

УДК 62-82

UDC62-82

**ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ  
НАВЕСНОГО ЗАХВАТНО-СРЕЗАЮЩЕГО  
УСТРОЙСТВА**

**SUBSTANTIATION FOR THE CONSTRUCTION  
OF PENDANT GRIPPING-CUT DEVICES**

Ласточкин Денис Михайлович  
к.т.н.  
*Поволжский государственный технологический  
университет, Йошкар-Ола, Россия*

Lastochkin Denis Mikhailovich  
Cand.Tech.Sci.  
*Volga State University of Technology, Ioshkar-Ola,  
Russia*

Белов Евгений Леонидович  
к.т.н.  
*Чувашская государственная сельскохозяйственная  
академия, Чебоксары, Россия*

Belov Evgeniy Leonidovich  
Cand.Tech.Sci.  
*Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary,  
Russia*

Каруев Бат Тывкаевич  
*Калмыцкий государственный университет,  
Элиста, Россия*

Karuev Bath Tyvkaevich  
*Kalmyk State University, Elista, Russia*

Кошурников Дмитрий Николаевич  
к.т.н.  
*Вятская государственная сельскохозяйственная  
академия, Киров, Россия*

Koshurnikov Dmitry Nikolaevich  
Cand.Tech.Sci.  
*Vyatka State Agricultural Academy, Kirov, Russia*

Самсонов Андрей Николаевич  
к.т.н.  
*Чувашская государственная сельскохозяйственная  
академия, Чебоксары, Россия*

Samsonov Alexander Nikolaevich  
Cand.Tech.Sci.  
*Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary,  
Russia*

Представлен технико-технологический аспект проектирования и конструирования навесного лесозаготовительного оборудования, предложены критерии обоснования и оценки приводной системы навесного захватно-срезающего устройства для тракторов малых тяговых классов

In the article, we have presented the technical and the technological aspects of the design and the construction of forestry mounted equipment proposed criteria for study and assessment of the drive system of a mounted Gripping-cuts off device for tractors of small pulling classes

Ключевые слова: ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЕ  
ОБОРУДОВАНИЕ, ОБОСНОВАНИЕ  
КОНСТРУКЦИИ, ПРИВОДНАЯ СИСТЕМА,  
ЛЕСНАЯ МАШИНА

Keywords: FORESTRY EQUIPMENT,  
JUSTIFICATION CONSTRUCTION, DRIVE  
SYSTEMS, FOREST MACHINES

***Введение***

Эксплуатация существующих лесозаготовительных машин на лесосеках при рубках ухода показывает, что их проведение сопровождается неоправданно высокой степенью повреждения насаждений (уничтожение подроста, ошмыги, ушибы деревьев, повреждения крон, образование колея, минерализация значительных поверхностей лесосек), что влечет за собой уменьшение суммарной продуктивности насаждения [1, 2].

В этой связи наиболее перспективным направлением механизации и машинизации рубок ухода, в частности прореживаний, является применение машин на базе колёсного трактора и агрегируемого с ним технологического лесозаготовительного оборудования для удержания срезанного дерева в вертикальном положении при вывозе его из-под полога леса к месту его пакетирования на волоке [3]. Благодаря данной схеме работы исключаются операции валки и подтрелёвки вырубаемого дерева, именно в процессе которых в условиях прореживаний, когда густота древостоя достигает 800–900 шт. на га, происходит большинство случаев повреждения оставляемых деревьев и почвенного покрова. Кроме того вывоз срезанного дерева в вертикальном положении позволяет расширить ширину пасеки до 25 и даже 50 м, что недоступно при прореживании манипуляторными машинами как по технологическому вылету манипулятора, так и по условию технологической доступности с волока подлежащих удалению из насаждения деревьев.

### *Предлагаемое решение*

Основная структурно-компоновочная схема валочно-пакетирующей машины (ВПМ) с технологическим оборудованием для прореживаний, осуществляющей вертикальный вывоз срезанного дерева из-под полога леса (рис. 1), включает базовый колёсный трактор и агрегируемое с ним технологическое оборудование.

Предлагаемая структурно-компоновочная схема ВПМ для прореживаний позволяет реализовать преимущества сохранения полной автономности базового трактора как в составе, так и вне лесной машины, а стандартные средства агрегирования обеспечивают скорость и лёгкость смены технологического оборудования даже в условиях лесосеки.

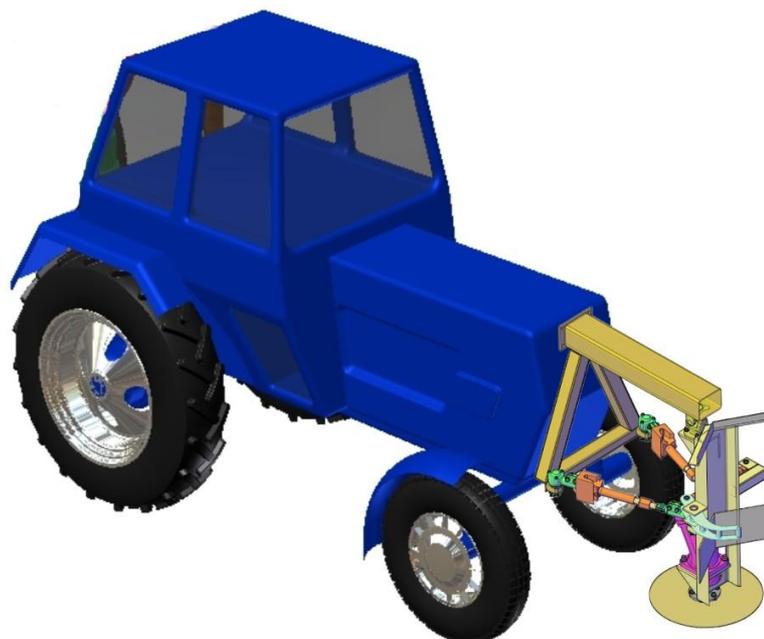


Рисунок 1 - Валочно-пакетирующая машина для рубок прореживания

Для срезания и вертикального удержания срезанного дерева при его вывозе из лесосеки ВПМ на базе малогабаритных тракторов была предложена конструкция технологического оборудования (рисунок 2), представляющая собой захватно-срезающее устройство (ЗСУ), унифицированное с навесной системой и гидросистемой несущего трактора, которое состоит из базовой стойки 1, на которой монтируются механизм срезания 2, механизм зажима и удержания дерева 3. Стойка верхним концом при помощи карданного шарнира 4 подвешивается к свободному концу стрелы 5, на другом конце которого установлен подрамник 6 с приспособлениями для крепления к базовому трактору.

Отличительными особенностями такой конструкции являются геометрия и шаровые крепления 8 приводных гидроцилиндров 7, образующих пространственно-приводной механизм пирамидального типа. Расположенные под углом друг к другу приводные гидроцилиндры с независимым управлением способны отклонять стойку ЗСУ как в продольных, так и поперечных плоскостях с минимальными габаритными

требованиями. Так же приводные гидроцилиндры являются управляемым средством точного наведения ЗСУ на дерево при работе на склонах или с изгибами ствола дерева.

Устройство работает следующим образом. Базовая машина своим ходом подводит установленное на ней при помощи подрамника 6 ЗСУ к нужному дереву, устройством зажима 3 фиксирует дерево у стойки 1 и одновременно срезает его механизмом срезания 2, после чего ЗСУ приподымается в транспортное положение на 30-35 см от земли и далее дерево вывозится в вертикальном положении из лесосеки до места пакетирования. Такая конструкция унифицирована с базовыми малогабаритными тракторами (например, с Т-25, МТ-10, МТ-3, Л-82 и др.) за счет использования трехточечного навесного устройства.

Для оптимизации технологических параметров ЗСУ необходимо оптимизировать пространственно приводной механизм, от которого зависит способность ЗСУ отклоняться в пространстве.

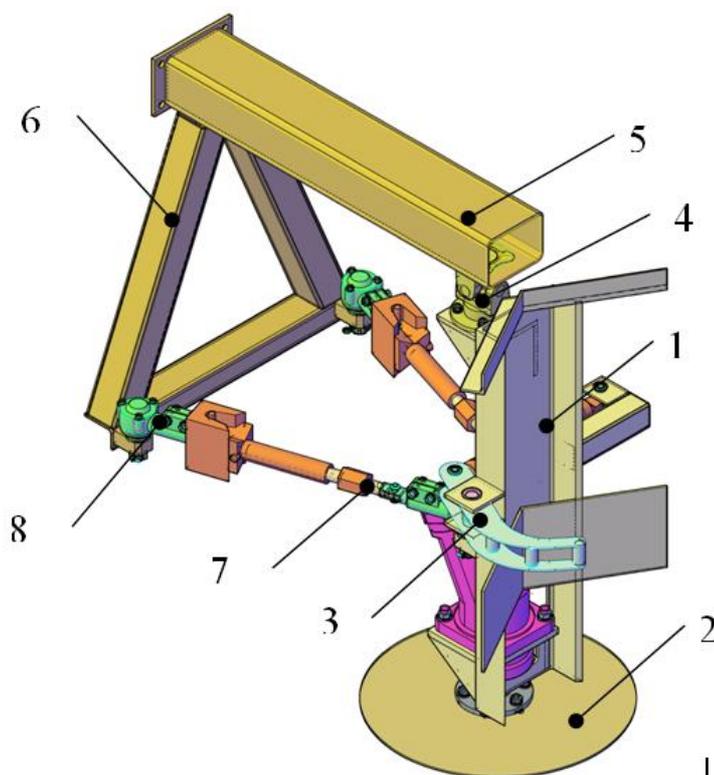


Рисунок 2 – Конструкция навесного захватно-срезающего устройства для рубок прореживания

### ***Оптимизация параметров***

Для определения технических характеристик ЗСУ необходимо построить зону действия пространственного приводного механизма (ППМ) ЗСУ. Зона действия ППМ ЗСУ — часть рабочего объема, в котором при работе перемещается нижняя точка ЗСУ относительно точки подвеса. Построение зоны действия ЗСУ позволит определить границу отклонений ЗСУ, что является важной эксплуатационной характеристикой такой системы. Процесс построения зоны действия ЗСУ позволяет, варьируя значениями высоты подвеса ЗСУ, точками приложения сил и углами расхождения гидроцилиндров, подобрать оптимальные их значения, при которых зона действия ППМ ЗСУ максимально была бы приближена к форме сферы, а также выявить зависимости этих значений друг от друга.

В начале анализа ППМ можно выделить несколько характерных движений гидроцилиндров, сочетания их длины и положений точки соединения штоков гидроцилиндров на стойке ЗСУ– точки  $M$ .

Примем следующие допущения и обозначения: длина гидроцилиндров и ход штока одинаковы;  $l$  — минимальная длина цилиндра (шток втянут);  $dl$  — ход штока с поршнем;  $l+dl$  — максимальная длина цилиндра (шток выдвинут);  $\alpha$  — угол отклонения стойки ЗСУ в продольной плоскости;  $\beta$  — угол отклонения стойки ЗСУ в поперечной плоскости;  $M_n$  — характерные положения точки соединения штоков гидроцилиндров на стойке ЗСУ;  $n = 1, 2, 3, 4$ . С учётом этого, сочетание экстремальных значений длины гидроцилиндров и соответствующие им положения стойки ЗСУ и "вершины" сведены в таблице 1.

Для построения рабочей зоны пространственного приводного механизма ЗСУ была предложена ее расчетная схема (рис. 3). Пространственный приводной механизм ЗСУ включает расположенные под углом друг к другу два гидроцилиндра 1 и 2, штоки которых соединены между собой геометрически в одной точке – в шарнире 3,

находящемся на ЗСУ – 4. Такое расположение гидроцилиндров позволяет отклонять ЗСУ как в продольной, так и в поперечной плоскостях, что обеспечивает пространственность рабочей зоны.

Таблица 1 - Сочетание экстремальных значений длины гидроцилиндров и соответствующие им положения механизма

Гидроцилиндры		Точка соединения штоков гидроцилиндров на стойке ЗСУ		Обозначения и значения углов отклонения стойки ЗСУ	
№ сочетания	Сочетание экстремальных значений длины	Характерные положения	Обозначения	$\alpha$	$\beta$
1	$l_1 = l_2 = l + dl/2$	Исходное положение механизма	$M_1$	$\alpha_1 = 0$	$\beta_1 = 0$
2	$l_1 = l_2 = l$	Крайнее «на себя» (штоки цилиндров втянуты)	$M_2$	$\alpha_2 = -\alpha_{\max}$	$\beta_2 = 0$
3	$l_1 = l_2 = l + dl$	Крайнее «от себя» (штоки цилиндров выдвинуты)	$M_3$	$\alpha_3 = \alpha_{\max}$	$\beta_3 = 0$
4	$l_1 = 0; l_2 = l + dl$	Предельный разворот по горизонту (влево или вправо)	$M_4$	$\alpha_4$	$\beta_4 = \beta_{\max}$
5	$l_1 = l + dl; l_2 = 0$		$M_5$	$\alpha_5 = -\alpha_4$	$\beta_5 = -\beta_4 = -\beta_{\max}$

Уравнения связи в двухстержневой структуре с ведомым звеном в обобщенной системе координат  $OXX_1X_2$  имеет вид:

$$\sum_{j=1}^3 (x_j - a_{ij})^2 = r_i^2, \tag{1}$$

где  $a_{ij}$  –  $j$ -ая координата точки крепления на основании  $i$ -го цилиндра (центр сферы);  $r_i = l$  – текущее значение длины цилиндров (радиус сферы);  $x_j$  – искомые координаты «вершины» точки соединения гидроцилиндров;  $i = j = 1; 2$ .

В сферической системе координат функции обобщенных координат несут углы  $\alpha$  и  $\beta$  поворота соответственно в горизонтальной и вертикальной плоскостях и текущее значение  $l_0$  «одионого» цилиндра.



Наряду с изучением движения пространственного механизма в координатной форме, в прямоугольной системе координат, положение звеньев механизма и его вершины  $M$  можно выразить и через другие обобщённые координаты – углы ( $\alpha$  и  $\beta$  отклонение стойки ЗСУ) – соответственно в продольной и поперечной плоскостях. Для этого воспользуемся формулами аналитической геометрии перехода от прямоугольной системы координат к сферической системе.

Углы отклонения  $a$ ,  $b$  зависят от  $x$ ,  $y$ ,  $z$  следующим образом:

$$a = \operatorname{arctg} \frac{y}{\sqrt{x^2 + z^2}}; \quad (4)$$

$$b = \operatorname{arctg} \frac{x}{\sqrt{y^2 + z^2}}. \quad (5)$$

В сферической системе отсчёта радиусом - вектором (третьей обобщённой координатой), характеризующим совместно с (4 и 5) положение вершины  $M$ , будет текущее значение длины  $h$  участка стойки ЗСУ. Характерные значения углов ( $\alpha$  и  $\beta$ ) соответствуют экстремальным сочетаниям длины гидроцилиндров (табл. 1).

Для выявления кинематических возможностей пространственного приводного симметричного механизма ( $a = a_2 = a$ ) анализировались зависимости (2 и 3) движения ЗСУ с использованием пакета прикладных программ *Mathcad*, при помощи которых определяли положение звеньев и «вершины»  $M$  при различных размерах механизма и длине гидроцилиндров.

В качестве основного изменяемого параметра выбран размер  $a$ , который варьировал в широком диапазоне (200...450 мм) при постоянном размере  $c$  (600 мм) и  $h$  (650 мм), выбранных как оптимальные при проведении рубок ухода (при опрокидывающем моменте вертикально удерживаемого дерева не больше 35 кН\*м). Варьирование значением  $a$  проходило с пропорционально изменяемыми значениями параметра  $b$

(670...540 мм), длины стрелы, известным образом исходя из сторон прямоугольного треугольника. Длину гидроцилиндров  $l_1$  и  $l_2$  и размеры  $c$  и  $h_1$  принимали исходя из размеров механизма экспериментального образца.

Режимом работы приводного механизма принят совмещённый наклон стойки ЗСУ в продольной и поперечной плоскостях путём изменения длины одного из боковых гидроцилиндров  $l_2 = l \rightarrow l + dl_2$  из исходного положения, когда  $l_1 = l_2 = l$  ( $l$ ,  $dl$  – начальная длина цилиндра и ход его штока). Именно этот режим работы наиболее отчётливо выявляет значения углов  $\alpha$  и  $\beta$ . Результаты машинного решения представлены в виде графиков (рис. 4 и 5), где под размерами "Длина гидроцилиндров" подразумевается изменение длины  $l_2$  внутри диапазона  $l \dots l + dl = 750 \dots 950$  мм.

Результаты аналитического исследования показывают, в частности, что величина и характер изменения угла  $\alpha$  продольного отклонения стойки ЗСУ (рис. 4) существенно зависит от размера  $a$  - половины расстояния между точками  $A$  и  $B$  крепления корпусов гидроцилиндров на основании (рис. 3). Выявлена закономерность: чем меньше  $a$ , тем больше (при прочих равных условиях) угол  $\alpha$ . Например, при  $a = 350 \dots 450$  мм максимальные значения углов  $\alpha$  не превышают  $30^\circ$ ; если  $a = 200 \dots 250$  мм, то  $\alpha_{\max}$  достигает  $60^\circ$ , т.е.  $120^\circ (\pm 60^\circ)$  - без учёта конструктивных ограничений поворота отклонения стойки ЗСУ.

Углам  $\alpha$  на рисунке 4 соответствуют поперечные углы  $\beta$  на рисунке 5. Выявлено, что начальные значения углов  $\beta$  превышают  $50^\circ$  при  $a = 200$  мм, а, к примеру, при  $a = 450$  мм начальный угол  $\beta$  уменьшается до  $25^\circ$ .

Поперечный наклон стойки ЗСУ за счёт увеличения длины  $l_2$  бокового гидроцилиндра сопровождается увеличением значений углов  $\alpha$  и  $\beta$ , следовательно, с учетом значения длины стрелы выбираем геометрические параметры ЗСУ с ППМ в средних значениях равным  $a=300$  мм,  $b=630$  мм,  $c=600$  мм,  $h=700$  мм.

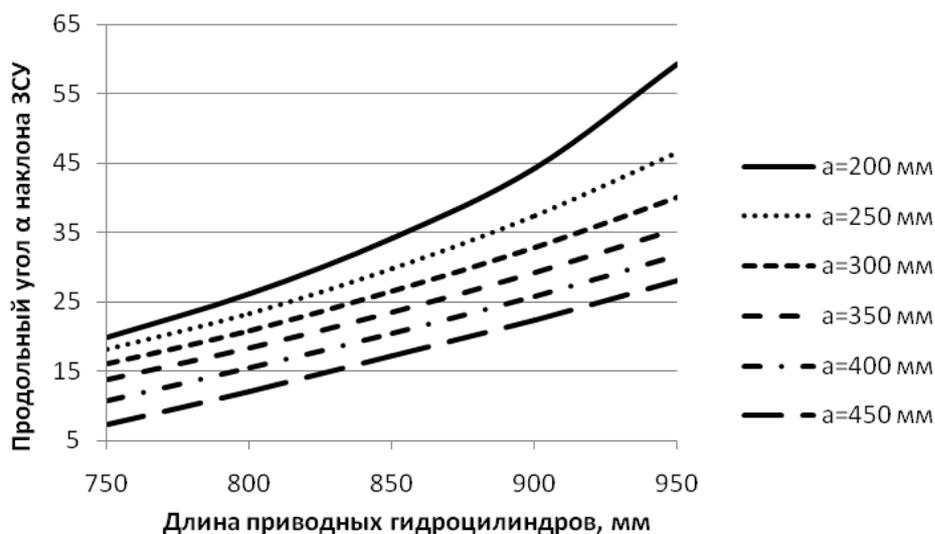


Рисунок 4 - Изменение углов  $\alpha$  от размеров механизма

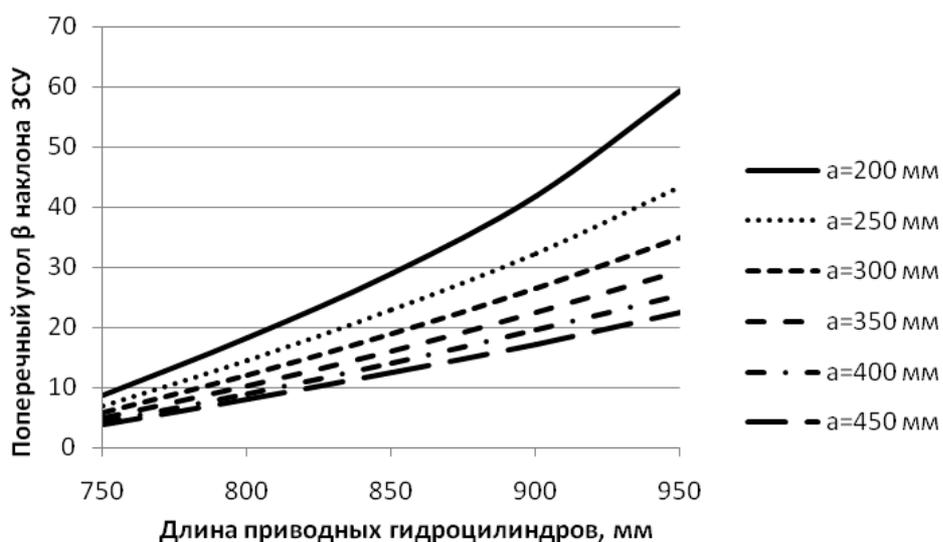


Рисунок 5 - Изменение углов  $\beta$  от размеров механизма

Последующим действием после определения положения ведомых звеньев механизма в кинематическом исследовании является вычисление их скоростей и ускорений. Несмотря на громоздкость вычислений, с которыми, однако, справляется ЭВМ, для пространственных приводных механизмов составляющие по осям координат линейных скорости и ускорения "ведомой точки"  $M$  являются результаты дифференцирования обобщённых координат:

$$\begin{aligned} V_x &= \dot{x}, V_y = \dot{y}, V_z = \dot{z} \\ a_x &= \ddot{x}, a_y = \ddot{y}, a_z = \ddot{z} \end{aligned} \quad (6)$$

Суммарные значения скорости и ускорения определяются известным образом:

$$V_M = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}; \quad (7)$$

$$a_M = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}. \quad (8)$$

В сферической системе координат угловые скорости и ускорения стойки ЗСУ также определяются в результате дифференцирования комплексных выражений для углов  $\alpha$  и  $\beta$ :

$$\begin{aligned} w_a &= \dot{\alpha}, w_b = \dot{\beta}, e_a = \ddot{\alpha}, e_b = \ddot{\beta}, \\ w &= \sqrt{w_a^2 + w_b^2}; e = \sqrt{e_a^2 + e_b^2}. \end{aligned} \quad (9)$$

Одним из основных параметров работы ППМ ЗСУ является его зона действия. Зона действия ППМ ЗСУ – пространство, в котором совершаются действия по перемещению ведомой точки  $M$ . Контур зоны действия и ее площадь (объем) полностью определяются кинематическими параметрами ППМ ЗСУ, такими как главная кинематическая цепь (число подвижных элементов и способов их сопряжения), а также величиной и соотношением длины ее элементов, установочных углов между ними и углов их относительного поворота.

Для понимания образования зоны действия ППМ ЗСУ необходимо учесть его кинематические особенности, а именно ограниченные кинематические возможности. Число степеней свободы  $W$  механизма равно количеству  $n_{B3}$  звеньев – гидроцилиндров или числу обобщенных координат  $q_i$ , функции которых несут координаты "вершины"  $M$  ( $x_M, y_M, z_M$ ), а также углы отклонения от вертикальности стойки ЗСУ ( $\alpha, \beta$ ), т.е.

$$W = n_{B3} = \sum_{i=1}^2 q_i = 0. \quad (10)$$

В любых геометрических значениях приводного механизма зона действия (предельная зона обслуживания) образуется при движении вершины  $M$  по периметру зоны. Символом  $M_n$  ( $n = 4$ ) обозначены вершины зоны, как плоского образования, при сочетании экстремальных значений длины  $l_1, l_2$  цилиндров в диапазоне от  $l$  до  $l+dl$ , где  $dl$  - ход штока (табл. 1).

Если вершина  $M$  перемещается только в продольной плоскости, что соответствует синхронному применению длины  $l_1$  и  $l_2$ , зона действия характеризуется площадью плоского образования с вершинами  $M_1...M_3$ . Здесь  $M_1$  – исходное положение механизма/вершины  $M$  ( $\alpha_1 = 0$ ), штоки всех гидроцилиндров выдвинуты на половину;  $M_2$  – крайнее положение «на себя» вершины  $M$  ( $\alpha_2 = -\alpha_{\max}$ ), штоки всех гидроцилиндров втянуты;  $M_3$  – крайнее положение «от себя» вершины  $M$  ( $\alpha_3 = \alpha_{\max}$ ), штоки гидроцилиндров выдвинуты. Для указанных положений вершины  $M$   $\beta = 0$ .

Если длина нижних гидроцилиндров  $l_1 \neq l_2$ , то стойка ЗСУ разворачивается как в продольной, так и в поперечной ( $\beta > 0$ ) плоскостях. Максимальному наклону стрелы в поперечной плоскости ( $\beta_5 = -\beta_4 = \beta_{\max}$ ) соответствуют сочетания 4 и 5 экстремальных значений длины цилиндров (табл. 1). В эти положения ( $M_4$  и  $M_5$ ) стойка может выйти из положений  $M_1, M_2$  или  $M_3$ . Весьма важно, что переход в  $M_4$  и в  $M_5$  сопровождается не только разворотом стойки в поперечной плоскости до  $\beta_{\max}$ , но и перемещением вершины  $M$  в продольной плоскости  $Oxz$  (рис. 5).

В конечном итоге зона действия пространственного приводного механизма ЗСУ, как плоское образование в плоскости  $Oxuz$ , получается при пересечении четырех сферических поверхностей с радиусами  $l$ , имеющих центры в точках  $A$  и  $B$  крепления гидроцилиндров на основании.

Построение зоны действия ППМ ЗСУ ( $a_1 = a_2 = a$ ) осуществлялось с учетом кинематического анализа (1 – 2). После определения положения

вершины  $M$  при различных размерах механизма и длине гидроцилиндров с использованием пакета прикладных программ *Mathcad* не составляет труда построить зону действия ППМ ЗСУ при тех же значениях варьирования конструктивных параметров механизма.

Некоторые результаты построения зоны действия ППМ ЗСУ – в виде симметричной половины по оси  $OY$  (в том виде, как выдает программа при расчетах), показаны на рисунке 6. Представленные здесь в качестве исходных данных размеры механизма соизмеримы с параметрами экспериментального образца ППМ ЗСУ. Варьирование значениями происходило в тех же пределах, что и при нахождении предельных углов  $\alpha$  и  $\beta$  (рис. 4 и 5).

Графическая интерпретация машинного решения показывает, в частности, что изменение размеров  $a$  и  $b$  при постоянстве размера  $c = 600$  мм, подтвердило значительное влияние на величину предельных углов отклонения  $\alpha$  и  $\beta$ , как выяснилось ранее (рис.4 и 5), но также влияние на форму зоны действия ППМ ЗСУ.

При технологическом процессе рубок ухода во время динамического удержания ЗСУ дерева в вертикальном положении необходимые углы отклонения ЗСУ с учетом габаритных характеристик несущего трактора находятся в пределах  $20^0$ , следовательно, необходимо выбрать график зоны действия ЗСУ не с максимальными значениями  $\alpha$  и  $\beta$ , а с более округлым контуром, максимально приближенным к форме сферы для более простого присчитывания траектории вершины  $M$  (рис.7, нижний слева).

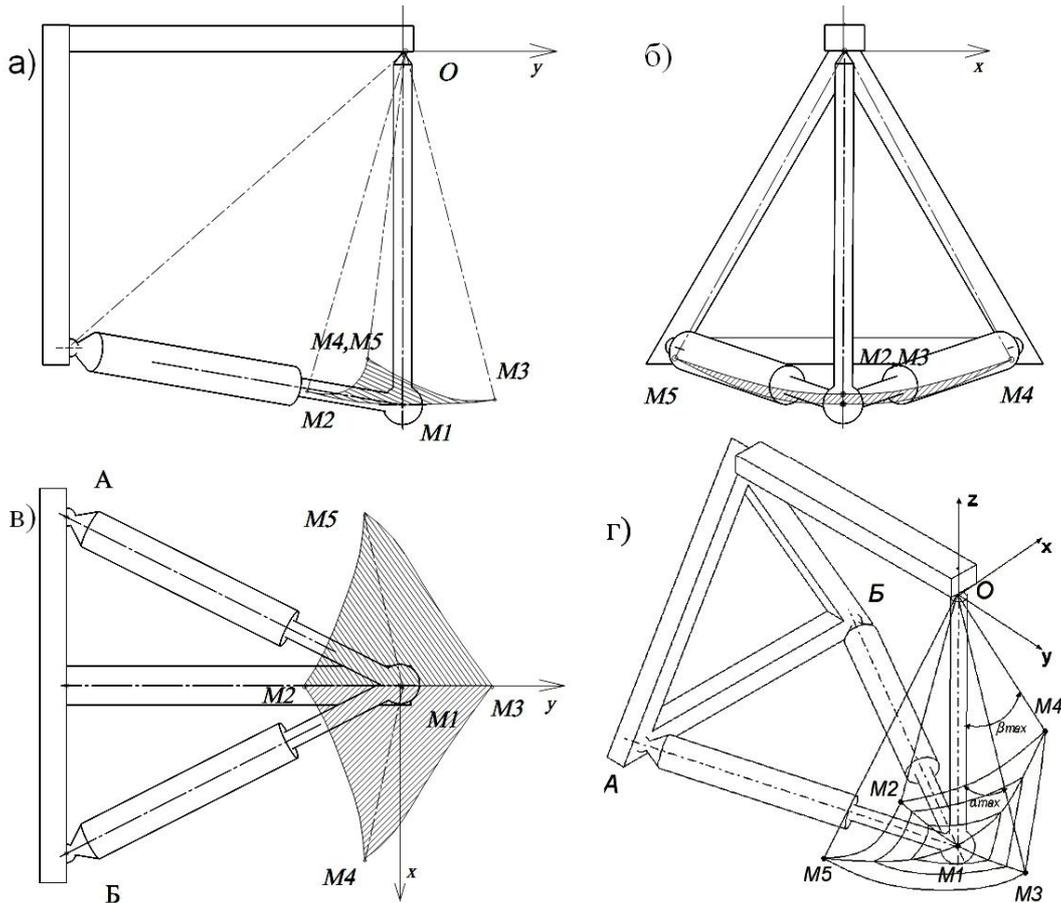


Рисунок 6 - Зона действия пространственного приводного механизма ЗСУ:

а) вид сбоку; б) вид спереди; в) вид снизу; г) в проекции

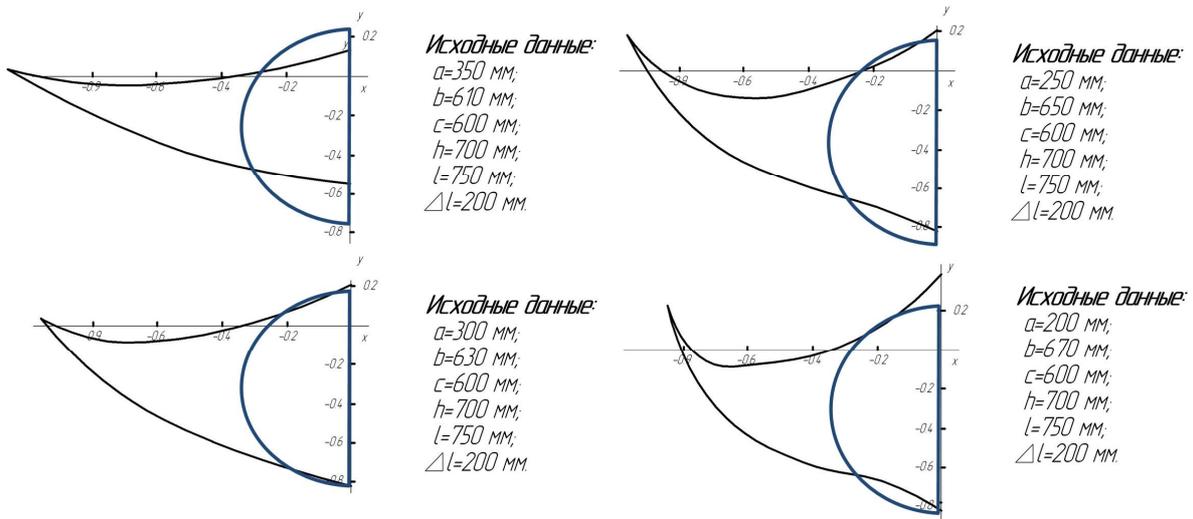


Рисунок 7 - Графическая интерпретация зоны действия пространственного приводного механизма

### **Выводы**

1. Использование колесных малогабаритных серийных тракторов позволяет не только механизировать и автоматизировать часть технологических операций прореживаний, но и существенно повысить эффективность эксплуатации техники лесными предприятиями за счет сокращения простоев техники на хранении из-за сезонности или небольших объемов работ, так как обеспечивается использование универсальных функционально-структурных элементов на различных работах.

2. Предложенные структурно-компоновочная схема валочно-пакетирующих машин и техническое решение ЗСУ позволяют реализовать принцип вертикального выноса срезанного дерева при рубках прореживания.

3. Теоретические исследования пространственного приводного механизма ЗСУ позволили построить зону действия ЗСУ и выбрать оптимальные геометрические параметры ЗСУ.

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение № 14.В37.21.2096.*

### **Список литературы**

1. Ширнин, Ю. А. Технология и оборудование малообъемных лесозаготовок и лесовосстановление [Текст] / Ю. А. Ширнин, Ф. В. Пошарников. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – 398 с.
2. Сидыганов, Ю.Н. Имитационное моделирование экологического ущерба лесной среде при несплошных рубках леса [Текст] / Ю. Н. Сидыганов, Е. М. Онучин, Д. М. Ласточкин // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии: Вып.190. СПб.: СПбЛТА. – 2010. – С. 124–134.
3. Жуков, А.В. К применению узкозахватных валочных машин [Текст]/ А.В. Жуков, И.П. Майко, М.К. Асмоловский.- М.: Лесная промышленность, 1990. – С. 12-13.