

УДК:630\*36

**С. П. Мохов**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой, доцент (БГТУ);  
**С. Е. Арико**, аспирант (БГТУ)

### **ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ВАЛОЧНО-СУЧКОРЕЗНО-РАСКРЯЖЕВОЧНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ РУБОК ПРОМЕЖУТОЧНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ**

Работа посвящена изучению влияния жесткосных и массово-габаритных параметров технологического оборудования и базового шасси харвестера, предназначенного для осуществления рубок промежуточного пользования, на основе реализации разработанной математической модели с учетом тенденций развития лесозаготовительных машин, их узлов и агрегатов. По результатам исследований даны рекомендации.

Work is devoted influence studying ruggedness and in large quantities-dimensional parameters of the process equipment and the base chassis harvesters, intended for realization of cabins of intermediate using, on the basis of realization of the developed mathematical model taking into account development tendencies лесозаготовительных cars, its knots and units. By results of researches recommendations about their choice are made.

**Введение.** Для многих конструкций лесных машин, а также отдельных ее узлов и агрегатов, работающих в условиях статического напряжения и невысоких скоростей, динамические расчеты выполняются как проверочные, дополняющие статический анализ и расчеты на устойчивость. В рабочем цикле валочно-сучкорезно-раскряжевочных машин (харвестеров) возникают нагрузки, достаточно интенсивно изменяющиеся во времени, в связи с чем исследования динамики являются неотъемлемой частью процесса создания лесной машины. Особенно это касается лесозаготовительной техники, осуществляющей валку деревьев и последующую их обработку, ввиду разгона и остановки исполнительных механизмов и органов, когда возникают переходные процессы, характеризующиеся значительным ростом динамических нагрузок и напряжений в конструкции. Кроме этого, возникающие возмущения могут приводить к появлению критических режимов работы и потери устойчивости, которая является основополагающим фактором при оценке безопасности и работоспособности конструкции лесозаготовительной машины.

Исследование динамики харвестера сводится к двум основным типам проблем:

- анализ нестационарных переходных процессов в конструкции при сравнительно кратковременном воздействии нагрузок;
- исследование динамической реакции конструкции.

**1. Оценка параметров валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины для рубок промежуточного пользования на основе динамических расчетов.** С позиции обеспечения работоспособности конечная цель динамических расчетов – анализ поведения конструкции харвестера и синтез его параметров, при которых минимизируются или ограничиваются последствия динамических воздействий. Здесь можно

выделить следующие основные задачи обеспечения работоспособности конструкций в условиях динамического нагружения:

- обеспечение устойчивых режимов работы машин и конструкций при динамических воздействиях за счет устранения пиковых нагрузок от нестационарных и ударных воздействий, которые могут привести к разрушению элементов конструкции либо опрокидыванию лесной машины;

- снижение амплитуды циклов нагружений с целью обеспечения ресурса по усталостной прочности. Это актуально при расчете отдельных узлов и агрегатов, имеющих различные концентраторы напряжений (полурамы, места крепления технологического оборудования, валы, оси, сварные и другие конструкции);

- ограничение амплитуд колебаний и ускорений в заданном диапазоне частот – виброзащита. Данная задача возникает преимущественно при проектировании систем машина – оператор с целью обеспечения эргономических условий работы человека.

С учетом вышесказанного оценка параметров базового шасси и устанавливаемого технологического оборудования производилась на основе разработанной динамической модели взаимодействия валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины с предметом труда [1]. При этом, ввиду наибольшего нагружения элементов конструкции, рассматривался процесс отрыва и последующего удержания дерева в вертикальном положении с учетом осуществления его предварительного натяга и спиливания за один проход.

При проведении теоретических исследований применялся метод непосредственного (прямого) интегрирования уравнения, когда на каждом шаге по времени определяется изменение линейных и угловых скоростей элементов динамической системы. Достоверность полу-

чаемых результатов подтверждают данные проведенных испытаний опытного образца валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины МЛХ-414 в условиях испытательной базы РУП «МТЗ» и природно-производственных условиях ГЛХУ «Минский лесхоз» при проведении рубок промежуточного пользования [2].

Выбор и оценка параметров технологического оборудования и базового шасси валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины производились исходя из особенностей предмета труда, условий эксплуатации и требований к технологии проведения рубок промежуточного пользования, а также анализа существующих конструкций [3].

При рассмотрении конструктивных и технических особенностей харвестерных головок различных производителей [4, 5] было установлено, что для обеспечения их функциональных возможностей ширина раскрытия зажимных рычагов должна превышать максимальный диаметр обрабатываемого дерева на 15–20 см. Данное обстоятельство уменьшает повреждение обрабатываемого древостоя, а также увеличивает производительность лесозаготовительной машины ввиду снижения затрат времени на наведение захватно-срезающего устройства (ЗСУ) на дерево.

Проведенный обзор конструкций позволил установить закономерность изменения веса обрабатываемой харвестерной головки от параметров древостоя. Эксплуатационная масса лучших из них соответствует или меньше определенной по формуле

$$m_{х.г} = 379,51 \cdot e^{0,0227 \cdot d},$$

где  $m_{х.г}$  – эксплуатационная масса харвестерной головки с ротатором, кг;  $d$  – диаметр на высоте 1,3 м, см.

Параметры древостоя, характерного для проведения рубок ухода в лесах первой категории и промежуточных рубок в эксплуатационных лесах, изменяются в значительном диапазоне. При проведении прочистки и прореживания объем хлыста не превышает  $0,1 \text{ м}^3$ , при проходной и выборочной санитарной рубках в лесах второй категории может достигать  $0,32 \text{ м}^3$ . При этом диаметр древостоя изменяется от 5 до 20 см.

С учетом приведенных данных харвестерная головка, предназначенная для проведения рубок промежуточного пользования, имеет эксплуатационную массу 530–600 кг.

Анализ существующих конструкций технологического оборудования харвестеров позволил получить зависимости изменения массы манипулятора ( $m_m$ , т) от реализуемой им грузо-

подъемности ( $T$ , кН) и конструктивного исполнения (рис. 1). При этом рассматривались три типоразмерных ряда, отличающихся максимальным вылетом манипулятора.

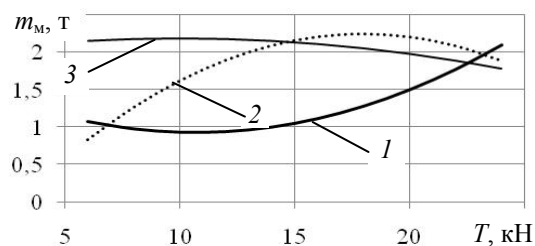


Рис. 1. Схема проведения исследований:

1 – вылет 5,5–7,5 м; 2 – вылет 7,5–9,5 м;  
3 – вылет 9,5–11,5 м

Полученные данные нашли применение при реализации математической модели, на основе которой проводится выбор компоновочных параметров гидроманипулятора и базового шасси. При этом следует учитывать тот факт, что отношение длины стрелы к рукояти для манипуляторов харвестерных и других валочных машин составляет 1,3 [6]. Немаловажным является тот факт, что в соответствии с правилами рубок [3] площадь трелевочных волоков и погрузочной площадки не должна превышать 20% площади отведенной лесосеки, что ограничивает ширину базового шасси, значение которой не может превышать 40% от максимального вылета манипулятора.

Для обеспечения эффективной работы валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины на рубках промежуточного пользования лесная машина должна обеспечивать возможность создания предварительного натяга, в 1,5–2 раза превышающего вес обрабатываемого дерева, что позволит осуществить пропил за один проход пильной шины. В связи с этим грузоподъемность манипулятора должна составлять 12 кН, так как вес дерева объемом  $0,32 \text{ м}^3$  достигает 3 кН.

На рис. 2 представлены зависимости изменения ширины лесозаготовительной машины от максимального вылета установленного на ней манипулятора с учетом изменения весовых параметров данного технологического оборудования исходя из необходимости обеспечения поперечной устойчивости лесозаготовительной машины при обработке характерного древостоя.

Анализ полученной зависимости показывает, что при установке технологического оборудования с вылетом в диапазоне от 5,5 до 11,5 м устойчивость базового шасси будет обеспечиваться за счет увеличения базы лесной машины, которая не превысит 4 м, а общая площадь технологических коридоров будет соответствовать рекомендациям и требованиям по проведению рубок.

Однако с точки зрения уменьшения повреждения древостоя, а также уменьшения воздействия движителя на почву более целесообразным является применение манипуляторов с вылетом до 7,5 м. В этом случае машина будет обладать улучшенными маневренными свойствами, что является актуальным для проведения рубок ухода в связи с необходимостью работы под пологом леса. Также возможно уменьшение удельного давления на грунт за счет уширения базы и уменьшения массы не только технологического оборудования, но и базового шасси.

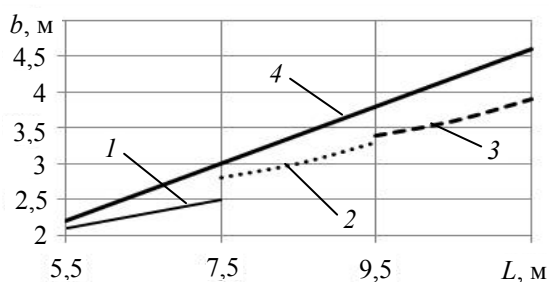


Рис. 2. Изменение ширины харвестера от вылета манипулятора:

- 1 – исполнение с вылетом 5,5–7,5 м;  
2 – исполнение с вылетом 7,5–9,5 м;  
3 – исполнение с вылетом 9,5–11,5 м; 4 –  $b = 0,4L$

Для возможности установки на валочно-сучкорезно-раскряжевочных машинах шин различной жесткости по динамической модели работы харвестера были проведены исследования, позволившие установить, что с увеличением их жесткости отрыв колес технологического модуля возникает на меньшем вылете, что приводит к уменьшению устойчивости технологического модуля (рис. 3).

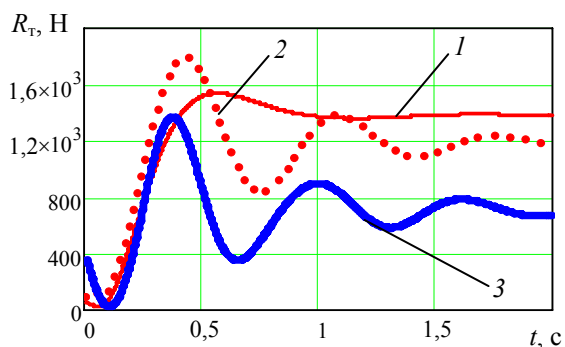


Рис. 3. Изменение реакции под колесом разгружаемого борта технологического модуля:

- 1 – жесткость 500 кН/м, вылет 6,02 м;  
2 – жесткость 1500 кН/м, вылет 5,22 м;  
3 – жесткость 2500 кН/м, вылет 4,89 м

В случае значительного снижения жесткости, при установке шин низкого давления – порядка 500 кН, происходит более равномерное

перераспределение нагрузки между колесами технологического и энергетического модуля и бортами лесозаготовительной машины. При этом, несмотря на повышение устойчивости технологического модуля, устойчивость машины снижается.

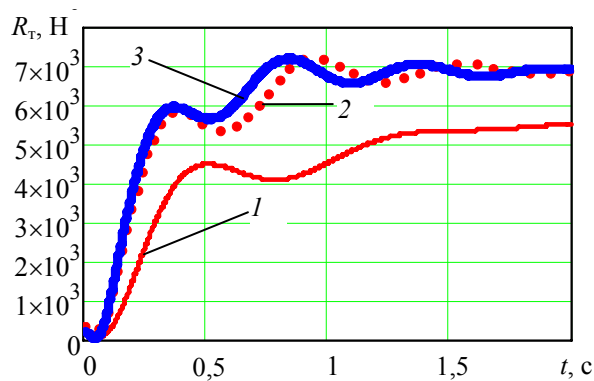


Рис. 4. Изменение реакции под колесом разгружаемого борта энергетического модуля:

- 1 – жесткость 500 кН/м, вылет 7,84 м;  
2 – жесткость 1500 кН/м, вылет 7,98 м;  
3 – жесткость 2500 кН/м, вылет 8,04 м

При рассмотрении технологических возможностей работы валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины, оснащенной гироманипулятором с вылетом в 9,5 м, с удержанием дерева объемом 0,32 м<sup>3</sup> (рис. 5), установлено, что применение шин низкого давления нецелесообразно ввиду невозможности обработки характерного древостоя и опрокидывания машины.

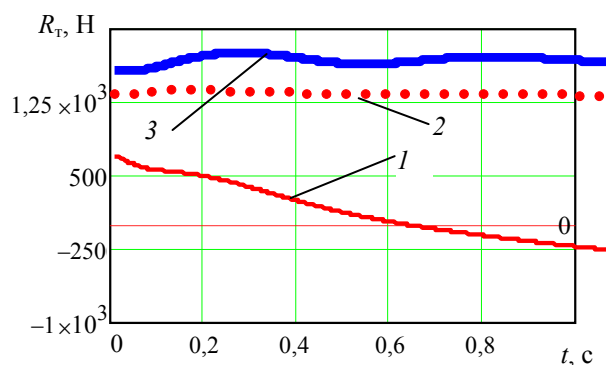


Рис. 5. Изменение реакции под колесом разгружаемого борта энергетического модуля:

- 1 – жесткость 500 кН/м; 2 – жесткость 1500 кН/м;  
3 – жесткость 2500 кН/м

Применение шин с жесткостью 2500 кН/м также приводит к увеличению запаса по грузоподъемности на 100 Н, или 3,0%, однако и к удорожанию при этом стоимости лесозаготовительной машины. В настоящий момент наибольшее распространение получили харвестеры с колесами, обеспечивающими жесткость в диапазоне 1000–1500 кН/м. Установка данных шин

на лесозаготовительную машину позволит реализовать грузоподъемность в пределах 3170–3000 кН на максимальном вылете манипулятора.

Безопасность работы оператора и обеспечение эксплуатационных свойств во многом зависят от работоспособности шарнира соединения полурам. Исследования влияния жесткости шарнира показали (рис. 6), что его значение должно быть выше 1500 кН/м, так как последующее уменьшение приводит к значительному снижению устойчивости технологического модуля и работоспособности узла.

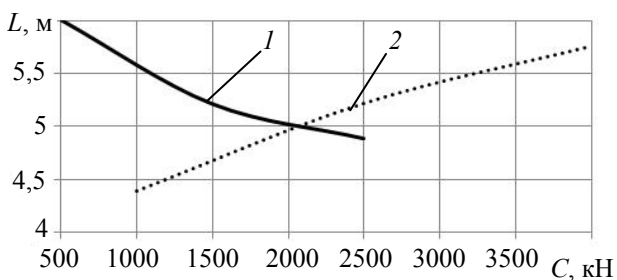


Рис. 6. Изменение критического вылета манипулятора от жесткости шин и шарнира сочленения полурам по условию отрыва колеса технологического модуля:  
1 –  $C_{\text{шин}}$ , кН/м; 2 –  $C_{\text{шар}}$ , кН/м

В целом при рассмотрении влияния жестких свойств на эксплуатационные показатели лесозаготовительной манипуляторной машины установлено, что неправильный их выбор может значительно снизить эргономические показатели харвестера и его устойчивость.

**Заключение.** При рассмотрении этапов создания новых машин для лесной промышленности [8] следует отметить, что первых два из них включают ряд исследований, направленных на изучение тенденций развития техники и технологии, поиск рациональных принципов работы машины и технических решений по улучшению технико-эксплуатационных свойств лесной машины, отдельных параметров и характеристик технологического оборудования, базового шасси, узлов и агрегатов.

Проведенные исследования отражают некоторые особенности конструкции технологического оборудования, заключающиеся в применении на валочно-сучкорезно-раскряжевочных машинах гидроманипуляторов, имеющих низкую, неярко выраженную колонну. Данное технологическое оборудование для обеспечения удобства управления и эффективности работы должно иметь соотношение между длинами

стрелы и рукояти 1,3 : 1. При этом в зависимости от максимального их вылета и грузоподъемности установлены закономерности изменения массовых параметров данного технологического оборудования, выпускаемого в настоящий момент ведущими производителями.

При этом после рассмотрения характерного древостоя для рубок ухода было установлено, что харвестер может быть оснащен харвестерной головкой весом 530–600 кг, в связи с чем лесная машина должна обеспечивать грузоподъемность в 9–12 кН на максимальном вылете манипулятора.

С точки зрения обеспечения наилучших эксплуатационных свойств харвестер должен комплектоваться шинами высокого давления с жесткостью не менее 1 000 кН/м и иметь надежный и работоспособный шарнир сочленения полурам.

### Литература

1. Арико, С. Е. Математическая модель работы харвестера 4К4 / С. Е. Арико // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2010. – Вып. XVIII.
2. Оценка результатов производственных испытаний валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины 4К4 / С. П. Мохов [и др.] // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2010. – Вып. XVIII.
3. Правила рубок леса в Республике Беларусь ТКП 143-2008 (02080). – Введ. постановлением М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь 30.09.2008. – Минск, 2008.
4. Обоснование параметров технологического оборудования харвестера 4К4 для рубок ухода / С. П. Мохов [и др.] // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI.
5. Зарубежные машины и оборудование для лесозаготовок и лесовосстановления: учеб. пособие для вузов по направлению 250400 (656300) Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств по специальности 250401 (260100) Лесоинженерное дело / В. Д. Валяжонков [и др.]. – М.: МГУЛ, 2006.
6. Герасимов, Ю. Ю. Повышение качества и надежности манипуляторов лесных машин: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.01 / Ю. Ю. Герасимов; Воронеж. гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 1995.
7. Жуков, А. В. Теория лесных машин: учеб. пособие для студентов вузов / А. В. Жуков. – Минск: БГТУ, 2001.

Поступила 14.03.2011