ISSN 2542-1468, Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 5. С. 17–22. © МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

УДК 630.4 DOI: 10.18698/2542-1468-2017-5-17-22

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕПОЧКИ ЗАГОТОВКИ ДЕЛОВОЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ДРЕВЕСИНЫ

А.П. Мохирев, А.А. Керющенко

Сибирский государственный университет, Лесосибирский филиал, 662543, Красноярский край, г. Лесосибирск, ул. Победы, д. 29

ale-mokhirev@yandex.ru

Россия — крупнейшая лесопромышленная держава. В России успешно заготавливают и из нее экспортируют деловую древесину и пиломатериалы. Однако древесное сырье — это не только деловая древесина, но и отходы лесозаготовок, которые в настоящее время либо утилизируются производителями, либо остаются гнить на лесосеке. На сегодняшний день проблема комплексного использования древесины является наиболее актуальной в лесной отрасли. Вторичные древесные ресурсы могут использоваться в качестве сырья для производства технологической или топливной щепы, брикетов, пеллетов, удобрений, масел, экстрактов и другой товарной продукции технологического или энергетического назначения. Существуют несколько способов заготовки и переработки деловой и энергетической древесины в зависимости от технологической цепочки, объемов заготавливаемой древесины, участка заготовки и удаленности предприятия от лесосеки. Чтобы сформировать наиболее эффективную технологическую цепочку для заготовки деловой и энергетической древесины, разработана методика формирования заготовки древесины исходя из состава товарной продукции, ее объема, вида и развитости транспортной инфраструктуры конкретного предприятия. Благодаря этой методике можно наладить экономически и технологически эффективное производство на отдельном предприятии даже при малом объеме заготавливаемой лесной продукции. Грамотно сформированная технологическая цепочка заготовки деловой и энергетической древесины позволяет оптимально распределить имеющиеся производственные мощности, повысить объем заготавливаемой лесной продукции и осуществить рациональное природопользование в рамках лесозаготовительного предприятия.

Ключевые слова: технология лесозаготовок, технологическая цепочка лесозаготовок, биоэнергетика, методика формирования, деловая древесина, энергетическая древесина

Ссылка для цитирования: Мохирев А.П., Керющенко А.А. Методика формирования технологической цепочки заготовки деловой и энергетической древесины // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 5. С. 17–22. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-5-17-22

Россия является крупнейшей лесопромышленной страной мира со сложившимся мощным лесохимическим комплексом, который включает в себя заготовку, механическую обработку и химическую переработку древесины. Эксплуатация лесного фонда представляет собой большой комплекс работ в области лесного хозяйства, тесно взаимодействующего с другими отраслями; она является завершающей фазой лесопользования. Главная задача лесной промышленности — получение максимальной прибыли с одного кубометра заготовленной древесины.

Для лесной промышленности характерны:

1) заготовка древесины на небольшой площади лесного фонда;

2) разделение производства (лесозаготовительное производство, лесопильные предприятия, целлюлозно-бумажные и фанерные комбинаты).

Каждое предприятие лесной промышленности имеет свои особенности сырьевой базы, структуры и организации производства, технологии, влияющие на направление и пути повышения эффективности производства, его экономические показатели и методы достижения этой эффективности.

Эффективность производства зависит от техники, технологии и организации процесса лесозаготовительных работ. Неправильно построенный процесс, недостаточно обоснованные способы компоновки и размещения оборудования приводят к отрицательным последствиям, а это, в свою очередь, приводит к увеличению себестоимости продукции.

Древесная биомасса может использоваться в виде деловой или энергетической древесины. Твердое древесное топливо потребляется в виде колотых дров, топливной щепы, брикетов и топливных гранул. В европейских странах наиболее перспективным видом древесного биотоплива для котельных и мини-ТЭС, которые располагаются недалеко от источников древесного сырья, является топливная щепа. Стоимость энергии, получаемой при потреблении щепы, значительно ниже, чем при потреблении брикетов и гранул [1–4].

Наиболее перспективным направлением использования низкокачественного сырья и древесных отходов является производство технологической щепы для целлюлозно-бумажной промышленности, а также производство древесноволокнистых и древесно-стружечных плит [5, 6].

В последнее время лесозаготовители стали задумываться о более эффективном, рациональном и безотходном производстве. В связи с этим стало развиваться использование древесных отходов и топливной древесины в энергетических целях [7].

Выделяют следующие виды энергетической древесины:

1) отходы древесины, которые образуются на разных уровнях деревообработки — на лесосеках, лесоперерабатывающих, мебельных и других предприятиях;

2) отходы древесины, бывшей в употреблении (любые отходы древесины, которые выбрасываются на свалку или иным способом выводятся из эксплуатации);

3) быстрорастущая энергетическая древесина (определенные породы ивы и тополя).

В последние годы в данной сфере особое внимание уделяется анализу и формированию рынка поставщиков и потребителей энергетической биомассы, древесной щепы, пеллетов и брикетов [8].

В рамках научных и прикладных разработок, связанных с повышением конкурентоспособности энергетической биомассы по сравнению с традиционными видами топлива, важнейшее место занимает снижение затрат на заготовку, транспортировку и хранение энергетической биомассы, повышение ее эксплуатационных характеристик.

Лесосечные отходы — это полноценное биоэнергетическое сырье. Они образуются на первой стадии заготовки леса в лесу, на лесосеке, на этапе очистки деревьев от сучьев.

В зависимости от технологии лесозаготовок лесосечные отходы образуются непосредственно у трелевочного волока в виде сплошных полос или куч (при сортиментной технологии с использованием харвестера) либо на верхнем складе (если трелевка осуществляется деревьями, а обрезка сучьев и раскряжевка происходит на погрузочном пункте).

Цель и методы работы

Для эффективной заготовки и переработки древесины и древесных отходов очень важно сформировать правильную технологическую цепочку для конкретного предприятия и определенных условий лесозаготовки.

Вопросом формирования технологической цепочки заготовки и транспортировки деловой и энергетической древесины занимались многие исследователи. Л.В. Щеголева [9] предлагает методику формирования технологических цепочек, увязывающих подпроцессы заготовки, поставки и переработки топливной древесины и биомассы отходов лесозаготовок в качестве вторичных ресурсов для предприятий теплоэнергетики. В работе [10] рассмотрены технологические цепочки и системы машин, позволяющие заготавливать древесную биомассу и получать из нее топливную щепу при сплошнолесосечной сортиментной заготовке. И.Р. Шегельманом предложены методики формирования сквозных технологических процессов — от заготовки сырья до переработки его на готовую продукцию [11, 12].

При освоении новых участков лесного фонда возникает необходимость в формировании технологической цепочки и системы лесозаготовительных машин.

Технологическая цепочка рассматривается как последовательно взаимосвязанные технологические операции, в результате которых производится определенный состав товарной продукции требуемого объема.

Состав технологической цепочки зависит от вида и объема требуемой товарной продукции. В соответствии с местом выполнения основных операций технологический процесс лесозаготовок может быть разделен на три стадии: лесосечные работы, транспортировка и лесоскладские работы. Состав и содержание операций каждой стадии зависит в основном от способа вывозки. Так, при вывозке деревьев на лесосеке выполняют три операции: валку, трелевку и погрузку леса. При вывозке сортиментов на лесосеке выполняют также операции раскряжевки хлыстов, сортировки и штабелевки.

На стадии лесозаготовительного процесса возможно получение различной товарной продукции. Деревья как вид продукции образуются после процесса валки. Они могут поступать на предприятия, где происходит первичная обработка древесины. В советское время, при повышении комплексного использования древесины, реализация древесины деревьями была широко распространена. Реализация в хлыстах предполагает раскряжевку у потребителя. При этом сучья и ветки в большинстве случаев утилизируются как отходы. На сегодняшний день наиболее распространенный вид товарной продукции лесозаготовительных предприятий — деловой сортимент. Видов деловых сортиментов очень много: пиловочник, шпальный кряж, рудничная стойка и т. п. Для местного населения лесозаготовительные предприятия часто реализуют дровяную древесину в виде сортиментов, чураков или поленьев. Также на стадии лесозаготовительного производства можно реализовать обработанную или переработанную древесину. К ней относят пиломатериал, щепу различного назначения, пихтовое масло, удобрения, витаминную муку и т. п. Однако переработка древесины в лесозаготовительном производстве в России, особенно в Сибири, не распространена. При хорошо развитой переработке вторичных древесных ресурсов в регионе появляется возможность реализовывать порубочные остатки древесины (сучья, ветки, откомлевку, вершины и т. п.). Однако в настоящее время данный вид продукции является только потенциальным [13].

По степени переработки древесины и по виду выпускаемой продукции технологические цепочки можно разделить на группы цепочек с получением [14]:

— технологической продукции в виде круглых лесоматериалов (деревья, хлысты, деловые сортименты);

— технологической продукции в виде коротkомерных лесоматериалов (чураки, обломки стволов, сучья, ветки, откомлевка, пни);

— технологической продукции в виде сыпучих лесоматериалов (технологическая щепа, хвоя, кора);

— м энергетической продукции в виде круглых лесоматериалов (деревья, хлысты, дровяные сортименты);

— энергетической продукции в виде коротkомерных лесоматериалов (чураки, обломки стволов, сучья, ветки, откомлевка, пни, брикетированные лесосечные отходы);

— энергетической продукции в виде сыпучих лесоматериалов (топливная щепа, топливные гранулы).

Операции заготовки деловой и энергетической древесины при различных видах продукции могут происходить на разных участках [10].

При осуществлении лесозаготовок в лесу выделяются три участка работы: 1) участок валки леса, 2) участок леса между участком валки и лесной дорогой, 3) лесопогрузочный пункт.

На участке валки леса происходит сама валка, возможны также обрезка сучьев и раскряжевка (в зависимости от выбранной системы машин и технологии лесозаготовок), при использовании мобильной рубительной машины происходит переработка древесины в щепу. На погрузочном пункте размещаются оборудование, производственные и бытовые помещения, штабеля древесины, которые готовят к вывозке. Если установить рубительную машину, здесь возможна переработка лесосечных отходов в щепу, а при канадской технологии — обрезка сучьев и раскряжевка хлыстов. На нижнем складе древесина подвергается первичной обработке. Здесь также возможны обрезка сучьев, раскряжевка и переработка отходов в щепу в зависимости от выбранной технологии лесозаготовок [15].

Выделяют следующие наиболее перспективные технологии переработки лесосечных остатков на щепу:

а) доставка пакетов порубочных остатков к потребителю, при этом непосредственно производство щепы осуществляется у потребителя, применяется рубительная машина;

б) производство щепы из порубочных остатков на лесопогрузочном пункте с помощью передвижной рубительной машины и доставка потребителю готовой щепы;

в) производство щепы на лесном складе с помощью рубительной машины.

Для первой технологии применяется специальная машина для пакетирования порубочных остатков, которая оснащена манипулятором и специальным устройством пакетирования. С помощью манипулятора оператор подбирает порубочные остатки и поднимает их на подающий стол устройства пакетирования, где происходит уплотнение и обвязывание отходов, а также формируются компактные пакеты. Используют также машины с устройством непрерывного пакетирования и с устройством дискретного действия. Недостаток данной технологии — ее высокая стоимость. Преимущество ее в том, что других специальных машин не требуются.

Для производства щепы на лесопогрузочном пункте сначала собирают порубочные остатки на лесосеке и вывозят их на погрузочный пункт к работающей рубительной машине. Деревья доставляют трелевочным трактором на погрузочный пункт, где процессор обрезает сучья и вершины, затем порубочные остатки загружают в рубительную машину и перерабатывают на щепу. Далее щепу перегружают в специальные щеповозы и отвозят потребителю [16].

Для третьей технологии используется стационарная или передвижная рубительная машина, которая находится на лесном складе. При данном варианте существует возможность доставки деревьев на лесной склад, где после обрезки сучьев производится переработка порубочных остатков в щепу. Порубочные остатки могут доставляться на склад и отдельно. Далее их перерабатывают с помощью рубительной машины и отправляют потребителю.

Технология на базе мобильных рубительных машин используется для производства топливной щепы на лесосеке и в пунктах ее примыкания к автодорогам, на верхних и нижних лесных складах. Мобильные рубительные машины могут быть установлены также на складе у потребителя.

Если предприятие производит большой объем топливной щепы, экономически эффективнее будет установить стационарную рубительную машину [17].

Для тех предприятий, где большое расстояние вывозки и применяется скандинавская технология, рекомендуется порубочные остатки перерабатывать прямо на лесосеке. При хлыстовой технологии переработку остатков можно проводить на лесопогрузочном пункте или на лесном складе.

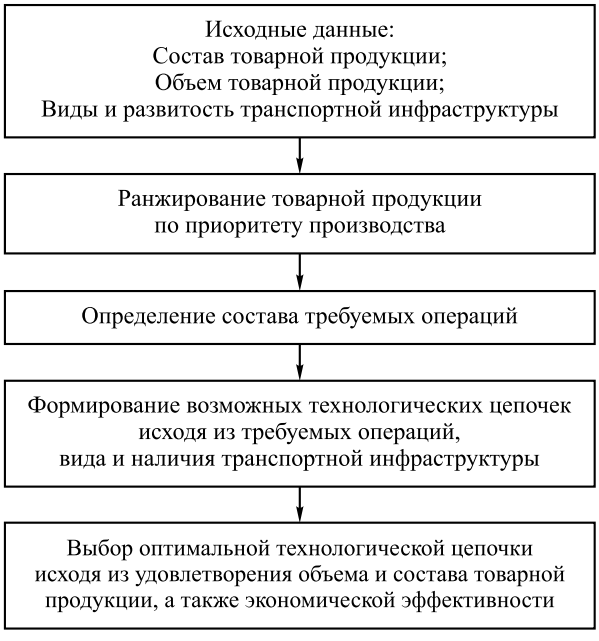
Переработка дровяной древесины и отходов лесозаготовок подразумевает формирование специальных технологических цепочек, которые включают в себя производство деловой древесины и древесины энергетического назначения.

Эти технологические цепочки будут иметь разветвляющийся характер и содержать операции по сбору, доставке, измельчению древесных отходов и топливной древесины с последующим ее использованием в энергетических целях [18].

Разработанная методика формирования технологической цепочки заготовки деловой и энергетической древесины

Предлагается методика формирования технологической цепочки заготовки деловой и энергетической древесины, представленная на рисунке. Исходные данные — состав и объем портфеля заказов, т. е. той товарной продукции, которую планируется продать. Это факторы, которые влияют на состав требуемых операций и технологическую цепочку. Кроме того, на технологическую цепочку влияют вид и наличие транспортной инфраструктуры. От нее зависит способ транспортировки древесины (автомобильный, водный, железнодорожный).

Первый шаг при формировании технологической цепочки — это ранжирование товарной продукции по приоритету производства. Ранжирование определяет вид продукции, имеющий наибольшую значимость. Затем определяется состав основных операций, требующихся для получения всего состава товарной продукции. Третий шаг заключается в формировании всех возможных вариантов технологических цепочек исходя из состава операций. При этом возможно добавление вспомогательных операций. Последний шаг — выбор оптимального состава и объема портфеля заказов и экономической эффективности.



Методика формирования технологической цепочки заготовки и транспортировки древесины

Technique of forming a technological chain of harvesting and transporting wood

В настоящее время порубочные остатки практически не используются, они утилизируются на лесосеках. Но некоторые предприятия уже применяют технологии переработки древесных отходов в своем производстве. Переработка лесосечных отходов помогает оптимизировать производство и получить дополнительную прибыль [19].

Результаты и обсуждение

Существует несколько путей повышения конкурентоспособности энергетической биомассы [20, 21]:

1. Изучение особенностей энергетической биомассы как вида сырья для заготовки и промышленного использования в качестве альтернативного энергетического сырья.

2. Повышение эксплуатационных характеристик энергетической биомассы, среди которых особое место занимает производство топливной щепы, топливных брикетов, пеллетов и торрефикация древесины.

3. Создание эффективных машин и оборудования для заготовки, транспортировки и использования энергетической биомассы.

4. Анализ и формирование рынка поставщиков и потребителей энергетической биомассы.

5. Формирование рынка производителей машин и оборудования для заготовки, транспортировки и использования энергетической биомассы.

6. Обоснование параметров и режимов работы соответствующих машин и оборудования.

7. Государственное стимулирование промышленного использования энергетической биомассы.

Предложенная методика позволяет оценить рациональность технологических цепочек в рамках региона с точки зрения их бюджетной эффективности.

Выводы

В последнее время предприятия начинают заботиться не только о заготовке леса, но и об окружающей среде. Поэтому возникает потребность переработки лесосечных отходов. Переработка позволит улучшить экологические показатели лесопромышленного производства и снизить расходы на утилизацию отходов.

Актуальной задачей на сегодняшний день является улучшение использования древесной биомассы, вовлечение в переработку низкокачественной, малоценной древесины, порубочных остатков, отходов лесозаготовок и переработки древесины.

Комплексное использование древесного сырья в нашей стране должно стать главным аспектом развития лесопромышленного производства в условиях устойчивого природопользования и охраны окружающей среды.

Формирование эффективной технологической цепочки лесозаготовительного процесса является важнейшим звеном в развитии политики ресурсосбережения, рационального природопользования, комплексного использования природных ресурсов.

Исследования проведены при поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности».

Список литературы

[1] Передерий С. Щепа как твердое биотопливо в Европе // ЛесПромИнформ, 2010. № 5. С. 132–135.
[2] Оценка эффективности производства топливной щепы на лесном терминале / А.А. Селивестров, Ю.Ю. Герасимов, Ю.В. Суханов, В.С. Сюнев, В.К. Катаров // Тракторы и сельхозмашины, 2012. № 8. С. 25–27.
[3] Harvesting alternatives and cost factors of delimbed energy wood / J. Heikkilä, J.V. Tanttu, J. Lindblad, M. Sirén, A. Asikainen // Metsanduslikud Laitila, Uurimused — Forestry Studies, 2006, no. 45, pp. 49–56.
[4] Forest energy procurement — state of the art in Finland and Sweden / J. Routa, A. Asikainen, R. Björheden, J. Laitila, D. Röser // WIREs Energy and Environment, 2013, no. 2 (6), pp. 602–613.
[5] Карпачев С.П. Биоэнергетика: сбор и пакетирование лесосечных отходов // Лесопромышленник, 2006. № 5. URL: http://www.lesopromyshlennik.ru/bioenergia/bio.html
[6] Мохирев А.П., Безруких Ю.А., Медведев С.О. Переработка древесных отходов предприятий лесопромышленного комплекса как фактор устойчивого природопользования // Инженерный вестник Дона, 2015. Т. 36. № 2. С. 81.
[7] Определение энергоемкости продуктов лесопользования в рамках методики оценки экологической эффективности лесопользования / И.В. Григорьев, Е.Г. Хитров, А.И. Никифорова, О.И. Григорьева, О.А. Куницкая // Вестник Тамбовского университета. Сер.: Естественные и технические науки, 2014. Т. 19. № 5. С. 1499–1502.
[8] Shegelman I., Budnik P., Morozov E. Optimization of a forest harvesting set based on the Queueing Theory: Case study from Karelia // Lesn. Cas. For. J., 2015, no. 61, pp. 211–220.
[9] Щеголева Л.В. Методика формирования технологических цепочек, включающих производство щепы энергетического назначения // Resources and Technology, 2010. № 8. С. 169–171.
[10] Суханов Ю.В., Герасимов Ю.Ю., Селивестров А.А., Соколов А.П. Технологические цепочки и системы машин для сбора и переработки древесной биомассы в топливную щепу при сплошнолесосечной заготовке сортиментов // Системы. Методы. Технологии, 2011. № 12. С. 101–107.
[11] Шегельман И.Р. Формирование сквозных технологий лесопромышленных производств: научные и практические аспекты // Глобальный научный потенциал, 2013. № 8. С. 119–122.
[12] Шегельман И.Р., Будник П.В. Классификация сквозных технологий заготовки биомассы дерева // Перспективы науки, 2012. № 4 (31). С. 90–92.
[13] Куницкая О.А., Григорьев И.В. Переработка низкотоварной древесины: проблемы и перспективы // Энергия: экономика, техника, экология, 2015. № 9. С. 70–75.
[14] Mokhirev A.P., Aksenov N.V. Classification of technological processes of logging // Инженерный вестник Дона, 2016. № 3. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3668
[15] Väätäinen K. Wood fuel procurement methods and logistics in Finland // Wood fuel production for small scale use. Eberswalde: University Eberswalde, 2007, pp. 28.
[16] Suhanov Yu.V., Seliverstov A.A., Gerasimov Yu.Yu. Efficiency of Forest Chip Supply Systems in Northwest Russia // Advanced Materials Research, 2013, v. 740, pp. 799–804. URL: www.scientifi c.net/AMR.740.799
[17] Gerasimov Y., Senko S., Karjalainen T. Nordic forest energy solutions in the Republic of Karelia // Forests, 2013, no. 4, pp. 945–967.
[18] Heift R. Wykorzystanie odpadow pochadzenia roslirmego do celow energetycznych // Recuklaceodpadu. Ostrava: VSB TU, 2000, pp. 165–173.
[19] Мохирев А.П. Моделирование процесса работы машины для сортировки и транспортировки порубочных остатков на лесосеке // Системы. Методы. Технологии, 2016. № 1 (29). С. 89–94.
[20] Gerasimov Y., Karjalainen T. Energy wood resources in Northwest Russia // Biomass and Bioenergy, 2011, no. 35, pp. 1655–1662.
[21] Estimation of Energy Wood Potential in Europe / T. Karjalainen, A. Asikainen, J. Ilavsky, R. Zamboni, K.-E. Hotari, D. Röser // Working Papers of the Finnish Forest Research Institute, 2004. Helsinki: Metla, 43 p.

Сведения об авторах

Мохирев Александр Петрович — канд. техн. наук, доцент, Сибирский государственный университет, Лесосибирский филиал, ale-mokhirev@yandex.ru

Керющенко Александра Анатольевна — магистрант, Сибирский государственный университет, Лесосибирский филиал, aleksa_ice@mail.ru

Статья поступила в редакцию 08.10.2017 г.

METHOD OF FORMING PROCESS CHAIN BLANK BUSINESS AND ENERGY WOOD

A.P. Mokhirev, A.A. Keryushchenko

Siberian State Technological University, Lesosibirskiy branch, 662543, Krasnoyarsk region, Lesosibirsk, Victory Str., 29

ale-mokhirev@yandex.ru

Currently Russia is one of the largest countries in the world in the timber industry. It successfully harvested and exported timber and lumber, but the wood raw material means not only commercial timber, but also logging waste that is currently disposed of either by producers or left to rot in the cutting area. To date, the problem of complex use of wood is the most important in the timber industry. Secondary timber resources can be used as a raw material for the technology, fuel chips, briquettes and pellets, fertilizers, oils, extracts, and other marketable products or process energy purposes. There are several ways of harvesting and processing logging and energy wood, depending on the process chain, the volume of harvested timber and the remoteness of the enterprise from the cutting area. In order to form the most effective process chain for the procurement timber and energy wood there was developed a method of forming timber. It comes from the commodity output, its volume, type and development of transport infrastructure of a particular company. Thanks to this procedure it may create economically and technologically efficient production chain for a particular enterprise even with a small volume wood products or use in the development of regional or federal programs for the development of the timber industry. A correctly formed process chain of timber and energy wood makes the most efficient to distribute the available production capacity, increase the volume wood products and enables environmental management for logging companies.
Keywords: timber industry, harvesting technology, bio-energy, the method of formation, timber, energy wood

Suggested citation: Mokhirev A.P., Keryushchenko A.A. *Metodika formirovaniya tekhnologicheskoy tsepochki zagotovki delovoy i energeticheskoy drevesiny* [Method of forming process chain blank business and energy wood]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2017, vol. 21, no. 5, pp. 17–22. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-5-17-22

References

[1] Perederiy S. *Shchepa kak tverdoe biotoplivo v Evrope* [Chips as solid biofuels in Europe]. LesPromInform, 2010, no. 5, pp. 132–135.
[2] Selivestrov A.A., Gerasimov Yu.Yu., Sukhanov Yu.V., Syunev V.S., Katarov V.K. *Otsenka effektivnosti proizvodstva toplivnoy shchepy na lesnom terminale* [Evaluation of the efficiency of production of fuel chips in the forest terminal]. Tractors and agricultural machinery, 2012, no. 8, pp. 25–27.
[3] Heikkilä J., Tanttu J.V., Lindblad J., Sirén M., Asikainen A. Harvesting alternatives and cost factors of delimbed energy wood. Metsanduslikud Laitila, Uurimused — Forestry Studies, 2006, no. 45, pp. 49–56.
[4] Routa J., Asikainen A., Björheden R., Laitila J., Röser D. Forest energy procurement — state of the art in Finland and Sweden. WIREs Energy and Environment, 2013, no. 2 (6), pp. 602–613.
[5] Karpachev S.P. *Bioenergetika: sbor i paketirovanie lesosechnykh otkhodov* [Bioenergy: collection and packaging of logging wastes]. Lesopromyshlennik [Timber merchant], 2006, no. 5. Available at: http://www.lesopromyshlennik.ru/bioenergia/bio.html
[6] Mokhirev A.P., Bezrukikh Yu.A., Medvedev S.O. *Pererabotka drevesnykh otkhodov predpriyatiy lesopromyshlennogo kompleksa kak faktor ustoychivogo prirodopol'zovaniya* [Processing of wood wastes of enterprises of the timber industry complex as a factor of sustainable nature use]. Engineering Bulletin of the Don, 2015, v. 36, no. 2, p. 81.
[7] Grigor'ev I.V., Khitrov E.G., Nikiforova A.I., Grigor'eva O.I., Kunitskaya O.A. *Opredelenie energoemkosti produktov lesopol'zovaniya v ramkakh metodiki otsenki ekologicheskoy effektivnosti lesopol'zovaniya* [Determination of energy intensity of forest products in the framework of the methodology for assessing the ecological efficiency of forest management] Bulletin of Tambov University. Ser. Natural and Technical Sciences, 2014, v. 1.
[8] Shegelman I., Budnik P., Morozov E. Optimization of a forest harvesting set based on the Queueing Theory: Case study from Karelia. Lesn. Cas. For. J., 2015, no. 61, pp. 211–220.
[9] Shchegoleva L.V. *Metodika formirovaniya tekhnologicheskikh tsepochek, vklyuchayushchikh proizvodstvo shchepy energeticheskogo naznacheniya* [Technique of the formation of technological chains, including the production of chips for energy use] Resources and Technology, 2010, no. 8, pp. 169–171.
[10] Sukhanov Yu.V., Gerasimov Yu.Yu., Selivestrov A.A., Sokolov A.P. *Tekhnologicheskie tsepochki i sistemy mashin dlya sbora i pererabotki drevesnoy biomassy v toplivnuyu shchepu pri sploshnolesosechnoy zagotovke sortimentov* [Technological chains and systems of machines for harvesting and processing woody biomass into fuel chips in the case of continuous harvesting of assortments] Sistemy. Methods. Technology, 2011, no. 12, pp. 101–107.
[11] Shegel'man I.R. *Formirovanie skvoznykh tekhnologiy lesopromyshlennykh proizvodstv: nauchnye i prakticheskie aspekty* [Formation of end-to-end technologies of timber industry: scientific and practical aspects]. Global Scientific Potential, 2013, no. 8, pp. 119–122.
[12] Shegel'man I.R., Budnik P.V. *Klassifikatsiya skvoznykh tekhnologiy zagotovki biomassy dereva* [Classification of end-to-end technologies for the harvesting of tree biomass]. Perspectives of Science, 2012, no. 4 (31), pp. 90–92.
[13] Kunitskaya O.A., Grigor'ev I.V. *Pererabotka nizkotovarnoy drevesiny: problemy i perspektivy* [Processing of low-value timber: problems and prospects] Energy: Economics. Technology. Ecology, 2015, no. 9, pp. 70–75.
[14] Mokhirev A.P., Aksenov N.V. Classification of technological processes of logging. Inzhenernyy vestnik Dona, 2016, v. 3. Available at: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3668
[15] Väätäinen K. Wood fuel procurement methods and logistics in Finland. Wood fuel production for small scale use. Eberswalde: University Eberswalde, 2007, pp. 28.
[16] Suhanov Yu.V., Seliverstov A.A., Gerasimov Yu.Yu. Efficiency of Forest Chip Supply Systems in Northwest Russia. Advanced Materials Research, 2013, v. 740, pp. 799–804. Available at: www.scientifi c.net/AMR.740.799
[17] Gerasimov Y., Senko S., Karjalainen T. Nordic forest energy solutions in the Republic of Karelia. Forests, 2013, no. 4, pp. 945–967.
[18] Heift R. Wykorzystanie odpadow pochadzenia roslirmego do celow energetycznych // Recuklaceodpadu. Ostrava: VSB TU, 2000, pp. 165–173.
[19] Mokhirev A.P. *Modelirovanie protsessa raboty mashiny dlya sortirovki i transportirovki porubochnykh ostatkov na lesoseke* [Modeling of the process of the machine for sorting and transportation of felling residues in the felling area] Sistemy. Methods. Technology, 2016, no. 1 (29), pp. 89–94.
[20] Gerasimov Y., Karjalainen T. Energy wood resources in Northwest Russia. Biomass and Bioenergy, 2011, no. 35, pp. 1655–1662.
[21] Karjalainen T., Asikainen A., Ilavsky J., Zamboni R., Hotari K.-E., Röser D. Estimation of Energy Wood Potential in Europe. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute, 2004. Helsinki: Metla, 43 p.

Author's information

Mokhirev Aleksandr Petrovich — Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof., Siberian State Technological University, Lesosibirskiy branch, ale-mokhirev@yandex.ru

Keryushchenko Aleksandra Anatol'evna — graduate student, Siberian State Technological University, Lesosibirskiy branch, aleksa_ice@mail.ru

Received 08.10.2017