

## ВЛИЯНИЕ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА КАЧЕСТВО КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ\*

А.А.Селиверстов<sup>1</sup>, А.П. Соколов<sup>1</sup>, В.С. Сюнёв<sup>1</sup>, Ю.Ю. Герасимов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Петрозаводский государственный университет, пр. Ленина 33, Петрозаводск, Россия. E-mail: alexander@petsu.ru; a\_sokolov@petsu.ru; siounev@petsu.ru.

<sup>2</sup>НИИ леса Финляндии, П.Я. 68, Йоэнсуу, Финляндия. E-mail: yuri.gerasimov@metla.fi.

Статья поступила 01.12.2011, принята 20.12.2012, опубликована 28.12.2012

Выявлены основные причины повреждения древесины, вызываемых применяемыми в России лесозаготовительными системами, с целью уменьшения потерь качества. В общем объемные потери древесины (выраженные как доля брака от общего среднего объема деловой древесины в год) составили в зависимости от лесозаготовительного метода: 1,8% для механизированного сортиментного (ЧМ СМ); 2,3% для механизированного сортиментного (ПМ СМ); 5,0% для хлыстового (ЧМ ХМ); 4,2% для для механизированного деревьями (ЧМ ЗД); и 3,3 для механизированного деревьями (ПМ ЗД). В общем, средние потери объемов деловой древесины в изученных компаниях составили 3,6% или 67 000 м<sup>3</sup>/г. В зависимости от применяемых заготовительных систем потери стоимости достигали: 0,51 €/м<sup>3</sup> для ЧМ СМ; 0,65 €/м<sup>3</sup> для ПМ СМ; 1,38 €/м<sup>3</sup> для ЧМ ХМ; 1,04 €/м<sup>3</sup> для ЧМ ЗД и 0,86 €/м<sup>3</sup> для ПМ ЗД. Общая средняя потеря стоимости древесины в изученных компаниях составила 0,98 €/м<sup>3</sup> или € 1,8 млн евро в год. Анализ полученных результатов показывает, что сортиментный метод может обеспечить самое высокое качество заготавливаемой древесины (доля брака меньше 3% от объема исследованных сортиментов) во всех рассмотренных компаниях и для разных породных составов. Заготовка деревьями продемонстрировала приемлемое качество древесины (доля брака около 3-5%). Качество древесины, получаемой при использовании хлыстового метода, было низким (доля брака больше 6%), особенно летом (доля брака до 10%). Однозначно для снижения потерь деловой древесины необходимо улучшить лесозаготовительные операции даже в рамках тех же лесозаготовительных систем. Операторы и вальщики должны уделять больше внимания качеству, а не только одним объемам. Это может быть достигнуто введением соответствующих систем оплаты труда и лесозаготовительных инструкций, стимулирующих заготовку ценной древесины без повреждений. Влияние сезонности работ тоже может быть принято во внимание (доля брака выше зимой для ЧМ СМ и летом для ЧМ ХМ и ЧМ ЗД). Была сделана приблизительная оценка возможного снижения брака по сравнению с установившимися лесозаготовительными системами. Доля брака может быть снижена на 20% для ЧМ СМ и на 25% для ПМ ЗД, если будут устранены недостатки, присущие этим методам. Также следует отметить, что оптимизация раскряжевки для ПМ СМ сможет повысить выход деловой древесины. Улучшения лесозаготовительных систем для ЧМ СМ смогут снизить долю брака на 15%. Для ЧМ ХМ и ЧМ ЗД снижение количества поврежденных сортиментов может достигать 20% и 15% соответственно. Потери объемов деловой древесины в изученных компаниях могут казаться незначительными, особенно когда берется во внимание отсутствие разницы между ПМ СМ и ЧМ СМ. Однако, переход от традиционного ЧМ ХМ к СМ снижает потери, в среднем, на 0,8 €/м<sup>3</sup> или 100 000 €/г для средней лесозаготовительной системы. Принимая во внимание начальную стоимость машин для СМ (форвардер стоит около 200 000 €, харвестер больше 300 000 €), переход от ЧМ ХМ и ЧМ ЗД к ПМ СМ может быть оправдан в долгосрочной перспективе, но переход к ЧМ СМ может быть целесообразным в среднесрочном периоде времени.

*Ключевые слова:* сортиментный метод, хлыстовой метод, заготовка деревьями, пиловочник, баланс

## IMPACT OF WOOD HARVESTING SYSTEMS ON ROUND WOOD QUALITY

A.A.Seliverstov<sup>1</sup>, A.P. Sokolov<sup>1</sup>, V.S. Syunev<sup>1</sup>, Y.Y. Gerasimov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Petrozavodsk State University, Lenin av. 33, Petrozavodsk, Russia. E-mail: alexander@petsu.ru; a\_sokolov@petsu.ru; siounev@petsu.ru.

<sup>2</sup>Finnish Forest Research Institute, P.O. Box 68, Joensuu, Finland. E-mail: yuri.gerasimov@metla.fi.

Received: 1 December 2012 / Accepted: 20 December 2012 / Published: 28 December 2012

The increase in the use of mechanised harvesting systems has led to log damage, including butt pull, log splitting during handling, and the bucking and crushing of the log. Damage to a harvested log can occur during the felling, delimiting,

\* В статье представлены результаты исследования, опубликованного ранее в отчете по международному проекту «Лесозаготовки и логистика» [1].

bucking, skidding or forwarding, piling, loading, and hauling functions of wood harvesting. The world's best harvesting operations using modern CTL machinery – many of them in Nordic countries – are currently losing 4–5% of wood value at harvest. However, wood harvesting operations in many countries, such as Russia, using a number of different harvesting systems, such as the motor-manual full-tree system (MM FT), fully mechanised FT system (FM FT), MM CTL system, FM CTL system, and MM TL system, have shown losses of 11–18% of the wood value at harvest. Certainly, the influence of wood quality on the value of industrial roundwood (IRW) cannot be ignored when comparing different technologies. This is determined by evaluating it in accordance with the quality specifications in the customer contracts as well as other quality requirements. To remain competitive, logging companies should also minimise wood loss at the time of harvest by using more advanced harvesting technologies. One of the major opportunities of this study was to identify damage to IRW arising from applied harvesting systems in Russia in order to minimise this damage loss. The following volume losses of IRW (in terms of the reject rate as a percentage of total IRW on average per year) were found by the harvesting system: 1.8% in MM CTL; 2.3% in FT CTL; 5.0% in MM TL; 4.2% in MM FT; and 3.3% in FM FT. The total average volume loss of IRW in the studied companies was 3.6% or around 67,000 m<sup>3</sup> of IRW per year. The following value losses of IRW (in terms of value loss per unit volume of IRW) were found by the harvesting system: 0.51 €/m<sup>3</sup> in MM CTL; 0.65 €/m<sup>3</sup> in FT CTL; 1.38 €/m<sup>3</sup> in MM TL; 1.04 €/m<sup>3</sup> in MM FT; and 0.86 €/m<sup>3</sup> in FM FT. The total average value loss of IRW in the studied companies was 0.98 per €/m<sup>3</sup> of IRW or around 1.8 million €/year. The presented analysis indicates that CTL harvesting can ensure the highest quality of harvested wood (reject rate below 3% of observed logs) in all studied companies, with different species compositions. The FT harvesting systems demonstrated acceptable IRW quality (reject rate about 3–5%). The quality of wood in TL harvesting was low (reject rate over 6%), particularly in summer (reject rate up to 10%). Certainly, an improvement in harvesting operations is needed for a reduction in IRW losses – even in the same harvest system. Loggers (operators and lumberjacks) need to pay more attention to value rather than volume alone, which could be accomplished by the development of a payment system and harvesting instructions for utilising the forest resources better by not damaging valuable logs. The reject rate is higher for the MM CTL system in winter and for the MM TL and MM FT systems in summer, indicating that seasonality should be taken into account. The potential reduction in the rejection rate was roughly estimated from the best practices in the studied logging companies and common practices. If all the discovered shortcomings typical of FM CTL and FM FT harvesting were eliminated, it should be possible to decrease the reject rates by approximately 20% and 25%, respectively. It should be noted that the bucking optimisation of the FM CTL harvesting system allows for an increase in the amount of received IRW assortments. Improvements made to the MM CTL system would enable the reject rate to be reduced by approximately 15%. In the MM TL and MM FT systems, the potential reductions in the amount of damaged logs could reach 20% and 15%, respectively. IRW damage in terms of value loss per unit of volume in the studied companies may not seem important. This is especially true when looking at the small differences between the FM CTL and MM CTL systems. However, the switch from the traditional MM TL system to CTL provides an average saving of 0.8 €/m<sup>3</sup> of industrial wood, or around 100,000 € per year for an average sized logging company. With an initial investment in CTL machines of several hundred thousand Euros (a forwarder costs over 200,000 €, a harvester over 300,000 €), the switch from MM TL and FT systems to an FM CTL system might be worthwhile in the long-term, but the switch to an MM CTL system might be justified in the medium term.

*Keywords:* cut-to-length method; tree-length method; full-tree method; sawlog; pulpwood

## Введение

Использование механизированных систем машин (ПМ) для заготовки круглых лесоматериалов (далее древесины) увеличивается по всему миру. Интенсификация применения механизированных систем привела к проблемам повреждения древесины. Лесоматериалы могут повреждаться в процессе валки, обрезки сучьев, раскряжевки, трелевки или вывозки форвардерами, складирования, погрузки и транспортировки.

В соответствии с результатами, полученными Marshall *et al.* [2], в среднем при механизированной заготовке теряется 18% потенциальной стоимости против 11% при механизированной (ЧМ) валке. Однако, как было показано [3,4], в некоторых механизированных лесозаготовительных операциях повреждаемость круглых лесоматериалов была снижена в результате механизации обработки. Помимо всего прочего, была отмечена повреждаемость при заготовке древесины хлыстами и деревьями [5,6].

В приведенных выше работах исследовались механизированные системы для хлыстового метода (ХМ) с применением бензомоторных пил и трелевочных тракторов и системы для заготовки деревьями (ЗД) с помощью валочно-пакетирующих машин и трелевочных тракторов. Потери качества по объему составили 6,1% и 1,1%, а потери стоимости были 6,0 и 1,5 долларов США на м<sup>3</sup> для ЧМ ХМ и ПМ ЗД соответственно. Большая часть потерь качества приходилось на операцию валки при использовании ЧМ ХМ.

В странах северной Европы для лесозаготовительных операций, выполняемых, в основном, по механизированному сортиментному методу (СМ), величина потерь составляет 4-

5% от стоимости заготавливаемой древесины [7]. Однако, лесозаготовительные операции во многих странах, таких как Россия, проводятся с использованием нескольких различных лесозаготовительных систем, включая ЧМ ЗД, ПМ ЗД, ЧМ СМ, ПМ СМ и ЧМ ХМ, в которых потери достигают 11-18% от стоимости заготавливаемой древесины [2]. Очевидно, что при сравнении разных заготовительных систем влияние качества на стоимость древесины не может игнорироваться. Это предопределено необходимостью сравнения качества древесины со спецификациями по качеству, указанными в контрактах, заключенных с потребителями древесины, а также с другими требованиями к качеству. Для того, чтобы оставаться конкурентоспособными, лесозаготовительные компании должны минимизировать потери древесины во время заготовки, например, используя более совершенную лесозаготовительную технологию. Главной целью этого исследования было выявить основные причины повреждения древесины, вызываемые применяемыми в России лесозаготовительными системами, с тем, чтобы уменьшить потери качества.

## Данные и методы

В качестве опытного региона была выбрана Республика Карелия, так как ее территория является хорошим примером применения широкого набора лесозаготовительных методов, систем и оборудования. Кроме того, почти все лесозаготовительные технологии применяются в условиях, типичных для Северо-Запада России.

Исследование было проведено в 2007-2009 годах и охватило 15 лесозаготовительных компаний [8], которые производили около 35% от всего объема заготовленных круглых лесоматериалов в Карелии (2,2 миллиона м<sup>3</sup>/год). Выбранные компании вели рубку леса по всей территории Карелии, применяя в различных условиях ЧМ СМ, ПМ СМ, ЧМ ЗД, ПМ ЗД и ЧМ ХМ с использованием как российской, так и иностранной техники [9].

Участки леса, отведенные под заготовку, ранее не подвергались рубкам ухода. Лесосеки были представлены разновозрастными смешанными древостоями. Породный состав включал ель (31% в среднем), сосну (35%), березу (28%) и осину (6%). Средний объем ствола на лесосеках был от 0,13 до 0,64 м<sup>3</sup> (среднее значение 0,29 м<sup>3</sup>). Средний запас насаждения был 150 м<sup>3</sup>/га, количество деревьев 520 шт./га. Типичные почвы включали пылеватые суглинки, суглинки и супеси. Лесосеки располагались в равнинной местности.

В соответствии с выбранной методологией необходимо было исследовать 300 сортиментов для каждой породы и каждого типа сортиментов отдельно для зимнего и летнего лесосечных сезонов. Всего было осмотрено 23 400 сортиментов на 17 лесосеках, включая 7 зимних и 10 летних лесосек.

Оценка повреждений древесины делалась на основе нескольких показателей, которые определялись соответствующими национальными стандартами и требованиями к качеству из контрактов, заключенных с потребителями древесины [10-13]:

- Механические повреждения, появляющиеся при трелевке, сортировке, складировании и транспортировке древесины, включая вырыв, задиры, обдир коры, запил (повреждения от бензопилы, троса пачкового захвата трелевочного трактора, грейферного захвата форвардера и другими инструментами и механизмами).
- Дефекты обработки, включая сучья (не полностью срезанные сучья) и дефекты, вызванные механическими повреждениями при неправильной валке дерева и последующей раскряжевки его на сортименты, а именно: сколы, отщепы, трещины, козырьки и скосы пропила.
- Загрязнение почвой.
- Отклонения размеров сортиментов, включая припуски по длине, а также допустимые максимальный диаметр в комлевом торце и минимальное значение диаметра в верхнем торце сортиментов.

Для определения процента бракованных сортиментов полученные результаты были сравнены с действующими в данной лесозаготовительной компании требованиями к качеству

заготавливаемых сортиментов. Полученные оценки всех замеренных параметров были объединены в один показатель, так называемый процент брака.

Требования к качеству различных древесных пород, сортов и назначения (пиловочник, баланс и т.д.) были взяты из технических требований (спецификаций), внесенных в контракт между лесозаготовительной компанией и покупателем древесины.

В Таблицах 1 и 2 приводятся требования к качеству осмотренных сортиментов различных пород и назначения.

**Таблица 1. Требования к качеству измеренных пиловочников и фанерного кряжа для внутреннего и экспортного рынков.**

Вид брака	Пиловочник				Березовый фанерный кряж
	Сосна		Ель		
	Экспорт	Внутренний	Экспорт	Внутренний	
1. Механические повреждения	ТУ 13-2-12-96 Не допускается*	ГОСТ 9463-88	ТУ 13-2-12-96 96 Не допускается*	ГОСТ 9463-88	ТУ 13-2-8-96
2. Дефекты обработки					
Сучья	ТУ 13-2-12-96 $l < 10/20$ мм* $d < 50/60$ мм*	ГОСТ 9463-88	ТУ 13-2-12-96 $l < 10$ мм* $d < 50$ мм*	ГОСТ 9463-88	ТУ 13-2-8-96
Скол, отщеп, трещина	Не допускается*	ГОСТ 9463-88	Не допускается*	ГОСТ 9463-88	ТУ 13-2-8-96
Козырек	Не допускается*	Не допускается*	Не допускается*	Не допускается*	Не допускается*
Скос пропила	Не допускается*	ГОСТ 9463-88	Не допускается*	ГОСТ 9463-88	ТУ 13-2-8-96
3. Загрязнение почвой	Не допускается*	Не допускается*	Не допускается*	Не допускается*	Не допускается*
4. Несоответствие размерам					
Длина, м (припуск, см)	4,9; 5,5 (0 / +6) 4,0 (0 / +6) 4,3; 4,6; 6,1 (+5 / +8)	5,0; 5,5; 6,0; 6,1 (0 / +10) 6,1; 4,0; 3,1 (+3 / +5) добавочный 4,0; 4,3 (+3 / +10)	5,5 (+3 / +6) 5,5 (0 / +6) 4,05 (0 / +6)	5,0; 5,5; 6,0; 6,1 (0 / +10) добавочный 4,0; 4,3; 5,2 (+3 / +10)	3,3; 6,0 (0 / +10) 4,4; 5,0 (0 / +5) 3,3 (0 / +5)
Максимальный диаметр комлевого торца без коры, см	55,0** 34,0	75 42,0**	55,0** 40,0** 14,9	75 52,0** 36,0 56,0	65,0** 55,0** 50,0**
Минимальный диаметр верхнего торца без коры, см	18,0** 15,0 15,0**	16,0 14,0 11,0	18,0** 17,0** 16,0** 12,0	16,0 14,0	25** 18,0**

\* - Требования к качеству, заявленные в контрактах

\*\* - Диаметр с корой

$l$  – Максимальная допустимая длина сучьев

$d$  – диаметр сучьев

Таблица 2. Требования к качеству измеренного баланса для внутреннего и экспортного рынков.

Вид брака	Сосна		Ель		Береза
	Экспорт	Внутренний	Экспорт	Внутренний	Экспорт
1. Дефекты обработки	ГОСТ 9463-88; ТУ 13-2-10-96	ГОСТ 9463-88	ГОСТ 9463-88; ТУ 13-2-10-96	ГОСТ 9463-88; ТУ 13-2-10-96	ТУ 13-2-1-95; ТУ 13-2-10-96; ТУ 13-2-11-96. $l < 20$ мм*
2. Загрязнение почвой	Не допускается*	Не допускается*	Не допускается*	Не допускается*	Не допускается*
3. Несоответствие размерам					
Длина, (припуск, см)	м 3,0; 4,0; 6,0 (0 / +10)	3,0–6,0 (–20 / +20)	3,0; 4,8, 6,0 (0 / +10)	2,4; 3,6; 4,8; 6,0 (–5/+15); 4,0; 5,5 (–5/+15); 1,2 (–2 / + 2); 2,4 (–2 / + 2); 3,6 и 4,8 (–15 / 15); 4,0 и 5,5 (–10 / +10); 2,4 и 3,6 (+3 / +5)	4,0; 5,5 (0 / +10); 3,0; 4,0; 6,0 (–10 / +10)
Максимальный диаметр комлевого торца без коры, см	60,0	40,0	40,0	60,0; 50,0; 36,0	60,0
Минимальный диаметр верхнего торца без коры, см	8,0; 6,0	6,0	8,0**	16,0; 6,0	16,0; 6,0

\* - Требования к качеству, заявленные в контрактах

\*\* - Диаметр с корой

 $l$  – Максимальная допустимая длина сучьев

Сортимент принимается, если его параметры соответствуют требованиям к качеству и размерам. В случае несоответствия вышеназванным требованиям, сортимент не принимается или переводится в другой сорт соответственно его качеству: пиловочки в баланс, баланс в дрова.

Повреждения древесины были проанализированы с точки зрения потерь стоимости. На уровне лесозаготовительной компании и лесосечной системы потери стоимости древесины были оценены в соответствии со следующей формулой:

$$L = R_{psl} \times P_{psl}(C_{psl} - C_{ppw} - C') + R_{ssl} \times P_{ssl} \times (C_{ssl} - C_{spw} - C') + R_{bsl} \times P_{bsl} \times (C_{bsl} - C_{pbw} - C') + R_{ppw} \times P_{psl} \times (C_{ppw} - C_{pww} - C') + R_{spw} \times P_{spw} \times (C_{spw} - C_{sww} - C') + R_{pbw} \times P_{pbw} \times (C_{pbw} - C_{bww} - C'), \quad (1)$$

Где:  $L$  – потери стоимости из-за повреждений древесины в ходе заготовки, €/м<sup>3</sup>;  $R$  – средний процент брака для сортимента;  $P$  – доля типа сортиментов в общем объеме деловой древесины, заготовленной в компании;  $C$  – средняя цена сортимента по EXW (франко завод) у дороги или на нижнем складе, €/м<sup>3</sup>;  $C'$  – дополнительные затраты на погрузку, разгрузку и транспортировку не принятой древесины, €/м<sup>3</sup>;  $psl$ ,  $ssl$ ,  $bsl$  – индексы для соснового, елового и

березового пиловочника; ppw, spw, bpw – индексы для сосновых, еловых и березовых балансов; fw – индекс для дров.

Система денежной оценки сортиментов основывалась на рыночных ценах на деловую древесину, полученных из отчетов по рынку лесоматериалов Карелии [14]. Денежная стоимость деловой древесины была установлена исходя из породы, типа сортиментов и условий поставки.

## Результаты

В Таблице 3 представлено распределение брака по заготовленным сортиментам с 17 исследованных лесосек. Результаты включают зимние и летние данные, а также все лесозаготовительные системы. Обычно сортименты, не прошедшие контроль качества, имели 1 или 2 типа повреждений. В последнем случае древесина не принималась по нескольким причинам.

**Таблица 3. Процент брака древесины (% от исследованных сортиментов) по исследованным лесосекам, заготовительным системам и сезонам.**

Система	Сосновый пиловочник		Еловый пиловочник		Сосновые балансы		Еловые балансы		Березовый фанерный кряж		Березовые балансы	
	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето
ЧМ СМ	4,0	3,7	4,3	3,0	1,0	1,3	1,0	1,3	2,7	3,0	1,7	1,3
ПМ СМ	2,7	3,3	3,0	3,3	2,0	2,0	1,7	1,7	н.д.	н.д.	2,0	2,1
ЧМ ХМ	7,3	9,0	7,0	10,3	2,7	8,3	2,7	8,0	6	8,3	2,3	7,3
ЧМ ЗД	4,7	7,7	6,3	7,3	2,1	6,0	1,8	6,3	3,3	7,0	1,7	5,0
ПМ ЗД	5,3	5,0	5,0	5,3	2,3	2,0	2,7	2,3	н.д.	н.д.	2,3	2,3

Наивысший процент брака был отмечен для ЧМ ХМ как для пиловочника (7% и 9–10% от исследованных сортиментов зимней и летней заготовки соответственно), так и для баланса (3% зимой и 7–8% летом). Пиловочники повреждались меньше всего при заготовках по ПМ СМ (3%).

Для баланса наименьший процент брака (2%) был отмечен при заготовках ЧМ СМ (Таблица 3).

Исследование качества древесины заготовленной с применением ЧМ СМ показало, что наиболее часто встречаемыми дефектами обработки (Таблицы 4 и 6) были трещины, отщепы и сколы (до 3% обследованных сортиментов), запилы от бензопил и грейферного захвата форвардеров (до 2%). Общий процент брака для хвойных пиловочников достигал 4% зимой и 3% летом и около 1% для баланса не зависимо от сезона (Таблица 3).

Для ПМ СМ в зимний и летний сезоны типичными дефектами (Таблицы 4 и 6) были: сучья (2% обследованных сортиментов), трещины, отщепы и сколы, появляющиеся в ходе валки и раскряжевки (2%), а также механические повреждения поверхности сортиментов – вырывы и задиры (2%). Причиной последних повреждений являются сучкорезные и протаскивающие механизмы харвестерных головок. Вместе с этими повреждениями наблюдались обдир коры и даже повреждения слоев стволовой древесины. Повреждения, нанесенные пилами харвестерных головок (запилы) или грейферными захватами форвардеров, встречались редко (около 1%).

В случаях, когда лесозаготовительные операции проводились в соответствии со всеми рабочими инструкциями и требованиями, выход брака был меньше 3% для хвойных пиловочников, заготовленных по ПМ СМ и меньше 2% для хвойного баланса, в независимости от сезона. По сравнению с ЧМ СМ, для которого типичные размеры припуска составляли +(5-10) см, применение ПМ СМ обеспечивало больший выход сортиментов, так как размер припуска обычно был +(0–4) см.

При применении ЧМ ХМ и ЧМ ЗД независимо от времени года наиболее часто встречались следующие типы повреждений сортиментов (Таблица 4-6): вырывы и задиры (2-3% от обследованных сортиментов), запилы и зарубы в стволовой древесине (2-3%). Реже встречались не полностью срезанные сучья (1%), сколы, отщепы и трещины (1%).

**Таблица 4. Объемные потери хвойных пиловочников (% от осмотренных сортиментов) в зависимости от заготовительных систем и типов повреждений (СП – сосновый пиловочник, ЕП – еловый пиловочник).**

Система	Механические повреждения								Дефекты обработки								Загрязнение почвой	
	Вырывы и задиры				Запилы и зарубы				Не полностью срезанные сучья				Сколы, отщепы и трещины					
	Зима		Лето		Зима		Лето		Зима		Лето		Зима		Лето		Лето	
	СП	ЕП	СП	ЕП	СП	ЕП	СП	ЕП	СП	ЕП	СП	ЕП	СП	ЕП	СП	ЕП	СП	ЕП
ЧМ СМ	2,0	2,3	0	0	0	0	1,7	2,0	0	0	0	0	2,3	2,7	2,0	1,3	0	0
ПМ СМ	0,7	0,7	1,5	1,7	1,3	1,7	1,0	1,0	1,7	2,1	1,7	1,7	1,7	2,1	1,5	1,7	0	0
ЧМ ХМ	2,0	2,7	2,7	3,0	2,3	2,7	2,0	2,1	0,9	1,0	1,1	1,3	1,0	0,9	1,0	1,3	8,1	7,3
ЧМ ЗД	2,0	2,7	2,0	2,7	2,3	2,0	1,7	1,7	1,0	1,3	1,1	1,3	1,0	1,1	1,3	1,0	5,0	4,3
ПМ ЗД	3,0	3,1	1,7	1,3	1,3	1,7	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,7	2,1	1,9	1,7	1,3	0	0

**Таблица 5. Объемные потери березового фанерного кряжа (% от осмотренных сортиментов) в зависимости от заготовительных систем и типов повреждений.**

Системы	Механические повреждения				Дефекты обработки				Загрязнение почвой	
	Вырывы и задиры		Запилы и зарубы		Не полностью срезанные сучья		Сколы, отщепы и трещины			
	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Лето	
ЧМ СМ	0	0	1,8	1,7	0	0	1,7	1,7	0	
ЧМ ХМ	2,7	3,0	2,7	2,0	1,0	1,1	1,1	1,3	8,3	
ЧМ ЗД	1,7	1,7	2,3	2,0	1,3	1,3	1	1,3	6,0	

**Таблица 6. Объемные потери балансовой древесины (% от осмотренных сортиментов) в зависимости от заготовительных систем и типов повреждений (СБ – сосновые балансы, ЕБ – еловые балансы, ББ – березовые балансы).**

Системы	Не полностью срезанные сучья						Загрязнение почвой		
	Зима			Лето			Лето		
	СБ	ЕБ	ББ	СБ	ЕБ	ББ	СБ	ЕБ	ББ
ЧМ СМ	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1,0	0	0	0
ПМ СМ	1,7	1,3	1,7	1,7	1,7	2,0	0	0	0
ЧМ ХМ	0,9	1,0	0,9	1,0	1,3	1,0	9,1	8,3	8,0
ЧМ ЗД	1,0	1,0	0,7	1,0	0,9	0,9	5,0	5,7	4,0
ПМ ЗД	1,3	1,7	1,3	1,3	1,7	1,7	0	0	0

Загрязнение сортиментов почвой было отмечено летом (до 9% для ЧМ ХМ и 6% для ЧМ ЗД). Доля брака для еловых и сосновых пиловочников достигала (Таблица 3): 6-7% для ели и 5-7% для сосны зимой, 7-10% для ели и 8-9% для сосны зимой. Наибольший процент брака был отмечен для пиловочников, заготовленных для экспорта. Доля брака для березового фанерного кряжа достигала 2% зимой и до 7% для ХМ и 5% для ЧМ ЗД летом. Для соснового и елового балансы доля брака составляла, соответственно, до 3% и до 2% зимой и 3% летом.

Для ПМ ЗД зимой и летом были характерны следующие виды повреждений древесины (Таблицы 4 и 6): запилы (3%), сколы, отщепы и трещины на торцах бревен (2%), вырывы и задиры (2-3%), а также не полностью срезанные сучья (2%). Для еловых и сосновых

пиловочников (Таблица 3) доля брака была около 5% не зависимо от сезона. Доля брака для березового, соснового и елового баланса составляла около 3% зимой и до 2% летом.

Сезонность лесозаготовительных операций имела негативное влияние на качество древесины, заготавливаемой по ЧМ СМ, ЧМ ХМ и для ЧМ ЗД.

В общем, для 15 изученных компаний объемные потери древесины (выраженные как доля брака от общего среднего объема деловой древесины в год) составили: 1,8% для ЧМ СМ; 2,3% для ПМ СМ; 5,0% для ЧМ ХМ; 4,2% для ЧМ ЗД; и 3,3 для ПМ ЗД (Таблица 7).

**Таблица 7. Потери объемов и стоимости деловой древесины в исследованных компаниях в зависимости от лесозаготовительных систем.**

Система	Компания	Ежегодная заготовка, 1000 м <sup>3</sup>			Объемные потери		Потери стоимости	
		Всего	Дровяная древесина	Деловая древесина	%	1000 м <sup>3</sup>	€/м <sup>3</sup>	1000 €
ЧМ СМ	2, 3, 7, 8, 9	363,0	56,2	306,8	1,8	5,64	0,51	156,6
ПМ СМ	1, 2, 3, 4, 5,6	503,0	64,8	438,2	2,3	9,98	0,65	286,2
ЧМ ХМ	1, 5, 10, 11, 12 13, 14	935,4	155,6	779,8	5,0	39,14	1,38	1074,9
ЧМ ЗД	15	67,1	6,7	60,4	4,2	2,52	1,04	62,7
ПМ ЗД	1, 14	318,2	31,8	286,4	3,3	9,56	0,86	247,4
Всего		2186,7	315,1	1871,6	3,6	66,84	0,98	1827,8

В общем, средние потери объемов древесины в изученных компаниях составляли 3,6% или 67000 м<sup>3</sup>/г. В зависимости от применяемых заготовительных систем потери стоимости достигали: 0,51 €/м<sup>3</sup> для ЧМ СМ; 0,65 €/м<sup>3</sup> для ПМ СМ; 1,38 €/м<sup>3</sup> для ЧМ ХМ; 1,04 €/м<sup>3</sup> для ЧМ ЗД и 0,86 €/м<sup>3</sup> для ПМ ЗД. Общая средняя потеря стоимости древесины в изученных компаниях составила 0,98 €/м<sup>3</sup> или € 1,8 миллиона евро в год.

## Обсуждение и заключение

Анализ полученных результатов показывает, что сортиментный метод может обеспечить самое высокое качество заготавливаемой древесины (доля брака меньше 3% от исследованных сортиментов) во всех рассмотренных компаниях и для разных породных составов. Заготовка деревьями продемонстрировала приемлемое качество древесины (доля брака около 3-5%). Качество древесины получаемой при использовании хлыстового метода было низким (доля брака больше 6%), особенно летом (доля брака до 10%).

Более половины лесосек в России располагаются на влажных и слабых почвах, доля песчаных почв по сравнению с суглинками и глинами в России мала [15]. Самую высокую долю брака имеет ЧМ ХМ, что объясняется особенностями метода – хлысты собираются в пачки и трелюются чокерным трелевочным трактором на таких почвах, что ведет к загрязнению почвой и другим повреждениям. Для ЧМ ЗД справедливы те же причины, объясняющие высокий выход брака, особенно в летний период, однако, крона в некоторой степени защищает стволую древесину от повреждений. ПМ ЗД не имеет таких недостатков из-за применения валочно-пакетирующих машин и трелевочных тракторов с пачковыми захватами. Независимо от времени года СМ демонстрирует наименьший выход брака из-за применения форвардеров, когда круглая древесина перевозится в полностью погруженном положении, а не трелюется из леса по слабым почвам. Поэтому выбор лесозаготовительной системы должен быть адаптирован к наиболее распространенным почвам, чтобы уменьшить потери древесины.

Наиболее частыми повреждениями древесины были механические повреждения (вырывы и задиры, запилы пилой, тросом или грейферным захватом форвардера, дефекты обработки (не

полностью срезанные сучья, сколы, отщепы и трещины) и загрязнение почвой. В общем, объёмные потери древесины не отличались значительно от объёмных потерь, зарегистрированных для ЗД в США [5] и СМ в Финляндии и России [16,17].

Однозначно, для снижения потерь деловой древесины необходимо улучшить лесозаготовительные операции даже в рамках тех же лесозаготовительных систем. Операторы и вальщики должны уделять больше внимания качеству, а не только одним объемам, это может быть достигнуто введением соответствующих систем оплаты труда и лесозаготовительных инструкций, стимулирующих заготовку ценной древесины без повреждений. Влияние сезонности работ тоже может быть принято во внимание, доля брака выше зимой для ЧМ СМ и летом для ЧМ ХМ и ЧМ ЗД. В зависимости от характера поверхности, штабелевка сортиментов у дороги должна проводиться на основании из древесины. Операторы должны правильно проводить обслуживание оборудования (настройка сучкорезных и протягивающих механизмов харвестерных головок, заточка сучкорезных ножей, очистка вальцов от коры и древесины и т.д.). Установленная харвестерная головка должна соответствовать как базовой машине, так и условиям лесосеки (породный состав, размер деревьев). Также необходимо разработать новые наставления и проводить соответствующее практическое обучение, направленные на снижение повреждений древесины в ходе заготовок [18,19]. Однако, перед специализацией в управлении конкретной сложной машиной (харвестером, форвардером или валочно-пакетирующей машиной), операторы должны получить соответствующее профессиональное образование.

На примере передового опыта исследованных компаний была сделана приблизительная оценка возможного снижения брака по сравнению с установившимися лесозаготовительными системами. Доля брака может быть снижена на 20% для ЧМ СМ и на 25% для ПМ ЗД если будут устранены недостатки, присущие этим методам. Также следует отметить, что оптимизация раскряжевки для ПМ СМ сможет повысить выход деловой древесины. Улучшения лесозаготовительных систем для ЧМ СМ смогут снизить долю брака на 15%. Для ЧМ ХМ и ЧМ ЗД снижение количества поврежденных сортиментов может достигать 20% и 15% соответственно.

Потери объемов деловой древесины в изученных компаниях могут казаться незначительными, особенно когда берется во внимание отсутствие разницы между ПМ СМ и ЧМ СМ. Однако, переход от традиционного ЧМ ХМ к СМ снижает потери, в среднем, на 0,8 €/м<sup>3</sup> или 100 000 €/г для средней лесозаготовительной системы.

Принимая во внимание начальную стоимость машин для СМ (форвардер стоит около 200 000 €, харвестер больше 300 000 €), переход от ЧМ ХМ и ЧМ ЗД к ПМ СМ может быть оправдан в долгосрочной перспективе, но переход к ЧМ СМ может быть целесообразным в среднесрочном периоде времени. При выборе лесозаготовительной системы необходим дополнительный анализ эффективности данной системы в зависимости от многих факторов. Экономическая выгода оценивается производительностью и затратами [20,21]. Особое внимание должно уделяться комфортности и безопасности рабочих условий при выполнении лесозаготовительных операций, что должно сделать работу на лесозаготовках более привлекательной для молодежи [18]. Экологические факторы и характеристики местности включают повреждения почвы, подрост, остающихся деревьев и т.д. [22].

Проведенное исследование было направлено на изучение различных требований к качеству круглых лесоматериалов и операций в лесозаготовительных компаниях Республики Карелия, что может ограничивать применимость полученных результатов в других регионах России. Более того, необходимо провести дополнительные исследования, чтобы определить влияние различных требований к качеству раскряжевки (для внутреннего и экспортного рынков или для отдельных клиентов) на объемы деловой древесины и потери объемов. Неправильная раскряжевка может не повреждать сортименты физически, но снижать потенциальную выгоду [2,5,23-25]. Для повышения эффективности обработки искривленных стволов и срезания толстых сучьев в природно-производственных условиях России необходимо улучшить конструкцию сучкорезных и протягивающих механизмов харвестерных головок. Также значительно возросший спрос на фанеру требует провести более глубокий анализ потерь качества березового фанерного кряжа при использовании ПМ СМ и ПМ ЗД.

*Статья подготовлена при поддержке международного проекта ППС ЕИСП «Карелия» «Новые трансграничные решения в области интенсификации ведения лесного хозяйства и повышения степени использования топливной древесины в энергетике».*

## Литература

1. Лесозаготовки и логистика в России – в фокусе научные исследования и бизнес-возможности / В. Гольцев, Т. Толонен, В. С. Сүнёв, Б. Далин, Ю. Герасимов, С. Карвинен // Труды НИИ леса Финляндии. – Йоэнсуу, 2012. – Вып. 221. – 159 с.
2. Marshall H., Murphy G. E., Boston K. Evaluation of the economic impacts of length and diameter measurement error on mechanical processors and harvesters operating in pine stands // Canadian Journal of Forest Research. – 2006. – № 36. – С. 1661–1673.
3. Connell M. J. Log presentation: log damage arising from mechanical harvesting or processing. – Victoria: CSIRO Forestry and Forest Products, 2003. – 62 с.
4. Spinelli R., Magagnotti N., Nati C. 2010. Comparison between mechanized and manual log-making in Italian poplar plantations // Proceedings of 43 International Symposium on Forestry Mechanisation, July 11–14, 2010. – Padova, 2010. – С. 8.
5. Wang J., Le Doux C., Vanderberg M., McNeel J. Log damage and value loss associated with two ground-based harvesting systems in central Appalachia // International Journal of Forest Engineering. – 2004. – № 15(1). – С. 61–69.
6. McNeel J. F., Czerepinski F. 1987. Effect of felling head design on shear-related damage in southern yellow pine // Southern Journal of Applied Forestry. – 1987. – № 11(1). – С. 3–6.
7. Murphy G. E. Technology Aids Value Recovery // Focus on Forestry. – 2005. – № 18(2). – С. 12.
8. Gerasimov Y., Seliverstov A. Industrial roundwood losses associated with harvesting systems in Russia // Croatian Journal of Forest Engineering. – 2010. – № 30 (2). – С. 111–126.
9. Gerasimov Y., Sokolov A. Ergonomic characterization of harvesting work in Karelia // Croatian Journal of Forest Engineering. – 2008. – № 30(2). – С. 159–170.
10. ГОСТ 2292-88. Лесоматериалы круглые. Маркировка, сортировка, транспортирование, методы измерения и приемка. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 12 с.
11. ГОСТ 9463-88. Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 14 с.
12. ТУ 13-2-12-96. Технические условия. Пиловочные бревна, поставляемые из России в Финляндию. – Химки: ЦНИИМЭ, 1996. – 20 с.
13. ТУ 13-2-1-95. Технические условия. Баланы поставляемые в Финляндию. – Химки: ЦНИИМЭ, 1995. – 15 с.
14. Среднеконтрактные цены на основные продукты лесной и деревообрабатывающей промышленности в Республике Карелия, 2010. Доступно: <http://www.gov.karelia.ru>.
15. 14. Gerasimov Y., Katarov V. Effect of Bogie Track and Slash Reinforcement on Sinkage and Soil Compaction in Soft Terrains // Croatian Journal of Forest Engineering. – 2009. – № 31. – С. 35-45.
16. Eronen J., Asikainen A., Uusitalo J., Sikanen L. Control of log end checks during bucking with a modified single-grip harvester // Forest Products Journal. – 2000. – № 50(4). – С. 65–70.
17. Сүнёв В., Селиверстов А. Влияние сортиментной механизированной технологии на качество заготавливаемых сортиментов // Актуальные проблемы лесной промышленности. – 2006. – № 14. – С. 68–71.
18. Анализ потребности в обучении операторов лесозаготовительных машин / В. С. Сүнёв, А. П. Соколов, А. А. Селиверстов, А. П. Коновалов, В. К. Катаров, Ю. Ю. Герасимов, Э. Вяльккю, С. Карвинен. – Йоэнсуу: НИИ леса Финляндии, 2008. – 11 с.
19. Селиверстов А. А., Симонова И. В., Александров А. А. 2010. Исследование состояния геометрии формы и заточки сучкорезных ножей харвестеров. завода // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. – 2010. – Вып. 8. – С. 128 – 132. – С 2013 г. загл. Resources and Technology.

20. Adebayo A. B., Han H., Johnson L. 2007. Productivity and cost of cut-to-length and whole-tree harvesting in a mixed-conifer stand // *Forest Products Journal*. – 2000. – № 57(6). – С. 59–69.
21. Коновалов, А. П., Селиверстов, А. А. Технологии лесозаготовок: оценка по технико-экономическим факторам // *Лесной эксперт*. – 2008. – № 1. – С. 76–81.
22. Сравнение технологий лесосечных работ в лесозаготовительных компаниях Республики Карелия / В. Сюнёв, А. Соколов, А. Коновалов, В. Катаров, А. Селиверстов, Ю. Герасимов, С. Карвинен, Э. Вяльккю. – Йоэнсуу: НИИ Леса Финляндии, 2008. – 126 с.
23. Sessions J. Making better tree-bucking decisions in the woods // *Journal of Forestry*. – 1988. – № 10. – С. 43–45.
24. Pickens J. B., Lee A., Lyon G. W. Optimal bucking of Northern hardwoods // *Northern Journal of Applied Forestry*. – 1992. – № 9(4). – С. 149–152.
25. Murphy G., Twaddle A. A. Techniques for the assessment and control of log value recovery in the New Zealand forest harvesting industry // *Proceedings of the 9th Annual Meeting of Council on Forest Engineering*, September 29 – October 2, 1985. – Mobile, AL, 1985.

## References

1. Goltsev, V., Tolonen, T., Syunev, V., Dahlin, B., Gerasimov, Y., Karvinen, S. (eds.), 2012: Wood harvesting and logistics in Russia - focus on research and business opportunities. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 221, 159 p.
2. Marshall, H., Murphy, G. E., Boston, K., 2006: Evaluation of the economic impacts of length and diameter measurement error on mechanical processors and harvesters operating in pine stands. *Canadian Journal of Forest Research* 36: 1661–1673.
3. Connell, M. J., 2003: Log presentation: log damage arising from mechanical harvesting or processing. CSIRO Forestry and Forest Products. Victoria, 62 p.
4. Spinelli, R., Magagnotti, N., Nati, C., 2010: Comparison between mechanized and manual log-making in Italian poplar plantations. In: *Forest Engineering Meeting the Needs of the Society and the Environment. Proceedings of 43 International Symposium on Forestry Mechanisation*, July 11–14, 2010, Padova, Italy, 8 p.
5. Wang, J., Le Doux, C., Vanderberg, M., McNeel, J., 2004: Log damage and value loss associated with two ground-based harvesting systems in central Appalachia. *International Journal of Forest Engineering* 15(1): 61–69.
6. McNeel, J. F., Czerepinski, F., 1987: Effect of felling head design on shear-related damage in southern yellow pine. *Southern Journal of Applied Forestry* 11(1): 3–6.
7. Murphy, G. E. 2005. Technology Aids Value Recovery. *Focus on Forestry* 18(2): 12.
8. Gerasimov, Y., Seliverstov, A., 2010: Industrial roundwood losses associated with harvesting systems in Russia. *Croatian Journal of Forest Engineering* 30 (2): 111–126.
9. Gerasimov, Y., Sokolov, A., 2008: Ergonomic characterization of harvesting work in Karelia. *Croatian Journal of Forest Engineering* 30(2): 159–170.
10. GOST 2292-88, 1990: State standard. Roundwood: marking, transportation, methods of measurement and acceptance. Moscow, Gosstandart, 12 p.
11. GOST 9463-88, 1990: State standard. Roundwood of coniferous species. Moscow. Gosstandart, 14 p.
12. TU 13-2-12-96, 1996: Technical specifications. Coniferous saw logs delivered to Finland. Khimki, TsNIIME, 20 p.
13. TU 13-2-1-95, 1995: Technical specifications. Pulpwood delivered to Finland. Khimki, TsNIIME, 15 p.
14. Timber Prices, 2010: Average contract prices for major products of forest and woodworking industries, established in the Republic of Karelia. Official site of the Government of Karelia <<http://www.gov.karelia.ru>> (Accessed 1 July 2010).
15. Gerasimov, Y., Katarov, V., 2010: Effect of Bogie Track and Slash Reinforcement on Sinkage and Soil Compaction in Soft Terrains. *Croatian Journal of Forest Engineering* 31(1): 35–45.
16. Eronen, J., Asikainen, A., Uusitalo, J., Sikanen, L., 2000: Control of log end checks during bucking with a modified single-grip harvester. *Forest Products Journal* 50(4): 65–70.

17. Syuney, V., Seliverstov, A., 2006: The influence of assortment of logging on the quality of wood raw material. In: Actual Problems of Forest Industry. Volume 14. Bryansk, BSETA, 68–71.
18. Syuney, V., Sokolov, A., Seliverstov, A., Konovalov, A., Katarov, V., Gerasimov, Y., Vällky, E., Karvinen, S., 2008: Training needs analysis for operators of harvesters. Finnish Forest Research Institute, 11 p.
19. Seliverstov, A.A., Simonova, I.V., Alexandrov, A.A., 2010: Study of harvester delimiting knives geometry shape and sharpening. Resources and Technology 8: 128–132.
20. Adebayo, A.B., Han, H., Johnson, L., 2007: Productivity and cost of cut-to-length and whole-tree harvesting in a mixed-conifer stand. Forest Products Journal 57(6): 59–69.
21. Konovalov, A.P., Seliverstov, A.A., 2008: Logging technologies: an assessment of techno-economic factors. Forestry Expert 1: 76–81.
22. Syuney, V., Sokolov, A., Konovalov, A., Katarov, V., Seliverstov, A., Gerasimov, Y., Karvinen, S., Vällky, E., 2009: Comparison of wood harvesting methods in the Republic of Karelia. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 120, 117 p.
23. Sessions, J., 1988: Making better tree-bucking decisions in the woods. Journal of Forestry 10: 43–45.
24. Pickens, J.B., Lee, A., Lyon, G.W., 1992: Optimal bucking of Northern hardwoods. Northern Journal of Applied Forestry 9(4): 149–152.
25. Murphy, G., Twaddle, A.A., 1985: Techniques for the assessment and control of log value recovery in the New Zealand forest harvesting industry. In: Proceedings of the 9th Annual Meeting of Council on Forest Engineering, Mobile, AL, September 29 – October 2, 1985.