

УДК 630*36:621.7

С. А. Голякевич, аспирант (БГТУ);

А. Р. Гороновский, кандидат технических наук, доцент, проректор (БГТУ)

НАГРУЖЕННОСТЬ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ХАРВЕСТЕРА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

Работа посвящена исследованию нагруженности несущих систем харвестера на основе комплексного учета воздействующих факторов, эксплуатационных параметров манипуляторов и харвестерных головок, а также особенностей выполняемых операций. Представлены пространственная динамическая схема работы манипулятора харвестера и математическое описание к ней. Получены зависимости изменения опорных реакций манипулятора при выполнении технологических операций валки дерева и различных вариантов его протаскивания.

Work is devoted research of bearing systems of harvesters on the basis of the complex account of influencing factors, various operational parameters of manipulator and harvester heads, and also features of carried out operations. The spatial dynamic scheme of work the manipulator of harvester and the mathematical description to it is developed. Dependences of change of basic reactions the manipulator are received at performance of technological operations are shaky a tree and various variants of its dragging.

Введение. По состоянию на 1 ноября 2010 г. на лесозаготовках республики, в организациях Министерства лесного хозяйства (МЛХ) задействовано 34 специализированных харвестера. Большая часть из них – машины отечественного производства.

Анализ показал, что работа этих машин сопровождается большим количеством отказов, 15–20% которых составляют поломки несущих конструкций. Созданные на основе серийно выпускающихся дорожно-строительных и сельскохозяйственных тракторов, а также лесных погрузочно-транспортных машин, они не приспособлены к возникающим при работе харвестера режимам нагружения. Приемы работы, используемые операторами харвестеров, часто не рациональны с точки зрения нагруженности несущей конструкции.

Проблема обеспечения надежности харвестеров становится особенно актуальной ввиду наращивания объемов их внедрения в лесозаготовительное производство (до 2015 г. планируется закупка еще 55 харвестеров для рубок главного пользования и 29 для рубок ухода [1]).

Основная часть. Для описания нагрузочных режимов, возникающих при выполнении технологических операций, была составлена динамическая пространственная схема колебаний манипулятора харвестера (рис. 1). Она учитывает линейные и угловые колебания в 3 плоскостях и описывается 8 обобщенными координатами.

При ее разработке приняты следующие допущения: распределенные массы стрелы рукояти и платформы заменены сосредоточенными; возникающие угловые колебания считаются малыми; жесткости опор линейны.

На рис. 1 приняты следующие обозначения: m_0, m_1, m_2, m_3, m_4 – массы платформы манипу-

лятора, всего манипулятора, стрелы, рукояти и харвестерной головки; I_1 – главный момент инерции вращения манипулятора в продольной вертикальной плоскости; I_2, I_3 – моменты инерции вращения стрелы и рукояти с харвестерной головки манипулятора в продольной вертикальной плоскости относительно их крепления к поворотной платформе и стреле соответственно; I_4, I_5 – главные моменты инерции вращения манипулятора в поперечной вертикальной и горизонтальной плоскостях; $Z_1–Z_9$ – обобщенные координаты перемещения манипулятора в вертикальной плоскости, углов поворота манипулятора, его стрелы и рукояти в продольной вертикальной плоскости, углов поворота манипулятора в поперечной горизонтальной и вертикальной плоскостях, перемещения в продольной горизонтальной и поперечной горизонтальной плоскостях; c_1, c_{11}, c_2, c_{21} – вертикальные жесткости задних и передних опор манипулятора; c_3, c_4 – приведенная угловая жесткость конструкции стрелы и рукояти; c_5, c_{51}, c_6, c_{61} – продольные горизонтальные жесткости передних опор манипулятора и поперечные жесткости передних и задних опор манипулятора; $k_1–k_6, k_{11}, k_{21}, k_{51}, k_{61}$ – соответствующие жесткостям коэффициенты демпфирования; α, β, γ – углы поворота стрелы относительно поперечной горизонтальной плоскости, рукояти относительно поперечной вертикальной плоскости и манипулятора относительно продольной вертикальной плоскости; a – расстояние между осью вращения поворотной платформы стрелы и вертикальной плоскостью передних опор; b – расстояние от оси вращения поворотной платформы до продольной вертикальной плоскости опор; c – расстояние между передними и задними опорами; d – высота установки стрелы относительно опор.

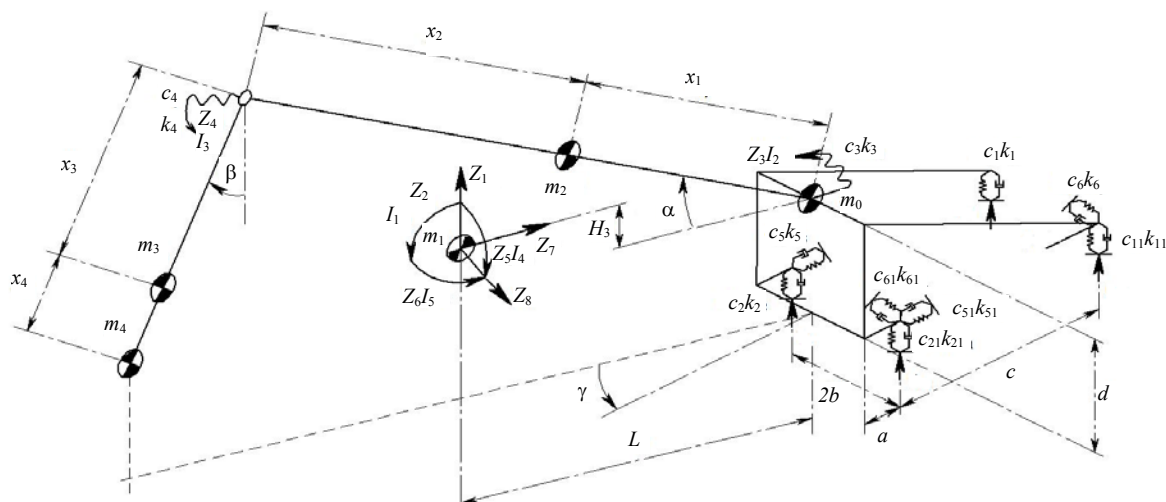


Рис. 1. Пространственная динамическая схема манипулятора харвестера

Математическое описание пространственной динамической схемы состоит из 8 дифференциальных уравнений 2-го порядка, составленных на основе уравнений Лагранжа 2-го рода, и зависимостей, задающих начальные параметры системы. Они описывают положения центров тяжести системы в зависимости от кинематического положения манипулятора в пространстве, определяют главные моменты инерции элементов манипулятора и моменты инерции относительно параллельных осей, проходящих через места крепления рукоятки к стреле и стрелы к платформе. Также функционально задаются изменения значений моментов инерции при различных положениях звеньев манипулятора в пространстве.

Решение математической модели и нахождение опорных реакций манипулятора производятся в программном пакете MathCAD 15.

Для определения усилий, действующих на несущую систему харвестера, рассмотрен ряд характерных нагрузочных режимов: отрыв дерева от пня при минимальном и максимальном предварительном натяге и обрезка сучьев с дерева путем его протаскивания в харвестерной головке.

Протаскивание дерева в харвестерной головке разделено на 3 периода: разгон – при движении ее в бессучковой зоне ствола, равномерное движение в сучковой зоне и торможение. Усилия, воздействующие на манипулятор при разгоне харвестерной головки, зависят от параметров самого дерева и от характеристик привода харвестерной головки.

В работах [2, 3] показано, что эффективные режимы работы харвестерной головки и ее привода при очистке от сучьев деревьев различного диаметра могут быть получены посредством применения критерия энергетического потенциала производительности (ЭПП). Харвестерная головка, привод которой разработан при учете функции ЭПП, имеет различ-

ную скорость протаскивания деревьев с различными параметрами (рис. 2). В этом случае скорость протаскивания деревьев с большим диаметром автоматически уменьшится согласно параметрам системы управления по нагрузке гидропривода харвестерной головки.

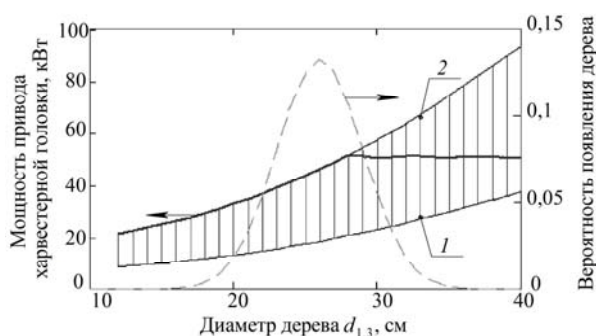


Рис. 2. Использование функции ЭПП для определения эффективной мощности привода харвестерной головки:
1 – скорость протаскивания 2 м/с;
2 – скорость протаскивания 5 м/с

Критерий энергетического потенциала производительности представляет собой отношение доли времени, затрачиваемого на технологическую операцию (в рассматриваемом случае – обрезку сучьев) от суммарного времени цикла, к мощности, требуемой для ее выполнения. В сравнении с производительностью работы, как оценкой эффективности использования операций, ЭПП имеет ряд особенностей, которые подробно рассмотрены в [2, 3]. Основой критерия являются исследования Ю. В. Гинзбурга, А. И. Шведа [4]. Критерий изменен и дополнен с учетом технологического цикла работы многооперационных лесозаготовительных машин.

Разгон харвестерной головки до заданной скорости сопровождается возникновением сил инерции поступательно движущегося дерева Φ и сил

сопротивления волочению кроны $F_{\text{вол}}$ (рис. 3). Соотношение этих сил зависит от таксационных параметров обрабатываемых деревьев, состояния поверхности волочения и заданных ускорений валцов харвестерной головки. Силы инерции дерева при разгоне изменяются в диапазоне от 1,26 кН для деревьев с $d_{1,3} = 12$ см, до 14,9 кН при $d_{1,3} = 32$ см. Значения начальных ускорений $a_{\text{прот}}$ при этом варьируются в диапазоне 20–50 м/с².

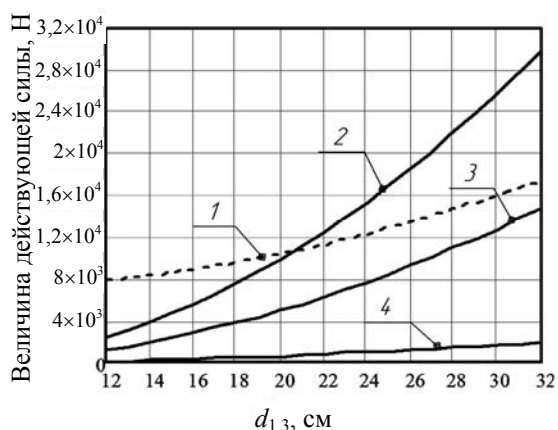


Рис. 3. Изменение усилий, действующих на систему «манипулятор – дерево» на операции очистки деревьев от сучьев:

- 1 – сила сопротивления резанию сучьев;
- 2 – сила инерции движущегося дерева ($a_{\text{прот}} = 40$ м/с²);
- 3 – сила инерции движущегося дерева ($a_{\text{прот}} = 20$ м/с²);
- 4 – сила сопротивления волочению кроны

Значительные величины ускорений при разгоне харвестерной головки обусловлены необходимостью достижения рабочих скоростей протаскивания еще в бессучковой зоне ствола дерева, протяженность которой различна для деревьев разного породного и возрастного состава. Суммарная поперечная сила, действующая на рукоять манипулятора, достигает величины 31,7 кН при $d_{1,3} = 32$ см.

При движении харвестерной головки в сучковой зоне дерева значительное влияние на нагруженность манипулятора оказывают усилия сопротивления резанию сучьев. Их величина (рис. 3) рассчитывается по известным формулам [5] и в зависимости от параметров деревьев варьируется в диапазоне от 7,8 кН до 17,5 кН. Сила сопротивления резанию сучьев направлена в сторону, противоположную силе инерции разгоняемого дерева, поэтому в случае разгона дерева в сучковой зоне поперечные усилия, действующие на рукоять манипулятора, не превышают разности этих сил.

Наибольшие поперечные силы, действующие на манипулятор, возникают в случае его торможения в сучковой зоне ствола, что объясняется сонаправленностью сил инерции останавливаемого дерева и сил сопротивления резанию сучьев. Величины замедлений валцов

современных харвестерных головок находится в диапазоне 50–70 м/с², что приводит к возникновению суммарных поперечных сил, действующих на рукоять манипулятора величиной до 68,5 кН. Указанная величина замедления необходима для точной остановки харвестерной головки в пределах пиловочного окна.

Для снижения рассмотренных усилий рядом зарубежных производителей харвестерных головок (Ponsse, AFM, Waratah и др.) реализована возможность двухэтапного торможения харвестерной головки. Однако при таком подходе сомнительным оказывается положительное влияние на производительность высоких скоростей протаскивания (3–5 м/с), в особенности для деревьев с большим объемом ствола.

Квалифицированные операторы часто совмещают протаскивание дерева в харвестерной головке с ее надвиганием на дерево при помощи манипулятора. Влияние такого совмещения на эффективность привода технологического оборудования рассмотрено в статьях [2, 3], однако вопросы нагруженности несущей конструкции харвестера при таком совмещении в настоящее время исследованы недостаточно.

С помощью разработанного математического описания были получены теоретические значения опорных реакций манипулятора.

При отрыве дерева от пня с минимальным предварительным натягом, значения величин вертикальных опорных реакций распределены, как показано на рис. 4. В качестве расчетного случая приняты: сосна 2-го класса бонитета (наиболее распространена в Республике Беларусь) с $d_{1,3} = 32$ см, манипулятор KESLA 1395h с максимальным вылетом 9,5 м и грузоподъемностью на нем – 1040 кг.

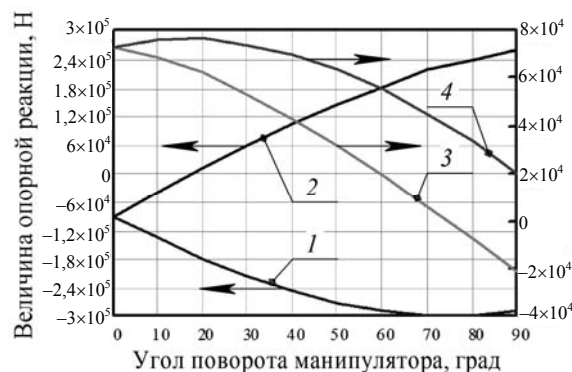


Рис. 4. Распределение вертикальных опорных реакций манипулятора, при отрыве дерева от пня с минимальным предварительным натягом

- 1 – левая опора платформы; 2 – правая опора платформы; 3 – левый гидроцилиндр;
- 4 – правый гидроцилиндр

Сравнивая величины опорных реакций при отрыве дерева от пня с аналогичными при про-

таскивания дерева (рис. 5), следует отметить возникающее при такой операции качественное и количественное перераспределение опорных реакций. Максимальные усилия на опорах платформы манипулятора возникают при выполнении технологической операции обрезки сучьев на вылете манипулятора, равном 82% от максимального. Значения опорных реакций при этом возрастают на величину до 37 кН.

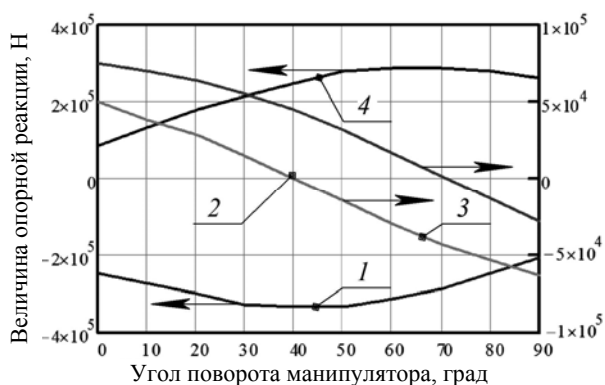


Рис. 5. Распределение вертикальных опорных реакций манипулятора при протаскивании дерева в харвестерной головке (вылет 8,6 м $a_{\text{прот}} = 40 \text{ м/с}^2$): 1 – левая опора платформы; 2 – правая опора платформы; 3 – левый гидроцилиндр; 4 – правый гидроцилиндр

Динамическая составляющая опорных реакций манипулятора изменяется при повороте его в горизонтальной плоскости. Коэффициенты динамичности при этом изменяются в диапазоне от 1,13 до 1,36 (рис. 6). Большие коэффициенты динамичности опорных реакций платформы манипулятора соответствуют меньшим углам его поворота.

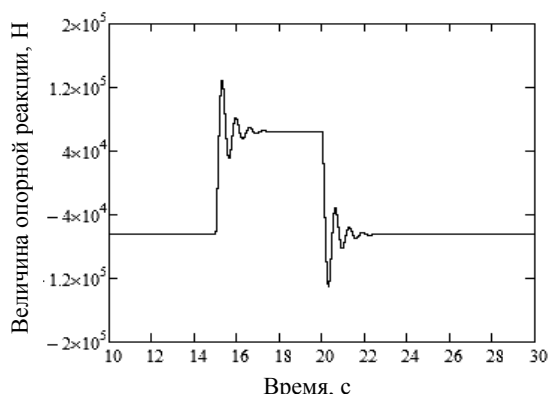


Рис. 6. Значения вертикальной опорной реакции платформы манипулятора, при протаскивании дерева с $d_{1,3} = 32 \text{ см}$ ($a_{\text{прот}} = 40 \text{ м/с}^2$, $\gamma = 0^\circ$)

Использование совмещения операций в некоторых случаях позволяет снижать нагруженность опор манипулятора. К примеру, при обработке дерева с $d_{1,3} = 32 \text{ см}$ и вылете манипулятора

8,6 м опорные реакции платформы манипулятора могут быть уменьшены на величину до 52,8 кН. Рекомендации по эффективному использованию совмещения операций требуют более детального анализа возникающих при этом нагрузочных режимов и будут рассмотрены позднее.

Заключение. Собранные и обработанные статистические данные о работе и отказах харвестеров отечественного производства в организациях МЛХ позволили установить, что на долю поломок их несущих конструкций приходится от 15 до 20% общего количества отказов и составляет от 35 до 40% времени простоев харвестеров.

Разработанная пространственная динамическая схема работы манипулятора харвестера позволила оценить распределение его опорных реакций на различных технологических операциях. Установлено, что на операции протаскивания деревьев суммарные опорные реакции на опорах манипулятора могут достигать 332 кН, что до 37 кН больше, чем на операциях отрыва от пня дерева того же объема на максимальном вылете.

Полученные результаты позволяют утверждать, что значения максимальных опорных реакций рассмотренного манипулятора достигаются на вылете, меньше максимального на 18%. Углы установки манипулятора в горизонтальной плоскости, на которых достигаются максимальные значения реакций опор платформы, составляют 43° (левой) и 67° (правой) и зависят от геометрических параметров опорной конструкции манипулятора. Коэффициенты динамичности опорных реакций платформы изменяются при повороте манипулятора и лежат в пределах 1,13–1,36.

Литература

1. Программа развития и технического перевооружения лесозаготовительного производства на 2011–2015 годы / Министерство лесного хозяйства Респ. Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.mlh.by/ru/official/docs.html. – Дата доступа: 16.02.2011.
2. Выбор параметров привода технологического оборудования харвестеров / А. Р. Гороновский, С. А. Голякевич // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2010. – Вып. XVIII.
3. Гороновский, А. Р. Применение энергетического потенциала производительности при оценке эффективности работы лесозаготовительных машин / А. Р. Гороновский, С. А. Голякевич // Устойчивое управление лесами и рациональное лесопользование. – Минск: БГТУ, 2010.
4. Гинзбург, Ю. В. Промышленные тракторы / Ю. В. Гинзбург, А. И. Швед, А. П. Парфенов. – М.: Машиностроение, 1986.
5. Машины и оборудование для лесосечных работ / Шелгунов Ю. В. [и др.]. – М.: МЛТИ, 1989.

Поступила 02.03.2011