

Конструктивные особенности и расчеты манипуляторов для работы с габаритными грузами

А.Р. Бирман^{1а}, Б.М. Локштанов^{2б}, В.В. Орлов^{2с}, Т.А. Гусева^{2д}, В.А. Иванов^{3е}, С.А. Чжан^{3ф}

¹ Санкт–Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., 5, Санкт–Петербург, Россия

² Военная академия связи им. С.М. Буденного, Тихорецкий пр., 3, Санкт-Петербург, Россия

³ Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

^а birman1947@mail.ru, ^б blokshtanov@mail.ru, ^с artictvetal1987@gmail.com, ^д guse.tania2012@yandex.ru,

^е ivanovva55@mail.ru, ^ф schzan@rambler.ru

^а <https://orcid.org/0000-0002-1693-0515>, ^б <https://orcid.org/0000-0002-5390-1457>, ^с <https://orcid.org/0000-0002-1693-0515>,

^д <https://orcid.org/0000-0003-1059-8483>, ^е <https://orcid.org/0000-0003-0707-972X>, ^ф <https://orcid.org/0000-0001-8163-0730>

Статья поступила 05.09.2024, принята 25.09.2024

Манипуляторы применяют практически во всех отраслях промышленности — в строительстве, коммунальном хозяйстве, медицине, производстве радиоизделий, лесозаготовительном производстве и др. Манипуляторы отличают по трем классам в зависимости от грузоподъемности. В данной статье рассмотрен третий класс манипуляторов. Они предназначены для работы с крупногабаритными грузами, к которым относят бревна длиной 4–6 м и объемом 2–3 м³. Представлены различные по компоновке манипуляторы, широко используемые в лесной отрасли при заготовке древесины в трудных лесных условиях. Рассмотрены вопросы проектирования и расчета как отдельных частей манипулятора (колонны, стрелы, рукояти, гидроцилиндров), так и манипуляторов в целом. Приведены этапы проектирования и разработки компоновочно-кинематической схемы манипулятора и схемы его привязки к автомобилю, трактору, перегрузчику, а также определения очень важной точки «О» — пересечения оси шарнира стрелы с осью вращения поворотной колонны манипулятора. Составлены уравнения перемещения рабочего органа манипулятора. Так как в уравнение входят два неизвестных, введен коэффициент соотношения длины стрелы и рукояти, учитывающий опыт работы манипуляторов с бревнами. В статье рассмотрена конструкция (компоновка) нового перегрузчика с манипулятором длиной 18 м, снабженного харвестерной головкой тяжелого типа, имеющей грейферный захват с расширенной зоной, позволяющий захватывать и перемещать до 6 бревен длиной до 6 м. Таким образом, на конце манипулятора будет груз 3,2 т, а с учетом ветра, колебаний, инерции нагрузка увеличится до 4,5 т. Эти параметры включены в расчет устойчивости перегрузчика с манипулятором при его работе на терминале в пределах лесосеки. Приведенные расчеты манипуляторов позволяют создавать новые отечественные агрегаты с манипуляторами, которые придут на смену большому количеству изношенного импортного оборудования.

Ключевые слова: манипулятор; грузоподъемность; грейфер; захват; терминал; бревна; перегрузчик бревен; проектирование.

Design features and calculations of manipulators for working with large loads

A.R. Birman^{1а}, B.M. Lokshtanov^{2б}, V.V. Orlov^{3с}, T.A. Guseva^{4д}, V.A. Ivanov^{5е}, S.A. Zhang^{6ф}

¹ St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov; 5, Institutsky Per., St. Petersburg, Russia

² Military Academy of Communication named after S.M. Budenny; 3, Tikhoretsky Ave., St. Petersburg, Russia

³ Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

^а birman1947@mail.ru, ^б blokshtanov@mail.ru, ^с artictvetal1987@gmail.com, ^д guse.tania2012@yandex.ru,

^е ivanovva55@mail.ru, ^ф schzan@rambler.ru

^а <https://orcid.org/0000-0002-1693-0515>, ^б <https://orcid.org/0000-0002-5390-1457>, ^с <https://orcid.org/0000-0002-1693-0515>,

^д <https://orcid.org/0000-0003-1059-8483>, ^е <https://orcid.org/0000-0003-0707-972X>, ^ф <https://orcid.org/0000-0001-8163-0730>

Received 05.09.2024, accepted 25.09.2024

Manipulators are used in almost all industries: in construction, in public utilities, in medicine, in the production of radio products, in logging, etc. Manipulators are distinguished into three classes depending on their load capacity. The article discusses the third class of manipulators, since they are designed to work with large-sized cargo, which includes logs 4-6 meters long and 2-3 m³ in volume. Manipulators of various layouts are presented, widely used in the forestry industry when harvesting wood in difficult forest conditions. The issues of design and calculation of both individual parts of the manipulator: column, boom, handle, hydraulic cylinders, and manipulators as a whole are considered. The stages of design and development of the layout-kinematic diagram of the manipulator and the diagram of its connection to a car, tractor, loader and the determination of a very important point “O” — the intersection of the boom hinge axis with the axis of rotation of the rotary column of the manipulator are given. Equations for the movement of the manipulator

working body have been compiled. Since the equation includes two unknowns, a coefficient of the ratio between the length of the boom and the handle is introduced, taking into account the practical experience of working with manipulators with logs. The article examines the design (layout) of a new loader with a manipulator 18 meters long, equipped with a heavy-type harvester head, which has a clam-shell grip with an expanded area that allows one to grab and move up to six logs up to 6 meters long. Thus, at the end of the manipulator there will be a load of 3.2 tons, and taking into account wind, vibrations, and inertia, the load will increase to 4.5 tons. These parameters are included in the calculation of the stability of the loader with a manipulator when it operates at the terminal within the cutting area. The above calculations of manipulators make it possible to create new domestic units with manipulators, which will replace a large amount of worn-out imported equipment.

Keywords: manipulator; lifting capacity; grab; gripper; terminal; logs; log loader; design.

Введение. Манипуляторы, точнее, краны-манипуляторы очень тесно связаны с кранами с тросо-блочной системой, первые из которых назывались «фрутьерами». Основной областью применения рутьеров являлись погрузка и разгрузка военных грузов (пушек, боеприпасов и т. д.), а также строительство оборонительных сооружений.

Манипулятор сочетает как функцию грузового транспортера, так и функцию крана, установленного на автомобиле или тракторе. Это позволяет без применения дополнительных механизмов погрузить тяжелые предметы на автомобиль или тележку трактора, доставить груз к нужному месту и там его разгрузить.

В Швеции в 1947 г. впервые начато серийное производство гидроманипуляторов, а в 1961 г. манипуляторы стали производить и в Японии, чьи конструкции были более совершенны и нашли широкое распространение в мире. Основные принципы японской конструкции дошли до современных манипуляторов [1].

Главное преимущество манипуляторов — маневренность, возможность работы в тесных городских условиях, в лесу, в горах, туннелях и других тяжелых условиях [2].

Возможность устанавливать на манипуляторах различные технологические устройства — отбойные молотки, фрезы, отвалы, головки для валки деревьев и срезания сучьев и многое другое значительно расширили область их применения [3]. Установка на манипуляторах современной техники для наблюдения и управления позволяет дистанционно управлять работой самого манипулятора и навесного оборудования из кабины автомобиля, трактора, судна и т. п. [4].

Для отработки приемов работы манипуляторов с различными грузами, в том числе бревнами, создано специализированное программное обеспечение, включающее тренажеры-симуляторы. Работа на тренажерах позволяет выпускать высококвалифицированных операторов, управляющих манипуляторами, работающих в тяжелых лесных условиях, в том числе управлять дистанционно благодаря спутниковому оборудованию (сети 5G).

Кроме отмеченных положительных качеств, у манипуляторов есть и отрицательные. Например, стрела, вылет манипулятора и его грузоподъемность ограничены (что связано с машиной, на которой его устанавливают). Кроме того, манипуляторы не рассчитаны на боковые нагрузки, которые приводят к поломке стрелы. Манипуляторы имеют довольно-таки большой вес, что снижает грузоподъемность

автомобиля и другой техники, на которой они установлены.

В СССР крано-манипуляторные установки (КМУ) стали серийно выпускать в 50-х гг. XX в., точнее, с 1955 г., на Львовском заводе автопогрузчиков (ЛЗП). Грузоподъемность установки модели 4010 составила 500 кг, и монтировалась она на автомобиле ГАЗ-51 между кабиной и сдвинутой назад грузовой платформой. Манипуляторы с ковшовым грейфером устанавливали на самосвалы для загрузки в кузов грузов, в основном сыпучих.

В настоящее время миллионы автомобилей и тракторов в России оснащены гидроманипуляторами (рис. 1), но в основном иностранного производства, закупленными в последние 25 лет. Данная статья посвящена рассмотрению конструкции манипуляторов и основам расчета их параметров для разработки новых конструкций.

Манипуляторы бывают разной грузоподъемности, которая зависит от самой машины (автомобиля, трактора, судна) и вылета стрелы. По грузоподъемности манипуляторы делят на классы:

- 1 класс — легкие, грузоподъемностью от 3 до 5 т;
- 2 класс — средние, грузоподъемностью от 5 до 10 т;
- 3 класс — тяжелые, грузоподъемностью свыше 10 т.

Для работы с таким грузом, как бревно, используют манипуляторы среднего и тяжелого класса. Так как бревно относится к габаритным грузам, их длина составляет 4–6 м, то и вылет манипулятора должен быть не менее 6 м. Кроме того, конструкция манипуляторов должна учитывать вариант «сложения», чтобы части манипулятора в сложенном виде не выходили за пределы требуемых размеров габарита как по высоте, так и по длине всего устройства (агрегата с манипулятором).

Обычно работа манипулятора, расположенного на автомобиле или тракторе, связана с моментом «опрокидывания», поэтому агрегаты должны быть снабжены ауригерами.

С увеличением вылета манипулятора его грузоподъемность снижается. Это наглядно показано на рис. 1 (*верхняя часть*). Пример автомобиля с телескопическим манипулятором второго класса с максимальным вылетом 7,5 м и грузоподъемностью при этом вылете 2 т показан на рис. 1 (*нижняя часть*).

Следует учесть, что указанная грузоподъемность манипулятора, например, 3 т, означает грузоподъемность при минимальном вылете стрелы (т. е. «под собой»). При максимальном вылете стрелы грузоподъемность будет минимальной, т. е. значительно ниже 3 т, и зависит уже от конструкции

самой стрелы манипулятора, рукояти, колонны и других частей (рис. 1).

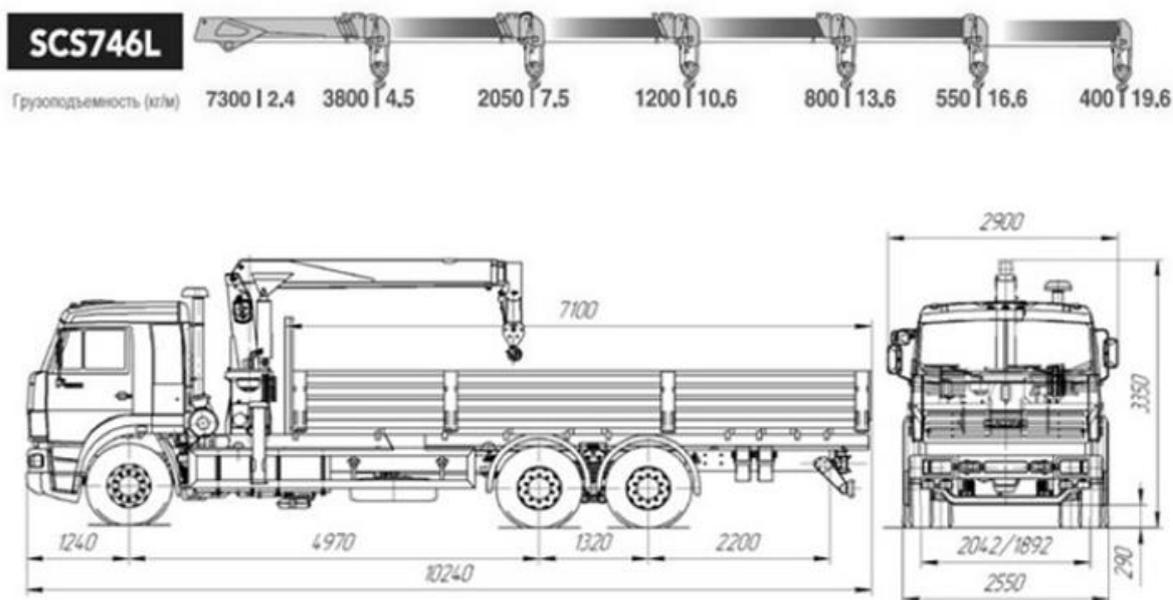


Рис. 1. Телескопический манипулятор на автомобиле

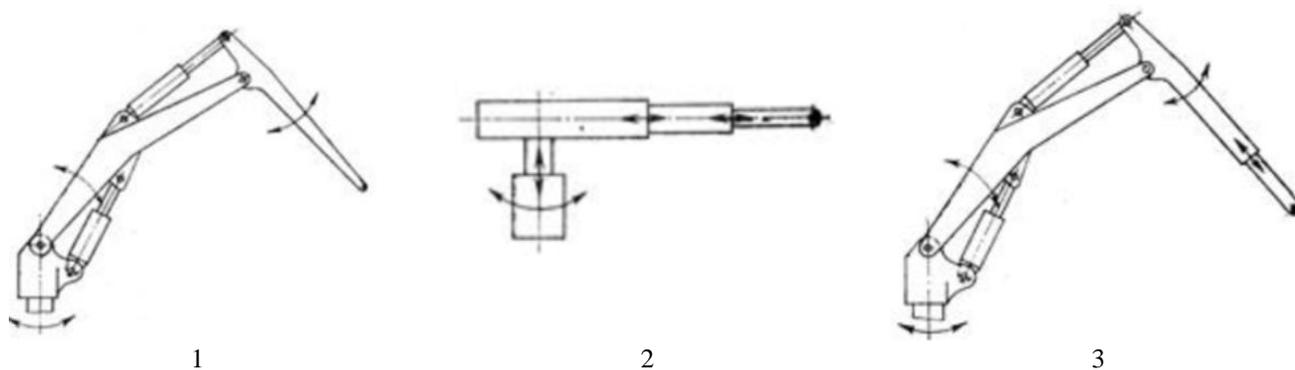


Рис. 2. Компоновочно-кинематические схемы манипуляторов: 1 — шарнирно-сочлененные; 2 — телескопические; 3 — совмещенные (колонна и стрела шарнирно-сочлененные, рукоять телескопическая)

Самое легкое навесное оборудование на манипуляторе — это крюк, он требует участия человека для зацепления груза к крюку. Средней тяжести навесное оборудование для манипулятора — двухчелюстной грейфер, а тяжелыми считаются ковши, харвестерные головки (для обработки деревьев), фрезы, измельчители и т. д., их вес составляет 0,5–1,5 т. В некоторых случаях, кроме манипулятора, на автомобилях или перегрузчиках устанавливают аутригеры для повышения устойчивости самого механизма или машины (трактора) [5; 6].

Применение манипуляторов для перемещения подвешенного рабочего органа для работы с лесоматериалами позволило механизировать очень большой спектр работ с лесными грузами [7]. В лесной отрасли применяют манипуляторы шарнирно-сочлененные (рис. 2.1), телескопические (рис. 2.2) и

комбинированные (рис. 2.3). Наиболее просты по конструкции и надежности шарнирно-сочлененные манипуляторы, но по компоновке телескопические лучше, поэтому соединение в конструкции шарнирно-сочлененных и телескопических устройств (например, рукояти) дает большое преимущество. Удобство работы с манипулятором зависит от компоновки манипулятора и места его установки. Манипулятор может быть установлен в отдельном месте машины, а может — на одной поворотной платформе, вместе с кабиной оператора, как у харвестера (рис. 3.1), или на поворотной раме вместе с кабиной и двигателем, по типу экскаватора, как показано на (рис. 3.2). Манипулятор можно разместить отдельно, но вместе с оператором, как у лесовоза (рис. 3.3).

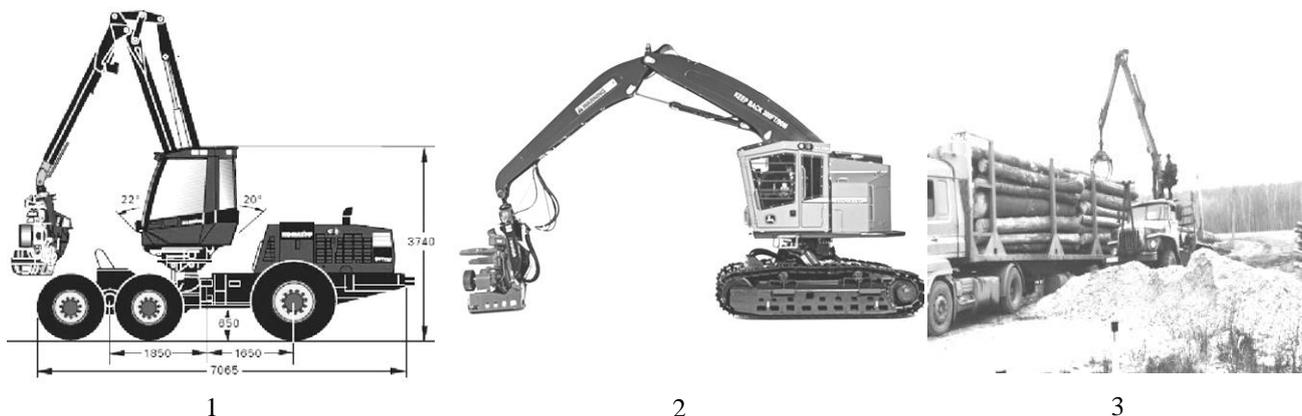


Рис. 3. Примеры манипуляторов, работающих на лесосеке: 1 — манипулятор установлен совместно с кабиной на харвестере; 2 — манипулятор совместно с кабиной и двигателем установлен на вращающейся платформе валочно-пакетирующей машины; 3 — манипулятор с пультом управления и оператором установлен на автомобиле

Методика расчета. Важную роль при проектировании манипуляторов играет разработка компоновочно-кинематической схемы [8–10]. Начинается компоновка с привязки места установки манипулятора на тракторе, автомобиле, перегрузчике. Здесь очень важно определить точку «0» — пересечение оси шарнира самой стрелы с осью вращения поворотной колонны (рис. 4).

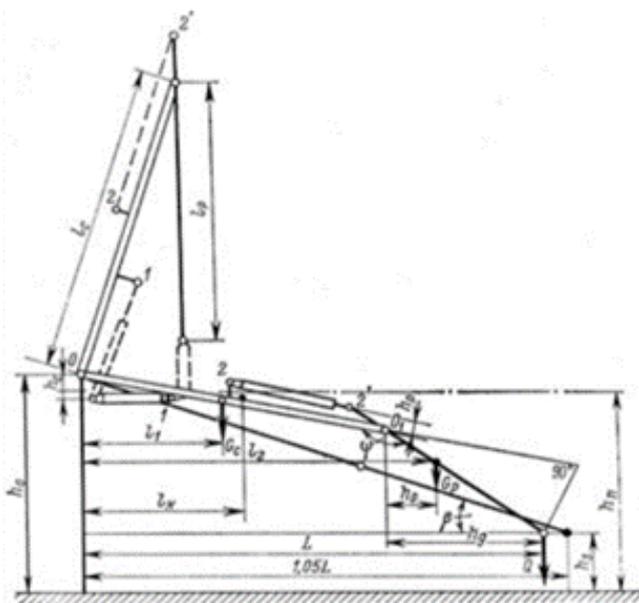


Рис. 4. Компоновочная схема манипулятора для выполнения этапов расчета

Характеристика манипулятора должна включать следующие величины: L — максимальный вылет стрелы; l_s — длина стрелы манипулятора; l_p — длина рукоятки манипулятора; h_z — высота рабочего органа; h_{Π} — высота груза (пачки бревен) и высота места, куда складывают груз.

Первым результатом проектирования должны стать расчет длины стрелы l_s , рукоятки l_p и определение точки «0».

Следует учесть, что максимальный вылет манипулятора будет тогда, когда стрела и рукоять создадут прямую линию, но такого положения на практике не допускают. Создается первое условие компоновки манипулятора: угол Ψ между стрелой и рукоятью должен быть меньше 180° . На основании многочисленных расчетов и результатов работы манипуляторов с лесными грузами установлено, что угол Ψ должен быть около 150° . Тогда максимальная длина вылета манипулятора составит $L_{\max} = 1,05 L$.

Второе условие компоновки манипулятора состоит в том, что рукоять будет иметь минимальный угол по отношению к стреле, когда стрела поднята по вертикали, а рукоять опущена по вертикали, и их конусы углов близки к 1. Тогда возможно составить равенство (1):

$$h_{\Pi} + h_z + l_p = (l_c + l_p) \sin \beta + h_z. \quad (1)$$

В нашем случае $\sin \beta$ следует выразить через $\cos \beta$,

или $\cos \beta = \frac{1,05L}{l_p + l_c}$, отсюда можно составить уравнение

$$(2): \quad h_{\Pi} + h_z + l_p = \sqrt{(l_c + l_p)^2 - 1,05^2 \times L^2}. \quad (2)$$

В этом уравнении (2) неизвестны длины l_c и l_p .

Введем связь между длинами l_c и l_p коэффициентом μ .

Этот коэффициент $\mu = \frac{l_c}{l_p}$ для манипуляторов,

работающих с лесными грузами, находится в пределах 1,2–1,3.

Если принять коэффициент в пределах 1,25 (средний), то мы получим расчетные данные по длинам l_c и l_p , которые приведены в таблице.

По данным таблицы видно, что максимальная высота штабеля, куда укладывают груз (лесоматериалы), мало влияет на размер самого

манипулятора, а основное влияние оказывает длина (вылет) манипулятора. В связи с этим величину h_{II}

Таблица. Данные по параметрам манипулятора
Таблица

Высота укладки пачки, м	h_{II}	2,5	2,75	3,25
Длина рукояти манипулятора, м	l_p	2,65	2,73	2,76
Длина стрелы манипулятора, м	l_c	3,32	3,43	3,45

Дальнейшие этапы проектирования манипуляторов связаны с вычерчиванием контура манипулятора, в основном стрелы и рукояти, в двух крайних положениях, упомянутых выше. Если известны используемые гидроцилиндры с их ходами поршня, то можно прочертить места их установки на поворотной опоре, на стреле и рукояти [11]. Это непростая задача с множеством неизвестных и с множеством возможных решений по применению оптимизации размещения гидроцилиндров в пространственной схеме самого манипулятора [12; 13].

На основе ограничений положения гидроцилиндров выбирают такую их компоновку, при которой будут обеспечены силовые величины, учитывающие расчетные параметры грузоподъемности манипулятора.

При расчете нагрузок необходимо знать массу отдельных частей манипулятора, особенно рабочего органа и груза, их взаимодействие при максимальном вылете [14]. Используя компоновочную схему манипулятора, находят плечи сил, входящих в уравнение равновесия рукояти и стрелы вместе с грузом. Уравнение равновесия рукояти запишем при условии, что ее гидроцилиндр управления представлен как нерастяжимый невесомый стержень. Примем P_p — реакция гидроцилиндра (стержня), тогда уравнение равновесия рукояти P_p с грузом G :

$$P_p h_p - Q h_p - Q_p h_G = 0, \quad (3)$$

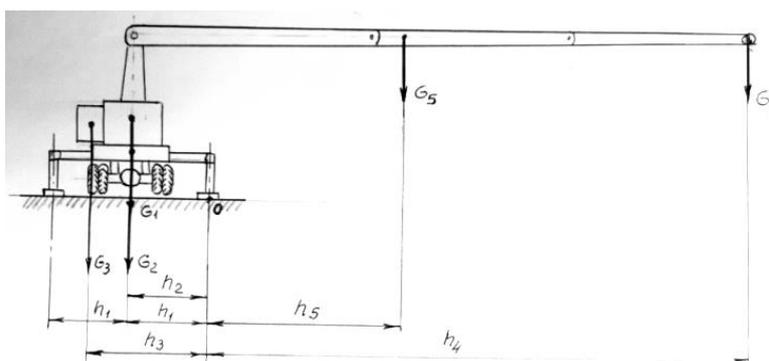


Рис. 5. Расчетная схема на устойчивость перегрузчика для работы на терминале в пределах лесосеки

Перегрузчик снабжен манипулятором с повышенной длиной, на котором установлена специальная головка по типу харвестерной, но на ней имеется грейферный захват с увеличенной длиной лап. Этими лапами грейфера можно захватывать не только одно дерево, но и несколько бревен (до 6 шт., диаметром по 30 см и длиной до 6 м), т. е. уже собрать пачку бревен объемом до 4 м³ (около 3 пл. м³).

выбирают из практики работающих манипуляторов и на основании результатов их испытаний.

где Q — равнодействующая сил тяжести в захвате груза.

Тогда найдем силу реакции P_p :

$$P_p = \frac{Q h_p - Q_p h_G}{h_p}. \quad (4)$$

Если принять, что усилие на штоке гидроцилиндра стрелы уравнивается силами давления жидкости на поршень гидроцилиндра, то можно уравнение равновесия стрелы записать:

$$P_c = \frac{G_c l_1 - G_p l_2 - Q L}{h_c}. \quad (5)$$

По этим данным можно уточнить конструкцию манипулятора и его частей — стрелы, рукояти, гидроцилиндров.

Кроме расчета конструкции самого манипулятора, необходимо рассчитать устойчивость всей конструкции машины, трактора, перегрузчика, на котором расположен манипулятор с грузом. Представим упрощенный расчет на примере предлагаемого нового перегрузчика для работы с лесными грузами (деревьями, хлыстами, сортиментами), который работает на терминале, расположенном на лесосеке [15; 16].

С помощью головки перегрузчик захватывает дерево из пачки деревьев, доставленных на терминал с делянки. Далее с помощью протаскивающих рябук дерево проходит сквозь кривые ножи головки, что позволяет срезать сучья, т. е. дерево превращается в хлыст. Так как головка снабжена цепной пилой, на полученном участке хлыста оператор производит распил (раскряжевку). Таким образом, получаем бревна

длиной 4–6 м, в зависимости от качества участка ствола, и соответствующие сортименты.

После обработки нескольких деревьев перегрузчик с помощью больших лап грейфера головки собирает несколько сортиментов в пачку и перегружает ее в соответствующий штабель сортиментов. Таких штабелей на терминале несколько, в зависимости от качества древостоя на лесосеке и запросов заказчиков на сортименты. Например, на терминале могут быть «следящие» штабеля сортиментов: штабель пиловочника, балансов, фанерного кряжа, строевого леса, низкокачественной древесины и др.

С помощью описанной головки можно собирать полученные ветви, сучья и вершины (отходы обработки дерева) и перегружать их в кучу. Возле кучи располагают мобильную рубительную машину, которая рубит указанные отходы в топливную щепу.

Естественно, что перегрузчик для выполнения перечисленных операций должен иметь повышенную длину манипулятора (вылет стрелы и рукояти). По нашим расчетам, длина такого манипулятора должна быть в пределах 18 м. Относительно выбора харвестерной головки, устанавливаемой на манипуляторе перегрузчика, то, по нашему мнению, подходит большая головка типа НХ-50 [17]. Вес такой головки около 1,2 т. Кроме того, с помощью этой головки можно захватить несколько бревен длиной до 6 м. Вес пачки бревен G_6 составит:

$$G_6 = \frac{\pi d^2}{4} \times l \times n \times \rho = \quad \text{т}, \quad (6)$$

$$= \frac{3,14 \times 0,3^2}{4} \times 6 \times 6 \times 0,8 = 2,03$$

где d_{cp} — средний диаметр бревен, м; l — длина бревен, м; n — количество захватываемых головкой бревен, шт.; ρ — расчетная плотность древесины бревен, т/м³.

Примечание: перечисленные показатели приняты наибольшими для гарантированного расчета устойчивости техники с манипулятором и грузом.

Таким образом, мы рассчитали основные характеристики грейфера: вылет 18 м, вес груза, включая харвестерную головку и несколько бревен, составит 3,2 т, а с учетом различных побочных нагрузок (уклон площадки, ветер, колебание груза) расчетный вес увеличивается до 4,5 т.

Вылет манипулятора 18 м является большой величиной. Вес груза, 4,5 т, на таком вылете создаст большой момент сил опрокидывания всей машины, в данном случае перегрузчика. В связи с этим необходимо рассчитать всю конструкцию на устойчивость. Отметим, что в конструкцию входит манипулятор, вес которого P_M составляет 1,5 т (стрела и рукоять), а центр тяжести расположен на расстоянии $S_1 = 7$ м от оси колонны манипулятора (ось вращения). В конструкцию входят аутригеры, опоры которых раздвигают на $S_2 = 3$ м от оси вращения манипулятора. В конструкцию включена рама перегрузчика (с двигателем, движителем, кабиной, баками с топливом и др.), вес которой G_2 принимаем 10 т. На раме установлена поворотная опора манипулятора с колонной G_1 , вес которой 10 т, с противовесом G_2

массой 10 т, центр тяжести которого расположен на расстоянии 2,5 м от оси вращения (опоры и колонны манипулятора). Высота горизонтально расположенной стрелы составляет 3 м.

Расчетная схема перегрузчика с манипулятором представлена на рис. 5. Перегрузчик представлен в поперечном положении как самом опасном варианте, имея в виду опрокидывание.

Во избежание опрокидывания манипулятора, точнее, всей конструкции перегрузчика, должны быть созданы условия, при которых удерживающие моменты сил относительно ребра опрокидывания (в нашем случае опора аутригера) были бы больше сил, вызывающие опрокидывание. Существует множество методов определения условий устойчивости самоходных грузоподъемных механизмов, например, стреловых кранов [18; 19]. В случае расчета на устойчивость предлагаемого перегрузчика с манипулятором воспользуемся методиками Гостехнадзора и ГОСТ 34688-2020 [20]. В этих методиках и в зарубежной литературе [21; 22] различают два коэффициента, которые рассчитывают: K_1 — коэффициент грузовой устойчивости и K_2 — коэффициент собственной устойчивости.

Величина K_1 должна быть не менее 1,15 при учете всех дополнительных нагрузок или не менее 1,4 при учете действия лишь одной предельной рабочей нагрузки.

Представим расчет K_1 для предлагаемого перегрузчика (рис. 5):

$$K_1 \geq \frac{G_1 \times h_1 + G_2 \times h_2 + G_3 \times h_3 - G_5 \times h_5}{G_4 \times h_4} = \quad (7)$$

$$= \frac{10 \times 3 + 10 \times 3 + 10 \times 5,5 - 1,5 \times 4}{4,5 \times 15} = 1,44$$

где G_1 — масса (вес) опоры и колонны манипулятора, $G_1 = 10$ т; h_1 — плечо, расстояние от опоры аутригера до действия силы G_1 , $h_1 = 3$ м; G_2 — масса (вес) рамы, кабины перегрузчика, двигателя, емкостей для дизельного топлива и гидросистемы, системы движителя перегрузчика, $G_2 = 10$ т; h_2 — плечо, расстояние от опоры аутригера до действия силы G_2 , $h_2 = 3$ м; G_3 — масса (вес) противовеса, установленного на поворотной опоре манипулятора, $G_3 = 10$ т; h_3 — плечо, расстояние от опоры аутригера до действия силы веса противовеса G_3 , $h_3 = 5,5$ м; G_4 — масса (вес) груза на манипуляторе (харвестерная головка с грейфером и шестью бревнами длиной 6 м), $G_4 = 4,5$ т; h_4 — плечо, расстояние от опоры аутригера до действия силы G_4 , $h_4 = 15$ м; G_5 — масса (вес) стрелы и рукояти манипулятора, $G_5 = 1,5$ т; h_5 — плечо, расстояние от опоры аутригера до действия силы G_5 , $h_5 = 4$ м.

Так как наш расчетный коэффициент K_1 составил $K_1 = 1,44$, а это больше значения K_1 по методике $K_1 \geq 1,4$, значит, условие устойчивости агрегата выполнено, и предлагаемый перегрузчик будет устойчив при работе с лесными грузами.

Выводы. Манипуляторы все большей в мере входят в жизнь человека. Они работают в различных отраслях промышленного производства — в автомобилестроении, строительстве, лесной отрасли,

сельском хозяйстве, производстве радиоизделий, в медицине и др.

Большое внимание в последнее время уделяется лесной отрасли, где с бревнами работают краны, требующие замены на мобильные агрегаты, снабженные манипуляторами. Бревна относятся к тяжелым габаритным грузам, в связи с этим проектирование манипуляторов для работы с бревнами вызывает определенные трудности. Приведены этапы проектирования и расчета манипуляторов для работы с бревнами и дан пример расчета на устойчивость нового агрегата — перегружчика, выполняющего несколько

Литература

- Суфтин С.Г. Основы создания и развития автомобильных кранов - манипуляторов: моногр. СПб.: Изд-во СПбПУ, 2008. 303 с.
- Александров М.П. Подъемно-транспортные системы. М.: Высшая шк., 1979. 558 с.
- Анисимов С.Е. Обоснование конструкции и параметров манипулятора машины для рубок прореживания и проходных: дис. ... канд. тех. наук. Йошкар-Ола, 2000. С. 8-11.
- Тарасов В.Н., Баяркина И.В., Дектярь В.В. Перспективы развития кранов - манипуляторов // Строительные и дорожные машины. 2014. № 1. С. 5-8.
- Зарипов А.М., Зиганшин И.И., Махмутов М.М. Расчет производительности и продольной устойчивости полуприцепного манипулятора-погрузчика // Техника и технология транспорта. 2017. № 1 (2). С. 3-6.
- Мехонин О.Н., Пугин К.Г., Щеткин Р.В. Анализ влияния конструктивных особенностей выносных опор автомобильного крана - манипулятора на коэффициент грузовой устойчивости // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2022. № 4. С. 37-43.
- Анисимов С.Е. Манипуляторное оборудование машин для рубок ухода // Лесная пром-сть. 1998. № 4. С. 17-19.
- Раевская Л.Т., Дахив Ф.Ф. Особенности кинематической схемы манипулятора с четырьмя степенями свободы // Перспективы развития науки и образования: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практической конф. (28 февр. 2015 г.). Тамбов, 2015. С. 125-126.
- Дахив Ф.Ф., Раевская Л.Т. Расчет обобщенных сил лесного манипулятора с четырьмя степенями свободы // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. С. 75.
- Лагереv И.А. Кинематические расчет трехзвенного крана - манипулятора // Материалы, технологии и ресурсосберегающие технологии: сб. материалов Междунар. науч.-технической конф. Могилев: БРУ, 2011. Ч. 2. С. 12-13.
- Герасимов Ю.Ю., Сюнев В.С., Соколов А.П. Оптимизационный расчет параметров гидравлических механизмов привода манипулятора лесной машины // Строительные и дорожные машины. 2006. № 12. С. 26-31.
- Анисимов С.Е. Манипуляторное оборудование машин для рубок ухода // Лесная пром-сть. 1998. № 4. С. 17-19.
- Чердник Д.В. Особенности 3D моделирования элементов конструкции манипуляторов лесных машин в программе SOLIDWORKS // Машиностроение: новые концепции и технологии: сб. ст. Всерос. науч.-практической конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (18-19 апр. 2018 г.). Красноярск, 2018. С. 108-110.
- Герасимов Ю.Ю. Повышение качества и надежности манипуляторов лесных машин: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Воронеж, 1995. 33 с.
- Ильющенко Д.А., Локштанов Б.М., Орлов В.В. Многофункциональные терминалы на лесосеке // Леса России: политика, промышленность, науки, образования: материалы VII Всерос. науч.-технической конф. (25-27 мая 2022 г.). СПб., 2022. С. 168-170.
- Козаченко А.В., Локштанов Б.М. Производство щепы из лесосечных отходов на терминале // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы Междунар. науч.-технической конф. (6-7 дек. 2016 г.). Вологда, 2017. С. 128-129.
- Мазилова О.А., Локштанов Б.М., Бирман А.Р., Неслухов В.В. Технологии лесозаготовок с промежуточным складом // Науч.-техническая конф. ин-та технологических машин и транспорта леса С.-Петерб. лесотехн. ун-та по итогам науч.-исследовательских работ 2017 г.: сб. ст. по материалам науч.-технической конф. (26 янв. - 2 февр. 2018 г.). СПб., 2018. С. 92-102.
- РД 22-166-86. Краны башенные строительные. Нормы расчета. Введ. 01.01.1987. URL: <http://ecat.simbexpert.ru/Index2/1/4293830/4293830859.htm> (дата обращения: 25.08.2024).
- ГОСТ 22827-85. Краны стреловые самоходные общего назначения. Технические условия. Введ. 01.01.1987. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. 19 с.
- ГОСТ 34688-2020. Краны грузоподъемные. Общие требования к устойчивости. Введ. 01.07.2021. М.: Стандартинформ, 2021. 9 с.
- Romanello G. Stability analysis of mobile cranes and determination of outriggers loading // Eng. Des. Technol. 2018. № 16. P. 938-958.
- Jeng S.L., Yang C.F., Chieng W.C. Outrigger force measure for mobile crane safety based on linear programming optimization // Mechanics Based Design of Structures and Machines. 2010. V. 38, № 2. P. 145-170. URL: https://www.researchgate.net/publication/245329177_Outrigger_Force_Measure_for_Mobile_Crane_Safety_Based_on_Linear_Programming_Optimization (дата обращения: 25.01.2022).

References

- Suftin S.G. Fundamentals of creation and development of automobile cranes - manipulators: monogr. SPb.: Izd-vo SPbPU, 2008. 303 p.
- Aleksandrov M.P. Lifting and transport systems. M.: Vysshaya shk., 1979. 558 p.
- Anisimov S.E. Substantiation of the design and parameters of the manipulator of the machine for cutting thinning and passing: dis. ... kand. tekhn. nauk. Yoshkar-Ola, 2000. P. 8-11.
- Tarasov V.N., Bayarkina I.V., Dektyar' V.V. Prospects for the development of manipulator cranes // Construction and Road Building Mashinery. 2014. № 1. P. 5-8.
- Zaripov A.M., Ziganshin I.I., Mahmutov M.M. Calculation of performance and longitudinal stability of a semi-trailer loader

- manipulator // *Technique and Technology of Transport*. 2017. № 1 (2). P. 3-6.
6. Mekhonin O.N., Pugin K.G., Shchetkin R.V. Analysis of the influence of the structural features of outriggers of an auto-mobile crane manipulator on the coefficient of load stability // *Transport. Transport facilities. Ecology*. 2022. № 4. P. 37-43.
 7. Anisimov S.E. Manipulator equipment of machines for logging // *Lesnaya prom-st'*. 1998. № 4. P. 17-19.
 8. Raevskaya L.T., Dahiev F.F. Features of the kinematic scheme of the manipulator with four degrees of freedom // *Perspektivy razvitiya nauki i obrazovaniya: sb. nauch. tr. po materialam Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf.* (28 fevr. 2015 g.). Tambov, 2015. P. 125-126.
 9. Dahiev F.F., Raevskaya L.T. Calculation of generalized forces of a forest manipulator with four degrees of freedom // *Modern problems of science and education*. 2015. № 1-1. P. 75.
 10. Lagerev I.A. Kinematic calculation of a three-link crane manipulator // *Materialy, tekhnologii i resursosberegayushchie tekhnologii: sb. materialov Mezhdunar. nauch.-tekhnicheskoy konf.* Mogilev: BRU, 2011. Ch. 2. P. 12-13.
 11. Gerasimov Yu.Yu., Syuney V.S., Sokolov A.P. Optimization calculation of parameters of hydraulic drive mechanisms of the manipulator of the forest machine // *Construction and Road Building Machinery*. 2006. № 12. P. 26-31.
 12. Anisimov S.E. Manipulator equipment of machines for logging // *Lesnaya prom-st'*. 1998. № 4. P. 17-19.
 13. Cherdnik D.V. Features of 3D modeling of structural elements of manipulators of forest machines in the SOLIDWORKS program // *Mashinostroenie: novye koncepcii i tekhnologii: sb. st. Vseros. nauch.-prakticheskoy konf. studentov, aspirantov i molodyh uchenyh* (18-19 apr. 2018 g.). Krasnoyarsk, 2018. P. 108-110.
 14. Gerasimov Yu.Yu. Improving the quality and reliability of manipulators of forest machines: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk. Voronezh, 1995. 33 p.
 15. Il'yushenko D.A., Lokshtanov B.M., Orlov V.V. Multifunctional terminals in the cutting area // *Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauki, obrazovaniya: materialy VII Vseros. nauch.-tekhnicheskoy konf.* (25-27 maya 2022 g.). SPb., 2022. P. 168-170.
 16. Kozachenko A.V., Lokshtanov B.M. Production of wood chips from logging waste at the terminal // *Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: materialy Mezhdunar. nauch.-tekhnicheskoy konf.* (6-7 dek. 2016 g.). Vologda, 2017. P. 128-129.
 17. Mazilova O.A., Lokshtanov B.M., Birman A.R., Nesluhov V.V. Logging technologies with an intermediate warehouse // *Nauch.-tekhnicheskaya konf. in-ta tekhnologicheskikh mashin i transporta lesa S.-Peterb. lesotekhn. un-ta po itogam nauch.-issledovatel'skih rabot 2017 g.: sb. st. po materialam nauch.-tekhnicheskoy konf.* (26 yanv. - 2 fevr. 2018 g.). SPb., 2018. P. 92-102.
 18. RD 22-166-86. Tower construction cranes. Calculation standards. Vved. 01.01.1987. URL: <http://ecat.simbexpert.ru/Index2/1/4293830/4293830859.htm> (data obrashcheniya: 25.08.2024).
 19. GOST 22827-85. General purpose self-propelled boom cranes. Technical conditions. Vved. 01.01.1987. M.: IPK Izdvo standartov, 2004. 19 p.
 20. GOST 34688-2020. Cranes are lifting cranes. General requirements for sustainability. Vved. 01.07.2021. M.: Standartinform, 2021. 9 p.
 21. Romanello G. Stability analysis of mobile cranes and determination of outriggers loading // *Eng. Des. Technol.* 2018. № 16. P. 938-958.
 22. Jeng S.L., Yang C.F., Chieng W.C. Outrigger force measure for mobile crane safety based on linear programming optimization // *Mechanics Based Design of Structures and Machines*. 2010. V. 38, № 2. P. 145-170. URL: https://www.researchgate.net/publication/245329177_Outrigger_Force_Measure_for_Mobile_Crane_Safety_Based_on_Linear_Programming_Optimization (data obrashcheniya: 25.01.2022).