



Научная статья

УДК 674.05:620.16

DOI: 10.37482/0536-1036-2023-1-116-125

Совершенствование конструкции цепных пильных аппаратов

А.Н. Заикин[✉], д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: Z-3172-2019,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1831-6893>

В.В. Сиваков, канд. техн. наук; ResearcherID: R-7264-2019,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0175-9030>

Е.В. Шевелева, канд. техн. наук; ResearcherID: H-2080-2019,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1763-6932>

Брянский государственный инженерно-технологический университет, просп. Станке Димитрова, д. 3, г. Брянск, Россия, 241037; zaikin.anatolij@yandex.ru, sv@bgitu.ru, elshev78@yandex.ru

Поступила в редакцию 23.12.21 / Одобрена после рецензирования 27.03.22 / Принята к печати 30.03.22

Аннотация. В настоящее время на лесосечных работах бензопилами и лесозаготовительными машинами с помощью цепных рабочих органов выполняются срезание деревьев, удаление сучьев, деление хлыстов на сортименты. Повышение надежности и работоспособности цепных пильных аппаратов значительно увеличивает эффективность лесосечных работ. В связи с сокращением машинного объема лесозаготовки важное значение приобретает повышение эффективности использования бензопил и совершенствование их конструкции, в первую очередь цепного пильного аппарата для увеличения его надежности и срока службы. Снижение объемов выпуска, низкое качество отечественных бензопил привели к тому, что в настоящее время на лесозаготовках страны в основном применяются бензопилы импортного производства, несмотря на постоянный рост их цены и стоимости обслуживания. Это делает актуальными проблему совершенствования конструкции бензопил как отечественного, так и зарубежного производства и, как следствие, вопрос исследования конструкции цепных пильных аппаратов для научно-обоснованного увеличения их надежности и долговечности. Низкая надежность в работе и повышенный износ составляющих частей пильных аппаратов обусловлены несовершенством конструкции механизма натяжения пильной цепи. Современные конструкции механизма натяжения пильной цепи для обеспечения необходимого усилия натяжения требуют периодической остановки пилы. Цель работы – совершенствование конструкции механизма натяжения пильной цепи для обеспечения требуемого монтажного натяжения в процессе работы бензопилы, которое даст возможность повысить надежность и срок службы цепных пильных аппаратов. Предложены возможные пути изменения конструкции механизма натяжения пильной цепи, что позволит достичь ее автоматического натяжения в процессе работы бензопилы, снизить вероятность спадания пильной цепи и риск ранения оператора.

Ключевые слова: цепной пильный аппарат, пильные цепи, надежность цепного пильного аппарата, лесозаготовительное оборудование, натяжение цепи, механизм для натяжения пильной цепи, автоматическое натяжение пильной цепи

Для цитирования: Заикин А.Н., Сиваков В.В., Шевелева Е.В. Совершенствование конструкции цепных пильных аппаратов // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 1. С. 116–125. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-1-116-125>

Original article

Design Improvement of the Forestry Chain Saws

Anatolij N. Zaikin✉, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [Z-3172-2019](https://orcid.org/0000-0002-1831-6893).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1831-6893>

Vladimir V. Sivakov, Candidate of Engineering; ResearcherID: [R-7264-2019](https://orcid.org/0000-0002-0175-9030).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0175-9030>

Elena V. Sheveleva, Candidate of Engineering; ResearcherID: [H-2080-2019](https://orcid.org/0000-0002-1763-6932).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1763-6932>

Bryansk State Technological University of Engineering, prosp. Stanke Dimitrova, 3, Bryansk, 241037, Russian Federation; zaikin.anatolij@yandex.ru✉, sv@bigitu.ru, elshev78@yandex.ru

Received on December 23, 2021 / Approved after reviewing on March 27, 2022 / Accepted on March 30, 2022

Abstract. At the present time logging operations such as cutting, limbing and bucking of trees at the cutting areas are performed with chain saws. Therefore, the increase reliability and productivity of the power saws significantly improve the efficiency of the timber-harvesting operations. Since, the volume of harvest by logging machinery extensively decreases, the design improvement and the increase of the operational life of the chain saws become particularly relevant. In the Russian Federation the production volumes and the low quality of the domestic chain saws have led to the fact that the power-driven tools are mostly imported from abroad. The prices and the maintenance costs of the foreign goods rise constantly. Consequently, the cost of harvested wood increases also. This makes it urgent to implement the scientific and technological development for improvement of the existing designs of the chain saws. One of the main reasons of the component's failure and increased abrasiveness of the blades is the improper tension in the chain drive mechanism. The modern configuration of the chain drive system requires periodic switch off the power for the proper tensile force. Thus, the aim of the research is the modification of the chain drive mechanism for the proper tensile strain of the chain in the chain saws. The study describes several technical solutions for improvement, which provides the automated tensioning of the chain in the working process. It can reduce the possibility of chain slipping in the operational functioning and increase the safety of the operator.

Keywords: chain saw, saw chains, chain saw reliability, harvesting and logging machinery, chain tensile strain, chain drive mechanism, automated saw chain tensioning

For citation: Zaikin A.N., Sivakov V.V., Sheveleva E.V. Design Improvement of the Forestry Chain Saws. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2023, no. 1, pp. 116–125. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-1-116-125>



Введение

Широкое применение в настоящее время на лесозаготовках нашей страны зарубежных машин и оборудования привело к тому, что отечественная техника почти не используется. Одна из причин такого положения дел – ее низкая надежность, поэтому задача разработки и внедрения новых надежных конструкций отечественной техники является актуальной.

Учитывая, что основная часть лесов в РФ произрастает в труднодоступной местности и использование лесозаготовительных машин в них затруднено или невозможно, а также то, что по своим конструктивным возможностям машины неспособны работать с крупномерными деревьями, широкое применение находят бензопилы. Многие леса в настоящее время арендованы частными предприятиями для заготовки растущей в них древесины в небольших объемах. Такие предприятия по своим возможностям не могут использовать лесозаготовительные машины и вынуждены проводить лесозаготовки при помощи бензопил [2, 3].

Бензопилы находят широкое применение при всех видах рубок леса и выполнении операций по обрезке сучьев, раскряжке хлыстов [18, 24–26], это также подтверждает актуальность вопроса повышения работоспособности и долговечности бензопил. Их цепной пильный аппарат имеет ряд положительных качеств – высокую производительность, удобство в эксплуатации и др. Вместе с тем высокие уровень шума [15] и травмоопасность [19], низкий моторесурс составных частей являются основными недостатками пильных аппаратов как отечественного, так и зарубежного производства [14]. Цена инструмента и стоимость обслуживания импортных машин и оборудования постоянно растут, а следовательно, увеличивается себестоимость заготавливаемой древесины, что является еще одним аргументом в пользу необходимости совершенствования конструкции бензопил с целью повышения их надежности и эксплуатационных качеств [17, 20, 21]. Достижение этой цели возможно путем научно-обоснованного совершенствования механизма натяжения цепи [4, 16].

Одной из проблем, снижающих эффективность цепного пильного аппарата, является удлинение пильной цепи при работе, приводящее к ее спаданию и вынуждающее оператора периодически останавливать работу для натяжения пильной цепи, что уменьшает производительность.

Цель исследования – разработка конструкции устройства, которая даст возможность автоматически выполнять натяжение пильной цепи при работе бензопилы, уменьшить вероятность ее спадания и снизить износ деталей пильного аппарата, а следовательно, повысить эффективность работы за счет уменьшения простоев.

Объекты и методы исследования

Основные части пильного аппарата – пильная цепь, направляющая шина, ведущая звездочка, механизм натяжения пильной цепи и масляный насос. Пильная цепь непосредственно выполняет полезную работу, является наиболее нагруженной и в связи с износом постоянно растягивается, что вызывает износ и ведущей звездочки. Отсутствие постоянного натяжения пильной цепи интенсифицирует износ и поломки всех составных частей пильного аппарата. Кроме того, вытягивание пильной цепи в результате износа ее элементов неред-

приводит к соскакиванию цепи со звездочки или ее обрыву, а это повышает риск ранения оператора.

Для непрерывного качественного выполнения работы необходимо, чтобы пильная цепь имела требуемое усилие натяжения. При излишнем натяжении цепи увеличиваются ее нагрев и нагрев направляющей шины, из-за чего растет потребляемая энергия, теряется эффективность пильного устройства и появляется возможность его заклинивания. При слабом натяжении цепи существует вероятность выпрыгивания хвостовиков пильной цепи из паза шины, что может стать причиной поломки инструмента (выламывания хвостовиков, износа направляющих шины и зубьев ведущей звездочки) и необходимости остановки бензопилы [22, 23].

Современные конструкции механизма натяжения пильной цепи не позволяют провести ее натяжение однократно, требуют регулярных остановок работы и осуществления натяжения по мере вытягивания пильной цепи.

Анализ работ о надежности цепных пильных аппаратов лесозаготовительной техники [5–8] показал, что, несмотря на большой объем проведенных исследований, вопрос натяжения пильной цепи режущего цепного аппарата до конца не решен, предлагаемые устройства не обеспечивают автоматическое регулирование натяжения. Конструкции известных устройств требуют большого опыта и не всегда могут гарантировать необходимое усилие натяжения пильной цепи.

На основании проведенного анализа работ можно отметить, что в конструкции цепных пильных аппаратов существуют варианты устройств для натяжения пильной цепи [1, 9–12]. Например, у пилы Stihl MS-230 и ряда других модификаций есть винтовой механизм для быстрого натяжения пильной цепи (рис. 1) и обычный механизм (рис. 2). Первый, управление которым осуществляется с крышки пильного аппарата, представляет собой пластиковый корпус 1 с закрепленным в нем металлическим стопором 2, удерживающим винт 3 от продольного перемещения. На винте установлена гайка 4, связанная скобой 5 с тягой 6, перемещающей пильную шину. На винте также установлен червяк 7, получающий вращение от зубчатого колеса 8 за счет ручного механизма быстрого натяжения пильной цепи 9.

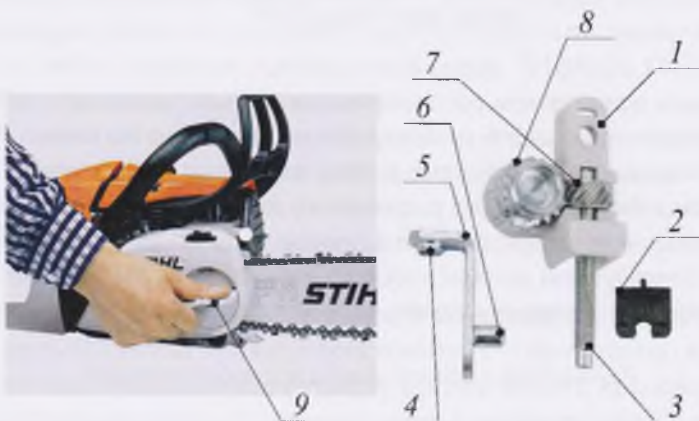


Рис. 1. Механизм для быстрого натяжения пильной цепи

Fig. 1. Mechanism for quick tensioning of the saw chain

Механизм обычного натяжения пильной цепи состоит из корпуса 1 с установленным в нем винтом 2, связанным с гайкой и тягой 3. Регулировка натяжения пильной цепи при помощи такого устройства осуществляется периодически с использованием отвертки.



Рис. 2. Механизм для обычного натяжения пильной цепи

Fig. 2. Mechanism for normal tensioning of the saw chain

Наиболее простой конструкцией является винтовой механизм бензопилы «Тайга-245» (рис. 3) – это винт 1 с гайкой 2 и тягой 3. Регулировка натяжения пильной цепи в случае применения этой конструкции также осуществляется периодически с помощью отвертки.

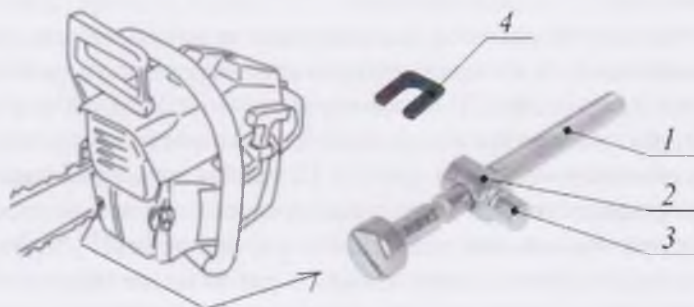


Рис. 3. Механизм натяжения пильной цепи бензопилы «Тайга-245»

Fig. 3. Mechanism for saw chain tensioning of the petrol-driven power saw "Tayga-245"

Основным недостатком рассмотренных вариантов конструкций является то, что при их использовании требуются периодическая остановка бензопилы по мере вытягивания пильной цепи и выполнение ее натяжения. В основном пильные шины выпускаются без подвижного элемента (ведомой звездочки), а натяжение пильной цепи производится посредством шины. Таким образом, использование конструкции автоматического натяжения пильной цепи для повышения ее надежности и срока службы является актуальной задачей.

Результаты исследования и их обсуждение

Выявленные недостатки конструкций механизмов натяжения пильной цепи дали нам возможность разработать устройство, обеспечивающее автоматическое натяжение пильной цепи при закрепленной пильной шине (рис. 4) [13].

Предлагаемая конструкция позволит отказаться от вынужденной остановки бензопилы, уменьшит степень износа направляющей шины, звеньев пильной цепи и вероятность ее спадания, а следовательно, повысит надежность и срок службы цепных пил, а также эффективность использования цепных пил.

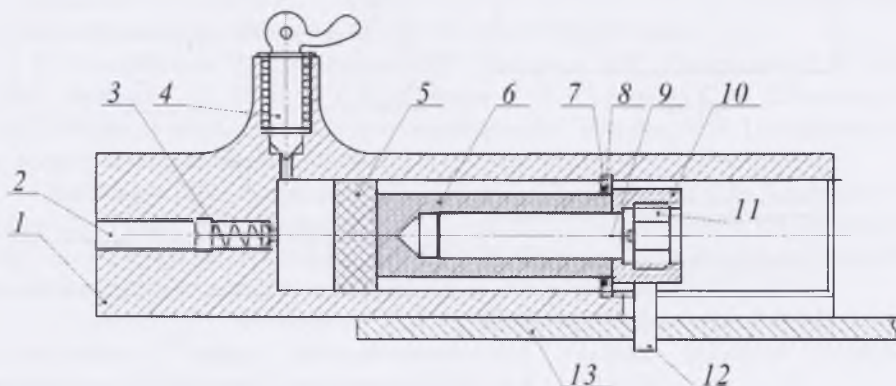


Рис. 4. Устройство для натяжения пильной цепи

Fig. 4. Saw chain tensioning device

Автоматическое натяжение пильной цепи достигается следующим образом. Механизм натяжения цепи включает натяжное устройство с маслоподводящим каналом 2 в корпусе пилы 1, нагнетательный канал 3 и предохранительный канал с перепускным клапаном 4, шток 6, жестко связанный с регулировочным винтом 9, обечайкой 10 и тягой 12 для непосредственного перемещения пильной шины.

Предлагаемое устройство работает следующим образом. Насосом мотопилы (на чертеже не показан) масло по маслоподводящему каналу через нагнетательный канал давит на манжету 5 и по мере нарастания давления вызывает перемещение штока с регулировочным винтом, который через стопорную гайку 11, обечайку и тягу перемещает пильную шину 13 по мере ослабления пильной цепи. Предохранительный канал с перепускным клапаном обеспечивает необходимое давление в системе, чем достигается постоянное нахождение манжеты 5 и тяги в переднем крайнем положении. Цифрами 7 и 8 на рис. 4 показаны гайка и манжета соответственно.

Для замены пильной цепи необходимо открыть перепускной клапан 4 и при воздействии шины через тягу переместить шток с манжетой в исходное положение, вытесняя масло в бак (не показан) для ослабления цепи. При замене цепи свободный ход до усилия монтажного натяжения выбирается регулировочным винтом.

Однако представленная конструкция не позволяет осуществлять перемещение пильной шины в зажатом состоянии, что необходимо в процессе автоматического натяжения цепи. Поэтому предлагается 2 возможных варианта подвижной пильной шины. В первом случае 4 направляющие в виде шариков устанавливаются в корпусе и крышке (рис. 5, а), во втором случае – непосредственно в пильной шине (рис. 5, б).

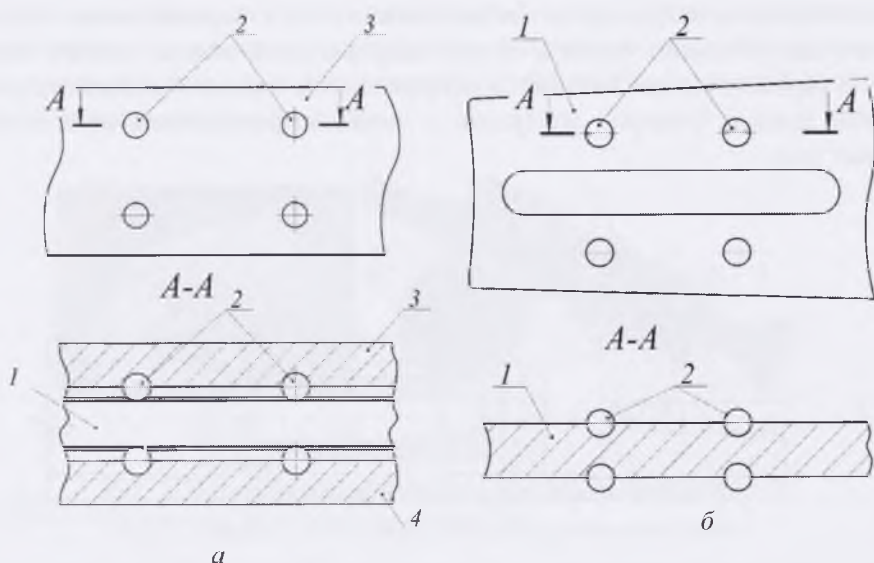


Рис. 5. Конструкции подвижной пильной шины с вставленными направляющими шариками: *а* – в корпусе и крышке; *б* – в пильной шине (*1* – шина; *2* – направляющие шарики; *3* – корпус; *4* – крышка)

Fig. 5. Designs of movable saw bar with inserted guide balls: *a* – in the body and cover; *b* – in the saw bar (*1* – bar; *2* – guide balls; *3* – body; *4* – cover)

Представленная конструкция устройства автоматического натяжения пильной цепи при закрепленной пильной шине, имеющей направляющие шарики, способствующие ее свободному перемещению, обеспечит возможность цепи постоянно находиться в натянутом положении, а следовательно, уменьшит вероятность ее спадания, ликвидирует расшатывание пильной шины и снизит износ деталей пильного аппарата.

Выводы

1. Разработанное конструктивное решение совершенствования пильного аппарата, обеспечивающее автоматическое натяжение пильной цепи при работе бензопилы, даст возможность снизить вероятность спадания пильной цепи и будет способствовать уменьшению износа элементов пильного аппарата.

2. При работе пильного аппарата с устройством для автоматического натяжения пильной цепи за счет снижения вероятности соскакивания цепи повышается безопасность работы и уменьшается риск ранения оператора при выполнении производственной операции.

3. Экономический эффект при использовании описанной конструкции достигается за счет увеличения срока службы цепного пильного аппарата. Также растет коэффициент использования моторного инструмента на чистом пилении, что ведет к повышению производительности работ.

4. Проведено теоретическое обоснование возможности применения предлагаемой конструкции на ряде серийно выпускаемых пил. Для ее практической реализации необходима заинтересованность производителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. А. с. 595152 СССР, МПК В27В 17/00. Рабочий орган переносной моторной пилы: № 2422195/29-15: заявл. 23.11.1976: опубл. 28.02.1978 / В.С. Жаденов, А.Н. Заикин, Ю.С. Харитонов.

Zhadenov V.S., Zaikin A.N., Kharitonov Yu.S. *Portable Power Saw Working Member*. Certificate of Authorship USSR, no. SU 595152 A1, 1978. (In Russ.).

2. Галактионов О.Н., Гаспарян Г.Д., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Куницкая О.А., Лапшин С.О., Перский С.Н., Суханов Ю.В., Сыромаха С.М., Шегельман И.Р. Бензиномоторные пилы. Устройство и эксплуатация / под ред. И.В. Григорьева. СПб.: Изд.-полигр. ассоц. вузов, 2017. 206 с.

Galaktionov O.N., Gasparyan G.D., Grigorev I.V., Grigoreva O.I., Kunitskaya O.A., Lapshin S.O., Perskiy S.N., Sukhanov Yu.V., Syromakha S.M., Shegelman I.R. *Petrol-Driven Power Saws. Design and Operation*. Ed. by I.V. Grigorev. Saint Petersburg, Izdatel'skopoligraficheskaya assotsiatsiya vuzov Publ., 2017. 206 p. (In Russ.).

3. Заикин А.Н., Коньшакова С.А., Сиваков В.В., Кузнецов С.Г., Булхов Н.А. Технологический ресурс лесозаготовительной техники лесхозов Республики Башкортостан // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 4. С. 123–133.

Zaikin A.N., Konshakova S.A., Sivakov V.V., Kuznetsov S.G., Bulkhov N.A. Technological Resources of Harvesting and Logging Machinery of Bashkortostan Forestries. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2020, no. 4, pp. 123–133. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-4-123-133>

4. Заикин А.Н., Торопов А.С., Меркелов В.М., Сиваков В.В. Повышение эффективности работы машин и оборудования при заготовке древесины в лесах с радиоактивным загрязнением // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 1. С. 113–127.

Zaikin A.N., Toropov A.S., Merkelov V.M., Sivakov V.V. Operating Efficiency Improvement of Machinery and Equipment While Logging in Forests with Radioactive Contamination. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2020, no. 1, pp. 113–127. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-1-113-127>

5. Заикин А.Н., Шевелева Е.В., Сиваков В.В. Повышение надежности цепных пильных аппаратов лесозаготовительного оборудования // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2019. № 54. С. 261–263.

Zaikin A.N., Sheveleva E.V., Sivakov V.V. Improving the Reliability Chain Saw Machines Forestry Equipment. *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa*, 2019, no. 54, pp. 261–263. (In Russ.).

6. Памфилов Е.А., Заикин А.Н., Кривченкова Г.Н., Пилушина Г.А. Основные закономерности нагружения деталей пильных аппаратов лесозаготовительной техники // Изв. вузов. Лесн. журн. 2011. № 2. С. 82–88.

Pamfilov E.A., Zaikin A.N., Krivchenkova G.N., Pilyushina G.A. Basic Regularities for Loading Details of Sawing Devices of Logging Machinery. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2011, no. 2, pp. 82–88. (In Russ.). <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/17f/09eu1.pdf>

7. Памфилов Е.А., Пилушина Г.А. Возможности и перспективные пути повышения работоспособности машин и оборудования лесного комплекса // Изв. вузов. Лесн. журн. 2013. № 5. С. 129–141.

Pamfilov E.A., Pilyushina G.A. Possibilities and Prospective Ways to Increase Working Capacity of Forest Sector Machines and Equipment. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2013, no. 5, pp. 129–141. (In Russ.). <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/716/le1.pdf>

8. Памфилов Е.А., Шевелева Е.В. Особенности исследования изнашивания режущих инструментов для переработки древесных материалов // Изв. вузов. Лесн. журн. 2017. № 6. С. 89–103.

Pamfilov E.A., Sheveleva E.V. A Study of Cutter Wear Rate for Wood-Based Materials Processing. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2017, no. 6, pp. 89–103. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2017.6.89>

9. Патент 2153978 C1 РФ, МПК В27В 17/14, В27В 17/00. Устройство для натяжения пильной цепи режущепильного аппарата моторной пилы: № 99107189/13: заявл. 05.04.1999: опубл. 10.08.2000 / Д.К. Шмаков, С.В. Дмитриев, М.А. Федоринин.

Shmakov D.K., Dmitriev S.V., Fedorinin M.A. *Device for Tightening of Saw Chain of Motor Saw Cutting Chain Apparatus*. Patent RF, no. RU 2 153 978 C1, 2000. (In Russ.).

10. Патент 2453423 C2 РФ, МПК В27В 17/14. Цепная пила, оборудованная устройством для регулирования натяжения пильной цепи: № 2009135791/13: заявл. 25.02.2008: опубл. 20.06.2012 / Р. Пелленк.

Pellenk R. *Saw Chain with Tensioner*. Patent RF, no. RU 2 453 423 C2, 2012. (In Russ.).

11. Патент 2482961 C1 РФ, МПК В27В 17/14. Цепная пила: № 2011152002/13: заявл. 06.04.2010: опубл. 27.05.2013 / К. Окоути.

Okouti K. *Chain Saw*. Patent RF, no. RU 2 482 961 C1, 2013. (In Russ.).

12. Патент 2709386 C1 РФ, МПК В27В 17/14, А01G 23/091. Цепная пила и способ управления перемещениями направляющей шины этой пилы: № 2018112434: заявл. 28.09.2016: опубл. 17.12.2019 / Т. Кохио, М. Хуттунен, Т. Каатрасало, М. Гарсия.

Kokhio T., Khuttunen M., Kaatrasalo T., Garsiya M. *Chain Saw and Method of Controlling Movement of Guide Bar of the Saw*. Patent RF, no. RU 2 709 386 C1, 2019. (In Russ.).

13. Патент 2706190 C1 РФ, МПК В27В 17/00. Рабочий орган переносной моторной пилы: № 2018124099: заявл. 02.07.2018: опубл. 14.11.2019 / А.Н. Заикин, Е.В. Шевелева, В.В. Сиваков.

Zaikin A.N., Sheveleva E.V., Sivakov V.V. *Operating Unit of Portable Motor Saw*. Patent RF, no. RU 2 706 190 C1, 2019. (In Russ.).

14. *Пошарников Ф.В., Кутисчев Д.С.* Перспективы применения бензиномоторного инструмента на лесозаготовках. Воронеж, 2003. 52 с.

Posharnikov F.V., Kutishev D.S. *Prospects for the Use of Gasoline-Motor Tools in Logging*. Voronezh, 2003. 52 p. (In Russ.).

15. Cheța M., Marcu M.V., Borz S.A. Workload, Exposure to Noise, and Risk of Musculoskeletal Disorders: A Case Study of Motor-Manual Tree Felling and Processing in Poplar Clear Cuts. *Forests*, 2018, vol. 9, iss. 6, art. 300. <https://doi.org/10.3390/f9060300>

16. Gerasimov Yu., Seliverstov A., Syunev V. Industrial Round-Wood Damage and Operational Efficiency Losses Associated with the Maintenance of a Single-Grip Harvester Head Model: A Case Study in Russia. *Forests*, 2012, vol. 3, iss. 4, pp. 864–880. <https://doi.org/10.3390/f3040864>

17. Jourgholami M., Majnounian B., Zargham N. Performance, Capability and Cost of Motor-Manual Tree Felling in Hyrcanian Hardwood Forest. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2013, vol. 34, iss. 2, pp. 283–293.

18. Karjalainen T., Zimmer B., Berg S., Welling J., Schwaiger H., Finér L., Cortijo P. *Energy, Carbon and Other Material Flows in the Life Cycle Assessment of Forestry and Forest Products*. Joensuu, Finland, European Forest Institute, 2001. 68 p.

19. Kim S., Nussbaum M.A., Schoenfish A.L., Barrett S.M., Chad Bolding M., Dickerson D.E. Occupational Safety and Health Concerns in Logging: A Cross-Sectional Assessment in Virginia. *Forests*, 2017, vol. 8, iss. 11, art. 440. <https://doi.org/10.3390/f8110440>

20. Koutsianitis D., Tsiaras P.A. Time Consumption and Production Costs of Two Small-Scale Wood Harvesting Systems in Northern Greece. *Small-Scale Forestry*, 2007, vol. 16, pp. 19–35. <https://doi.org/10.1007/s11842-016-9340-3>

21. Liepiņš K., Lazdiņš A., Liepiņš J., Prindulis U. Productivity and Cost-Effectiveness of Mechanized and Motor-Manual Harvesting of Grey Alder (*Alnus incana* (L.) Moench)

A Case Study in Latvia. *Small-Scale Forestry*, 2015, vol. 14, pp. 493–506. <https://doi.org/10.1007/s11842-015-9302-1>

22. Maciak A., Kubuška M., Moskalik T. Instantaneous Cutting Force Variability in Chainsaws. *Forests*, 2018, vol. 9, iss. 10, art. 660. <https://doi.org/10.3390/f9100660>

23. Marenčič J., Mihelič M., Poje A. Influence of Chain Filing, Tree Species and Chain Type on Cross Cutting Efficiency and Health Risk. *Forests*, 2017, vol. 8, iss. 12, art. 464. <https://doi.org/10.3390/f8120464>

24. Montorselli N.B., Lombardini C., Magagnotti N., Marchi E., Neri F., Picchi G., Spinelli R. Relating Safety, Productivity and Company Type for Motor-Manual Logging Operations in the Italian Alps. *Accident Analysis & Prevention*, 2010, vol. 42, iss. 6, pp. 2013–2017. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.06.011>

25. Spinelli R., Magagnotti N., Nati C. Options for the Mechanized Processing of Hardwood Trees in Mediterranean Forests. *International Journal of Forest Engineering*, 2009, vol. 20, iss. 1, pp. 39–44. <https://doi.org/10.1080/14942119.2009.10702574>

26. Vusič D., Sušnjak M., Marchi E., Spina R., Zečič Ž., Picchio R. Skidding Operations in Thinning and Shelterwood Cut of Mixed Stands – Work Productivity, Energy Inputs and Emissions. *Ecological Engineering*, 2013, vol. 61, part A, pp. 216–223. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.09.052>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest