

**К обоснованию конструктивных параметров щепопровода рубительной машины
для измельчения отходов лесозаготовок**

Ольга Александровна Фомина¹, Сергей Владимирович Фокин², Анастасия Владимировна Кастиорнова¹

¹ ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», г. Тюмень, Россия

² ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова», г. Саратов, Россия

e-mail: os-stolbova@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты исследований конструктивных параметров и рабочего процесса удаления щепы из рубительной машины, с верхним выбросом щепы, через щепопровод, состоящий из пяти участков. Принцип работы данного способа отвода щепы, основан на использовании кинетической энергии вращающихся лопастей, от которых частицы, получая определенный ее запас, направляются в потоке смеси с воздухом по щепопроводу в транспортную ёмкость. Указанный способ имеет присущие ему недостатки – не всегда стабильный процесс удаления полученной щепы, что не позволяет достигнуть эффективной работы рубительных машин с таким исполнением. Установлено, что конструктивные особенности щепопровода рубительной машины оказывают существенное влияние на удаление данных частиц из кожуха рубительной машины, особенно ввиду преобладания мелкой фракции, получаемой в результате измельчения сучьев, ветвей и вершин. Весьма большая протяженность щепопровода, специфическая геометрическая форма на различных его участках, а также значительная высота поднятия щепы, от 2 до 4 м, от ножей диска до выходного окна, оказывают сдерживающий эффект на движение щепы и на производительность работы всего механизма.

Ключевые слова: дисковая рубительная машина; щепопровод; конструктивные параметры; щепы.

Для цитирования: Фомина О. А., Фокин С. В., Кастиорнова А. В. К обоснованию конструктивных параметров щепопровода рубительной машины для измельчения отходов лесозаготовок // Аграрный научный журнал. 2023. № 3. С. 154–159. [http: 10.28983/asj.y2023i3pp154-159](http://10.28983/asj.y2023i3pp154-159).

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Substantiation of the design parameters of the chipper pipeline for shredding logging waste

Olga A. Fomina¹, Sergey V. Fokin², Anastasiya V. Kastornova¹

¹ FGBOU VPO "State Agrarian University of Northern Trans-Urals", Tyumen, Russia

² Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

e-mail: os-stolbova@mail.ru

Abstract. The results of studies of structural parameters and working process of chip removal from the chipper, with the upper chipper ejection, through the chipper pipeline, consisting of five sections are presented. The operating principle of this method of chippings removal is based on using the kinetic energy of rotating blades, from which the particles, receiving a certain amount of it, are directed in a stream of mixture with air through the chippings pipeline into the transport container. The specified method has inherent disadvantages - not always a stable process of removal of the resulting chips, which does not allow to achieve effective operation of chippers with this design. It is established that the design features of the chipper chipper pipeline have a significant influence on the removal of these particles from the chipper shell, especially in view of the predominance of the fine fraction obtained as a result of chopping twigs, branches and tops. The very long length of the chipper pipeline, the specific geometric shape in its various sections, as well as the considerable height of the chip elevation, from 2 to 4 meters, from the disc knives to the outlet window, have a restraining effect on the movement of the chips and on the performance of the entire mechanism.

Keywords: disc chipper; chipper pipeline; design parameters; chips.

For citation: Fomina O. A., Fokin S. V., Kastornova A. V. Substantiation of the design parameters of the chipper pipeline for shredding logging waste // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2023;(3): 154–159. (In Russ.). [http: 10.28983/asj.y2023i3pp154-159](http://10.28983/asj.y2023i3pp154-159).





Введение. Процесс измельчения древесных отходов зависит от следующих параметров устройства: наличия или отсутствия ножей на измельчающем диске, числа режущих элементов, диаметра и ширины кожуха, профиля щепопровода, количества оборотов рубительного диска, оснащения системой рециркуляции воздуха [1, 7].

Эффективность работы механизма выброса конечного продукта P зависит от производительности измельчителя P_0 . Так как объемные характеристики процесса измельчения сырья являются промежуточной величиной (если система транспортирования неэффективна, то остатки стружки накапливаются в кожухе), показатели эффективности выброса стружки являются более адекватной характеристикой всей установки. В данном варианте реализуется случай $P < P_0$, а наилучшим параметром работы щепопровода является условие, при котором $P = P_0$ [3].

Эффективность работы, энергоемкость и качество конечного продукта можно повысить, правильно отрегулировав рабочие параметры системы выброса щепы (щепопровода). Установлено, что изменение рабочих параметров механизма эвакуации продукта увеличивает эффективность устройства и целостность стружки на 20 % [2, 4]. Таким образом, при правильно организованном подходе можно устранить недостатки, возникшие из-за низкого уровня исследований по данной тематике, которые могут быть устранены путем увеличения объема исследований конструктивных характеристик щепопровода измельчающего оборудования, работающего в условиях лесосеки.

Целью данной работы является поиск оптимальных геометрических значений щепопровода измельчителя, которые обеспечивают наилучшие эксплуатационные возможности для эвакуации щепы из устройства и изучение взаимосвязи данных параметров с производительностью машины.

Методика исследований. Объект изучения представлен конструктивной схемой щепопровода дискового измельчителя. Динамика движения конечного продукта описывалась одной из разновидностей метода динамики частиц, который может воспроизвести сложные процессы, происходящие в потоке: рекомбинацию кинетической энергии, вихревой характер движения, смешение потоков, имеющих неодинаковые кинетические параметры. Непростая геометрическая форма поверхности щепопровода отражается в модели в виде ряда взаимосвязанных плоских фрагментов [6, 8].

Результаты исследований. Щепопровод при моделировании разделялся на пять зон: трапециевидную часть, соединения кожуха и щепопровода; часть, имеющую крелое сечение; переходную часть от круглого к прямоугольному сечению; часть с прямоугольным сечением; концевой части логарифмической формы.

Для каждого из данных участков трубопровода для щепы применялись уникальная индексация и особые принципы расположения опорных точек рабочей поверхности с учетом геометрических характеристик участка. На рис. 1, 2 отображены схемы, показывающие основные принципы индексации и положения точек [5, 10].

Трапециевидная часть щепопровода расположена между прямоугольным выходом кожуха (точки $P_{69}, P_{70}, P_{85}, P_{84}$) и частью щепопровода круглого сечения, изготовленного восьмиугольной формой (точки $P_{99} \dots P_{106}$) и параллельного горизонтальной плоскости (рис. 1, внизу). Поверхность данной части щепопровода включает в себя 12 треугольников: $P_{99}P_{69}P_{84}, P_{99}P_{106}P_{69}, P_{105}P_{106}P_{69}, P_{105}P_{69}P_{70}, P_{104}P_{105}P_{70}, P_{103}P_{104}P_{70}, P_{103}P_{70}P_{85}, P_{102}P_{103}P_{85}, P_{101}P_{102}P_{85}, P_{101}P_{84}P_{85}, P_{100}P_{101}P_{84}, P_{99}P_{100}P_{84}$.

Круглая часть щепопровода размещена между восьмиугольниками $P_{99} \dots P_{106}$ и $P_{107} \dots P_{114}$ (см. рис. 1, в центре).

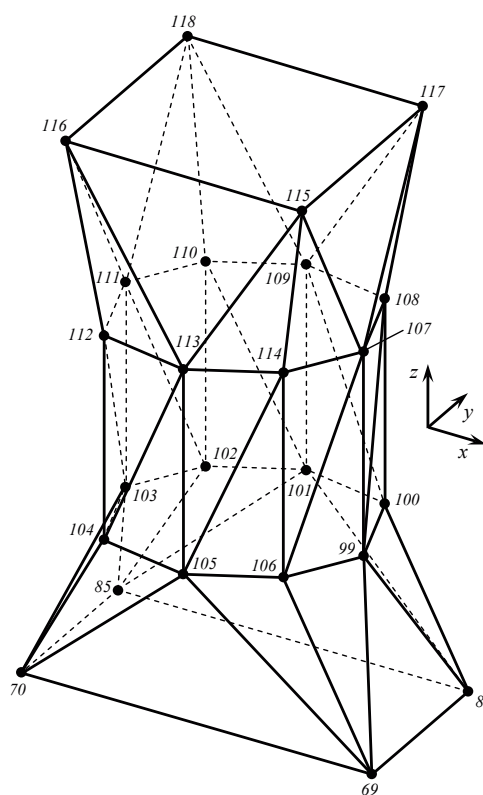


Рис. 1. Отображение частей щепопровода: трапециевидной (нижняя часть), круглой формы (центральная часть) и перехода от круглого к прямоугольному сечению (верхняя часть)



Площадь данной части выполнена из 16 треугольников (по два на каждую прямоугольную грань восьмиугольника):

$$P_{99+i}P_{100+i}P_{107+i}, P_{100+i}P_{107+i}P_{108+i}, i = 0...6;$$

$$P_{106}P_{114}P_{107}, P_{107}P_{106}P_{99}.$$

Зона перехода от круглой к прямоугольной части построена между восьмиугольной фигурой $P_{107}...P_{114}$ и прямоугольником $P_{115}P_{116}P_{118}P_{117}$ (см. рис. 1, вверху). Боковая площадь рассматриваемого участка щепопровода включает 12 треугольных фигур: $P_{107}P_{115}P_{117}, P_{107}P_{114}P_{115}, P_{113}P_{114}P_{115}, P_{113}P_{115}P_{116}, P_{112}P_{113}P_{116}, P_{111}P_{112}P_{116}, P_{111}P_{116}P_{118}, P_{110}P_{111}P_{118}, P_{109}P_{110}P_{118}, P_{109}P_{117}P_{118}, P_{108}P_{109}P_{117}, P_{107}P_{108}P_{117}.$

Индексация опорных точек и деление на треугольники выполнялись по аналогичному алгоритму (см. рис. 2). Модельная площадь щепопровода заключалась между прямоугольниками $P_{115+4k}P_{116+4k}P_{118+4k}P_{117+4k}$, где $k = 0...4$, располагающимися по возрастающей высоте и углу наклона стенок. Каждый из элементов боковой площади включает в себя восемь треугольных фигур: $P_kP_{k+4}P_{k+6}, P_kP_{k+2}P_{k+6}, P_kP_{k+1}P_{k+4}, P_{k+1}P_{k+4}P_{k+5}, P_{k+1}P_{k+3}P_{k+7}, P_{k+1}P_{k+5}P_{k+7}, P_{k+2}P_{k+3}P_{k+6}, P_{k+3}P_{k+7}P_{k+6}$, где k принимает значения 115, 119, 123, 127, 131.

Показателями эффективности механизма транспортирования конечного продукта являются [9]: v_b – скорость перемещения из щепопровода частиц измельченного сырья; p_1 – вероятность транспортировки щепы в начальный момент движения измельчителя (часть элементов, которая, соударяясь со стенкой, не эвакуируется с первого оборота механизма, а остается под действием гравитации в кожухе устройства, а затем перемещается из него лопастями); N_b – уменьшение мощности при перемещении из кожуха щепы; P – эффективность работы механизма.

Размер части круглого сечения d_2 – основная величина, влияющая на пропускную способность щепопровода при компьютерном моделировании, изменялась от 100 до 400 мм с шагом 75 мм (см. рис. 2). Полученные графические зависимости $v_b(d_2), p_1(d_2), N_b(d_2)$ имеют четкие значения оптимумов в совпадающих для всех графиков границах $d_2 = 220 \dots 300$ мм.

Уменьшение размера щепопровода от 200 мм снижает вероятность элементов попасть в плоскость щепопровода, увеличивая трение при концентрированном перемещении продукта в его узком сечении, поэтому эффективность рабочего процесса выброса измельченного сырья снижается по всем анализируемым параметрам (2, а).

При увеличении диаметра щепопровода более 320 мм возникает существенная дисперсия по углам векторов скорости в потоке щепы (см. рис. 2, в). Вследствие этого снижаются показатели эффективности механизма выброса щепы.

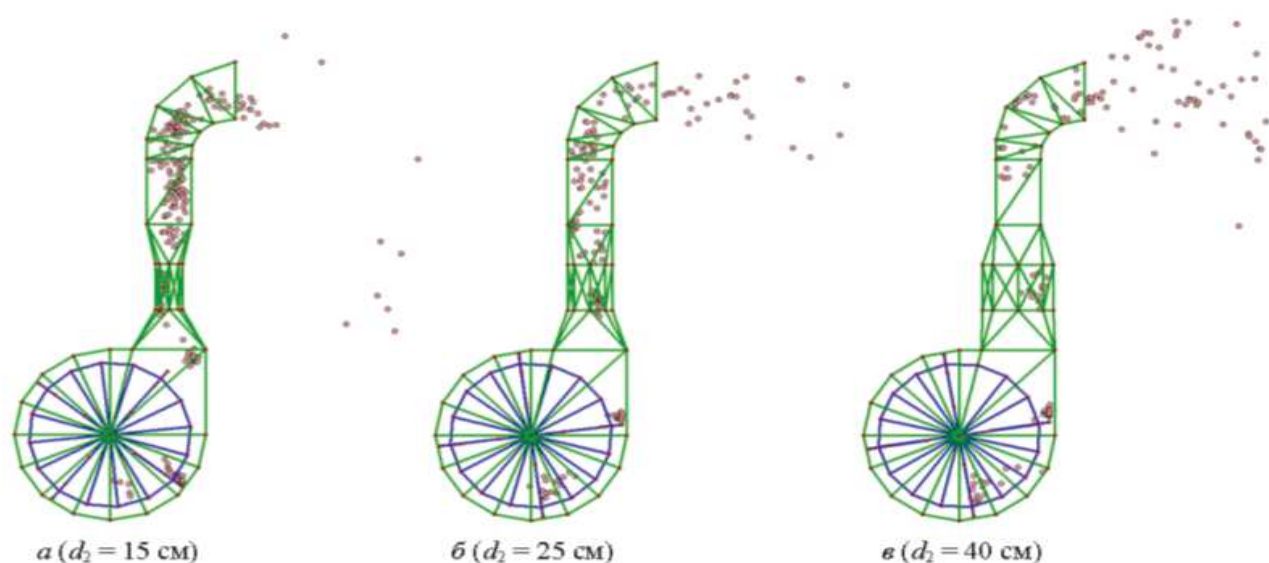


Рис. 2. Исследование вариантов механизма выброса щепы с различным диаметром d_2 цилиндрической части щепопровода



Как видно из графика, представленного на рис. 3, наибольшие параметры эффективности устройства составляют 81...84 кг/мин, что соответствует диаметру d_2 круглой зоны щепопровода 200...300 мм. При значительном диаметре щепопровода не создается устойчивого потока конечного продукта, что осложняет его транспортирование из механизма и приводит к уменьшению производительности машины.

Параметр l_2 , определяющий высоту круглой зоны щепопровода формирует концентрирующие возможности щепопровода, также воздействует на скорость перемещения щепы. Так, с возрастанием длины цилиндрической зоны щепопровода снижаются определяемые значения производительности механизма транспортирования конечного продукта, что наглядно представлено на рис. 4.

В результате исследования траектории перемещения элементов измельченной древесины установлено следующее: с удлинением цилиндрической части щепопровода возрастает число воздействий щепы со стенками щепопровода, что уменьшает кинетическую энергию щепы при перемещении, но при этом разброс значений векторов скорости уменьшается. Напрашивается следующий вывод, возрастание протяженности цилиндрической части вполне целесообразно, если необходимо транспортировать щепу узким потоком с малой скоростью (до 2 м/с) или же, если за дополнительный критерий необходимо принять размещение выходного окна щепопровода на максимальной высоте.

Если в результате практического использования измельчителя происходит возрастание потребляемой мощности при протяженности l_2 более 300 мм, то высота круглой зоны щепопровода не должна выходить за рамки значений 300 мм. При этом с возрастанием параметра от 0 до 500 мм увеличивается сопротивление потока конечного продукта, снижая эффективность рубильной машины с 88 до 77 кг/мин (рис. 5, а).

При высоте выходного окна щепопровода менее 200...300 мм незначительно снижается эффективность работы устройства, что позволяет утверждать, что наилучшие значения высоты цилиндрической зоны щепопровода l_2 находятся в границах 100–300 мм.

В соответствии с конструктивной схемой рубильной машины выходная часть щепопровода выполнена логарифмической формы. Поэтому базовое значение, задающее форму щепопровода

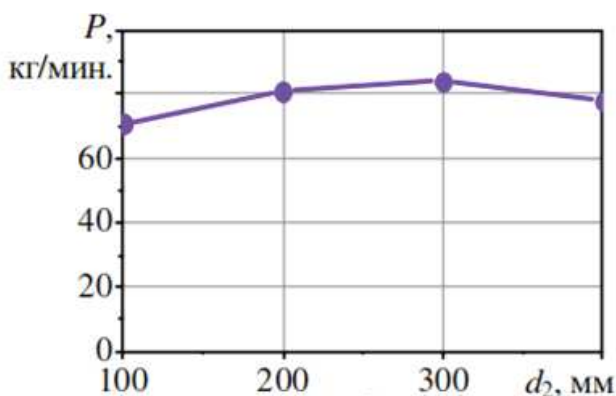


Рис. 3. Взаимосвязь эффективности механизма P от диаметра круглой зоны щепопровода d_2

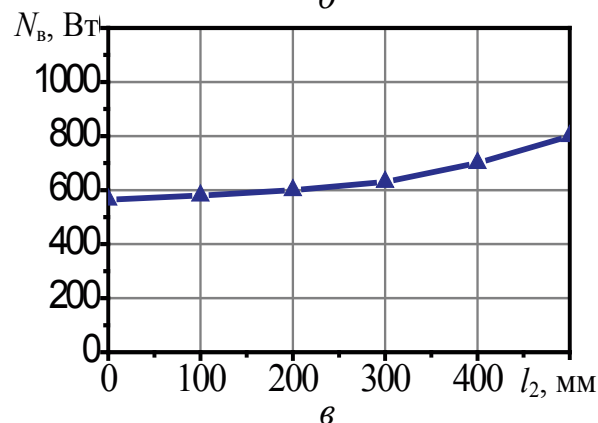
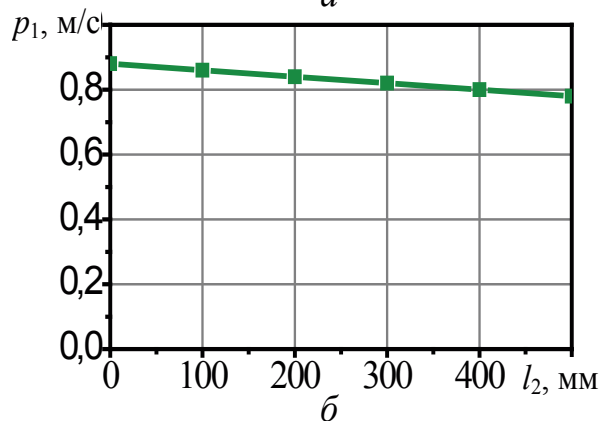
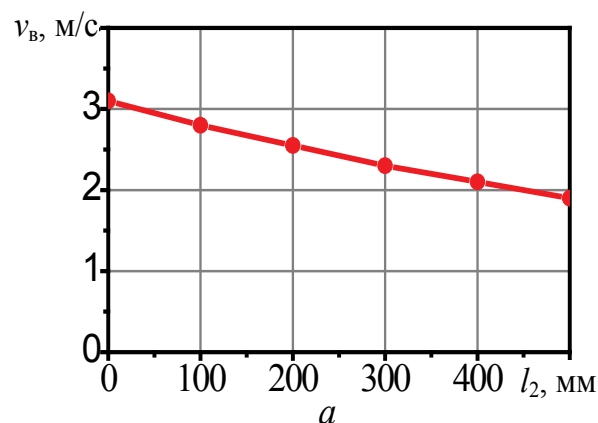


Рис. 4. Воздействие значений высоты круглой зоны щепопровода h_2 на скорость выброса щеп v_b на выходе щепопровода, вероятность выброса щепы с первого оборота p_1 и потери мощности на выброс щепы N_b



в данной зоне, определяется высотой выходного окна $h_{3л}$. При проведении экспериментов с помощью ЭВМ выяснено, что начиная со значений менее 400 мм результативность транспортирования измельченного сырья не зависит от размера окна, так как конечный продукт при движении контактирует в основном со стенкой щепопровода прямоугольной формы, размещенной ближе к оси измельчающего диска (рис. 5, б).

Уменьшение высоты выходного окна (особенно до значений менее диаметра цилиндрической зоны щепопровода) приводит к ухудшению результативности эвакуации выброса измельченного сырья. Следует отметить тот факт, что уменьшение диаметра цилиндрической зоны щепопровода сказалось бы на эффективности транспортирования щепы более значительно.

Возрастание значений высоты $h_{3л}$ выходного окна щепопровода способствует выходу щепы в большем объеме, поэтому эффективность механизма транспортирования щепы увеличивается (рис. 5, б). Наибольшее возрастание эффективности машины наблюдается в пределах значений с 75 до 84 кг/мин при увеличении праметра $h_{3л}$ с 200 до 400 мм. Дальнейшее возрастание $h_{3л}$ с 400 до 600 мм приводит к увеличению значений производительности незначительно (с 84 до 87 кг/мин).

Закключение. Наилучшие значения диаметра круглой зоны щепопровода составляют 220...300 мм, а скорость выброса не должна превышать 2,2 м/с, с вероятностью выброса за один оборот измельчающего диска менее 0,80 и потребляемой мощностью на транспортирование конечного продукта менее 620 Вт.

Наличие круглой зоны щепопровода длиной порядка 300 мм позволяет обеспечить наличие узкого потока щепы со скоростью движения более 2 м/с при размещении выходного окна выброса щепопровода более 2 м от оси рубительного диска и с вероятностью выброса щепы за один оборот рубительного диска более 0,8. При этом потребляемая мощность на выброс конечного продукта должна составлять менее 650 Вт.

Выходное окно щепопровода имеет высоту, равную 350...400 мм, что на 15...25 % больше диаметра щепопровода в его круглой зоне. Дальнейшее увеличение высоты окна нецелесообразно, так как практически не приводит к повышению эффективности выброса щепы, но увеличивает габаритные размеры механизма.

Наибольшая эффективность механизма выброса измельченного сырья (81...84 кг/мин) возможна при следующих праметрах щепопровода: диаметр цилиндрического участка 200...300 мм и его высота не более 300 мм, высота выходного окна не менее 400 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фокин С.В., Фомина О.А. Анализ исследований вентиляционной способности и процесса механического выбрасывания щепы из кожуха дисковой рубительной машины // Современные проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса: сб. материалов трудов II Междунар. науч.-практ. студенческой конференции-конкурса. Саратов, 2019. С. 94–97.
2. Саввин Е.В., Фокин С. В. О проблемах измельчения порубочных остатков на лесосеке // Лесотехнический журнал. 2011. № 2. С. 30–31.
3. Фомина О.А. Обоснование параметров механизма выброса щепы рубительной машины для производства энергетической древесины на вырубках: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова. Воронеж, 2022. 163 с.
4. Анисимов П.Н. Обоснование параметров конструкции и режима работы машины для заготовки щепы на лесосеке: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Йошкар-Ола, 2017. 18 с.
5. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2020660063. Программа для моделирования механизма выброса щепы из дисковой рубительной машины / С.В. Фокин, О.А. Фомина: заявители и правообладатели: С.В. Фокин, О.А. Фомина.- № 2020615028; заявл. 20.05.2020; зарег.: 27.08.2020.
6. Фокин С.В., Фомина О.А. О применении метода конечных элементов при проектировании рабочих элементов рубительных машин // Научная жизнь. 2017. № 12. С. 66–68.
7. Фокин С.В., Фомина О.А. Способы транспортирования щепы из рубительных машин // Научная жизнь. 2018. № 2. С. 10–15.

8. Фокин С.В., Фомина О.А. Об использовании математических методов моделирования рубительных машин // Фундаментальные исследования, методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике: Материалы 17-й Междунар. молодежной научно-практической конф. Новочеркасск, 2018. С. 158–159.

9. Фокин С.В., Фомина О.А. О постановке задач теоретического исследования рабочего процесса выброса щепы из дисковой рубительной машины // Центральный научный вестник. 2019. № 11 (76). С. 18.

10. Фокин С.В., Фомина О.А. О конструктивных особенностях дисковой рубительной машины для измельчения порубочных остатков // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: Материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. Саратов, 2020. С. 390–392.

REFERENCES

1. Fokin S.V., Fomina O.A. Analysis of studies of the ventilation capacity and the process of mechanical ejection of chips from the casing of a disk chipper. / *Modern problems and prospects for the development of the agro-industrial complex*: Saratov, 2019: 94–97. (In Russ.).

2. Savvin E.V., Fokin S.V. On the problems of chopping logging residues in the logging area. *Forestry journal*. 2011; 2: 30–31. (In Russ.).

3. Fomina O.A. Substantiation of the parameters of the chip ejection mechanism of a chipper for the production of energy wood in clearings. Voronezh, 2022. 163 p. (In Russ.).

4. Anisimov P.N. Substantiation of the design parameters and operating mode of the machine for harvesting wood chips in the cutting area. Yoshkar-Ola, 2017. 18 p. (In Russ.).

5. Certificate of state registration of computer programs No. 2020660063. Program for modeling the mechanism of chip ejection from a disk chipper / S.V. Fokin, O.A. Fomina: applicants and copyright holders: S.V. Fokin, O.A. Fomina.- No. 2020615028; dec. 05/20/2020; registered: 08/27/2020. (In Russ.).

6. Fokin S.V., Fomina O.A. On the application of the finite element method in the design of working elements of chippers. *Scientific life*. 2017; 12: 66–68. (In Russ.).

7. Fokin S.V., Fomina O.A. Methods for transporting wood chips from chippers. *Scientific life*. 2018; 2: 10–15. (In Russ.).

8. Fokin S.V., Fomina O.A. On the use of mathematical methods for modeling chippers. *Fundamental research, methods and algorithms of applied mathematics in engineering, medicine and economics*. Novocherkassk, 2018: 158–159. (In Russ.).

9. Fokin S.V., Fomina O.A. On the formulation of tasks for a theoretical study of the working process of ejecting wood chips from a disk chipper. *Central Scientific Bulletin*. 2019; 11 (76): 18. (In Russ.).

10. Fokin S.V., Fomina O.A. On the design features of a disk chipper for cutting logging residues. *Innovations in environmental management and protection in emergency situations*. Saratov, 2020: 390–392. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 17.11.2022; одобрена после рецензирования 11.12.2022; принята к публикации 21.12. 2022.

The article was submitted 17.11.2022; approved after reviewing 11.12.2022; accepted for publication 21.12.2022.

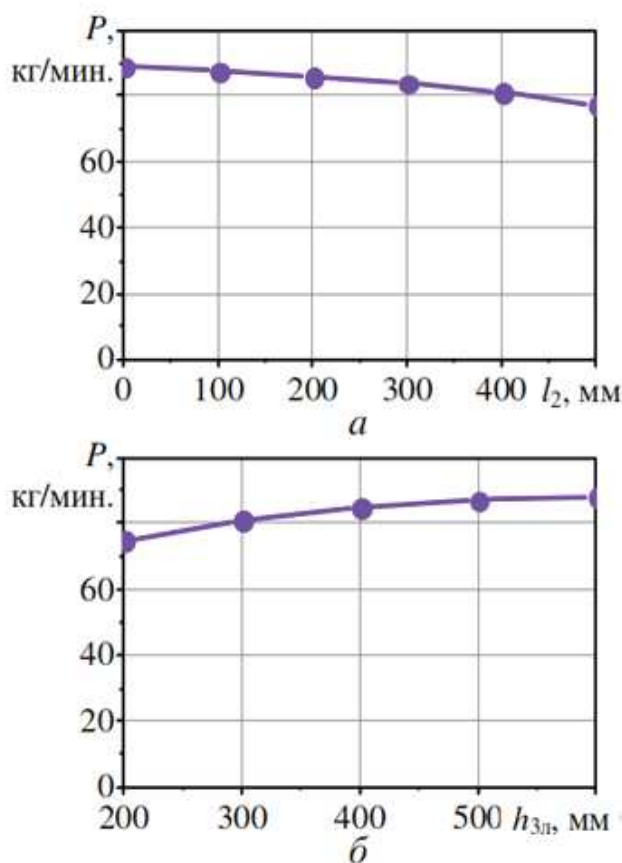


Рис. 5. Взаимосвязь эффективности измельчителя P от высоты круглой зоны щепопровода l_2 (а) и высоты выходного окна щепопровода $h_{3л}$ (б)

