

УДК 630

О РАБОЧЕМ ПРОЦЕССЕ СБОРА ТОПЛИВНОЙ ЩЕПЫ РУБИТЕЛЬНЫМИ МАШИНАМИ ФРЕЗЕРНОГО ТИПА

Фокин С.В.

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И.Вавилова»
Саратов, Россия, e-mail: feht@mail.ru

В статье приводятся итоги теоретических исследований рабочего процесса сбора топливной щепы рубительными машинами фрезерного типа. При помощи методов имитационного моделирования произведена оценка эффективности работы устройств для сбора продуктов измельчения порубочных остатков и пней, определены их оптимальные параметры. Для сбора щепы при работе машины для измельчения порубочных остатков целесообразно оснастить ее бункером с достаточной вместимостью и направить поток щепы в бункер с помощью специального кожуха, а для сбора щепы при работе машины для измельчения пней фрезу целесообразно оснастить специальным щепоуловителем. В рамках модели устройства для сбора продуктов измельчения порубочных остатков поверхности направляющего кожуха и бункера представлены 50 элементарными треугольниками, построенными на 29 опорных точках. Поверхность же щепоуловителя машины для измельчения пней представлена, в рамках общей методики моделирования, в виде совокупности 18-ти элементарных треугольников.

Ключевые слова: машина для измельчения пней, устройство для измельчения порубочных остатков, порубочные остатки, пни, щепы, дисковые рубительные машины

ON THE WORKING PROCESS OF COLLECTING FUEL WOOD CHIPS CHIPPERS MILLING TYPE

Fokin S.V.

FGBOU VPO «Saratov State Agrarian University named after N.I Vavilov»,
Saratov, Russia, e-mail: feht@mail.ru

The article presents the results of theoretical research workflow collecting fuel wood chips chippers milling type. Using simulation techniques evaluated the effectiveness of the device for collecting products grinding stumps and logging residues and determined their optimal parameters. To collect the chips when the machine for grinding wood residuals advisable to equip it with a hopper with sufficient capacity and direct the flow of chips into a hopper with a special casing, and to collect the chips when the machine for grinding stumps cutter advisable to equip special schepoulovitelem. Within the model of the device for collecting the products of forest residues surface grinding guide casing and hopper represented 50 elementary triangles built on the 29 points of support. Schepoulovitelya same surface grinders Stump presented within the overall modeling methodology as a set of 18 elementary triangles.

Keywords: machine for grinding stumps, a device for grinding forest residues, forest residues, stumps, wood chips, disc chippers

Продукты измельчения порубочных остатков и пней целесообразно собирать во время технологического процесса измельчения [1]. При этом не загрязняется вырубка и появляется возможность использовать продукты измельчения для производства биотоплива. Используя имитационное моделирование оценим эффективность работы устройств для сбора продуктов измельчения и определим их оптимальные параметры [2,3,4].

Для сбора щепы при работе машины для измельчения порубочных остатков [5,6] целесообразно оснастить ее бункером с достаточной вместимостью и направить поток щеп в бункер с помощью специального кожуха. Один из вариантов формы кожуха был проверен с помощью разработанной ранее математической модели (рисунок 1). Пространственная форма поверхности устройства сбора щепы задавалась целым рядом

параметров: R_k и D_k – радиус и толщина цилиндрического кожуха; L_b – расстояние от оси рубительного диска до бункера в поперечном направлении; S_k – зазор между кожухом и плоскостью рубительного диска в направлении его оси; B_b – высота приемного окна бункера; D_b , S_b , H_b – длина, ширина, высота бункера, имеющего в модели форму параллелепипеда.

В рамках модели поверхности направляющего кожуха и бункера состоят из 50 элементарных треугольников, построенных на 29 опорных точках. Индексы опорных точек показаны на рисунке 1, б. Индекс без скобок соответствует точке, находящейся с передней стороны бункера; индекс в скобках – с задней стороны бункера; индекс в двойных скобках соответствует самой дальней из трех точек, лежащих на одной линии взгляда.

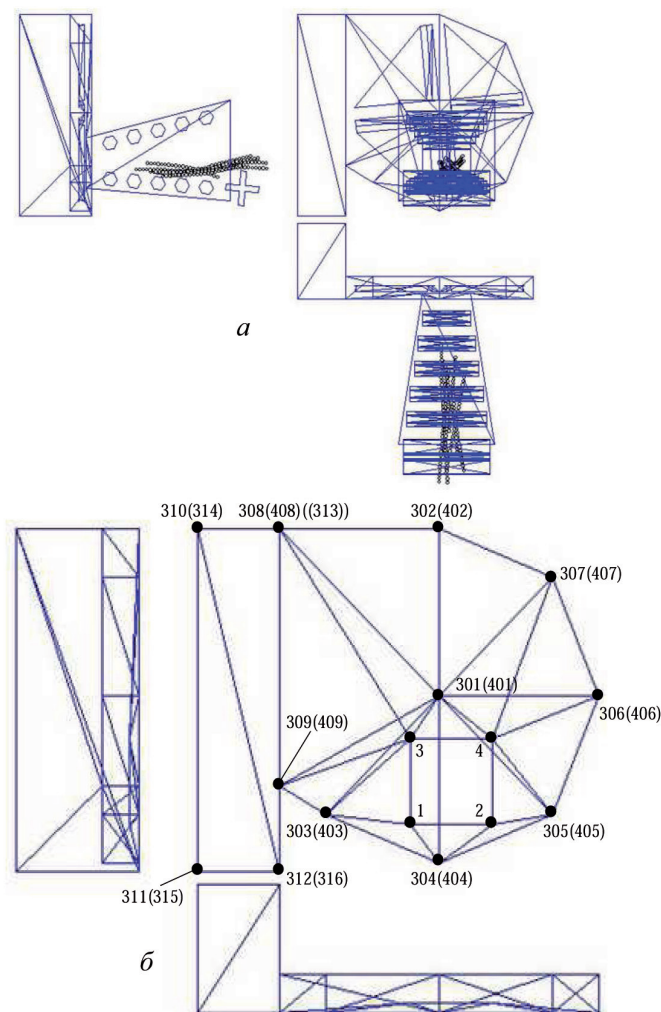


Рисунок 1 – Представление кожуха и бункера для сбора щепы в модели: а – модель машины полностью; б – крупным планом поверхности кожуха и бункера. Приведены по три проекции.

В процессе моделирования опорные точки располагаются в пространстве по отношению к точке $D(x_D, y_D, z_D)$ – центру руби-

тельного диска (расположена на оси диска, на уровне расположения режущих кромок ножей).

$$x_{P_{301}} = x_D + S_K; y_{P_{301}} = y_D; z_{P_{301}} = z_D; \quad (1)$$

$$x_{P_{302}} = x_D + S_K; y_{P_{302}} = y_D; z_{P_{302}} = z_D + R_K; \quad (2)$$

точки $P_{303} \dots P_{307}$ расположены по окружности кожуха:

$$\begin{cases} x_{P_{300+i}} = x_D + S_K; \\ y_{P_{300+i}} = y_D + R_K \cos\left(\frac{\pi(-6+i)}{4}\right); \\ z_{P_{300+i}} = z_D + R_K \sin\left(\frac{\pi(-6+i)}{4}\right), \end{cases} \quad (3)$$

где $i = 3...7$ – задает номер точки;

$$x_{P_{308}} = x_D + S_K; y_{P_{308}} = y_D - L_B; z_{P_{308}} = z_D + R_K; \quad (4)$$

$$x_{P_{309}} = x_D + S_K; y_{P_{309}} = y_D - L_B; z_{P_{309}} = z_D + R_K - B_B; \quad (5)$$

точки задней поверхности P_{300+i} смещены вдоль оси X по отношению к точкам передней поверхности P_{300+i} на величину D_K :

$$x_{P_{400+i}} = x_{P_{300+i}} - D_K; y_{P_{400+i}} = y_{P_{300+i}}; z_{P_{400+i}} = z_{P_{300+i}}; \quad (6)$$

где i принимает значения 1 ... 9.

При расположении в пространстве опорных точек бункера учитываются его габаритные размеры D_B, S_B, H_B :

$$x_{P_{310}} = x_D + S_K; y_{P_{310}} = y_D - L_B - S_B; z_{P_{310}} = z_D + R_K; \quad (7)$$

$$x_{P_{311}} = x_D + S_K; y_{P_{311}} = y_D - L_B - S_B; z_{P_{311}} = z_D + R_K - H_B; \quad (8)$$

$$x_{P_{312}} = x_D + S_K; y_{P_{312}} = y_D - L_B; z_{P_{312}} = z_D + R_K - H_B; \quad (9)$$

$$x_{P_{313}} = x_{308} - D_B; y_{P_{313}} = y_{308}; z_{P_{313}} = z_{308}; \quad (10)$$

$$x_{P_{314}} = x_{310} - D_B; y_{P_{314}} = y_{310}; z_{P_{314}} = z_{310}; \quad (11)$$

$$x_{P_{315}} = x_{311} - D_B; y_{P_{315}} = y_{311}; z_{P_{315}} = z_{311}; \quad (12)$$

$$x_{P_{316}} = x_{312} - D_B; y_{P_{316}} = y_{312}; z_{P_{316}} = z_{312}; \quad (13)$$

На опорных точках составляются элементарные треугольники, представляющие поверхности устройства для сбора щепы:

- периметр кожуха: $P_{306}P_{305}P_{406}, P_{405}P_{305}P_{406}, P_{305}P_{304}P_{405}, P_{404}P_{304}P_{405}, P_{304}P_{303}P_{404}, P_{403}P_{303}P_{404}, P_{303}P_{309}P_{403}, P_{409}P_{309}P_{403},$

- передняя стенка кожуха: $P_{301}P_{308}P_{301}, P_{301}P_{308}P_{302}, P_{301}P_{302}P_{307}, P_{301}P_{307}P_{4}, P_{305}P_{4}P_{2}, P_{304}P_{1}P_{2}, P_{303}P_{3}P_{1}, P_{303}P_{303}P_{309}, P_{309}P_{309}P_{308},$

- задняя стенка кожуха: $P_{401}P_{403}P_{409}, P_{401}P_{409}P_{408}, P_{401}P_{408}P_{402},$

- бункер: $P_{409}P_{309}P_{312}, P_{409}P_{312}P_{316}, P_{409}P_{316}P_{313}, P_{409}P_{313}P_{408}, P_{310}P_{311}P_{314}, P_{315}P_{311}P_{314},$

Бункер специально имеет вытянутую в вертикальном направлении форму, при этом нижняя его часть (примерно 1/4 высоты) служит для сбора щепы, а верхняя часть для направления потока щепы и гашения скорости.

Предложенная форма кожуха и бункера достаточно эффективно собирает продукты измельчения порубочных остатков (рисунок 2).

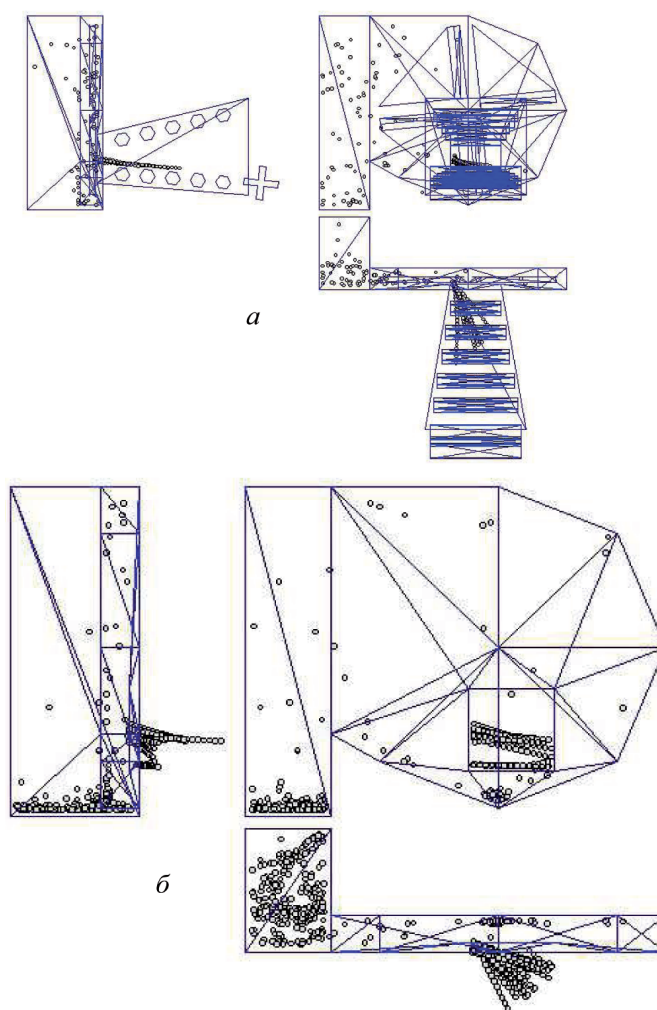


Рисунок 2 – Движение щепы в устройстве для их сбора в процессе работы машины: а – показана модель машина полностью; б – крупным планом показаны щепы в кожухе и бункере. Приведены три проекции

Около 80 % щепы летит в направлении бункера, теряет скорость соударяясь со стенками бункера в верхней его части и оседает на дно бункера. Около 10 % щепы увлекается во вращение рубильным диском, однако спустя один или несколько оборотов также попадает в бункер. Кроме того, около 10 % пытается задержаться в нижней части кожуха, однако по мере ее накопления ее захватывает рубильный диск и также выбрасывает в бункер.

Таким образом, устройство для сбора щепы порубочных остатков обеспечивает качественный сбор щепы в бункере [7]. На основе разработанной модели и анализа траекторий движения щеп в дальнейшем форма кожуха и бункера может быть оптимизирована так, чтобы щепы испытывали как можно меньше лишних движений до

попадания в бункер. Также оптимизация позволит улучшить компактность устройства и, соответственно, машины в целом.

Для сбора щепы при работе машины для измельчения пней [8,9] фрезой целесообразно оснастить специальным щепоуловителем (рисунок 3,а).

В рамках модели необходимо было представить поверхность щепоуловителя, которая вращается вместе с фрезой и ограничивает движение отделяемых элементов пня (щеп). Поверхность щепоуловителя представлена, в рамках общей методики моделирования, в виде совокупности 18-ти элементарных треугольников (рисунок 3,б). Для построения поверхности предварительно в пространстве вокруг фрезы распределялись 13 точек $P_{70} \dots P_{82}$ (в модели они имеют нумерацию от 70 до 82). Точка

P_{70} располагалась на оси фрезы и имела координаты $(x_B + N_{2x} \cdot d_{\text{щ}}, y_B + N_{2y} \cdot d_{\text{щ}}, z_B + N_{2z} \cdot d_{\text{щ}})$, где N_{2x}, N_{2y}, N_{2z} – координаты базисного вектора \vec{N}_2 , направленного параллельно оси фрезы; $d_{\text{щ}}$ – расстояние от верхней

плоскости фрезы до верхней плоскости щепоуловителя. Для создания верхней поверхности щепоуловителя, перпендикулярной оси фрезы, вокруг точки P_{70} распределялись шесть точек $P_{71} \dots P_{76}$:

$$\begin{cases} x_{P_{70+i}} = x_{P_{70}} + N_{1x} R_{\text{щ}} \cos(2\pi/6 \cdot i) + N_{3x} R_{\text{щ}} \sin(2\pi/6 \cdot i); \\ y_{P_{70+i}} = y_{P_{70}} + N_{1y} R_{\text{щ}} \cos(2\pi/6 \cdot i) + N_{3y} R_{\text{щ}} \sin(2\pi/6 \cdot i); \\ z_{P_{70+i}} = z_{P_{70}} + N_{1z} R_{\text{щ}} \cos(2\pi/6 \cdot i) + N_{3z} R_{\text{щ}} \sin(2\pi/6 \cdot i), \end{cases} \quad (14)$$

где $i = 1 \dots 6$ – задает номер точки; N_{1x}, N_{1y}, N_{1z} и N_{3x}, N_{3y}, N_{3z} – координаты базисных векторов \vec{N}_1 и \vec{N}_3 , определяемых по формуле (3.82); $R_{\text{щ}}$ – радиус цилиндра щепоуловителя.

Для создания боковой цилиндрической поверхности щепоуловителя в пространстве распределялись еще шесть точек $P_{77} \dots P_{82}$, координаты которых рассчитывались по формуле

$$\begin{cases} x_{P_{76+i}} = x_{P_{70}} + R_{\dot{U}} (N_{1x} \cos(2\pi/6 \cdot i) + N_{3x} \sin(2\pi/6 \cdot i) + N_{2x} (p_{\dot{U}} - H_{\dot{U}})); \\ y_{P_{76+i}} = y_{P_{70}} + R_{\dot{U}} (N_{1y} \cos(2\pi/6 \cdot i) + N_{3y} \sin(2\pi/6 \cdot i) + N_{2y} (p_{\dot{U}} - H_{\dot{U}})); \\ z_{P_{76+i}} = z_{P_{70}} + R_{\dot{U}} (N_{1z} \cos(2\pi/6 \cdot i) + N_{3z} \sin(2\pi/6 \cdot i) + N_{2z} (p_{\dot{U}} - H_{\dot{U}})), \end{cases} \quad (15)$$

где $H_{\text{щ}}$ – высота цилиндра щепоуловителя.

С использованием принятых обозначений верхняя поверхность щепоуловителя состоит из треугольников $P_{71} P_{70} P_{72}, P_{72} P_{70} P_{73}$,

$P_{73} P_{70} P_{74}, P_{74} P_{70} P_{75}, P_{75} P_{70} P_{76}, P_{71} P_{70} P_{76}$, боковая поверхность фрезы состоит из треугольников $P_{77} P_{72} P_{71}, P_{77} P_{72} P_{78}, P_{78} P_{73} P_{72}, P_{78} P_{73} P_{79}, P_{79} P_{74} P_{73}, P_{79} P_{74} P_{80}, P_{80} P_{75} P_{74}, P_{80} P_{75} P_{81}, P_{81} P_{76} P_{75}, P_{81} P_{76} P_{82}, P_{82} P_{71} P_{76}, P_{81} P_{71} P_{77}$.

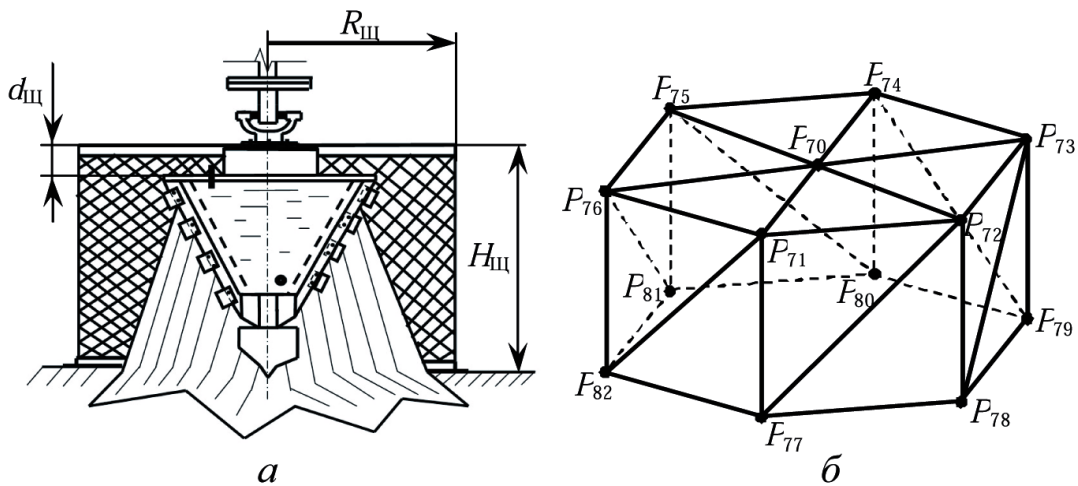


Рисунок 3 – Схема щепоуловителя (а) и представление поверхности щепоуловителя в модели в виде 18-ти элементарных треугольников (б)

С учетом изложенного была модифицирована компьютерная программа для имитации измельчения пней (рисунок 4). Визуальный анализ работы машины (в имитационной модели) показал, что отделяемые фрезой элементы пня (щепы), разлетаясь в разные стороны, ударяются о поверхности щепоуловителя и падают вблизи пня.

тационной модели) показал, что отделяемые фрезой элементы пня (щепы), разлетаясь в разные стороны, ударяются о поверхности щепоуловителя и падают вблизи пня.

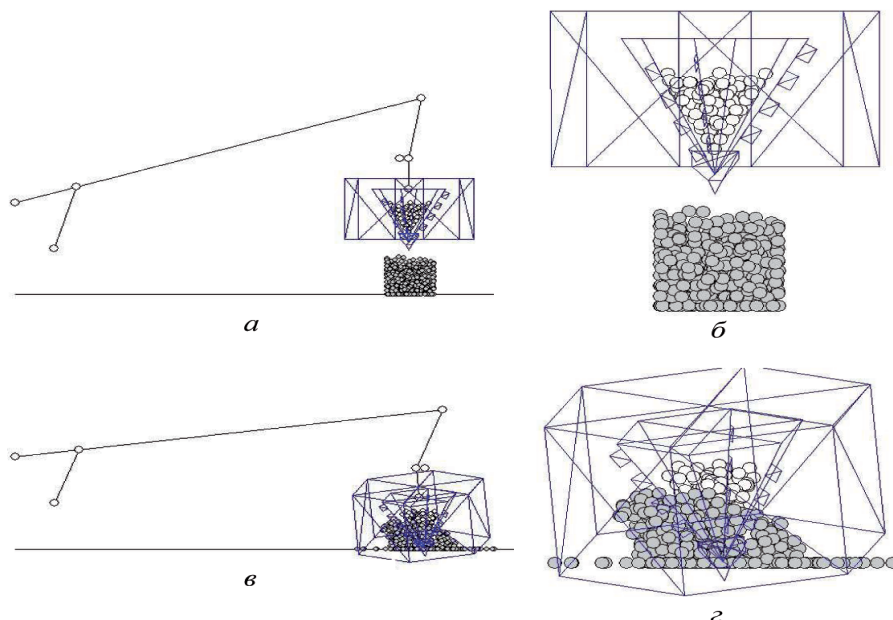


Рисунок 4 – Модель машины для удаления пней с щепоуловителем в начальный момент времени (а, б) и в процессе фрезерования пня (в, з); слева показана модель машины целиком (а, в), справа крупным планом показана фреза с щепоуловителем (б, з)

Разработанная модель позволила построить траектории движения отделяемых от пня элементов. Без щепоуловителя значительная часть элементов пня разлетается в разные стороны. Щепоуловитель даже небольшой высоты хорошо отражает щепу, движущуюся в вертикальном направлении, тем самым одновременно выполняя защитную функцию при $H_{щ} = 0,3$ м.

С помощью модели рассчитано распределение плотности $\sigma(r)$ древесной массы (количество элементов на единицу площади) в зависимости от расстояния от оси пня r . Если не используется щепоуловитель, то щепы распространяется по значительной площади, поэтому вблизи оси измельченного пня плотность древесины незначительна и медленно уменьшается с увеличением r .

В случае же использования щепоуловителя, практически вся щепы собирается в круге радиусом $R_{щ}$, поэтому плотность древесной массы велика при $r < R_{щ}$ и практически нулевая при $r > R_{щ}$. Таким образом, щепоуловитель эффективно препятствует разлетанию щеп [10].

При практически отсутствующей боковой поверхности щепоуловителя ($H_{щ} < 0,2$ м) доля древесины, остающейся под цилиндром щепоуловителя составляет около 60 %, при этом остальная часть улетает в боковом направлении. При увеличении же высоты цилиндрической поверхности, все большая доля щеп не может покинуть щепоуловитель, и падает на поверхность под ним. Начиная с $H_{щ} = 0,5$ м, щепоуловитель собирает практически всю щепу (более 90 %). Таким образом, оптимальные геометрические параметры щепоуловителя следующие $R_{щ} = 0,4$ м; $H_{щ} = 0,5$ м.

Список литературы

1. Фокин, С.В. О применении устройства для измельчения порубочных остатков при реконструкции защитных лесонасаждений / В.В.Цыплаков, С.В. Фокин // Научное обозрение.-2011.-№ 5- С.253-257.
2. Фокин, С.В. Теоретическое обоснование основных конструктивно-технологических параметров устройства для измельчения порубочных остатков/ С.В. Фокин, А.С.Бурлаков // Инновационная деятельность.-2011.-№4- С.123-130.
3. Фокин, С.В. Моделирование машины для измельчения порубочных остатков/ С.В. Фокин // Научное обозрение.-2011.-№5- С.258-265.

4. Фокин, С.В. К обоснованию параметров и режимов работы устройства для измельчения порубочных остатков / С.В. Фокин // Вестник Марийского государственного технического университета.-2011.-№3- С.36-45.
5. Устройство для измельчения порубочных остатков : Пат. 2354545 Рос. Федерация : А 01 G 23/06 / Цыплаков В. В., Шпортько О. Н., Фокин С.В.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – № 2007147160; заявл. 18.12.2007 ; опубл. 10.05.2009, Бюл. № 13.
6. Устройство для измельчения порубочных остатков : Пат. 129452 Рос. Федерация: В 27 L 11/00 / Фокин С.В., Березников С.В.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – № 2012157974/13 ; заявл. 27.12.2012 ; опубл. 27.06.2013, Бюл. № 18.
7. Фокин, С.В. О влиянии конструктивных и технологических параметров машины для измельчения порубочных остатков на эффективность ее работы / С. В. Фокин, Е.В. Саввин // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3; URL: <http://www.science-education.ru/103-6453> (дата обращения: 19.06.2012).
8. Машина для измельчения пней: Пат. на полезную модель 75133 Рос. Федерация : А 01 G 23/06 / Цыплаков В. В., Шпортько О. Н., Фокин С. В. ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – № 2008110127 ; заявл. 17.03.2008 ; опубл. 27.07.2008, Бюл. № 21.
9. Фокин, С.В. К построению динамической модели жидкостного наполнителя конической фрезы при измельчении пней / С. В. Фокин, О.Н. Шпортько // Естественные и технические науки : сб. науч. работ. – М. : Спутник+, 2012. – Вып. 2. – С. 466–468
10. Фокин, С.В. О применении устройства для измельчения порубочных остатков при реконструкции защитных лесонасаждений /В.В.Цыплаков, С.В. Фокин // Научное обозрение.-2011.-№ 5- С.253-257.