

УДК 621.221: 674.023

## ОЧИСТКА ПНЕВОГО ОСМОЛА ИМПУЛЬСНО-ЗАКРУЧЕННЫМИ ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ СТРУЯМИ

Полянин И.А., Никоноров К.Н.

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»,  
Йошкар-Ола, e-mail: NikonorovKN@volgatech.net

В статье рассмотрены вопросы отделения грунта, коры и гнили с пневой древесины с последующим использованием её в производстве. Рассмотрены существующие способы очистки древесины. Обоснован выбор очистки пневой древесины импульсно-вращательными гидравлическими струями. Разработана и изготовлена экспериментальная установка для проведения экспериментальных исследований по изучению характеристик импульсно-закрученных струй жидкости и основных режимов работы установки, используемых для очистки пневого осмолы. Приведены результаты экспериментальных исследований. Определены основные режимы работы установки гидравлической очистки по отделению с пневой и некондиционной древесины грунта, коры и гнили. Определены в общем виде регрессионные уравнения влияния независимых начальных параметров импульсно-закрученных гидравлических струй на ширину обработанной поверхности пневой древесины при удалении грунта, коры и гнили.

**Ключевые слова:** пневой осмол, очистка, импульс, импульсно-закрученная, гидравлическая струя

## CLEANING STUMP WOOD HYDRAULIC PULSE ROTATION JET

Polyanin I.A., Nikonorov K.N.

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, e-mail: NikonorovKN@volgatech.net

The questions of separation from the stump timber soil, bark, rot and shallow root system and then use it in production. The existing methods of cleaning the wood. The choice of cleaning wood stump hydraulic pulse-rotation jets. Designed and constructed an experimental setup for experimental studies on the characteristics of the pulsed jets of fluid, and the main modes of operation of the plant used to clean stump shalt. The results of experimental studies. The main modes of operation of the unit in the department of Hydro-Pulse treatment with the stump and the non-conforming lot of wood, bark, rot and shallow root system. Determined in a general way the influence of regression equations independent of the initial parameters of the pulse-rotation width of hydraulic jets on the surface of the treated wood stump removing soil, bark, rot and shallow root system.

**Keywords:** stump wood, cleaning, pulse, Impulse-rotation, hydraulic jet

Перед лесопромышленными предприятиями России в новых экономических условиях поставлены задачи обеспечения рационального использования лесосырьевых ресурсов, снижения себестоимости продукции путем улучшения структуры производства и внедрения новых прогрессивных технологий.

Одним из направлений полного использования доступной биомассы дерева является широкое использование пневой и некондиционной древесины, остающейся на лесосеках. Поэтому скорейшего решения требуют вопросы, связанные с организацией, техникой и технологией заготовки пневой и некондиционной древесины, используемой для получения экстракционной канифоли, скипидара и других химических компонентов. Основной целью заготовки пневой древесины является обеспечение сырьем действующих в нашей стране канифольно-экстракционных заводов.

После корчевки пневая древесина содержит большое количество грунта (около 40–50% от общего веса), вросшие в корневую систему крупные твердые фракции, а также гниль, кору и мелкую корневую

систему, практически не содержащие смолистых веществ [1, 6]. Кроме того, в общем объеме трудозатрат на заготовку пневого осмолы исключительно велик удельный вес разделки и очистки осмолы, колеблющийся при взрывной заготовке от 34 до 40%, а при механизированной до 51% от общего объема трудозатрат [2, 3, 6]. Таким образом, если не будет решен вопрос механизации разделки и очистки пневой древесины, то вся эффективность ее использования в производстве резко снижается.

### Решаемые задачи, направленные на достижение цели

Лесопромышленные предприятия располагают различными механическими, химическими и другими способами очистки круглых лесоматериалов. Однако специфические особенности и строение пневой и некондиционной древесины исключают возможность использования этих способов для ее очистки. За последнее время в зарубежной практике лесопромышленных производств широкое применение нашла гидравлическая окорка и очистка лесоматериалов.

Известные зарубежные гидроокорочные машины предусматривают использование стационарных гидравлических струй. Сущность такой гидравлической обработки заключается в воздействии на лесоматериалы гидравлической струи, подаваемой под высоким давлением на поверхность, подлежащую обработке. Гидравлическая высоконапорная струя, воздействуя на кору или гниль, разрушает и вымывает их. Обладая сравнительно высокой производительностью, эти гидравлические окорочные машины требуют огромных расходов воды, они энергоемки и малоэкономичны [4, 5].

Свойством увеличения динамического воздействия на поверхность лесоматериалов и повышения эффективности их очистки обладают импульсно-закрученные гидравлические струи. Использование импульсных гидравлических струй для первичной обработки круглых лесоматериалов было успешно применено в Марийском политехническом институте им. А.М. Горького Ю.Я. Дмитриевым, Г.Ф. Кислицыной и А.Н. Григорьевым [4, 5]. Применение импульсно-закрученных гидравлических струй позволило значительно снизить энергоемкость окорочных машин и потребности в воде на обработку лесоматериалов со значительным повышением качества очистки.

Основным видом сырья для канифольно-экстракционного производства является спелый пневоый осмол, представляющий собой ядровую древесину пней и корней хвойных пород. В промышленности в основном используют спелый пневоый осмол сосны и частично кедра. Спелым считается осмол, образовавшийся в процессе отгнивания заболони и малосмолистой древесины корней за период более 10 лет оставления пня после рубки насаждений. Технические требования к сырью, поставляемому на канифольно-экстракционные заводы (КЭЗ), регламентируются ОСТ 13-131-82 «Осмол пневоый сосновоый».

В соответствии с ОСТ 13-131-82 осмол пневоый должен быть очищен от остатков почвы, гнили, заболонной древесины и от обугленных частей. По своим размерам отдельные куски его не должны превышать по длине 60 см, а в поперечном сечении – 40×40 см, т.е. нижний предел размеров кусков пневоого осмола не регламентируется. В увязке с рентабельностью производства канифоли на канифольно-экстракционных заводах (КЭЗ) содержание ее в 1 т осмола при влажности 20% должно быть не менее 130 кг (13%).

Для очистки и предварительной разделки целых пней, а также неразделенного пневоого осмола механизированной заготовки в КирНИИЛП создана стационарная линия,

состоящая из двух установок: установки для очистки целых пней ЛО-106 на базе корообдирочного барабана КБ-20 и установки для предварительного измельчения целых пней ЛО-109. Линия смонтирована и испытана в Кайском леспромхозе Кировской области на переработке неразделенного пневоого осмола механизированной заготовки.

В состав линии входит следующее оборудование (рис. 1): погрузочно-транспортная машина ЛТ-175, двухцепной загрузочный конвейер, барабан корообдирочный КБ-20 со специальным загрузочным устройством, конвейер ленточный уборки отходов из-под барабана, конвейер цепной выгрузочный, установка для измельчения целых пней ДО-109, конвейер цепной скребковый для выноса кусков пней из-под машины ЛО-109, конвейер общей сборки отходов.

Линия работает следующим образом. Целые пни (свежие, спелый осмол, торфяные), заготовленные путем корчевания, подвозятся погрузочно-транспортной машиной на площадку к загрузочному конвейеру. С помощью грейферного захвата [6] или бульдозерного отвала пни сталкиваются в приемный бункер загрузочного устройства и конвейером подаются в корообдирочный барабан. При вращении барабана пни ударяются о стенки, на которых размещены ножи, друг о друга и очищаются от песка, коры и гнили. Мелкие корешки обламываются. Отходы проваливаются в отверстия в барабане и удаляются ленточным транспортером. Очищенные пни выгружаются из барабана автоматически, падают на выгрузочный конвейер и подаются в приемный бункер установки ЛО-109. На установке пни измельчаются на древесные частицы. Производительность по сырью 15 тыс. пл. м<sup>3</sup> в год, максимальный диаметр измельчаемого пня 1,1 м, мощность установки 221 кВт, масса установки 100 т.

Касаясь зарубежной практики очистки осмола, отметим, что в США, например, где наиболее развито производство экстракционной канифоли, эта технологическая операция перенесена на биржи и выполняется не в лесу, а на канифольно-экстракционных заводах. Для очистки и промывки осмола используются мощные очистительно-моющие машины, подобные применяемым на целлюлозно-бумажных предприятиях для окорки балансов.

Рассмотренные способы очистки пневоого осмола и их анализ позволили сделать следующие выводы:

– применяемая в настоящее время ручная очистка осмола на месте его заготовки малопродуктивна и трудоемка, значительно повышает себестоимость осмола;

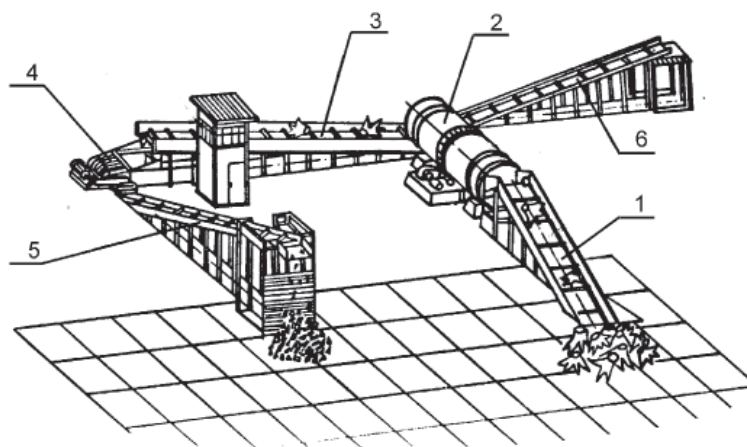


Рис. 1. Линия вибрационно-ударной очистки и разделки пневого осмола:  
 1 – загрузочный транспортер; 2 – установка для очистки целых пней ЛО-106 с загрузочным устройством; 3 – выгрузочный транспортер; 4 – установка для измельчения пней ЛО-109;  
 5 – транспортер выноса кусков пней; 6 – транспортер общей уборки отходов

- испытанные способы очистки целых корневых систем от грунта (ударный, пневматический и вибрационные) не обеспечивают качественную очистку пневого осмола;
- использование гидравлического способа очистки пневого осмола стационарными струями предусматривает большую энергоёмкость и значительный расход воды;
- установка по очистке пневого осмола барабанного типа не обеспечивает полной его очистки от грунта, гнили и мелкой корневой системы, не обеспечивает эффективную очистку свежего пневого осмола от коры, она энергоёмка и металлоёмка.

#### Предлагаемый способ

В связи с этим возникает необходимость в разработке новой установки по эффективной очистке пневого осмола от грунта, коры и гнили, которая обеспечивала бы технические требования к сырью, поставляемому на канифольно-экстракционные заводы (КЭЗ) [9].

Для проведения экспериментальных исследований по изучению характеристик импульсно-закрученных струй жидкости, используемых для очистки пневого осмола, разработана и изготовлена экспериментальная установка в лаборатории Поволжского государственного технологического университета.

Принципиальная схема экспериментальной установки представлена на рис. 2. В качестве источника высокого давления использовался насос типа ГВ-351А (7). Для питания установки водой введен питательный бак (8), вода из которого подается в насос через всасывающий патрубок (9), а затем через напорный патрубок (10) к гидроимпульсатору (11) [8]. Для смазки рабочих органов насоса с целью предохранения

их от коррозии в установку введен дополнительный масляный бачок (10).

Для очистки пневой древесины сконструирован и изготовлен металлический окорочный агрегат. Агрегат состоит из бака (1), в котором на уголках крепится фильтрационный бак (2) с сеточным дном. В баке (1) расположено сливное отверстие (3) для спуска очищенной воды в бассейн. В верхней части бака (1) имелись сливные наклонные крышки (4) и устройство для крепления пня. Крепящее устройство смонтировано на консоли, которая состояла из уголков, приваренных к кромкам бака. К валу консоли на сварке крепилась крестовина (5), к которой на сварке крепилась платформа (6) для установки пня. На концах крестовины шарнирно были смонтированы три зажима (24) с гребенками для обхвата и крепления установочного пня (21). Крепление зажимов осуществлялось болтовыми стяжками. Такая конструкция крепящего устройства предусматривала возможность вращения пня около вертикальной его оси.

Устройство для создания импульсно-закрученных струй крепилось с помощью болтового соединения к горизонтальной (12) и вертикальной (13) платформам. Те в свою очередь крепились к вертикальной стойке (16). Такая конструкция создавала возможность перемещения гидроимпульсатора в вертикальной плоскости вдоль продольной оси пня. Гидроимпульсатор также имел свободное перемещение в горизонтальной плоскости, вследствие чего можно было менять расстояние от среза насадки гидроимпульсатора до пня и угол атаки импульсно-закрученной гидравлической струи на боковую поверхность пня [8].

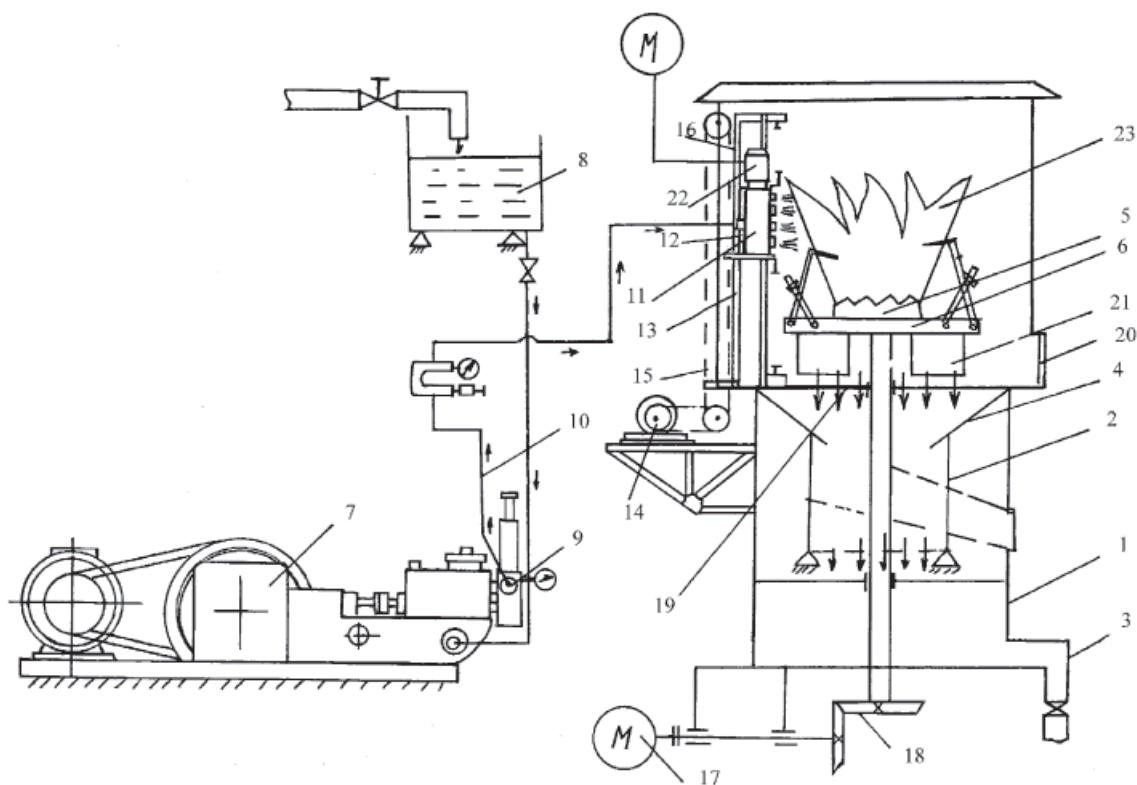


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

Установка работает следующим образом: насос высокого давления (7) из бака (8) подаёт рабочую жидкость через напорный патрубок (10) к гидроимпульсатору (11). Гидроимпульсатор, создавая импульсно-закрученную струю жидкости, подаёт её на поверхность пня. С помощью горизонтальной платформы (13) происходит перемещение гидроимпульсатора (11) по вертикальной стойке (16) с помощью привода (14) и цепной передачи (15), при этом происходит эффективная очистка пневого осмола от грунта, коры, гнили и мелкой корневой системы. Одновременно с вертикальным перемещением гидроимпульсатора происходит вращение пня на платформе (6) с помощью привода (17) и редуктора (18).

Удалённые с поверхности пня грунт, кора и гниль с помощью импульсно-закрученной гидравлической струи вместе с жидкостью попадают на сито (19). Мелкая фракция балласта проходит через сито (19) и по наклонным крышкам (4) попадает на фильтрующую сетку, где происходит очистка воды.

### Математическое моделирование

Импульс жидкости закрученной струи направлен к некоторой твердой плоской

поверхности, которая для простоты предполагается цилиндрической и рассматривается в прямоугольной системе координат XOY (рис. 3).

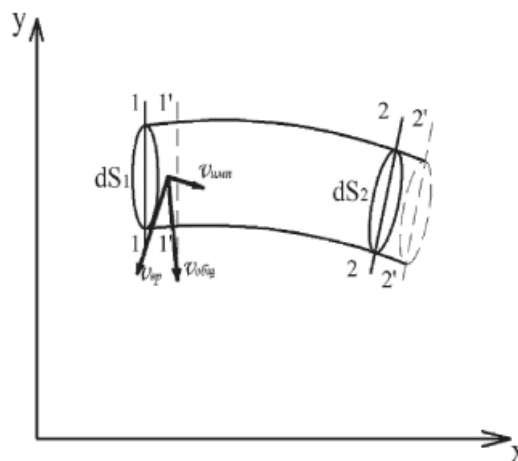


Рис. 3. Элементарная струйка в системе координат

Общее количество движения импульсно-закрученной элементарной струи будет выражаться из суммы импульсной составляющей и вращательной.

$$M_{\text{общ}}^1 = M_{\text{имп1}} + M_{\text{вр2}}; \quad (1)$$

$$M_{\text{общ}}^1 = M_{\text{имп1}} + M_{\text{вп2}} = \int_{S_1} \rho v_{\text{имп1}}^2 (H, t) dS_1 dt + \int_{S_1} \rho v_{\text{вп1}}^2 (H, t) dS_1 dt = \rho dt \int_{S_1} (v_{\text{имп1}}^2 + v_{\text{вп1}}^2) (H, t) dS. \quad (2)$$

Система уравнений определения нарастания и убывания переменной давления с изменением времени –  $t$ .

$$\begin{cases} p_1(H, t) = p_{\min} + k_1 p_{\min} t \\ p_2(H, t) = p_{\max} - k_2 p_{\max} t \end{cases} \quad \text{при} \quad \begin{cases} t_0 \leq t \leq t_{\max} \\ t_{\max} \leq t \leq t_p \end{cases} \quad (3)$$

Отсюда сила удара импульсно-закрученной струи будет

$$\begin{cases} P_1(H, t) = \rho S_0 \left( \varphi^2 \frac{2g(p_{\min} + k_1 p_{\min} t)}{\gamma} + \omega^2 \frac{4(p_{\max} - p_{\min} S_0)}{S_0 \rho \omega^2} \right) \\ P_2(H, t) = \rho S_0 \left( \varphi^2 \frac{2g(p_{\max} - k_2 p_{\max} t)}{\gamma} + \omega^2 \frac{4(p_{\max} - p_{\min} S_0)}{S_0 \rho \omega^2} \right) \end{cases} \quad \text{при} \quad \begin{cases} t_0 \leq t \leq t_{\max} \\ t_{\max} \leq t \leq t_p \end{cases} \quad (4)$$

В итоге получаем максимальную силу воздействия импульсно-закрученной струи на преграду:

$$P_{\max}(H, t) = 2S_0 \varphi^2 p_{\min} (1 + kt_{\max}) + \frac{4p_{\min} - 4S_0 p_{\max}}{\rho}, \quad (5)$$

где  $P_{\max}(H, t)$  – сила воздействия импульсно-закрученной струи на преграду;  $S_0$  – площадь выходного отверстия насадка;  $p_{\min}$  – минимальное давление в гидроимпульсаторе;  $p_{\max}$  – максимальное давление в гидроимпульсаторе;  $\varphi$  – коэффициент скорости в зависимости от профиля сопла;  $k$  – коэффициент падения давления в гидроимпульсаторе;  $t_{\max}$  – время максимального значения силы удара струй о преграду;  $\rho$  – плотность жидкости.

#### Техника эксперимента и методика обработки полученных результатов

Экспериментальные исследования по удалению грунта, коры и гнили с пневой древесины проводились на натуральных образцах спелого и свежего пневого осмола. В качестве варьируемых факторов выбраны расстояние от среза насадка до обрабаты-

ваемой поверхности  $l = 0,08-0,4$  м; диаметр насадка  $d_0$ , величина давления перед насадком  $p_n = 2,28-5,77$  МПа, частота следования импульсов  $f = 16-32$  Гц, угловая частота вращения струи  $\omega_c = 30-60$  с<sup>-1</sup>. Опыты проведены при постоянной скорости подачи рабочего органа  $v_n = 0,1$  м/с.

В результате экспериментальных исследований были определены в общем виде регрессионные уравнения влияния независимых начальных параметров импульсно-закрученных гидравлических струй на ширину обработанной поверхности пневой древесины при удалении грунта, коры и гнили.

С учетом найденных коэффициентов регрессионные уравнения взаимного влияния независимых параметров на ширину обрабатываемой поверхности примут вид

$$B_{\text{грунта}} = (0,0095 + 2,0093l^{0,5326})0,6366p_n^{0,1184} (0,1421 - 0,0091f^{0,2545})0,6352\omega^{0,189}; \quad (6)$$

$$B_{\text{коры}} = (-4,7553l^2 + 2,3072l + 0,2212)0,0983p_n^{0,5435} (0,1944 - 0,0049f^{0,2761})0,00965\omega^{0,7}; \quad (7)$$

$$B_{\text{гнили}} = (0,0223 + 1,5464l^{0,8962})0,1872p_n^{0,6596} (0,1632 - 0,0059f^{0,3524})0,1885\omega^{0,55}. \quad (8)$$

Сравнение результатов экспериментальных исследований с численными значениями величин, вычисленных по полученным выше зависимостям, показало, что средние относительные погрешности не превышали значений:

- а) удаление грунта – 0,70 %;
- б) удаление коры – 1,73 %;
- в) удаление гнили – 3,05 %.

**Выводы**

1. Разработан новый способ очистки поверхности лесоматериалов, защищённый патентом РФ, и может быть рекомендован для промышленного внедрения.

2. Основываясь на законах физики и механики, получили математическую модель воздействия импульсно-закрученной струи на поверхность пневой древесины.

3. Разработано устройство для очистки поверхности лесоматериалов, защищённое патентом РФ, и может быть рекомендовано для промышленного внедрения.

4. Полученные функциональные зависимости ширины обработанной поверхности пневой древесины от влияния независимых начальных параметров импульсно-закрученных гидравлических струй, которые могут быть использованы для инженерных расчетов при проектировании промышленных установок для очистки пневой древесины.

#### Список литературы

1. Аболь П.И. Теоретические предпосылки к процессу корчевания деревьев и пней // Труды ЦНИИМЭ. – 1969. – № 97. – С. 81–89.
2. Высоккий А.А. Состав и количество балласта в осмоле механизированной заготовки / А.А. Высоккий, О.В. Покрышкин, Р.П. Гонцов // Проблемы осмолозаготовок. – М.: Лесн. пром-сть, 1972. – С. 71–73.
3. Высоккий А.А. К вопросу о механизированной очистке пневого осмола от балласта / А.А. Высоккий, О.В. Покрышкин, Р.П. Гонцов // Проблемы осмолозаготовок. – М.: Лесн. пром-сть, 1972. – С. 76–83.
4. Григорьев А.Н. Особенности гидроимпульсной окорки сплавных лесоматериалов: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. – Йошкар-Ола, 1987. – 152 с.
5. Демин К.А. Механизация заготовки пневого осмола. – М.: Лесн. пром-сть, 1974. – 30 с.
6. Дмитриев Ю.Я. Гидравлическая окорка древесины / Ю.Я. Дмитриев, Г.Ф. Кислицина. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 136 с.

7. Новоселов Ю.М. Механизация осмолозаготовок. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 232 с.

8. Патент РФ № 2531286, МКИ7 В 05 В1/08. Гидроимпульсатор / И.А. Полянин, К.Н. Никоноров (Россия). – № 2013105058/05; Заявлено 06.02.2013 Оpubл. 20.10.2014 – 4 с.

9. Патент РФ № 2536049, МКИ7 В 05 В 1/08. Способ очистки поверхности лесоматериалов / И.А. Полянин, К.Н. Никоноров (Россия). – № 2013112289/05; Заявлено 19.03.2013 Оpubл. 27.11.2014 – 3 с.

#### References

1. Abol P.I. Teoreticheskie predposylki k processu korchevanija derevev i pnej // Trudy CNIMJe. 1969. no. 97. pp. 81–89.
2. Vysockij A.A. Sostav i kolichestvo ballasta v osmole mehanizirovannoj zagotovki / A.A. Vysockij, O.V. Pokryshkin, R.P. Goncov // Problemy osmolozagotovok. M.: Lesn. prom-st, 1972. pp. 71–73.
3. Vysockij A.A. K voprosu o mehanizirovannoj oчитке pnevogo osmola ot ballasta / A.A. Vysockij, O.V. Pokryshkin, R.P. Goncov // Problemy osmolozagotovok. M.: Lesn. prom-st, 1972. pp. 76–83.
4. Grigorev A.N. Osobennosti gidroimpulnoj okorki splavnyh lesomaterialov: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.21.01. Jshkar-Ola, 1987. 152 p.
5. Demin K.A. Mehanizacija zagotovki pnevogo osmola. M.: Lesn. prom-st, 1974. 30 p.
6. Dmitriev Ju.Ja. Gidravlicheskaja okorka drevesiny / Ju.Ja. Dmitriev, G.F. Kislicina. M.: Lesn. prom-st, 1981. 136 s.
7. Novoselov Ju.M. Mehanizacija osmolozagotovok. M.: Lesn. prom-st, 1984. 232 p.
8. Patent RF no. 2531286, MKI7 V 05 V1/08. Gidroimpulsator / I.A. Poljanin, K.N. Nikonorov (Rossija). no. 2013105058/05; Zajavleno 06.02.2013 Opubl. 20.10.2014 4 p.
9. Patent RF no. 2536049, MKI7 V 05 V 1/08. Sposob oчитки poverhnosti lesomaterialov / I.A. Poljanin, K.N. Nikonorov (Rossija). no. 2013112289/05; Zajavleno 19.03.2013 Opubl. 27.11.2014 3 p.

#### Рецензенты:

Смирнов М.Ю., д.т.н., профессор кафедры транспортно-технологических машин, ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола;

Алибеков С.Я., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой машиностроения и материаловедения, ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола.

Работа поступила в редакцию 01.04.2015.