

УДК 631.34

**М.В. Драпалюк, В.С. Полев**

Драпалюк Михаил Валентинович родился в 1975 г., окончил в 1997 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой механизации лесного хозяйства и проектирования машин ВГЛТА. Имеет 90 печатных работ в области механизации лесного хозяйства.  
E-mail: Michael1@yandex.ru



Полев Виктор Сергеевич родился в 1986 г., окончил в 2008 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, аспирант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ВГЛТА. Имеет 3 печатные работы в области механизации лесного хозяйства.  
E-mail: PSV2108@yandex.ru



## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РУБЯЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЦЕПНОГО КУСТОРЕЗА**

Разработана математическая модель цепного кустореза новой конструкции с рубящими элементами. Она охватывает основные конструктивные особенности кустореза, воспроизводит основные процессы, протекающие при работе механизма, и предоставляет широкие возможности для оптимизации его параметров.

*Ключевые слова:* кусторез, осветлитель, модель, рубящий орган, цепь, предохранительное устройство.

При уходе за лесными культурами возникает необходимость удалять кустарниковую растительность вокруг молодых деревьев. С технической точки зрения это сложная задача по ряду причин. Гибкие ветви кустов отклоняются при срезании, что затрудняет качество процесса. Кроме того, на лесных участках встречаются пни, камни и другие объекты, при ударах о них возможны поломки рубящих органов, поэтому последние должны иметь некоторую податливость.

В существующих кусторезах, в частности осветлителе цепном ОЦ-2,3, в качестве рубящих органов применяют обычные цепи. Кусторезы такого типа обладают высокой энергоемкостью, так как цепь ударяет по ветвям и ломает их, не перерезая. А применение ненадежной конструкции предохранительного устройства ведет к поломкам рабочих органов и приводов машин.

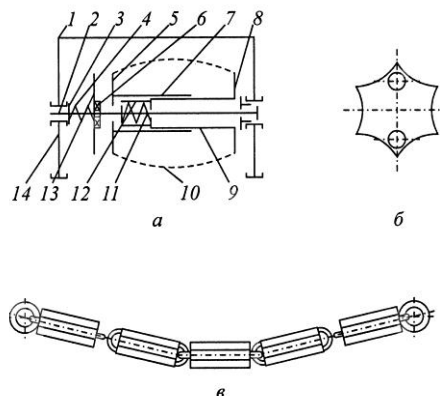
Разработанная нами конструкция кустореза решает задачу повышения эффективности работы устройства [2]. Для этого в кусторезе, включающем раму, опоры и узлы крепления приводного гибкого рубящего элемента, последние выполнены в виде ножей, имеющих шесть режущих дугообразных кромок, соединенных скобами, образующими гибкую связь. Рабочий орган состоит из двух подпружиненных между собой частей, одна из которых по-

движна в подшипнике вдоль оси вала и ведущего диска, выполненного на шлицевом соединении приводного вала и поджатого пружиной (рис. 1).

Для теоретического исследования работоспособности предлагаемой машины и определения ее оптимальных конструктивных и эксплуатационных параметров разработана математическая модель на основе методов классической динамики [4, 5]. Кусторез представлен как совокупность отдельных абсолютно твердых тел, совершающих поступательное и вращательное движение в трехмерном пространстве и взаимодействующих в определенных контактных точках. С учетом принципа его работы модель должна описывать эволюцию трех отдельных подсистем: раскручивания цепей (привод, барабан кустореза, предохранительное устройство); рубящих цепей; кустов на лесном участке.

Подсистема раскручивания цепей в модели представляется несколько упрощенно, тремя телами (рис. 2, а), вращающимися соосно и взаимодействующими вязкоупругими силами или силами трения. Тело  $D$  имитирует систему привода машины,  $F$  – ведущая полумуфта фрикционного устрой-

Рис. 1. Принципиальная схема кустореза новой конструкции (а), сечение рубящего элемента (б) и цепной рубящий рабочий орган (в): 1 – рама; 2 – приводной вал; 3 – регулировочная гайка; 4 – пружина; 5, 8 – подвижный и неподвижный диски; 6 – упорный подшипник; 7, 9 – подвижная и неподвижная части устройства натяжения цепи; 10 – гибкие рубящие элементы; 11 – растягивающая пружина; 12 – предохранительные штифты; 13 – ведущий диск; 14 – опорные устройства



ства,

$B$  – барабан натяжения цепи. Каждое тело вращается с собственной угловой скоростью ( $\omega_D, \omega_F, \omega_B$ ). Их инерционные свойства задаются моментами инерции  $J_F, J_B$ . В целях учета динамической податливости механизма считается, что тела  $D$  и  $F$  взаимодействуют вязкоупругими силами с угловой жесткостью  $C_{DF}$  и коэффициентом углового демпфирования  $\beta_{DF}$ .

Вращение кустореза создается вращательным движением тела  $D$ , имитирующим привод машины (например, через вал отбора мощности или гидромотор). Учитывается, что при возникновении нагрузки на приводе снижается частота его вращения (принят пропорциональный закон снижения):

$$\omega_D = \omega_0 (1 + k_D M_{DF}),$$

где  $\omega_0$  – угловая скорость вращения вала на холостых оборотах;

$k_D$  – коэффициент пропорциональности;

$M_{DF}$  – момент, с которым тело  $F$  действует на тело  $D$ . Как правило, он

принимает отрицательные значения, поэтому с приложением нагрузки частота вращения линейно снижается.

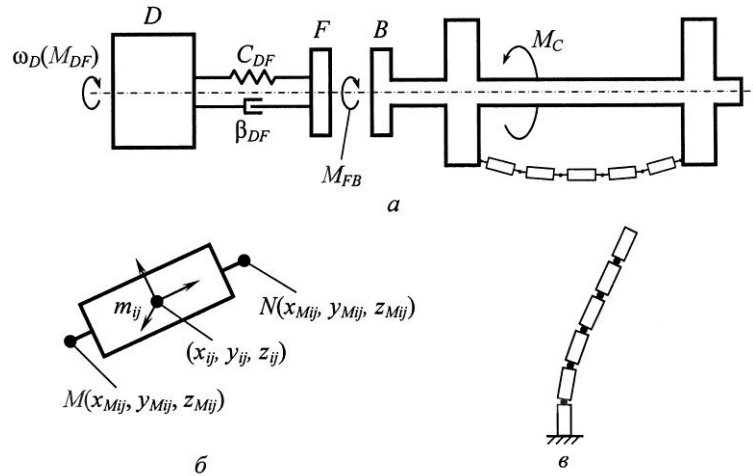


Рис. 2. Расчетные динамические схемы подсистем раскручивания цепей (а), рубящего элемента (б), отдельной ветви (в) иствующими со стороны привода  $M_{DF}$ , и моментом сил сцепления в фрикционном устройстве  $M_{FB}$ . В соответствии с основным законом динамики вращательного движения запишем следующее уравнение:

$$J_F \frac{d^2 \varphi_F}{dt^2} = M_{FB} - M_{DF},$$

где  $\varphi_F$  – угловая координата ведущей полумуфты;  
 $t$  – время.

Аналогичным образом записывается уравнение движения тела  $B$ :

$$J_B \frac{d^2 \varphi_B}{dt^2} = M_C - M_{FB},$$

где  $\varphi_B$  – угловая координата барабана машины;  
 $M_C$  – момент сопротивления вращению барабана, обусловленный взаимодействием с удаляемыми кустами.

Вязкоупругое угловое взаимодействие тел описывается общепринятым способом:

$$M_{DF} = C_{DF}(\varphi_D - \varphi_F) + \beta_{DF}(\omega_D - \omega_F),$$

где  $\varphi_D$  – угловая координата вала двигателя.

Момент трения в фрикционном устройстве  $M_{DF}$  зависит от момента между телами  $D$  и  $F$  и относительной скорости их вращения. Соотношение этих параметров определяет два варианта трения: покоя и вращения, что учитывается в модели.

Рубящая цепь представляется в виде совокупности пяти рубящих элементов, каждый из которых является твердым телом цилиндрической формы. Положение элемента в пространстве задается декартовыми и угловыми координатами  $(x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}, \varphi_{xij}, \varphi_{yij}, \varphi_{zij})$ , где  $i$  – номер цепи,  $j$  – номер эле-

мента (рис. 2, б). Элементы взаимодействуют друг с другом в контактных точках  $M$  и  $N$ , причем точка  $M$ , принадлежащая  $j$ -му элементу, находится в контакте с точкой  $N$ , принадлежащей соседнему  $(j + 1)$ -му элементу. Кроме того, крайние элементы цепи взаимодействуют с точками ее крепления. Взаимодействие в контактных точках считается вязкоупругим с коэффициентом жесткости  $k$  и коэффициентом демпфирования  $\gamma$ :

$$F_{xij} = k(x_{Mij} - x_{Ni(j+1)}) + \gamma(v_{xMij} - v_{xNi(j+1)});$$

$$F_{yij} = k(y_{Mij} - y_{Ni(j+1)}) + \gamma(v_{yMij} - v_{yNi(j+1)});$$

$$F_{zij} = k(z_{Mij} - z_{Ni(j+1)}) + \gamma(v_{zMij} - v_{zNi(j+1)}),$$

где

$F_{xij}$ ,  $F_{yij}$ ,  $F_{zij}$  – силы, возникающие в контактных точках и приводящие в движение элемент  $ij$ ;

$x_{Mij}$ ,  $u_{Mij}$ ,  $z_{Mij}$  и  $x_{Nij}$ ,  $u_{Nij}$ ,  $z_{Nij}$  – декартовы координаты контактных точек  $M$  и  $N$  рубящего элемента  $ij$ ;

$v_{xMij}$ ,  $v_{yMij}$ ,  $v_{zMij}$  и  $v_{xNij}$ ,  $v_{yNij}$ ,  $v_{zNij}$  – составляющие абсолютных скоростей контактных точек.

Для определения максимальной эффективности работы кустореза цепей в модели можно менять от двух до шести.

Кусты в модели рассматриваются как совокупность большого количества отдельных ветвей, распределенных по горизонтальной плоскости  $XOY$ . При моделировании срезания каждая ветвь в рамках метода конечных элементов представлена суммой отдельных элементов длиной 7 см (рис. 2, в), первоначально соединенных упругими связями. Если при контакте с рубящими элементами какой-либо элемент удаляется от соседних на критическое расстояние, считается, что связь разорвана и ветвь срублена.

Итак, кусторез описывается системой дифференциальных и алгебраических уравнений, численное интегрирование которой осуществляется методом Эйлера [3]. Для удобства теоретического исследования кустореза составлена компьютерная программа на языке Object Pascal в интегрированной среде программирования Borland Delphi 7, позволяющая задавать параметры механизма и технологического процесса и выводить такие выходные характеристики, как траектории движения рубящих элементов и ветвей, средняя пиковая сила удара рубящего элемента о ветвь, средняя мощность, затрачиваемая приводом механизма.

При раскручивании рубящая цепь (между ударами о ветви) запасает кинетическую энергию, которая высвобождается в момент удара и превращается в энергию разрушения ветви. При этом модель позволяет проследить эволюцию ветви (срезается или просто отклоняется) и подобрать параметры механизма, обеспечивающие надежное срезание [1].

Таким образом, разработанная модель охватывает основные конструктивные особенности кустореза, воспроизводит основные процессы, протекающие при работе механизма, и предоставляет широкие возможности для оптимизации его параметров.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горский В.Г., Адлер Ю.П., Талалай А.М. Планирование промышленных экспериментов (модели динамики): учеб. пособие. – М.: Металлургия, 1978. – 288 с.
2. Заявка 2008142814/12 Рос. Федерация. Кусторез /Драпалюк М.В., Полев В.С. (РФ); заявл. 28.10.08; опубл. 10.05.10, БИПМ № 13 (I ч.). – 7 с.
3. Инженерные расчеты на ЭВМ: справ. пособие / под ред. В.А. Троицкого. – Л.: Машиностроение, 1979. – 288 с.
4. Моделирование сельскохозяйственных агрегатов и их систем управления: учеб. для вузов / под ред. А.Б. Лурье. – Л. : Колос. Ленингр. отд-ние, 1979. – 312 с.
5. Советов, Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 1998. – 319 с.

*M.V. Drapalyuk, V.S. Polev*

**Simulation of Cutting Moments of Chain Shrub Cutter**

The mathematical model of the chain shrub cutter of a new design with cutting elements is developed. It covers the basic design characteristics of the shrub cutter, reproduces the main processes of the operation, and provides extensive possibilities for its parameters optimization.

Keywords: shrub cutter, clarifier, model, cutting element, chain, safeguard.

---