

**ЮРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ СУХАНОВ**

преподаватель кафедры технологии и оборудования лесного комплекса лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*yurii\_ptz@bk.ru*

**АЛЕКСАНДР АНАТОЛЬЕВИЧ СЕЛИВЕРСТОВ**

кандидат технических наук, доцент кафедры тяговых машин лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*alexander@psu.karelia.ru*

**АНТОН ПАВЛОВИЧ СОКОЛОВ**

кандидат технических наук, доцент кафедры тяговых машин лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*a\_sokolov@psu.karelia.ru*

**ВЛАДИМИР СЕРГЕЕВИЧ СЮНЁВ**

доктор технических наук, профессор, проректор по научно-исследовательской работе, заведующий кафедрой тяговых машин лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*siounev@psu.karelia.ru*

## **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ХАРВЕСТЕРА: АЛГОРИТМЫ И РЕАЛИЗАЦИЯ\***

В статье приводится краткое описание алгоритмов работы колесных и гусеничных харвестеров и особенностей их программной реализации.

Ключевые слова: сортиментная технология, харвестер, имитационное моделирование

Проведение имитационных экспериментов с компьютерными моделями, учитывающими особенности машин и природно-производственных условий, помогает решать проблемы оптимального выбора техники для проведения промышленных лесозаготовок или рубок ухода за лесом. Методикой моделирования операций лесных машин, оснащенных манипулятором, занимались в СПбГЛТУ им. С. М. Кирова [5]. Проблемы расчета производительности операций лесосечных работ изучали в Сибирском федеральном университете [6]. В Петрозаводском государственном университете были проведены значительные работы по созданию моделей лесозаготовительных машин [1], [2], [3]. Модели создавались с помощью методов имитационного моделирования, ГИС-технологий и системы управления базами данных. Проводились работы по созданию моделей процессов заготовки древесины комплексами машин с использованием теории очередей [4].

На лесоинженерном факультете в сотрудничестве с НИИ леса Финляндии METLA и в соответствии с Программой стратегического развития ПетрГУ проводятся исследования операций лесозаготовительных машин в рамках проектов «Технико-экономическая и эколого-социальная оценка перспективности заготовки древесной

биомассы для нужд местной энергетики с использованием логистического подхода и ГИС-технологий», «Новые трансграничные решения в области интенсификации ведения лесного хозяйства и повышения степени использования топливной древесины в энергетике».

Модель позволяет имитировать работу специализированных лесосечных машин (колесных харвестеров) и переоборудованной для работы в лесу дорожно-строительной техники (харвестеров на базе гусеничных экскаваторов). Исходными данными для работы модели являются характеристики сгенерированной модельной деланки и характеристики имитируемой лесозаготовительной машины.

Для моделирования работы машины в цикле выполняются три подпрограммы: определения следующей технологической стоянки; движения; валки и обработки деревьев.

При моделировании расположение машины в пространстве характеризуется двумя координатами и углом между продольной осью машины и осью координат. Машина движется по оси технологического коридора, валит и обрабатывает назначенные в рубку деревья. В модели реализованы проверки возможности наведения манипулятора и захвата дерева, а также проверки на возможное опрокидывание машины.

Если дерево прошло все проверки, то оно назначается в валку. При моделировании производится учет повреждений оставляемым на доращивание деревьям, нанесенных им в ходе работы лесной машины:

- повреждение кроны и ствола при наведении манипулятора;
- повреждения при валке дерева;
- повреждения при подтаскивании дерева;
- повреждения при обработке дерева.

После того как произведен расчет временных затрат по операциям валки, обрезки сучьев и раскряжевки, отмечаем дерево как поваленное.

При моделировании учитывается:

- время на наведение и доставку харвестерной головки к дереву;

- время на зажим дерева рычагами;
- время на валку дерева;
- время на обрезку сучьев и время раскряжевки ствола;
- время на перемещение порубочных остатков.

Также на каждой технологической стоянке учитываются временные промежутки на перевод манипулятора из транспортного положения в рабочее и из рабочего в транспортное.

Данные о полученных сортиментах и порубочных остатках включаются в специальные таблицы, которые содержат данные об объемах, координатах расположения в пространстве. Для каждого сортимента учитываются его длина и концевые диаметры.

Алгоритм моделирования работы харвестера представлен на рис. 1.

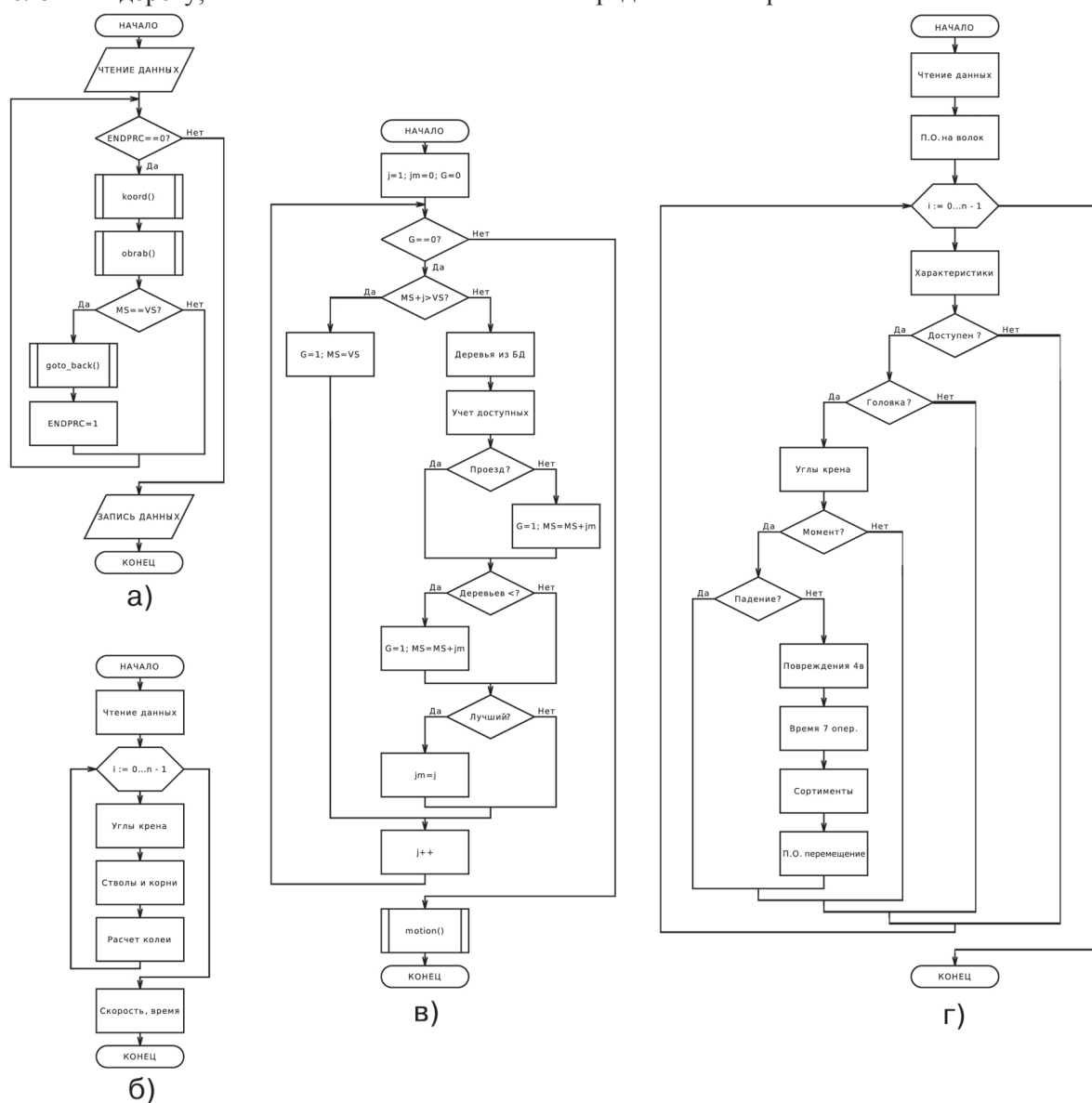


Рис. 1. Схема алгоритма моделирования работы харвестера:

а – основной цикл; б – подпрограмма движения; в – подпрограмма определения координат технологической стоянки; г – подпрограмма валки и обработки

Отличительными особенностями харвестера на базе экскаватора являются гусеничный движитель и поворотная платформа, на которой расположен как сам оператор, так и стрела с навешенной харвестерной головкой. Эти конструктивные особенности значительно влияют на моделирование операций наведения харвестерной головки на дерево, подтаскивания дерева и перемещения порубочных остатков. При моделировании учитываются время поворота платформы и время перемещения стрелы.

При наведении на дерево угол поворота платформы изменится и найдется как доля от полного оборота, а время на поворот платформы в секундах находится по формуле:

$$t_{pov} = \frac{fabs\left(\frac{(yg_1 - yg_2)}{2 \cdot \pi}\right) \cdot 60}{n_{пл}},$$

где  $n_{пл}$  – частота вращения платформы, мин.<sup>-1</sup>;  $yg_1$  – текущий угол поворота платформы, рад.;  $yg_2$  – новый угол поворота платформы, рад.

Время, затраченное на движение стрелы в секундах,

$$t_{per} = \frac{fabs\left[\sqrt{(X_d - X_{маш})^2 + (Y_d - Y_{маш})^2} - \sqrt{(X_{old} - X_{маш})^2 + (Y_{old} - Y_{маш})^2}\right]}{V_{стр}},$$

где  $V_{стр}$  – скорость перемещения стрелы, м/с;  $X_d, Y_d$  – координаты дерева, м;  $X_{маш}, Y_{маш}$  – координаты машины, м;  $X_{old}, Y_{old}$  – координаты харвестерной головки, м.

Общая скорость на операцию в секундах

$$t_{op} = (t_{pov} + t_{per}) \cdot k_{сов},$$

где  $k_{сов}$  – коэффициент совмещения операций поворота и перемещения (по хронометражным наблюдениям за машиной).

В подпрограмме передвижения необходимо учитывать грунтовые условия, которые влияют на возможность перемещения машины. Граничным условием, по которому определяем, что движение машины невозможно, является наличие ко-

леи с глубиной, равной клиренсу машины. Кроме этого, глубина колеи и уплотнение грунта могут ограничиваться экологическими условиями.

Также в подпрограмме передвижения учитываются повреждения, наносимые оставляемым на дорасщипывание деревьям, которые возникают при перемещении лесной машины по технологическому коридору в условиях сложного рельефа местности. Рассчитываются обдиры коры от корпуса машины, а также процент повреждения корневой системы (за исключением зимнего времени).

Моделирование рассмотренных выше операций работы харвестера реализовано на языке C++ (компилятор MinGW, инструментальный Qt 4.5). Полученная программа позволяет работать в двух режимах: без визуального представления процесса моделирования и в графическом режиме (рис. 2).

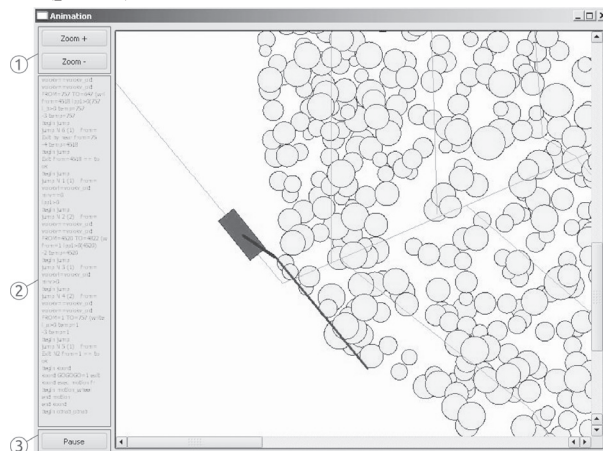


Рис. 2. Графический режим моделирования работы харвестера: 1 – управление масштабом; 2 – отладочная информация; 3 – кнопка «Пауза»

На программы, реализующие данные модели, получено свидетельство о регистрации в Реестре программ для ЭВМ № 2012615490 от 19 июня 2012 года.

\* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития (ПСР) ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности на 2012–2016 гг.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов Ю. Ю. и др. Геоинформационные системы: теория и применение в лесном комплексе. Йоенсуу: Изд-во ун-та Йоенсуу, 2000. 201 с.
2. Герасимов Ю. Ю., Сюньев В. С. Лесосечные машины для рубок ухода: компьютерная система принятия решений. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1998. 236 с.
3. Кильпелайнен С. А., Перский С. Н. Выбор системы лесозаготовительных машин на базе ГИС-технологий // Структурная перестройка лесного комплекса Республики Карелия: Материалы республиканской науч.-практ. конф. Петрозаводск: КарНИИЛПК, 2003. С. 28–29.
4. Морозов Е. В., Шегельман И. Р., Будник П. В. Вероятностно-статистический анализ процесса заготовки сортиментов // Перспективы науки. 2011. № 7 (22). С. 183–186.
5. Чайка О. Р. Моделирование работы манипуляторной машины на несплошных рубках в естественных лесах // Лесосечные, лесоскладские работы и транспорт леса. Л.: Ленинградская лесотехническая академия им. С. М. Кирова, 1991. С. 56–60.
6. Ширин Ю. А. Моделирование процессов заготовки сортированных деревьев и хлыстов. Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1992. 204 с.