

С. П. Мохов, канд. техн. наук, доцент;  
С. Е. Арико, магистрант; В. Н. Лой, канд. техн. наук, доцент

## КИНЕМАТИКА ХАРВЕСТЕРНОГО РЫЧАЖНОГО МАНИПУЛЯТОРА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ТИПА

Survey and the analysis of perspective designs modern harvesters manipulators of leading firms of producers is lead. The significant attention is given substantiations of parameters of hydromanipulators. The technique allowing is developed to raise effectiveness of application of existing and designed manipulators of parallel type.

**Введение.** В настоящее время наблюдается тенденция наращивания объемов рубок ухода и санитарных рубок. Это объясняется прежде всего возникшей необходимостью стабилизации экологической обстановки в Республике Беларусь и в соседних европейских странах, а также формированием спроса на заготавливаемую при этом маломерную, низкокачественную древесину, которая утилизируется преимущественно в целях получения древесного топлива. В этой связи дальнейшее повышение уровня механизации данного вида лесопользования представляет научный и практический интерес и требует уточнения и разработки технологических процессов для эффективного применения высокопроизводительных лесозаготовительных машин и оборудования на лесохозяйственных предприятиях.

В данный момент существует значительное количество марок и типов лесозаготовительного оборудования, каждому из которых присущи определенные достоинства (высокая эксплуатационная надежность; заданный уровень ремонтпригодности; возможность применения на других видах работ) и некоторые недостатки (высокая стоимость; значительные издержки эксплуатации; ограниченные возможности применения в различных природно-производственных условиях (несущая способность грунтов, рельеф местности, породный состав, сезонность и др.)). С учетом изложенного выше возникает необходимость всестороннего анализа технико-экономических показателей использования машин и оборудования, отражающих результаты их эксплуатации в различных при-

родно-производственных условиях. Данный анализ позволяет, с одной стороны, выявить границы рационального применения лесозаготовительной техники в разрезе регионов республики, с другой – минимизировать капитальные и текущие затраты, а также обеспечить экономию финансовых ресурсов предприятий занятых, заготовкой круглых лесоматериалов.

Для решения данных вопросов разрабатывается комплексная методика оценки технико-экономических показателей использования харвестера для рубок промежуточного пользования на базе лесного шасси 4К4, проводится работа по обоснованию параметров технологического оборудования данной машины и выполняется оценка эффективности его применения.

**1. Конструктивные особенности харвестерных манипуляторов.** В настоящее время отечественные и зарубежные машиностроительные предприятия предлагают широкую гамму лесных машин, которые существенно различаются по стоимости, назначению, принципу действия, основным техническим параметрам и применяются на различных технологических операциях.

В последние годы среди большого их разнообразия широкое распространение получили харвестеры, на которые устанавливаются манипуляторы, имеющие ряд специфических конструктивных отличий от манипуляторов, устанавливаемых на форвардеры, бесчokerные трелевочные тракторы либо лесовозные автомобили, что связано со спецификой выполняемых работ (валка, раскряжевка и обрезка сучьев).



Рис. 1. Общий вид харвестерной машины с шарнирно-сочлененной рамой для рубок промежуточного пользования на базе лесного шасси с колесной формулой 4К4

Харвестеры – это самоходные, многооперационные лесосечные машины, на колесном или гусеничном шасси (рис. 1). Предназначены для выполнения комплекса лесосечных операций: валка, обрезка сучьев, раскряжевка и пакетирование сортиментов на лесосеке, при проведении сплошных рубок, при выборочных рубках и рубках ухода. Для гарантии производительной работы харвестеров машины оснащаются измерительной и управляющей системой. Это позволяет задавать параметры при заготовке древесины согласно требованиям заказчика. Автоматизированные функции позволяют оптимизировать раскрой ствола с учетом цены сортимента и его рациональных параметров. Режимы автоматизации процесса обработки ствола позволяют в автоматическом режиме протягивать дерево и производить раскряжевку по заданным параметрам, прежде всего в зависимости от диаметра и длины.

Харвестерные гидроманипуляторы могут быть телескопические и рычажные, включающие стрелу и рукоять [1, 2]. В некоторых случаях стрелу гидроманипулятора крепят к колонне, высота которой ниже колонны гидроманипулятора форвардера, что связано с необходимостью обеспечения кинематики движения харвестерной головки. Колонна может быть наклонена вперед, для улучшения параметров быстрогодействия манипулятора, небольшого увеличения его вылета и снижения металлоемкости конструкции, а также в конструкции может быть предусмотрена возможность изменения наклона колонны при помощи соответствующего гидропривода. Рукоять гидроманипулятора может быть выполнена телескопической, что позволяет достичь компактности конструкции манипулятора и увеличить его быстродействие при срезании деревьев, находящихся примерно на одинаковом вылете.

Помимо рычажных гидроманипуляторов харвестеров с независимым движением стрелы и рукояти, в последнее время все чаще используют гидроманипуляторы параллельного (следящего) типа, в которых гидроцилиндр подъема стрелы одновременно производит опускание рукояти. При этом харвестерная головка движется параллельно земле, что позволяет повысить удобство управления манипулятором и уменьшить время наведения харвестерной головки на дерево. Геометрия манипуляторов параллельного действия позволяет успешно обрабатывать как уже поваленные (раскряжевка из штабеля), так и стоящие деревья. Преимущество телескопических стрел на харвестерах – большой вылет, обеспечивает максимальную досягаемость деревьев при минимальных перемещениях машины по делянке.

Движения манипулятора параллельного типа всегда экономичны и точны, благодаря со-

вершенной кинематике механизмов, которые не требуют высокого рабочего давления. Это многократно повышает надежность манипулятора. Манипуляторы могут поставляться как с фиксированным основанием, так и с наклонным, что обеспечивает возможность установки на все основные модели харвестеров. Низкий центр тяжести и компактный дизайн вращающегося мотора обеспечивают отличную стабильность, а также хороший обзор из кабины водителя. Манипуляторы такого типа производятся фирмами Rottne, Cranab, Foresteri.

Указанная кинематика движения гидроманипулятора может быть осуществлена двумя способами: применением дополнительной тяги, связывающей четырехзвенный механизм и гидроцилиндр подъема или опускания стрелы, либо закреплением гидроцилиндров подъема стрелы и рукояти на одной оси, расположенной у основания крепления гидроманипулятора.

Поворот телескопического гидроманипулятора осуществляется только совместно с поворотом кабины [1], а поворот рычажного манипулятора может осуществляться совместно с поворотом кабины при его установке на соответствующее шасси. Поворот манипуляторов данного типа осуществляется при помощи речного механизма, либо при помощи поворотного основания зубчатой передачей с приводом от гидромотора. Важным параметром данного технологического оборудования является угол поворота стрелы относительно горизонтальной оси машины, который при неповоротной кабине может достигать 100° и более.

Конструкция манипулятора параллельного типа (рис. 2) состоит из следующих элементов: поворотного основания 1, стрелы 2 и рукояти 3. Управление стрелой и рукоятью осуществляется при помощи: гидроцилиндра поворота рукояти 4 и гидроцилиндра совместного движения стрелы и рукояти 5. Поворотное основание имеет возможность наклона в вертикальной плоскости при помощи гидроцилиндра 6.

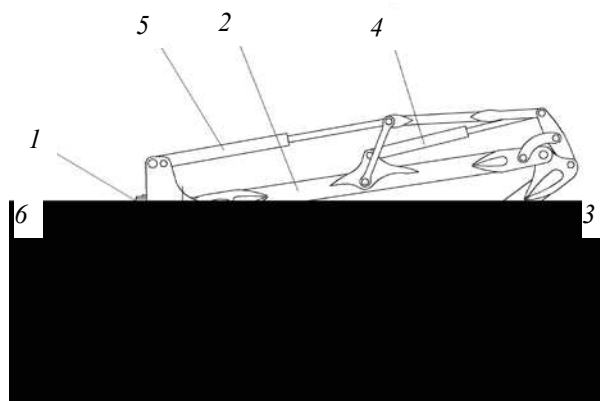


Рис. 2. Общий вид харвестерного рычажного манипулятора параллельного типа

## 2. Кинематика харвестерного рычажного манипулятора параллельного типа.

Исходя из вышесказанного, а также на основании изучения и анализа существующей техники выявляется противоречие между ее возможностями и требованиями перспективного развития производительности труда на соответствующих фазах производственного процесса [3]. В настоящее время кафедрой лесных машин и технологии лесозаготовок БГТУ совместно с РУП «МТЗ» проводится обоснование параметров технологического оборудования харвестера для рубок ухода, оснащаемого рычажным манипулятором параллельного типа. В связи с этим возникла необходимость оценки совершенства кинематики работы гидроманипуляторов различных производителей, а также выбора существующего гидроманипулятора с наиболее рациональным соотношением высоты колонны, длины стрелы, рукоятки и удлинителя. Для реализации поставленной задачи составлена расчетная схема и разработана методика по определению усилий в гидроцилиндрах поворота рукоятки и параллельного движения стрелы и рукоятки для харвестерных рычажных манипуляторов параллельного типа.

В зависимости от задачи исследования за основу могут приниматься упрощенные приведенные схемы различной степени сложности. Для дальнейшего практического и теоретического применения была разработана кинематическая схема харвестерного рычажного манипулятора параллельного типа (рис. 3).

Схема соответствующим образом описывает движение масс манипулятора в вертикальной плоскости при выполнении технологических процессов с учетом расположения и величины усилия, возникающего под действием веса захватно-срезающего устройства и предмета труда. Составные части данного технологического оборудования представлены в

виде жестких стержней, шарнирно закрепленных между собой.

Данная кинематическая схема имеет 2 постоянных и 15 переменных угловых параметров, которые однозначно определяют положение манипулятора. В связи с этим для описания кинематики работы манипулятора расчетная схема рассматривалась как совокупность пяти замкнутых контуров, которые описываются системой уравнений [5, 6].

$$\left\{ \begin{array}{l} LO^2 = LQ^2 + OQ^2 - 2 \cdot LQ \cdot OQ \cdot \cos(\beta_1), \\ \varphi = \pi + \gamma + i - \beta_1, \\ \varphi_1 = \varphi_0 - \varphi, \\ \psi = \psi_0 - \varphi_1, \\ AB \cdot \cos(\psi) + AC \cdot \cos(\alpha_2 - \pi + \psi) = BE \cdot \cos(\psi - \alpha_1) + EC \cdot \cos(\pi - \alpha_4 + \psi - \alpha_1), \\ AB \cdot \sin(\psi) + AC \cdot \sin(\alpha_2 - \pi + \psi) = BE \cdot \sin(\psi - \alpha_1) + EC \cdot \sin(\pi - \alpha_4 + \psi - \alpha_1), \\ EC \cdot \cos(\pi - \alpha_4 + \psi - \alpha_1) + CV \cdot \cos(\alpha_5 - (\alpha_4 - \psi + \alpha_1)) = ED \cdot \cos(\alpha_7 + \psi - \alpha_1) + DV \times \\ \times \cos(\alpha_8 - (\pi - \alpha_7 - \psi + \alpha_1)), \\ EC \cdot \sin(\pi - \alpha_4 + \psi - \alpha_1) + CV \cdot \sin(\alpha_5 - (\alpha_4 - \psi + \alpha_1)) = ED \cdot \sin(\alpha_7 + \psi - \alpha_1) + DV \times \\ \times \sin(\alpha_8 - (\pi - \alpha_7 - \psi + \alpha_1)), \\ ED \cdot \cos(\alpha_7 + \psi - \alpha_1) + DV \cdot \cos(\alpha_8 - (\pi - \alpha_7 - \psi + \alpha_1)) = EK \cdot \cos(\psi - \alpha_1) + KM \cdot \cos(\pi - \alpha_{11} + \psi - \alpha_1) + VM \cdot \cos(\psi - \alpha_1 - \alpha_{10} - \alpha_{11}), \\ ED \cdot \sin(\alpha_7 + \psi - \alpha_1) + DV \cdot \sin(\alpha_8 - (\pi - \alpha_7 - \psi + \alpha_1)) = EK \cdot \sin(\psi - \alpha_1) + KM \cdot \sin(\pi - \alpha_{11} + \psi - \alpha_1) + VM \cdot \sin(\psi - \alpha_1 - \alpha_{10} - \alpha_{11}), \\ KM \cdot \sin(\pi - \alpha_{11} + \psi - \alpha_1) - MF \cdot \sin(\psi - \alpha_1 - \alpha_{10} - \alpha_{11}) = KR \cdot \sin(\psi - \alpha_1) - RF \cdot \sin(\pi - \alpha_{13} - \psi + \alpha_1). \end{array} \right.$$

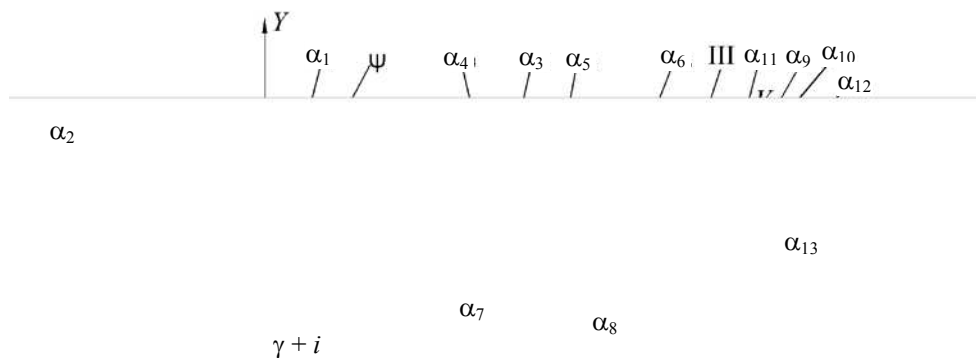


Рис. 3. Кинематическая схема манипулятора

Решение системы уравнений позволяет определить положение ЗСУ в координатах  $X$  и  $Y$  при помощи следующих уравнений:

$$X = BK \cdot \cos(\psi - \alpha_1) + RF \cdot \cos(\pi - \alpha_{13} - \psi + \alpha_1) + FT \cdot \cos(2\pi + \alpha_1 - \alpha_{13} - \psi - \beta_2);$$

$$Y = BK \cdot \sin(\psi - \alpha_1) - RF \cdot \sin(\pi - \alpha_{13} - \psi + \alpha_1) - FT \cdot \sin(2\pi + \alpha_1 - \alpha_{13} - \psi - \beta_2).$$

Также был произведен статистический анализ основных параметров гидроманипуляторов с позиции их соответствия параметрам базового шасси. При этом получены зависимости влияния максимального вылета на массу и грузовой момент гидроманипулятора, а также на минимально необходимую мощность и массу базового шасси. Полученные зависимости позволяют провести корреляционный анализ параметров вновь создаваемого либо выбираемого для установки на соответствующее шасси манипулятора, а также сравнить степень технического совершенства манипуляторов различных производителей.

В настоящее время проводится моделирование кинематики движения харвестерного манипулятора параллельного типа при динамическом взаимодействии с предметом труда. В связи с этим разработана методика и произведен расчет усилий в гидроцилиндрах привода поворота рукояти и параллельного движения стрелы и рукояти при различных положениях манипулятора исходя из условия обеспечения необходимой грузоподъемности на максимальном вылете [3, 4]. Для случая статического равновесия манипулятора в вертикальной плоскости усилия в гидроцилиндрах рассчитывались с применением ЭВМ на основании зависимостей кинематики его работы от угловых параметров согласно следующим уравнениям:

$$\left\{ \begin{aligned} &F_1 \cdot \cos(\alpha_2 - \psi + \pi) \cdot AB \cdot \sin(\pi - \psi) + F_1 \times \\ &\times \sin(\alpha_2 - \psi + \pi) \cdot AB \cdot \cos(\pi - \psi) = G_C \cdot BS \times \\ &\times \cos(\psi - \alpha_1) + G_P \cdot (BK \cdot \cos(\psi - \alpha_1) + RF \times \\ &\times \cos(\pi - \alpha_{13} - \psi + \alpha_1) + FW \cdot \cos(2\pi + \alpha_1 - \\ &- \alpha_{13} - \psi - \beta_2) + G_{ЗСУ+ДЕР} \cdot (BK \cdot \cos(\psi - \alpha_1) + \\ &+ RF \cdot \cos(\pi - \alpha_{13} - \psi + \alpha_1) + FT \cdot \cos(2\pi + \alpha_1 - \\ &- \alpha_{13} - \psi - \beta_2)); \\ &F_2 \cdot \cos(\alpha_8 - (\pi - \alpha_7 - \psi + \alpha_1)) \cdot (BE \cdot \sin(\psi - \\ &- \alpha_1) + ED \cdot \sin(\alpha_7 + \psi - \alpha_1)) - F_2 \cdot \sin(\alpha_8 - \\ &- (\pi - \alpha_7 - \psi + \alpha_1)) \cdot (BE \cdot \cos(\psi - \alpha_1) + ED \times \\ &\times \cos(\alpha_7 + \psi - \alpha_1)) = G_C \cdot BS \cdot \cos(\psi - \alpha_1) + \\ &+ G_P \cdot (BK \cdot \cos(\psi - \alpha_1) + RF \cdot \cos(\pi - \alpha_{13} - \\ &- \psi + \alpha_1) + FW \cdot \cos(2\pi + \alpha_1 - \alpha_{13} - \psi - \beta_2) + \\ &+ G_{ЗСУ+ДЕР} \cdot (BK \cdot \cos(\psi - \alpha_1) + RF \cdot \cos(\pi - \\ &- \alpha_{13} - \psi + \alpha_1) + FT \cdot \cos(2\pi + \alpha_1 - \alpha_{13} - \psi - \beta_2)). \end{aligned} \right.$$

Приведенные выше методики по определению положения харвестерного манипулятора в пространстве и определению усилий в гидроцилиндрах планируется в дальнейшем использовать при решении задач, связанных с динамикой взаимодействия харвестера с деревом. При этом необходимо уделить должное внимание внешним воздействиям, возникающим в результате выполнения технологических процессов данной лесной машины. Возникающие воздействия воспринимаются как шасси базовой лесной машины, так и технологическим оборудованием. Характер изменения и количественные показатели силовых воздействий во многом определяются условиями эксплуатации. Прием это воздействие имеет место как при взаимодействии машины со средой, так и в случае, если возмущающая сила появляется вследствие динамической неуравновешенности деталей и узлов машины или действий оператора (включение привода, изменение режимов движения, изменение положения в пространстве технологического оборудования). Возмущающие силы разнообразны по природе, характеру действия и направлению.

В связи с тем, что харвестер относится к машинам, выполняющим валку, то при выполнении этой операции происходят колебания, являющиеся следствием ударных нагрузок [2, 7]. При этом в качестве воздействия рассматриваются импульсные ударные силы, возникающие при встрече дерева и ЗСУ. Возмущения, прикладываемые к дереву в начальный период падения, могут иметь вид импульсных воздействий (ударно-импульсный способ валки) или (при использовании валочных устройств или манипулятора, как в нашем случае) усилий со значительной продолжительностью. Необходимо учитывать, что данная лесная машина выполняет операции, связанные с одновременным перемещением в вертикальной и горизонтальной плоскостях деревьев, что обусловлено подтаскиванием дерева к формируемой пачке сортиментов. При выполнении данной операции система может испытывать два вида воздействий, одно из которых возникает в силовых элементах привода, а вторая оказывается следствием взаимодействия с неровностями волока.

Определение качественных и количественных характеристик перечисленных возмущающих сил необходимо для решения многочисленных проектных задач, связанных с колебаниями специальных лесных машин.

Типичные воздействия можно разделить на группы [2]: 1) воздействие на ходовые органы от неровностей волока; 2) динамические силы от вибрации, неуравновешенности вращающихся масс; 3) резкоизменяющиеся инерционные силы при изменении скорости либо на-

правления движения машины или технологического оборудования; 4) изменяющиеся по времени нагрузки в силовых элементах привода технологического оборудования; 5) ударно-импульсные нагрузки, возникающие при встрече деревьев с ЗСУ харвестера.

**Заключение.** Проведенный анализ конструктивных особенностей технологического оборудования, устанавливаемого на современных валочно-сучкорезно-раскряжевочных машинах, позволил установить основные преимущества рычажных манипуляторов параллельного типа, к которым относятся: экономичность и точность движения, невысокое рабочее давление, повышенная надежность манипулятора.

Приведенная выше методика позволила выполнить расчет кинематики и определить усилия в гидроцилиндрах харвестерных манипуляторов параллельного типа различных фирм-производителей, оценить степень соответствия параметров манипулятора параметрам базового шасси при проектировании опытного образца харвестера для рубок ухода.

Данная расчетная схема применима для оценки продольной и поперечной устойчивости базового шасси при работе манипулятора, а также может быть применена для оценки динамической нагруженности отдельных элементов металлоконструкции манипулятора.

Приведенная кинематика работы валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины предназначена для проведения расчетов по динамике взаимодействия предмета труда с данной лесо-

заготовительной техникой, на которой устанавливается рычажный харвестерный манипулятор параллельного типа.

Проведен подробный анализ возможных возникающих воздействий на харвестер и его технологическое оборудование при выполнении различных технологических операций. Указаны возможные пути их определения с учетом выполняемой работы (валки, подтаскивания или раскряжевки). Приведена общая классификация силовых воздействий в зависимости от места воздействия и особенностей возникновения дополнительных нагрузок.

### Литература

1. Федоренчик, А. С. Харвестеры: учебное пособие / А. С. Федоренчик, И. В. Турлай. – Минск: БГТУ, 2002.
2. Жуков, А. В. Теория лесных машин / А. В. Жуков. – Минск: БГТУ, 2001.
3. Артамонов, Ю. Г. Проектирование технологического оборудования манипуляторных лесных машин / Ю. Г. Артамонов. – Л., 1985.
4. Анисимов, Г. М. Лесные машины / Г. М. Анисимов. – М., 1986.
5. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – М., 1975.
6. Девойно, Г. Н. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин / Г. Н. Девойно – Минск, 1986.
7. Жуков А. В. Основы проектирования специальных лесных машин с учетом их колебаний / А. В. Жуков, Л. И. Кадолко. – Минск, 1978.