

УДК 630\*658.511, 630\*658.512, 519.85,  
630\*656.073, 630\*37

**РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
ДРЕВЕСИНЫ И ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ В  
БИОЭНЕРГЕТИКЕ: ОЦЕНКА  
ПОТЕНЦИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ПОДХОДОВ<sup>1</sup>**

Герасимов Юрий Юрьевич  
д. т. н., профессор  
*Научно-исследовательский институт леса  
Финляндии, Йоэнсуу, Финляндия*

Сюнёв Владимир Сергеевич  
д. т. н., профессор

Соколов Антон Павлович  
к. т. н., доцент

Селиверстов Александр Анатольевич  
к. т. н., ст. преподаватель

Катаров Василий Кузьмич  
к. т. н., ст. преподаватель

Суханов Юрий Владимирович  
ст. преподаватель

Рожин Данила Владимирович  
аспирант

Тюрлик Игорь Иванович  
студент

Фирсов Михаил Васильевич  
студент  
*Петрозаводский государственный университет,  
Петрозаводск, Россия*

В статье приводится описание концепции  
принятия оптимальных решений в области  
использования древесной биомассы в  
биоэнергетике

Ключевые слова: ДРЕВЕСНАЯ БИОМАССА,  
ОТХОДЫ ЛЕСОЗАГОТОВОК, ТЕХНОЛОГИЯ  
ЛЕСОЗАГОТОВОК, ИМИТАЦИОННОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ

UDC 630\*658.511, 630\*658.512, 519.85,  
630\*656.073, 630\*37

**RATIONAL ENERGY USE OF WOOD-BASED  
BIOMASS: ESTIMATION OF POTENTIALS  
AND TECHNOLOGY**

Gerasimov Yury Yurievich  
Dr.Sc.Tech., professor  
*Finnish Forest Research Institute, Joensuu, Finland*

Syunev Vladimir Sergeevich  
Dr.Sc.Tech., professor

Sokolov Anton Pavlovich  
Cand.Tech.Sc., associate professor

Seliverstov Alexandr Anatolievich  
Cand.Tech.Sc., senior lecturer

Katarov Vasily Kuz'mich  
Cand.Tech.Sc., senior lecturer

Sukhanov Yury Vladimirovich  
senior lecturer

Rozhin Danila Vladimirovich  
postgraduate student

Tyurlik Igor' Ivanovich  
student

Firsov Mikhail Vasilievich  
student  
*Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia*

The wood-to-energy conception based on optimum  
decision making for efficient use of woody biomass  
is described in this paper.

Keywords: WOOD-BASED BIOMASS, WOOD-  
TO-ENERGY, WOOD HARVESTING,  
SIMULATION

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», тема НИР «Система поддержки принятия решений по стимулированию рационального использования древесной биомассы и отходов лесозаготовок в биоэнергетике» и в рамках проекта «Лесозаготовки и логистика в России», финансируемого Европейским союзом через агентство по развитию технологий и инноваций Финляндии (TEKES)

## **Введение**

С конца 1990-х гг. во всем мире стало возрастать использование древесного топлива. Это было обусловлено как проблемой увеличения парниковых газов в атмосфере, так и тем, что интенсивное развитие технологий промышленных лесозаготовок привело к увеличению потребления топливной древесины, которая во многих случаях считалась бракованным лесоматериалом. Опыт скандинавских стран, таких как Финляндия и Швеция, показывает, что планирование производства древесного топлива тесно интегрировано во все системы лесопользования, планирования и логистики лесозаготовок, управления качеством и сертификации лесного хозяйства.

Следует отметить, что до последнего времени внимание, которое уделялось проблеме использования древесного биотоплива для нужд энергетики в России, явно не соответствовало значимости вопроса. В настоящий момент наметился перелом в этой ситуации, появился интерес и, соответственно, необходимость более точного научного обоснования тех возможностей, которые может дать лесная биоэнергетика.

## **Постановка проблемы**

При планировании рационального использования древесного сырья в современных рыночных условиях ставится комплексная многокритериальная задача, которая не может быть решена без создания концептуальной информационной базы. В основу планирования должны закладываться данные об источниках биомассы для производства древесного биотоплива, способах, технологиях и машинах для заготовки, переработки и транспортировки этой биомассы, методах оценки потенциала лесных участков с точки зрения перспективности проведения такого рода работ, а также эффективности применяемых подходов, машин и технологий.

## Источники древесной биомассы и лесосечных отходов

Древесное топливо представляет собой биотопливо в виде топливной щепы, дров, топливных гранул, брикетов. Сырьем для производства древесного топлива служит древесная биомасса, которая состоит из стволовой древесины, коры, хвои или листьев. Древесную биомассу можно подразделить на биомассу от рубок главного пользования, биомассу от проходных рубок ухода, прореживания, осветления и биомассу из переработанной древесины. Заготовка древесной биомассы может осуществляться при проведении лесозаготовительных работ на делянке, лесном складе у дороги, нижнем складе или на предприятиях лесоперерабатывающей промышленности [1].

Взаимосвязь между древесной биомассой и деловой древесиной показана на рисунке 1.



Рисунок. 1. Взаимосвязь между древесной биомассой и деловой древесиной

Основными источниками древесной биомассы являются: лесосечные

отходы от рубок главного пользования и коммерческих рубок ухода; низкокачественная древесина от рубок главного пользования и коммерческих рубок ухода; тонкомерная древесина, заготавливаемая при проведении некоммерческих рубок ухода; пни и корни на участках проведения лесовосстановительных работ.

В лесах Российской Федерации значительный объем древесины составляют древесина лиственных пород, тонкомерная древесина, древесина с пороками и гнилью. В первую очередь это связано с недостаточным уходом за лесом. Поэтому использование низкокачественной древесины в качестве сырья для топливной щепы также может быть рассмотрен как первый шаг к более полному использованию древесного сырья.

### **Оценка потенциалов древесной биомассы и лесосечных отходов**

Россия, располагая более чем 25 % мирового запаса древесины, значительно уступает мировым лидерам по степени использования древесного сырья. Расчетная лесосека, достигающая в целом по стране 550 млн. м<sup>3</sup> в год, используется в среднем только на 35%. Однако на общем фоне некоторые территории России характеризуются более высокой интенсивностью лесозаготовок в силу своего географического положения, природных условий и особенностей местной бизнес-среды. Одним из таких регионов является Северо-Западный регион РФ. В этом регионе, который располагает только 10% общей площади лесов Российской Федерации, в 2008 было заготовлено 36% общего объема деловой древесины. При таких значительных объемах заготовки деловой древесины в регионе образуется около 17 миллионов м<sup>3</sup> лесосечных отходов [2, 3].

Процент образования лесосечных отходов зависит от многих факторов – места произрастания древостоя, характеристик его состояния, породного

состава, технологии производства работ. Множественность комбинаций условий создает значительные сложности при прогнозировании общего выхода лесосечных отходов для обширной территории Северо-Западного региона РФ. Об этом свидетельствуют различные рекомендуемые проценты выхода лесосечных отходов при лесозаготовках [4, 5, 6].

Существует общая точка зрения относительно того, что использование древесины в качестве топлива не должно ставить под угрозу поставки сырья на предприятия лесной промышленности. Вместе с тем, большое количество тонкомерных деревьев, не пригодных для промышленного использования, могли бы быть изъяты из молодого древостоя в порядке ухода за лесонасаждениями. Но, в свою очередь, непроведение рубок ухода за молодняками также приводит к образованию на многих участках значительных запасов древесины, которая может быть использована для производства энергии.

При оценке потенциальных запасов топливной древесины крайне важно учитывать существующие технологические (относящиеся в основном к заготовке) и экологические ограничения. Сохранение условий для оптимального воспроизводства лесов является ключевым требованием, предъявляемым к лесозаготовителям на современном этапе ведения хозяйственной деятельности (Лесной Кодекс РФ). Изменение объемов, структуры и распределения биомассы на лесосеке, являющееся прямым следствием проведения рубок и перемещения лесосечных отходов, безусловно, влияет на процессы восстановления всего функционала лесного участка.

Так изъятие с делянки лесосечных отходов уменьшает поступление органических веществ в почву, снижая ее плодородие. Лесосечные отходы образуют естественное объемное покрытие, препятствующее активному поверхностному стоку дождевых и талых вод, вызывающему эрозию лесных почв. В условиях повышенной влажности, глинистых грунтов

отсутствие достаточного количества отходов для укрепления волоков приводит к значительному колееобразованию и уплотнению грунтов. Уплотнение почвы, в свою очередь, ведет к резкому снижению скорости фильтрации воды и циркуляции воздуха, оказывающих значительное влияние на жизнь растений. Колееобразовательные процессы способствуют разрушению корневой системы, попадающей на волок, могут служить накопителем излишней влаги, а также способствует водной эрозии, затрудняет лесовосстановление [7].

Двухстадийное использование лесосечных отходов, первоначально как укрепительного материала на волоках, а затем как энергетического сырья, является оптимальным, но зачастую проблемным вариантов ввиду измельчения, загрязнения и смешения большей части древесных остатков с почво-грунтом в процессе трелевки.

### **Оценка технологических подходов**

Одним из определяющих факторов процесса производства древесного топлива является степень интеграции операций по заготовке древесной биомассы для энергетических целей в традиционную систему лесозаготовительных операций. На начальном этапе развития работ по заготовке древесной биомассы уровень интеграции обычно является низким и, как правило, используется существующая технология с незначительными изменениями и отсутствует четкая организационная связь с традиционными лесозаготовительными операциями, заготовка древесной биомассы выполняется как отдельная подчиненная операция. Этот процесс называют «двухпроходной системой» заготовки древесной биомассы.

Более высокий уровень интеграции позволяет применить метод и технологии «однопроходной системы», осуществляемые параллельно с традиционными лесозаготовительными работами. Интеграция операций по

заготовке древесной биомассы и деловой древесины позволяет полностью использовать синергитический эффект от совместного производства работ. При этом возрастают риски, повышаются требования к организации работ.

На лесозаготовительных операциях может использоваться широкий спектр техники и технологий: хлыстовая технология на базе трелевочных тракторов, заготовка деревьями на базе валочно-пакетирующих машин и скиддеров, сортиментная технология на базе харвестеров и форвардеров, комбинированные технологии. Наиболее универсальными на лесосечных работах являются системы машин для заготовки сортиментов. По этой причине они абсолютно доминируют на лесозаготовительных операциях в скандинавских странах, а также все большее распространение получают на территории России (рисунок 2) [8].

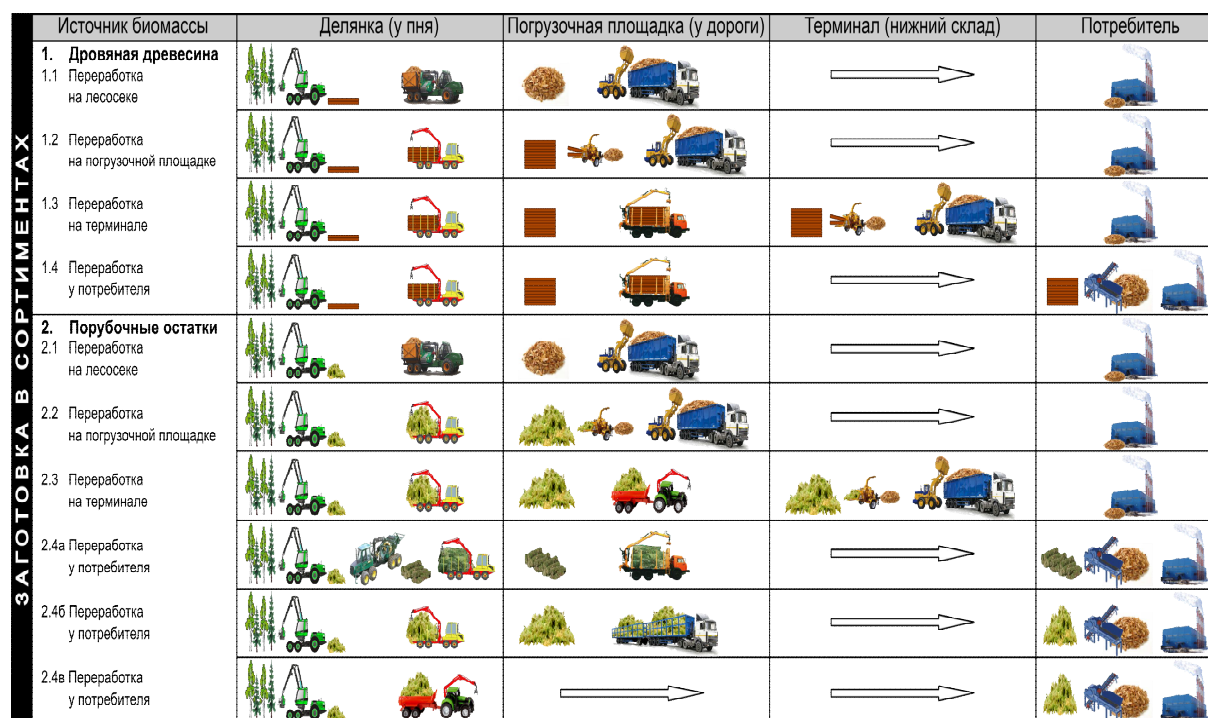


Рисунок. 2. Технологические схемы производства топливной щепы из древесной биомассы при сортиментной заготовке

Технологические схемы производства щепы также отличаются большим разнообразием и обладают своими преимуществами и <http://ej.kubagro.ru/2011/09/pdf/50.pdf>

недостатками:

- при производстве щепы на лесном складе у дороги существует зависимость между работой рубительной машины и щеповоза («горячая цепочка»), которая может приводить к их простоям, снижая степень использования производственных мощностей и повышая издержки при производстве щепы. При производстве щепы на ТЭЦ рубительная машина и щеповоз действуют независимо друг от друга («холодная цепочка»), что позволяет повысить коэффициент использования производственных мощностей и уменьшить издержки [9];
- слабым звеном схемы производства щепы на ТЭЦ является транспортировка имеющей низкую объемную плотность и занимающей большой объем грузового пространства древесной биомассы. Новые технологии, например, пакетирование порубочных остатков, позволяют увеличить объемную плотность и снизить транспортные издержки;
- оборудование, применяемое в системе централизованного производства щепы, имеет высокую стоимость, поэтому технологическая схема производства щепы на ТЭЦ приемлема только для крупных предприятий. Малые предприятия (котельные) могут использовать схему производства щепы на лесном складе у дороги.

При рассмотрении вопроса о месте переработки дровяной древесины в щепу необходимо помнить, что транспортировка щепы обходится значительно дороже транспортировки дров. Также дорожные условия не всегда позволяют вывести щепу с погрузочной площадки. Поэтому наиболее перспективными в России следует признать переработку дровяной древесины в щепу на нижнем складе или на ТЭЦ.

Для транспортировки дровяной древесины по дорогам общего пользования могут использоваться обычные автомобили-лесовозы, а также сельскохозяйственные трактора с прицепами.

Таким образом, если дровяная древесина будет доставляться прямо на <http://ej.kubagro.ru/2011/09/pdf/50.pdf>



ТЭЦ, то у лесозаготовителя не будет необходимости покупать специализированные машины и оборудование.

В скандинавских странах при проектировании технологических процессов производства древесного топлива рассматривается ряд факторов, связанных с заготовкой, транспортировкой и его закупкой. Принимая во внимание накопленный в скандинавских странах опыт, следует учесть влияние российских природно-производственных факторов: характеристики машин, условия лесосеки, качество щепы, человеческий фактор, взаимодействия в цепочках машин, масштаб производства, организацию поставок [10].

### **Моделирование технологических процессов**

При выборе оптимальной технологии и системы машин, нельзя на практике попробовать все возможные варианты в интересующих природно-производственных условиях. Поэтому разработка и исследование математических имитационных моделей работы и взаимодействия машин могут помочь в выборе наиболее подходящего решения. На сегодняшний день, как за рубежом, так и в России, имитационное моделирование имеет широкое применение, т.к. выводы и закономерности, полученные в результате серьезного анализа выходных данных имитационной модели, могут использоваться в качестве правил и рекомендаций при управлении реальным объектом [11]. Кроме того, имитационная модель позволяет производить вычислительные эксперименты целенаправленно, в виде активного эксперимента, что может позволить найти граничные условия применения того или иного решения. Другой положительной стороной имитационного моделирования является возможность осуществить «наблюдение» за ходом процесса в течение некоторого времени, при этом временная шкала, при необходимости, может сжиматься или растягиваться.

### **Критерии эффективности**

Характер поставленной задачи однозначно определяет, что в качестве критериев оценки и принятия решений по выбору того или иного варианта организации работ по производству древесного топлива для нужд энергетики должны стать критерии экономической эффективности.

На первом этапе планирования необходимо решить какую именно древесную биомассу заготавливать для дальнейшей переработки в топливо. Во-вторых, необходимо выбрать из очень большого ряда альтернатив применяемые технологии заготовки, переработки и транспортировки древесной биомассы. Каждый этап производства вносит свой вклад в конечную себестоимость готовой продукции и, соответственно, определяет общую эффективность производства работ. Кроме того, должны быть учтены многочисленные ограничения.

Важнейшими показателями конечных результатов и совокупной эффективности производства в условиях рыночной экономики являются прибыль и рентабельность (прибыльность). Уровень рентабельности зависит прежде всего от величины прибыли и размера затрат и применяемых ресурсов.

В нашем случае наиболее подходящими критериями прибыли следует считать прибыль от реализации продукции (древесного топлива) и чистую (расчетную) прибыль.

Оптимальным дополнением к показателю прибыли явилось бы выделение в том числе удельного веса увеличения прибыли, полученной за счет снижения себестоимости.

Показатели рентабельности, которыми можно воспользоваться в данном случае это – рентабельность текущих затрат, рентабельность капитальных вложений (инвестиций), а также срок окупаемости инвестиций.

## Заключение

Система принятия оптимальных решений предполагает анализ всех стадий производства биотоплива с учетом ограничений экологического, технологического и технического характера. Оптимальный вариант на локальном участке является звеном цепи планирования всего технологического процесса. Результатом работы система поддержки принятия решений по стимулированию рационального использования древесной биомассы и отходов лесозаготовок в биоэнергетике является выбор наиболее сбалансированного и экономически эффективного варианта реализации техпроцесса.

## Литература

1. Древесное топливо – альтернатива традиционным источникам энергии // Научно-техническая информация в лесном хозяйстве. Минск: Белгипролес, 2008. Вып. 5. 60 с.
2. Gerasimov, Y. & Karjalainen, T., 2009. Assessment of Energy Wood Resources in Northwest Russia [Электронный ресурс]. URL: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2009/mwp108.pdf> (дата обращения: 17.05.2011).
3. Герасимов Ю., Карьялайнен Т. Ресурсы древесного топлива Северо-Запада России // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. М.: Изд-во МГУЛ, 2010. № 4. С. 12–13.
4. Галактионов О.Н. Технологический процесс лесозаготовок и ресурсы древесных отходов. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2007. 90 с.
5. Усольцев В.А. Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 570 с.
6. Методические указания по определению объема древесных отходов. М: Изд-во стандартов, 1983.
7. Герасимов Ю.Ю., Сюнёв В.С. Экологическая оптимизация технологических машин для лесозаготовок. Йёнсуу: Изд-во университета Йёнсуу, 1998. 178 с.
8. Сравнение технологий лесосечных работ в лесозаготовительных компаниях Республики Карелия / В.С. Сюнев, А.П. Соколов, А.П. Коновалов, В.К. Катаров, А.А. Селиверстов, Ю.Ю. Герасимов, С. Карвинен, Э. Вяльккю. Йёнсуу: Изд-во НИИ Леса Финляндии, 2008. 126 с.
9. Richardson J., Björheden R., Hakkila P., Lowe A.T., Smith C.T. Bioenergy from Sustainable Forestry — Guiding Principles and Practice. Forestry Sciences Volume 71. Kluwer Academic Publishers. Netherlands, 2002.
10. Вос Д. Передовой опыт в использовании энергии биомассы. В 2-х частях. (перевод с английского). Минск : РУП Белэнергосбережение, 2006. 198 с.

11.Замятина Е.Б. Современные теории имитационного моделирования: Специальный курс». Пермь: ПГУ, 2007 г. [[http://window.edu.ru/window\\_catalog/files/r41717/imit\\_mod\\_lect.pdf](http://window.edu.ru/window_catalog/files/r41717/imit_mod_lect.pdf)]