

A  
E51

Электронный архив УГЛТУ

На правах рукописи

**Елизаров Юрий Михайлович**

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НАГРУЗОЧНЫХ РЕЖИМОВ НА  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ  
БЕНЗИНОМОТОРНЫХ ПИЛ**

05.21.01 – Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Братск – 2016

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Братский государственный университет» на кафедре лесные машины и оборудование.

Научный руководитель – **Иванов Виктор Александрович**,  
доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты – **Фокин Сергей Владимирович**, доктор  
технических наук, доцент, зав. кафедрой  
лесного хозяйства и лесомелиорации  
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный  
аграрный университет имени  
Н.И. Вавилова».

**Дербин Михаил Васильевич**, кандидат  
технических наук, доцент кафедры  
технологии лесопромышленных производств  
ФГАОУ ВО «Северный (Арктический)  
федеральный университет имени  
М.В. Ломоносова»

Ведущая организация – ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский  
государственный лесотехнический  
университет имени С.М. Кирова»

Защита диссертации состоится «24» марта 2016 г. в 12-30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.281.02 при ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет» (620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37), к. 401.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», [www.usfeu.ru/nauka/disserattsiionnye-sovety.html](http://www.usfeu.ru/nauka/disserattsiionnye-sovety.html).

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент

Куцубина Нелли Валерьевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Повышение энергоемкости производства, в том числе и лесозаготовительного, количества техники, задействованной в производственных процессах, а также постоянный рост цен на энергоносители является серьезным фактором, который увеличивает важность вопроса повышения энергетической эффективности. Универсальных способов экономить энергию не существует, но разработка методик, технологий и устройств, помогающих вывести энергоэффективность на качественно новый уровень, является приоритетной задачей научно-технического прогресса, в том числе и в лесозаготовительной отрасли. На заседании Госсовета, состоявшегося 02 июля 2009 г. в Архангельске, президент РФ сформулировал стратегические задачи страны в сфере энергоэффективности, которую часто называют «пятым видом» топлива. В России вскоре была создана комиссия по модернизации и технологическому развитию экономики, которая выделила пять приоритетов. На первом месте в этом ряду стоит энергоэффективность. Это направление должно быть системообразующим. К 2020 году необходимо снизить на 40% энергоемкость российского валового внутреннего продукта, как отметил президент.

Бензиномоторные пилы продолжают оставаться одним из наиболее распространенных механизмов, используемых в лесозаготовительном производстве. К настоящему времени не существует методики обоснованной оценки их энергетической эффективности, с учетом природно-производственных условий их эксплуатации.

**Степень разработанности темы .** Диссертация представляет собой законченное научное исследование, включающее в себя изучение состояния проблемы, постановку цели и задач, теоретический анализ изучаемых процессов с составлением математической модели, экспериментальное исследование энергоэффективности работы бензиномоторной пилы, практическую реализацию работы в виде рекомендаций по выбору оптимальных показателей работы бензиномоторных пил максимизирующих их энергетическую эффективность.

**Цель работы.** Повышение энергетической эффективности лесозаготовительного производства путем разработки методики оценки энергетической эффективности бензиномоторных пил в различных природно-производственных условиях их эксплуатации.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие основные задачи исследования:

1. Разработать методику определения топливной экономичности бензиномоторных пил;
2. Разработать план, состав аппаратуры, обосновать место проведения экспериментальных исследований, измеряемые показатели и характери-

стики, точность измерения и достоверность эксперимента, длительность опыта или числа измерений;

3. Провести экспериментальные исследования для определения энергетических затрат и сравнительной эффективности бензиномоторных пил в различных условиях эксплуатации;

4. Дать обоснованные рекомендации по повышению энергетической эффективности бензиномоторных пил в различных условиях их эксплуатации;

5. Разработать новое техническое решения для повышения энергетической эффективности бензиномоторных пил.

**Научная новизна работы.** Разработанная методика оценки энергетической эффективности бензиномоторных пил в различных природно-производственных условиях их эксплуатации позволяет обоснованно выбирать параметры пил, которые дают наибольшую энергетическую эффективность в конкретных условиях лесозаготовительного производства.

**Практическая значимость работы.** Методика оценки энергетической эффективности бензиномоторных пил в различных природно-производственных условиях их эксплуатации углубляет теоретические основы лесозаготовительного производства в энергетической сфере. Предложенная методика позволяет разрабатывать организационные мероприятия, повышающие энергетическую эффективность лесозаготовительного производства. Она дает возможность конструкторам на этапе проектирования и создания уточнять основные параметры бензиномоторных пил.

**Методы исследования.** Теоретической основой исследований явились работы ведущих отечественных и зарубежных ученых по анализу энергетического КПД машин и механизмов, научные работ по проектированию и совершенствованию машин и оборудования лесного комплекса, материалы международных и всероссийских конференций по проблемам лесопромышленного комплекса.

В работе применялся системный подход, охватывающий базовые методы научно-технического познания, методы математического моделирования и математической статистики, измерения и обработки экспериментальных данных.

Автор в своих исследованиях опирался на фундаментальные работы видных ученых в области теории лесопромышленных машин и оборудования, их проектирования и использования – Александрова И.К., Анисимова Г.М., Григорьева И.В., Кочегарова В.Г., Пятякина В.И., Редькина А.К., Шегельмана И.Р., Ширнина Ю.А., Nick Pasiecznik, Emmanuel Marfo и др.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Методика оценки энергетической эффективности бензиномоторных пил в зависимости от нагрузочных режимов;

2. Установленные зависимости влияния нагрузочных параметров на энергетическую эффективность пильных цепей;

3. Установленные зависимости влияния конструктивных параметров пильных цепей на показатели процесса пиления бензиномоторной пилой;

4. Конструкция универсальной пильной цепи повышенной устойчивости и устройства для ее заточки.

**Степень достоверности и апробация результатов** обеспечивается применением современных методов исследований, подтверждается обоснованностью принятых допущений, применением методов математической статистики; проведением экспериментальных исследований в лабораторных условиях и подтвержденной адекватностью разработанной методики.

Основные положения диссертации и отдельные ее разделы докладывались и получили положительную оценку на второй международной научно-практической Интернет конференции «Леса России в XXI веке» (СПб, 2010); Международном научно-образовательном семинаре «Деревянные конструкции-2011: образование, практика, инновации в странах Баренцева Евро-Арктического региона» (Архангельск, 2011), а также ежегодных научно-технической конференции БрГУ в 2009-2013 гг.

**Личный вклад автора** заключается в постановке и решении теоретических, экспериментальных и конструкторских задач. Автором разработана методика оценки энергетической эффективности бензиномоторных пил в зависимости от нагрузочных режимов, исследованы зависимости влияния нагрузочных параметров на энергетическую эффективность пильных цепей, установлены зависимости влияния конструктивных параметров пильных цепей на показатели процесса пиления бензиномоторной пилой. Разработана конструкция новой универсальной пильной цепи повышенной устойчивости. Проведены экспериментальные исследования. Выполнена обработка их результатов и сформулированы выводы и рекомендации в интересах конструкторов и потребителей пил.

**Публикации.** Материалы диссертации опубликованы в девяти печатных работах, включая три статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов кандидатских и докторских диссертаций. Получен патент на полезную модель (№ 130895 опубл. 10.08.2013. Бюлл. № 22). Результаты исследований также отражены в отчетах по НИР.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, основных выводов и рекомендаций, списка литературы. Общий объем работы 150 страниц. Диссертационная работа содержит 41 рисунок, 22 таблицы. Список литературы содержит 100 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении обоснована** актуальность темы диссертационной работы, определена цель исследований, определена научная новизна и практическая ценность работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** рассмотрено состояние проблемы, включая основные понятия и определения, характеристики и основные требования к бензиномоторным пилам, основные принципы конструктивной компоновки бензиномоторных пил, место бензиномоторных пил в современном технологическом процессе лесозаготовительного производства. На основании фундаментальных работ проф. И.К. Александрова дан теоретический анализ энергетической эффективности бензиномоторной пилы, в частности, рассмотрена оценка энергетического КПД бензиномоторной пилы при поперечной и продольной распиловке круглых лесоматериалов и валке деревьев. Выполнено сопоставление балансов энергопотребления бензиномоторной пилы на поперечной и продольной распиловке круглых лесоматериалов. Рассмотрены методы оценки энергетического КПД двигателя внутреннего сгорания, а также методы определения механических потерь в этом двигателе. Проведен анализ исследований по указанным вопросам.

Анализ работ показал, что, несмотря на значительный объем выполненных исследований, к настоящему времени не существует методики обоснованной оценки их энергетической эффективности, в зависимости от природно-производственных условий их эксплуатации.

**Во второй главе** разработана методика определения топливной экономичности бензиномоторных пил. Как показал выполненный обзор и анализ работ по совершенствованию конструкции бензиномоторных пил, на сегодня нет научно-обоснованной методики определения оптимальной мощности пилы, хотя данная характеристика является одной из важнейших при подборе пил в систему машин с учетом конкретных природно-производственных условий.

В настоящее время при проектировании машин и механизмов используется методика расчета КПД механической трансмиссии, согласно которой получают его значение перемножением КПД всех элементов кинематической цепи.

КПД трансмиссии, подсчитанный как произведение постоянных коэффициентов, не может отражать влияния на него нагрузочных, скоростных и температурных режимов, вида и состояния смазки и некоторых других условия эксплуатации, что приводит к существенным расхождениям расчетных значений КПД с фактическими.

Тенденции развития конструкции бензиномоторных пил, сводящиеся к установке все более быстроходных двигателей с пониженным крутящим моментом на валу, еще более снижает точность вычисления КПД.

Использование быстроходных двигателей зачастую бывает оправдано с точки зрения снижения общей металлоемкости, и, соответственно, массы, (что чрезвычайно важно с точки зрения эксплуатации ручного моторного инструмента), поскольку масса скоростного двигателя, снижается на большую величину, нежели возрастает при этом масса трансмиссии за

счет удлинения кинематической цепи. Последнее необходимо для получения соответствующей величины крутящего момента.

Последнее условие соблюдается в тех случаях, когда рабочие органы остаются консервативными в отношении увеличения скоростного режима, но сохраняют потребность в больших усилиях при взаимодействии со средой. Отметим, что современные тенденции развития основного режущего инструмента бензиномоторных пил – пильных цепей, как раз ведут к уменьшению потребной величины крутящего момента, за счет использования мелкозвенных цепей с небольшой подачей на зуб. В идеале следует стремиться к такому конструктивному решению, когда двигатель устанавливается непосредственно на рабочий орган без передаточного механизма (зубчатых, ременных передач, и т.д.). Однако следует учитывать, что при изменении параметров рабочего органа в сторону повышения его быстроходности могут возникнуть условия для снижения его конвертирующей способности. Для пильной цепи это выразится в падении производительности чистого пиления за счет забивания межзубных впадин, потерях на трение холостого хода и т.д.

Для определения оптимальности мощностных параметров и топливной экономичности бензиномоторных пил предлагается следующая последовательность:

1. За основу принимаем зависимости

$$P_{\text{чп}} = f(H) \text{ и } G_{\text{уд}} = f(H) \quad (1)$$

при  $\omega = \text{const}$ ,

где:  $P_{\text{чп}}$  - производительность чистого пиления (основная технологическая характеристика любого режущего инструмента) ( $\text{м}^2/\text{с}$ ) ( $P_{\text{чп}}=HU$ , где  $U$  – скорость подачи (надвигания) пилы,  $\text{м}/\text{с}$ );  $G_{\text{уд}}$  - удельный расход топлива (весовое количество израсходованного топлива на единицу времени при заданных скоростных и нагрузочных режимах,  $\text{г}/\text{с}$ );  $H$  - высота пропила, (м), определяет нагрузочный режим пиления;  $\omega$  - частота вращения коленчатого вала двигателя;  $\text{рад}/\text{с}$ .

2. Производительность чистого пиления – площадь пропила за фиксированное время  $T$ :

$$P_{\text{чп}} = \frac{S}{T}, \text{ м}^2/\text{с}. \quad (2)$$

Удельный расход топлива – равносильен понятию мощности, т.е. количеству энергии, затраченной за единицу времени:

$$G_{\text{уд}} = \frac{G}{T}, \quad (3)$$

где  $G$  - расход топлива за время работы  $T$ ,  $\text{г}$ .

Энергоемкость процесса пиления

$$W_{уд} = \frac{G_{уд}}{\Pi_{чп}} = \frac{\frac{G}{T}}{\frac{S}{T}} = \frac{G}{S}, \quad \text{зр/м}^2. \quad (4)$$

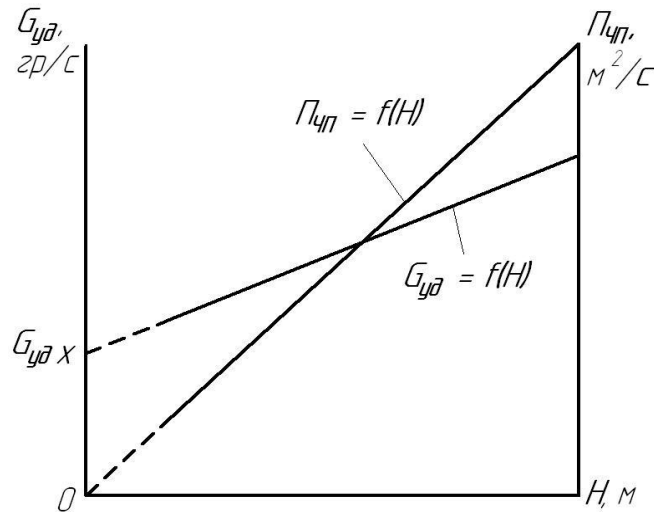


Рисунок 1- Графики  $\Pi_{чп} = f(H)$  и  $G_{уд} = f(H)$  при постоянной частоте вращения вала двигателя ( $\omega = const$ )

Предварительные исследования позволили сделать допущение, что экспериментальные точки могут быть аппроксимированы линейными зависимостями в функции от нагрузочного режима пильной цепи, определяемого высотой пропила  $H$ :

$$\Pi_{чп} = K_1 \cdot H, \quad (5)$$

$$G_{уд} = K_2 \cdot H + G_{удх}, \quad (6)$$

где  $K_1, K_2$  - константы аппроксимирующих функций;

$G_{удх}$  - удельный расход топлива на холостой ход пилы при заданной частоте вращения  $\omega$ .

Причем, согласно определению,  $\Pi_{чп}, K_1 = U$  (м/с);  $G_{удх}$  - аналог мощности холостого хода пилы.

$G_{удпол} = K_2 \cdot H$  - аналог полезной мощности на приводе пилы.

На основании указанных зависимостей представляем функциональную зависимость  $W_{уд} = f(H)$

$$W_{уд} = \frac{K_2 H}{K_1 H} + \frac{G_{удх}}{K_1 H} = K + \frac{K_3}{H}, \quad \text{зр/м}^2 \quad (7)$$

где  $K = \frac{K_2}{K_1}$ , или  $K = \frac{K_2}{U}$

Очевидно, что  $\lim_{H \rightarrow \infty} W_{уд} = K$ .

При  $H \rightarrow \infty$



Используем понятие коэффициента  $C$  качества рабочих органов, который определяет способность рабочих органов конвертировать полезную энергию (мощность) в продукцию:

$$P_{\text{чп}} = C \cdot G_{\text{удПОЛ}} \cdot P_{\text{чп}} = C \cdot G_{\text{удПОЛ}} \cdot \quad (8)$$

Тогда 
$$C = \frac{P_{\text{чп}}}{G_{\text{удПОЛ}}}, \quad (9)$$

следовательно, 
$$K = \frac{1}{C}, \quad (10)$$

т.е. величина обратная коэффициенту качества рабочих органов.

Функциональная зависимость  $W_{\text{уд}} = f(H)$  является гиперболой, которая при увеличении аргумента асимптотически приближается к величине  $K$  (рис. 2).

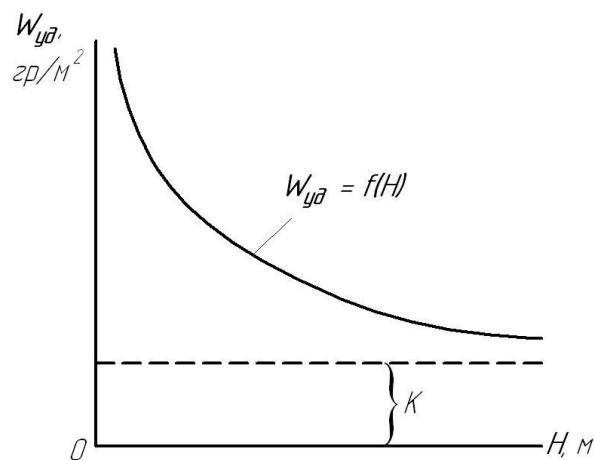


Рисунок 2 - Функциональная зависимость  $W_{\text{уд}} = f(H)$

3. С целью повышения точности определения функциональной зависимости  $G_{\text{уд}} = f(H)$  требуется определить расход топлива на холостой ход пилы в зависимости от частоты вращения двигателя  $G_{\text{воХ}} = f(\omega)$  (рис. 3).

4. В целях фиксации расхода топлива за период  $T$  получения данных наработки целесообразнее всего проводить пиление сосновых брусков не менее трех типов по высоте пропила  $H$ . Одной влажности и температуры.

5. Частота вращения двигателя фиксируется путем установки датчика в системе зажигания - счетчик оборотов  $N$  за время  $T$  испытания. Единицы измерений частоты вращения:

$$\omega = 2\pi \frac{N}{T}, \text{ рад/с} \quad (11)$$

или 
$$n = \frac{N}{T}, \text{ с}^{-1}. \quad (12)$$

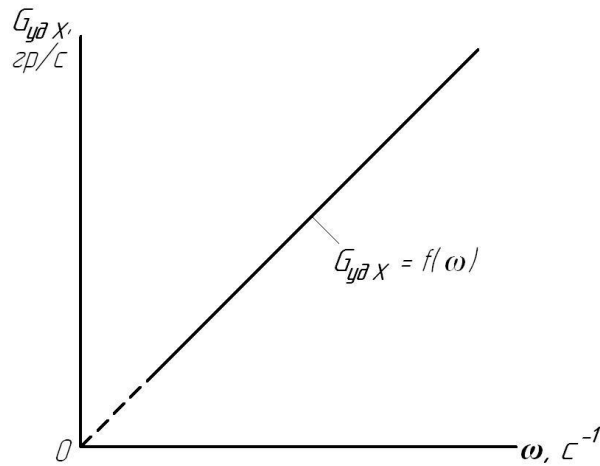


Рисунок 3 - Расход топлива при холостом ходе пилы в зависимости от частоты вращения двигателя  $G_{y\partial X} = f(\omega)$

6. Следует использовать регулируемый ограничитель положения дросселя. При нажатии гашетки до упора ограничителя и одновременном начале процесса пиления автоматически включается счетчик оборотов, секундомер и начинают отсчет расхода топлива.

7. В каждой серии опытов подача (движение пильного аппарата относительно образца) остается неизменной  $\Delta U = const$ , мм/с (см/с). Откуда  $S = H \cdot \Delta U \cdot T$ .

8. Анализ может быть представлен на основе модернизированной стандартной функции  $W_{y\partial} = f(M)$ , где  $M$  текущее значение крутящего момента, а  $M_x$  момент холостого хода на приводном валу двигателя.

$$W_{y\partial} = \frac{1}{C} \left( 1 + \frac{M_x}{M - M_x} \right), \text{ при } \omega = const \quad (13)$$

Модернизация указанной функции заключается в следующем. Поскольку крутящий момент может быть определен как величина работы, совершенной на единицу круговой частоты вращательного движения –

$$M = \frac{N}{\omega} \quad (H \cdot m = Джс), \quad (14)$$

тогда вполне приемлемо для сравнительного энергетического анализа представить  $M$  и  $M_x$  в виде адекватных соотношений

$$M \equiv \frac{G_{y\partial}}{\omega}, \text{ и } M_x \equiv \frac{G_{y\partial X}}{\omega}. \quad (15)$$

На основании указанного допущения принимаем в качестве рабочей формулы зависимость:

$$W_{y\partial} = K \left( 1 + \frac{\frac{G_{y\partial X}}{\omega}}{\frac{G_{y\partial}}{\omega} - \frac{G_{y\partial X}}{\omega}} \right) = K \left( 1 + \frac{G_{y\partial X}}{G_{y\partial} - G_{y\partial X}} \right), \quad (16)$$

при  $\omega = const$

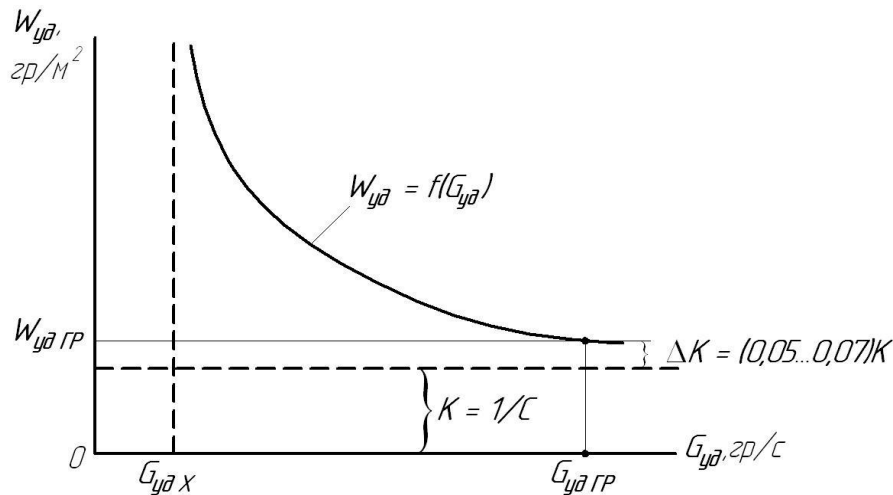


Рисунок 4 - Модернизированная стандартная функция  $W_{yd} = f(M)$

Допустимую погрешность в инженерных расчетах принимают в пределах 5-7%, на основании чего можно установить граничную величину  $G_{yдГР}$ , определяющую нагрузочный режим работы двигателя (при заданной частоте его вращения), при котором удельный расход топлива на единицу площади пиления близок к минимальной величине, равной  $K$ .

9. На основании  $G_{yдГР}$  с учетом заданной частоты  $\omega$  вращения определяются параметры приводного двигателя. Для этого надо располагать внешними характеристиками существующих бензиновых двигателей или задать требования к приводному двигателю на основании существующих прототипов. Очевидно, что максимальный секундный расход приводного двигателя не должен быть меньше граничного значения  $G_{сМАХ} \geq G_{yдГР}$ , при котором обеспечивается нагрузочный режим пиления, соответствующий  $W_{yдГР}$ . Это является главным условием оптимальности двигателя внутреннего сгорания для данного конструктивного вида бензиномоторной пилы.

Определив  $G_{сМАХ}$ , обосновываем мощность и режимные параметры двигателя на основе функциональной зависимости  $N_e = f(G_c)$ , т.к. эффективная мощность при работе ДВС по внешней скоростной характеристике определяется из известного соотношения

$$N_e = G_c H_T \eta_D = M_e \omega, \text{ Вт}, \quad (17)$$

где  $H_T$  - теплотворная способность топлива, Дж/гр;  $\eta_D$  - КПД ДВС;

$M_e$  - эффективный момент двигателя, Н·м.

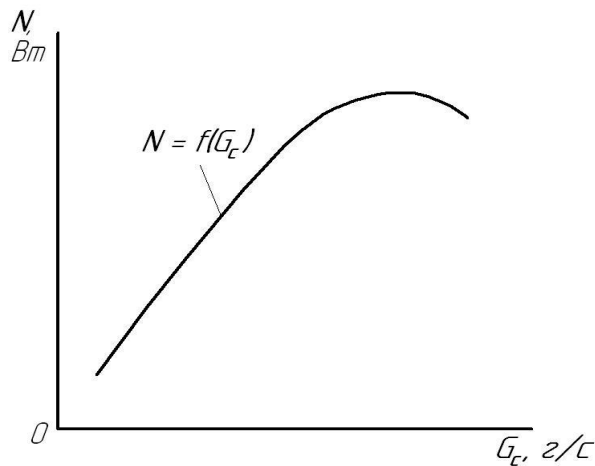


Рисунок 5 - Зависимость эффективной мощности от секундного расхода топлива

Соответственно имеем желаемую внешнюю механическую характеристику двигателя

$$M_e = \frac{G_c H_T \eta_D}{\omega} \quad (18)$$

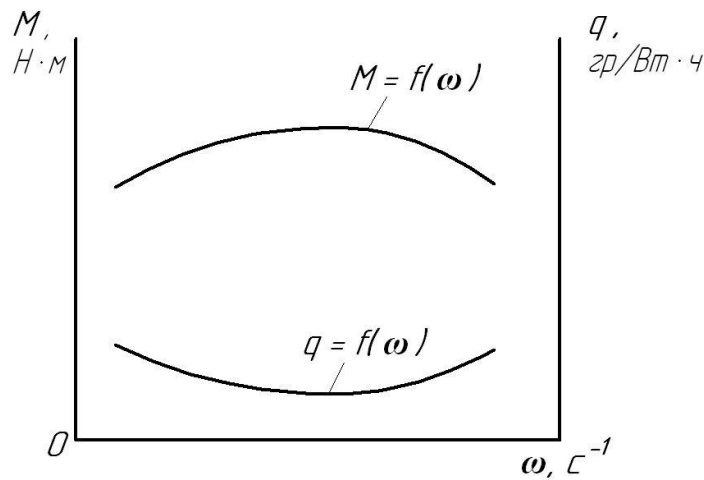


Рисунок 6 - Зависимость эффективного момента и удельного эффективного расхода топлива от частоты вращения двигателя

**В третьей главе** рассмотрены методика и аппаратура экспериментальных исследований. В связи с тем, что в задачи экспериментальных исследований входило определение коэффициента качества рабочего органа бензиномоторной пилы – пильной цепи, и влияния на него характеристик пильной цепи и показателей ее работы, первый этап экспериментальных исследований проводился на базе оборудования научной лаборатории каф.

Технологии лесозаготовительных производств СПбГЛТУ, совместно с сотрудниками СПбГЛТУ - ст. преп. Вернер Н.Н., и асп. Чудновым Ю.Н.

Для проведения экспериментальных исследований использовался «Стенд для сравнительных испытаний пильных цепей», входящий в перечень уникального научного оборудования вузов Санкт-Петербурга, позволяющий измерять и регистрировать основные характеристики процесса работы пиления древесины пильными цепями.

Основными узлами стенда являются (рис. 7) пильный узел (поз. 1), транспортер для подачи образцов (2), измерительно-регистрающая аппаратура (поз. 3). Пильный узел состоит из трех, расположенных параллельно друг другу пильных блоков (4), выполненных на основе пил ЭПЧ-3. Пильные блоки крепятся к площадкам (5) тензозвеньями (6), с помощью которых измеряются усилие резания и подачи. Перемещение пильных узлов по направляющим стойкам (7) производится механизмом, включающим вариатор со встроенным двигателем (8), червячный редуктор (9) и систему передач (10). Это позволяет менять скорость подачи от 0,04 м/с до 0,5 м/с.

Механизм подачи образцов под пильные блоки представляет собой роликовый транспортер, состоящий из двух секций: приводной (11) и не приводной (12). Для удержания образцов во время пиления над приводной секцией рольганга установлена прижимная рамка (12), которая устраняет смещение образца во время пиления.

Измерительно-регистрающая аппаратура состоит из самопишущего ваттметра (13), усилителя (14) с блоком питания. Для тарировки величины резания и усилия отжима используется динамометр.

Управление работой механизмов стенда осуществляется с пульта управления (15). Силовая аппаратура и аппаратура управления размещены в шкафу. Силовой блок пильного узла состоит из преобразователя частоты тока ПЧ-20, мощностью 20 кВт и комплекта пусковых устройств на 5 пил.

На экспериментальном стенде проводятся измерения усилий резания и подачи, а также мощности резания. Блок-схема для измерения усилий резания и подачи включает в себя тензопреобразователи, включенные по мостовой схеме. Тензопреобразователи одного моста наклеены на тензокольцо, воспринимающее усилия резания, а тензопреобразователи второго моста наклеены на тензокольцо, воспринимающее усилия подачи, воспринимающие усилия резания и подачи. Электрический сигнал тензопреобразующих мостов подается на усилитель (поз. 3). Усиленные сигналы подаются на вибраторы осциллографа (поз. 5). Запись усилий резания и подачи производится на фотобумаге. Электропитание усилителя и осциллографа осуществляется от соответствующих блоков питания (поз. 4 и 6).

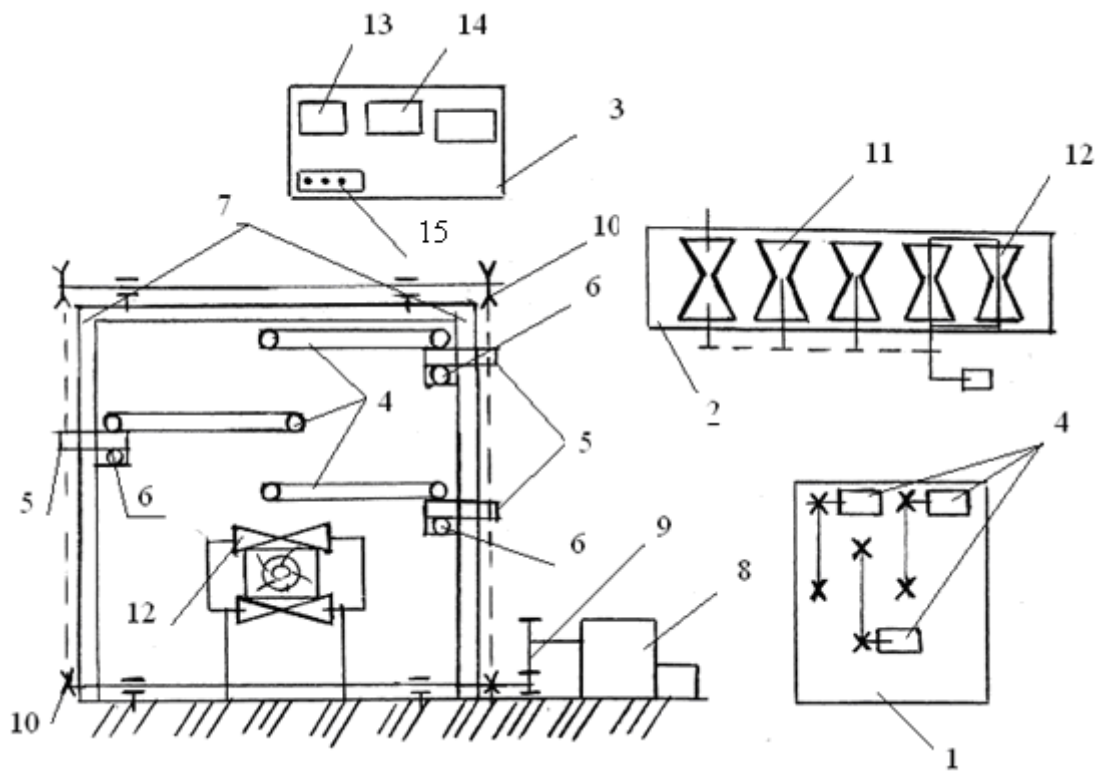


Рисунок 7- Общий вид станда

Мощность резания измерялась с помощью самопишущих ваттметров, подключенных в силовую цепь двигателей пил.

Станд позволяет изменять в широком диапазоне скорости подачи, а, следовательно, и нагрузку на пильные цепи. Измерительная аппаратура позволяет с высокой точностью измерять и регистрировать усилия резания и подачи, мощность резания.

С учетом вышесказанного, для получения достоверных данных сравнительные испытания необходимо проводить в одинаковых технологических условиях. Это особенно важно, когда сравниваемые параметры и характеристики цепей очень близки или мало отличаются друг от друга. При работе бензиномоторной пилой на валке или раскряжевке трудно получить объективные результаты сравнения пильных цепей. Приемы работы пилой, усилия и скорости движения не одинаковы. Пиление однородной древесины невозможно. Кроме того, невозможно создать и измерить строго определенные режимы в процессе испытаний.

Измеряемыми параметрами в процессе сравнительных испытаний являются:  $P_p$  – сила резания, измеряемая на инструменте;  $P_o$  – сила отжима пильной шины древесиной, измеряемая на инструменте;  $N_g$  – мощность, потребляемая электродвигателем из сети. Значения  $P_o$  и  $P_p$  фиксируются на осциллограмме, а мощность  $N_g$  записывается самопишущим ваттметром.

**Результаты исследований.** Результаты эксперимента показали, что при пилении зубья универсальной пильной цепи со строгающими зубьями отклоняются в пропиле от нормального положения в трех перпендикуляр-

ных плоскостях. При этом передние по ходу движения части режущих зубьев, отклоняясь от шины, ухудшают продольную и поперечную устойчивость цепи в пропилах.

В продольной плоскости пропила горизонтальная и вертикальная составляющие силы сопротивления резанию на горизонтальной режущей кромке зуба поворачивают зуб на угол относительно точки контакта ограничителя подачи с дном пропила.

В поперечной плоскости пропила зуб цепи также отклоняется от нормального положения. При пилении острой цепью зуб вертикальным участком режущей кромки врежется в стенку пропила и заглубляется в древесину. Вследствие этого происходит перекося вместе с блоком цепи в поперечной плоскости. При этом боковые поверхности хвостовика цепи взаимодействуют с боковыми поверхностями паза шины, что приводит к затратам энергии на трение хвостовика о шину.

Боковой зажим цепи в пропилах связан с разной степенью затупления режущих кромок зубьев и зазорами в шарнирах цепи. Как показали результаты исследований Н.Н. Вернер, вертикальный участок режущей кромки зубьев затупляется быстрее, чем горизонтальный. Это приводит к тому, что режущая кромка вертикального участка зуба прекращает резание древесины и начинает происходить отжим зуба. В это же время, горизонтальный участок лезвия зуба еще продолжает резание и углубляет дно пропила. Отжим вертикального участка приводит к уменьшению ширины пропила и перекося цепи. Это ведет к боковому зажиму блока цепи в пропилах и увеличению потерь мощности на трение цепи о шину и древесину.

Для повышения энергетического КПД рабочего органа бензиномоторных пил – пильной цепи, необходимо обеспечить ее устойчивость в пропилах, что не представляется возможным при использовании Г-образных строгающих зубьев цепей ПЦУ. Для решения этой задачи предложено оригинальное техническое решение: пильная цепь, содержащая рабочую и крепежную зоны зубья, направляющие и соединительные звенья, отличающаяся тем, что рабочая часть каждого из зубьев цепи выполнена в виде содержащего заднюю стенку П-образного элемента, верхняя и боковые стенки которого заострены с образованием режущих кромок, а крепежная зона зуба выполнена в виде имеющих отверстия под крепежные элементы двух шеек для размещения между ними направляющего и соединительного звеньев (рис. 8).

Анализ показывает, что помимо значительного повышения устойчивости в пропилах, и, следовательно, снижения потерь на трение цепи о шину и древесину, при использовании технологии изготовления цепи Oregon-Power-Sharp, можно обеспечить простую и быструю заточку цепи при помощи устройства, включающего вогнутый П-образный точильный камень, снабженный плоскими точильными щечками для заточки вертикальных

режущих кромок зуба, смонтированными на передвижном блоке с возможностью их сближения с учетом потерь после переточек (рис. 9).

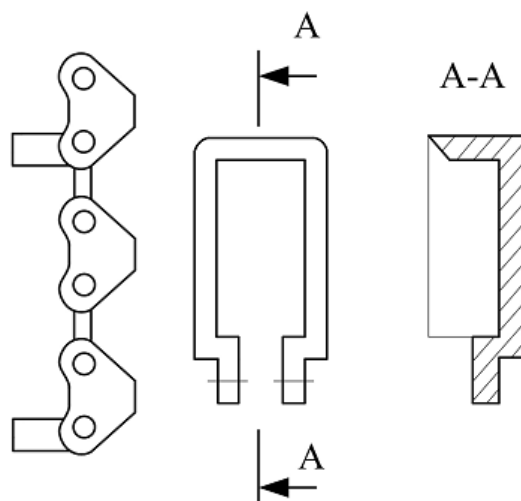


Рисунок 8 - Предлагаемая конструкция пильной цепи повышенной устойчивости

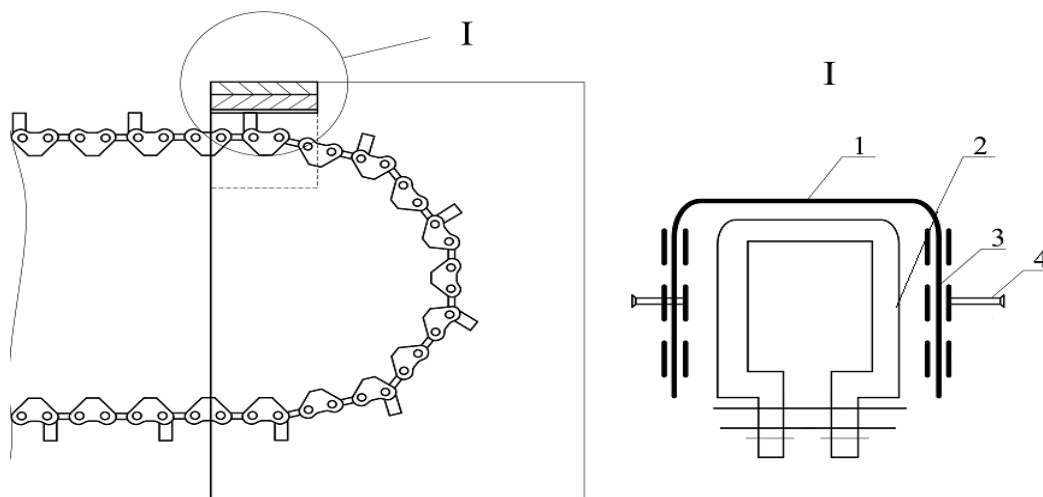


Рисунок 9 - Пильная цепь новой конструкции и устройство для ее быстрой заточки: 1 – заточное устройство; 2 – зуб цепи; 3 – боковые точильные камни; 4 – передвижной блок

**Результаты исследования зависимости показателей пиления от высоты пропила, подачи на зуб и шага цепи.** Были определены средние значения полной мощности, производительности чистого пиления ( $P_{чп}$ ), подачи на зуб, усилия резания и удельной работы пиления при различных значениях усилия подачи и высоты пропила. Рост  $P_{чп}$ , при увеличении усилия подачи, сначала увеличивается до максимального значения, соответствующего высоте пропила 0,2 м, а затем уменьшается. С возрастанием высоты пропила увеличивается число зубьев цепи, одновременно производящих резание, и уменьшается соответствующая определенному усилию



подачи толщина стружки. Результаты данного этапа работы проиллюстрированы на рис. 10-11.

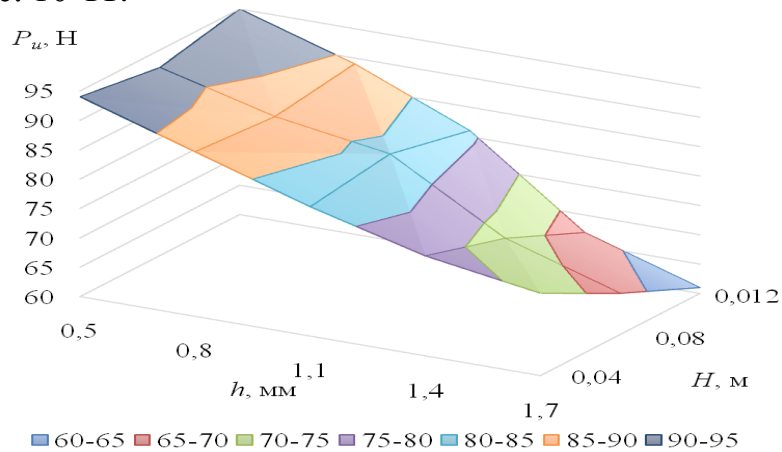


Рисунок 10 - Значение показателей пиления, соответствующие полному использованию мощности бензиномоторной пилы

Были определены средние значения полной мощности,  $P_{\text{чп}}$ , усилия резания, удельной работы пиления и подачи на зуб, в зависимости от усилия подачи, были получены для работы цепи со снижением ограничителей подачи от 0,5 до 1,7 мм и разной высотой пропила. Результаты показали, что с увеличением подачи на зуб, значения мощности и  $P_{\text{чп}}$ , соответствующие любому значению усилия подачи, возрастают.

Затем были определены значения усилия подачи,  $P_{\text{чп}}$  и удельной работы пиления, соответствующие полному использованию мощности двигателя при работе цепи с исследуемыми значениями подачи на зуб. С увеличением подачи на зуб от 0,5 до 1,7 мм усилие подачи, необходимое для реализации мощности двигателя уменьшается на 21-36%. Наибольшая  $P_{\text{чп}}$  при полном использовании мощности получена при работе цепи с подачей на зуб 0,8-1,1 мм, и равна в зависимости от высоты пропила - 0,00619-0,00730 м<sup>2</sup>/с.

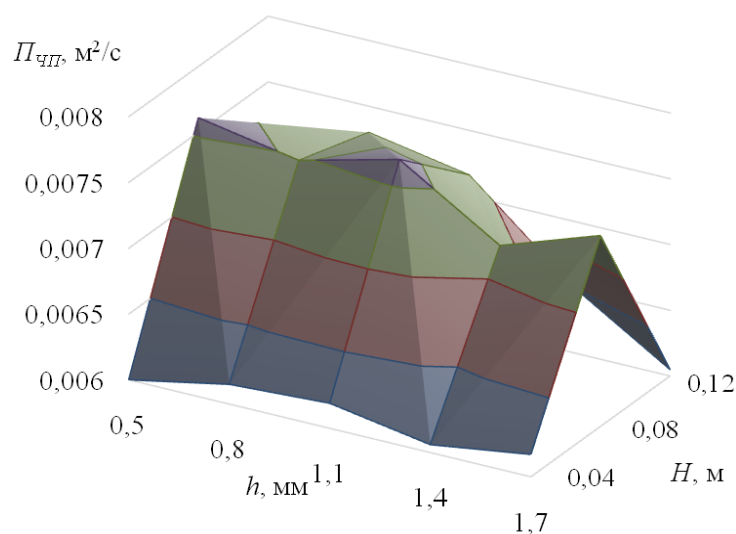


Рисунок 11 - Значение показателей пиления, соответствующие полному использованию мощности бензиномоторной пилы

Были рассчитаны значения подачи на зуб, соответствующие экстремальным значениям  $P_{\text{чп}}$  и удельной работы пиления. Удельная работа пиления имеет минимум при снижении ограничителей подачи равном 1,1-1,4 мм. С целью увеличения  $P_{\text{чп}}$ , уменьшения удельной работы пиления и усилия подачи, подачу на зуб целесообразно иметь в пределах 0,8-1,4 мм.

Была сопоставлена эффективность использования мощности двигателя для достижения максимальной  $P_{\text{чп}}$  при работе пильных цепей с разным шагом по заклепкам, и, соответственно, по зубьям, в одинаковых условиях. В результате можно рекомендовать для пиления со скоростью резания больше 10,0 м/с пильные цепи с шагом не более 10 мм.

С увеличением скорости резания интенсивность прироста мощности и  $P_{\text{чп}}$  возрастает. Большую часть мощности холостого хода пильной цепи составляет мощность трения пильной цепи о шину. Чем меньше шаг цепи, тем больше критическое значение скорости резания, при котором происходит резкий скачек мощности холостого хода. Следовательно, для использования на современных, безредукторных бензиномоторных пилах наиболее оптимальными будут пильные цепи с малым шагом по заклепкам.

### **ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ**

1. Бензиномоторные пилы были и остаются одним из основных механизмов лесосечных работ, используемых на основных работах технологического процесса.

2. Повышение энергетической эффективности лесозаготовительного производства, и, в частности технологического процесса лесосечных работ, является актуальной задачей, и соответствует мерам предпринимаемым правительством в энергетической сфере. В частности закону «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности», а также Федеральной программе 2020.

3. Энергетическую эффективность работы бензиномоторной пилы целесообразно оценивать через коэффициент качества рабочих органов, который для рабочего органа пилы определяет способность пильной цепи конвертировать полезную энергию (мощность) в площадь пропила.

4. Увеличение подачи на зуб пильных цепей до 1,7 мм уменьшает усилие подачи, необходимое для реализации заданной мощности двигателя и способствует повышению производительности чистого пиления. Наилучшие показатели работы пильных цепей достигаются при величине подачи на зуб от 0,8 до 1,4 мм.

5. С увеличением скорости резания мощность холостого хода цепей с меньшим шагом возрастает в меньшей степени, чем у пильных цепей с большим шагом. Кроме того, у цепей с меньшим шагом по заклепкам увеличивается число режущих зубьев одновременно находящихся в пропиле, что способствует более плавному, с меньшими отклонениями от нормаль-

ной траектории, движению зубьев цепи и уменьшению сопротивления подаче.

6. Предлагаемая конструкция универсальной пильной цепи повышенной устойчивости и устройства для ее заточки позволят повысить КПД пильного аппарата пилы, за счет уменьшения потерь на трение цепи о шину и древесину и упрощения процедуры заточки цепи.

7. С увеличением скорости резания повышаются производительность чистого пиления, мощность и удельная работа пиления. Усилие подачи, потребное для реализации заданной мощности и коэффициент полезного действия пильного аппарата (коэффициент качества рабочего органа) при этом снижается.

8. Для получения большей производительности чистого пиления за счет увеличения скорости резания при работе с высотой пропила больше 0,2 м требуются приводные двигатели мощностью более 3,0 кВт, обеспечивающие возможность работы с достаточным усилием подачи.

9. Наиболее перспективным направлением развития исследований является изучение взаимовлияния поправочных коэффициентов на условия пиления. Например, поправка на затупление зубьев пилы дается только по времени работы без заточки, не учитывая при этом материал зубьев и древесный материал, подвергающийся распиловке. Хотя очевидно, что в мороз, и при распиловке твердых пород, зубья будут тупиться быстрее. При этом, практически линейно, будет расти сила отжима пилы, а значит и сила сопротивления перемещению цепи по шине.

#### **ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Александров И.К., Григорьев И.В., Иванов В.А., Елизаров Ю.М., Чуднов Ю.Н. Методика определения топливной экономичности бензиномоторных пил // Вестник КрасГАУ, 2010. № 2, С. 112-118.

2. Григорьев И.В., Иванов В.А., Вернер Н.Н., Елизаров Ю.М., Чуднов Ю.Н. Влияние качества изготовления пильных цепей на энергетическую эффективность процесса пиления // Вестник КрасГАУ, 2011. № 4, С. 140-145.

3. Елизаров Ю.М. Экспериментальные исследования влияния показателей пиления на энергетическую эффективность бензиномоторных пил. // Современные проблемы науки и образования.– 2014. – № 1; URL: [www.science-education.ru/115-12076](http://www.science-education.ru/115-12076)

4. Вернер Н.Н., Елизаров Ю.М., Чуднов Ю.Н. Влияние снижения ограничений подачи зубьев универсальных пильных цепей на показатели процесса пиления // Материалы второй международной научно-практической интернет-конференции "Леса России в XXI веке". 2010, С. 176-180.

5. Вернер Н.Н., Теппоев А.В., Елизаров Ю.М. Влияние высоты пропила на показатели процесса пиления / Межвузовский сборник научных трудов. «Технология и оборудование лесопромышленного комплекса» Выпуск 4. СПб.: ЛТА 2009 г. С. 61-66.

6. Вернер Н.Н., Чуднов Ю.Н., **Елизаров Ю.М.** Влияние параметров пильных цепей на эффективность процесса пиления / Деревянные конструкции-2011: образование, практика, инновации в странах Баренцева Евро-Арктического региона: сборник научных трудов международного научно-образовательного семинара. – Архангельск: Изд-во ООО «Агентство рекламы «РАД»», 2012. С. 24-31.

7. Григорьев И.В., Тамби А.А., **Елизаров Ю.М.**, Чуднов Ю.Н., Куницкая О.А. Пильная цепь для лесозаготовительных машин. Патент на полезную модель № 130895 опубл. 10.08.2013. Бюлл. № 22.

8. Григорьев И.В., Тихонов И.И., **Елизаров Ю.М.**, Вернер Н.Н., Чуднов Ю.Н. Влияние параметров пильных цепей на энергоэффективность процесса пиления // Дерево.ру. 2010. № 3, с. 54-60.

9. **Елизаров Ю.М.** Зависимость мощности пиления от усилия подачи / Межвузовский сборник научных трудов. «Технология и оборудование лесопромышленного комплекса» Выпуск 6. СПб.: ЛТУ 2013 г. С. 94-96.

10. Иванов В.А., **Елизаров Ю.М.** Пути совершенствования конструкции бензиномоторных пил //Материалы первой международной научно-практической интернет-конференции "Леса России в XXI веке".2009.С.185-189.

Подписано к печати 20.01.2016 г. Заказ № 2533. Объем 0,93 п.л. Тираж 100 экз.  
г.Братск, ул. 25-летия БГС,43 «Первая типография» ИНН 380504263022