	7.5	4.5	14200	5520	416900	4095	33	100	7.4
Palfinger	PK 44002 B	КМУ	9.5	4.5	13890	4190	416900	4150	33	100	7.4
Palfinger	PK 44002 C	КМУ	11.5	4.5	13400	3260	416900	4200	33	100	7.4
Palfinger	PK 44002 D	КМУ	13.7	4.5	12720	2520	416900	4250	33	100	7.4
Palfinger	PK 44002 E	КМУ	15.9	4.5	12160	1960	416900	4300	33	100	7.4
Palfinger	PK 44002 F	КМУ	18.2	4.5	11740	1520	416900	4350	33	100	7.4
Palfinger	PK 44002 G	КМУ	20.5	4.5	11400	1170	416900	4400	33	100	7.4
Palfinger	PK 60002 F	КМУ	33	3	2780	290	572000	4965	36.5	100	8.6
Palfinger	PK 60002 G	КМУ	20	2.5	16000	2000	572000	4800	36.5	100	8.6
Palfinger	PK 74002 A	КМУ	7.4	2.5	23000	9310	688000	5755	35	100	8.6
Palfinger	PK 74002 B	КМУ	9.4	2.5	23000	7190	688000	5800	35	100	8.6
Palfinger	PK 74002 C	КМУ	11.4	2.5	23000	5700	688000	5850	35	100	8.6
Palfinger	PK 74002 D	КМУ	13.6	2.5	22000	4540	688000	5900	35	100	8.6
Palfinger	PK 74002 E	КМУ	15.7	2.5	21500	3660	688000	5950	35	100	8.6
Palfinger	PK 74002 F	КМУ	18	2.5	21000	3020	688000	5600	35	100	8.6
Palfinger	PK 74002 G	КМУ	20.3	2.5	20500	2500	688000	5650	35	100	8.6
Palfinger	PK 85002 B	КМУ	9.1	2.5	25000	8470	784800	6589	36.5	110	8.6
Palfinger	PK 85002 C	КМУ	11.1	2.5	25000	6680	784800	6620	36.5	110	8.6
Palfinger	PK 85002 D	КМУ	13.3	2.5	25000	5310	784800	6660	36.5	110	8.6
Palfinger	PK 85002 E	КМУ	15.5	2.5	25000	4280	784800	6720	36.5	110	8.6
Palfinger	PK 85002 F	КМУ	17.8	2.5	25000	3480	784800	6780	36.5	110	8.6
Palfinger	PK 85002 G	КМУ	20.1	2.5	24900	2900	784800	6820	36.5	110	8.6
Palfinger	PK 85002 H	КМУ	22.4	2.5	23900	2420	784800	6860	36.5	110	8.6
Palfinger	PK 100002 B	КМУ	9.2	2.5	30000	9700	904500	8800	36.5	110	8.6
Palfinger	PK 100002 C	КМУ	11.1	2.5	30000	7720	904500	8850	36.5	110	8.6
Palfinger	PK 100002 D	КМУ	13.1	2.5	30000	6320	904500	8900	36.5	110	8.6
Palfinger	PK 100002 E	КМУ	15.2	2.5	30000	5050	904500	8950	36.5	110	8.6
Palfinger	PK 100002 F	КМУ	21.8	2.5	30000	3000	904500	9000	36.5	110	8.6
Palfinger	PK 100002 H	КМУ	21.9	2.5	29200	2770	904500	9040	36.5	110	8.6
Palfinger	PK 150002 G	КМУ	33	2.5	5000	920	1146000	11520	33	200	9.8
Palfinger	PK 150002 H	КМУ	21.8	2.5	40000	4000	1146000	12000	33	200	9.8
Palfinger	PK 12000 TB	ЭКМУ	8	2.5	4790	1400	122000	1461	30	45	5
Palfinger	PK 12000 TC	ЭКМУ	10	2.5	4590	1040	122000	1491	30	45	5
Palfinger	PK 14000 TB	ЭКМУ	8	2.5	5290	1560	144000	1476	33	70	5
Palfinger	PK 14000 TC	ЭКМУ	10	2.5	5070	1160	144000	1506	33	70	5
Palfinger	PK 16000 TB	ЭКМУ	8	2.5	6040	1790	153000	1598	30	50	4.6
Palfinger	PK 16000 TC	ЭКМУ	10	2.5	6100	1330	153000	1540	30	50	4.6
Palfinger	PK 18000 TB	ЭКМУ	8	2.5	6660	1980	169000	1613	33	70	4.6
Palfinger	PK 18000 TC	ЭКМУ	10	2.5	6400	1490	169000	1660	33	70	4.6
Palfinger	PK 12001 L	КМУ	7	2.5	4800	1700	112000	1597	30	70	5.6
Palfinger	PK 12001 LA	КМУ	9	2.5	4700	1260	112000	1640	30	70	5.6

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
Palfinger	PK 15000 L	КМУ	7	2.5	6200	2050	138000	1803	30	80	5.6
Palfinger	PK 15000 LA	КМУ	9	2.5	6100	1450	138000	1850	30	80	5.6
Palfinger	PK 15000 LB	КМУ	11	2.5	5900	1050	138000	1900	30	80	5.6
Palfinger	PK 18001 LA	КМУ	11	3	4850	1410	167000	2202	30	65	5.64
Palfinger	PK 18001 LB	КМУ	13	3	4700	1000	167000	2252	30	65	5.64
Palfinger	PK 20001 LA	КМУ	11	3	4850	1600	186400	2172	30	65	5.64
Palfinger	PK 20001 LB	КМУ	13	3	4700	1150	186400	2232	30	65	5.64
Palfinger	PK 21001 LA	КМУ	11	4	4850	1780	206000	2485	30	75	5.64
Palfinger	PK 21001 LB	КМУ	13	4	4700	1300	206000	2528	30	75	5.64
Palfinger	PK 21001 LC	КМУ	15	4	4550	940	206000	2568	30	75	5.64
Palfinger	PK 24001 LA	КМУ	11	4	4850	2010	229000	2485	33	100	5.64
Palfinger	PK 24001 LB	КМУ	13	4	4700	1480	229000	2528	33	100	5.64
Palfinger	PK 24001 LC	КМУ	15	4	4550	1070	229000	2568	33	100	5.64
Epsilon	M100L83	ГКМУ	8	3	3160	1150	95000	1850	21.5	80	2.5
Epsilon	M100L80	ГКМУ	9	3	3070	960	97000	1840	21.5	80	2.5
Epsilon	M100L97	ГКМУ	7	3	3330	1390	92000	1930	21.5	80	2.5
Epsilon	M10080V	ГКМУ	8	3	3230	1190	97000	1880	21.5	80	2.5
Epsilon	M100L75	ГКМУ	8	3	3240	1170	100000	1820	21.5	80	2.5
Epsilon	M100L68	ГКМУ	6	3	3170	1570	95000	1790	21.5	80	2.5
Epsilon	M110L83	ГКМУ	8	3	3535	1290	106000	1900	23.5	80	2.5
Epsilon	M110L80	ГКМУ	9	3	3440	1080	108000	1890	23.5	80	2.5
Epsilon	M110L97	ГКМУ	7	3	3690	1550	103000	1980	23.5	80	2.5
Epsilon	M11080V	ГКМУ	8	3	3600	1300	108000	1930	23.5	80	2.5
Epsilon	M110L75	ГКМУ	8	3	3590	1250	111000	1860	23.5	80	2.5
Epsilon	M110L68	ГКМУ	6	3	3510	1740	106000	1830	23.5	80	2.5
Epsilon	M120L83	ГКМУ	8	3	3800	1390	114000	1940	25	80	2.5
Epsilon	M120L80	ГКМУ	9	3	3720	1180	116000	1930	25	80	2.5
Epsilon	M120L97	ГКМУ	7	3	3960	1670	112000	2020	25	80	2.5
Epsilon	M12080V	ГКМУ	8	3	3870	1400	117000	1970	25	80	2.5
Epsilon	M120L75	ГКМУ	8	3	3870	1400	119000	1900	25	80	2.5
Epsilon	M130L83	ГКМУ	8	3	4230	1550	127000	1950	25	80	2.5
Epsilon	M130L80	ГКМУ	9	3	4130	1310	129000	1940	25	80	2.5
Epsilon	M130L97	ГКМУ	7	3	4390	1820	124000	2030	25	80	2.5
Epsilon	M13080V	ГКМУ	8	3	4290	1590	129000	1980	25	80	2.5
Epsilon	M130L75	ГКМУ	8	3	4300	1550	132000	1910	25	80	2.5
Epsilon	Q150L83	ККМУ	8	3	4610	1700	138000	2270	24	90	2.5
Epsilon	Q150L80	ККМУ	9	3	4530	1460	142000	2190	24	90	2.7
Epsilon	Q150L97	ККМУ	8	3	4700	1710	136000	2330	24	90	2.7
Epsilon	Q150L104	ККМУ	8	3	4720	1720	131000	2370	24	90	2.7
Epsilon	Q150L80V	ККМУ	10	3	4360	1250	142000	2320	24	90	2.7
Epsilon	Q170L83	ККМУ	8	3	5090	1890	153000	2330	25	90	2.7
Epsilon	Q170L80	ККМУ	9	3	5000	1620	156000	2250	25	90	2.7
Epsilon	Q170L97	ККМУ	8	3	5170	1910	150000	2380	25	90	2.7
Epsilon	Q170L104	ККМУ	8	3	5200	1900	145000	2430	25	90	2.7
Epsilon	Q170L80V	ККМУ	10	3	4820	1390	156000	2380	25	90	2.7
Epsilon	Q180L83	ККМУ	8	3	5800	2150	174000	2340	25	90	2.7
Epsilon	Q180L80	ККМУ	9	3	5680	1850	177000	2260	25	90	2.7
Epsilon	Q180L97	ККМУ	8	3	5890	2140	171000	2390	25	90	2.7
Epsilon	Q180L104	ККМУ	8	3	5880	2150	166000	2440	25	90	2.7
Epsilon	Q180L80V	ККМУ	10	3	5530	1600	177000	2390	25	90	2.7
Epsilon	M100Z82	ГКМУ	8	3	3060	1050	92000	1900	23	80	2.5
Epsilon	M100Z79	ГКМУ	9	3	2990	910	93000	1870	23	80	2.5

# Приложения

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
Epsilon	M100Z96	ГКМУ	7	3	3100	1290	90000	1960	23	80	2.5
Epsilon	M100Z87	ГКМУ	8	3	2860	1010	86000	2120	23	80	2.5
Epsilon	M110Z82	ГКМУ	8	3	3290	1160	99000	1950	54.5	80	2.5
Epsilon	M110Z79	ГКМУ	9	3	3230	1000	99000	1920	24.5	80	2.5
Epsilon	M110Z96	ГКМУ	7	3	3330	1510	97000	2010	24.5	80	2.5
Epsilon	M110Z87	ГКМУ	8	3	3100	1110	94000	2160	24.5	80	2.5
Epsilon	M120Z82	ГКМУ	8	3	3540	1270	107000	2050	26	80	2.5
Epsilon	M120Z79	ГКМУ	9	3	3480	1080	109000	2020	26	80	2.5
Epsilon	M120Z96	ГКМУ	7	3	3580	1510	105000	2110	26	80	2.5
Epsilon	M120Z87	ГКМУ	8	3	3360	1200	101000	2260	26	80	2.5
Epsilon	M130Z82	ГКМУ	8	3	4020	1460	121000	2060	26	80	2.5
Epsilon	M130Z79	ГКМУ	9	3	3950	1210	123000	2030	26	80	2.5
Epsilon	M130Z96	ГКМУ	7	3	4070	1720	119000	2120	26	80	2.5
Epsilon	M130Z87	ГКМУ	8	3	3860	1400	116000	2270	26	80	2.5
Epsilon	Q150Z82	ККМУ	8	3	4720	1580	142000	2350	26	90	2.7
Epsilon	Q150Z79	ККМУ	9	3	4660	1470	145000	2310	23.5	90	2.7
Epsilon	Q150Z96	ККМУ	7	3	4800	2040	140000	2410	23.5	90	2.7
Epsilon	Q150Z88	ККМУ	8	3	4480	1620	134000	2590	23.5	90	2.7
Epsilon	Q170Z82	ККМУ	8	3	5310	1920	160000	2410	23.5	90	2.7
Epsilon	Q170Z79	ККМУ	9	3	5250	1670	163000	2370	26	90	2.7
Epsilon	Q170Z96	ККМУ	7	3	5060	2300	158000	2470	26	90	2.7
Epsilon	Q170Z88	ККМУ	8	3	5800	1860	153000	2650	26	90	2.7
Epsilon	Q180Z82	ККМУ	8	3	6020	2010	181000	2420	26	90	2.7
Epsilon	Q180Z79	ККМУ	9	3	5980	1810	185000	2380	26	90	2.7
Epsilon	Q180Z96	ККМУ	7	3	6100	2620	180000	2480	26	90	2.7
Epsilon	Q180Z88	ККМУ	8	3	5800	2140	174000	2660	26	90	2.7
Effer	35 2S	КМУ	6.33	3.51	825	570	28400	500	20.5	12	3.12
Effer	35 3S	КМУ	7.82	3.51	2535	315	27830	535	20.5	12	3.12
Effer	65 1S	КМУ	5.38	2.43	2535	1190	62200	790	29.5	20	4.623
Effer	65 2S	КМУ	7.15	2.43	5455	835	603300	870	29.5	20	4.623
Effer	65 3S	КМУ	8.94	2.43	2375	600	577300	945	29.5	20	4.623
Effer	65 4S	КМУ	10.7	2.43	2285	445	563100	1010	29.5	20	4.623
Effer	80 1S	КМУ	5.56	2.55	2835	1380	733800	915	33	20	4.857
Effer	80 2S	КМУ	7.35	2.55	2725	960	703900	995	33	20	4.857
Effer	80 3S	КМУ	9.14	2.55	2645	700	682800	1070	33	20	4.857
Effer	80 4S	КМУ	10.93	2.55	2545	520	658300	1135	33	20	4.857
Effer	100 1S	КМУ	5.44	2.43	3510	1750	898500	1080	34	25	4.913
Effer	100 2S	КМУ	7.21	2.43	3360	720	869100	1165	34	25	4.913
Effer	100 3S	КМУ	8.98	2.43	3410	935	845100	1245	34	25	4.913
Effer	100 4S	КМУ	10.77	2.43	3360	720	828400	1315	34	25	4.913
Effer	130 1S	КМУ	6.38	2.75	4100	1850	119480	1440	32	70	5.955
Effer	130 2S	КМУ	8.33	2.75	4025	1365	113600	1580	32	70	5.955
Effer	130 3S	КМУ	10.4	2.75	3905	995	110160	1710	32	70	5.955
Effer	130 4S	КМУ	12.52	2.75	3765	730	106340	1835	32	70	5.955
Effer	130 5S	КМУ	14.75	2.75	2320	515	102360	1950	32	70	5.955
Effer	135 1S	КМУ	6.47	2.97	4100	1400	119780	1510	32	70	5.955
Effer	135 2S	КМУ	8.43	2.97	3865	1360	116100	1655	32	70	5.955
Effer	135 3S	КМУ	10.5	2.97	3665	950	110210	1785	32	70	5.955
Effer	135 4S	КМУ	12.63	2.97	3605	715	108300	1910	32	70	5.955
Effer	135 5S	КМУ	14.85	2.97	3505	540	105650	2020	32	70	5.955
Effer	135 6S	КМУ	16.82	2.97	3355	360	101140	2105	32	70	5.955



Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
Effer	145 1S	КМУ	6.47	2.97	4300	1600	129050	1520	35	70	5.955
Effer	145 2S	КМУ	8.43	2.97	4165	1470	125070	1665	35	70	5.955
Effer	145 3S	КМУ	10.5	2.97	3995	1045	120020	1795	35	70	5.955
Effer	145 4S	КМУ	12.63	2.97	3895	780	116640	1920	35	70	5.955
Effer	145 5S	КМУ	14.85	2.97	3825	610	115070	2030	35	70	5.955
Effer	145 6S	КМУ	16.82	2.97	3675	420	110650	2115	35	70	5.955
Effer	150 1S	КМУ	6.29	2.73	5100	1700	141000	1610	33.5	70	5.96
Effer	150 2S	КМУ	8.22	2.73	4890	1680	136000	1750	33.5	70	5.96
Effer	150 3S	КМУ	10.3	2.73	4780	1250	133200	1885	33.5	70	5.96
Effer	150 4S	КМУ	12.43	2.73	4580	925	127700	2005	33.5	70	5.96
Effer	150 5S	КМУ	14.65	2.73	4500	680	125500	2115	33.5	70	5.96
Effer	165 1S	КМУ	6.39	2.81	5150	1750	146300	1680	33.5	70	5.96
Effer	165 2S	КМУ	8.32	2.81	4970	1735	14200	1820	33.5	70	5.96
Effer	165 3S	КМУ	10.4	2.81	4850	1295	138800	1950	33.5	70	5.96
Effer	165 4S	КМУ	12.53	2.81	4700	965	134600	2075	33.5	70	5.96
Effer	165 5S	КМУ	14.75	2.81	4580	710	131500	2185	33.5	70	5.96
Effer	165 6S	КМУ	16.72	2.81	4480	550	128600	2270	33.5	70	5.96
Effer	175 1S	КМУ	6.39	2.81	5400	1950	154200	1715	35	70	5.98
Effer	175 2S	КМУ	8.32	2.81	5240	1835	149700	1855	35	70	5.98
Effer	175 3S	КМУ	10.4	2.81	5130	1380	146900	1985	35	70	5.98
Effer	175 4S	КМУ	12.53	2.81	5000	1255	142900	2110	35	70	5.98
Effer	175 5S	КМУ	14.75	2.81	4850	770	139000	2220	35	70	5.98
Effer	175 6S	КМУ	16.72	2.81	4740	600	136200	2305	35	70	5.98
Effer	215 2S	КМУ	8.16	4.37	4680	2410	205000	2500	35	60	6.4
Effer	215 3S	КМУ	10.35	4.37	4680	1905	201000	2645	35	60	6.4
Effer	215 4S	КМУ	12.52	4.46	4500	1445	197000	2785	35	60	6.4
Effer	215 5S	КМУ	14.71	4.46	4320	1110	192000	2915	35	60	6.4
Effer	215 6S	КМУ	16.91	4.46	4170	865	189000	3030	35	60	6.4
Effer	220 2S	КМУ	8.6	2.59	7320	2300	195000	2560	31.5	70	5.7
Effer	220 3S	КМУ	10.78	2.59	6950	2080	185000	2720	31.5	70	5.7
Effer	220 4S	КМУ	12.96	2.59	6710	1225	179000	2855	31.5	70	5.7
Effer	220 5S	КМУ	15.13	2.59	6400	1085	171000	3000	31.5	70	5.7
Effer	220 6S	КМУ	17.31	2.59	6350	710	171000	3130	31.5	70	5.7
Effer	225 2S	КМУ	8.18	2.95	6875	2320	217000	2835	32	80	6.59
Effer	225 3S	КМУ	10.35	2.95	6875	1800	213000	2985	32	80	6.59
Effer	225 4S	КМУ	12.52	2.95	6875	1480	206300	3150	32	80	6.59
Effer	225 5S	КМУ	14.81	2.95	6715	1105	201700	3305	32	80	6.59
Effer	225 6S	КМУ	17.11	2.95	6585	845	198000	3445	32	80	6.59
Effer	250 2S	КМУ	8.6	2.59	8140	2615	221000	2560	34.5	70	5.7
Effer	250 3S	КМУ	10.78	2.59	7730	1900	211000	2720	34.5	70	5.7
Effer	250 4S	КМУ	12.96	2.59	7630	1455	206000	2855	34.5	70	5.7
Effer	250 5S	КМУ	15.13	2.59	7500	1100	198000	3000	34.5	70	5.7
Effer	250 6S	КМУ	17.31	2.59	7360	845	198000	3130	34.5	70	5.7
Effer	255 2S	КМУ	8.18	2.95	7525	2555	233800	2835	34	80	5.654
Effer	255 3S	КМУ	10.35	2.95	7525	2000	230400	2985	34	80	5.654
Effer	255 4S	КМУ	12.52	2.95	7525	1630	225600	3150	34	80	5.654
Effer	255 5S	КМУ	14.81	2.95	7300	1250	218800	3305	34	80	5.654
Effer	255 6S	КМУ	17.11	2.95	7165	950	215500	3445	34	80	5.654
Effer	265 2S	КМУ	8.22	2.95	8000	2900	243000	2835	35	80	6.59
Effer	265 3S	КМУ	10.35	2.95	8000	2300	239000	2985	35	80	6.59
Effer	265 4S	КМУ	12.52	2.95	7815	1705	234000	3150	35	80	6.59
Effer	265 5S	КМУ	14.8	2.95	7600	1310	228000	3330	35	80	6.59

# Приложения

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
Effer	265 6S	КМУ	17.1	2.95	7475	1010	224000	3445	35	80	6.59
Effer	305 2S	КМУ	8.22	2.7	9355	2940	243000	3118.5	35	80	6.59
Effer	305 3S	КМУ	10.35	2.7	9355	2300	239000	3283.5	35	80	6.59
Effer	305 4S	КМУ	12.52	2.7	9355	1900	234000	3465	35	80	6.59
Effer	305 5S	КМУ	14.8	2.7	9240	1540	228000	3663	35	80	6.59
Effer	305 6S	КМУ	17.1	2.7	9075	1390	224000	3789.5	35	80	6.59
Effer	315 3S	КМУ	10.58	2.7	9980	2460	284000	3265	34	100	6.59
Effer	315 4S	КМУ	12.84	2.7	9980	2025	277000	3445	34	100	6.59
Effer	315 5S	КМУ	14.62	2.7	9850	1447	273000	3580	34	100	6.59
Effer	315 6S	КМУ	16.94	2.7	9715	1300	270000	3705	34	100	6.59
Effer	315 8S	КМУ	21.42	2.7	9400	790	262000	3945	34	100	6.59
Effer	350 2S	КМУ	8.03	2.27	13200	3920	319800	3410	31	100	6.4
Effer	350 3S	КМУ	10.19	2.27	13200	3140	316600	3615	31	100	6.4
Effer	350 4S	КМУ	12.46	2.27	12800	2380	309100	3810	31	100	6.4
Effer	350 5S	КМУ	14.83	2.27	12650	1790	308400	4005	31	100	6.4
Effer	365 2S	КМУ	8.05	2.36	12800	3920	319800	3640	31	100	6.4
Effer	365 3S	КМУ	10.22	2.36	12800	3140	316600	3850	31	100	6.4
Effer	365 4S	КМУ	12.48	2.36	12400	2380	309100	4045	31	100	6.4
Effer	365 6S	КМУ	17.08	2.36	11900	1450	298000	4385	31	100	6.4
Effer	365 8S	КМУ	21.77	2.36	11600	830	293100	4685	31	100	6.4
Effer	365 3S	КМУ	10.47	2.88	10960	2970	327000	3775	35	100	7.4
Effer	365 4S	КМУ	12.48	2.88	10960	5470	322000	3960	35	100	7.4
Effer	365 5S	КМУ	14.73	2.88	10740	1950	316000	4120	35	100	7.4
Effer	365 6S	КМУ	16.99	2.88	10630	1510	313000	4270	35	100	7.4
Effer	365 7S	КМУ	19.23	2.88	10450	1150	308000	4405	35	100	7.4
Effer	365 8S	КМУ	21.51	2.88	10300	930	303000	4525	35	100	7.4
Effer	385 2S	КМУ	8.05	2.36	13700	4280	348500	3675	33.5	100	6.4
Effer	385 3S	КМУ	10.22	2.36	13700	3400	341000	3885	33.5	100	6.4
Effer	385 4S	КМУ	12.48	2.36	13300	2600	333800	4080	33.5	100	6.4
Effer	385 6S	КМУ	17.08	2.36	12900	1600	327000	4420	33.5	100	6.4
Effer	385 8S	КМУ	21.77	2.36	12600	910	316800	4720	33.5	100	6.4
Effer	395 3S	КМУ	10.47	2.88	11600	3150	345000	3775	35.5	100	7.4
Effer	395 4S	КМУ	12.48	2.88	11600	2630	340000	3960	35.5	100	7.4
Effer	395 5S	КМУ	14.73	2.88	11400	2070	335000	4120	35.5	100	7.4
Effer	395 6S	КМУ	16.99	2.88	11260	1630	331000	4270	35.5	100	7.4
Effer	395 7S	КМУ	19.23	2.88	11070	1270	326000	4405	35.5	100	7.4
Effer	395 8S	КМУ	21.51	2.88	10950	1060	323000	4550	35.5	100	7.4
Effer	455 4S	КМУ	12.48	3.01	12980	3060	397000	4895	34	100	7.83
Effer	455 5S	КМУ	14.72	3.01	12750	2380	391000	5085	34	100	7.83
Effer	455 6S	КМУ	17	3.01	12600	1910	387000	5295	34	100	7.83
Effer	455 7S	КМУ	19.32	3.01	12360	1455	380000	5495	34	100	7.83
Effer	455 8S	КМУ	21.74	3.01	12100	1090	373000	5885	34	100	7.83
Effer	505 4S	КМУ	12.48	3.01	13980	3330	428000	4895	36	100	7.83
Effer	505 5S	КМУ	14.72	3.01	13760	2630	422000	5085	36	100	7.83
Effer	505 6S	КМУ	17	3.01	13600	2120	418000	5295	36	100	7.83
Effer	505 7S	КМУ	19.32	3.01	13400	1640	412000	5495	36	100	7.83
Effer	505 8S	КМУ	21.74	3.01	13130	1270	404000	5885	36	100	7.83
Effer	525 4S	КМУ	12.48	3.01	15000	3600	460000	4895	38	100	7.83
Effer	525 5S	КМУ	14.72	3.01	14750	2855	453000	5085	38	100	7.83
Effer	525 6S	КМУ	17	3.01	14515	2305	446000	5295	38	100	7.83
Effer	525 7S	КМУ	19.32	3.01	14300	1800	440000	5495	38	100	7.83

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
Effer	525 8S	КМУ	21.74	3.01	14000	1410	433000	5885	38	100	7.83
Effer	655 2S	КМУ	8.48	2.92	18100	6140	577400	5200	37.5	100	8.71
Effer	655 3S	КМУ	10.55	2.92	18100	4860	560800	5495	37.5	100	8.71
Effer	655 4S	КМУ	12.74	2.92	18100	3990	551500	5800	37.5	100	8.71
Effer	655 5S	КМУ	15.15	2.92	18100	3370	545600	6075	37.5	100	8.71
Effer	655 6S	КМУ	17.37	2.92	17800	2740	539600	6360	37.5	100	8.71
Effer	655 8S	КМУ	20.96	2.92	17300	1935	524500	6840	37.5	100	8.71
Effer	655 9S	КМУ	23.34	2.92	17000	1600	521600	7055	37.5	100	8.71
Effer	685 3S	КМУ	10.55	2.92	19000	5130	590700	5635	35	100	8.71
Effer	685 4S	КМУ	12.74	2.92	19000	4220	579000	5940	35	100	8.71
Effer	685 5S	КМУ	15.15	2.92	19000	3570	572600	6215	35	100	8.71
Effer	685 6S	КМУ	17.37	2.92	18800	2930	567700	6500	35	100	8.71
Effer	685 8S	КМУ	20.86	2.92	18380	2070	552900	6980	35	100	8.71
Effer	685 9S	КМУ	23.24	2.92	17330	1730	550700	7195	35	100	8.71
Effer	685 2S	КМУ	8.12	2.92	23200	5445	755000	6535	37	110	8.71
Effer	685 4S	КМУ	11.93	2.92	23200	4590	716000	7210	37	110	8.71
Effer	685 6S	КМУ	16.26	2.92	23200	3980	703000	7820	37	110	8.71
Effer	685 7S	КМУ	18.51	2.92	22900	3270	690000	8085	37	110	8.71
Effer	685 8S	КМУ	20.83	2.92	22810	2690	692000	8370	37	110	8.71
Effer	685 9S	КМУ	23.19	2.92	22400	2000	681000	8600	37	110	8.71
Effer	955 2S	КМУ	8.12	2.92	24350	5900	791000	6565	38.5	130	8.71
Effer	955 4S	КМУ	11.93	2.92	24350	5010	749000	7210	38.5	130	8.71
Effer	955 6S	КМУ	16.26	2.92	24350	4290	734000	7820	38.5	130	8.71
Effer	955 7S	КМУ	18.51	2.92	24055	3450	728000	8085	38.5	130	8.71
Effer	955 8S	КМУ	20.83	2.92	23840	2820	723000	8370	38.5	130	8.71
Effer	955 9S	КМУ	23.19	2.92	23620	2310	718000	8600	38.5	130	8.71
Effer	1155 4S	КМУ	11.63	4.33	19800	6190	885600	9040	35.5	200	9.6
Effer	1155 6S	КМУ	15.23	4.33	19800	5360	841400	9760	35.5	200	9.6
Effer	1155 7S	КМУ	17.45	4.33	19340	4400	836600	10105	35.5	200	9.6
Effer	1155 8S	КМУ	19.76	4.33	18700	3655	833000	10400	35.5	200	9.6
Effer	1155 9S	КМУ	22.19	4.33	18110	2975	826100	10710	35.5	200	9.6
Effer	1255 4S	КМУ	11.1	4.14	21600	8280	884000	9240	35.5	200	9.6
Effer	1255 6S	КМУ	15.23	4.14	20300	5480	863000	10035	35.5	200	9.6
Effer	1255 7S	КМУ	17.45	4.14	19800	4530	860000	10380	35.5	200	9.6
Effer	1255 8S	КМУ	19.8	4.14	19150	3780	863000	10675	35.5	200	9.6
Effer	1255 9S	КМУ	22.19	4.14	18600	3060	847000	10985	35.5	200	10.102
Effer	1355 4S	КМУ	11.63	4.33	21820	6900	961400	9750	35.5	200	10.102
Effer	1355 6S	КМУ	15.23	4.33	21820	5980	928300	10550	35.5	200	10.102
Effer	1355 7S	КМУ	17.45	4.33	21300	4940	921100	10890	35.5	200	10.102
Effer	1355 8S	КМУ	19.76	4.33	20350	4080	910700	11185	35.5	200	10.102
Effer	1355 9S	КМУ	22.19	4.33	20070	3350	908800	11500	35.5	200	10.102
Effer	1405 4S	КМУ	11.1	4.33	22300	7050	981000	9875	37	200	10.102
Effer	1405 6S	КМУ	15.23	4.33	22300	6100	948000	10595	37	200	10.102
Effer	1405 7S	КМУ	17.45	4.33	21600	5030	934000	10935	37	200	10.102
Effer	1405 8S	КМУ	19.8	4.33	20700	4180	933000	11230	37	200	10.102
Effer	1405 9S	КМУ	22.19	4.33	20400	3420	930000	11545	37	200	10.102
Effer	1750 2S	КМУ	7.63	4.5	26900	10320	1280000	10900	35.5	200	10.1
Effer	1750 4S	КМУ	11.31	4.5	26900	8780	1235000	12050	35.5	200	10.1
Effer	1750 6S	КМУ	15.4	4.5	26900	7610	1190000	13000	35.5	200	10.1
Effer	1750 8S	КМУ	19.88	4.5	25500	5380	1180000	13800	35.5	200	10.1
Effer	1750 L8S	КМУ	24.21	4.5	21650	3660	1150000	14300	35.5	200	10.1
Effer	1855 4S	КМУ	11.31	4.5	27670	9050	1270000	12120	37.5	200	10.1

# Приложения

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
Effer	1855 6S	КМУ	15.4	4.5	27670	7850	1220000	13070	37.5	200	10.1
Effer	1855 8S	КМУ	19.88	4.5	26780	5500	2110000	13870	37.5	200	10.1
Effer	1855 9S	КМУ	22.18	4.5	24950	4400	1190000	14340	37.5	200	10.1
Effer	1855 L8S	КМУ	24.21	4.5	21850	3700	1150000	14370	37.5	200	10.1
Effer	1855 L9S	КМУ	26.64	4.5	20730	2930	1130000	14870	37.5	200	10.1
Effer	2055 4S	КМУ	11.06	4.24	32300	12700	1360000	12880	35	200	10.1
Effer	2055 6S	КМУ	15.11	4.24	30500	8700	1330000	13675	35	200	10.1
Effer	2055 8S	КМУ	19.56	4.24	35000	6100	1315000	14435	35	200	10.1
Effer	2055 9S	КМУ	21.95	4.24	27000	9580	1280000	14975	35	200	10.1
Effer	2655 3S	КМУ	16.08	4.58	27300	7830	1947000	15000	37	180	12.36
Effer	2655 4S	КМУ	19.01	4.58	27300	6475	1904000	15100	37	180	12.36
Effer	2655 6S	КМУ	24.87	4.58	27300	5450	1828000	15200	37	180	12.36
Effer	2655 7S	КМУ	27.83	4.58	27300	4740	1796000	15300	37	180	12.36
Effer	2755 3S	КМУ	11.22	3.04	49000	20700	1820000	18000	37	180	14
Effer	3000 3S	КМУ	13.6	3.2	55000	19300	2000000	20000	37	180	16
Binderberger	FK 5300	ГКМУ	5.3	4	590	570	10000	620	20	40	-
Binderberger	FK 6300	ГКМУ	6.3	4	880	670	10000	630	20	40	-
Binderberger	FK 6700	ГКМУ	6.7	4	915	705	10000	640	20	40	-
Binderberger	FK 7000 L	ГКМУ	7	3	1920	820	20000	1180	18	80	-
Binderberger	FK 7000 S	ГКМУ	7	3	2200	940	20000	1220	18	80	-
Binderberger	Penz 7500 L	ГКМУ	7.5	4	1070	570	12000	850	19	50	-
Binderberger	Penz 7500 S	ГКМУ	7.5	4	1260	670	12000	900	19	50	-
Binderberger	Penz 8000 L	ГКМУ	8	3	2335	900	20000	1300	19	80	-
Binderberger	Penz 8000 S	ГКМУ	8	3	2680	1000	20000	1350	19	80	-
Binderberger	Penz 9500 LL	ГКМУ	9.5	3	2215	630	20000	1350	19	80	-
Binderberger	Penz 9500 SL	ГКМУ	9.5	3	2545	700	20000	1400	19	80	-
Binderberger	Penz 4Z	ГКМУ	7	3	1260	505	8700	680	22	40	-
Binderberger	Penz 6Z	ГКМУ	8	4	1300	535	14300	990	21	60	-
Binderberger	Penz 9Z	ГКМУ	9	4	2015	710	21200	1745	27	100	-
Amco Veba	103	КМУ	5.45	6.75	445	330	26000	-1	x	x	2.8
Amco Veba	105	КМУ	4.39	7.01	980	545	43000	-1	x	x	3.45
Amco Veba	108	КМУ	4.82	7.61	1560	880	76000	-1	x	x	3.105
Amco Veba	111	КМУ	5.5	9.16	1740	900	96000	-1	x	x	3.105
Amco Veba	115	КМУ	5.53	9.18	2510	1390	139000	-1	x	x	4.185
Amco Veba	120	КМУ	5.58	9.23	3430	1930	191000	-1	x	x	5.175
Amco Veba	123	КМУ	5.58	9.23	3680	2090	205000	-1	x	x	4.185
Amco Veba	807N	КМУ	12.2	5.5	1280	350	3500000	-1	x	x	3.33
Amco Veba	907N	КМУ	12.2	5.5	1280	350	3500000	-1	x	x	3.33
Amco Veba	808N	КМУ	13.7	5.5	1420	320	3200000	-1	x	x	3.105
Amco Veba	908N	КМУ	13.7	5.5	1420	320	3200000	-1	x	x	3.105
Amco Veba	810	КМУ	13.75	5.94	1590	435	4350000	-1	x	x	3.105
Amco Veba	911	КМУ	13.75	5.94	1660	475	4750000	-1	x	x	3.105
Amco Veba	812	КМУ	15.7	6.14	1910	350	3500000	-1	x	x	3.69
Amco Veba	815	КМУ	15.7	6.14	2240	430	4300000	-1	x	x	4.185
Amco Veba	817	КМУ	17.6	6.23	2520	435	4350000	-1	x	x	3.69
Amco Veba	820	КМУ	19.7	6.23	3150	450	196000	-1	x	x	3.69
Amco Veba	823	КМУ	19.7	6.23	3320	505	207000	-1	x	x	3.69
Amco Veba	924	КМУ	21.85	6.3	3400	380	215000	-1	x	x	3.96
Amco Veba	825	КМУ	19.2	6.17	4000	565	251000	-1	x	x	4.4
Amco Veba	828	КМУ	19.2	6.17	4180	630	259000	-1	x	x	4.185
Amco Veba	929	КМУ	25.74	8.2	3210	320	280000	-1	x	x	4.4

Производитель	Модель	Тип манипулятора	Вылет		Грузоподъемность, кг		Грузовой момент, Н·м	Масса манипулятора, кг	Давление ГС, МПа	Подача ГС, л/мин	База выносных опор, м
			24	5.95	5250	420					
Amco Veba	933	КМУ	24	5.95	5250	420	313000	-1	х	х	4.2
Amco Veba	936	КМУ	24	5.95	5450	470	324000	-1	х	х	4.2
Amco Veba	946	КМУ	26	7.95	5450	570	434000	-1	х	х	4.4
Amco Veba	946 BASIC	КМУ	20.6	7.95	5450	1250	434000	-1	х	х	4.4

Легенда таблицы:

- - параметр отсутствует;
- х - нет данных;
- КМУ - кран-манипулятор;
- ГКМУ - грейферный ломовоз;
- СКМУ - стационарный кран-манипулятор;
- ЛКМУ - лесной манипулятор;
- ЭКМУ - манипулятор эвакуатора;
- ЧСКМУ - манипулятор машины для ликвидации чрезвычайных ситуаций;
- ТЗМ - транспортно-заряжающая машина;
- ВКМУ - подъемник-вышка;
- ЖКМУ - железнодорожная машина;
- ККМУ - ковшовый манипулятор;
- ТКМУ - манипулятор на тракторе.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### ПРОГРАММНЫЙ КОД ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ СЛУЧАЙНЫХ РЕАЛИЗАЦИЙ МИКРОНЕРОВНОСТИ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

```
//Параметры реализации
double dner_D=0.025;
double dner_alpha[8];
double dner_beta[8];
double dner_a[8];
double dner_dlit=120;
int dner_N;
double vm_h=0.001;

//Функция спектральной плотности
double Splot(double w, double v)
{
    int ii;
    double S, Summ;

    Summ=0;
    for(ii=0; ii<8; ii++)
    {
        if(          v==0          ||          dner_alpha[ii]==0          ||
(4*dner_alpha[ii]*dner_alpha[ii]*v*v)==0 )
        {
            Summ+=0;
        }
        else
        {
            Summ+=(dner_a[ii]/dner_alpha[ii]/v)+
(exp((-w-dner_beta[ii]*v)*(w+dner_beta[ii]*v)/
(4*dner_alpha[ii]*dner_alpha[ii]*v*v)) +
exp((-w+dner_beta[ii]*v)*(w-dner_beta[ii]*v)/
(4*dner_alpha[ii]*dner_alpha[ii]*v*v)));
        }
    }
    S = (dner_D/3.55) * Summ;
    return S;
}

//Получение производной по точкам
void PutDiff(double* X)
{
```

```

int i;
double* dPut = new double[dner_N];
for(i=0;i<dner_N-1;i++)
{
    dPut[i]=0;
}
for(i=0;i<dner_N-3;i++)
{
    dPut[i]=(X[i+1]-X[i])/vm_h;
}
FILE* fdat;
fdat=fopen("PutOutputDiff.txt","wt");
for(i=0;i<dner_N-1;i++)
{
    fprintf(fdat,"%lf ", dPut[i]);
    fprintf(fdat,"\n");
}
fclose(fdat);
}

//Построение реализации (Результат - в метрах и м/с)
void MIIT_Realisation(double V)
{
    int i,j,k;
    int Shag;
    double ww;
    double fmax;
    double dt;
    double df;
    int M;
    double faza;
    double Summ, Summ1;
    double Med, Med1;
    double A;
    fmax=100/2/3.1459;
    dt=0.001;
    dner_N=int(dner_dlit/dt);
    df=1/(dner_N*dt);
    if(dt==0)
    {
        df=1;
    }
    M=int(fmax/df);
    if(df==0)
    {

```

```

        M=1000;
    }
    double* Put = new double[dner_N];
    double* dPut = new double[dner_N];
    srand( (unsigned)time( NULL ) );
    for(i=0; i<(dner_N-1); i++)
    {
        Summ=0;
        Summ1=0;
        for(j=0; j<(M-1); j++)
        {
            faza=2*3.1459*((double)rand()/RAND_MAX);
            A=sqrt(4*3.1459*df*Splot((df*2*3.1459*i), V));
            Summ = Summ + A * sin(2*3.1459*df*i*j*dt+faza);
            Summ1 = Summ1 + 2 * 3.1459 * df * j * A *
cos(2*3.1459*df*i*j*dt+faza);
        }
        Put[i]=Summ;
        dPut[i]=Summ1;
        printf("\n%d", i);
    }
    Summ=0;
    Summ1=0;
    for(i=0; i<(dner_N-1); i++)
    {
        Summ+=Put[i];
    }
    Med=Summ/dner_N;
    for(i=0; i<(dner_N-1); i++)
    {
        Summ1+=dPut[i];
    }
    Med1=Summ1/dner_N;

    for(i=0; i<(dner_N-1); i++)
    {
        Put[i]=(Put[i]-Med)/1000;
    }
    for(i=0; i<(dner_N-1); i++)
    {
        dPut[i]=(dPut[i]-Med1)/1000;
    }
    FILE* fdat;
    fdat=fopen("PutOutput.txt","wt");
    for(i=0;i<dner_N-1;i++)

```



```
{
    fprintf(fdat, "%lf ", Put[i]);
    fprintf(fdat, "\n");
}
fclose(fdat);
fdat=fopen("PutOutputDiff.txt","wt");
for(i=0;i<dner_N-1;i++)
{
    fprintf(fdat, "%lf ", dPut[i]);
    fprintf(fdat, "\n");
}
fclose(fdat);
}
```

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
ВВЕДЕНИЕ .....	5
ГЛАВА 1. КОНСТРУКЦИИ СОВРЕМЕННЫХ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ МОБИЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН .....	15
1.1. Конструкции манипуляционных систем .....	15
1.2. Конструкции и работоспособность основных узлов манипуляционных систем мобильных транспортно- технологических машин .....	27
1.3. Сравнительный анализ конструкций и технических характеристик манипуляционных роботов и манипуляционных систем мобильных транспортно- технологических машин .....	37
ГЛАВА 2. УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ МОБИЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН .....	53
2.1. Общая устойчивость оснащенных манипуляционными системами мобильных транспортно-технологических машин .....	54
2.2. Нагруженность манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин .....	84
2.3. Изменение нагруженности подвески базового шасси после установки манипуляционной системы .....	89
2.4. Влияние микронеровности опорной поверхности базовой транспортно-технологической машины на нагруженность манипуляционной системы .....	95
2.5. Совместное движение звеньев манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины .....	104
2.6. Совместное движение манипуляционной системы и базовой машины .....	108
2.7. Рабочие процессы в гидроприводе манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины .....	109

---

ГЛАВА 3. ПРЕДПОСЫЛКИ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ МОБИЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН .....	119
3.1. Автоматизированная система обеспечения устойчивости на основе адаптивного управления выносными опорами мобильной транспортно-технологической машины .....	120
3.2. Основы разработки автоматической системы управления манипуляционной системой мобильной транспортно- технологической машины .....	124
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	129
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	137
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	151
Приложение 1. Основные технические характеристики манипуляционных систем мобильных транспортно- технологических машин .....	152
Приложение 2. Программный код для генерации реализаций микронеровности опорной поверхности .....	184

Научное издание

Игорь Александрович Лагерев  
Александр Валерьевич Лагерев

**СОВРЕМЕННАЯ ТЕОРИЯ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ  
МОБИЛЬНЫХ МНОГОЦЕЛЕВЫХ ТРАНСПОРТНО-  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И КОМПЛЕКСОВ.  
КОНСТРУКЦИИ И УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Темплан 2018 г.

---

Подписано в печать 16.05.18.      Формат 60x84 1/16.      Бумага офсетная.  
Офсетная печать.    Усл. печ.л. 11,12.    Уч.-изд.л. 11,12.    Тираж 500 экз.    Заказ 85.

---

РИО Брянского государственного университета  
241036, г. Брянск, ул. Бежицкая, д. 20, БГУ. Тел.: 8 (4832) 66-67-58

---

Отпечатано в типографии ИП Худовец Р.Г.  
242700, Брянская область, г. Жуковка, ул. Комарова, д. 15.