

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПИЛЕНИЯ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ БЕНЗИНОМОТОРНЫХ ПИЛ

Елизаров Ю.М.

ФГБОУ ВПО «Братский государственный университет», г.Братск (665709, Иркутская обл., г.Братск, ул. Макаренко, д.40)

В ручном лесозаготовительном моторном инструменте и в срезающих устройствах лесозаготовительных машин в качестве режущего элемента наиболее широкое применение нашли пильные цепи. Основными направлениями совершенствования являются повышение их надежности, повышение производительности чистого пиления, и снижение энергоемкости процесса пиления. Большое количество однотипных пильных цепей, вкупе с различными рекомендациями по их эксплуатации, а также различными параметрами приводов пильных цепей приводят к необходимости определения влияния показателей пиления на энергетическую эффективность процесса поперечной распиловки древесины пильными цепями. Для этого был разработан «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. Стенд для сравнительных испытаний пильных цепей показал надежную и точную работу по измерению и регистрации показателей, характеризующих процесс пиления древесины пильными цепями, и рекомендуется для дальнейшего использования при испытаниях пильных цепей. В статье описаны приборное обеспечение, методика и результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: пильные цепи, энергетическая эффективность, поперечное пиление древесины.

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF AGENCY OF PARAMETERS OF SAWING ON POWER EFFICIENCY OF PROCESS OF CROSS-CUTTING OF WOOD CUTTING CIRCUITS

Elizarov J.M.

Bratsk state university (665709, Irkutsk reg., Bratsk city, Makarenko st.40)

In manual industry complex the motor tool and in cutting off devices industry complex machines as a cutting element the widest application have found sawing appreciate. The basic directions of perfection are increase of their reliability, increase of productivity pure, sawing and decrease in power consumption of process sawing A plenty same sawing circuits, together with various recommendations on their operation, and also various parameters of drives sawing circuits necessities of definition of influence of parameters sawing on power efficiency of process of cross-section sawing up of wood sawing circuits lead. For this purpose the Stand has been developed for comparative tests sawing circuits » », entering in the list of the unique scientific equipment of high schools of St.-Petersburg «, allowing to measure and register the basic characteristics of process of job sawing wood sawing circuits. The stand for comparative tests sawing circuits has shown reliable and exact job on measurement and registration of the parameters describing process sawing of wood by circuits, and it is recommended for further use at tests sawing circuits. In clause instrument maintenance, a technique and results of experimental researches are described.

Keywords: cutting circuits, power efficiency, the transverse sawing of wood.

Введение

Повышение энергоемкости производства, в том числе и лесозаготовительного, количества техники, задействованной в производственных процессах, а также постоянный рост цен на энергоносители является серьезным фактором, увеличивающим важность вопроса об экономии энергии и повышении энергетической эффективности. Универсальных способов экономить энергию на данный момент не существует, но разработка методик, технологий и устройств, помогающих вывести энергосбережение на

качественно новый уровень, является приоритетной задачей научно-технического прогресса, в том числе и в лесозаготовительной отрасли.

Цель исследования

Повышение энергетической эффективности использования бензомоторных пил на лесозаготовках путем определения оптимальных режимов нагрузки.

Материалы и методы исследования

В ручном лесозаготовительном моторном инструменте и в срезающих устройствах лесозаготовительных машин в качестве режущего элемента наиболее широкое применение нашли пильные цепи. Ведущие фирмы производители моторных инструментов, лесозаготовительных машин, и пильных цепей постоянно проводят работы по совершенствованию цепных пильных аппаратов. Основными направлениями совершенствования являются повышение их надежности, повышение производительности чистого пиления, и снижение энергоемкости процесса пиления. Большое количество однотипных пильных цепей, совместно с различными рекомендациями по их эксплуатации, а также различными параметрами приводов пильных цепей приводят к необходимости определения влияния показателей пиления на энергетическую эффективность процесса поперечной распиловки древесины пильными цепями. [1]

В теоретических исследованиях физико-механических свойств древесины принято рассматривать ее, как органический материал с ортотропной анизотропией. Для рассмотрения и исследования древесины строятся математические модели различных напряженных состояний древесины под воздействием концентрированных и распределительных нагрузок, в том числе и при резании ее резцом.

В большинстве случаев пригодность использования математических моделей весьма ограничена из-за влияния множества факторов, снижающих их точность. Кривизна годовых слоев и их толщина не постоянны. Распределение слоев по длине ствола, свилеватость волокон, наличие сучков, влажность древесины по длине и поперечному сечению ствола, наличие и распределение смолистых веществ хвойных пород, и другие факторы постоянно меняются. Это затрудняет построение моделей, пригодных для практического использования.

В этих условиях весьма важным становится отыскание и оптимизация путей получения адекватных эмпирических данных о влиянии показателей пиления на энергетическую эффективность процесса поперечной распиловки древесины пильными цепями. Для этого был разработан «Стенд для сравнительных испытаний пильных цепей», позволяющий измерять и регистрировать основные характеристики процесса работы пиления древесины пильными цепями.

Основными узлами стенда (Рис.1) являются пильный узел (поз. 1), транспортер для подачи образцов (поз. 2), измерительно-регистрающая аппаратура (поз. 3).

Пильный узел состоит из трех, расположенных параллельно друг другу пильных блоков (поз. 4), выполненных на основе электропил. Пильные блоки крепятся к площадкам (поз. 5) тензозвеньями (поз. 6), с помощью которых измеряются усилие резания и подачи. Перемещение пильных узлов по направляющим стойкам (поз. 7) производится механизмом, включающим вариатор со встроенным двигателем (поз. 8), червячный редуктор (поз. 9) и систему передач (поз. 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 (поз. 11) и не приводной (поз. 12). Для удержания образцов во время пиления над приводной секцией рольганга установлена прижимная рамка (поз. 12), который устраняет смещение образца во время пиления.

Измерительно-регистрающая аппаратура состоит из самопишущего ваттметра (поз. 13), усилителя 8АНЧ (поз. 14), с блоком питания. Для тарировки величины резания и усилия отжима используется динамометр.

Управление работой механизмов стенда осуществляется с пульта управления (поз. 15). Силовая аппаратура и аппаратура управления размещены в шкафу. Силовой блок пильного узла состоит из преобразователя частоты тока и комплекта пусковых устройств на 3 электропилы.

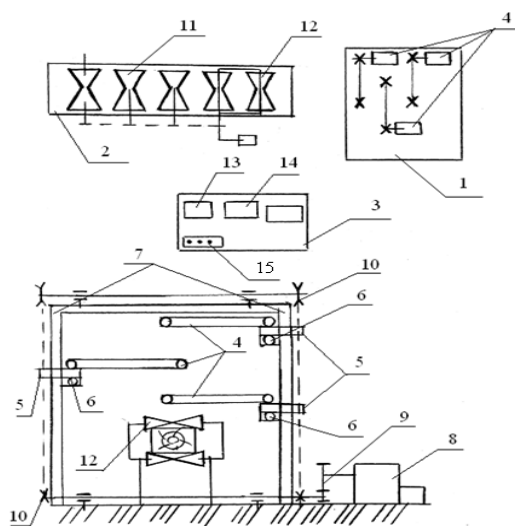


Рис. 1. Общий вид стенда

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. Запись усилий резания и подачи производится на фотобумаге. Электропитание усилителя и осциллографа осуществляется от соответствующих блоков питания. Мощность резания измеряется с помощью самопишущих

ваттметров, подключенных в силовую цепь двигателей электропил.

Пиление однородной древесины невозможно. Кроме того невозможно создать и измерить строго определенные режимы в процессе сравнительных испытаний. Поэтому необходимо проводить пиление пильными цепями одновременно на одном и том же образце так, чтобы в зоне пиления физико-механические свойства древесины были максимально приближены к одинаковым. С этой целью пильные шины с разными цепями располагаются на возможно близком расстоянии 30-50 мм. При этом исключается взаимное влияние формируемых пропилов и самопроизвольное скалывание отпиливаемых торцевых пластин. Кроме того появляется возможность получать большую наработку на цепи при высокой экономии древесины. [5]

Значение удельной работы резания при пилении определяется по формуле:

$$k = \frac{N_p \cdot \eta_p}{b \cdot H \cdot U \cdot \left(1 + \mu_{п.ц} \cdot \frac{P_0}{P_p}\right)} \quad (1)$$

где: k - удельная работа резания, Дж/м³; N_p - мощность пиления, Дж/с; η_p - к.п.д. передачи от двигателя к цепи; b - ширина пропила, м; H - высота пропила, м; U - скорость подачи, м/с; $\mu_{п.ц}$ - коэффициент трения цепи по шине; P_0 - усилие отжима, Н; P_p - усилие резания, Н.

Приняв постоянными η_p , b , U , $\mu_{п.ц}$, оценку основного показателя k можно вычислить, если будет известно H , N_p , P_0 , P_p .

Значение мощности пиления N_p можно определить, измеряя активную мощность N_q привода, т.е. электродвигателя пилы типа ЭПЧ-3 и η_n к.п.д. привода. Тогда значение удельной работы резания k можно вычислить по формуле:

$$k = \frac{N_q \cdot \eta_n \cdot \eta_p}{b \cdot H \cdot U \cdot \left(1 + \mu_{п.ц} \cdot \frac{P_0}{P_p}\right)} \quad (2)$$

где: N_g - мощности электродвигателя, кВт; η_n - к.п.д. привода.

Если подобрать скорость U пилы на образец древесины, так чтобы загрузка электродвигателя была номинальной, то можно считать η_n близким к постоянному. Тогда достаточно измерение трех основных величин N_g - мощности электродвигателя, P_p - усилия резания и P_0 - усилия отжима. Тарировка измерительных каналов проводилась обычными методами при одинаковом креплении пильных аппаратов. Чтобы получить результат сравнения затрачиваемой мощности на пиление, наименьшие показатели одной из пильных цепей принимаются за единицу, а все остальные выражаются в относительных единицах.

В процессе испытаний на экспериментальном стенде происходит штатная распиловка

бревен, а для контрольных замеров распиливаются брусья. [4]

Основным эксплуатационным показателем работы пильных цепей является производительность чистого пиления ($P_{чп}$), повышение которой можно обеспечить путем повышения скорости резания или подачи на зуб, при прочих равных условиях. Более крупнозвенные пильные цепи имеют большее предельное усилие на разрыв, что позволяет увеличивать подачу па зуб, по сравнению с цепями, имеющими меньший размер звеньев. С другой стороны, цепи с меньшим размером звеньев лучше приспособлены к работе на больших скоростях. В этой связи, были экспериментально определены средние значения полной мощности, производительности чистого пиления, подачи па зуб, усилия резания и удельной работы пиления при различных значениях усилия подачи и высоты пропила для пиления цепями ПЦУ-10,26 и ПЦУ-15 со скоростью резания соответственно 7,0 и 6,9 м/с. По полученным показателям работы пильных цепей были рассчитаны коэффициенты линейных уравнений зависимости полной мощности и производительности чистого пиления от усилия подачи.

Экспериментальные данные показали, что часть мощности, независящая от усилия подачи, у пильных цепей ПЦУ-15 больше, чем у пильных цепей ПЦУ-10,26. Мощность холостого хода пильных цепей по шине является частью общей потребной мощности и для пильных цепей ПЦУ-10,26 и ПЦУ-15 соответственно составляет 250 Вт. и 300 Вт.

С возрастанием высоты пропила увеличивается число режущих, зубьев цепи, одновременно снимающих стружку, и уменьшается соответствующая определенному усилию подачи толщина стружки. Опыты показали, что усилие резания при изменении высоты пропила остается постоянным и для каждой пильной цепи определяется только усилием подачи. Максимальные $P_{р\ макс}$ и средние $P_{р\ ср}$ значения усилия резания в зависимости от усилия подачи приведены в табл. 1. [4]

Таблица 1

Максимальные $P_{р\ макс}$ и средние $P_{р\ ср}$ усилия резания при работе исследуемых пильных цепей

Марка пильной цепи	$P_r, Н$	Усилие подачи $P_u, Н$					
		25	50	75	100	125	150
ПЦУ-10,26	$P_{р\ макс}$	100	150	250	300	400	450
	$P_{р\ ср}$	200	250	350	400	500	550
ПЦУ-15	$P_{р\ макс}$	100	200	250	350	400	500
	$P_{р\ ср}$	200	300	350	450	500	600

Данные табл. 1 показывают близкий к пропорциональному рост среднего усилия резания с увеличением усилия подачи при работе универсальных пильных цепей. Так же незначительно с изменением высоты пропила изменяется мощность, соответствующая определенному усилию подачи, что даст основание считать ее постоянной и равной

среднему значению $N_{ср.}$. Средние значения мощности $N_{ср.}$, соответствующие разным усилиям подачи, основные ошибки этих $\sigma_{\bar{x}}$ - величин и показатели точности E приведены в табл. 2.

Таблица 2

Среднее значение мощности $N_{ср.}$, кВт, основные ошибки $\sigma_{\bar{x}}$ этих величин, кВт, и показатели точности ε , % этих величин

Марка пильной цепи	Показатели	Усилие подачи P_u , Н						
		25	50	75	100	125	150	175
ПЦУ-10,26	$N_{ср.}$	750	1100	1440	1810	2130	2500	2860
	$\sigma_{\bar{x}}$	13,4	17,0	27,5	15,0	23,5	32,3	26,6
	E	1,8	1,5	1,9	0,8	1,1	1,3	0,9
ПЦУ-15	$N_{ср.}$	960	1310	1660	2015	2320	2660	-
	$\sigma_{\bar{x}}$	18	15,1	34,0	36,2	42,0	38,0	-
	E	1,9	1,1	2,1	1,8	1,8	1,4	-

Расчет показал, что удельная работа пиления при высоте пропила меньше 0,12 м у пильной цепи ПЦУ-15 значительно выше, чем у пильной цепи ПЦУ-10,26. С другой стороны при пилении с высотой пропила больше 0,2 м удельная работа пиления цепью ПЦУ-15 меньше, чем у пильной цепи ПЦУ-10,26.

При выполнении следующей серии опытов средние значения полной мощности, производительности чистого пиления, усилия резания, удельной работы пиления подачи на режущий зуб в зависимости от усилия подачи были получены для работы пильных цепей ПЦУ-10,26 и ПЦУ-15 со снижением ограничителей подачи от 0,5 до 1,7 мм и высотой пропила 0,04, 0,08, 0,12 м. С целью определения оптимальных значений снижения ограничителей подачи для пильных цепей на лесосеках с различными диаметрами деревьев, по полученным данным вычислены коэффициенты корреляционных уравнений зависимости полной мощности и производительности чистого пиления от усилия подачи. Расчеты показывают, что с увеличением снижения ограничителей подачи, в исследуемых пределах значения мощности и производительности чистого пиления, соответствующие любому значению усилия подачи, возрастают.

С помощью известных формул, используя коэффициенты корреляционных уравнений, вычислены значения усилия подачи, производительности чистого пиления и удельной работы пиления, соответствующие полному использованию мощности двигателя 2,0 кВт при работе пильных пней ПЦУ-10,26 и ПЦУ-15 с исследуемыми значениями снижения ограничителей подачи. При расчете удельной работы пиления мощности холостого хода пильных цепей по шине принималось равной: для пильной цепи ПЦУ-10,26-250 Вт, для пильной цепи ПЦУ-15- 370 Вт. Полученные показатели представлены в табл. 4.

Таблица 4

Значение показателей пиления, соответствующие полному использованию мощности 2 кВт для работы пильных цепей ПЦУ-10,26 и ПЦУ-15

Высота пропила, Н, м	Снижение ограничителя, h, мм	Марка пильной цепи:					
		ПЦУ-10,26			ПЦУ-15		
		P_u, H	$P_{ч.п.}, \frac{м^2}{с}$	$K_{п.}, \frac{кДж}{м^2}$	P_u, H	$P_{ч.п.}, \frac{м^2}{с}$	$K_{п.}, \frac{кДж}{м^2}$
0,04	0,5	94	0,0060	292	78	0,00515	316
	0,8	88	0,00615	285	74	0,00525	309
	1,1	82	0,00619	283	62	0,00500	325
	1,4	77	0,00606	288	49	0,00470	345
	1,7	74	0,00617	283	43	0,00458	354
0,08	0,5	92	0,00761	230	76	0,00660	248
	0,8	87	0,00747	234	66	0,00641	253
	1,1	84	0,00766	228	63	0,00646	252
	1,4	73	0,00719	243	59	0,00648	250
	1,7	67	0,00745	235	48	0,00657	247
0,12	0,5	95	0,00683	256	70	0,00523	310
	0,8	89	0,00730	240	63	0,00584	278
	1,1	81	0,00716	245	61	0,00596	272
	1,4	67	0,00652	269	55	0,00650	250
	1,7	61	0,00605	290	47	0,00614	264

Данные табл. 4 показывают, что с увеличением снижения ограничителей подачи режущих зубьев пильных цепей от 0,5 до 1,7 мм усилие подачи, необходимое для реализации мощности двигателя 2 кВт уменьшается при работе пильной цепи ПЦУ-10,26 на 21-36%, а при работе цепи ПЦУ-15 на 33-45%. Наибольшая производительность чистого пиления при полном использовании мощности 2 кВт получена при работе исследуемых пильных цепей со снижением ограничителей подачи 0,8-1,1 мм и равна в зависимости от высоты пропила для пильной цепи ПЦУ-10,26 -0,00619-0,00730 м²/с, а для пильной цепи ПЦУ-15 -0,00525-0,00657 м²/с,. Удельная работа пиления цепями ПЦУ-10,26 была меньше, чем для пильных цепей ПЦУ-15.

Анализ изменения максимального усилия резания при работе пильных цепей ПЦУ-10,26 со снижением ограничителей подачи от 0,5 до 1,7 мм показывает, что с увеличением снижения ограничителей подачи усилие резания возрастает. Наибольший прирост усилия резания соответствует меньшим значениям усилия подачи и высоты пропила. В этом случае самозатягивание пильного аппарата, вызванное реакцией снимаемой горизонтальной режущей кромкой зуба стружки, соизмеримо с усилием подачи.

Сопоставление роста усилия резания и мощности пиления при увеличении снижения ограничителей подачи показывает, что мощность возрастает более интенсивно, вследствие

увеличения мощности сил трения пильной цепи о шину при повороте режущих зубьев в продольной плоскости.

Таким образом, с целью увеличения производительности чистого пиления и уменьшения удельной работы пиления и усилия подачи высоту снижения ограничительных упоров режущих зубьев пильных цепей целесообразно иметь в пределах от 0,8 до 1,4 мм. При этом меньшее снижение ограничителей подачи соответствует пилению с малой высотой пропила 0,12-0,2 м.[3]

Наибольшая производительность чистого пиления в случае работы пильной цепи ПЦУ-10,26 и наименьшая удельная работа пиления при этом объясняется тем, что мощность холостого хода этой пильной цепи меньше, а наличие в пропилах большего числа режущих зубьев обеспечивает более плавную работу и меньшее отклонение этих зубьев в поперечном направлении.

Аналогичными построениями нетрудно определить целесообразность использования пильных цепей для реализации любой задаваемой мощности в пределах от 1,0 до 3,0 кВт. Проведенное сравнение показателей работы пильных цепей дает основание рекомендовать для пиления со скоростью резания больше 10,0 м/с пильную цепь ПЦУ-10,26.

Результаты расчетов показывают, что с увеличением скорости резания интенсивность прироста мощности и производительности чистого пиления возрастает. Большую часть мощности трения пильной цепи о шину составляет мощность холостого хода пильной цепи. Этот показатель с увеличением скорости движения цепи возрастает сначала незначительно, а затем - ощутимо. Резкое увеличение мощности холостого хода пильной цепи ПЦУ-10,26 происходит при увеличении скорости резания больше 14,0 м/с, а пильной цепи ПЦУ-15 при увеличении скорости движения цепи больше 10,3 м/с

Используя значения коэффициентов корреляционных уравнений и мощности холостого хода пильных цепей по шине, были рассчитаны усилия подачи, производительности чистого пиления. Удельная работа пиления и коэффициенты полезного действия пильных аппаратов в зависимости от скорости резания при полном использовании мощности двигателя величиной 1,6; 2,0; и 2,4 кВт.

При работе исследуемых пильных цепей с высотой пропила 0,04 м производительность чистого пиления соответствующая полному использованию мощности свыше 2 кВт с повышением скорости резания возрастает, достигая максимального значения при скорости резания 14,0 м/с, а затем снижается. При пилении с высотой пропила 0,12 м и 0,2 м с увеличением скорости резания и соответствующим уменьшением усилия подачи удельная работа пиления возрастает, а производительность чистого пиления снижается. Интенсивность уменьшения производительности чистого пиления при этом возрастает с

увеличением высоты пропила. Это показывает, что для повышения производительности чистого пиления за счет увеличения скорости резания при пилении с высотой пропила больше 0,12 м требуются приводные двигатели мощностью более 3 кВт, обеспечивающие возможность работы с достаточным усилием подачи.[4]

Таким образом, проведенные исследования показали целесообразность использования пыльного аппарата с цепью ПЦУ-10,26 со снижением ограничителей подачи 0,8-1,4 мм. Оптимальные режимы работы этой пыльной цепи в зависимости от мощности приводного двигателя и показатели пиления, соответствующие им приведены в табл. 5.

Таблица 5

Показатели рекомендуемых режимов работы пыльной цепи ПЦУ-10,26

$N_{дв.}, \text{кВт}$	$V, \text{м/с}$	Показатели пиления при высоте пропила, м:						
		Н	0,04			0,12		
			$P_u, \text{Н}$	$P_{ч.п.}, \text{м}^2/\text{с}$	$K_n, \text{кДж/м}^2$	$P_u, \text{Н}$	$P_{ч.п.}, \text{м}^2/\text{с}$	$K_n, \text{кДж/м}^2$
1,2	7,0	0,73	57	0,0041	236	54	0,0043	215
1,6	10,5	0,77	63	0,0051	272	56	0,0053	245
2,0	14,0	0,77	57	0,0062	276	53	0,0066	260
2,4	14,0	0,79	70	0,0075	280	66	0,0083	255

Выводы:

1. Пиление с высотой пропила меньше 0,12 м характеризуется возрастанием удельной работой пиления при увеличении усилия подачи. Наибольший рост удельной работы пиления будет при работе с меньшими высотами пропила пыльными цепями с большим шагом режущих зубьев.
2. Увеличение снижения ограничителей подачи режущих зубьев пыльных цепей до 1,7 мм уменьшает усилие подачи, необходимое для реализации заданной мощности двигателя и способствует повышению производительности чистого пиления. Наилучшие показатели работы пыльных цепей достигаются при снижении ограничителей подачи от 0,8 до 1,4 мм. При этом меньшее значение снижения ограничителей подачи выгоднее применять для пиления с меньшей высотой пропила (0,04-0,08 м).
3. Лучшие показатели работы обеспечивает пыльная цепь ПЦУ-10,26. С увеличением скорости резания мощность холостого хода этой цепи возрастает в меньшей степени, чем у пыльных цепей с большим шагом по осям заклепок.

4. 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 при этом снижается.
5. Наилучшие показатели пиления при работе пильной цепи ПЦУ-10,26 в случае использования мощности двигателя больше 2,0 кВт достигаются при скорости резания, 14,0 м/с.
6. Для получения большей производительности чистого пиления за счет увеличения скорости резания при работе с высотой пропила больше 0,12 м требуются приводные двигатели мощностью более 3,0 кВт, обеспечивающие возможность работы с достаточным усилием подачи.

Список литературы

1. Александров И.К., Григорьев И.В., Жукова Л.И. Оперативный метод оценки энергоэффективности машин и оборудования лесопромышленного комплекса//Материалы третьей международной научно-практической интернет-конференции "Леса России в XXI веке". 2010. С. 229-235.
2. Александров И.К., Григорьев И.В., Иванов В.А., Елизаров Ю.М., Чуднов К.И. Методика определения топливной экономичности бензиномоторных пил // Вестник КрасГАУ. 2010. № 2, С. 112-118.
3. Григорьев И.В., Тихонов И.И., Вернер Н.Н., Ильюшенко Д.А. Экспериментальные исследования показателей надежности пильных цепей // «Технология и оборудование лесопромышленного комплекса» Межвузовский сборник научных трудов. Выпуск 2. СПб.: ЛТА 2008 г. С. 18-35.
4. Григорьев И.В., Иванов В.А., Вернер Н.Н., Елизаров Ю.М., Чуднов Ю.А. Влияние качества изготовления пильных цепей на энергетическую эффективность процесса пиления//Вестник КрасГАУ. 2011. № 4, С. 140-145.
5. Тихонов И.И., Григорьев И.В., Вернер Н.Н. Стенд для сравнительных испытаний пильных цепей. Патент на полезную модель № 74337 опубл. 27.06.2008 Бюлл. № 18

Рецензенты:

Иванов В.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Воспроизводство и переработка лесных ресурсов», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Братский государственный университет» г.Братск.

Мамаев Л.А., д.т.н., профессор, проректор по учебной работе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Братский государственный университет», г.Братск.