

УДК 681.523

UDC 681.523

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО  
ЭНЕРГОБАЛАНСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ЦИКЛА МЕХАНИЗИРОВАННОЙ  
ЗАГОТОВКИ КРУГЛОГО ЛЕСОМАТЕРИАЛА**

**DETERMINATION OF SPECIFIC POWER  
BALANCE OF TECHNOLOGICAL CYCLE OF  
ROUND TIMBER POWER-DRIVEN  
HARVESTING**

Грязин Владимир Альбертович  
к.т.н.  
*Поволжский государственный технологический  
университет, Йошкар-Ола, Россия*

Gryazin Vladimir Albertovich  
Cand.Tech.Sci.  
*Volga State University of Technology, Ioshkar-Ola,  
Russia*

Горбунов Роман Михайлович  
к.т.н., доцент  
*Вятская государственная сельскохозяйственная  
академия, Киров, Россия*

Gorbunov Roman Milhailovich  
Cand.Tech.Sci.  
*Vyatka State Agricultural Academy, Kirov, Russia*

Хандриков Виктор Анатольевич  
к.т.н., доцент

Khandrikov Victor Anatolievich  
Cand.Tech.Sci.

Трутнев Николай Васильевич  
к.т.н., доцент  
*Пермская государственная сельскохозяйственная  
академия им. Д.Н. Прянишникова, Пермь, Россия*

Trutnev Nikolay Vasilevich  
Cand.Tech.Sci.  
*Perm State Agricultural Academy n.a. D.N.  
Pryanishnikov, Perm, Russia*

В работе представлен оригинальный материал исследования, направленного на определение влияния отдельных параметров техники и технологического процесса заготовки круглых лесоматериалов на показатели энергозатрат. Полученные данные позволяют определить границы эффективности как по отдельным технологическим операциям, так и по заготовке древесины в целом

This article presents the original data for study designed to determine the effect of individual parameters of machines and technological process of round timber harvesting on the energy consumption data. These data allow us to determine the frontier efficiency of individual processing steps as well as of timber harvesting generally

Ключевые слова: МАТЕМАТИЧЕСКОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЛЕСОЗАГОТОВКА,  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ, КРУГЛЫЕ  
ЛЕСОМАТЕРИАЛЫ, УДЕЛЬНЫЕ  
ЭНЕРГОЗАТРАТЫ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Keywords: MATHEMATIC SIMULATION,  
TIMBER HARVESTING, PROCESSING STEPS,  
ROUND TIMBER HARVESTING, SPECIFIC  
ENERGY CONSUMPTION, EFFICIENCY

## **Введение**

Развитие отдельных направлений в науке, связанных с изучением процессов заготовки древесины, в частности круглых лесоматериалов, привело к субъективному пониманию важности отдельных структурных элементов получения древесного сырья. Совершенствование конструкции лесозаготовительной техники, организация ее эффективного использования, как с точки зрения отдельного звена, так и системы машин, безусловно, является значимым фактором в повышении энергоэффективности заготовки [1-5]. Тем не менее, следует четко

понимать, что удельный вклад отдельно взятого воздействия не всегда приводит к равнозначному изменению ситуации в целом.

**Цель исследования:** оценка «значимости» отдельно взятой технологической операции на заготовку круглых лесоматериалов в целом по критерию энергозатрат.

Задачи, решаемые в ходе выполнения работы, включают:

- формирование обобщенной математической модели определения энергозатрат заготовки круглых лесоматериалов;
- расчет энергозатрат на выполнение отдельных технологических операций по заготовке круглых лесоматериалов;
- определение удельных энергозатрат, отнесенных к кубическому метру дерева;
- расчет доли удельных энергозатрат в процессе заготовки;
- оценка влияния учетных параметров технологических операций на значение удельных энергозатрат процесса заготовки.

Методы, применяемые для решения поставленных задач:

- метод дискретно-событийного моделирования процесса заготовки;
- метод определения расчетных параметров предмета труда;
- метод прямого перебора.

В качестве основных допущений, применяемых в процесс формирования обобщенной математической модели, используем следующие:

- 1) предметом труда для операций валки, пакетирования, трелевки, обрезки сучьев является расчетное дерево;
- 2) объем сучьев и вершины является величиной постоянной и отделяется от дерева до процесса погрузки;
- 3) среднее расстояние трелевки, скорость движения машин и пр. факторы оказывающие влияние на энергозатраты переместительных операций являются постоянными величинами;

4) расчет энергозатрат будем выполнять при условии, что затраты топливно-энергетических ресурсов осуществляются при выполнении операций непосредственно связанных с заготовкой [6-9];

5) технология заготовки круглых лесоматериалов постоянна, а все технологические операции выполняются последовательно, применительно к обрабатываемому предмету труда.

В качестве базовой используется хлыстовая технология, включающая следующие основные технологические операции: срезание и повал дерева; трелевка; очистка от сучьев; погрузка; вывозка.

### Математическое моделирование

Рассмотрим особенности определения энергозатрат пооперационно. Работа, совершаемая в процессе срезания и повала дерева, включает в себя затраты энергии на цикл непосредственного срезания и переезды к следующей технологической стоянке [4,8,9]:

$$A^{ВПМ} = A_{цикла} + A_{переезд}.$$

С целью упрощения расчетов, работа затраты энергии на цикл срезания  $A_{цикла}$  определим из условия 70% нагружения двигателя, за заданное среднее время цикла. Затраты энергии на переезд  $A_{переезд}$  будут определяться исходя из методики определения касательной силы тяги на ведущих элементах транспортной машины  $P_K$  [5] и среднего расстояния переезда.

Работа, совершаемая в процессе трелевки включает затраты энергии на сбор пачки, трелевку и возвращение машины в порожнем положении назад

$$A^{трелевки} = A_{сбор} + A_{переезд}^{груз} + A_{переезд}^{порож}.$$

Затраты энергии на сбор пачки  $A_{сбор}$  определим как совершаемую работу на подъем комлей деревьев в пачке на заданную высоту.

Работа, совершаемая в процессе очистки дерева от сучьев, определяется удельной работой резания [10]. При этом важным допущением является условие, что объем сучьев и вершины, оставляемых после очистки дерева составляет заданный процент от объема дерева.

Работа, совершаемая в процессе погрузки определяется как затраты энергии на подъем пачки, переезд с пачкой и возвращение в порожнем положении назад.

$$A^{погрузка} = A_{подъем} + A_{выбег}^{груз} + A_{выбег}^{порож}.$$

Удельная работа операций с деревом определяется как отношение общих энергозатрат к кубатуре «расчетного» дерева.

$$A_i = A_{общ_i} / V_{дер},$$

где  $A_{общ_i}$  - работа, совершаемая в процессе отдельной технологической операции.

Удельная работа операций с хлыстами относится к дереву с учетом потерь объема древесины в процессе очистки от сучьев и срезание вершины. Значение будет больше  $A_i$  на величину потери объема, так как в качестве расчетного выбрано именно начальное «расчетное» дерево [11], произрастающее на лесосеке:

$$A_j = \frac{A_{общ_j}}{(100\% + \%_{сучьев} + \%_{вершины}) / 100\%}.$$

**Исходные данные** для расчета:

1) состав машин:

- срезание и повал дерева – валочно-пакетирующая машина ЛП-19А;
- трелевка – машина трелевочная гусеничная с пачковым захватом ЛП-154А;
- очистка от сучьев – бензопила Partner 350;
- погрузка – челюстной погрузчик ПЛ-1Г;

- вывозка – лесовоз 5960-10 на базе УРАЛ 43204-1111-31.

2) Значения принимаемых параметров, представлены в таблице 1

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

№	Формализуемый объект	Параметр	Значение
1	2	3	4
1.	Условное дерево	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	800
		Средний объем дерева, м <sup>3</sup>	1
		Коэффициент распределения массы в комлевой части	0,6
2.	Срезание и повал дерева	Масса машины, кг	24300
		Среднее время цикла, с	40
		Среднее количество деревьев, срезаемых с одной стоянки, шт	5
		Расстояние переезда, м	10
		Коэффициент сопротивления движению	0,25
3.	Трелевка	Масса машины, кг	14600
		Объем трелеваемой пачки, м <sup>3</sup>	7
		Высота подъема комлей, м	2
		Расстояние трелевки, м	100
		Коэффициент сопротивления движению трактора	0,25
		Коэффициент сопротивления движению пачки	0,8
4.	Очистка от сучьев	Удель. работа резания, МДж/м <sup>3</sup>	48
		Объем резов, м <sup>3</sup> (20 шт. по 0,01 м толщиной)	0,00157
		Объем сучьев, % к объему дерева	10
		Объем вершины, % к объему дерева	10
5.	Погрузка	Масса машины, кг	13800
		Объем пачки, м <sup>3</sup>	3,75
		Выбег, м	10
		Высота подъема м	3,5
		Коэффициент сопротивления движению трактора	0,2
6.	Вывозка	Масса машины, кг	12740
		Масса груза, кг	15000
		Сред скорость движения, км/ч	70
		Площадь лобовой поверхности, м <sup>2</sup>	8
		Коэффициент аэродинамического сопротивления	0,7
Коэффициент сопротивления движению	0,02		

Результаты расчета для плеча вывозки 10 км представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Пооперационное распределение удельных энергозатрат, отнесенных к «расчетному» дереву, на плече вывозки 10 км

Результаты расчета для плеча вывозки 20 км представлены на рисунке 2.

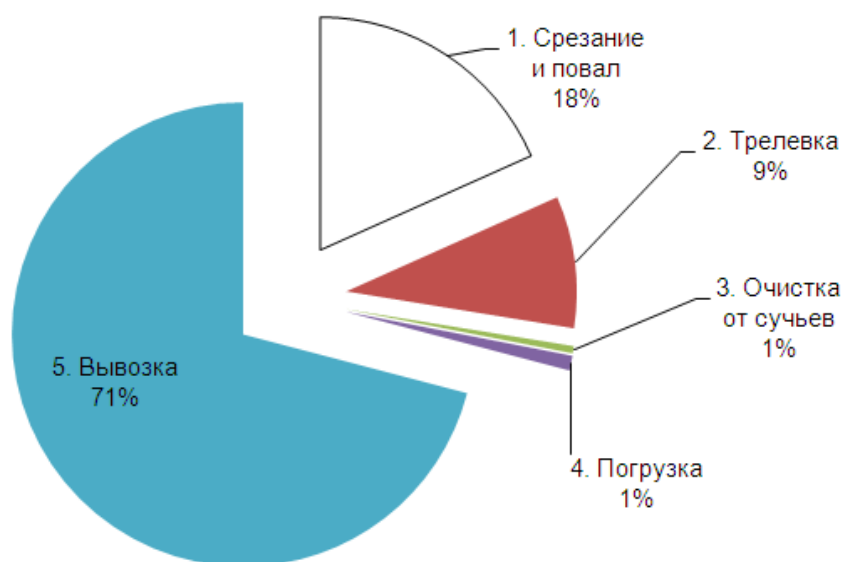


Рисунок 2 – Пооперационное распределение удельных энергозатрат, отнесенных к «расчетному» дереву, на плече вывозки 20 км

Как показали расчеты, на плече вывозки 10 км, порядка 55% всех энергозатрат при заготовке круглой древесины приходится на долю вывозки; 28% - срезание и повал дерева; на третьем месте с 14% занимает трелевка.

Для плеча вывозки в 20 км, первое место по-прежнему занимает вывозка с 72% всех энергозатрат; второе место срезание и повал дерева - 18%; на третьем месте с 9% занимает трелевка.

При дальнейшем увеличении плеча вывозки, порядок «значимости» технологических операций сохраняется.

Для наиболее наглядного отображения изменения долей технологических операций при различных значениях плеча вывозки приводим графическое отображения данных, представленных на рисунке 3.

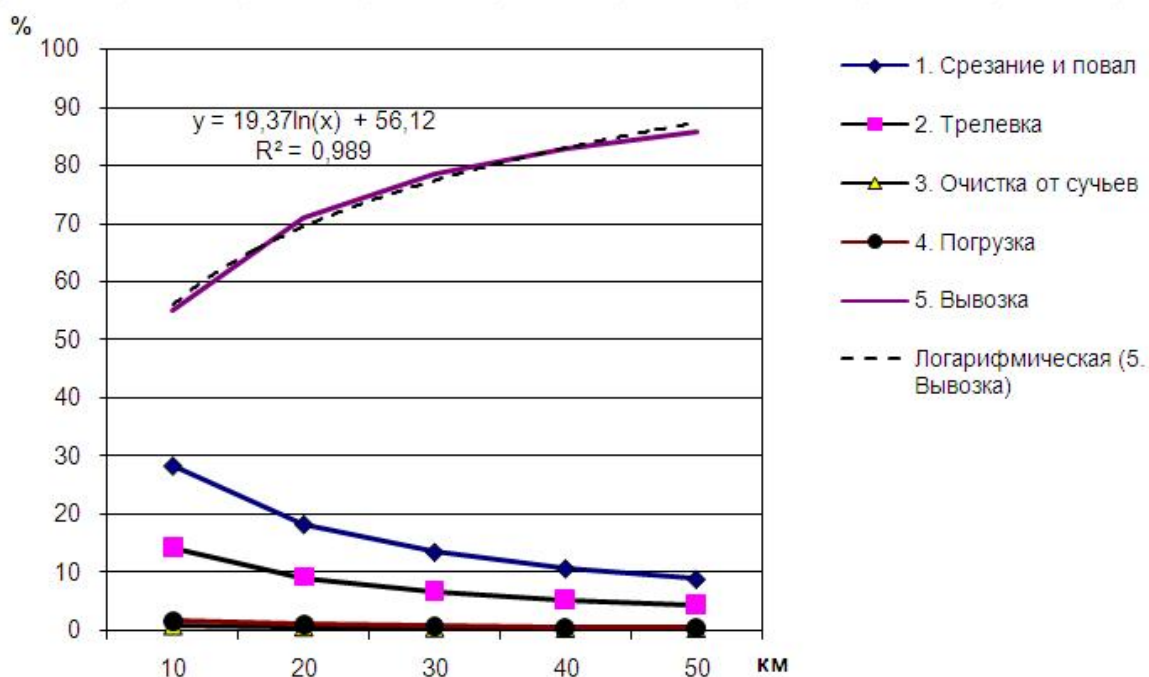


Рисунок 3 – Изменение долей удельных энергозатрат, отнесенных к «расчетному» дереву, по технологическим операциям

Таким образом, имеем наглядное распределение «важности» отдельных технологических операций при заготовке круглой древесины, которое условно может быть распределено следующим образом:

- 1 место – вывозка;
- 2 место – срезание и повал;
- 3 место – трелевка;
- 4 место – погрузка;
- 5 место – очистка от сучьев.

На кривую «Вывозки», представленной на рисунке 3 наложена логарифмическая линия тренда. Аппроксимирующее уравнение кривой для заданных параметров технологического процесса заготовки позволяет с точностью 98,9 % получить обобщенное выражение для определения значений удельных энергозатрат на вывозку, отнесенных к «расчетному» дереву.

С целью определения отклика значения удельных энергозатрат, отнесенных к «расчетному» дереву, на изменения учетных параметров технологических операций, примем в качестве величины воздействия – 20% изменение.

В качестве направления изменения (увеличение или уменьшение) используем критерий снижения энергозатрат. Так, например, если снижение конструктивной массы машины приводит к снижению энергозатрат, примем направление воздействия – уменьшение массы.

В качестве базовой, примем плечо вывозки 10 км.

Результаты оценки отклика значения удельных энергозатрат по отдельным технологическим операциям, отнесенных к «расчетному» дереву, на изменения учетных параметров, приведены в таблице 2.



Таблица 2 – Результаты оценки отклика значения удельных энергозатрат

№	Технол. операция	Параметр	Значение (изменение)	Отклик, %	Рейтинг
1	2	3	4	5	6
1	Срезание и повал дерева	Масса машины, кг	24300 (-20%)	0,85	2
		Среднее время цикла, с	40 (-20%)	19,15	1
		Среднее количество деревьев, срезаемых с одной стоянки, шт.	5 (+20%)	0,71	3
		Расстояние переезда, м	10 (-20%)	0,85	2
		Коэффициент сопротивления движению	0,25 (-20%)	0,85	2
2	Трелевка	Масса машины, кг	14600 (-20%)	14,6	3
		Объем трелюемой пачки, м <sup>3</sup>	7 (+20%)	12,16	4
		Высота подъема комлей, м	2 (-20%)	0,13	6
		Расстояние трелевки, м	100 (-20%)	19,87	1
		Коэффициент сопротивления движению трактора	0,25 (-20%)	16,28	2
		Коэффициент сопротивления движению пачки	0,8 (-20%)	3,58	5
3	Очистка от сучьев	Удель. работа резания, МДж/м <sup>3</sup>	48 (-20%)	20	1
		Объем резов, м <sup>3</sup> (20 шт. по 0,01 м толщиной)	0,00157 (-20%)	20	2*
4	Погрузка	Масса машины, кг	13800 (-20%)	15,4	2
		Объем пачки, м <sup>3</sup>	3,75 (+20%)	12,83	3
		Выбег, м	10 (-20%)	17,07	1
		Высота подъема м	3,5 (-20%)	2,93	4
		Коэффициент сопротивления движению трактора	0,2 (-20%)	17,07	1
5	Вывозка	Масса машины, кг	12740 (-20%)	8,22	4
		Масса груза, кг	15000 (+20%)	12,63	2
		Сред скорость движения, км/ч	70 (-20%)	12,49	3
		Площадь лобовой поверхности, м <sup>2</sup>	8 (-20%)	6,94	5
		Коэффициент аэродинамического сопротивления	0,7 (-20%)	6,94	5
		Коэффициент сопротивления движению	0,02 (-20%)	13,05	1

\* - так как значение объема резов в большей степени зависит от параметров обрабатываемого дерева.

Анализируя данные, представленные в таблице следует отметить, что наибольшее влияние на значение удельных энергозатрат, отнесенных к единице объема дерева пооперационно следующие:

1. Срезание и повал дерева посредством ВПМ ЛП-19А – совершенствование конструкции (снижение среднего времени цикла и уменьшение массы машины);

2. Трелевка посредством машины трелевочной гусеничной с пачковым захватом ЛП-154А – уменьшение среднего расстояния трелевки и совершенствование конструкции машины (снижение сопротивления на движение и уменьшение массы машины);

3. Очистка от сучьев посредством бензопилы Partner 350 – снижение удельной работы резания;

4. Погрузка посредством челюстного погрузчика ПЛ-1Г – снижение энергозатрат на переезды (выбег и сопротивление движению);

5. Вывозка – лесовоз 5960-10 на базе УРАЛ 43204-1111-31 – снижение сопротивления движению и увеличение полезной нагрузки.

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение № 14.В37.21.2045.*

### Список литературы

1. Грязин В.А. Повышение эффективности применения лесозаготовительных машин с системой рекуперации энергии [Текст] / В.А. Грязин, А.В. Егоров // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия «Лес. Экология. Природопользование» Научно-прикладной журнал. – Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2008. – №1(2). – С. 59-65

2. Грязин, В.А. Оценка энергоемкости работы валочно-пакетирующих машин [Текст] / В.А. Грязин // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии: Вып. 185. – СПб.: СПбГЛТА, 2008. – С. 109-115

3. Грязин В.А. Повышение эффективности работы лесозаготовительных машин применением энергоаккумулирующего привода / В.А. Грязин // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии: Вып. 184. – СПб.: СПбГЛТА, 2008. – С. 112-118.

4. Грязин В.А. Энергоемкость как фактор производительности валочно-трелевочных машин» [Текст] / В.А. Грязин // Известия высших учебных заведений.

«Лесной журнал». – Архангельск: Издательство Архангельского государственного технического университета, 2009. – №2. – С.54-58.

5. Грязин В.А. Влияние природных условий на энергоемкость трелевки древесины тракторами с чокерным оборудованием [Текст] / В.А. Грязин // Известия высших учебных заведений. «Лесной журнал». – Архангельск: Издательство Архангельского государственного технического университета, 2009. – №3. – С. 68-73

6. Грязин В.А. Модернизация гидропривода подъемно-транспортных машин по критерию энергоемкости [Текст] / В.А. Грязин // Ремонт, восстановление и модернизация. – 2008. – №6. – С.5-7

7. Грязин В.А. Совершенствование гидроаккумулирующих устройств, функционирующих в режиме источника энергии [Текст] / В.А. Грязин // Ремонт, восстановление и модернизация. - 2009. – №7. – С.20-22.

8. Грязин В.А. Нагруженность подъемно-транспортных машин в режиме выполнения технологических операций [Текст] / В.А. Грязин // // Тракторы и сельхозмашины. – Москва: ООО «Редакция журнала «ТСМ», 2010. – №7. – С.30-32.

9. Грязин В.А. Особенности моделирования технологического оборудования подъемно-транспортных машин с механическим энергоаккумулирующим приводом [Текст] / В.А. Грязин // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии: Вып. 190. – СПб.: СПбГЛТА, 2010. – С. 97-103

10. Ширнин Ю.А. Технология и оборудования лесопромышленных производств. Часть 1. Лесосечные работы: Учебное пособие [Текст] / Ю.А. Ширнин. – М.: МГУЛ, 2004. – 446 с.

11. Александров В.А. Конструирование и расчет машин и оборудования для лесосечных работ и нижних складов [Текст]: учебник / В.А. Александров, Н.Р. Шоль. – Ухта: УГТУ, 2002. – 244 с.