

К ОБОСНОВАНИЮ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЗМА ВЫБРОСА ЩЕПЫ ИЗ ДИСКОВОЙ РУБИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

С.В. Фокин¹, О.А. Фомина²

¹Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 410012, г. Саратов, Театральная пл., д. 1

²Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 625003, г. Тюмень, ул. Республики, д. 7

feht@mail.ru

Приводится описание методики физико-математического моделирования механизма выброса щепы дисковой рубительной машины. Данная методика позволяет рассчитывать и оптимизировать конструктивно-технологические параметры механизма выброса щепы. Для реализации поставленной задачи поток элементов щепы разбивался на отдельные элементы шарообразной формы, а рабочие поверхности механизма выброса щепы представлены совокупностью фрагментов плоскостей, сопряженных между собой. При создании математической модели расчета и оптимизации конструктивно-технологических параметров механизма выброса щепы анализировались следующие показатели эффективности механизма выброса щепы: скорость выброса щепы на выходе щепопровода, вероятность выброса щепы с первого оборота рубительного диска, механическая мощность, потребляемая на выброс щепы после этапа измельчения порубочных остатков ножами. Математическая модель реализована в компьютерной программе на языке Object Pascal в среде разработки Delphi 7. Программа позволяет проводить компьютерные эксперименты по анализу движения в кожухе и щепопроводе щепы, полученной из порубочных остатков и изучению влияния конструктивно-технологических параметров механизма выброса на эффективность работы дисковой рубительной машины. Проведенные компьютерные исследования позволили определить наилучшие численные диапазоны частоты вращения рубительного диска и количество лопастей, расположенных на рубительном диске. Так же определена вероятность увлечения щепы на первом обороте рубительного диска и потребляемая мощность на выброс щепы из дисковой рубительной машины.

Ключевые слова: топливная щепка, рубительные машины, механизм выброса щепы

Ссылка для цитирования: Фокин С.В., Фомина О.А. К обоснованию конструктивно-технологических параметров механизма выброса щепы из дисковой рубительной машины // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 2. С. 99–107. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-2-99-107

Экспериментальные и качественные теоретические оценки механизмов выброса щепы широко представлены в научной литературе, тем не менее не представлены описания комплексных теоретических подходов, которые бы позволяли с высокой адекватностью моделировать работу механизма выброса щепы. С помощью физико-математических методов можно разработать высокоточную математическую модель для дальнейшего обоснованного проектирования и оптимизации параметров механизма выброса щепы.

С точки зрения физики, процесс движения потока щепы в механизме выброса является чрезвычайно сложным для моделирования [1, 2]. До появления компьютерной техники для аналогичных задач использовались аналитические методы (обычно в приближении для сплошной среды), использование которых не давало возможности достаточно адекватно представить вихревые процессы. В настоящее время для описания движения потоков высокоэффективным признан метод динамики частиц [3], поэтому один из его вариантов был применен при проведении настоящего исследования.

Цель работы

Цель работы — разработка физико-математической модели механизма выброса щепы из дисковой рубительной машины, с помощью которой можно дать количественную оценку эффективности такого механизма при его различных конструктивных параметрах, а также определить оптимальные диапазоны основных конструктивно-технологических параметров данного оборудования.

Материалы и методы

Для создания математической модели с использованием метода динамики частиц поток щепы разбивается на отдельные элементы шарообразной формы (рис. 1), обладающие физическими свойствами древесины: плотностью, коэффициентами упругости и вязкого трения. В отличие от приближения для сплошной среды, в методе динамики частиц элементы могут двигаться в пространстве как отдельные физические тела, подчиняясь законам классической динамики [4, 5], взаимодействовать между собой и с рабочими поверхностями механизма выброса щепы (рис. 2).

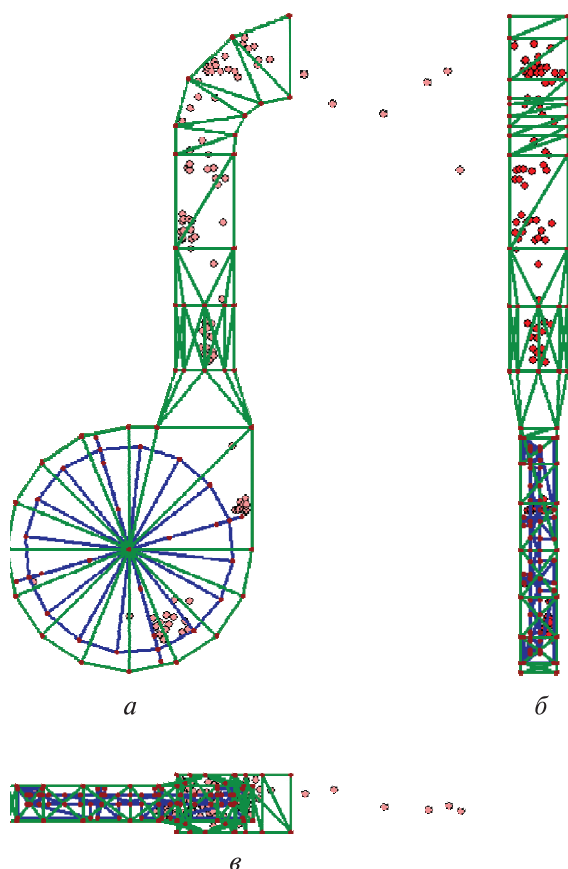


Рис. 1. Визуализация модели рабочего процесса выброса щепы с указанием рассчитываемых параметров: *a* — вид спереди; *б* — вид сбоку; *в* — вид сверху
Fig. 1. Visual model of the chips ejection working process with the indication of the calculated parameters: *a* — front view; *б* — side view; *в* — top view

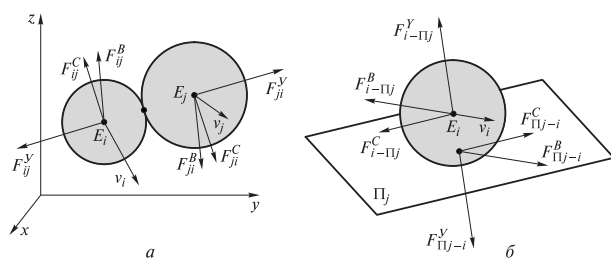


Рис. 2. Силы, возникающие при контакте двух элементов щепы (*a*) и между элементом и рабочей поверхностью механизма (*б*): F^Y — упругие силы; F^C и F^B — силы сухого и вязкого трения
Fig. 2. Forces arising from the contact of two elements of wood chips (*a*) and between the element and the working surface of the mechanism (*б*): F^Y — elastic forces; F^C and F^B — forces of dry and viscous friction

Разбиение среды на отдельные элементы позволяет воспроизводить сложные явления в движущемся потоке: перераспределение кинетической энергии, вихревое и турбулентное движение, смешивание потоков с различными кинетическими параметрами [6, 7].

Рабочие поверхности механизма выброса щепы в модели представлены совокупностью фрагментов плоскостей, состыкованных одна с другой. Элементарные поверхности кожуха и щепопровода неподвижны в процессе моделирования, элементарные поверхности рубительного диска совершают в пространстве вращательные движения вокруг оси диска с заданной угловой скоростью [8, 9].

Для того чтобы представить в модели сложную геометрическую конфигурацию рубительного диска, кожуха, щепопровода использовали 146 элементарных треугольников, состыкованных между собой. Если элементарная треугольная поверхность механизма Π_j контактирует с элементом-щепой i , то между ними возникают упругие силы отталкивания (или притяжения в случае необходимости исследования влажной загрязненной щепы, которое задается коэффициентом α_0) и трения. Силы, действующие на элемент, приводят к изменению его траектории движения (см. рис. 2).

Для расчета указанных сил необходим математический аппарат, позволяющий определить, контактирует ли элемент-щепы с треугольной элементарной поверхностью механизма, и если контактирует, то контактирует ли с центральной частью (плоскостью) поверхности (вариант I на рис. 3), ребром (II) или углом (III).

В теоретическом исследовании анализировали три показателя эффективности механизма выброса щепы. Первым показателем, определяющим кинематическую эффективность механизма, является скорость выброса щепы на выходе щепопровода — v_B . Данный показатель рассчитывается путем усреднения значений горизонтальной скорости элементов щепы в выходном прямоугольном отверстии щепопровода по формуле [10, 11]

$$v_B = \frac{\sum_{i=1}^{N_s} v_{xi} \cdot \begin{cases} |x_i - x_{p135}| < 0,01; \\ y_{p135} < y_i < y_{p137}; \\ z_{p135} < z_i < z_{p136}; \end{cases}}{\sum_{i=1}^{N_s} \begin{cases} |x_i - x_{p135}| < 0,01; \\ y_{p135} < y_i < y_{p137}; \\ z_{p135} < z_i < z_{p136}; \end{cases}}, \quad (1)$$

0, в противном случае;

где x_i, y_i, z_i — координаты i -й точки, принадлежащей плоскости;

- $x_{p135}, y_{p135}, z_{p135}$ — координаты 135-й точки, принадлежащей плоскости щепопровода;
- $x_{p136}, y_{p136}, z_{p136}$ — координаты 136-й точки, принадлежащей плоскости щепопровода;
- y_{p137} — координаты 137-й точки, принадлежащей плоскости щепопровода.

Вторым показателем, определяющим качество увлечения и метания щеп рубильным диском, является вероятность выброса щепы с первого оборота рубильного диска p_1 . Данный показатель определяется следующим образом

$$p_1 = \frac{1}{N_3} \sum_{i=1}^{N_3} \begin{cases} 1, & (x_i^\tau > x_C)_{\exists\tau}; \\ 0, & (x_i^\tau \leq x_C)_{\forall\tau}, \end{cases} \quad (2)$$

где N_3 — количество элементов щепы;

$\sum_{i=1}^{N_3}$ — сумма элементов щепы в i -й точке поверхности рубильного диска;

x_i^τ — координата x_i поверхности рубильного диска на τ шаге интегрирования;

x_C — координата оси рубильного диска;

квантор $\exists\tau$ («each») означает, что элемент i считается выброшенным с первого оборота, если на каждом шаге интегрирования τ координата x_i элемента превышает координату x_C оси рубильного диска;

квантор $\forall\tau$ («any») означает, что достаточно на любом шаге интегрирования координате элемента x_i оказаться меньше или равной координате оси рубильного диска x_C .

Третьим показателем эффективности, определяющим энергетические потери, является механическая мощность N_b , потребляемая на выброс щепы после этапа измельчения порубочных остатков ножами. Данный показатель рассчитывается по формуле

$$N_b = \sum_{i=1}^{N_3} \sum_{j=1}^{N_{\Pi}} \left[F_{xi-\Pi j} (v_{xi} - v_{x\Pi j}) + F_{yi-\Pi j} (v_{yi} - v_{y\Pi j}) + F_{zi-\Pi j} (v_{zi} - v_{z\Pi j}) \right], \quad (3)$$

где N_3 — количество элементов щепы;

N_{Π} — количество элементарных треугольных поверхностей;

$F_{xi-\Pi j}$, $F_{yi-\Pi j}$, $F_{zi-\Pi j}$ — декартовы компоненты силы взаимодействия элемента i и элементарной поверхности j ;

$v_{x\Pi j}$, $v_{y\Pi j}$, $v_{z\Pi j}$ — декартовы компоненты скорости центра элементарной треугольной поверхности.

Для разностороннего исследования разработанной модели механизма составлена компьютерная программа «Программа для моделирования механизма выброса щепы из дисковой рубильной машины» на языке Object Pascal в среде разработки Delphi 7. Программа предназначена для проведения компьютерных экспериментов по движению в кожухе и щепопроводе щепы из порубочных остатков и изучения влияния конструктивных параметров механизма на его

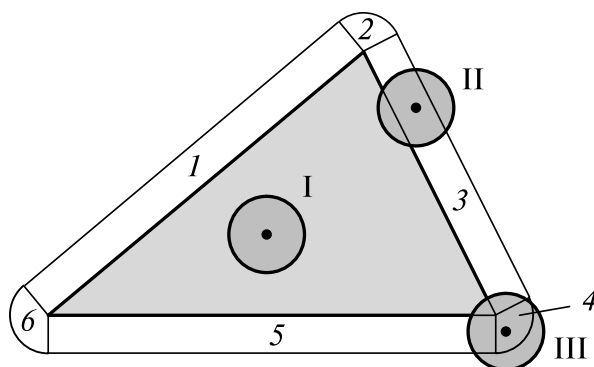


Рис. 3. Возможные варианты взаимодействия элемента щепы с элементарной треугольной поверхностью: 1, 3, 5 — реберные области элементарной треугольной поверхности; 2, 4, 6 — вершинные области элементарной треугольной поверхности

Fig. 3. Possible variants of interaction of a chip element with an elementary triangular surface: 1, 3, 5 — edge regions of an elementary triangular surface; 2, 4, 6 — vertex regions of an elementary triangular surface

эффективность. В программном коде могут быть заданы или изменены основные геометрические параметры потока щепы, рубильного диска, кожуха, щепопровода [12, 13].

В процессе имитационного моделирования программа выводит на экран три проекции механизма выброса щепы, текущие значения параметров процесса. Программа применима в широких диапазонах геометрических параметров щепопровода и параметров потока щепы и рассчитана на использование компьютера с процессором класса не ниже Pentium 2,3 ГГц, объемом оперативной памяти не менее 2048 Мбайт. Программный код имеет объем 34 кбайт.

Теоретическое исследование основано на многократном проведении компьютерных экспериментов с разработанной моделью. С точки зрения теории планирования эксперимента исследование проведено по «звездообразной» схеме. Центр «звезды» представляет базовый компьютерный эксперимент с типичным набором параметров, заранее представляющимся наиболее логичным. Затем проводились шесть серий экспериментов, в каждой из которых изменяли только один параметр при неизменных значениях остальных параметров. Таким образом, формировались «лучи звезды» в многомерном пространстве параметров механизма выброса щепы [14, 15].

Благодаря высокой универсальности разработанная модель позволяет исследовать влияние большого количества конструктивных и технологических параметров на показатели эффективности механизма [16, 17]. Входные параметры и выходные показатели математической модели представлены графически на рис. 4. Входные параметры разделены на три группы.

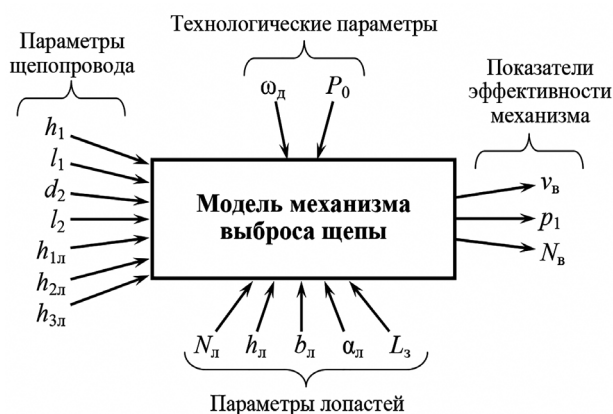


Рис. 4. Основные доступные к изменению конструктивные и технологические параметры модели механизма выброса щепы и показатели его эффективности
Fig. 4. The main design and technological parameters of the chip ejection mechanism and indicators of its effectiveness

К первой группе относятся технологические параметры механизма: ω_d — скорость вращения рубительного диска; P_0 — интенсивность (поток) поступления сырья из зоны резания в зону выброса щепы.

Ко второй группе относятся параметры щепопровода: h_1 — ширина трапецидальной зоны щепопровода; l_1 — высота трапецидальной зоны щепопровода; d_2 — диаметр круглой зоны щепопровода, определяющий эффективную проводимость щепопровода (при изменении диаметра d_2 изменялись геометрические параметры входной и выходной частей щепопровода, исходя из условия стыковки частей щепопровода); l_2 — высота круглой зоны щепопровода; $h_{1л}$ — ширина логарифмической направляющей в начальной части; $h_{2л}$ — ширина логарифмической направляющей в средней части; $h_{3л}$ — ширина логарифмической направляющей на выходе.

К третьей группе относятся параметры лопастей: N_l — количество лопастей; h_l — размеры выступа лопасти над торцом рубительного диска; b_l — ширина направляющей плоскости; α_l — угол направляющей плоскости; L_3 — расстояние между боковой поверхностью цилиндрической части кожуха и выступающими лопастями рубительного диска (зазор).

В качестве показателей эффективности механизма выбраны: v_b — скорость выброса щеп на выходе щепопровода; p_1 — вероятность выброса щепы с первого оборота рубительного диска (определенная доля объема щепы, неблагоприятно ударяясь о стенки, не выбрасывается с первого оборота рубительного диска, оседает под действием силы тяжести, и увлекается позже лопастями со дна кожуха); N_b — потери механической мощности на выброс щепы после измельчения порубочных остатков ножами.

В ходе дальнейшего теоретического исследования необходимо найти такие диапазоны изменения входных параметров модели, в которых одновременно будут максимальными скорость выброса щепы v_b и вероятность выброса щепы с первого оборота рубительного диска p_1 и будет минимальной составляющая мощности N_b , расходуемая на выброс щепы.

Результаты и обсуждение

Математическое моделирование позволило рассмотреть влияние отдельных конструктивных и технологических параметров на показатели эффективности механизма выброса щепы [18–20]. Так скорость вращения рубительного диска определяет скорость резания, влияет на динамику движения древесной массы, ограничивает производительность машины, влияет на потребляемую машиной мощность [21–23]. С целью изучения влияния скорости вращения рубительного диска ω_d на эффективность выброса щепы проведена серия компьютерных экспериментов, в которой значение ω_d изменяли от 5 до 30 c^{-1} с шагом 5 c^{-1} . Каждый компьютерный эксперимент проводили с пятикратной повторностью (как и в последующих сериях компьютерных экспериментов), после чего усредняли полученные результаты для каждой экспериментальной точки [24–26]. При изменении ω_d остальные параметры механизма имели базовые значения, в частности:

количество лопастей	
рубительного диска N_l	4;
зазор между лопастями	
и кожухом L_3 , мм	10;
диаметр круглой части	
щепопровода d_2 , мм	250;
высота круглой части	
щепопровода l_2 , мм	300;
размер выходного отверстия	
щепопровода $h_{3л}$, мм	400.

При низкой скорости вращения рубительного диска (5...10 c^{-1}) выброс щепы происходит неэффективно. Щепы обладают малой кинетической энергией, которая не только преобразуется в потенциальную энергию за счет выброса щепы вверх на высоту выходного отверстия щепопровода, но преимущественно рассеивается при соударениях с направляющими поверхностями щепопровода (рис. 5, а, б). Поэтому скорость выброса мала и составляет 0,1...0,7 м/с (выброс едва происходит), вероятность выброса с первого оборота рубительного диска мала и составляет 0,1...0,4 м/с. При этом потребляемая на выброс щепы мощность довольно велика — 400...750 Вт вследствие того, что рубительный диск вовлекает в неэффективное движение большой объем щепы.

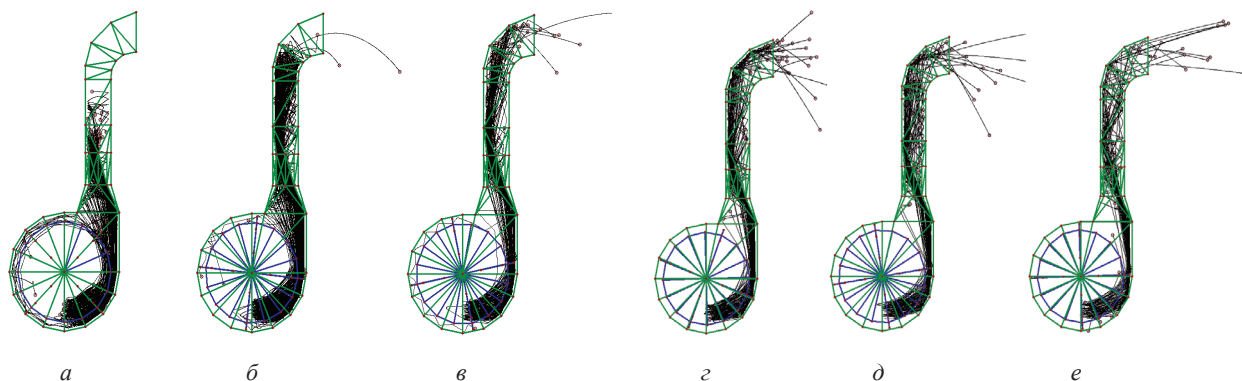


Рис. 5. Траектории движения щепы при различной скорости вращения рубительного диска ω_d :
a — 3 c^{-1} ; *b* — 5 c^{-1} ; *в* — 10 c^{-1} ; *г* — 20 c^{-1} ; *д* — 25 c^{-1} ; *е* — 30 c^{-1}

Fig. 5. Trajectories of chips movement at different rotation speeds of the chipping disk ω_d : *a* — 3 c^{-1} ;
b — 5 c^{-1} ; *в* — 10 c^{-1} ; *г* — 20 c^{-1} ; *д* — 25 c^{-1} ; *е* — 30 c^{-1}

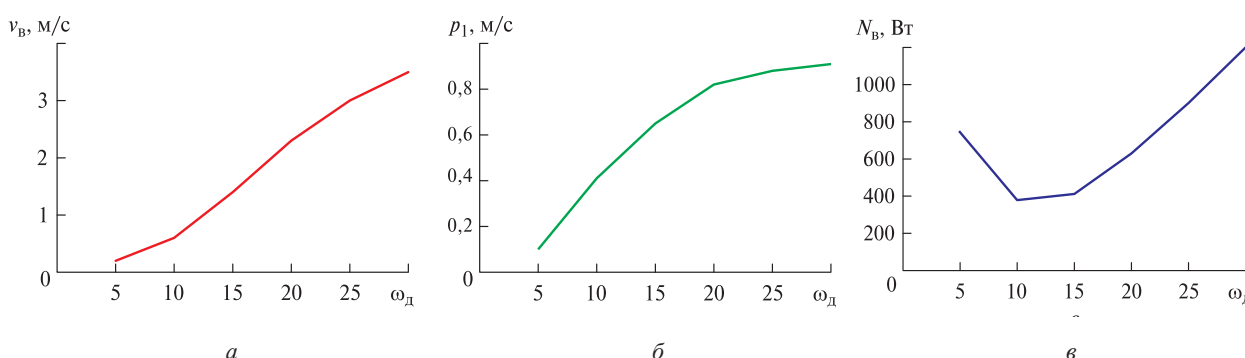


Рис. 6. Влияние скорости вращения рубительного диска ω_d на скорость выброса щепы v_b (*a*) на выходе щепопровода, вероятность выброса щепы с первого оборота p_1 (*b*) и потери мощности на выброс щепы N_b (*в*)

Fig. 6. Influence of the chipping disk rotation speed ω_d on the chip ejection speed v_b (*a*) at the chip pipe outlet, the probability of chip ejection from the first turn p_1 (*b*) and power loss for chip ejection N_b (*в*)

При высокой скорости вращения рубительного диска (25...30 c^{-1}) выброс щепы осуществляется с большой скоростью (см. рис. 5, *д*, *е*, рис. 6, *a*) и большой вероятностью выброса с первого оборота рубительного диска (рис. 6, *б*). Однако с увеличением скорости вращения рубительного диска потребляемая мощность растет приблизительно квадратично: как для процесса измельчения порубочных остатков (установлено ранее), так и для процесса увлечения и метания щепы (рис. 6, *в*).

Увеличение скорости вращения рубительного диска более 20 c^{-1} нецелесообразно, так как приводит к незначительному росту скорости выброса щепы и вероятности выброса с первого оборота рубительного диска, но приводит к существенному росту потребляемой мощности. Таким образом, оптимальная скорость вращения рубительного диска составляет около 20 c^{-1} . При этом механизм обеспечивает выброс щепы со скоростью 2,3 м/с, вероятность увлечения щепы на первом обороте рубительного диска составляет 0,82, потребляемая мощность — 630 Вт.

Количество лопастей на рубительном диске влияет на объем щепы, увлекаемой одной лопастью, и метаемой в щепопровод. В целях изучения влияния количества лопастей N_d провели серию компьютерных экспериментов, в которых значения N_d изменяли от 2 до 6 с шагом 1.

Исследования показали, что с увеличением количества лопастей снижается скорость выброса щепы. По-видимому, это связано с уменьшением выбрасываемого объема щепы, и вследствие уменьшенной массы и большей хаотичности движения малого объема рассеивается большее количество энергии при соударениях с внутренней поверхностью щепопровода. С увеличением количества лопастей незначительно увеличивается вероятность выброса щепы за первый оборот рубительного диска. Вероятная причина заключается в том, что если не произойдет перемещение объема щепы лопастью, расположенной непосредственно в месте образования щепы, то эвакуацию осуществляют последующие лопасти, а с увеличением количества лопастей на рубительном диске увеличится и вероятность придания скорости щепе за первый оборот.

Установлено, что с увеличением количества лопастей возрастает потребляемая мощность, поскольку оказывается энергетически невыгодно уменьшать размер объема щепы и увеличивать частоту метания порций. Анализируя результаты теоретических экспериментов, можно прийти к выводу, что оптимальное количество лопастей составляет 3...4 шт. При этом скорость выброса равна 2,3...2,4 м/с, а вероятность выброса щепы из щепопровода на первом обороте рубительного диска порядка 0,79...0,82, при потребляемой мощности на выброс щепы 595...530 Вт.

Выводы

1. Разработанная физико-математическая модель движения и выброса щепы в механизме выброса щепы из дисковой рубительной машины для измельчения порубочных остатков позволяет учесть влияние конструктивных параметров механизма на показатели эффективности выброса щепы.

2. Разработана компьютерная программа, реализующая модель механизма выброса щепы, которую можно применить для теоретического исследования эффективности различных вариантов механизма выброса щепы с различными конструктивными параметрами и дальнейшего определения оптимальных параметров устройства для эвакуации щепы из рубительной машины.

3. Исследования показали, что наилучшая скорость вращения рубительного диска равна 20 с^{-1} . При этом механизм обеспечивает выброс щепы из щепопровода с горизонтальной скоростью 2,3 м/с с вероятностью увлечения щепы на первом обороте рубительного диска 0,82 и потребляемой мощностью на выброс щепы порядка 630 Вт.

4. Наилучшее количество лопастей рубительного диска равно 3...4 шт. При этом скорость выброса щепы из щепопровода равна 2,3...2,4 м/с, а вероятность выброса щепы из щепопровода на первом обороте рубительного диска находится в интервале 0,79...0,82. Потребляемая мощность на выброс щепы равна 595...530 Вт.

Список литературы

- [1] Bolintineanu D.S., Grest G.S., Lechman J.B., Pierce F., Plimpton S.J., Schunk P.R. Particle Dynamics Modeling for Colloid Suspensions // *Comp. Part. Mech.*, 2014, v. 1, pp. 321–356.
- [2] Kovalev O.O. On Simulation of Hydraulic Fracturing Using Particle Dynamics Method // *The International Summer School «Advanced Problems in Mechanics»*, Saint-Petersburg, 01–06 June 2013. St. Petersburg: Institute for Problems in Mechanical Engineering, 2013, pp. 285–291.
- [3] Фокин С.В., Фомина О.А. Об использовании математических методов моделирования рубительных машин // *Материалы 17-й Международной молодежной научно-практической конференции «Фундаментальные исследования, методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике»*, Новочеркасск, 06–07 сентября 2018 г. Новочеркасск: Лик, 2018. С. 158–159.
- [4] Гончаров П.Э., Бартенев И.М., Драпалюк М.В. Машины и механизмы лесного и лесопаркового хозяйства. Воронеж: Изд-во ВГЛТУ, 2016. 196 с.
- [5] Дручинин Д.Ю., Бухтояров Л.Д. Математические методы в инженерии. Воронеж: Изд-во ВГЛТУ, 2019. 103 с.
- [6] Español P. Hydrodynamics from Dissipative Particle Dynamics // *Phys. Rev. E.*, 1995, v. 52, pp. 1734–1742.
- [7] Jakob C., Konietzky H. Particle Methods. An Overview. Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, 2012, 24 p.
- [8] Гончаров П.Э., Драпалюк М.В., Юдин Р.В. Теория механизмов и машин: Лабораторный практикум. Воронеж: Изд-во ВГЛТУ, 2015. 108 с.
- [9] Сергеев В.В., Коростелев С.Ю., Псахье С.Г. Алгоритмы локализации точки в трехмерном пространстве для генерации объекта при моделировании методом частиц // *Изв. Томского политехн. университета*, 2008. Т. 312. № 5. С. 44–47.
- [10] Бабуркин П.О., Комаров П.В., Хижняк С.Д., Пахомов П.М. Моделирование процесса гелеобразования в цистеин-серебряном растворе методом диссипативной динамики частиц // *Коллоидный журнал*, 2015. Т. 77. № 5. С. 572–581.
- [11] Фокин С.В., Фетяев А.Н. О формировании системы уравнений для исследования характеристик механизма загрузки сырья дисковой рубительной машины // *Проблемы и перспективы инновационного развития мирового сельского хозяйства: сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф.* Саратов: Саратовский ГАУ, 2013. С. 287–290.
- [12] Лебедев-Степанов П.В., Кадушников Р.М., Молчанов С.П., Иванов А.А., Митрохин В.П., Власов К.О., Рубин Н.А., Юрасик Г.А., Назаров В.Г., Алфимов М.В. Самосборка наночастиц в микрообъеме коллоидного раствора: физика, моделирование, эксперимент // *Российские нанотехнологии*, 2013. Т. 8. № 3–4. С. 5–23.
- [13] Морковина С.С., Драпалюк М.В., Баранова Е.В. Инновационные технологии в лесокультурном деле: реальность и перспективы // *Лесотехнический журнал*, 2015. Т. 5. № 3 (19). С. 327–338.
- [14] Фокин С.В., Березников С.В. О проведении автоматизированного анализа энергетических характеристик процесса резания древесины дисковой рубительной машиной // *Фундаментальные исследования*, 2013. № 10. С. 2182–2187.
- [15] Дручинин Д.Ю., Поздняков Е.В. Особенности работы лесохозяйственной техники на вырубках // *Хвойные бореальной зоны*, 2019. Т. 37. № 6. С. 448–454.
- [16] Суравкин А.Ю. Реализация метода SPH на CUDA для моделирования несжимаемых жидкостей // *Наука и образование*, 2012. № 7. С. 87–106.
- [17] Слюнев В.С., Селиверстов А.А., Герасимов Ю.Ю., Соколов А.П. Лесосечные машины в фокусе биоэнергетики: конструкции, проектирование, расчет. Йоэнсуу: METLA (НИИЛеса Финляндии), 2011. 143 с.
- [18] Платонова М.А., Драпалюк М.В., Платонов А.А. Динамическая модель взаимодействия роторного рабочего органа с древесно-кустарниковой растительностью // *Лесотехнический журнал*, 2015. Т. 5. № 4 (20). С. 201–208.
- [19] Герасимов А.В., Черепанов Р.О. Разработка алгоритма расчета условий на свободной и контактной границах при моделировании деформирования материалов методом SPH // *Известия вузов. Физика*, 2009. № 7/2. С. 64–69.

- [20] Потапов А.П., Петров И.Б. Моделирование волновых процессов при высокоскоростных соударениях методом сглаженных частиц (SPH) // Вестник Рос. государственного университета им. И. Канта, 2009. № 10. С. 49–55.
- [21] Кукаева С.А., Турлапов В.Е. Тестирование вычислительных возможностей метода SPH для моделирования физических эффектов в компьютерной графике // Тр. 19 Междунар. конф. по компьютерной графике и ее приложениям (GraphiCon' 2009), Москва, 5–9 октября 2009 г. М.: Изд-во МГУ, 2009. С. 325–326.
- [22] Алиев А.В. Применения метода сглаженных частиц для решения задач физической газовой динамики // Вычислительные методы и программирование, 2008. Т. 9. № 1. С. 40–47.
- [23] Зубов А.Д., Лебедев А.М. Метод сглаженных частиц SPH для расчетов газодинамических задач со сферической и цилиндрической симметриями // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Математическое моделирование физических процессов, 2009. № 1. С. 19–28.
- [24] Давыдов М.Н., Кедринский В.К. Метод сглаженных частиц в задачах моделирования кавитационного разрушения жидкости при ударно-волновом нагружении // Прикладная механика и теоретическая физика, 2013. Т. 54. № 6. С. 17–26.
- [25] Лукьянов А.А., Пеньков В.Б. Моделирование деформирования твердого тела с использованием бессеточных методов // Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия, 2007. № 6 (56). С. 62–70.
- [26] Кравцевич Л.И., Прибыток П.В., Савицкий В.В. Программные средства для моделирования процессов в жидкостях методом молекулярной динамики // Сб. работ 64-й науч. конф. студентов и аспирантов Белорусского государственного университета, г. Минск, 15–18 мая 2007 г., в 3 ч. / под ред. А.Г. Захарова. Минск: Изд-во БГУ, 2007. Ч. 1. С. 45–48.

Сведения об авторах

Фокин Сергей Владимирович — д-р техн. наук, профессор кафедры лесного хозяйства и ландшафтного строительства Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова, feht@mail.ru

Фомина Ольга Александровна — ст. преподаватель кафедры лесного хозяйства, деревообработки и прикладной механики Государственного аграрного университета Северного Зауралья, os-stolbova@mail.ru

Поступила в редакцию 26.10.2020.

Принята к публикации 01.02.2021.

ENERGY WOOD PRODUCTION BY DISK CUTTING MACHINES WITH DIFFERENT METHODS OF CHIP EMISSION

S.V. Fokin¹, O.A. Fomina²

¹Saratov State Agrarian University named after N.I. Babilov, 1, Theatre Square, 410012, Saratov, Russia

²State Agrarian University of Northern Zauria, 7, Republic st., 625003, Tyumen, Russia

feht@mail.ru

The article describes the methodology of physical and mathematical modeling of the mechanism for ejection of chips of a disk chipper. This technique allows you to calculate and optimize the design and technological parameters of the chip ejection mechanism. To accomplish this task, the flow of chip elements was divided into separate spherical elements, and the working surfaces of the chip ejection mechanism are represented by a set of fragments of planes conjugated to each other. When creating a mathematical model for calculating and optimizing the design and technological parameters of the chip ejection mechanism, the following indicators of the efficiency of the chip ejection mechanism were analyzed: the rate of chip ejection at the exit of the chipping line, the probability of chip ejection from the first revolution of the chipping disk, the mechanical power consumed for the ejection of chips after the stage of crushing the cut residues knives. The mathematical model is implemented in a computer program in the Object Pascal language in the Delphi 7 development environment. The program allows carrying out computer experiments to analyze the movement in the casing and chipping of chips obtained from felling residues and to study the effect of the design and technological parameters of the ejection mechanism on the efficiency of the disk chipper. The computer studies carried out made it possible to determine the best numerical ranges of the chipping disk rotation frequency and the number of blades located on the chipping disk. The likelihood of chip entrainment at the first revolution of the chipping disk and the power consumption for the ejection of chips from the disk chipper were also determined.

Keywords: fuel chips, calorific value, chippers, chip ejection mechanism

Suggested citation: Fokin S.V., Fomina O.A. *K obosnovaniyu konstruktivno-tehnologicheskikh parametrov mekhanizma vybrosa shchepy iz diskovoy rubitel'noy mashiny* [Energy wood production by disk cutting machines with different methods of chip emission]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 2, pp. 99–107. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-2-99-107

References

- [1] Bolintineanu D.S., Grest G.S., Lechman J.B., Pierce F., Plimpton S.J., Schunk P.R. Particle Dynamics Modeling for Colloid Suspensions // *Comp. Part. Mech.*, 2014, v. 1, pp. 321–356.
- [2] Kovalev O.O. On Simulation of Hydraulic Fracturing Using Particle Dynamics Method // *The International Summer School «Advanced Problems in Mechanics»*, Saint-Petersburg, 01–06 June 2013. St. Petersburg: Institute for Problems in Mechanical Engineering, 2013, pp. 285–291.
- [3] Fokin S.V., Fomina O.A. *Ob ispol'zovanii matematicheskikh metodov modelirovaniya rubitel'nykh mashin* [On the use of mathematical methods for modeling chippers]. *Materialy 17-y Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Fundamental'nye issledovaniya, metody i algoritmy prikladnoy matematiki v tekhnike, meditsine i ekonomike»* [Materials of the 17th International Youth Scientific and Practical Conference «Fundamental Research, Methods and Algorithms of Applied Mathematics in Engineering, Medicine and Economics»], Novocherkassk, September 06–07, 2018. Novocherkassk: Lik, 2018, pp. 158–159.
- [4] Goncharov P.E., Bartenev I.M., Drapalyuk M.V. *Mashiny i mekhanizmy lesnogo i lesoparkovogo khozyaystva* [Machines and mechanisms of forestry and forest park economy]. Voronezh: VGLTU, 2016, 196 p.
- [5] Druchinin D.Yu., Bukhtoyarov L.D. *Matematicheskie metody v inzhenerii* [Mathematical Methods in Engineering]. Voronezh: VGLTU, 2019, 103 p.
- [6] Español P. Hydrodynamics from Dissipative Particle Dynamics // *Phys. Rev. E.*, 1995, v. 52, pp. 1734–1742.
- [7] Jakob C., Konietzky H. Particle Methods. An Overview. Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, 2012, 24 p.
- [8] Goncharov P.E., Drapalyuk M.V., Yudin R.V. *Teoriya mekhanizmov i mashin: Laboratornyy praktikum* [Theory of Mechanisms and Machines: Laboratory Workshop]. Voronezh: VGLTA, 2015, 108 p.
- [9] Sergeev V.V., Korostelev S.Yu., Psakh'e S.G. *Algoritmy lokalizatsii tochki v trekhmernom prostranstve dlya generatsii ob'ekta pri modelirovanii metodom chastits/ V.V.Sergeev* [Algorithms for localizing a point in three-dimensional space for generating an object when modeling by the particle method]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University], 2008, v. 312, no. 5, pp. 44–47.
- [10] Baburkin P.O., Komarov P.V., Khizhnyak S.D., Pakhomov P.M. *Modelirovanie protsessa geleobrazovaniya v tsistein-serebryanom rastvore metodom dissipativnoy dinamiki chastits* [Modeling the gelation process in a cysteine-silver solution by the method of dissipative dynamics of particles]. *Kolloidnyy zhurnal* [Colloid Journal], 2015, v. 77, no. 5, pp. 572–581.
- [11] Fokin S.V., Fetyaev A.N. *O formirovanii sistemy uravneniy dlya issledovaniya kharakteristik mekhanizma zagruzki syr'ya diskovoy rubitel'noy mashiny* [On the formation of a system of equations for the study of the characteristics of the mechanism of loading raw materials of a disk chipper]. *Problemy i perspektivy innovatsionnogo razvitiya mirovogo sel'skogo khozyaystva: sbornik materialov IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [Problems and prospects of innovative development of world agriculture: collection of materials of the IV International scientific-practical conference]. Saratov: Saratov GAU, 2013, pp. 287–290.
- [12] Lebedev-Stepanov P.V., Kadushnikov R.M., Molchanov S.P., Ivanov A.A., Mitrokhin V.P., Vlasov K.O., Rubin N.A., Yurasik G.A., Nazarov V.G., Alfimov M.V. *Samosborka nanochastits v mikroob'eme kolloidnogo rastvora: fizika, modelirovanie, eksperiment* [Self-assembly of nanoparticles in the microvolume of a colloidal solution: physics, modeling, experiment]. *Rossiyskie nanotekhnologii* [Russian Nanotechnologies], 2013, v. 8, no. 3–4, pp. 5–23.
- [13] Morkovina S.S., Drapalyuk M.V., Baranova E.V. *Innovatsionnye tekhnologii v lesokul'turnom dele: real'nost' i perspektivy* [Innovative technologies in forestry: reality and prospects]. *Lesotekhnicheskyy zhurnal* [Forestry journal], 2015, t. 5, no. 3 (19), pp. 327–338.
- [14] Fokin S.V., Bereznikov S.V. *O provedenii avtomatizirovannogo analiza energeticheskikh kharakteristik protsessa rezaniya drevesiny diskovoy rubitel'noy mashinoy* [On the automated analysis of the energy characteristics of the process of cutting wood with a disk chipper]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research], 2013, no. 10, pp. 2182–2187.
- [15] Druchinin D.Yu., Pozdnyakov E.V. *Osobennosti raboty lesokhozyaystvennoy tekhniki na vyrubkakh* [Features of the work of forestry equipment in felling areas]. *Khvoynnye boreal'noy zony* [Coniferous boreal zones], 2019, v. 37, no. 6, pp. 448–454.
- [16] Suravkin A.Yu. *Realizatsiya metoda SPH na CUDA dlya modelirovaniya neszhimaemykh zhidkostey* [Implementation of the SPH method on CUDA for modeling incompressible fluids]. *Nauka i obrazovanie* [Science and Education], 2012, no. 7, pp. 87–106.
- [17] Syuney V.S., Seliverstov A.A., Gerasimov Yu.Yu., Sokolov A.P. *Lesosechnye mashiny v fokuse bioenergetiki: konstruksii, proektirovanie, raschet* [Cutting machines in the focus of bioenergy: structures, design, calculation]. Joensuu: METLA, 2011, 143 p.
- [18] Platonova M.A., Drapalyuk M.V., Platonov A.A. *Dinamicheskaya model' vzaimodeystviya rotornogo rabocheho organa s drevesno-kustarnikovoy rastitel'nost'yu* [A dynamic model of the interaction of a rotary working body with trees and shrubs]. *Lesotekhnicheskyy zhurnal* [Forestry journal], 2015, v. 5, no. 4 (20), pp. 201–208.
- [19] Gerasimov A.V., Cherepanov R.O. *Razrabotka algoritma rascheta usloviy na svobodnoy i kontaktnoy granitsakh pri modelirovanii deformirovaniya materialov metodom SPH* [Development of an algorithm for calculating the conditions on the free and contact boundaries when modeling the deformation of materials by the SPH method]. *Izvestiya vuzov. Fizika* [Izvestiya Vuzov. Physics], 2009, no. 7/2, pp. 64–69.
- [20] Potapov A.P., Petrov I.B. *Modelirovanie volnovykh protsessov pri vysokoskorostnykh soudarenyakh metodom sglazhennykh chastits (SPH)* [Modeling of wave processes in high-speed collisions by the smoothed particle method (SPH)]. *Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo universiteta im. I. Kanta* [Bulletin of the Russian State University I. Kant], 2009, no. 10, pp. 49–55.
- [21] Kukaeva S.A., Turlapov V.E. *Testirovanie vychislitel'nykh vozmozhnostey metoda SPH dlya modelirovaniya fizicheskikh effektov v komp'yuternoy grafike* [Testing the computational capabilities of the SPH method for simulating physical effects in computer graphics]. *Trudy 19 Mezhdunarodnoy konferentsii po komp'yuternoy grafike i ee prilozheniyam (GraphiCon' 2009)* [Proceedings of the 19th International Conference on Computer Graphics and Its Applications (GraphiCon' 2009)], Moscow, October 5–9, 2009. Moscow: Moscow State University, 2009, pp. 325–326.

- [22] Aliev A.V. *Primeneniya metoda sglazhennykh chastits dlya resheniya zadach fizicheskoy gazovoy dinamiki* [Application of the smoothed particle method for solving problems of physical gas dynamics]. *Vychislitel'nye metody i programmirovaniye* [Computational methods and programming], 2008, v. 9, no. 1, pp. 40–47.
- [23] Zubov A.D., Lebedev A.M. *Metod sglazhennykh chastits SPH dlya raschetov gazodinamicheskikh zadach so sfericheskoy i tsilindricheskoy simmetriyami* [The method of smoothed particles SPH for calculating gas-dynamic problems with spherical and cylindrical symmetries]. *Voprosy atomnoy nauki i tekhniki. Seriya: Matematicheskoe modelirovaniye fizicheskikh protsessov* [Problems of Atomic Science and Technology. Series: Mathematical modeling of physical processes], 2009, no. 1, pp. 19–28.
- [24] Davydov M.N., Kedrinskiy V.K. *Metod sglazhennykh chastits v zadachakh modelirovaniya kavitatsionnogo razrusheniya zhidkosti pri udarno-volnovom nagruzhении* [The method of smoothed particles in the problems of modeling the cavitation destruction of a liquid under shock-wave loading]. *Prikladnaya mekhanika i teoreticheskaya fizika* [Applied Mechanics and Theoretical Physics], 2013, v. 54, no. 6, pp. 17–26.
- [25] Luk'yanov A.A., Pen'kov V.B. *Modelirovaniye deformirovaniya tverdogo tela s ispol'zovaniem bessetochnykh metodov* [Modeling the deformation of a solid using meshless methods]. *Vestnik Samarskogo universiteta. Estestvennonauchnaya seriya* [Bulletin of Samara University. Natural Science Series], 2007, no. 6 (56), pp. 62–70.
- [26] Kravtsevich L.I., Pribytok P.V., Savitskiy V.V. *Programmnye sredstva dlya modelirovaniya protsessov v zhidkostyakh metodom molekulyarnoy dinamiki* [Software for modeling processes in liquids by the molecular dynamics method]. *Sbornik rabot 64-y nauchnoy konfrentsii studentov i aspirantov Belgosuniversiteta* [Collection of papers of the 64th scientific conference of undergraduate and graduate students of the Belarusian State University], Minsk, May 15–18, 2007, at 3 p. Ed. A.G. Zakharova. Minsk: BSU, 2007, part 1, pp. 45–48.

Authors' information

Fokin Sergey Vladimirovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department of Forestry and Landscape Construction of the Saratov State Agrarian University, feht@mail.ru

Fomina Olga Aleksandrovna — Senior Lecturer of the Department of Forestry, Woodworking and Applied Mechanics of the State Agrarian University of Northern Zauria, os-stolbova@mail.ru

Received 26.10.2020.

Accepted for publication 01.02.2021.