

УДК 630*375

АНАЛИЗ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕХАНИЗМА ЗАХВАТА И ПОДАЧИ СТВОЛА ХАРВЕСТЕРНОЙ ГОЛОВКИ

Серяков Сергей Анатольевич

Преподаватель, Технологический колледж Императора Петра I Северного
(Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова
г. Архангельск, Россия
e-mail: s.seryakov@narfu.ru

Куницкая Ольга Анатольевна

Д-р техн. наук, профессор
Арктический государственный агротехнологический университет
г. Якутск, Россия
e-mail: ola.ola07@mail.ru

Удальцов Василий Николаевич

Преподаватель высшей категории
Технологический колледж Императора Петра I Северного (Арктического) федерального
университета имени М.В. Ломоносова
г. Архангельск, Россия
e-mail: udaljcov@narfu.ru

Аннотация. В статье проанализирован подход к моделированию механизма захвата и протаскивания харвестерной головки в процессе обрезки сучьев хвойных и лиственных пород деревьев сложных форм в различных природо-производственных условиях. Рассматриваемый тип деревьев отличается разными геометрическими формами стволов и формами размерами ветвей. Представленные современные захватно-срезающе-раскряжевочные устройства (харвестерные головки) недостаточно эффективны для обработки таких деревьев в различных условиях. Для решения этих задач требуются проекты конструкции головок, удовлетворяющие поставленным задачам. Для этого необходимо произвести моделирование процесса, основанном на исходных моделях деревьев с реалистичной геометрией. Основные конструкции харвестерных головок имеют оригинальные производные модели, выполняющие основные функции, такие как подача ствола с помощью подающего механизма и обрезка сучьев ножами-захватами. Эти модели, выявленные экспериментально, позволяют хорошо прогнозировать взаимодействия между различными частями головки и деревьями. Результаты моделирования хорошо согласуются с наблюдаемым поведением

реальной работы системы и представляют собой инструмент поддержки проектирования для разработки инновационных концепций харвестерных головок. На данном этапе есть необходимость смоделировать и произвести анализ двух типов подающих механизмов при обрезке сучьев. Механизм подачи вальцовой харвестерной головки и головки импульсного типа. Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» Арктического государственного агротехнологического университета. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.

Ключевые слова: характеристики, механизм подачи, моделирование, процесс обрезки сучьев, харвестерные головки.

ANALYSIS OF SIMULATION OF THE MECHANISM OF GRAPPLING AND FEEDING OF THE HARVESTER HEAD BARREL

Seryakov Sergey Anatolyevich

Lecturer, Technological College of Emperor Peter I
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov
Arkhangelsk, Russia
e-mail: s.seryakov@narfu.ru

Kunitskaya Olga Anatolyevna

Doctor of Technical Sciences, Professor, Arctic State Agrotechnological University
Yakutsk, Russia
e-mail: ola.ola07@mail.ru

Vasily Nikolaevich Udaltsov

Teacher of the highest category, Technological College of Emperor Peter I
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov
Arkhangelsk, Russia
e-mail: udaljcov@narfu.ru

Abstract The article analyzes an approach to modeling the mechanism of grabbing and dragging the harvester head in the process of pruning branches of coniferous and deciduous trees of complex shapes in various natural and industrial conditions. The type of trees under consideration differs in different geometric shapes of trunks and shapes of branch sizes. The presented modern grabbing, cutting and bucking devices (harvester heads) are not effective enough for processing such trees in various conditions. To solve these problems, head design projects are required that meet the tasks set. To do this, it is necessary to simulate the process based on the original tree models with realistic geometry. The main designs of harvester heads have original derivative

models that perform basic functions such as feeding the barrel using a feeding mechanism and cutting branches with grab knives. These models, identified experimentally, make it possible to predict well the interactions between different parts of the block and trees. The simulation results are in good agreement with the observed behavior of the actual operation of the system and represent a design support tool for the development of innovative concepts of harvester blocks. At this stage, there is a need to simulate and analyze two types of feeding mechanisms when pruning branches. The feeding mechanism of the roller harvester head and the pulse type head. The work was carried out within the framework of the scientific school "Innovative developments in the field of logging industry and forestry" of the Arctic State Agrotechnological University. The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation No. 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.

Keywords: characteristics, feeding mechanism, modeling, process of cutting branches, harvester heads.

Введение

Разработка харвестерной головки, более приспособленной для обработки и валки сложных деревьев в сложных климатических и производственных условиях необходима для того, чтобы справиться с нехваткой работников ручного труда (вальщиков леса) и низким уровнем механизации при рубках сложных стволов хвойных и лиственных пород деревьев [1-3]. Операция обработки состоит из обрезки стволов и раскряжевки их на бревна [4-6]. Из-за кривых стволов, больших ветвей с более острыми углами хвойных и лиственных пород, деревья действительно труднее протаскивать и обрезать. Поэтому требуются специализированные инструменты для повышения эффективности и производительности [7-9].

В настоящее время особое внимание уделяется моделированию харвестерных головок с одним захватом, используемых в методе обрезки по длине, таких как харвестерная головка Kesla 25 RH рис. 1. Операция обработки состоит из обрезки стволов и раскряжевки их на бревна.

В существующих механизмах харвестерной головки, действие подвижных ножей (рис. 1, позиции 2 и 5) деформирует ствол, охватывая его и прижимая к неподвижному ножу (рис. 1, позиция 1). Для перемещения относительно опоры под действием подающих роликов (рис. 1, позиция 3) [10-12]. Прямая форма стволов хвойных деревьев позволяет сделать это движение быстрым и непрерывным, а расстояние между ножами само настраивается в зависимости от изменения диаметра ствола под воздействием сбегания (рис. 2 а).

Обрезка производится за счет удара острых краев ножей о сучья. Однако обработка искривленных стволов таким образом может оказаться недопустимой или неэффективной. (рис. 2 б) Так как произойдет заклинивание и проскальзывание

механизма подачи. Таким образом, есть необходимость проектирования новых механизмов, внутри которых изогнутые стволы могут свободно проходить, обеспечивая при этом передачу мощности от протягивающего механизма и избегая явлений заклинивания. Для этого на ранних этапах проектирования прогнозируя характеристики этих механизмов с точки зрения энергоэффективности и производительности, применяется подход, основанный на моделировании процессов обработки дерева.

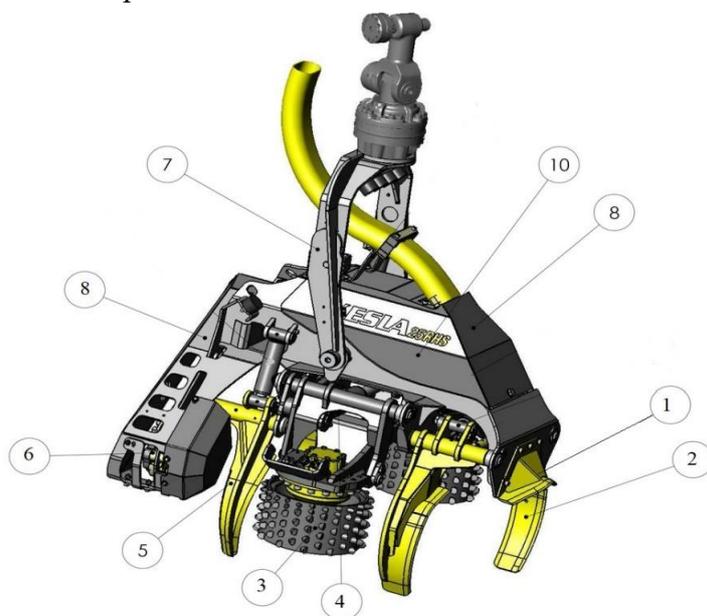
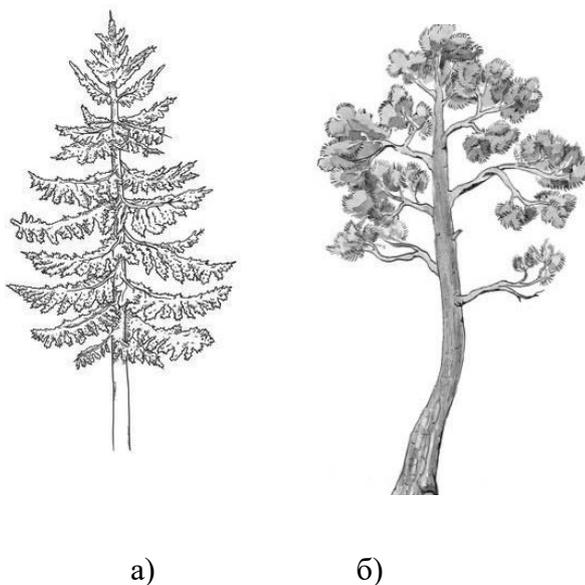


Рис.1. Детальный вид однозахватной харвестерной головки Kesla:

- 1 - верхний неподвижный нож, 2 - верхние подвижные ножи, 3 - подающие ролики, 4 - роликовые рычаги, 5 - нижние подвижные ножи, 6 - выдвижная цепная пила, 7 - наклонная опора, 8 – рама



а)

б)

Рис. 2. Формы древесных стволов:

- а) прямая форма ствола; б) искривлённая форма ствола.

Материалы и методы исследования

Материалы данной статьи получены путем анализа литературных источников и производственного опыта в области лесосечных работ.

Результаты

Моделирование технологического процесса позволяет протестировать и сравнить несколько конструкций харвестерных головок. Описание функционального взаимодействия внутри харвестерной головки можно представить несложной схемой (рисунок 3).

Основные четыре функции: моделирование захвата ствола (функция A1), подача (функция A2), обрезка (функция A3), валка и раскряжевка (функция A4).

В этом представлении можно наблюдать взаимодействие по замкнутому циклу между подачей и ограничением модельной функции для достижения основной функции лесозаготовки. Статья посвящена сравнительному анализу моделирования этого замкнутого цикла для обеспечения общей функции обработки стволов деревьев.

Учитывая предлагаемые функциональные особенности, целесообразно разработать три модели: приводную модель ствола внутри харвестерной головки и режущую модель, показывающую воздействие подающего механизма на ствол и обрезающих ножей на ветви. Также необходимо смоделировать форму искривленных стволов. Следовательно, представленный блок, используется для описания модели подачи ствола и обрезки сучьев в механизме головки как аналитически, так и экспериментально. В проектировании модели одновременно используются два подхода: аналитических подборов и проведение экспериментальных тестов для регистрации и идентификации параметров модели [1].

Обрезка сучьев обычно достигается подачей дерева со скоростью 3-7 м/с с помощью подающих вальцов или импульсного протягивающего механизма со скоростью 0,7-1 м/с и созданием удара сучьев о ножи для обрезки.

Большинство харвестерных головок используют вальцы для подачи ствола. Как объясняется в [13, 14], концентрические захватные механизмы не очень подходят для небольших стволов, в то время как боковые захватные механизмы облегчают прохождение искривленных частей ствола. Но при обработке больших стволов может не хватать силы протаскивания. Было предложено несколько гибридных решений, адаптирующих кинематику движения захвата к диаметру ствола, чтобы быть эффективными во всем диапазоне рассматриваемых диаметров [15]. Одним из таких решений является применение харвестерных головок циклического (импульсного) действия.

Импульсная головка Kesla 20SH (рис. 4) используется для обработки деревьев с крупными изогнутыми стволами имеющие множеством сучьев, как в

вертикальном положении, так и в пачке. Импульсный подающий механизм, основанный на возвратно- поступательном движении гидроцилиндра, позволяет эффективно обрабатывать поверхность дерева.

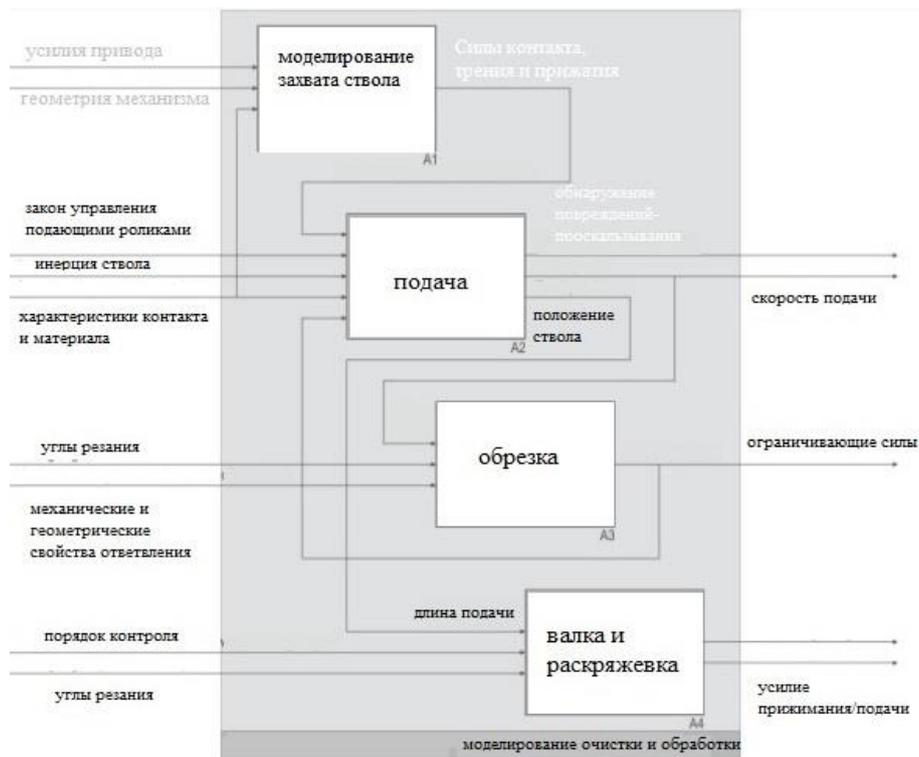
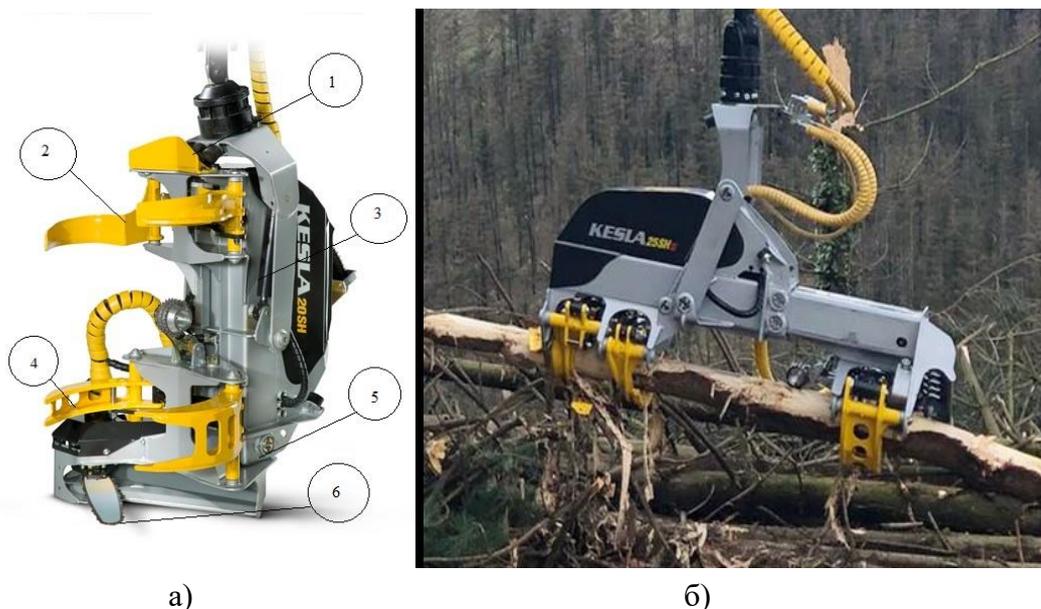


Рис. 3. Функциональный анализ процесса подачи и обрезки ствола



а)

б)

Рис. 4. Импульсная харвестерная головка Kesla 20SH:

а) основные конструктивные элементы: 1 - верхний неподвижный нож, 2 - верхние подвижные ножи, 3 - наклонная опора, 4 - средние подающие клещи, 5 - телескопический механизм протаскивания, 6 - выдвигаемая цепная пила. б) Обработка искривлённого ствола

Цель моделирования состоит в анализе параметров моделей для расчета максимальных приводных усилий, передаваемых на ствол вальцами или подающими клещами, для определения размеров различных компонентов харвестерной головки. Для вальцового подающего механизма предложено геометрическое определение контакта эллиптических шипов с древесиной (рис. 5), из которого определены эквивалентные поверхности, соответствующие проекционным площадям участков вальца, которые вошли в поверхность древесины в направлении подачи перпендикулярно волокнам и проскальзывания вдоль волокон при увеличении сопротивления [16].

Принятый подход к вычислению усилий подачи аналогичен подходу, использованному в [17] для расчета коэффициента трения, обусловленного созданием борозды конической неровностью, проходящей через стружку (рис. 5а). Б.Э. Кламецкий выражает поперечную и фронтальную силы, действующие на неровности, используя простое соотношение:

$$F = N_A S, \quad (1)$$

где F – сила, а S – площадь проекции в рассматриваемом направлении. N_A представляет собой количество конических неровностей в пучке.

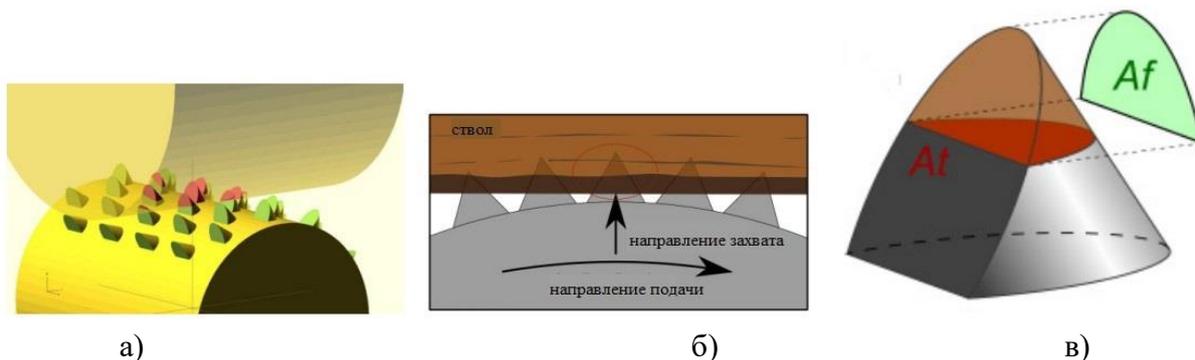


Рис. 5. Геометрическое определение контакта эллиптических шипов с древесиной: а), б) взаимодействие шипов со стволом при подаче вальцами, в) эквивалентная поверхность эллиптического шипа

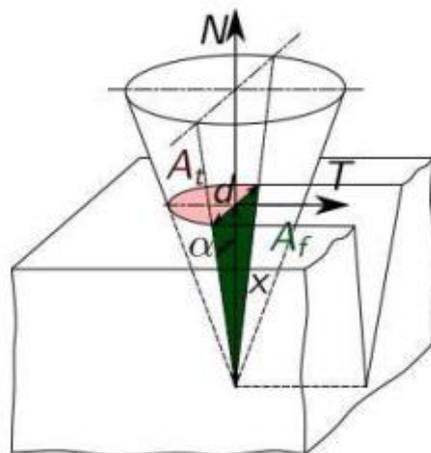


Рис.6. Модель силы, создаваемой коническим выступом

$$T = A \times \sigma_t = \frac{dhN_A}{2} \times \sigma_t; \quad (2)$$

$$N = A_f \times \sigma_y = \frac{\pi}{8} \times d^2 \times N_A \times \sigma_y; \quad (3)$$

$$\mu = \frac{T}{N} = \frac{2}{\pi} \times \frac{\sigma_t}{\sigma_y} \times \cos t \left(\frac{\alpha}{2} \right); \quad (4)$$

Для поперечной силы T поверхность A_t равна половине окружности диаметром d (максимальное проникновение конуса), а связующая сила напряжений и площадь - предел текучести древесины. Для фронтальной силы N область определения представляет собой проекцию конуса в радиальной плоскости, перпендикулярной силе (треугольник состоит из высоты x и основания d) (рис. 6.) Особенность рассматриваемых моделей заключается в определении моделей захвата и подачи, представляющих контакт между искривлённым стволом и подающим механизмом, оснащённым шипами. Предлагаемые модели шипов могут быть адаптированы к двум типам подающих механизмов. Контактная поверхность вальцовой подачи (рис. 5а) и контактная поверхность импульсной головки с клещевым захватом (рис. 7) [17].

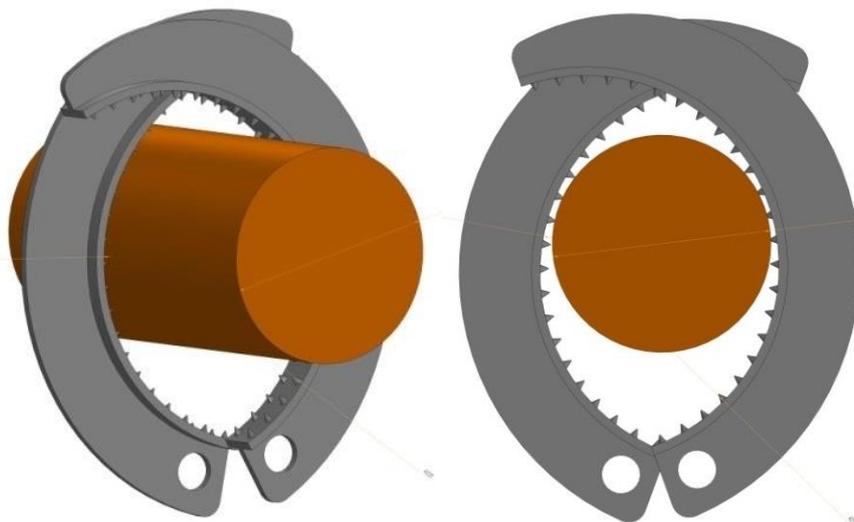


Рис. 7. Подающие клещи импульсной харвестерной головки

Моделирование процесса обрезки сложных сучьев несколько отличается. В отличие от многих исследований резания, основанных на типе и сечении стружки для нескольких операций механической обработки, в рассматриваемом случае невозможно определить стружку, поскольку “стружка” - это целый кусок древесины - сук. Отсутствие в литературе адекватной для рассматриваемого случая модели резания, репрезентативной для операции обрезки сучьев, подтвердило необходимость разработки оригинальной прогнозирующей модели силы резания. Геометрия места резания определяется на основе подхода Маккензи. В этом обозначении для определения процесса резания используются два угла. Первый формируется режущей кромкой в направлении срезания, второй - направлением

скорости резания в направлении движения ножа. В результате, обрезку сучьев можно рассматривать, как процесс перпендикулярного резания под углом $90^\circ-90^\circ$, иногда называемый поперечным. Рабочий процесс для определения ситуации резания, как показано на рисунке 8.

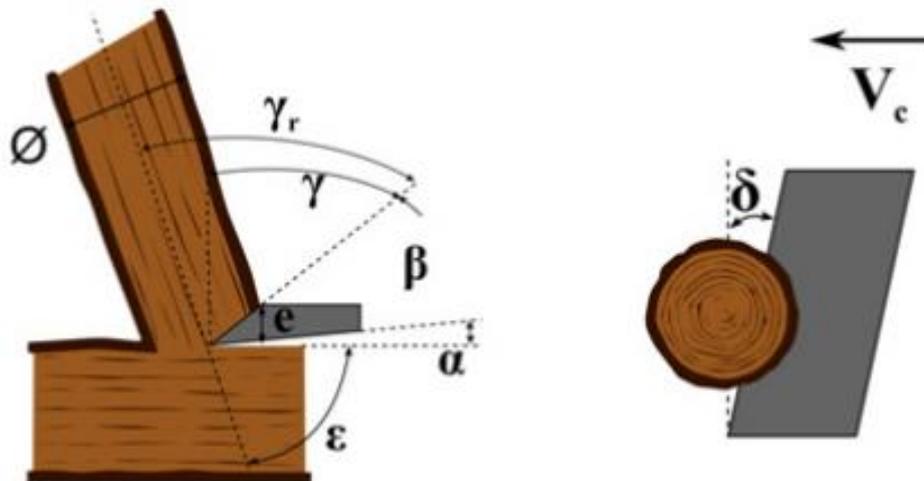


Рис. 8. Параметры угла резания

Такое определение углов резания сохраняет обычное соотношение:

$$\alpha + \beta + \gamma = 90; \quad (5)$$

Корреляционный анализ показал, что в ходе проведенного предварительного исследования, были определены принципы и разработано определение сокращенной модели механизма резания харвестерных головок.

Явления, влияющие на эффективность процесса подачи ствола и срезания сучьев, такие как смещение центра и зазубривание, более полный охват окружности ствола, могут быть воспроизведены несколькими конструктивными решениями для заданной геометрии дерева. Проанализирована геометрическая модель искривленных деревьев для учета варианта обработки неровного ствола.

Чтобы представить с помощью предварительного моделирования параметры различных конструкций харвестерных головок, потребуется создание реалистичных макетов деревьев. Это позволит сравнить результаты моделирования, избегая при этом изменения конструкций, наблюдаемых при испытаниях в условиях практической эксплуатации. Сложность систем, основанных на видении метода реконструкции, а также сложность отбора разных образцов строения деревьев привело к переходу к параметризованной модели, к модели Вебера и Пенна. Этот тип модели обладает важной универсальностью в отношении рассматриваемого метода моделирования. Он предлагает следующие возможности, рекурсивная модель: каждый дочерний элемент наследует свои свойства от своего родителя; более 80 параметров, определяющих общую форму и каждый уровень ствола; общая структура каждого шипа: коническое выдавливание

вдоль профиля; итеративное определение кривой профиля: положение последующей точки определяется из положения предыдущей точки; круглое сечение стволов: параметризованная кривая для ствола.

Пространственные изменения и отклонения в профиле каждого ствола введены в модель Вебера и Пенна так, чтобы была возможность генерировать сложные по геометрии стволы. Характеристики строения деревьев, характерные для рассматриваемых видов, также интегрируются путем установления корреляций между несколькими ключевыми параметрами. Дополнительные переменные позволяют регулировать сложность искривлённости ствола (рис. 9).

Подход, принятый к внедрению модели подачи, заключался в использовании соотносимого коэффициента трения для моделирования контакта между стволом подающим механизмом. Этот коэффициент был определен экспериментально и проанализирован. Тем не менее, аналитический расчет поверхностей дает возможность определить такой коэффициент для различных размеров подающих механизмов.

Моделирование процесса было выполнено на стандартной схеме в цельной раме, а также на шарнирно-сочлененной раме, чтобы сравнить эти две архитектуры. Кривые, сгенерированные для различных параметров, подтверждают правильность анализа моделирования механизмов харвестерной головки.

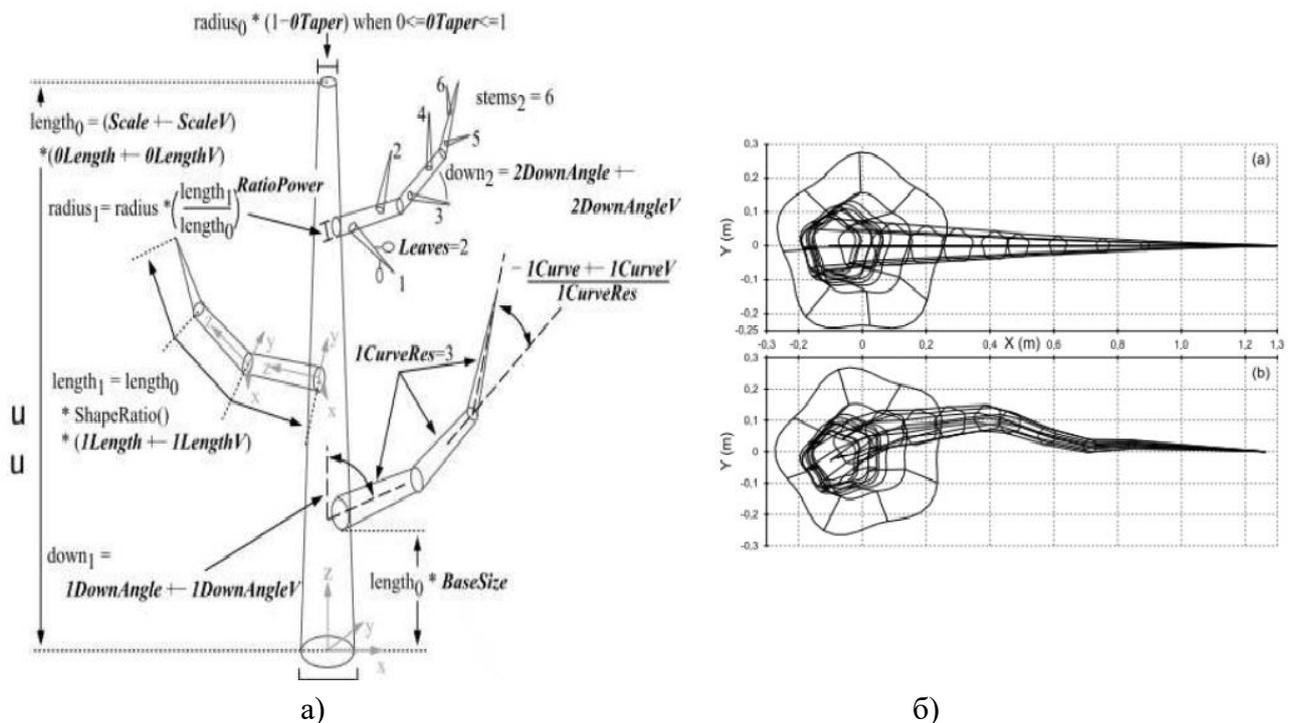


Рис. 9. Сгенерированные деревья:

а) метод Вебера и Пенна, б) предлагаемый концепт метод

Заключение

Проанализировав подходы к моделированию процесса очистки от сучьев сложных форм стволов и пород деревьев, можно сделать вывод, что разработанные модели подачи ствола в головку и срезания ветвей ножом были обоснованными и требуют реализации в отечественном машиностроении. Внедрённый коэффициент сцепления, полученный в результате моделирования механизма подачи и механизма резания, изменение которых зависит от контактных поверхностей между стволом и ножами, а также эквивалентной длины зацепляемого инструмента (рассчитывается на основе глубины проникновения) были введены в предлагаемую модель ограничения замкнутого контура. Его настройка позволяет изменять множество размеров головки, а также изменять архитектуру кинематики.

Литература

1. Григорьева О.И., Григорьев И.В. Повышение эффективности кадрового обеспечения лесного комплекса Российской Федерации // Архитектура университетского образования: построение единого пространства знаний. сборник трудов IV Национальной научно-методической конференции с международным участием. 2020. С. 123-130.
2. Григорьева О.И. Повышение эффективности проведения рубок ухода за лесом // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Второй Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 65-летию высшего лесного образования в Республике Карелия. 2016. С. 70-73.
3. Григорьев И.В., Григорьева О.И. Эффективность лесопользования в России // Энергия: экономика, техника, экология. 2016. № 5. С. 24-30.
4. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Никифорова А.И., Глуховский В.М. Перспективные направления развития технологических процессов лесосечных работ // Труды БГТУ. №2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2016. № 2 (184). С. 109-116.
5. Григорьева О.И. Эффективность транспортно-технологических систем для лесного хозяйства // Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной научно-технической конференции. Отв. ред. Н. С. Захаров. 2018. С. 79-83.
6. Григорьев И.В., Григорьева О.И. Лесозаготовительные машины на экскаваторной базе // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2018. С. 45-46.
7. Григорьева О.И. Новая машина для проведения рубок ухода за лесом // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 2-2 (13-2). С. 116-119.
8. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Чураков А.А. Эффективные технологии и системы машин для малообъёмных заготовок древесины // Энергия: экономика, техника, экология. 2018. № 2. С. 61-66.

9. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Вернер Н.Н. Системы машин для создания и эксплуатации лесных плантаций // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5. № 5 (31). С. 438-443
10. Рудов С.Е., Григорьев И.В. Пути повышения эффективности работы систем машин для сортиментной заготовки древесины // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Седьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2021. С. 168-169.
11. Григорьев И.В. Направления совершенствования харвестерных головок // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Шестой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2020. С. 45-47.
12. Тамби А.А., Григорьев И.В. Повышение эффективности работы харвестера путем исключения потерь времени на подготовку режущего инструмента // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2020. № 4. С. 12-16.
13. Григорьев И.В., Куницкая О.А., Давтян А.Б. Современное технологическое оборудование валочных и харвестерных машин // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2020. № 7. С. 9-16.
14. Григорьев И. В. Калибровка харвестерных головок // В сб. "Наука и инновации: векторы развития". Матер. Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. В 2-х кн. 2018. С. 78-82.
15. Куницкая О. А., Чернуцкий Н. А., Дербин М. В., Рудов С. Е., Григорьев И. В., Григорьева О. И. Машинная заготовка древесины по скандинавской технологии. СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений. 2019. - 192 с.
16. Вебер, Пенн, Создание и рендеринг реалистичных деревьев, в материалах 22-й ежегодной конференции по Компьютерной графике и интерактивным техникам, 1995, стр.119–128.
17. Кламецки Б.Э. Механизмы трения при резке древесины / Наука и технология древесины – 1976. С. 209-214.

© Серяков С.А., Куницкая О.А., Удальцов В.Н., 2024