Resources and Technology 23 (4): 1-20, 2026
ISSN 2307-0048
http://rt.petrsu.ru

УДК 630.32
DOI: 10.15393/j2.art.2026.10024
Статья

Возможности пачковой раскряжёвки низкотоварных хлыстов и крупных стволовых порубочных остатков

Рябухин Павел Борисович
доктор технических наук, профессор, Тихоокеанский государственный университет (Хабаровск, Российская Федерация), 000340@pnu.edu.ru

Куницкая Ольга Анатольевна
доктор технических наук, профессор, Арктический государственный агротехнологический университет (Якутск, Российская Федерация), ola.ola07@mail.ru

Получена: 15 августа 2026 / Принята: 6 октября 2026 / Опубликована: 12 ноября 2026

Аннотация: В Российской Федерации, как и в большей части стран мира, доминирует сортиментная группа технологических процессов заготовки древесины, предусматривающая вывозку с лесосек готовой продукции в виде сортиментов (брёвен специального назначения). Наибольшее распространение получила так называемая «скандинавская технология», реализуемая при помощи комплекса лесосечных машин, включающего харвестер и форвардер. Больше всего порубочных остатков на пасеках, при прочих равных условиях, остаётся именно при реализации скандинавской технологии лесосечных работ. Часть из них оказывается вдавлена в почвогрунт на трассах трелёвочных волоков, часть оказывается измельчённой. Но, как показывает практика обследования вырубок в различных субъектах Сибири и Дальнего Востока, достаточно большая доля порубочных остатков технически доступна и может быть собрана для дальнейшего использования. Статья посвящена анализу научных исследований в области изучения вопроса по разработке конструкции установки для раскряжёвки пачек круглых лесоматериалов в виде тонкомерных низкокачественных стволовых и порубочных остатков. Рассмотрены результаты научных теоретических и практических исследований в области энергоёмкости процесса резания пачки круглых лесоматериалов и работоспособности установки, приведены материалы по выбору типа пильного аппарата, режущего инструмента и формы поперечного сечения приёмного устройства установок для пачковой раскряжевки, обеспечивающие устранение зажимов пильной шины в процессе

© Рябухин П. Б., Куницкая О. А., 2026

пиления. Проанализировав большой объём научной информации и результаты практического применения установок для пачковой раскряжёвки, можно сделать вывод об очевидных преимуществах данного способа раскряжёвки перед поштучной обработкой отдельных лесоматериалов. При этом, как показала практика использования уже работающих подобных установок, одной из причин их низкой эффективности являются частые остановки по причине зажима в пропиле пачки используемого режущего органа в виде пильной цепи ПЦУ-30М. В связи с этим в статье ставится актуальный вопрос поиска конструкции режущего органа раскряжёвочной установки, обеспечивающего беззажимность процесса пиления пачки круглых низкокачественных лесоматериалов и порубочных остатков. Представлены предварительные теоретические исследования, которые составят основу дальнейших изысканий по разработке и созданию беззажимного режущего органа пильного аппарата для пачковой раскряжёвки, вычисления численных значений его конструктивных параметров с использованием математических моделей в виде программных продуктов.

Ключевые слова: лесозаготовки; порубочные остатки: пачковая раскряжёвка; пильный аппарат; зажим

DOI: 10.15393/j2.art.2026.10024
Article

Feasibility of bandle bucking of low-quality random length stems felling residues

Pavel Ryabukhin
D. Sc. in engineering, professor, Pacific State University (Khabarovsk, Russian Federation), 000340@pnu.edu.ru

Olga Kunitskaya
D. Sc. in engineering, professor, Arctic State Agrotechnological University (Yakutsk, Russian Federation), ola.ola07@mail.ru

Received: 15 August 2026 / Accepted: 6 October 2026 / Published: 12 November 2026

Abstract: In the Russian Federation, as in most of the countries of the world, the sorting group of technological processes for harvesting wood dominates, providing for the export of finished products from cutting areas in the form of wood assortments (special-purpose logs). The most widespread one is the so-called Scandinavian technology, implemented by using a complex of cutting machines, including a harvester and forwarder. Most of the felling residues in swaths, all other things being equal, are left when the Scandinavian technology of logging operations is used. Some of them are pressed into the soil on the skidding trails, some are crushed. However, as the practice of surveying logging sites in various regions of Siberia and the Far East shows, a fairly large proportion of logging residues is technically available and can be collected for future use. The article presents the analysis of scientific research in the field of studying the issue of designing an installation for bucking bundles of round timber in the form of thin-dimensional low-quality stem and felling residues. The article considers the results of scientific theoretical and practical research in the field of energy intensity of the process of cutting bundles of round timber and the operability of the installation, provides materials on the choice of the type of saw blade, cutting tool and the shape of the cross-section of the receiving device of installations for batch bucking, ensuring the elimination of saw bar clamps during sawing. After analyzing a large amount of scientific information and the results of the practical application of installations for batch bucking, we can conclude that this method of bucking has obvious advantages over the piece-by-piece processing of individual timber. At the same time, as the practice of using such installations already in operation has shown, one of the reasons for their low efficiency is the frequent stops due to the clamping of a pack of used

cutting body in the form of a PCU-30M saw chain in the cut. In this regard, the article raises the urgent issue of finding a design for the cutting body of a bucking unit that ensures the safety of the sawing process for bundles of round low-quality timber and felling residues. The article presents preliminary theoretical studies that will form the basis for further research on the development and creation of a non-clamping cutting body of a saw blade for batch bucking and on numerical values calculation of its design parameters using mathematical models in the form of software products.

Keywords: logging; felling residues; bandle buckling; sawing machine; clamp

1. Введение

Современные технологии лесозаготовок с использованием систем лесозаготовительных машин, реализующие процесс производства круглых лесоматериалов с требуемыми на рынке древесины размерно-качественными характеристиками непосредственно на лесосеке, предусматривают два варианта последовательности выполнения работ:

- валка деревьев (валочно-пакетирующей машиной) + их трелёвка на верхний склад (трелёвочной машиной) + обрезка сучьев и раскряжёвка хлыстов на верхнем складе (сучкорезно-раскряжёвочной машиной), так называемая «канадская технология»;
- валка деревьев + обрезка сучьев + раскряжёвка непосредственно у пня на пасеке (валочно-сучкорезно-раскряжёвочной машиной) + трелёвка сортиментов на лесопогрузочный пункт (трелёвочной машиной), так называемая «скандинавская технология» [1].

Как показывают проведённые исследования [2—7], количество порубочных остатков при реализации этих вариантов проведения лесосечных работ больше всего образуется при использовании «скандинавской технологии». Все эти остатки (откомлёвки, вершинки, сучья и низкокачественные стволовые отрезки) концентрируются, в основном, на волоках. Сучья, вершинки и откомлёвки остаются на месте для укрепления волока, крупные отрезки стволовой древесины, остающиеся на вырубке, могут быть использованы для дальнейшей переработки. Современные подборщики позволяют эффективно и безопасно собирать их [8], а мобильные установки для групповой обработки — подготавливать к использованию в энергетических целях.

В рамках проведения натурных исследований на вырубках, разработанных системой машин на базе харвестера, установлено, что невостребованные на рынке сортименты из вершинной части ствола лесозаготовителями оставляются непосредственно на вырубке или на верхнем складе. При сдаче разработанной лесосеки эта деловая по качеству, но низкотоварная по экономическим параметрам древесина сжигается в пожаробезопасный сезон, оставляется на перегнивание или используется для укрепления сети трелёвочных волоков и труднопроходимых участков лесовозных дорог [9—12].

Необходимо отметить, что некачественная (неоптимальная) очистка вырубок от порубочных остатков, или её полное отсутствие, значительно увеличивают пожарную и фитопатологическую опасность участков лесного фонда, и существенно усложняют решение данных проблем при их возникновении [13—17]. Ниже представлены фотографии, характеризующие количество и размеры порубочных остатков после разработки лесосеки системой машин «харвестер + форвардер» (фото 1).

В связи с невостребованностью на рынке и большого расстояния вывозки готовой продукции от лесосеки до потребителя, оставление вершинных частей ствола и кусковых длинномерных отрезков диаметром до 16 см на вырубке характерно для многих лесопромышленных предприятий Дальневосточного федерального округа, где глубокая переработка древесины реализуется в незначительных объёмах. При этом предприятия,

специализирующиеся на выпуске продукции глубокой переработки древесины (целлюлозно-бумажные комбинаты, заводы по производству плитной продукции из древесины, по производству пеллет т. п.), крайне нуждаются в поставках балансовой древесины, получаемой из вершинных сортиментов [18].



Фото 1. Порубочные остатки и некондиционная (низкокачественная) древесина после разработки лесосеки системой машин «харвестер + форвардер»

Photo 1. Felling residues and substandard (low-quality) wood after the development of the cutting area by the harvester + forwarder machine system

Из-за территориальной удалённости мест заготовки древесины от перерабатывающих производств, отсутствия у промышленников экономического и морального стимулов проблема грамотного рециклинга порубочных остатков относится к числу наиболее актуальных в нашей стране. При этом имеется ряд существенных факторов, ограничивающих лесозаготовителей браться за решение этой проблемы. Порубочные остатки не используются в полном объёме из-за сочетания законодательных норм, проблем с технологиями переработки, экономических факторов и экологических рисков. Убыточность переработки делает утилизацию порубочных остатков нецелесообразной для лесозаготовителей. Низкая экономическая рентабельность реализации технологий по переработке из-за низкого спроса на продукцию из древесных отходов.

Анализируя опыт работы «продвинутых» в данном аспекте производственной деятельности лесозаготовительных предприятий, можно сказать, что сбор и использование порубочных остатков на лесных делянах является хотя и проблемным, но вполне решаемым вопросом [19], [20]. Особенно продуктивно этот вопрос решается на лесопромышленных предприятиях Финляндии, где серийно выпускаются специализированные лесные машины, выполняющие сбор и пакетирование порубочных остатков на территории лесосеки с последующей раскряжёвкой сформированных крупномерных пакетов [9], [10] (фото 2).



Фото 2. Сборщик порубочных остатков

Photo 2. Collector of felling residues

В качестве пильного аппарата на данной машине применяется стандартная пильная шина с универсальной пильной цепью, которая по своей конструкции не может быть использована для раскряжёвки пакета (пачки) круглых лесоматериалов толщиной 10—16 см (вершинки, кусковые отрезки, баланс и др.).

С целью решения проблемы по использованию порубочных остатков и некондиционной древесины в качестве сырья для получения продукции различного направления использования, ставится задача по разработке конструкции установки (машины), способной с высокой эффективностью производить раскряжёвку пачек тонкомерных низкотоварных стволов и порубочных остатков в условиях лесосеки.

2. Материалы и методы

Использованы анализ производственного опыта лесопромышленных предприятий и литературных источников.

3. Результаты

Раскряжёвка круглых лесоматериалов является одной из важнейших и трудоёмких операций в лесопромышленном производстве, которая занимает до 35 % от всех трудозатрат лесопромышленного склада. По вопросу раскряжёвки круглого леса в стране и за рубежом накоплен большой опыт.

Значительный вклад в исследованиях в этом направлении внесли такие учёные, как Д. К. Воевода, Б. Г. Залегаллер, Г. К. Вилько, В. С. Петровский, А. И. Ларионов, Е. А. Юдин, Н. А. Вячеславов, Г. М. Васильев и др. В области изучения вопроса раскряжёвки круглых лесоматериалов, сформированных в отдельную пачку, и создания установок для реализации данной операции большая работа проведена сотрудниками ЦНИИИМЭ, среди которых необходимо отметить работы С. К. Теслюка [21—24] и Л. Е. Михеева [25—28].

В настоящее время для раскряжёвки низкотоварной древесины и порубочных остатков на верхних складах лесопромышленных предприятий используются процессоры с различным технологическим оборудованием с индивидуальным методом раскроя и поштучным продольным перемещением хлыста. Выработка на одну такую установку с поштучной продольной обработкой хлыстов составляют 100—150 м^3 в смену.

Технологическое оборудование процессоров имеет различную компоновку исполнительных механизмов (фото 3):

- в одномодульных процессорах оно включает манипулятор с комбинированным сучкорезно-раскряжёвочным модулем (фото 3*а*);
- в двухмодульных процессорах комбинированный сучкорезно-раскряжёвочный модуль установлен на раме шасси, там же смонтирован и загрузочный модуль в виде манипулятора с грейферным захватом (фото 3*б*);
- в трёхмодульных процессорах оно состоит из сдвоенного сучкорезного модуля, разнесённого по краям качающейся балки, протаскивающего модуль в виде подвижной каретки с зажимными рычагами, и раскряжёвочного модуля, состоящего из консольного пильного аппарата с системой отмера длин (фото 3*в*).

Во всех конструкциях сучкорезно-раскряжёвочных установок отпиливание сортимента оператором производится после очистки ствола дерева от сучьев с использованием системы отмера длин, работающей на основе электронного логического устройства с заданной программой раскряжёвки и обработкой сигналов, поступающих от датчиков.

При существующей тенденции создания крупных лесопромышленных складов, включая лесные терминалы, оснащение их указанными сучкорезно-раскряжёвочными установками в условиях мелкого и среднего леса неэффективно.

Решить проблему резкого увеличения производительности труда можно путём внедрения группового метода обработки круглых лесоматериалов, осуществляемого раскряжёвочной установкой для раскряжёвки пачек круглых лесоматериалов. Применение таких установок позволит достичь сменной производительности 300—500 м^3 (фото 4, 5) [29].

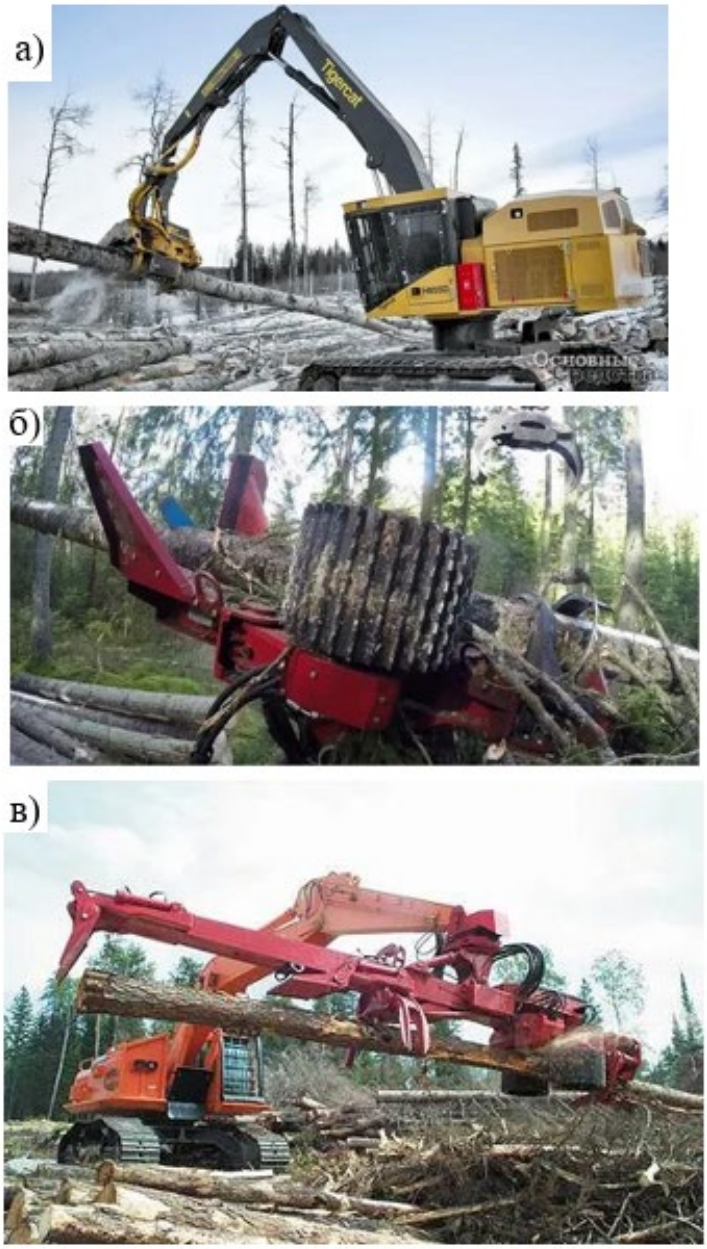


Фото 3. Лесообрабатывающие процессоры: *а* — одномодульный процессор; *б* — двухмодульный процессор; *в* — трёхмодульный процессор

Photo 3. Timber processing processors: *а* — single-module processor; *б* — two-module processor; *в* — three-module processor



Фото 4. Установка для пачковой (групповой) раскряжёвки круглых лесоматериалов с пильным аппаратом цепного типа

Photo 4. Installation for batch (group) bucking of round timber with a chain saw



Фото 5. Установка для пачковой (групповой) раскряжёвки круглых лесоматериалов с пильным аппаратом дискового типа

Photo 5. Installation for batch (group) bucking of round timber with a disk-type saw machine

Групповая обработка леса особенно эффективна, если все стадии её технологии (вывозка предварительно подсортированных низкотоварных хлыстов, погрузка, выгрузка, раскряжёвка хлыстов на ограниченное количество сортиментов, транспортировка, отправка сортиментов потребителю или складирование в штабеля готовой продукции) производятся в пачках, без нарушения их целостности.

По исследованиям, проведённым в ЦНИИМЭ [30—32], а также за рубежом [33—36], можно сделать вывод, что групповая раскряжёвка круглых лесоматериалов позволяет:

- увеличить производительность труда в 5—6 раз по сравнению с поштучной обработкой;
- организовать на крупных складах целлюлозно-бумажных и деревоперерабатывающих предприятиях поточные линии групповой обработки производительностью до 1 млн $м^3$ в год и более;
- улучшить не только технические, но и экономические показатели, снизить удельный расход электроэнергии, удельную металлоёмкость, себестоимость продукции и численность рабочих на линии;
- упростить автоматизацию технологического процесса, сократить объёмы ручного труда;
- упростить конструкции оборудования и структуру технологического процесса переработки низкотоварной древесины и лесосечных остатков, сократить количество операций и их повторяемость.

Преимущество групповой раскряжёвки хлыстов состоит также и в том, что при этом упрощается процесс распиловки и исключается значительное число повторяемых вспомогательных операций. Так, при поштучной раскряжёвке 1 тыс. $м^3$ хлыстов со средним объёмом 0,4 $м^3$ требуется сделать 12 500 резов, а при групповой раскряжёвке — 160—200 резов, т. е. в 60—80 раз меньше [32]. Это значительно сокращает время цикла раскряжёвки лесоматериалов, позволяя при этом снизить и психологическую нагрузку на оператора установки.

Однако, наряду с преимуществами, пачковая раскряжёвка имеет и недостатки, что зачастую ограничивает её использование. К основным недостаткам этой технологии раскряжёвки следует отнести:

- необходимость предварительной подсортировки обрабатываемых круглых лесоматериалов перед раскряжёвкой по породам, качеству и размерам;
- использование обезличенного метода раскроя, что значительно снижает качественные и количественные показатели выхода готовой продукции из низкокачественной древесины.

Вопросу изучения технологии процесса пачковой раскряжёвки круглых лесоматериалов посвящено немало научно-исследовательских работ, выполненных рядом исследователей, таких как Д. К. Воевода, С. К. Теслюк, Л. Е. Михеев, Л. И. Гулько, К. И. Вороницын, В. И. Прилепин, В. Д. Крыльцов, Л. А. Кравцова, Н. М. Каряков, Г. Л. Козинов и др.

В работе Д. К. Воеводы и С. К. Теслюка [31] изложены результаты теоретических исследований по выбору типа пильного аппарата, режущего инструмента и формы поперечного сечения приёмного устройства установок для пачковой раскряжёвки хлыстов с целью устранения зажимов пильной шины в процессе пиления. Авторы приходят к решению, что наиболее полно удовлетворяет требованиям беззажимного пиления пильный аппарат, имеющий в качестве режущего органа пильную цепь. Это объясняется тем, что ширина пильной шины, по которой движется пильная цепь, составляет всего 5—15 см и, таким

образом, стенки пропила при их схождении не могут перекрыть плоскость боковой поверхности шины. Но даже при такой ширине шины возможен её зажим. Следующим решением возникших трудностей авторы считают возможность уменьшения ширины приёмного устройства, что, по их мнению, также снизит вероятность зажима режущего органа в пропиле. При этом авторы предлагают использовать в приёмном устройстве стальной канат, который обеспечивает наиболее плотное обжатие пачки хлыстов по сравнению с жёсткими вертикальными стойками и, следовательно, меньшее перемещение отпиливаемых сортиментов, что приводит к уменьшению перекрытия зоны, и как следствие, снижению возможности зажима режущего инструмента.

В. Я. Прилепин и В. Д. Крыльцов в статье [32] обосновывают необходимость внедрения высокоскоростного импульсного метода раскроя древесины, в котором в качестве режущего инструмента используется ножевая пластина. Существенным преимуществом этого метода группового раскроя перед способом раскряжёвки с использованием дисковых и цепных пил, который имеет основной недостаток в виде регулярных зажимов пильной цепи, шины и диска в процессе резания, авторы называют невозможность зажима ножевой пластины. После проведённых экспериментальных исследований авторы делают вывод о целесообразности и возможности пачковой раскряжёвки круглых лесоматериалов ножевым режущим органом импульсного действия.

В работе Н. М. Карикова и Г. М. Фирова [37] приводится описание и технология работы, созданной в ВКНИИВОЛТ установки для групповой раскряжёвки хлыстов, отличительной чертой которой является отсутствие пильной шины. Авторы считают, что также установки с использованием пильного аппарата с бесшинной цепью позволяют упростить конструкцию пильного аппарата, устранить зажимы пильной цепи в пропиле пачки лесоматериалов, что будет способствовать повышению производительности труда при раскряжёвке лесоматериалов.

Особо необходимо отметить работы С. К. Теслюка [21—24]. В результате проведённых автором исследований получены математические и графические зависимости для определения размеров приемного устройства группо-раскряжёвочных установок в зависимости от ряда факторов: породы деревьев, способа укладки хлыстов, длин выпиливаемых сортиментов и т. д. Это даёт возможность формировать пачки наибольшего объёма с минимальным скосом торцов выпиливаемых сортиментов. Автор делает вывод, что наиболее выгодным сечением пачки лесоматериалов в приёмном устройстве является круг. Им получены уравнения для определения величины прогиба пачки хлыстов в приёмном устройстве и величин изгибающего момента в месте реза изогнутых хлыстов, что необходимо знать для принятия мер по устранению зажима режущего органа в пропиле. С. К. Теслюк выявил причины, вызывающие зажимы пильных цепей в пропиле приёмного устройства раскряжёвочной установки: кривизна осей хлыстов, сучки, закомелистость ствола, овальность сечений лесоматериалов и целый ряд других. Принимая за основной такой фактор, как кривизна ствола, автор проанализировал перемещение выпиливаемых сортиментов

в пачке и указал, что смещение торцов составляет более 10 см. При такой величине смещения происходит полное перекрытие зоны пропила и зажим пильной цепи в нём. Зажим режущего инструмента в пропиле происходит, в основном, при обработке хлыстов со значительной кривизной ствола, расположенных в пакете кривизной вверх.

В работах Л. Е. Михеева [26], [27] исследован ряд вопросов, касающихся пачковой разделки долготья. Автор рассмотрел влияние способа надвигания пильного аппарата на энергоёмкость процесса пиления, особенности пачковой раскряжёвки и требования, предъявляемые к выбранному типу пильного аппарата, дал математическое описание характеристик процесса пачковой раскряжёвки долготья с представлением математической модели процесса пиления в общем виде. В работе показана зависимость удельной работы резания при групповом методе раскроя цепным режущим инструментом от таких факторов, как высота распиливаемой пачки, суммарная мощность, потребляемая электродвигателями установки, мощность на преодоление сил сопротивления, коэффициент полнодревесности и др. Интересны и вопросы, рассматриваемые им в статье [28], в которой автор исследует устойчивость процесса пиления при пачковой раскряжёвке древесины и представил зависимости для определения величины подачи пильного аппарата от скорости резания по критерию устойчивости процесса:

$$h = 3 \cdot 10^{-3} \cdot e^{0,394V} + 0,07, \quad (1)$$

где h — подача на режущие блоки, мм; V — скорость резания, м/с.

В одной из своих работ [16] Л. Е. Михеев вводит понятие о средней длине дна пропила L при распиловке пачки, которая выражается зависимостью:

$$L = (B_k - S \cdot l)\, k_n, \quad (2)$$

где B_k — ширина пачки в комлевой части, м; S — сбег хлыстов на 1 м длины, м; l — расстояние от места измерения до комлевой части, м; k_n — коэффициент полнодревесности пачки. При определении различных показателей процесса групповой раскряжёвки необходимо пользоваться именно этой величиной, а не значением ширины приёмного устройства.

Вопросам экономической эффективности пачковой раскряжёвки были посвящены работы Л. Д. Фрица [38], [39], Л. А. Кравцовой [40], [41] и многих других авторов. В результате исследований, проведённых в ЦНИИМЭ, было установлено, что, несмотря на вышеуказанные недостатки, пачковый (групповой) способ раскряжёвки является наиболее эффективным и перспективным по отношению к поштучному способу при условии выполнения норм требований, предъявляемых к нему (объём грузооборота нижнего склада более 500 м^3, предварительная подсортировка хлыстов по размерно-качественным характеристикам и др.), и при наличии в структуре предприятия производственных мощностей по переработке образующихся древесных отходов. Так, проведённая экономическая оценка поточной линии с групповой обработкой древесины, включающей комплект оборудования и механизмов,

обеспечивающих весь спектр работ лесопромышленного склада, свидетельствует об экономической эффективности данной линии по критерию приведённых затрат [41].

Проанализировав вышесказанное, можно сделать вывод об очевидных преимуществах способа пачковой раскряжёвки перед поштучной обработкой отдельных лесоматериалов.

В связи с ростом потребностей более полного и комплексного использования древесной массы актуальным становится вопрос о создании высокопроизводительных машин и механизмов для технологического процесса лесоперерабатывающего производства, использующего в качестве сырья низкотоварную и тонкомерную стволовую древесину.

Особое внимание в этом вопросе уделено созданию раскряжёвочных установок, позволяющих производить распиловку пачек тонкомерных хлыстов объёмом до 25 м^3. Так, в США было создано несколько моделей таких установок, производящих распиловку хлыстов преимущественно на балансы [33—36]. Наиболее широко используются установки с П-образной пильной рамкой. В одной из таких установок («Карри кост катер») в качестве режущего инструмента используется пильная цепь «Орегон», длина режущей части которой 2,5 м. Промышленная установка «Банди баккер» очень схожа по конструкции и принципу действия с предыдущей, однако она позволяет производить распиловку пачки непосредственно на лесовозном автомобиле, что значительно увеличивает производительность и даёт возможность сократить расходы на строительство специальных эстакад и приёмных устройств [35]. В настоящее время в США и в Канаде серийно выпускаются установки для пачковой раскряжёвки хлыстов на балансы, которые могут быть смонтированы на мобильных платформах с колёсным или гусеничным движителем или быть стационарными (на твёрдом фундаменте).

В РФ также создано несколько моделей группо-раскряжёвочных установок, имеющих в качестве режущего инструмента пильную цепь ПЦУ-30М. К ним относятся установки ЛС-67 и ЛО-62М для раскряжёвки пачек хлыстов, разработанные в ЦНИИМЭ [24], [25]. В установке К-123 (конструкции ВКНИИВОЛТ) также используется пильная цепь ПЦУ-30М, однако без пильной шины, с несколько изменёнными приводом и стабилизирующими элементами, которые удерживают пильную цепь от отклонений. Эксплуатация этой установки показала хорошие результаты, практически решена проблема зажима, но, тем не менее, отсутствие пильной шины увеличивает динамические нагрузки и амплитуду поперечных и продольных колебаний цепи, что приводит к частым её разрывам. В совокупности это значительно снижает долговечность режущего инструмента и уменьшает производительность установки за счёт увеличения времени простоев по переналадке пильного аппарата.

4. Обсуждение и заключение

Таким образом, анализ литературных источников показал, что наиболее существенным недостатком всех функционирующих в отрасли установок для пачковой раскряжёвки круглых лесоматериалов является зажим режущего инструмента (пильной цепи) в пропиле

при пилении пачки с малым значением коэффициента полнодревесности и высокой кривизной ствола. В связи с этим актуальным является вопрос поиска конструкции режущего органа раскряжёвочной установки, обеспечивающего беззажимность процесса пиления пачки круглых низкокачественных лесоматериалов и порубочных остатков, имеющих такие пороки ствола, как кривизна, сучковатость и сбежистость.

Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» Арктического государственного агротехнологического университета. Исследование выполнено на средства гранта Российского научного фонда № 26-16-00047, https://rscf.ru/project/26-16-00047/.

Список литературы

1. Перспективные направления развития технологических процессов лесосечных работ / И. В. Григорьев, О. И. Григорьева, А. И. Никифорова [и др.] // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2016. Т. 2. С. 109—116.
2. *Трушевский П. В., Николаев В. В., Григорьев И. В.* Пути повышения эффективности использования порубочных остатков в энергетических целях на лесных терминалах // Энергоресурсосберегающие и экологически безопасные технологии лесопромышленного комплекса: Материалы Междунар. науч. конф. учёных и студентов. Воронеж, 2024. С. 198—202.
3. Пути повышения эффективности лесозаготовительных работ за счёт использования порубочных остатков / П. В. Трушевский, В. В. Николаев, И. В. Григорьев [и др.] // Лесной и химический комплексы — проблемы и решения: Сб. материалов по итогам XXX Всерос. научно-практич. конф. Красноярск, 2024. С. 78—81.
4. Определение доступного запаса порубочных остатков на лесосеке после сплошной рубки по скандинавской технологии / П. В. Трушевский, И. С. Должиков, И. В. Григорьев [и др.] // Resources and Technology. 2024. Т. 21, № 3. С. 57—74.
5. *Трушевский П. В., Григорьев И. В.* Направления использования порубочных остатков на лесных терминалах // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Девятой Всерос. национал. научно-практич. конф. с междунар. участием. Петрозаводск, 2023. С. 90—92.
6. *Трушевский П. В., Григорьев И. В., Войнаш С. А.* Энергетическое использование порубочных остатков на непостоянных лесных складах // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: Материалы 89-й научно-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием). Минск, 2025. С. 137—141.
7. Практика проведения машинных рубок ухода по скандинавской технологии в Пермском крае / О. И. Григорьева, Н. А. Бауер-Бимштейн, П. В. Трушевский [и др.] // Вестник АГАТУ. 2024. № 2 (14). С. 68—91.
8. Правила техники безопасности при очистке лесосек от порубочных остатков / П. В. Трушевский, И. С. Должиков, О. И. Григорьева [и др.] // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. 2023. № 4. С. 10—29.
9. Перспективные варианты снижения негативного воздействия движителей лесных машин на почвогрунты / М. В. Зорин, Д. В. Новгородов, А. М. Юдилевич [и др.] // Инженеры

России и Беларуси: сила в сотрудничестве: Материалы Междунар. научно-практич. конф. Архангельск, 2024. С. 87—90.
10. *Григорьев И. В., Зорин М. В., Рудов М. Е.* Современные способы укрепления временных лесовозных дорог и трелёвочных волоков // Управление земельными ресурсами, землеустройство, кадастр, геодезия и картография. Проблемы и перспективы развития: Сб. материалов Всерос. научно-практич. конф. с междунар. участием, посвящённой 255-летию Землеустройства Якутии и Году науки и технологий. Якутск, 2021. С. 278—285.
11. *Григорьев И. В., Мануковский А. Ю., Зорин М. В.* Энерго-ресурсосберегающие технологии строительства лесных дорог // Эколого-ресурсосберегающие технологии в науке и технике: Материалы Всерос. научно-техн. конф. Воронеж, 2021. С. 54—59.
12. Анализ способов укрепления временных транспортных путей для трелёвки и вывозки древесины / И. В. Григорьев, М. В. Зорин, Г. В. Григорьев [и др.] // Деревообрабатывающая промышленность. 2021. № 2. С. 10—29.
13. Теоретическое исследование процесса разрушения массива грунта сферическими ножами при использовании комбинированных конструкций грунтомётов для тушения лесных пожаров / В. Я. Шапиро, О. И. Григорьева, И. В. Григорьев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2018. № 1 (361). С. 61—69.
14. *Григорьева О. И., Гринько О. И., Николаева Ф. В.* Лесопожарные транспортно-технологические комплексы на базе колёсных форвардеров // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Междунар. научно-техн. конф. / Отв. ред. Н. С. Захаров. Тюмень, 2021. С. 55—58.
15. Математическая модель определения оптимального месторасположения лесных пожарно-химических станций с учётом уровня развития транспортных сетей на территории лесного фонда / Р. Н. Ковалев, И. М. Еналеева-Бандура, А. Н. Баранов [и др.] // Resources and Technology. 2021. Т. 18, № 4. С. 77—92.
16. Математическая модель определения эффективности доставки сил и средств пожаротушения с учётом уровня развития транспортной сети на территории лесного фонда / Р. Н. Ковалев, И. М. Еналеева-Бандура, А. Н. Баранов [и др.] // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 4 (52). С. 57—62.
17. *Григорьев И. В., Григорьева О. И.* Правила техники безопасности при тушении лесных пожаров // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. 2022. № 1. С. 21—33.
18. Технологическая интеграция лесопромышленных предприятий / А. А. Тамби, И. В. Григорьев, А. Б. Давтян [и др.] // Деревообрабатывающая промышленность. 2021. № 1. С. 26—37.
19. Анализ технических и технологических решений очистки лесосек от порубочных остатков / П. В. Трушевский, О. А. Куницкая, И. С. Должиков [и др.] // Resources and Technology. 2023. Т. 20, № 4. С. 89—138.
20. *Трушевский П. В., Куницкая О. А.* Способы сбора порубочных остатков для производства биотоплива // Актуальные проблемы лесного хозяйства и деревопереработки: Материалы Всерос. научно-практич. конф. / Под ред. Ю. М. Казакова [и др.]. Казань, 2023. С. 89—93.
21. *Теслюк С. К.* К определению величины прогиба пачки хлыстов в приёмном устройстве раскряжёвочной установки // Труды ЦНИИМЭ. Оптимизация технологических процессов и параметров лесоскладских машин. Химки, 1997. С. 77—86.
22. *Теслюк С. К.* К определению размеров пачки хлыстов для групповой раскряжёвки // Труды ЦНИИМЭ. Химки, 1993. Вып. 129. С. 119—125.
23. *Теслюк С. К.* Исследование причин, вызывающих зажимы пильного аппарата при пачковой раскряжёвке хлыстов // Труды ЦНИИМЭ. Химки, 1995. Вып. 145. С. 54—62.

24. *Теслюк С. К.* Исследование процесса пачковой раскряжёвки хлыстов: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Химки, 1996. 205 с.
25. *Михеев Л. Е.* К вопросу исследования удельной работы резания при групповом способе раскряжёвки древесины // Труды ЦНИИМЭ. Химки, 1995. Вып. 143. С. 22—27.
26. *Михеев Л. Е.* О некоторых особенностях пачковой раскряжёвки древесины // Труды ЦНИИМЭ. Перспективные технологические процессы и системы машин на нижних лесных складах. Химки, 1996. С. 103—107.
27. *Михеев Л. Е.* Исследование основных характеристик и режимов пиления при пачковой разделке древесины: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Химки, 1998. 194 с.
28. *Михеев Л. Е.* Исследование устойчивости процесса пиления при пачковой раскряжёвке древесины // Труды ЦНИИМЭ. Оптимизация технологических процессов и параметров лесоскладских машин. Химки, 1997. С. 68—77.
29. *Кариков Н. М., Фиров Г. М.* Бесшинная раскряжёвка пакетов хлыстов // Лесоэксплуатация и лесосплав. Реф. инф. ВНИЦИЭИлеспром. 1991. № 5. С. 6—7.
30. *Вороницын К. И., Першанов Н. А.* О методе групповой обработки древесины // Труды ЦНИИМЭ. Химки, 1991. Вып. 120. С. 3—6.
31. *Воевода Д. К., Теслюк С. К.* К вопросу о раскряжёвке хлыстов пачками // Лесной журнал. Архангельск, 2006. № 2. С. 48—63.
32. *Прилепин В. Я., Крыльцов В. Д.* К проблеме групповой раскряжёвки круглого леса // Труды ЦНИИМЭ. Перспективная технология и организация лесозаготовительного производства. Химки, 1997. С. 103—108.
33. Forest Industries (USA). 2008. No. 11. P. 58—63.
34. Forest Industries (USA). 2009. No. 4. P. 64—69.
35. Forest Industries (USA). 2009. No. 8. P. 53—56, 112—115.
36. Forest Industries (USA). 2009. No. 9. P. 71—76.
37. *Кариков Н. М., Фиров Г. М.* Бесшинная раскряжёвка пакетов хлыстов // Лесоэксплуатация и лесосплав. Реф. инф. ВНИЦИЭИлеспром. 1991. № 5. С. 6—7.
38. *Фриц Л. Д.* Производство балансов и рудничной стойки: Обзор / ВНИЦИАИлеспром. М., 1996. 52 с.
39. *Фриц Л. Д.* Технико-экономический анализ применения группового метода разделки долготья на балансы и рудстойку // Труды ЦНИИМЭ. Химки, 1998. № 145. С. 63—68.
40. *Кравцова Л. А.* Групповая раскряжёвка хлыстов на бирже сырья Архангельского ЦБК // Лесоэксплуатация и лесосплав. Реф. инф. ВНИПИлеспром. 2003. № 5. С. 10—11.
41. *Кравцова Л. А.* Перспективы применения групповой раскряжёвки хлыстов в условиях Коми АССР // Лесосечные, лесоскладские работы и транспорт леса. 2003. С. 133—135.
42. Групповая раскряжёвка рудстоечного долготья цепными установками / К. И. Вороницын, Б. Н. Красильников, Л. И. Гулько [и др.] // Лесная промышленность. 2009. № 1. С. 12—15.
43. *Вороницын К. И., Красильников Б. Н., Гулько Л. И.* Пачковая разделка рудничного долготья // Лесная промышленность. 2005. № 34. С. 12—14.

References

1. Grigorev I. V., Grigoreva O. I., Nikiforova A. I., Glukhovsky V. M. Promising directions for the development of technological processes of logging operations. *Proceedings of BSTU. Forestry and woodworking industry*, 2016, vol. 2, pp. 109—116. (In Russ.)
2. Trushevsky P. V., Nikolaev V. V., Grigorev I. V. Ways to increase the efficiency of using felling residues for energy purposes at forest terminals. *Energy-saving and environmentally safe*

technologies of the timber industry: Proceedings of the International Scientific Conference of Scientists and Students. Voronezh, 2024, pp. 198—202. (In Russ.)
3. Trushevsky P. V., Nikolaev V. V., Grigorev I. V., Baranov A. N. Ways to increase the efficiency of logging operations through the use of felling residues. *Forest and chemical complexes - problems and solutions: Collection of materials on the results of the XXX All-Russian Scientific and Practical Conference*. Krasnoyarsk, 2024, pp. 78—81. (In Russ.)
4. Trushevsky P. V., Dolzhikov I. S., Grigorev I. V., Grigoreva O. I., Revyako S. I., Baranov A. N. Determination of the available reserve of felling residues in a logging area after continuous logging using Scandinavian technology. *Resources and Technology*, 2024, vol. 21, no. 3, pp. 57—74. (In Russ.)
5. Trushevsky P. V., Grigorev I. V. Directions of using logging residues at forest terminals. *Improving the efficiency of the forest complex: Materials of the Ninth All-Russian National Scientific and Practical Conference with international participation*. Petrozavodsk, 2023, pp. 90—92. (In Russ.)
6. Trushevsky P. V., Grigorev I. V., Voynash S. A. Energy use of logging residues in non-permanent forest warehouses. *Forest engineering, materials science and design: Proceedings of the 89th Scientific and Technical Conference of faculty, researchers and postgraduates (with international participation)*. Minsk, 2025, pp. 137—141. (In Russ.)
7. Grigoreva O. I., Bauer-Bimstein N. A., Trushevsky P. V., Mikhailova L. M., Grigorev I. V. The practice of carrying out care cabins using Scandinavian technology in the Perm Region. *Bulletin of AGATU*, 2024, no. 2 (14), pp. 68—91. (In Russ.)
8. Trushevsky P. V., Dolzhikov I. S., Grigoreva O. I., Grigorev I. V. Safety rules for clearing cutting areas from felling residues. *Occupational safety and health in logging and woodworking industries*, 2023, no. 4, pp. 10—29. (In Russ.)
9. Zorin M. V., Novgorodov D. V., Yudilevich A. M., Manukovsky A. Yu., Grigorev I. V. Promising options for reducing the negative impact of forest machinery propellers on soils. *Engineers of Russia and Belarus: the strength lies in cooperation: Materials of the International Scientific and Practical Conference*. Arkhangelsk, 2024, pp. 87—90. (In Russ.)
10. Grigorev I. V., Zorin M. V., Rudov M. E. Modern ways of strengthening temporary logging roads and skidding lines. *Land resources management, land management, cadastre, geodesy and cartography. Problems and prospects of development: Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation dedicated to the 255th anniversary of the Land Management of Yakutia and the Year of Science and Technology*. Yakutsk, 2021, pp. 278—285. (In Russ.)
11. Grigorev I. V., Manukovsky A. Yu., Zorin M. V. Energy-resource-saving technologies for the construction of forest roads. *Ecological and resource-saving technologies in science and technology: Materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference*. Voronezh, 2021, pp. 54—59. (In Russ.)
12. Grigorev I. V., Zorin M. V., Grigorev G. V., Rudov S. E., Shvetsova V. V., Kalita G. A. Analysis of ways to strengthen temporary transport routes for skidding and wood removal. *The woodworking industry*, 2021, no. 2, pp. 10—29. (In Russ.)
13. Shapiro V. Ya., Grigoreva O. I., Grigorev I. V., Grigorev M. F. Theoretical study of the process of destruction of a soil mass by spherical knives when using combined structures of ground mortars to extinguish forest fires. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Forest magazine*, 2018, no. 1 (361), pp. 61—69. (In Russ.)
14. Grigoreva O. I., Grinko O. I., Nikolaeva F. V. Forest fire transport and technological complexes based on wheeled forwarders. *Transport and transport and technological systems: Materials of*

the International Scientific and Technical Conference. Editor-in-chief N. S. Zakharov. Tyumen, 2021, pp. 55—58. (In Russ.)
15. Kovalev R. N., Enaleeva-Bandura I. M., Baranov A. N., Grigoreva O. I., Grigorev I. V. A mathematical model for determining the optimal location of forest fire and chemical stations, taking into account the level of development of transport networks in the territory of the forest fund. *Resources and Technology*, 2021, vol. 18, no. 4, pp. 77—92. (In Russ.)
16. Kovalev R. N., Enaleeva-Bandura I. M., Baranov A. N., Grigoreva O. I., Grigorev I. V. A mathematical model for determining the effectiveness of the delivery of fire extinguishing forces and equipment, taking into account the level of development of the transport network in the territory of the forest fund. *Systems. Methods. Technologies*, 2021, no. 4 (52), pp. 57—62. (In Russ.)
17. Grigorev I. V., Grigoreva O. I. Safety regulations for extinguishing forest fires. *Occupational safety and health in logging and woodworking industries*, 2022, no. 1, pp. 21—33. (In Russ.)
18. Tambi A. A., Grigorev I. V., Davtyan A. B., Pomiguev A. V., Kalita O. N., Grigorev V. I. Technological integration of timber enterprises. *The woodworking industry*, 2021, no. 1, pp. 26—37. (In Russ.)
19. Trushevsky P. V., Kunitskaya O. A., Dolzhikov I. S., Makuyev V. A., Revyako S. I., Grigoreva O. I. Analysis of technical and technological solutions for clearing logging areas from logging residues. *Resources and Technology*, 2023, vol. 20, no. 4, pp. 89—138. (In Russ.)
20. Trushevsky P. V., Kunitskaya O. A. Methods of collecting felling residues for biofuel production. *Actual problems of forestry and wood processing: Materials of the All-Russian scientific and practical conference*. Edited by Yu. M. Kazakov [et al.]. Kazan, 2023, pp. 89—93. (In Russ.)
21. Teslyuk S. K. On determining the deflection value of a pack of whips in the receiving device of a bucking unit. *Proceedings of the Central Research Institute of Economics. Optimization of technological processes and parameters of logging machines*. Khimki, 1997, pp. 77—86. (In Russ.)
22. Teslyuk S. K. On determining the size of a pack of whips for group bucking. *Proceedings of CRDIMPE*. Khimki, 1993, is. 129, pp. 119—125. (In Russ.)
23. Teslyuk S. K. Investigation of the causes causing the clamps of the saw blade during pack buckling of whips. *Proceedings of CRDIMPE*. Khimki, 1995, is. 145, pp. 54—62. (In Russ.)
24. Teslyuk S. K. *Investigation of the process of pack buckling of whips:* Dissertation Candidate of Technical Sciences. Khimki, 1996. 205 p. (In Russ.)
25. Mikheev L. E. On the issue of studying the specific work of cutting in a group method of bucking wood. *Proceedings of CRDIMPE*. Khimki, 1995, is. 143, pp. 22—27. (In Russ.)
26. Mikheev L. E. On some features of pack bucking of wood. *Proceedings of CRDIMPE. Promising technological processes and machine systems in the lower timber warehouses*. Khimki, 1996, pp. 103—107. (In Russ.)
27. Mikheev L. E. *Investigation of the main characteristics and modes of sawing during bundle cutting of wood:* Dissertation Candidate of Technical Sciences. Khimki, 1998. 194 p. (In Russ.)
28. Mikheev L. E. Investigation of the stability of the sawing process during bundle bucking of wood. *Proceedings of CRDIMPE. Optimization of technological processes and parameters of logging machines*. Khimki, 1997, pp. 68—77. (In Russ.)
29. Karikov N. M., Firov G. M. Tireless buckling of packages of whips. *Forest exploitation and timber melting. Ref. inf. Vnizielesprom*, 1991, no. 5, pp. 6—7. (In Russ.)
30. Voronitsyn K.I., Pershanov N. A. On the method of group processing of wood. *Proceedings of CRDIMPE*. Khimki, 1991, is. 120, pp. 3—6. (In Russ.)

31. Voevoda D. K., Teslyuk S. K. On the issue of bucking whips in bundles. *Lesnoy zhurnal*. Arkhangelsk, 2006, no. 2, pp. 48—63. (In Russ.)
32. Prilepin V. Ya., Kryltsov V. D. On the problem of group buckling of roundwood. *The works of CRDIMPE. Advanced technology and organization of logging production*. Khimki, 1997, pp. 103—108. (In Russ.)
33. *Forest Industries* (USA), 2008, no. 11, pp. 58–63.
34. *Forest Industries* (USA), 2009, no. 4, pp. 64—69.
35. *Forest Industries* (USA), 2009, no. 8, pp. 53—56, 112—115.
36. *Forest Industries* (USA), 2009, no. 9, pp. 71—76.
37. Karikov N. M., Firov G. M. Tireless buckling of packages of whips. *Forest exploitation and timber melting. Ref. inf. Vnitsiailesprom*, 1991, no. 5, pp. 6—7. (In Russ.)
38. Fritz L. D. *Production of balance sheets and a mine rack: Review*. Vnitsiailesprom. Moscow, 1996. 52 p. (In Russ.)
39. Fritz L. D. Technical and economic analysis of the application of the group method of cutting longitude into balance sheets and a mine rack. *Proceedings of CRDIMPE*. Khimki, 1998, no. 145, pp. 63—68. (In Russ.)
40. Kravtsova L. A. Group buckling of whips on the stock exchange of raw materials of the Arkhangelsk Pulp and Paper Mill. *Forest exploitation and logging. Ref. inf. VNIPIlesprom*, 2003, no. 5, pp. 10—11. (In Russ.)
41. Kravtsova L. A. Prospects for the use of group buckling of whips in the conditions of the Komi ASSR. *Logging, logging and forest transport*, 2003, pp. 133—135. (In Russ.)
42. Voronitsyn K. I., Krasilnikov B. N., Gulko L. I., Pershanov N. A. Group bucking of ore-bearing longitude by chain installations. *Lesnaya promyshlost*, 2009, no. 1, pp. 12—15. (In Russ.)
43. Voronitsyn K. I., Krasilnikov B. N., Gulko L. I. Pack cutting of the mine shaft. *Forestry industry*, 2005, no. 34, pp. 12—14. (In Russ.)