

Расчет удельных энергозатрат для технологий лесосечных работ с углубленной переработкой древесины

М.В. Коломинава

Ухтинский государственный технический университет, ул. Первомайская, 13, Ухта, Республика Коми

mkolominova@ugtu.net

<https://orcid.org/0000-0001-5300-7220>

Статья поступила 27.01.2020, принята 12.02.2020

Лесосечные работы являются одной из важнейших фаз лесозаготовительного производства. Технологии с углубленной переработкой древесины позволяют получить в условиях лесосеки или на погрузочном пункте пиломатериалы, технологическую и топливную щепу. Достоинство технологий с углубленной переработкой древесины состоит в том, что за счет переработки малоценной древесины и вторичного сырья улучшается использование лесосечного фонда. При этом с 1 га леса получают гораздо больше продукции, чем на обычных лесозаготовках. Лесозаготовитель осуществляет комплексную переработку древесины, используя при этом верхнюю часть ствола и кроны деревьев, искривленные стволы, тонкомерные деревья. Одновременно решается очень важная проблема лесных пожаров, возникающих при сжигании лесосечных отходов. Для углубленной переработки в условиях лесосеки может использоваться различное оборудование, и на каждую операцию технологического процесса будут затрачены определенные удельные энергозатраты. Подбор систем машин по критерию наименьшей удельной энергоемкости имеет при этом очень большое значение. Затраты энергии могут быть снижены за счет совмещения операций и уменьшения числа переместительных операций. Целью работы является создание алгоритма вычисления удельных затрат энергии для технологических процессов с углубленной переработкой древесины при получении в условиях лесосеки или на погрузочном пункте технологической и топливной щепы, а также пиломатериалов на погрузочном пункте. В дальнейшем планируется экспериментальное исследование удельных затрат энергии при внедрении технологий с углубленной переработкой древесины и сравнение теоретических расчетов с экспериментальными данными по этому показателю. В результате сопоставления итогов экспериментальных и теоретических исследований будут выработаны рекомендации для внедрения того или иного процесса в производство.

Ключевые слова: удельные затраты энергии; лесосека; погрузочный пункт; технологическая щепка; топливная щепка; пиломатериалы; углубленная переработка древесины.

Calculation of specific energy costs for logging technologies with advanced wood processing

M.V. Kolominova

Ukhta State Technical University; 13, Pervomayskaya St., Ukhta, Republic of Komi

mkolominova@ugtu.net

<https://orcid.org/0000-0001-5300-7220>

Received 27.01.2020, accepted 12.02.2020

Cutting operations are one of the most important phases of logging production. Technologies with advanced processing of wood make it possible to obtain sawn timber, technological and fuel chips in the conditions of the cutting area or at the loading point. The advantage of advanced wood processing technologies is that the use of cutting stock is improved due to the processing of low-value wood and secondary raw materials. At the same time, from 1 hectare of forests it is possible to receive much more products than through conventional logging. The logger carries out complex processing of wood, simultaneously processing the top part of a trunk and a crown of trees, the twisted trunks, thin-gauge trees. At the same time, a very important problem of forest fires arising from the burning of forest waste is being solved. For in-depth processing in the conditions of the cutting area, various equipment can be used, and for each operation of the technological process certain specific energy costs will be spent. Selection of systems of machines according to the criterion of the lowest specific power inputs is very important. Energy costs can be reduced by combining operations, reducing the number of relocation operations. The aim of the work is to create an algorithm for calculating the specific energy consumption for technological processes with advanced wood processing upon receipt of technological and fuel chips, as well as sawn timber at the loading point in the cutting area or at the loading point. In the future, an experimental study of the specific energy costs of technologies with advanced wood processing and a comparison of theoretical calculations with experimental data on this indicator are planned. As a result of comparing the results of experimental and theoretical studies, recommendations will be developed for introducing a particular process into production.

Keywords: specific power inputs; cutting area; loading point; carving wood; technological chips; fuel chips; advanced wood processing.

Введение. Технология с углубленной переработкой древесины в условиях лесосеки (рис. 1, 2) пока не имеет широкого распространения, но является довольно перспективной, так как позволяет поставлять необходимую продукцию, например, пиломатериалы или технологическую щепу, буквально во двор потребителю [1].

Эта технология относится к числу ресурсосберегающих и средоохраняющих, потому что позволяет по максимуму утилизировать на лесосеке низкокачественную древесину и порубочные остатки [2].

За счет переработки малоценной древесины и вторичного сырья улучшается использование лесосечного фонда. С 1 га леса получают гораздо больше продукции, чем при обычных лесозаготовках. При этом экономия затрат доходит до 10 % [3].

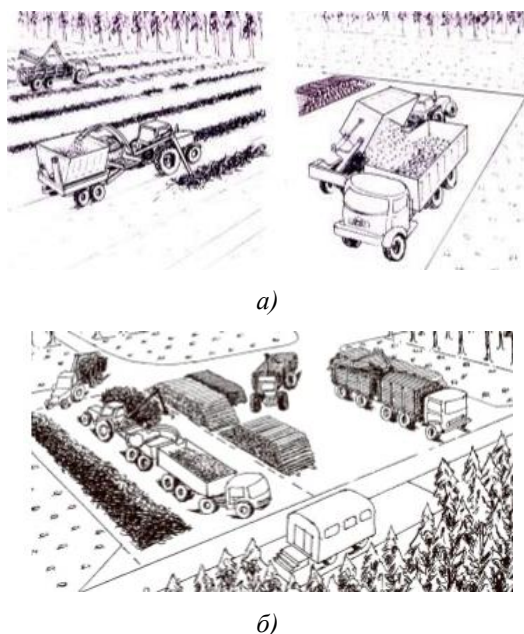


Рис. 1. Схемы технологических процессов производства щепы: а — на лесосеке; б — на погрузочном пункте [4]

В данном исследовании рассмотрены три технологических процесса с углубленной переработкой древесины, позволяющие получить из тонкомерной древесины в условиях лесосеки или на погрузочном пункте топливную щепу и технологическую щепу для ЦБП.

Первый технологический процесс с получением в условиях лесосеки топливной щепы (окорка не требуется) предлагается осуществлять системой машин «бензопила + мобильная рубительная машина». Мобильная рубительная машина измельчает древесину на щепу и транспортирует ее в кузове на погрузочный пункт.

Второй технологический процесс с получением в условиях лесосеки или на погрузочном пункте топливной щепы (окорка не требуется) предлагается осуществлять системой машин «бензопила + трелевочный трактор + мобильная рубительная машина».

Третий технологический процесс с получением технологической щепы для целлюлозно-бумажного производства (ЦБП) и топливной щепы на погрузочном пункте предлагается осуществлять системой машин

«валочно-пакетирующая машина + скиддер + сучкорезно-окорочно-рубительная машина».



Рис. 2. Ленточная пиломама «Logosol ML-26» для производства пиломатериалов на погрузочном пункте [5]

Также рассмотрены три технологических процесса углубленной переработкой древесины, связанные с получением пиломатериалов на погрузочном пункте с использованием следующих систем машин:

- «бензопила + трелевочный трактор + сучкорезно-раскряжеочная машина + ленточная пиломама»;
- «валочно-пакетирующая машина + скиддер + сучкорезно-раскряжеочная машина + ленточная пиломама»;
- «харвестер + форвардер + ленточная пиломама».

Для проведения теоретических исследований были изучены работы зарубежных исследователей [6–13].

Методика исследования. Расчеты удельных энергоемкостей, $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$, для различных операций технологий с углубленной переработкой древесины выполняются по формулам [14; 15]:

– для валки деревьев бензопилами:

$$g_{\text{в.}} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot b_{\text{пр.}} \cdot K_{\text{рез.}} \cdot k_1}{3600 \cdot 4 \cdot V_{\text{x.}}} \cdot \left(\frac{v}{\eta} + \frac{k_2 \cdot u \cdot v}{v_{\text{рез.}} \cdot \eta} \right), \quad (1)$$

где $\pi = 3,14$; $V_{\text{x.}}$ — средний объем дерева (хлыста), м^3 ; η — КПД органов машины; v — коэффициент поправки для непроизводительных движений; d — средний диаметр дерева (хлыста), м ; $b_{\text{пр.}}$ — ширина пропила при спиливании ствола, м ; $K_{\text{рез.}}$ — удельная работа резания при спиливании ствола, $\text{кДж}/\text{м}^3$; k_1 — коэффициент, учитывающий изменение площади пропила по отношению к расчетной; u — скорость подачи режущего механизма, $\text{м}/\text{с}$; $v_{\text{рез.}}$ — скорость резания, $\text{м}/\text{с}$; k_2 — коэффициент пропорциональности между усилиями резания и подачи;

– для трелевки деревьев трактором типа ТДТ-55А:

$$g_{\text{тр.1}} = \frac{\gamma \cdot l_{\text{сп.}} \cdot k_0 \cdot v}{3600 \cdot \eta} \cdot (\psi_{\text{x.}} + 2 \cdot a \cdot \psi_{\text{ж.}}) + \frac{\gamma}{3600} \cdot \left[\frac{h \cdot v \cdot k_1'}{\eta} + \frac{(1 - k_1') \cdot r_{\text{x.}} \cdot \psi_{\text{x.}} \cdot v}{\eta} \right], \quad (2)$$

где γ — объемная сила тяжести древесины, $\text{кН}/\text{м}^3$; $l_{\text{сп.}}$ — среднее расстояние трелевки, м ; k_0 — коэффициент,

учитывающий увеличение пути, проходимого машиной с пачкой деревьев, по отношению к расчетному; ψ_n — коэффициент сопротивления волочащейся пачки; a — отношение силы тяжести трактора к силе тяжести треномой пачки; ψ_m — коэффициент сопротивления движению машины; h — высота подъема комлевой части пачки, m ; k — коэффициент распределения силы тяжести пачки между трактором и поверхностью движения; r_n — расстояние по горизонтали от оси машины до центра сечения пачки в месте захвата, m ;

– для сучкорезно-раскряжевочной машины типа ЛО-120:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{оч-р.} = & \frac{C}{V_x} \cdot \left\{ K_p \cdot S + \mu_{с.г.} \cdot (Q_{с.г.} + P_{с.г.}) \cdot l_{с.г.} + \right. \\ & + \frac{\mu_{кар.} \cdot l_x \cdot (Q_{кар.} + 2 \cdot G_{кар.}) \cdot v}{\eta} + \\ & + \frac{G_{ст.} \cdot \varphi_{ст.г.} \cdot r_{ст.г.} \cdot \mu_{ст.г.} \cdot v}{\eta} + \\ & + \left. \frac{Q_x \cdot h_2 + G_{ст.} \cdot \varphi_{ст.в.} \cdot r_{ст.в.} \cdot \mu_{ст.в.} \cdot v}{\eta_{ст.}} \right\} + \\ & + \frac{C \cdot G_m \cdot \psi_m \cdot L \cdot v}{\Pi_{см.срм} \cdot \eta} + \\ & + \frac{C \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b_{раск.} \cdot K_{раск.} \cdot n \cdot \left(\frac{v}{\eta} + \frac{c_2 \cdot u \cdot v}{v_{раск.} \cdot \eta} \right)}{4 \cdot V_x} \end{aligned} \quad (3)$$

где K_p — удельная работа резания при срезании сучьев, $кДж/м^2$; S — суммарная площадь среза сучьев, $м^2$; $K_{раск.}$ — удельная работа резания при раскряжевке хлыстов, $кДж/м^3$; $v_{раск.}$ — скорость резания при раскряжевке хлыста, $м/с$; $n + 1$ — число пропилов при раскряжевке и пропил на откомлевку; $\mu_{с.г.}$, $\mu_{кар.}$, $\mu_{ст.г.}$, $\mu_{ст.в.}$ — соответственно коэффициенты трения дерева о сучкорезную головку, каретку, стрелу в вертикальном и горизонтальном положении; $Q_{с.г.}$, $Q_{кар.}$ — средние значения силы тяжести дерева, действующие соответственно на сучкорезную и на каретку, $кН$; $G_{кар.}$, $G_{ст.}$, G_m — соответственно силы тяжести каретки, стрелы и самой машины, $кН$; $P_{с.г.}$ — среднее усилие прижима ножей сучкорезной головки к стволу дерева, $кН$; L — общий путь перемещения сучкорезно-раскряжевочной машины в течение смены (от места стоянки до погрузочного пункта и обратно, вдоль штабеля и между штабелями), $м/смена$; l_x — средняя длина хлыста, $м$; $l_{с.г.}$ — среднее значение длины хлыста, проходящего через сучкорезную головку, $м$; $r_{ст.г.}$, $r_{ст.в.}$ — радиусы поворота стрелы в горизонтальной и вертикальной плоскостях, $м$; Q_x — сила тяжести хлыста, $кН$; h_2 — расстояние по вертикали от середины высоты штабеля деревьев до продольной оси хлыста, удерживаемого в горизонтальном положении, $м$; $\Pi_{см.срм}$ — сменная производительность сучкорезно-раскряжевочной машины, $м^3/смена$; $\varphi_{ст.г.}$, $\varphi_{ст.в.}$ — коэффициенты трения в шарнире стрелы при поворотах в горизонтальной и вертикальной плоскостях; $b_{раск.}$ — средняя ширина пропила при раскряжевке, $м$; n — число пропилов при раскряжевке хлыста;

– для измельчения тонкомерной древесины на щепу мобильными рубительными машинами типа ЛО-63Б:

$$\begin{aligned} g_{руб.} = & \frac{g \cdot \gamma \cdot \omega_c \cdot \mu_c \cdot r_n \cdot v}{3600 \cdot \eta} + \frac{G_{ман.} \cdot \omega_c \cdot \mu_c \cdot r_n \cdot v}{3600 \cdot V_x \cdot \eta} + \\ & + \frac{\left[G_x \cdot \frac{\mu_1 \cdot d_n + 2 \cdot f}{d_e} + \frac{i_e \cdot G_e \cdot \mu_1 \cdot d_n}{d_e} \right]}{3600 \cdot V_x \cdot \eta} \times l_x \cdot v + \\ & + \frac{l_x \cdot \frac{k \cdot b}{\cos \beta} \cdot z \cdot v}{3600 \cdot V_x \cdot \eta} + \frac{N_{выброс} \cdot K_c}{\Pi_u}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $g = 9,81 м/с^2$; ω_c — средний угол поворота стрелы, $рад$; μ_c — коэффициент трения в подшипнике поворота стрелы манипулятора; $G_{ман.}$ — сила тяжести манипулятора, $кН$; r_n — расстояние по горизонтали от оси машины до центра сечения пачки в месте захвата, $м$; a_0 — коэффициент соотношения между радиальным и осевым усилиями; μ_1 — коэффициент трения подшипников подающих валцов; d_n — диаметр подшипника, $м$; d_e — диаметр подающих валцов, $м$; f — коэффициент трения качения валцов по бревну, $м$; i_e — общее число подающих валцов; G_e — сила тяжести одного вальца, $кН$; k — удельная сила резания, $Н/м$; b — средняя ширина измельчаемых материалов, $м$; β — угол наклона загрузочного патрона, $град$; $N_{выброс}$ — мощность при выбросе щепы, $кВт$; K_c — коэффициент, учитывающий отношение установленной мощности к потребляемой; Π_u — часовая производительность рубительной машины, $м^3/час$; z — число ножей в ножевом аппарате рубительной машины;

– для валки и пакетирования деревьев валочно-пакетирующей машиной типа ЛП-19А:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{е-п.} = & \frac{\pi \cdot d^2 \cdot b_{пр.} \cdot K_{рез.} \cdot k_1}{3600 \cdot 4 \cdot V_x} \cdot \left(\frac{v}{\eta} + \frac{k_2 \cdot u \cdot v}{v_{рез.} \cdot \eta} \right) + \\ & + \frac{\gamma}{3600} \cdot \left(\frac{v \cdot \Delta \cdot k_p}{2 \cdot \eta \cdot a_1} + \frac{l_m \cdot \alpha \cdot \mu_1 \cdot v}{\eta} \right) + \\ & + \frac{10^4 \cdot G_m \cdot \psi_m \cdot k_p \cdot (1 + m_1) \cdot v}{3600 \cdot q \cdot \Delta \cdot \eta} + \frac{A_d \cdot v}{3600 \cdot V_x \cdot \eta} \end{aligned} \quad (5)$$

где k_p — коэффициент, учитывающий увеличение пути движения машины по отношению к расчетному; a_1 — коэффициент, учитывающий расположение разрабатываемой ленты леса по отношению к продольной оси машины; l_m — максимальный вылет манипулятора, $м$; α — средний угол поворота манипулятора, $рад$; μ_1 — коэффициент трения опоры платформы манипулятора о поворотный круг; q — запас леса на 1 га, $м^3/га$; Δ — ширина разрабатываемой ленты леса, $м$; m_1 — отношение пути, проходимого машиной на холостом ходу, к таковому при выполнении технологической работы; A_d — работа по доставке рабочих устройств к дереву и установке в транспортное положение, $кДж$;

– для трелевки деревьев трелевочным трактором с пачковым захватом (скиддером):

$$\varepsilon_{\text{мр2}} = \frac{\gamma \cdot l_{\text{сп}} \cdot k_0 \cdot v}{3600 \cdot \eta} \cdot (\psi_{\text{н}} + 2 \cdot a \cdot \psi_{\text{м}}) + \frac{\gamma}{3600} \cdot \left[\frac{k \cdot v \cdot k'}{\eta} + \frac{(1 - k') \cdot r_{\text{н}} \cdot \psi_{\text{н}} \cdot \omega_{\text{см}} \cdot v}{\eta} \right], \quad (6)$$

где $r_{\text{н}}$ — расстояние по горизонтали от оси поворота до центра сечения пачки в месте захвата, м; $\omega_{\text{см}}$ — средний угол поворота стрелы пачкового захвата, рад;

– для харвестера:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\text{ВСРМ}} = & \frac{\pi \cdot d_{\text{сп}}^2 \cdot b \cdot K}{3600 \cdot 4 \cdot V_{\text{х}}} \cdot \left(\frac{v}{\eta} + \frac{c_2 \cdot u \cdot v}{u_{\text{р}} \cdot \eta} \right) + \\ & + \frac{M_{\text{см}} \cdot \omega \cdot v}{3600 \cdot V_{\text{х}} \cdot \eta} + \frac{v}{3600 \cdot V_{\text{х}}} \cdot \left[K_{\text{р}} \cdot S + \right. \\ & \left. + \frac{l_{\text{х}} \cdot (Q_{\text{х}} \cdot k + G_{\text{нр}}) \cdot \mu_{\text{н}} + l_{\text{х}} \cdot (1 - k) \cdot Q_{\text{х}} \cdot \mu_{\text{н}}}{\eta} \right] +, \quad (7) \\ & + \frac{\pi \cdot d_{\text{сп}}^2 \cdot b \cdot K_{\text{раск}} \cdot \eta}{3600 \cdot 4 \cdot V_{\text{х}}} \cdot \left(\frac{v}{\eta} + \frac{c_2 \cdot u \cdot v}{u_{\text{рез}} \cdot \eta} \right) + \\ & + \frac{10^4 \cdot G_{\text{м}} \cdot \psi_{\text{м}} \cdot v \cdot (1 + m_1)}{3600 \cdot q \cdot \Delta \cdot \eta} + \frac{A_{\text{д}} \cdot v}{3600 \cdot V_{\text{х}} \cdot \eta} \end{aligned}$$

где M — момент силы сталкивания дерева с пня, кН·м; ω — угол сопровождения дерева валочным рычагом при сталкивании дерева с пня, рад; k — коэффициент, показывающий, какая доля силы тяжести хлыста давит на протаскивающий механизм; $G_{\text{нр}}$ — сила тяжести элементов протаскивающего механизма, кН; $\mu_{\text{н}}$ — коэффициент сопротивления движению хлыста от движущихся элементов протаскивающего механизма по направляющим; $\mu_{\text{х}}$ — коэффициент сопротивления движению хлыста по поддерживающей его плоскости и по ножам;

– для форвардера:

$$\varepsilon_{\text{фор}} = \frac{\left[\gamma \cdot (h_1 + r_{\text{м}} \cdot \omega_{\text{м}}) + \frac{A_{\text{с.м.}}}{V_{\text{с}}} \right] \cdot v}{3600 \cdot \eta} + \frac{l_{\text{сп}} \cdot \gamma \cdot k_0 \cdot \psi_{\text{м}} \cdot (1 + 2 \cdot a)}{3600 \cdot \eta}, \quad (8)$$

где h_1 — высота подъема при укладке сортиментов на форвардер, м; $V_{\text{с}}$ — средний объем сортимента, м³; $r_{\text{м}}$ — радиус поворота манипулятора, м; $\omega_{\text{м}}$ — средний угол поворота манипулятора, рад; $A_{\text{с.м.}}$ — работа по доставке манипулятора к сортименту и обратно, кДж;

– для ленточной пилорамы:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\text{пирод}} = & \frac{E \cdot b \cdot H \cdot l_{\text{с}} \cdot v}{3600 \cdot \eta \cdot V_{\text{с}}} + \\ & + \frac{[P_0 + \mu \cdot (Q_{\text{с}} + Q_{\text{н}} + P_0)] \cdot l_{\text{с}} \cdot v}{3600 \cdot \eta \cdot V_{\text{с}}} +, \quad (9) \\ & + \frac{[(Q_{\text{с}} + 2,08 \cdot q \cdot l_{\text{ч.мр}}) \cdot \mu_{\text{ч.мр}} + 1,08 \cdot Z_{\text{сб}}] \cdot l_{\text{ч.мр}} \cdot v}{3600 \cdot \eta \cdot V_{\text{с}}} \end{aligned}$$

где E — удельная работа резания, кДж/м³; b — ширина пропила при лесопилении, м; H — высота пропила, м; $a_{\text{с}}$ — коэффициент, учитывающий уменьшение площади пропила за счет сбег сортиента; $l_{\text{с}}$ — средняя длина сортимента, м; $V_{\text{с}}$ — средний объем сортимента, м³; $Q_{\text{с}}$ — сила тяжести сортимента, кН; $Q_{\text{н}}$ — сила тяжести устройств, подающих кряж (тележек, цепей и т. д.), кН; μ — коэффициент сопротивления перемещению сортимента, тележки или цепи по направляющим; $P_{\text{р}}$ — усилие резания, кН; P_0 — усилие отжима, кН; $L_{\text{ч.мр}}$ — длина цепного транспортера, м; q — сила тяжести одного метра цепного транспортера, кН/м; $\mu_{\text{ч.мр}}$ — коэффициент трения траверс по направляющим; $Z_{\text{сб}}$ — усилие в сбегавшей ветви, кН.

Одним из последних достижений в области производства окоренной щепы из целых хлыстов (деревьев), является технология с использованием сучкорезно-окорочно-рубительных машин, которые производит фирма Peterson Pacific Corporation (США).

Механизм подачи агрегата, состоящий из двух пар ребристых валцов (рябух), протаскивает пачку тонкомерных деревьев, подаваемых в агрегат гидроманипулятором, через механизм обрезки сучьев и окорки стволов деревьев. Этот механизм представляет собой пару приводных валов, которые расположены между подающими валцами сверху и снизу по отношению к протаскиваемым деревьям. Валы оснащены короткими отрезками круглозвенных цепей (см. рис. 3).

При вращении валов цепи прочесывают стволы движущихся деревьев, ударяя по ним сверху и снизу, сбивая сучья и кору. При этом сучья измельчаются на короткие отрезки. Окоренные стволы поступают в дисковую рубительную машину, расположенную сразу за сучкорезно-окорочным механизмом. В итоге вырабатывается окоренная щепка для ЦБП и топливная щепка [15].

Удельные энергозатраты, кВт·ч/м³, при работе сучкорезно-окорочно-рубительной машины будут:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\text{оч.-ок.-руб.}} = & \frac{K_{\text{р}} \cdot S \cdot v}{3600 \cdot V_{\text{х}} \cdot \eta} + \\ & + \frac{l_{\text{х}} \cdot z \cdot (k_{\text{ок}} \cdot b_0 + q_{\text{кор}} \cdot b_{\text{кр}} \cdot \mu_{\text{к}}) \cdot v}{3600 \cdot \eta \cdot V_{\text{х}}} + \\ & + \frac{\varepsilon \cdot \gamma \cdot \omega_{\text{с}} \cdot \mu_{\text{с}} \cdot r_{\text{н}} \cdot v}{3600 \cdot \eta} + \frac{G_{\text{мах}} \cdot \omega_{\text{с}} \cdot \mu_{\text{с}} \cdot r_{\text{н}} \cdot v}{3600 \cdot V_{\text{х}} \cdot \eta} + \\ & + \left[\frac{G_{\text{х}} \cdot \mu_1 \cdot d_{\text{н}} + 2 \cdot f}{d_{\text{с}}} + \frac{i_{\text{с}} \cdot G_{\text{с}} \cdot \mu_1 \cdot d_{\text{н}}}{d_{\text{с}}} \right] \cdot l_{\text{х}} \cdot v +, \quad (10) \\ & + \frac{l_{\text{х}} \cdot \frac{k \cdot b}{\cos \beta} \cdot z \cdot v}{3600 \cdot V_{\text{х}} \cdot \eta} + \frac{N_{\text{э.мр.ос}} \cdot K_{\text{с}}}{\Pi_{\text{ч}}} \end{aligned}$$

где z — число короснимателей; $k_{\text{ок}}$ — удельное сопротивление окорке, кН/м; b_0 — ширина снимаемой полоски коры, м; $q_{\text{кор}}$ — давление кромки короснимателей, кН/м; $b_{\text{кр}}$ — ширина контактной кромки, м; $\mu_{\text{к}}$ — коэффициент трения короснимателей.



Рис. 3. Сучкорезно-окорочно-рубительная машина

Установлено, что технология производства щепы из целых хлыстов примерно на 4 % позволяет увеличить выход топливной щепы и щепы для ЦБП по сравнению с технологией производства щепы из короткомерных балансов [16; 17].

Результаты расчетов удельных затрат энергии для процесса № 1 с выработкой топливной щепы в условиях лесосеки сведем в табл. 1.

Для технологического процесса № 2 при выработке топливной щепы на погрузочном пункте все данные сведем в табл. 2.

Расчеты для технологического процесса № 3 с выработкой технологической щепы для ЦБП и топливной щепы на погрузочном пункте сведем в табл. 3.

Для технологического процесса № 4 с заготовкой хлыстов бензопилами, трелевкой хлыстов на погрузочный пункт и заготовкой сортиментов СРМ, а затем с выработкой пиломатериалов на погрузочном пункте все данные заносим в табл. 4.

Для технологического процесса № 5 с заготовкой хлыстов ВПМ, трелевкой хлыстов скиддером на погрузочный пункт и заготовкой сортиментов СРМ, а затем с выработкой пиломатериалов на погрузочном пункте все данные заносим в табл. 5.

Для технологического процесса № 6 с заготовкой сортиментов харвестером, трелевкой сортиментов форвардером и выработкой пиломатериалов на погрузочном пункте заносим данные в табл. 6.

По результатам расчетов строим графики удельных энергозатрат для рассматриваемых технологических процессов лесозаготовок (см. рис. 4, 5).

Таблица 1. Данные расчетов удельных затрат энергии технологического процесса № 1 с выработкой топливной щепы в условиях лесосеки, кВт·час/м³

Наименование операции / машины	Средний объем хлыста, м ³				
	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
Бензопила типа «Husqvarna 365»	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
Мобильная рубительная машина типа ЛО-63Б с транспортировкой с лесосеки выработанной топливной щепы	3,393	2,207	1,895	1,606	1,414
Итого	4,743	3,518	3,195	2,766	2,511

Таблица 2. Данные расчетов удельных затрат энергии технологического процесса № 2 с выработкой топливной щепы на погрузочном пункте, кВт·час/м³

Наименование операции / машины	Средний объем хлыста, м ³				
	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
Бензопила типа «Husqvarna 365»	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
Трелевочный трактор типа ТДТ-55А при $l_{cp} = 200$ м	1,345	1,305	1,293	1,152	1,088
Мобильная рубительная машина типа ЛО-63Б	2,393	1,207	0,895	0,606	0,414
Итого	3,743	2,518	2,195	1,766	1,511

Таблица 3. Данные расчетов удельных затрат энергии технологического процесса № 3 с выработкой технологической щепы для ЦБП и топливной щепы на погрузочном пункте, кВт·час/м³

Наименование операции / машины	Средний объем хлыста, м ³				
	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
Валочно-пакетирующая машина типа ЛП-17А	0,259	0,221	0,208	0,202	0,198
Скиддер с захватом типа «John Deere 748Н» при $l_{cp} = 200$ м	1,228	1,168	1,085	0,942	0,857
Сучкорезно-окорочно-рубительная машина типа DDC-5000	4,353	2,258	1,624	1,168	0,874
Итого	5,840	3,647	2,917	2,312	1,929

Таблица 4. Данные расчетов удельных затрат энергии технологического процесса № 4 с заготовкой хлыстов бензопилами, трелевкой хлыстов на погрузочный пункт и заготовкой сортиментов СРМ, а затем с выработкой пиломатериалов на погрузочном пункте, кВт·час/м³

Наименование операции / машины	Средний объем хлыста, м ³				
	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
Бензопила типа «Husqvarna 365»	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
Трелевочный трактор типа ТДТ-55А при $l_{cp} = 200$ м	1,345	1,305	1,293	1,152	1,088
Сучкорезно-раскряжевочная машина типа ЛО-120	1,083	0,833	0,634	0,542	0,488
Ленточная пиломатериала «Logosol ML-26»	1,474	1,379	1,346	1,32	1,306
Итого	3,907	3,523	3,28	3,022	2,891

Таблица 5. Данные расчетов удельных затрат энергии технологического процесса № 5 с заготовкой хлыстов ВПМ, трелевкой хлыстов на погрузочный пункт скиддером и заготовкой сортиментов СРМ, а затем с выработкой пиломатериалов на погрузочном пункте, $\text{кВт}\cdot\text{час}/\text{м}^3$

Наименование операции / машины	Средний объем хлыста, м^3				
	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
Валочно-пакетирующая машина типа ЛП-17А	0,259	0,221	0,208	0,202	0,198
Скиддер с захватом типа «John Deere 748Н» при $l_{\text{ср.}} = 200$ м	1,228	1,168	1,085	0,942	0,857
Сучкорезно-раскряжеочная машина типа ЛО-120	1,083	0,833	0,634	0,542	0,488
Ленточная пило-рама «Logosol ML-26»	1,474	1,379	1,346	1,32	1,306
Итого	4,044	3,601	3,273	3,006	2,849

Таблица 6. Данные расчетов удельных затрат энергии технологического процесса № 5 с выработкой пиломатериалов на погрузочном пункте, $\text{кВт}\cdot\text{час}/\text{м}^3$

Наименование операции / машины	Средний объем хлыста, м^3				
	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
Харвестер «Ponsse Ergo»	0,960	0,725	0,574	0,511	0,434
Форвардер «Ponsse Buffalo»	0,630	0,626	0,624	0,622	0,620
Ленточная пило-рама «Logosol ML-26»	1,474	1,379	1,346	1,32	1,306
Итого	3,064	2,730	2,544	2,453	2,360

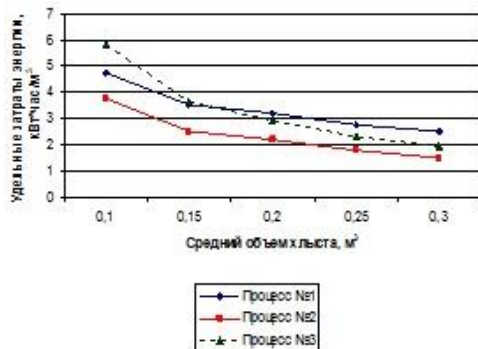


Рис. 4. Графики удельных затрат энергии технологических процессов: № 1 — с выработкой топливной щепы непосредственно в условиях лесосеки; № 2 — с выработкой топливной щепы на погрузочном пункте; № 3 — с выработкой технологической щепы для ЦБП и топливной щепы на погрузочном пункте

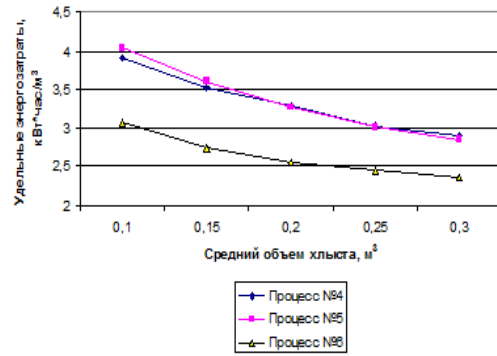


Рис. 5. Графики удельных затрат энергии трех технологических процессов лесозаготовок с выработкой пиломатериалов на погрузочном пункте

Заключение. Технологии лесосечных работ с углубленной переработкой древесины являются инновационными и имеют перспективное направление развития в России [18–20].

Исследования данных технологий по различным показателям эффективности, например, по показателю удельных энергозатрат, являются очень важными вопросами в выявлении наиболее перспективных технологий лесозаготовок.

Проведенные расчеты показывают, что сравнение систем машин для технологий с углубленной переработкой древесины с получением в условиях лесосеки или на погрузочном пункте технологической и топливной щепы по критерию наименьшей энергоемкости имеет актуальное значение.

В дальнейшем планируется экспериментальное исследование удельных затрат энергии технологий с углубленной переработкой древесины и сравнение между собой теоретических расчетов с экспериментальными данными по этому показателю. После сопоставления результатов экспериментальных и теоретических исследований предстоит выработать рекомендации для внедрения того или иного процесса в производство.

Литература

1. Валяжонков В.Д., Васякин Е.А., Беленький Ю.И., Коваленко А.А., Иванов В.А. Современные технологии лесосечных работ // Системы. Методы. Технологии. 2012. № 1 (13). С. 129–134.
2. Григорьев И.В., Валяжонков В.Д. Современные машины и технологические процессы лесосечных работ: моногр. СПб.: СПбГЛТА, 2009. 287 с.
3. Васильев Ю.С., Елистратов В.В., Сидоренко Г.И. Развитие энергетического сектора и биоэнергетики на Северо-Западе России // Изв. высш. учеб. заведений. Проблемы энергетики. 2008. № 1–2. С. 74–86.
4. Пятакин В.И., Григорьев И.В., Редькин А.К. Технология и машины лесосечных работ. СПб.: СПбГЛТУ, 2013. 132 с.
5. Селиверстов А. Оценка эффективности мобильных рубительных машин // ЛесПромИнформ. 2015. № 5 (111). С. 154–157.
6. Тикачев В. Машины для измельчения древесины // ЛесПромИнформ. 2010. № 2(68). С. 92–102.
7. Тикачев В. Машины для измельчения древесины. Мобильные рубительные машины и измельчители биомассы // ЛесПромИнформ. 2010. № 3 (69). С. 132–135.

8. Федоренчик А.С. Инновационное производство технологической щепы на лесосеке // Лесная и деревообрабатывающая промышленность: тр. БГТУ 2012. № 2. С. 3–7.
9. Федоренчик А.С. Расчет производительности самоходных отечественных рубильных машин // Лесная и деревообрабатывающая промышленность: тр. БГТУ. 2014. № 4. С. 13–16.
10. Федоренчик А.С., Семенюк М.Е., Протас П.А. Технологический регламент по переработке древесного сырья в лесу для энергетических целей // Устойчивое управление лесами и рациональное лесопользование: материалы междунар. науч.-практической конф. Минск, 2010. Кн. 2. С. 671–675.
11. Gerasimov Y., Senko S., Karjalainen T. Nordic forest energy solutions in the Republic of Karelia // Forests. 2013. № 4. P. 945–967.
12. Welling H.H., Shaw T.S. Energy from wood biomass combustion in rural Alberta applications. Canada: Kalwa biogenics. 2008. 105 p.
13. Burnett R.T. The Effect of Urban Ambient Air Pollution Mix on Daily Mortality Rates in 11 Canadian Cities // Canadian Journal of Public Health 89-3. May-June 1998. P. 152–156.
14. Karjalainen T., Gerasimov Y., Kholodkov V. Energy wood resources in Northwest Russia and international trade of wood fuels // FINBIO julkaisusarja – FINBIO Publications. 2010. № 47. P. 69–76.
15. Laitila J., Ranta T., Asikainen A. Productivity of stump harvesting for fuel // International Journal of Forest Engineering. 2008. № 19 (2). P. 37–46.
16. Pausch R. Die Holzernteplanung ersetzt den Zufall durch den Irrtum? // Forstmaschinenprofi, 2008. P. 58–61. December 2018. Vol. 64, Is. 6. P. 751–757.
17. Nikolic M., Lawther J.M., Sanadi A.R. Use of nanofillers in wood coatings: a scientific review // Journal of Coatings Technology and Research May, 2015. Vol. 12, Is. 3. P. 445–461.
18. Windisch J., Roser D., Molda-Yudego B., Sikanen L., Asikainen A. Business process mapping and discrete-event simulation of two forest biomass supply chains // Biomass & Bioenergy. 2013. № 56. P. 370–381.
19. Коломинова М.В. Повышение эффективности производства круглых лесоматериалов путем обоснования технологии с минимальной энергоемкостью (в условиях Республики Коми): дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2001. 208 с.
20. Коломинова М.В. Показатели эффективности мобильных рубильных машин // Ресурсы Европейского Севера. Технологии и экономика освоения. 2016. № 4. С. 22–31.
- ceedings of the higher educational institutions. Energy Sector Problems. 2008. № 1–2. P. 74–86.
4. Patyakin V.I., Grigor'ev I.V., Red'kin A.K. Technology and machines of cutting area works. SPb.: SPbGLTU, 2013. 132 p.
5. Seliverstov A. Evaluation of the effectiveness of mobile chippers // LesPromInform. 2015. № 5 (111). P. 154–157.
6. Tikachev V. Machine for crushing wood // LesPromInform. 2010. № 2 (68). P. 92–102.
7. Tikachev V. Machine for crushing wood. Mobile chippers and biomass chippers // LesPromInform. 2010. № 3 (69). P. 132–135.
8. Fedorenchik A.S. Innovative production of technological chips in the cutting area // Lesnaya i derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost': tr. BGTU 2012. № 2. P. 3–7.
9. Fedorenchik A.S. Calculation of productivity of self-propelled domestic chippers // Lesnaya i derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost': tr. BGTU. 2014. № 4. P. 13–16.
10. Fedorenchik A.S., Semenyuk M.E., Protas P.A. Technological regulations on processing of wood raw materials in the forest for energy purposes // Ustojchivoe upravlenie lesami i racional'noe lesopol'zovanie: materialy mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. Minsk, 2010. Кн. 2. P. 671–675.
11. Gerasimov Y., Senko S., Karjalainen T. Nordic forest energy solutions in the Republic of Karelia // Forests. 2013. № 4. P. 945–967.
12. Welling H.H., Shaw T.S. Energy from wood biomass combustion in rural Alberta applications. Canada: Kalwa biogenics. 2008. 105 p.
13. Burnett R.T. The Effect of Urban Ambient Air Pollution Mix on Daily Mortality Rates in 11 Canadian Cities // Canadian Journal of Public Health 89–3. May–June 1998. P. 152–156.
14. Karjalainen T., Gerasimov Y., Kholodkov V. Energy wood resources in Northwest Russia and international trade of wood fuels // FINBIO julkaisusarja – FINBIO Publications. 2010. № 47. P. 69–76.
15. Laitila J., Ranta T., Asikainen A. Productivity of stump harvesting for fuel // International Journal of Forest Engineering. 2008. № 19 (2). P. 37–46.
16. Pausch R. Die Holzernteplanung ersetzt den Zufall durch den Irrtum? // Forstmaschinenprofi, 2008. P. 58–61. December 2018. Vol. 64, Is. 6. P. 751–757.
17. Nikolic M., Lawther J.M., Sanadi A.R. Use of nanofillers in wood coatings: a scientific review // Journal of Coatings Technology and Research May, 2015. Vol. 12, Is. 3. P. 445–461.
18. Windisch J., Roser D., Molda-Yudego B., Sikanen L., Asikainen A. Business process mapping and discrete-event simulation of two forest biomass supply chains // Biomass & Bioenergy. 2013. № 56. P. 370–381.
19. Коломинова М.В. Повышение эффективности производства круглых лесоматериалов путем обоснования технологии с минимальной энергоемкостью (в условиях Республики Коми): дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2001. 208 с.
20. Коломинова М.В. Показатели эффективности мобильных рубильных машин // Ресурсы Европейского Севера. Технологии и экономика освоения. 2016. № 4. С. 22–31.

References

1. Valyazhonkov V.D., Vasyakin E.A., Belen'kij YU.I., Kovalenko A.A., Ivanov V.A. Present-day logging techniques // Systems. Methods. Technologies. 2012. № 1 (13). P. 129–134.
2. Grigor'ev I.V., Valyazhonkov V.D. Modern machinery and technological processes of cutting area works: monogr. SPb.: SPbGLTA, 2009. 287 p.
3. Vasil'ev YU.S., Elistratov V.V., Sidorenko G.I. Development of the energy sector and bioenergy in Northwest Russia // Proceedings of the higher educational institutions. Energy Sector Problems. 2008. № 1–2. P. 74–86.
4. Patyakin V.I., Grigor'ev I.V., Red'kin A.K. Technology and machines of cutting area works. SPb.: SPbGLTU, 2013. 132 p.
5. Seliverstov A. Evaluation of the effectiveness of mobile chippers // LesPromInform. 2015. № 5 (111). P. 154–157.
6. Tikachev V. Machine for crushing wood // LesPromInform. 2010. № 2 (68). P. 92–102.
7. Tikachev V. Machine for crushing wood. Mobile chippers and biomass chippers // LesPromInform. 2010. № 3 (69). P. 132–135.
8. Fedorenchik A.S. Innovative production of technological chips in the cutting area // Lesnaya i derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost': tr. BGTU 2012. № 2. P. 3–7.
9. Fedorenchik A.S. Calculation of productivity of self-propelled domestic chippers // Lesnaya i derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost': tr. BGTU. 2014. № 4. P. 13–16.
10. Fedorenchik A.S., Semenyuk M.E., Protas P.A. Technological regulations on processing of wood raw materials in the forest for energy purposes // Ustojchivoe upravlenie lesami i racional'noe lesopol'zovanie: materialy mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. Minsk, 2010. Кн. 2. P. 671–675.
11. Gerasimov Y., Senko S., Karjalainen T. Nordic forest energy solutions in the Republic of Karelia // Forests. 2013. № 4. P. 945–967.
12. Welling H.H., Shaw T.S. Energy from wood biomass combustion in rural Alberta applications. Canada: Kalwa biogenics. 2008. 105 p.
13. Burnett R.T. The Effect of Urban Ambient Air Pollution Mix on Daily Mortality Rates in 11 Canadian Cities // Canadian Journal of Public Health 89–3. May–June 1998. P. 152–156.
14. Karjalainen T., Gerasimov Y., Kholodkov V. Energy wood resources in Northwest Russia and international trade of wood fuels // FINBIO julkaisusarja – FINBIO Publications. 2010. № 47. P. 69–76.
15. Laitila J., Ranta T., Asikainen A. Productivity of stump harvesting for fuel // International Journal of Forest Engineering. 2008. № 19 (2). P. 37–46.
16. Pausch R. Die Holzernteplanung ersetzt den Zufall durch den Irrtum? // Forstmaschinenprofi, 2008. P. 58–61. December 2018. Vol. 64, Is. 6. P. 751–757.
17. Nikolic M., Lawther J.M., Sanadi A.R. Use of nanofillers in wood coatings: a scientific review // Journal of Coatings Technology and Research May, 2015. Vol. 12, Is. 3. P. 445–461.
18. Windisch J., Roser D., Molda-Yudego B., Sikanen L., Asikainen A. Business process mapping and discrete-event simulation of two forest biomass supply chains // Biomass & Bioenergy. 2013. № 56. P. 370–381.
19. Kolominova M.V. Improving the efficiency of production of round timber by way of feasibility of technologies with the minimum power inputs (in the Komi Republic): dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb., 2001. 208 p.
20. Kolominova M.V. Indicators of efficiency of mobile chippers // Resursy Evropejskogo Severa. Tekhnologii i ekonomika osvoeniya. 2016. № 4. P. 22–31.